

FORSCHUNGEN ZUR GESCHICHTLICHEN LANDESKUNDE DER STEIERMARK

Herausgegeben von der  
Historischen Landeskommission für Steiermark

Band 91

---

Forschungen zur geschichtlichen  
Landeskunde der Steiermark

Herausgegeben von der  
Historischen Landeskommision für Steiermark

Band 91

Susanne Klemm (Hg.)

# **Der bronzezeitliche Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark (Österreich)**

Archäologische Erforschung und interdisziplinäre  
Untersuchung einer ostalpinen Kupferhütte

Dieses Werk ist nicht im Buchhandel erhältlich,  
steht aber im Sinne des open access kostenlos online unter  
[www.hlk.steiermark.at](http://www.hlk.steiermark.at)  
zur Verfügung.

Version 1 – Juni 2021

Graz 2021

---

Im Selbstverlag der Historischen Landeskommision für Steiermark

Die Realisierung dieser Publikation wurde durch Mittel des Bundesdenkmalamtes und des Landes Steiermark ermöglicht.

## Bundesdenkmalamt



Version 1 – Juni 2021

Graz 2021

Im Selbstverlag der Historischen Landeskommission für Steiermark  
8010 Graz, Karmeliterplatz 3  
[www.hlk.steiermark.at](http://www.hlk.steiermark.at)

Satz: Gerhard Gauster, Graz

Die Herausgabe dieser Veröffentlichung erfolgt ohne wirtschaftliche Gewinnabsicht, sondern vielmehr im Sinne der in den Statuten der Historischen Landeskommission für Steiermark festgelegten wissenschaftlichen Aufgaben.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

ISBN 978-3-901251-56-6

# Inhaltsverzeichnis / Table of Contents

Bernhard HEBERT	
<b>Vorwort</b> .....	7
Susanne KLEMM	
<b>Vorwort der Herausgeberin / Foreword by the editor</b> .....	9
Susanne KLEMM	
<b>Danksagung / Acknowledgments</b> .....	11
Susanne KLEMM	
<b>1 Einleitung / Introduction</b> .....	17
Susanne KLEMM	
<b>2 Der Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau – Fundort und Fundgeschichte / The Copper Smelting Site S1 in the Valley of the Eisenerzer Ramsau – Site and Site History</b>	21
Susanne KLEMM, mit Beiträgen von Georg WALACH †, Hassan NEINAVAIE und Anton DRESCHER	
<b>3 Naturwissenschaftliche Untersuchungen vor Beginn der archäologischen Ausgrabung auf dem Kupferschmelzplatz S1: Geophysikalische, mineralogisch-geochemische und botanische Untersuchungen / Scientific Investigations prior to the Archaeological Excavation at the Copper Smelting Site S1: Geophysical, Mineralogical-geochemical and Botanical Investigations</b> .....	29
<b>Anhang (Kap. 3): Beilage zu den mineralogisch-geochemischen Untersuchungen / Supplement to the Mineralogical-geochemical Investigations</b> .....	51
Susanne KLEMM	
<b>4 Der bronzezeitliche Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau – Überblick über den archäologischen Befund und erste Ergebnisse / The Bronze Age Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau – Overview of the Archaeological Features and First Results</b> .....	102
Christina REISCH und Karin GRUBER	
<b>5 Makroskopische Gesteinsbestimmung des Baumaterials von Röstbetten und Schmelzöfen des Kupferschmelzplatzes S1 in der Eisenerzer Ramsau / Macroscopic Rock Identification of the Building Materials for the Roasting Hearths and Smelting Furnaces of the Copper Smelting Site S1</b> .....	108
Steffen KRAUS und Ernst PERNICKA	
<b>6 Untersuchungen der archäometallurgischen Funde vom Kupferschmelzplatz S1 / Archaeometallurgical Analyses of Slags and Other Finds of the Copper Smelting Site S1</b> .....	124
<b>Anhang (Kap. 6): Beilage zu den archäometallurgischen Untersuchungen / Supplement to the Archaeometallurgical Analyses</b> .....	211
Erich PUCHER und Mona ABD EL KAREM	
<b>7 Die Tierknochen vom Kupferschmelzplatz S1 / Animal Bone Finds of the Copper Smelting Site S1</b> .....	303
Susanne KLEMM	
<b>8 Bibliographie zu den interdisziplinären Untersuchungen auf dem Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark / Bibliography on the Interdisciplinary Research at the Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau</b> .....	315
<b>Verzeichnis der Autorinnen und Autoren / List of Authors</b> .....	320



## Vorwort

Dem Unterzeichneten war es eine Freude, die von Susanne Klemm geleitete Grabung in den steirischen Alpen über etliche Jahre als Bodendenkmalpfleger am Bundesdenkmalamt zu begleiten. Dimension und Komplexität des mittelbronzezeitlichen Schmelzplatzes suchen nach wie vor ebenso Ihrsgleichen wie die Gründlichkeit der archäologischen Untersuchung und die Vielfältigkeit und Ausführlichkeit der in die Auswertung einbezogenen Natur- und Montanwissenschaften.

Von vornherein war klar, dass diese transdisziplinäre Auswertung größere Ressourcen beanspruchen und entsprechende Forschungsprojekte bedingen wird. Diese haben auch unter Einsatz verschiedener Förderungsmöglichkeiten stattgefunden; die Finalisierung bis hin zu einer monographischen Gesamtvorlage der Ergebnisse hing und hängt aber naturgemäß ganz wesentlich am unermüdlichen und vielfach nicht monetär honorierten Einsatz der Grabungsleiterin.

Um einen weiteren Schritt zu setzen, hat die Historische Landeskommission für Steiermark 2015 ein zusätzliches Projekt gestartet und finanziert. Als dessen erstes Ergebnis und als Nachweis der in Anspruch genommenen Förderungsmittel werden nun als Online-Publikation der Historischen Landeskommission einzelne in sich abgeschlossene Kapitel mit wichtigen Untersuchungsergebnissen vorgelegt, die zukünftig Teil der Gesamtpublikation sein werden. Die ungewöhnlich dichten Ergebnisse sollen der Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit, die bei den Grabungen regen Anteil am Geschehen genommen hatte, nicht länger vorenthalten bleiben.

Aus dem Vorgesagten ist die Bruchstückhaftigkeit der jetzigen Publikation zu verstehen: Neben weiteren Detailuntersuchungen ist die eigentliche archäologische Auswertung ausständig, an deren Stelle zum besseren Verständnis der Situation einsteilen die zusammenfassende Betrachtung in Kapitel 4 tritt.

*Bernhard Hebert, im März 2021*



## Vorwort der Herausgeberin

In der nun vorgestellten Online-Ausgabe wird der komplexe archäologische Befund mit den zahlreichen Einzelbefunden und der komplexen Stratigraphie in komprimierter Form präsentiert. Der archäologische Befund war die Grundlage für die Bearbeitung der naturwissenschaftlichen Proben und deren Untersuchung. Nun werden die ersten vollständig ausgewerteten Ergebnisse der umfassenden archäometallurgischen Untersuchungen, die Gesteinsbestimmung der beim Bau der Röstbetten und Schmelzöfen verwendeten Gesteine sowie die archäozoologische Bestimmung der kalzinieren Tierknochen vorgelegt. In der Folge sollen in der geplanten Gesamtpublikation neben sämtlichen Detailergebnissen des archäologischen Befundes auch die anthrakologischen Untersuchungen der Holzkohlen vorgestellt werden. Abschließend soll in einer detaillierten Diskussion des Zeitraumes, in dem auf diesem Verhüttungsplatz Kupfererz verarbeitet wurde, die Zeitstellung anhand archäologischer Kleinfunde und Befunde, Untersuchungen zur archäomagnetischen Datierung und anhand einer Reihe von C14-Daten präsentiert werden. Den Abschluss wird eine Gesamtdiskussion aller Ergebnisse bilden.

*Susanne Klemm, im März 2021*

## Foreword by the editor

In this online edition, the results of the archaeological excavation with its complex stratigraphy are presented in a summarised form. These results formed the basis for the processing of the scientific samples: the archaeometallurgical analyses, the identification of the rocks used for building furnaces and roasting hearths as well as the identification of the animal bones found on the site are included in this edition. In the final edition, a detailed description of the archaeological features and all findings as well as a thorough discussion of the stratigraphy will be included. In addition, further scientific studies, such as an anthracological investigation of the charcoals, and a detailed discussion of the dating of the site by means of various methods, including archaeomagnetic dating and radiocarbon dates, are presented. A final discussion of all results will be included.

All chapters contain English summaries and all figures and tables have both German and English captions. We hope that this will be helpful for readers who have little or no knowledge of German.

*Susanne Klemm, March 2021*



## Danksagung

Die archäologische Ausgrabung auf dem Kupferschmelzplatz S1 (1992–2006), die Voruntersuchungen vor Grabungsbeginn, die Probennahmen im Zuge der Ausgrabung und die zahlreichen Forschungsarbeiten zum gewonnenen Fundmaterial sowie die Präsentation der Ergebnisse auf nationalen und internationalen Tagungen, in Berichten und Publikationen, nicht zuletzt die nun präsentierte online-Publikation, wären nicht ohne das Engagement und die Unterstützung zahlreicher Personen und Institutionen möglich gewesen. Ihnen allen gebührt mein großer, persönlicher Dank.

DI Dr. Horst Weinek †, der Entdecker der Fundstelle „S1“ (Schmelzplatz 1), initiierte gemeinsam mit dem sich gerade konstituierenden Kulturverein Innerberger Forum in Eisenerz, in Kooperation mit Dr. Sigrid Günther, Stadtmuseum Eisenerz, und damals Vizebürgermeister und heute Gemeinderat Gerhard Niederhofer, das Grabungsprojekt und erste interdisziplinäre Forschungen. Ihnen allen gebührt mein erster Dank.

Das bereits zu Projektbeginn vom Kulturverein Innerberger Forum formulierte Ziel, mit diesen für Eisenerz neuartigen Forschungen zur prähistorischen Kupfererzgewinnung einen Beitrag zur touristischen Entwicklung der Stadt Eisenerz und der Region zu erbringen, ist bedauerlicherweise trotz zahlreicher Bemühungen gescheitert. Es blieb bei einem der vielen guten Ideen und Konzepte für Eisenerz. Auch die Erhaltung einer der Doppelofenanlagen mit Möglichkeit zur Besichtigung kam nicht zur Umsetzung. Mittlerweile ist die Fläche des Kupferschmelzplatzes S1 wieder der Natur zurückgegeben.

Univ.-Prof. DDr. Gerhard Sperl †, Erich-Schmid-Institut für Festkörperphysik der ÖAW in Leoben, übernahm die wissenschaftliche Gesamtleitung in den Jahren 1992–1996 und ermöglichte mir im Rahmen zweier vom Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank geförderter Forschungsprojekte, am Befund sowie an der Aufnahme der Kupferschlacken in Leoben von 1994–1996 zu arbeiten. Roger Doonan, Dissertant an der Universität Sheffield, und ich hatten die Möglichkeit, in der großen

Halle des Instituts für die Probennahme seiner Untersuchungen alle bis dahin geborgenen Kupferschlacken aufzulegen. Wir erarbeiteten damals die Kategorisierung der Schlackentypen für die Aufnahme in die projekteigene Datenbank, die „DB S1“. Der damaligen Leitung und den MitarbeiterInnen des Instituts sei hiermit gleichfalls gedankt.<sup>1</sup>

Im Sommer 1996 gründete ich als nunmehr ausschließlich selbständige Archäologin mein Büro für *Archäologie & Communication* im Rahmen des „Regionalen Forschungs- und Innovationszentrums“ in Eisenerz mit meinen beiden Schwerpunkten archäologische Forschung und Wissenschaftsvermittlung und trug ab sofort die alleinige Verantwortung für die zukünftige Erforschung des Kupferschmelzplatzes S1.

Von Seiten der Wissenschaft gilt mein Dank insbesondere Hon.-Prof. Dr. Diether Kramer †, Steiermärkisches Landesmuseum Joanneum (heute Universalmuseum Joanneum), der mich aufgrund einschlägiger Erfahrungen auf Grabungen unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Clemens Eibner als Grabungsleiterin vorschlug und das Forschungsprojekt viele Jahre finanziell wie ideell förderte. In den Jahren 2009 bis 2011 konnten wir die archäometallurgische Probennahme und weitere Bestimmungen des Fundmaterials in Räumlichkeiten des Landesmuseums (Schloss Eggenberg/Ostpavillion und Depot in der Sterzinggasse) durchführen.

Großer Dank gebührt HR Univ.-Doz. Dr. Bernhard Hebert, Bundesdenkmalamt, der das Forschungsprojekt vom ersten Tag an bis zu dieser Abschlusspublikation begleitete und förderte. Als ein dauerhafter Verbleib der gesamten archäologischen Funde der Ausgrabung des Kupferschmelzplatzes S1 im neuen Universalmuseum Joanneum 2011 unter neuer Leitung der Abteilung nicht mehr gewünscht war, übernahm das Bundesdenkmalamt den gesamten Bestand (317 Bananenkartons) von einem Tag zum anderen. Bernhard Hebert ermöglichte meinen MitarbeiterInnen und mir in der Folge, im Keller des Gebäudes des Bundesdenkmalamtes in der Schubertstraße in Graz die Fortsetzung der Fundaufnahme, insbesondere den letzten Teil der sehr

<sup>1</sup> Auch am Erich-Schmid-Institut war man nach dem Abtransport unserer Bananenkartons 1996 erleichtert. Im Jahr 2004 stellte man mir nochmals einen Raum am Erich-Schmid-Institut für Materialwissenschaft der Universität Leoben zur Bearbeitung von Funden zur Verfügung.

staubigen Schlacken- und Ofenlehmbestimmung sowie die ebenso staubige aber vielmehr sehr lärmintensive Gesteinsbestimmung durchzuführen und abzuschließen. Für das große Verständnis der Leitung und aller MitarbeiterInnen des Landeskonservatorates für Steiermark sei herzlichst gedankt.<sup>2</sup>

Die archäologische Ausgrabung wurde dankenswerterweise in den Jahren 1992–2000<sup>3</sup> seitens mehrerer öffentlicher Institutionen finanziell gefördert: Stadtgemeinde Eisenerz (1992, 1994, 1995, 1999) und zahlreiche Sachleistungen wie Transporte seitens der Mitarbeiter des Wirtschaftshofes der Stadtgemeinde; Land Steiermark: Kulturabteilung (1992), Wissenschaftsabteilung (1992, 1995, 1999, 2000), Tourismusförderung (2000); Steiermärkisches Landesmuseum Joanneum, Referat Archäologische Sammlungen (1996, 1997, 1999, 2000); Bundesdenkmalamt (1992–1994); Österreichisches Archäologisches Institut, Wien (1995).

Von Juli 2003 bis März 2014 ermöglichte mir Univ.-Prof. Dr. Herwig Friesinger, im Rahmen von zwei vom Wissenschaftsfonds (FWF) geförderten interdisziplinären Forschungsprojekten an der Prähistorischen Kommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) in Wien (ab Juli 2013 Institut OREA/Abteilung Europa), einerseits die Ausgrabung zu einem guten Abschluss zu führen und andererseits die fachliche Betreuung der Arbeiten der anderen Disziplinen zu betreuen sowie am archäologischen Befund zu arbeiten. Mein Dank gebührt Univ.-Prof. Dr. Herwig Friesinger und den MitarbeiterInnen der ehemaligen Prähistorischen Kommission.

Ganz besonderer Dank gilt meinen langjährigen, treuen und unermüdlichen MitarbeiterInnen bzw. AssistentInnen in der Zeit an der ÖAW: Mag. Ulrike Schuh BA, die von 2004 bis 2013 meine gewissenhafte Assistentin an der ÖAW war, mich neben den graphischen Arbeiten in allen Bereichen meiner Forschungsarbeiten unterstützte und mir vieles abnahm; Mag. Dr. Elisabeth Nowotny, die insbesondere Literaturrecherchen und die Eingabe in die Datenbank übernahm; Mag. Gudrun Glöckner, die auf der Grabung von 2003–2006 mitarbeitete, mich

in der Folge insbesondere 2009–2012 wiederholt bei der langwierigen und mühsamen Fundaufnahme am Landesmuseum Joanneum und am Bundesdenkmalamt in der Schubertstraße in Graz sowie 2018 in Wien bei Arbeiten zur Befunderstellung unterstützte; Dr. Christine Rinesch, die das Fotoarchiv 2004–2005 betreute; Dea Svoboda, die 2009–2012 zahlreiche Grabungsfotos scannte und die Eingabe von Daten in die Datenbank übernahm; Tanja Jachs, MSc, die 2017 bei der Keramikaufnahme assistierte; Mag. Josef Syrovatka, der in Zusammenarbeit mit mir, die seit 1995 entwickelte „DB S1“, die „Datenbank S1“, auf Basis von Access 2010 neu aufsetzte und seitdem betreute. Die mineralogische Bestimmung des Baumaterials von Röstbetten und Schmelzöfen wurde 2003 in Leoben, wo uns das Erich-Schmid-Institut der ÖAW dankenswerterweise einen Raum zur Verfügung stellte, begonnen; diese ersten Bestimmungen wurden von Tanja Thalhhammer in Zusammenarbeit mit mir durchgeführt. Eine Fortsetzung der Bestimmungen erfolgte erst ab 2009 durch Karin Gruber und Christine Reisch in Graz. Gudrun Glöckner übernahm die Eingabe in die DB S1. Danken möchte ich auch Hazel Harrison, Großbritannien, die die englischsprachigen Zusammenfassungen korrigierte.

Ebenso gilt mein besonderer Dank meinen wissenschaftlichen KooperationspartnerInnen und MitarbeiterInnen dieses Bandes, Hassan Neinavaie, Anton Drescher, Christine Reisch, Karin Gruber, Steffen Kraus, Ernst Pernicka, Mona Abd El Karem und Erich Pucher, die letztendlich viel Geduld aufbrachten und wohl wenig Hoffnung hatten, dass dieses Werk auch publiziert wird. Mein Dank gilt auch Obermarkscheider Ing. Johann Resch i. R. †, der in Zusammenarbeit mit Erich Salzer, VOEST Alpine Erzberg GmbH, die geodätische Vermessung des Kupferschmelzplatzes durchführte und der gemeinsam mit mir das Quadrantennetz aussteckte sowie Georg Walach sen. †, Montanuniversität Leoben, der gemeinsam mit seinem Sohn Georg Walach jun. vor Grabungsbeginn die geophysikalische Vermessung übernahm.

<sup>2</sup> Aus Anlass eines unerwarteten Starkregenereignisses in Graz im August 2011, als ein Kanaldeckel im Keller des BDA-Gebäudes in der Schubertstraße in die Höhe gedrückt wurde, hatten meine MitarbeiterInnen und ich die Aufgabe, mehr als 70 Bananenkartons in sämtlichen Supermärkten in Graz neu zu sammeln und die Fundsäcke umzupacken. Schließlich konnten wir nach abgeschlossener Gesteinsbestimmung das Fundmaterial auf 198 Bananenkartons reduzieren, da vom Baumaterial der Röstbetten und Schmelzöfen nur noch kleine Proben aufbewahrt wurden. Seitdem bewahre ich sämtliche Gegenstände in Kellern nur mehr auf hölzernen Paletten auf. – Sämtliche Funde befinden sich nun im Archäologischen Zentraldepot des Bundesdenkmalamtes in Wien.

<sup>3</sup> In den Jahren 1998, 2001 und 2002 fanden keine Grabungen statt.

Zu danken habe ich auch den KooperationspartnerInnen Elisabeth Schnepf (Archäomagnetische Datierung) und Oliver Nelle (Anthrakologie), deren Beiträge noch nicht abgeschlossen werden konnten, da ich ihnen noch nicht alle Daten zum archäologischen Befund im Detail übermitteln konnte.<sup>4</sup> Ihre Kapitel sollen in der zweiten, erweiterten Auflage erscheinen.

Die alljährlichen Grabungskampagnen wurden in den ersten Jahren, 1992–1996, dank der unermüdlischen Tätigkeit von Horst Weinek und dank seiner Ortskenntnis von Jahr zu Jahr besser organisiert. Mit meiner Bürogründung im „Amtshaus“, dem ehemaligen Bürogebäude der heutigen VOEST Alpine Erzberg GmbH in Eisenerz, im Sommer 1996 war es mir möglich, die alljährlichen Grabungen auf dem Kupferschmelzplatz S1 neben anderen Forschungsaufträgen professionell zu organisieren. Bis 2002 fungierte mein Büro als Drehscheibe mit meiner Sekretärin Heike Hirschbichler für die Organisation, allerdings auch zu meinen Lasten aus finanzieller Sicht. Für die Zwischenlagerung der Funde wurden von mir Lagerräume angemietet. Ab der dritten Etappe 2003–2006, als ich bereits an der ÖAW beschäftigt war, mietete ich neue schlichte Räumlichkeiten, wo wir dank meiner ehemaligen Büroinfrastruktur (Tische, Sessel, Miniküche, Geschirr, etc.) improvisierten und somit auch an Regentagen an den Funden (waschen, beschriften, neu verpacken, feucht gewordene Fundzettel neu schreiben, etc.) arbeiten konnten.

Eine große Zahl an Fachstudentinnen und Fachstudenten von den Universitäten Graz und Wien und aus mehreren Ländern Europas, im Besonderen von der Republik Irland, aus England, Deutschland, Ungarn, Rumänien, Polen, Italien, Spanien, Schweiz, Serbien und den USA haben an der Ausgrabung teilgenommen. Aufgrund unseres internationalen Teams wurden für die Dokumentation die deutsche als auch die englische Sprache von Anfang an gleichermaßen verwendet. Als Umgangssprachen auf der Grabung waren neben Deutsch und Englisch vor allem auch Französisch und Ungarisch allgegenwärtig. Viele von ihnen hatten bereits Grabungserfahrung, andere waren Anfänger und sie lernten ebenso wie die SchülerInnen aus Eisenerz und Hieflau, welche Arbeiten auf einer archäologi-

schen Grabung zu leisten sind. Etliche nahmen an mehreren Grabungskampagnen teil, einige wenige waren nur einen Sommer in Eisenerz. Auch eine freiwillige Helferin arbeitete kurze Zeit mit dem internationalen Team, um zu lernen, was auf einer Ausgrabung zu tun ist. Ihnen allen danke ich für ihre engagierte Mitarbeit auf der Grabung bei Hitze wie bei Kälte, für das Abdecken der Grabungsflächen mit den unvermeidlichen schwarzen Planen im oft plötzlichen, strömenden Regen, für das Waschen und Beschriften der Funde an Regentagen in alternativen, teilweise sehr schlichten Räumlichkeiten. Sie alle seien hier namentlich genannt und bedankt:

die FachstudentInnen aus Österreich, Deutschland, Großbritannien, Irland, Schweiz, Spanien, Polen, Ungarn, Rumänien, Serbien, Italien: Gabriele Erath, Monika Griebel, Tilo Schöfbeck, Roger C. P. Doonan, Pete Marshall, Heidrun Helgert, Orlaith Egan, Sally Ann Miskella, Tom Sheils, Barbara Pfäffli, Ina Bauer, Elisabeth Krenn, Patricia Ryan, Jill Miskella, Michael Herdick, Reinhold Hiebl, Volker Lindinger, Sally Worrel, John Pearce, Hannes Prater, Sandra Groschopp, Daniela Nickel, Marko Kaplarevic, Michael Schöggel, Gudrun Glöckner, Elisabeth Nowotny, Markus Schreiner, Esther Guggenbichler, Sabine Steiner, Marianna Papp, Gudrun Praher, Maria Mandl, Ina Radtke, Agnieszka Kunzig, Cornelia Stiegler, Bernhard Heigl, Carlos Huerga Munoz, Fruzsina Cseh, András Sófalvi, Krisztina Sófalvi, Simone de Angelis, Friederike Berlekamp und Stefanie Hofbauer;

die SchülerInnen aus Eisenerz und Umgebung: Markus Schnedhuber, Wolfgang Schnedhuber, Cornelia Bachler, Florian Schoiswohl, Nicole Prösser, Martina Kaar, Christian Rauninger, Christian Wieser, Jasmine Wagenknecht, Monika Huber, Barbara Mitter, Michael Edlinger, Julian Abuzahra, Elisabeth Wagner, Ludwig Metzenrath, Martina Wimmer, Sebastian Hänsel, Tina Tegelhofer, Tabitha Weißmann, Manuel Grasserbauer, Jasmine Wagenknecht, Florian Heigl, Patrick Zwerger, Lisa Wendner und Jörg Reichenpfader.

Im Sommer 1999 kam es über die Vermittlung eines Kollegen zu einer Zusammenarbeit mit Prof. Ned Woodall von der Wake Forest University in North Carolina, USA. Seine Frau Julie sowie sechs StudentInnen, Kate Blatt, Aaron Bowman, John Carris, Jason Lockspeiser, Allan Roda und Roger

<sup>4</sup> Vgl. Vorberichte in: Bibliographie (Kap. 8).

Kirchen sei für ihre tatkräftige Mitarbeit im Rahmen einer Lehrgrabung auf dem Kupferschmelzplatz S1 vielfach gedankt.

Ganz besonderer Dank gilt den „freiwilligen Helfern“ der ersten Stunde (1992–1996), pensionierten Bergleuten aus Eisenerz, Max Haberfellner, Adolf Habringer †, Karl Hahn †, Rudolf Haidvogel, Josef Maget, Franz Mrazek, Horst Weinek † und Hubert Wörnschimmel. Ab dem Jahr 2000 halfen erneut Rudolf Haidvogel und Hubert Wörnschimmel sowie Alois Ritzinger, Hubert Tegelhofer, Thomas Umfer, Rudolf Wendner und Ingolf Tobias aus. Sie übernahmen den Bau der Grabungshütte mit zwei Bänken und einem Tisch als Schutz gegen Sonne oder viel öfter gegen Regen und Hagel sowie allfällige Reparaturen. Auch den Bau des Holzzauns rund um die Grabungsfläche zum Schutz des Weideviehs einerseits und der Grabungsfläche andererseits übernahmen sie. Sie waren auch zur Stelle, wenn „Not am Mann“ war, zum Beispiel zur Entfernung großer alter Wurzelstöcke oder um alte massive Holzkisten, in denen ursprünglich Sprengmittel gelagert waren und nun unser Werkzeug eingeschlossen werden konnte, zu organisieren.

Ohne Zustimmung des Grundbesitzers, der bereits mehr als 400 Jahre alten Eisenerzer Waldgenossenschaft, wäre die archäologische Grabung nicht möglich gewesen. Der Eisenerzer Waldgenossenschaft, ihrem langjährigen Vorstand Karl Moser (1994–2017), dessen Vorgängern Kommerzialrat Max Steyrleithner (1970–1993) und Bergrat DI Franz Illmaier (1993–1994), sowie seinem Nachfolger Markus Pump (seit 2017), den Förstern Ing. Robert Durchschlag, Ing. Christian Winkler und Ing. Martin Brandtner sowie Ruth Eibel im Büro sei dafür herzlichst gedankt. Die Waldgenossenschaft stellte uns auch das Holz für den Zaun zur Verfügung, ebenso wie die Möglichkeit, kurzfristig im mittlerweile „alten“ und abgerissenen Gebäude der Wildfütterung Werkzeug zu deponieren.

Mein Dank gilt ebenso der Stadtgemeinde Eisenerz, den Altbürgermeistern Hermann Auernigg (1990–2003) und Mag.art. Priv.-Doz. Gerhard Freisinger (2003–2009), dem ehemaligen Vizebürgermeister und heutigem Gemeinderat Gerhard Niederhofer sowie den damaligen MitarbeiterInnen der Stadtgemeinde. Danken möchte ich insbesondere auch den Mitarbeitern des Wirtschaftshofes, insbesondere Friedrich Wagenknecht und Günter Lichtscheid für diverse Transporte im Laufe der Jahre,

insbesondere des Baumaterials für die Grabungshütte, und die Möglichkeit der zwischenzeitlichen Lagerung von Material über den Winter. Anfangs konnten wir das Fundmaterial im Stadtmuseum Eisenerz im Kammerhof zwischenlagern; Dr. Sigrid Günther und ihrem Mitarbeiter Herbert Krump ein herzliches Dankeschön.

Die Stadtgemeinde Eisenerz stellte ab 1993 für mehrere Jahre Räumlichkeiten der Sporthauptschule Eisenerz (HS I) zur Verfügung, die den GrabungsmitarbeiterInnen als Quartier diente, wo Duschen, Schulküche und auch eine Waschmaschine zur Verfügung standen. Betten wurden vom Roten Kreuz zur Verfügung gestellt. Im kleinen Turnsaal konnten die MitarbeiterInnen an Regentagen Funde waschen und trocknen sowie beschriften. Im ersten Jahr 1992 konnten Roger und Pete in der Waschküche von Frau Gisela Schmuck im Krumpental Funde waschen. Das Rote Kreuz übernahm auch einige Jahre den Transport der MitarbeiterInnen von und zur Grabung in der Eisenerzer Ramsau.

Auch örtlichen Sponsoren der ersten Jahre sei gedankt: Die VOEST Alpine Erzberg GmbH und Bergdirektor h. c. DI Harold Umfer sponserten in den Anfangsjahren die Fotomaterialien. Es gab Materialleistungen seitens kleinerer und größerer Sponsoren aus Eisenerz, wie eine Jause für die GrabungsmitarbeiterInnen von den Fleischhauereien Karl Moser und Karl Herzog, Bier der Gösserbrauerei für die freiwilligen Helfer oder Holz für die Grabungshütte vom Sägewerk in Gams bei Hiefalau.

Den damaligen Almpächtern auf der Gemeindealme, Frau Butter und Herr Hans Larcher sen., die uns Sensen und Rechen liehen, sei gedankt. Ihre Kühe kamen uns regelmäßig besuchen und knabberten die zum Trocknen am Zaun aufgehängten, schwarzen Plastikplanen an. Dank auch an Toni Albinger und Familie, damals noch Wirt des Gasthauses Gemeindealme, für die wiederholte Bewirtung meines Teams.

Herzlichen Dank den vielen Eisenerzerinnen und Eisenerzern, die sich immer wieder für den Fortschritt der Grabungsarbeiten interessierten und uns regelmäßig besuchten; meinen Freunden in Eisenerz, meinen VermieterInnen, Helga Fluch in der Eisenerzer Ramsau und Herbert Pils, wo ich in der Flutergasse in Eisenerz, anfangs nur im Sommer, ab 1996 für elf Jahre ein neues Zuhause fand und 2006 auch meine Schlacken vorübergehend unterstellen und bearbeiten konnte.

Ihnen allen, die aktiv an den Arbeiten teilhatten, gilt mein großer Dank. Doch ebenso meiner Familie, meiner Mutter Helene Klemm † und meiner Schwester Margit Bollenberger, die mir 2017 einen Raum in einem ihrer Büros für die Keramikaufnahme zur Verfügung stellte, und meinen Freundinnen und Freunden, die mich – und notgedrungen auch diese Forschungsarbeit – in diesen vielen Jahren begleiteten.

Diese Publikation widme ich in großer Dankbarkeit meiner Mutter Helene Klemm †, die meinen

Weg als Wissenschaftlerin immer mit ihrem Interesse und vor allem auch indirekt finanziell in hohem Maße förderte.

Meinem Herausgeber, der Historischen Landeskommission für Steiermark, und dessen Geschäftsführenden Sekretär Ao. Univ.-Prof. Dr. Wernfried Hofmeister sowie dem wissenschaftlichen Mitarbeiter Mag. Meinhard Brunner gilt mein abschließender Dank.

Wien/Semmering, im März 2021  
*Susanne Klemm*

## Acknowledgements

The archaeological excavation at the Bronze Age Copper Smelting Site S1 (1992–2006), the scientific investigations ahead of the excavation, the sampling during the excavation, the various studies on the findings at the site as well as the presentation of the results at national and international meetings, in reports and publications, and last but not least this final publication would not have been possible without the dedication and support of numerous people and institutions. All of these deserve my immense and personal thanks.

DI Dr Horst Weinek †, a mining engineer, discovered the site “S1” (Smelting Site 1) and initiated the excavation project and preliminary scientific investigations in cooperation with the “Kulturverein Innerberger Forum”, a local initiative in Eisenerz, Styria. One of the aims was to enhance the development of tourism in Eisenerz, a centre of iron mining since the medieval period. Unfortunately, the plan to present part of the archaeological site to the public was ultimately unachievable. Meanwhile, the site has once again been reclaimed by nature – vegetation, fir trees, grass and other plants have now taken it over.

From 1992–1996, two research projects financed by the Anniversary Fund of the Austrian National Bank allowed me to carry out post-excavation work and to develop my database “S1” for the documentation of the excavation and the finds; Prof. DDr Gerhard Sperl †, Erich-Schmid-Institute, Austrian Academy of Sciences in Leoben, Styria, was the director of these research projects. During this period,

Roger Doonan took samples for his PhD thesis at the University of Sheffield, England.

In the early years of 1992–1996, the organisation of the excavation campaigns was greatly improved by DI Dr Horst Weinek † with his unflagging enthusiasm.

In the summer of 1996, I set up my company Archäologie & Communication as part of the newly founded regional research institute RFI in Eisenerz. From 1996–2002, my company office in Eisenerz also served as a base for the project during the summer, providing rooms to work on the finds on rainy days; from 2003–2006, rooms were rented locally.

Hon.-Prof. Dr Diether Kramer †, archaeologist at the Steirisches Landesmuseum Joanneum (now called the Universalmuseum Joanneum) in Graz, Styria, supported the excavation over the years. As all the finds were to be stored in this museum in the future, my team and I worked on the finds in Graz from 2009–2011. During this period, Steffen Kraus took samples for further archaeometallurgical studies.

With the change in administration at the new Universalmuseum Joanneum in 2011, Univ.-Doz. Dr Bernhard Hebert, who supported the research project from its very beginning, arranged for my team to continue work on the finds in the building of the Federal Monuments Authority Austria in Graz; this institution now stores all the finds.

Several institutions funded the archaeological excavation during the years 1992–2000 with the exception of 1998: the Federal Monuments Autho-

rity Austria, the Steirisches Landesmuseum Joanneum, Eisenerz town council, the Federal Government of Styria, the Austrian Archaeological Institute and the Austrian Science Fund.

Furthermore, from July 2003 to March 2014 Univ.-Prof. Dr Herwig Friesinger enabled me, within the framework of two research projects financed by the Austrian Science Fund, to continue the research on the Copper Smelting Site S1 at the Austrian Academy of Sciences in Vienna (Prehistoric Commission: as of July 2003 this became the European Department as part of the new OREA Institute).

This allowed me to continue the excavation and work on the research project at the Austrian Academy of Sciences in Vienna.

My special thanks are owed to my assistants Mag. Ulrike Schuh, Mag. Gudrun Glöckner, Dr Christine Rinesch, Dea Swoboda, Tanja Jachs, Tanja Thalhammer and to Mag. Josef Syrovatka for the further development of my database "S1".

My scientific partners, contributors to this interdisciplinary study, also deserve my thanks, not only for their competent studies but also for their patience. My thanks also go to Hazel Harrison for her correcting of the English summaries in this book.

A large number of archaeology students from the universities of Graz and Vienna and many different European countries, such as the Republic of Ireland, the United Kingdom, Germany, Hungary, Poland, Italy, Spain, Switzerland and Serbia, as well as from the USA formed part of the international team at the excavation over the years. High school students from Eisenerz and Hieflau also worked at the excavation every year, gaining their first experience at an archaeological excavation, with some of them wor-

king there over several summers: the names of all of them can be found in the German version of the text above.

Local people, mainly retired miners from the large iron mine at the Steirische Erzberg, were most helpful, especially with the heavy work but also for setting up a simple construction for our excavation office; their names are also listed in the German text above.

Without the permission of the landowner, a cooperative called Eisenerzer Waldgenossenschaft, the excavation would not have been possible. Also, the support of the Eisenerz town council was very much appreciated over the years; this allowed us, among other things, to use one of the schools as a hostel for the team, to wash finds there on rainy days in the early years and also included providing transport for us. I also thank all the people from Eisenerz who were interested in our work, visited the excavation and gave us their support.

Last but not least I owe thanks to my family, especially my mother Helene Klemm † for her continuous support and my sister Margit Bollenberger for offering a room in one of her offices in Vienna to work on the pottery in 2017.

I dedicate this study to my mother Helene Klemm † who followed my career as an archaeologist, mainly pursued as a freelancer, with much interest and always gave me her full support.

Finally, I would like to thank my publisher, the Historische Landeskommission für Steiermark in Graz, as well as Ao. Univ.-Prof. Dr Wernfried Hofmeister and Mag. Meinhard Brunner.

Vienna/Semmering, March 2021  
*Susanne Klemm*

Susanne KLEMM

## 1 Einleitung

Die Erforschung der prähistorischen Kupfergewinnung in Österreich zeichnete sich seit ihren Anfängen im 19. Jahrhundert als interdisziplinäre Forschung aus. So war es naheliegend, dass die archäologische Erforschung eines prähistorischen Kupferschmelzplatzes in der Eisenerzer Ramsau als interdisziplinäres Projekt geplant wurde. Auf Initiative des Eisenerzer Bergbauingenieurs Horst Weinek † und mit Unterstützung des sich konstituierenden Kulturvereins Innerberger Forum in Eisenerz setzten bereits ein Jahr nach Entdeckung des ersten Kupferschmelzplatzes in der Eisenerzer Ramsau im Mai 1992 die Vorbereitungen für die erste Ausgrabungskampagne im August/September 1992 ein.

Gerhard Sperl † übernahm in den Jahren 1992–1996 die wissenschaftliche Gesamtleitung des Projekts, während ich als prähistorische Archäologin die Grabungsleitung innehatte. Die Finanzierung dieser ersten interdisziplinären Forschungsarbeiten und der archäologischen Grabungen erfolgte seitens des Bundesdenkmalamtes, der Steiermärkischen Landesregierung (Kultur-, Wissenschafts- und Wirtschaftsabteilung), der Stadtgemeinde Eisenerz, des Österreichischen Archäologischen Instituts und lokaler Sponsoren, die Sachleistungen zur Verfügung stellten.

Vor Beginn der Ausgrabung im August 1992 erstellte Obermarkscheider i. R. Johann Resch † in Zusammenarbeit mit dem Vermessungsteam der VOEST Alpine Erzberg GmbH einen Höhenschichtlinienplan des Fundplatzes und setzte die Eckpunkte des Quadrantennetzes für die Ausgrabung. Auf Basis der geophysikalischen Vermessung des Kupferschmelzplatzes S1 durch Georg Walach jun. im Auftrag seines Vaters Georg Walach †, Montanuniversität Leoben, entnahmen Herbert Pirkl (Wiss. ARGE Geochemie Eisenerz, Probenahme Dr. Eisenhut †) Bodenproben und Anton Drescher, Institut für Botanik/Pflanzenphysiologie, Karl-Franzens-Universität Graz, botanische Proben vom aktuellen Bewuchs für Schwermetalluntersuchungen. Die erste Grabungskampagne 1992 dauerte vier Wochen.

Die ersten archäometallurgischen Untersuchungen von Verhüttungsschlacken vom Kupferschmelzplatz S1 führte Roger C. P. Doonan im Rahmen sei-

ner Dissertation an der University of Sheffield, England, durch, die er im Dezember 1996 vorlegte. Sein Kollege Peter D. Marshall legte bereits 2004 seine Doktorarbeit über Pollenanalysen in der Eisenerzer Ramsau und in Johnsbach, gleichfalls im Rahmen einer Doktorarbeit an der University of Sheffield, vor.

Das im Juli 1994 vom Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank genehmigte Projekt Nr. 4983 „Erstellung eines quantitativen Netzplanes der spätbronzezeitlichen Kupfererzeugung im Alpenraum“ unter der Projektleitung von G. Sperl † am Erich-Schmid-Institut der ÖAW in Leoben, Steiermark, ermöglichte mir, mit der Aufnahme des Fundmaterials und der Auswertung der Befunde zu beginnen. Diese Arbeiten setzte ich im Rahmen eines Folgeprojektes Projekt-Nr. 5787 „Erstellung eines quantitativen Netzplanes der spätbronzezeitlichen Kupfererzeugung im Alpenraum II“ (1996) in Leoben fort.

Im Sommer 1996 übernahm ich schließlich die Gesamtleitung des Forschungsprojektes. Die Grabungsarbeiten konnten in den Sommern 1996, 1997, 1999 und 2000 dank der Finanzierung durch das Steiermärkische Landesmuseum Joanneum (Referat Archäologische Sammlungen/Referat Ur- und Frühgeschichtliche Sammlungen), die Steiermärkische Landesregierung (Wissenschaftsabteilung, Tourismusförderung), die Stadtgemeinde Eisenerz, Wake Forest University (USA) und Sachleistungen von Sponsoren fortgesetzt werden.

Parallel zur Fortführung der Erforschung dieses großen Kupferschmelzplatzes – nach wie vor der größte, interdisziplinär untersuchte prähistorische Kupferschmelzplatz in den Ostalpen – fanden archäologische Prospektionsarbeiten sowie ökologische Untersuchungen von prähistorischen Schlackenhalde in der Eisenerzer Ramsau und Pollenanalysen in Eisenerz statt. Diese Forschungsarbeiten waren Teil des transdisziplinären Kulturlandschaftsforschungsprojektes „Perspektiven zur Gestaltung und Nutzung von Bergbaufolgelandschaften“ (1996–2000), finanziert vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kunst und der Abteilung Wissenschaft und Forschung des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung unter der

Leitung von Roswitha Katter, Joanneum Research, Graz. Die Ergebnisse erschienen 2003 als Band 50 der Mitteilungen der Prähistorischen Kommission an der ÖAW.

Bereits im zweiten Grabungssommer 1993 leitete ich die ersten Schulprojekte mit Klassen der Hauptschule in Eisenerz, auch fand alljährlich ein Tag der offenen Tür statt. In den Folgejahren, insbesondere in den Jahren zwischen 1996–2002, als ich mein Büro für Archäologie & Communication in Eisenerz als selbständige Archäologin mit meinen beiden Schwerpunkten archäologische Forschung und Wissenschaftsvermittlung etabliert hatte, waren weitere Veranstaltungen im Rahmen der mir wichtigen Öffentlichkeitsarbeit an der Tagesordnung.

Neben Führungen für interessierte Besucher und Schulklassen diverser Schultypen aus Eisenerz und der Region, fanden eine Ausstellung zur prähistorischen Kupfererzverhüttung in der neuen Ausstellung des Stadtmuseums Eisenerz (1997), öffentliche Ausstellungen der Schülerarbeiten, Workshops für Erwachsene, eine Vortragsreihe zur Archäologie und Präsentationen der Ergebnisse im Rahmen der Science Week Austria in Eisenerz statt. Einen Überblick über meine Arbeit mit den Schulklassen und weitere Veranstaltungen im Rahmen meiner Öffentlichkeitsarbeit zur Archäologie in der Obersteiermark bietet ein Beitrag im 14. Band der Mitteilungen der KorrespondentInnen der Historischen Landeskommision für Steiermark.

Trotz dieser umfassenden Öffentlichkeitsarbeit und der Initiative mehrerer wissenschaftlicher Büros in diesen Jahren, ein Regionales Forschungszentrum im sogenannten „Amtshaus“, dem ehemaligen Bürogebäude der VOEST Alpine Erzberg GmbH in Eisenerz, aufzubauen, war letztendlich die Resonanz aus der Bevölkerung und seitens der politischen Kräfte zu schwach, um in dieser mittlerweile strukturschwachen Region Forschung vor Ort zu institutionalisieren. Die im Jahr 2001/2002 vom Bundesdenkmalamt, dem Alfred-Schachner-Gedächtnisfonds und der Stadtgemeinde Eisenerz finanzierte Studie zur touristischen Nutzung des montanarchäologischen Ensembles in der Eisenerz Ramsau und im speziellen eine Überdachung und Konservierung eines Teils des Schmelzplatzes kamen bedauerlicherweise gleichermaßen nicht zur Umsetzung. Mein Ziel, einen prähistorischen Kupferschmelzplatz in den Ostalpen möglichst komplett archäologisch zu untersuchen, konnte ich jedoch erst dank der Förderung seitens der Prähisto-

rischen Kommission der ÖAW und der beiden vom österreichischen Wissenschaftsfonds, dem FWF, genehmigten Forschungsprojekte realisieren.

Mit dem ersten FWF-Projekt P16483-G02 „Bronzezeitlicher Kupferschmelzplatz S1, Eisenerz Ramsau“ (2003–2006) und der mit dem Projekt verbundenen Anstellung meiner Person aus Mitteln der ÖAW an der Prähistorischen Kommission waren nun die Fortführung und der Abschluss der archäologischen Ausgrabung sowie weitere wesentliche naturwissenschaftliche Untersuchungen des Fundmaterials gesichert. Ein besonderer Schwerpunkt waren im Rahmen dieses Projektes die anthrakologischen Untersuchungen der Holzkohlen des Kupferschmelzplatzes und der mittelalterlichen Meilergrube, die sich auf dem Ostteil des Kupferschmelzplatzes befand, durch Oliver Nelle, damals Universität Regensburg. Es waren dies zu jener Zeit die ersten anthrakologischen Untersuchungen in Österreich. Die interdisziplinären Ergebnisse zu dieser und einer weiteren historischen Kohlstätte wurden, gleichfalls an der ÖAW, in einem Beitrag der Zeitschrift *Archaeologia Austriaca* im Jahr 2007 publiziert.

Glücklicherweise wurde das Folgeprojekt P21242-G19 „Die ostalpine Kupferhütte in der Bronzezeit“ vom FWF im Oktober 2008 bewilligt. Im Zeitraum April 2009 bis März 2014 folgten weitere interdisziplinäre Untersuchungen sowie neue umfassende archäometallurgische Untersuchungen aus allen Bereichen des Schmelzplatzes durch Steffen Kraus im Rahmen seiner Dissertation bei Ernst Pernicka an der Universität Tübingen bzw. Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH an der Universität Heidelberg in Mannheim. Ferner wurde das zoologische Fundmaterial durch Mona Abd El Karem und Erich Pucher, Naturhistorisches Museum Wien, bearbeitet und die Gesteinsproben – vor allem Baumaterial von Röstbetten und Schmelzöfen – durch Christina Reisch und Karin Gruber, Graz, makroskopisch bestimmt. Parallel zur wissenschaftlichen Betreuung der naturwissenschaftlichen Untersuchungen wurden die archäologische Aufarbeitung von Funden und Befunden sowie die Gesamtauswertung aller Einzelergebnisse fortgesetzt.

Da während der Grabungen auf dem Kupferschmelzplatz S1 nur eine relativ geringe Anzahl an archäologisch datierbarer Keramik gefunden wurde, wurde neben einer Reihe von <sup>14</sup>C-Daten aus verschiedenen Befunden versucht, weitere naturwissenschaftliche Datierungsmethoden anzuwen-

den. Bedauerlicherweise waren jene bronzezeitlichen Holzkohlestücke, die eine ausreichende Anzahl an Jahresringen hatten, bisher nicht dendrochronologisch datierbar. Michael Grabner, BOKU Wien, hofft, dass dies in Zukunft möglich sein wird.

Die Röstbett- und Ofenbefunde auf dem Kupferschmelzplatz, besonders im Westteil der Anlage, waren stratigraphisch sehr gut abgesichert. Aus diesem Grund war das Angebot von Elisabeth Schnepf, Paläomagnetik-Labor der Montanuniversität Leoben in Gams bei Frohnleiten, Steiermark, Proben für archäomagnetische Untersuchungen im Rahmen ihres Lise Meitner Stipendiums (M787-N11) und des FWF-Projektes P 19370-N19, Full vector archaeological field in Central Europe, zu nehmen, sehr willkommen. 1994 und 1996 waren bereits erste Proben von Ian Hedley, Universität Genf, und Hermann Mauritsch, Montanuniversität Leoben, genommen worden. E. Schnepf nutzte nun die Möglichkeit, während der Grabungskampagnen 2003–2006 Proben vom Kupferschmelzplatz S1, der Meilergrube auf dem Schmelzplatz und einer weiteren historischen Kohlstätte für archäomagnetische Untersuchungen im Rahmen ihrer Forschungen zur Erstellung einer Eichkurve für archäomagnetische Datierungen zu nehmen. Unter anderem wurden im Rahmen des EU-geförderten AARCH-Projekts (HPRN-CT2002-00219) auch von Elina Aidona, Montanuniversität Leoben & Aristotle University of

Thessaloniki, und Assunta Trapanese, einer Studentin der University of Bradford, England, einige Proben der Öfen und der Röstbetten archäomagnetisch bearbeitet und jeweils 2006 publiziert.

Viel zu wenig Beachtung seitens der Forschung hatte bisher der Energieträger für den Verhüttungsprozess erhalten. Daher schien es in erster Linie von Bedeutung, anhand von anthrakologischen Untersuchungen durch Oliver Nelle die Holzarten des zur Verhüttung herangezogenen Holzes zu bestimmen. Seit relativ kurzer Zeit zeigen die Umweltwissenschaften großes Interesse an Pflanzenkohlen (*biochars*), insbesondere aufgrund ihrer Rolle im Kohlenstoffkreislauf und als Bodenverbesserer. Thermoanalytische und infrarotspektroskopische Untersuchungen der prähistorischen Holzkohlen vom Kupferschmelzplatz S1 von Ena Smidt, Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien, zeigten deutliche Unterschiede gegenüber den mittelalterlichen und neuzeitlichen Holzkohlen aus der Eisenerzer Ramsau ebenso wie gegenüber rezenter Holzkohlen. Diese bisher einmaligen Forschungsergebnisse wurden 2017 bzw. 2018 publiziert und konnten bereits erfolgreich auf Holzkohlen weiterer neuzeitlicher Fundstellen angewandt werden.

Alle bisher publizierten Forschungen, wissenschaftlichen Beiträge, populärwissenschaftlichen Berichte und Presseberichte sind in einer separaten Bibliographie in Kapitel 8 zusammengefasst.

## 1.1 Zusammenfassung

Die Erforschung der prähistorischen Kupfergewinnung in Österreich reicht bis in das 19. Jahrhundert zurück und zeichnet sich seitdem als interdisziplinäre Forschung aus. So war es naheliegend, dass die archäologische Erforschung eines prähistorischen Kupferschmelzplatzes in der Eisenerzer Ramsau, etwa 7 km südwestlich des Steierischen Erzberges, von Anfang an als interdisziplinäres Projekt geplant wurde. Auf Initiative des Eisenerzer Bergbauingenieurs Horst Weinek †, der die Fundstelle 1991 entdeckte, und mit Unterstützung des sich konstituierenden Kulturvereins Innerberger Forum in Eisenerz fand bereits ein Jahr nach Entdeckung des ersten Kupferschmelzplatzes in der Eisenerzer Ramsau 1992 die erste Ausgrabungskampagne statt.

Im Rahmen der interdisziplinären Erforschung des Kupferschmelzplatzes S1 erfolgten noch vor Grabungsbeginn eine geophysikalische Vermessung, die Erstellung eines Höhenmodells sowie Pro-

bennahmen für erste mineralogisch-geochemische und botanische Untersuchungen. Die Ausgrabungen begannen im Jahr 1992 und wurden bis 2006 fortgeführt. Parallel zur archäologischen Erforschung des komplexen Fundplatzes erfolgten ferner umfassende archäometallurgische Untersuchungen der Rückstände der Kupferproduktion, Bestimmungen des Baumaterials, anthrakologische Untersuchungen der Holzkohlen und die archäozoologische Bestimmung der Tierknochen. Zu Datierung der Fundstelle wurden verschiedene Methoden herangezogen, die Radiokarbonmethode (C14-Methode), die archäomagnetische Datierung sowie die archäologische Datierung anhand von Keramik und Metallfunden.

Die in dieser Publikation präsentierten Ergebnisse der archäologischen und interdisziplinären Erforschung des Kupferschmelzplatzes S1 konnten im Laufe der Jahre nur mittels zahlreicher Koopera-

tionen erarbeitet werden. Durch die Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen wurde aus der anfänglich für vier Wochen geplanten Grabung ein interdisziplinäres und internationales Projekt. Zu nennen sind die Zusammenarbeit mit Roger Doonan, University of Sheffield, England, (erste archäometallurgische Untersuchungen) und mit der Wake Forest University (USA), weiters die Kooperation mit dem von der EU-geförderten AARCH-Projekt zur archäomagnetischen Datierung, dem Paläomagnetiklabor der Montanuniversität Leoben, dem Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH, Mannheim, Deutschland sowie der Universität für Bodenkultur, Wien.

Umfassende finanzielle Mittel von verschiedenen Institutionen in Österreich waren dazu erforder-

## 1.2 Introduction (Summary)

Research on prehistoric copper production in Austria has been characterised as interdisciplinary since its beginnings in the 19th century. Therefore, it was no surprise that archaeological research on a prehistoric copper smelting site in the valley called Eisenerzer Ramsau, about 7 km south-west of Austrian's largest iron mine at the 'Steirische Erzberg' (Styrian Iron Mountain) was planned as such from the very beginning. On the initiative of the Eisenerz mining engineer Horst Weinek † who discovered the site in 1991 and with the support of a cultural association called the Kulturverein Innerberger Forum, the excavation started one year after the discovery of the Copper Smelting Site S1 in 1992.

Before the start of the excavation (1992–2006), the first interdisciplinary investigations, such as the geophysical survey, the survey for the elevation model as well as a study on the vegetation at the site, were carried out. In addition, samples for the preliminary mineralogical-chemical investigations were taken. Furthermore, an archaeometallurgical analysis of slags and other residues of the metallurgical process and a geological description of the building material were undertaken. Anthracological descriptions of charcoals as well as identification of the animal bones found on the site followed. Various methods to date the site were used including radiocarbon and archaeomagnetic dating as well as archaeological dating based on archaeological finds, ceramics and metals.

The results of the archaeological and interdisciplinary research as presented in this publication

lich: Bundesdenkmalamt, Land Steiermark, Stadtgemeinde Eisenerz, Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank, Wissenschaftsfonds FWF und Österreichische Akademie der Wissenschaften in Wien.

Parallel zur Ausgrabung wurde von Anbeginn auf Öffentlichkeitsarbeit großen Wert gelegt. So wurden neben öffentlichen Führungen auf der Grabung, öffentliche Vorträge und vor allem zahlreiche Schulprojekte in Zusammenarbeit mit Schulen aus Eisenerz und der Region veranstaltet und Beiträge in der lokalen Presse publiziert.

Alle bisher publizierten Forschungen, wissenschaftlichen Beiträge, populärwissenschaftlichen Berichte und Presseberichte sind in einer separaten Bibliographie in Kapitel 8 zusammengefasst.

could only be achieved through successful cooperation with a number of Austrian and international partners. Because of the interest of and cooperation with these partners, a small excavation of four weeks turned into an interdisciplinary and international research project of many years. The following collaborations deserve a mention: Georg Walach †, Mining University Leoben, Roger Doonan, then a student at the University of Sheffield, England (first archaeometallurgical investigations), Wake Forest University, USA, cooperation with the AARCH Project on archaeomagnetic dating, financed by the EU, Palaeomagnetic Laboratory of the Mining University Leoben, the Curt-Engelhorn-Centre Archaeometry gGmbH, Mannheim, Germany, and the University of Life Sciences, Vienna.

Various Austrian institutions financed this research: Federal Monuments Authority Austria, Federal Government of Styria, Town Council of Eisenerz, Anniversary Fund of the Austrian National Bank, Austrian Science Fund and Austrian Academy of Sciences in Vienna,

In parallel with the archaeological excavation, public relation work constituted an important issue. Guided tours took place at the site for the public, and public talks and school projects in cooperation with schools from Eisenerz and the region were organised; articles were also published in the local press.

In chapter 8, there is an extensive bibliography listing all scientific publications, papers for the public and press statements.

Susanne KLEMM

## 2 Der Kupferschmelzplatz S1 – Fundort und Fundgeschichte

Der Kupferschmelzplatz S1 befindet sich im Talchluss eines kleinen Hochtales, der Eisenerzer Ramsau, im Nordosten der Eisenerzer Alpen. Die Eisenerzer Ramsau liegt ca. 7 km südwestlich der Stadt Eisenerz auf etwas über 1000 m Seehöhe. Der Talboden wird heute Gemeindealm genannt, auf der bis vor kurzem noch Almwirtschaft betrieben wurde. Das Gebiet gehört zum südlichsten Teil des Gemeindegebietes der Stadt Eisenerz, der Katastralgemeinde Krumpental, und wird vom Ramsaubach und seinen Zuflüssen wie dem Halsbach, dem Kaltenbach, dem Lasitzenbach in der Eisenerzer Ramsau und den östlicher gelegenen Bächen, wie dem Schwarzenbach, von Süden her entwässert. Von Norden münden der Weissenbach sowie mehrere Gräben, die aber nicht immer wasserführend sind, in den Ramsaubach. Der Steirische Erzberg

liegt südöstlich des Stadtzentrums, wo Ramsaubach und Trofengbach zusammenfließen und nun den Erzbach bilden (Abb. 2.1).

Die Umrahmung der Eisenerzer Ramsau wird hauptsächlich von paläozoischen Gesteinen der Nördlichen Grauwackenzone aufgebaut. Lediglich im Nordwesten bilden mesozoische Gesteinseinheiten, die den Nördlichen Kalkalpen zugehörig sind, den Talabschluss (Abb. 2.2). Das Untersuchungsgebiet befindet sich südlich des Ramsaubaches und reicht im Wesentlichen vom Radmerhals im Nordwesten über das Lichteck, den Schnepfenboden, den Ochsenkogel, den Plöchkogel bis zum Blauen Herrgott und dem Teichenegg im Süden und bis zur Talsohle der Gemeindealm im Nordosten. Das Gebiet gehört zur Gänze der Wildfeld-Decke der Nördlichen Grauwackenzone an. In den unteren Hang-

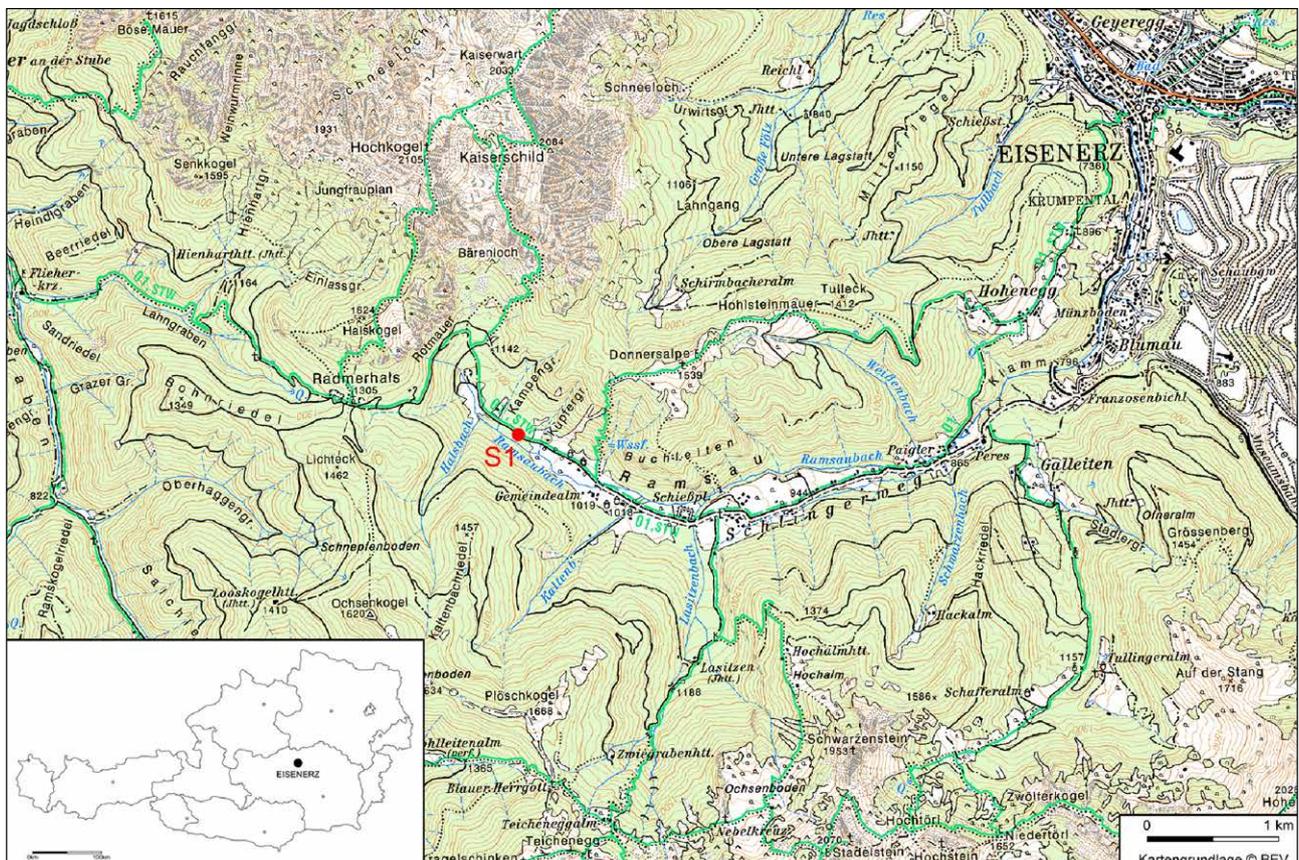


Abb. 2.1: Der Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau.

Fig. 2.1. The Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau.

Kartengrundlage: ÖK 1:50.000, Grafik: S. Klemm, U. Schuh

Map: ÖK 1:50.000; plan: S. Klemm, U. Schuh

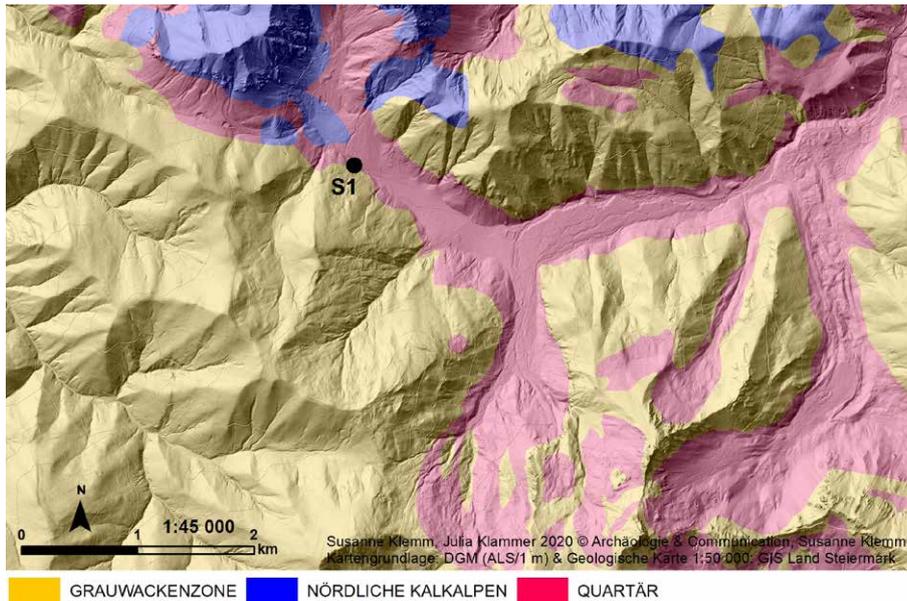


Abb. 2.2: Geologische Einheiten in der Eisenerzer Ramsau.

Kartengrundlage: DGM (ALS/1m) & Geologische Karte 1:50.000, GIS Steiermark; Grafik: S. Klemm, J. Klammer

Fig. 2.2. Geological units, Eisenerzer Ramsau.

Map: DGM (ALS/1m) & Geological Map 1:50.000, GIS Styria; map: S Klemm, J. Klammer

abschnitten dominieren paläozoische Kalke, in den oberen Abschnitten die silurischen Grauwackenschiefer. Das gesamte Gebiet ist von einer mächtigen Verwitterungsschuttdecke überzogen. Schwemmkegel der in den Ramsaubach einmündenden Seitenbäche Halsbach, Kaltenbach und Lasitzenbach prägen die Talmorphologie (Abb. 2.3).<sup>1</sup>

Der Kupferschmelzplatz S1 liegt am linken Ufer des Ramsaubaches im Talschluss der Eisenerzer Ramsau auf rund 1044 m Seehöhe (Abb. 2.4 und 2.5). Die Fläche des Schmelzplatzes wird im Norden durch den alten Weg von Eisenerz bzw. der Gemeindealm über den Radmerhals in das Tal der Radmer, heute ein tief eingeschnittener Hohlweg, begrenzt. Ein jüngerer Holzbringungsweg vom Bach zur parallel zum Hohlweg laufenden Forststraße schneidet den Nordwestrand der Fläche ab. Diese späteren Einschnitte lassen die Fläche des Schmelzplatzes heute als Plateau erscheinen, das etwa 4 m über dem Ramsaubach liegt. Ursprünglich war es ein sanft zur Bachböschung hin abfallendes Gelände mit einem ähnlichen Gefälle wie die heutige Almweide zwi-

schen Schmelzplatz und Forststraße. Der tiefe Einschnitt des Hohlweges und der jüngere Holzbringungsweg zerstörten lediglich den äußersten Randbereich des bronzezeitlich genutzten Areals. Die 1992 vorgefundene Geländeoberfläche auf dem Plateau entstand durch die umfassenden Aktivitäten in der Bronzezeit und im Späten Mittelalter. Am Böschungsfuß des SE-Teils der Verhüttungsanlage war in all den Grabungsjahren ständiger Wassertritt zu beobachten. Im Ostteil der Fläche wurde im Späten Mittelalter eine Meilergrube<sup>2</sup> zur Holzkohleproduktion angelegt. Zu Beginn der Arbeiten 1992 präsentierte sich die Meilergrube als 0,65 m tiefe Mulde mit einem Durchmesser von 5,10 bis 5,80 m nahe der Böschungskante zum Ramsaubach (Abb. 2.3 bis 2.6).

Auf dem Gebiet der Gemeindealm, welches seit dem späten Mittelalter nachweislich bewirtschaftet war, fanden gerade in den letzten 20 Jahren zahlreiche Veränderungen der Geländeoberfläche statt, einerseits durch die Bachregulierung und andererseits durch Baumaßnahmen für Sporteinrichtun-

Abb. 2.3: Morphologie des Talbodens der Eisenerzer Ramsau.

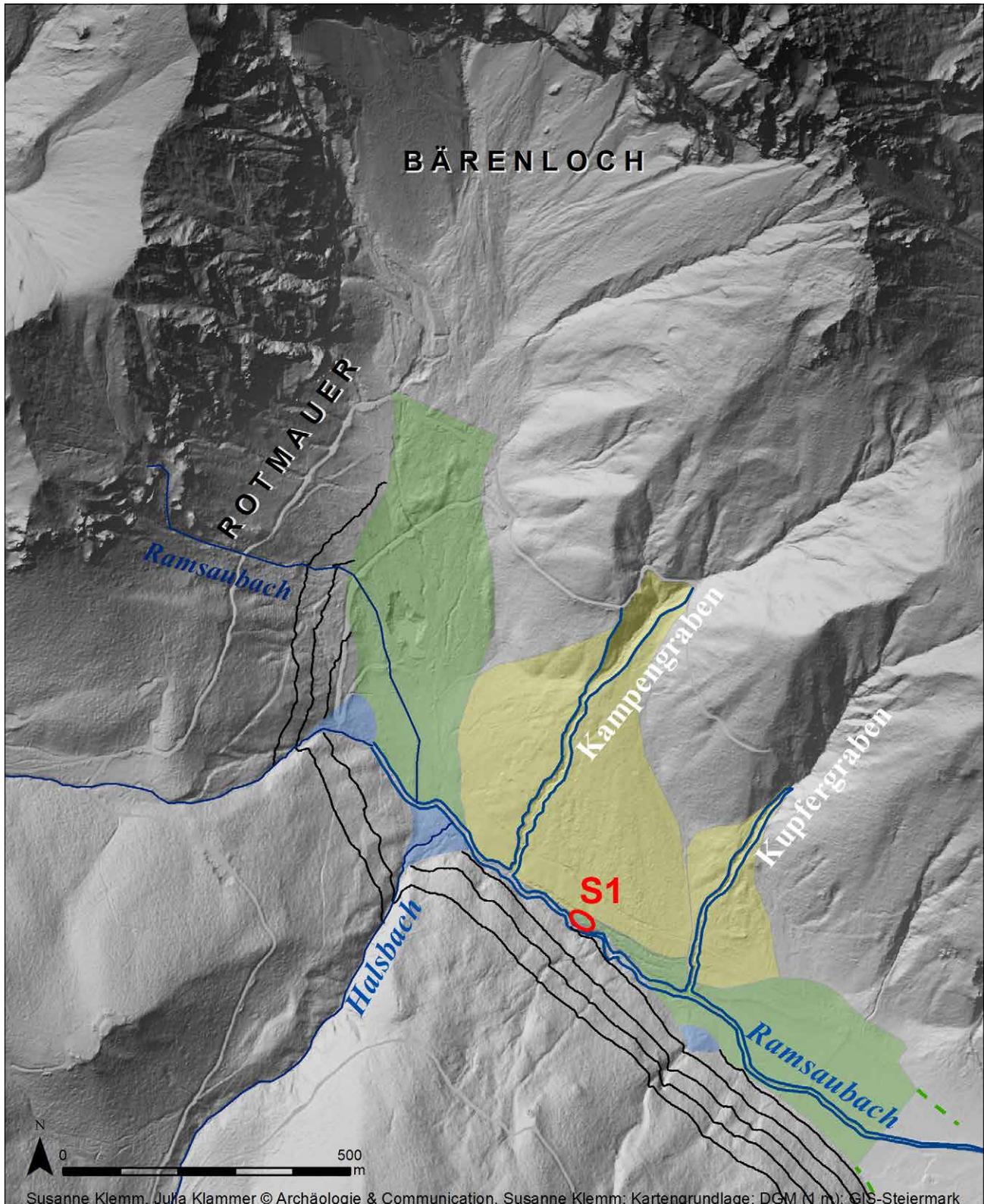
Kartengrundlage: DGM (ALS/1m) GIS Steiermark, nach einer Skizze von Herbert Pirkl; Grafik: S. Klemm, J. Klammer →

Fig. 2.3. Morphology of the valley's base, Eisenerzer Ramsau.

Map: DGM (ALS/1m) & Geological Map 1:50.000, GIS Styria, after a drawing by Herbert Pirkl; map: S Klemm, J. Klammer

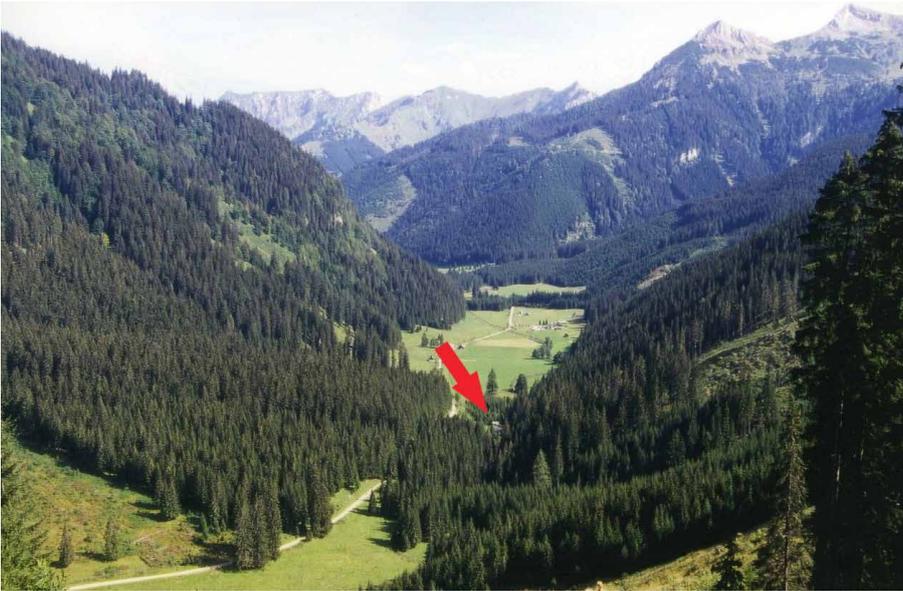
<sup>1</sup> SCHÖNLAUB 1982, 361ff.; PROSKE 2003, 163f. – Zur Geologie und den Vererzungen der Grauwackenzone vgl. Kap. 5 und 6 in diesem Band.

<sup>2</sup> KLEMM u. a. 2005.



### Morphologie Talschluss Eisenerzer Ramsau

- Hangbereiche, teilweise Rutsch- und Kriechhänge
- rezenter Bacheinschnitt
- Murschuttkegel mit v.a. spätpleistozän-frührezenter Anlage
- Talböden mit spätpleistozän-frührezenter Anlage
- rezenter Bachschuttkegel



*Abb. 2.4: Eisenerzer Ramsau mit dem Kupferschmelzplatz S1. Blick von Westen.*

Foto: S. Klemm

*Fig. 2.4. Eisenerzer Ramsau and Copper Smelting Site S1. View from West.*

Photo: S. Klemm

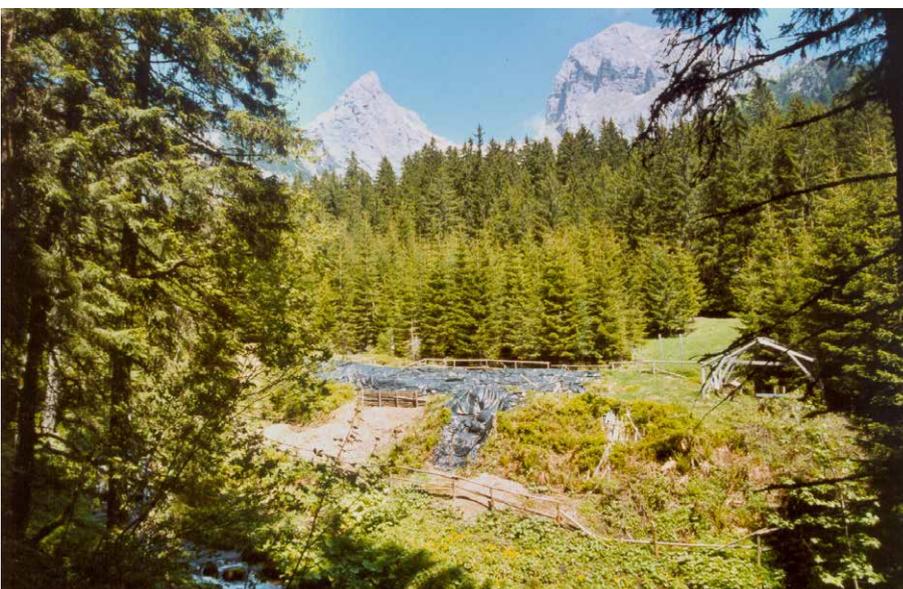


*Abb. 2.5: Der Kupferschmelzplatz S1 nach den Rodungsarbeiten bzw. vor Beginn der Grabungsarbeiten im Sommer 1992.*

Foto: S. Klemm

*Fig. 2.5. Copper Smelting Site S1 after the forest clearance and before the start of the excavation, summer 1992.*

Photo: S. Klemm



*Abb. 2.6: Der Kupferschmelzplatz S1 während der Grabungsarbeiten im Sommer 2002. Blick von Südosten.*

Foto: S. Klemm

*Fig. 2.6. Copper Smelting Site S1 during the excavation in summer 2002. From south-east.*

Photo: S. Klemm

gen. Gerade im Talschluss veränderten Schäden durch Unwetter und die darauf folgenden Forstarbeiten und Vorgaben der Almwirtschaft das ehemalige Geländere relief enorm. Die Altwegabschnitte westlich und östlich des Kupferschmelzplatzes S1 sind die einzigen, heute noch erhaltenen Altwegabschnitte des Altweges von Eisenerz in die Eisenerzer Ramsau bzw. von hier in das westlich benachbarte Tal der Radmer. Neben den Geländeformen ist ein Hufeisen aus dem 15./16. Jahrhundert n. Chr., das auf dem Kupferschmelzplatz S1 während der Grabungen gefunden wurde, der einzige archäologische Nachweis (Abb. 2.6).<sup>3</sup>

Die Auswahl des Platzes ist auch insofern bemerkenswert, als der gesamten Fläche seit der Auflassung der Schmelzhütte in der Bronzezeit bzw. des Grubenmeilers im Späten Mittelalter keinerlei Überlagerung oder Zerstörung durch Vermurung widerfahren ist. Nach Abschluss der Grabung im Sommer 2006 wurden die nur teilweise untersuchten Flächen mit Bauvlies abgedeckt und der gesamte Abraum, der in der Zwischenzeit im östlich angrenzenden Hohlweg gelagert war, ebenso wie der separat deponierte Humus wieder auf die Fläche aufgebracht. Zum Abschluss wurden Samen für einen neuen Weidebewuchs ausgesät (Abb. 2.9 und 2.10).<sup>4</sup>

Der Kupferschmelzplatz S1 wurde am 30. Juni 1991 von Horst Weinek, Eisenerz, entdeckt. Bereits am 7. Juli 1991 fertigte Markscheider Johann Resch, Leoben, die erste Lageskizze an und bezeichnete die Fundstelle als „S1“. Die Fläche war damals von jungen, noch niedrigen Fichten relativ dicht bewachsen. An der Böschung zum Bach lagen stellenweise Schlackenstücke. Ansonsten war auch die Böschung vor allem mit Heidelbeer- bzw. Schwarzbeersträuchern bewachsen. Am Wegrand an der Nordseite des Fundplatzes hatten Kühe den Humus heruntergetreten und damit in situ rotgebrannten Lehm freigelegt. Bei der späteren Ausgrabung wurde an dieser Stelle der Nordrand von Röstbett 4 dokumentiert. Am 12. Juli 1991 führte Georg Walach jun. im Auftrag seines Vaters Georg Walach sen., Montanuniversität Leoben, die geophysikalische Messung durch. Somit stand fest, dass es sich um einen ausgedehnten prähistorischen Kupferschmelzplatz handelte.

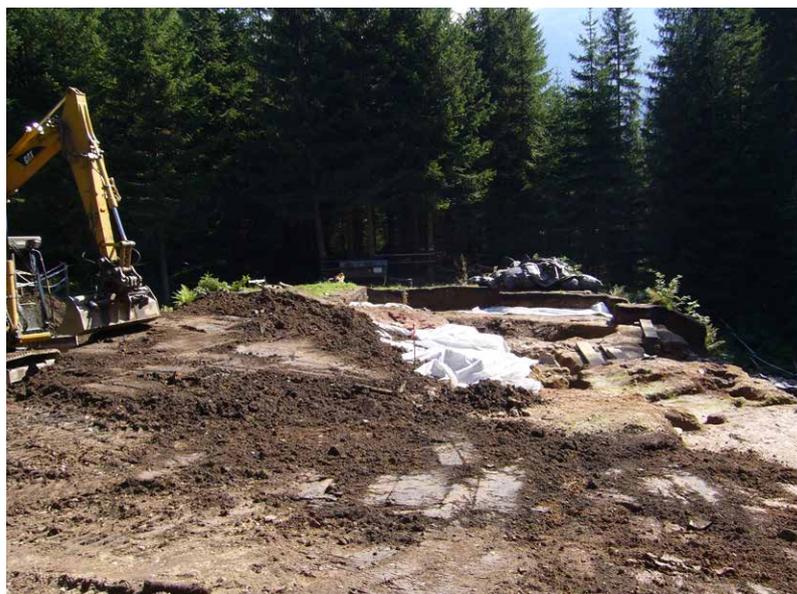
Im Jahr 1992 gelang es auf Initiative von Horst Weinek und des sich konstituierenden Kulturvereins Innerberger Forum, die Finanzierung für die erste Grabungskampagne und die ersten begleitenden naturwissenschaftlichen Untersuchungen zu erreichen, sodass im August/September 1992 die erste Grabungskampagne stattfand. In den Jahren

*Abb. 2.7: Der Kupferschmelzplatz S1 nach Abschluss der Grabungsarbeiten 2006. Schutz der nicht vollständig untersuchten Flächen mit Bauvlies. Blick von Nordwesten. September 2006.*

Foto: S. Klemm

*Fig. 2.7. Copper Smelting Site S1 after the completion of the excavation in 2006. Areas, not completely excavated, were protected. September 2006. From north-west.*

Photo: S. Klemm



<sup>3</sup> KLEMM 2011, 112, Abb. 75–81.

<sup>4</sup> Bereits 2018 waren die Böschungen zum Ramsaubach sowie zum nördlich angrenzenden Altweg durch natürlichen Anflug mit jungen Fichten bewachsen.



*Abb. 2.8: Der Kupferschmelzplatz S1 nach Abschluss der Grabungsarbeiten. Die wiederhergestellte Fläche nach Auftragen des Abraumes 2006. Blick von Nordwesten.*

Foto: S. Klemm

*Fig. 2.8. Copper Smelting Site S1 after the completion of the excavation in 2006.*

*The site after the reconstruction with the waste material 2006. From north-west.*

Photo: S. Klemm



*Abb. 2.9: Der Kupferschmelzplatz S1 nach Abschluss der Grabungsarbeiten. Die Fläche im April 2007. Blick von Nordwesten.*

Foto: S. Klemm

*Fig. 2.9. Copper Smelting Site S1 after the completion of the excavation. The site in April 2007. From north-west.*

Photo: S. Klemm



*Abb. 2.10: Der Kupferschmelzplatz S1 nach Abschluss der Grabungsarbeiten. Die wiederbegrünte Fläche im Oktober 2007. Blick von Nordwesten.*

Foto: S. Klemm

*Fig. 2.10. Copper Smelting Site S1 after the completion of the excavation. The revegetated area in October 2007. From north-west.*

Photo: S. Klemm

1993–1997, 1999, 2000, 2003–2006 wurden die Ausgrabungsarbeiten unter der Mitarbeit von zahlreichen in- und ausländischen Studentinnen und Studenten, freiwilligen Helfern aus Eisenerz und Schülerinnen und Schülern aus Eisenerz und Umgebung durchgeführt. Bei Abschluss der Grabung im Sommer 2006 waren etwa 80 % der Fläche untersucht.

## 2.1 Zusammenfassung

Der Kupferschmelzplatz S1 liegt ca. 7 km südwestlich der Stadt Eisenerz, Steiermark, in der Eisenerzer Ramsau, einem Hochtal auf rund 1044 m Seehöhe und befindet sich in der Nördlichen Grauwackenzone (Abb. 2.1 bis 2.4). Die heute als Plateau erscheinende Fläche des Schmelzplatzes wird im Norden von einem tief eingeschnittenen Altweg begrenzt, im Westen von einem jüngeren Weg, nach Süden hin fällt der Abhang steil zum Ramsaubach ab. Die 1992 angetroffene Geländeoberfläche entstand aufgrund der Aktivitäten in der Bronzezeit und im Späten Mittelalter. Im Ostteil der Fläche wurde im Späten Mittelalter eine Meilergrube zur Holzverkohlungsanlage angelegt (Abb. 2.5, 2.6).

Die Auswahl des Platzes ist insofern bemerkenswert, als seit der Auffassung der bronzezeitlichen Schmelzhütte bzw. des mittelalterlichen Gruben-

In Kapitel 8 dieses Buches befindet sich eine umfassende Bibliographie zu den Fundberichten, wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Publikationen sowie Presseberichten über den Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau (vgl. Kap. 8, Bibliographie Kupferschmelzplatz S1).

meilers keinerlei Überlagerung oder Zerstörung widerfahren ist. Nach Beendigung der archäologischen Ausgrabung im Jahr 2006 wurde die Fläche mit dem gesamten Abraum sowie dem separat gelagerten Humus abgedeckt und somit die ursprüngliche Form nach Möglichkeit wieder hergestellt (Abb. 2.7 bis 2.10).

Die Fundstelle wurde am 30. Juni 1991 von Horst Weinek, Eisenerz, entdeckt. Anhand von Schlackenfundstücken in der Böschung zum Ramsaubach und einer geophysikalischen Vermessung von Georg Walach jun. wurde der Nachweis erbracht, dass es sich um einen prähistorischen Kupferschmelzplatz handelte. Die in der Folge im Zeitraum von 1992–2006 durchgeführten archäologischen Ausgrabungen wurden von umfassenden naturwissenschaftlichen Untersuchungen begleitet.

## 2.2 The Copper Smelting Site S1 in the Valley of the Eisenerzer Ramsau – Site and Site History (Summary)

The Copper Smelting Site S1 is situated in the Eisenerzer Ramsau Valley, ca. 7 km south-west of Eisenerz, a town in Styria, at about 1044 m.a.s.l. The area is part of the geological greywacke zone (Figs. 2.1 to 2.4). The site, today a rather flat plateau, is bordered to the north by a historical road and to the west by a more recent road. To the south there is a steep slope to the Ramsaubach, a small mountain stream. The surface of the site, that we encountered in 1992, was formed as a result of activities in the Bronze Age and in the Late Medieval period, when the site was used for charcoal production in a large artificial pit (Figs. 2.5 and 2.6).

The selection of this site for a working site in the Bronze Age is quite surprising, insofar as there has

been no superposition or destruction since the Bronze Age except for activities in the Medieval period. After the archaeological excavation in 2006 ended, the excavated area was covered up again with all the material from the spoil pile as well as with the remaining humus, so that its original state was re-established (Figs. 2.7 to 2.10).

The site was discovered on 30<sup>th</sup> June 1991 by Horst Weinek from Eisenerz. Finds of copper slag on the slope to the stream and a geophysical survey by Georg Walach Jr served as proof that this was a prehistoric copper smelting site. The archaeological excavation that followed from 1992–2006 was accompanied by extensive scientific investigations.

## 2.3 Literatur / Publications

KLEMM u. a. 2005

KLEMM S./NELLE O./GRABNER M./GEIHOFFER D./SCHNEPP E., Interdisziplinäre Untersuchungen von Kohlstätten aus Mittelalter und Neuzeit in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark. In: *Archaeologia Austriaca* 89 (2005), 269–329.

KLEMM 2011

KLEMM S., Straßen für den Steierischen Erzberg. Archäologisch-historische Altstraßenforschung in der Steiermark, 16.–18. Jahrhundert (= *Forschungen zur geschichtlichen Landeskunde der Steiermark* 51, Wien-Münster 2011).

PROSKE 2003

PROSKE H., Geologie der Eisenerzer Ramsau. In: S. KLEMM, *Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau* (= *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission* 50, Wien 2003), 163f.

SCHÖNLAUB 1982

SCHÖNLAUB H. P., Die Grauwackenzone in den Eisenerzer Alpen (Österreich) (= *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt* 124/2, Wien 1982).

Susanne KLEMM,  
mit Beiträgen von Georg WALACH †, Hassan NEINAVAIE und Anton DRESCHER

### 3 Naturwissenschaftliche Untersuchungen vor Beginn der archäologischen Ausgrabung auf dem Kupferschmelzplatz S1: Geophysikalische, mineralogisch-geochemische und botanische Untersuchungen

Die erste Maßnahme nach der Entdeckung des Fundplatzes durch Horst Weinek, Berginspektor i. R., Eisenerz, im Jahr 1991 war eine geophysikalische Vermessung durch Georg Walach sen., Montanuniversität Leoben. Vor Grabungsbeginn im Sommer 1992 folgte die geodätische Vermessung des Kupferschmelzplatzes S1 durch Erich Salzer, VOEST Alpine Erzberg GmbH und Johann Resch<sup>1</sup>, die vom damaligen, sich gerade konstituierenden Kulturverein Innerberger Forum in Auftrag gegeben wurde (Abb. 3.1 und 3.2). Die Organisation der Ausgrabung ab 17. August 1992 erfolgte durch Horst Weinek und der Grabungsleiterin Susanne Klemm.

Zu Grabungsbeginn, dem 17. August 1992, wurde das Areal in Quadranten im Ausmaß von 5 x 5 m gegliedert, die Eckpunkte mit Nägeln auf Holzpflocken markiert und von Johann Resch eingemessen. Die Eckpunkte der geophysikalischen Vermessung wurden gleichfalls eingemessen (vgl. Kap. 3.1 mit Abb. 3.3).

Im Zuge der geodätischen Vermessung wurde auch der aktuelle Baumbestand eingemessen und durchnummeriert (vgl. Kap. 3.3, Abb. 3.20 und 3.21). Mit der geophysikalischen Vermessung wurde Georg Walach sen., Montanuniversität Leoben, beauftragt. Diese führte Georg Walach jun. am 12. Juli 1992 durch (vgl. Kap. 3.1).

Die Ergebnisse der geophysikalischen Prospektion dienten nicht nur als Grundlage für die botanische Probennahme zur Untersuchung der Schwermetallbelastung der aktuellen Vegetation von Anton Drescher (vgl. Kap. 3.3)<sup>2</sup>, Graz, sondern auch für die Entnahme von Bodenprofilen, die Max Eisenhut<sup>3</sup>, damals Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, mit Unterstützung von Thomas Umfer im Auftrag der VOEST Alpine Eisenerz/Geotechnik durchführte (vgl. Kap. 3.2). Letztere wurden von Gerhard Sperl, Institut für Festkörperphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Leoben, beauftragt.

Nach Auflösung der VOEST Alpine Erzberg/Abteilung Geotechnik wurde die Bearbeitung von der Fa. Umweltgeologie-Geoökologie, Dr. Herbert Pirkl, Eisenerz/Wien<sup>4</sup> weitergeführt. Es sollten die einzelnen Bodenschichten der Bohrprofile boden- und gesteinsgeochemisch beschrieben werden. Diese Untersuchungen hatten zum Ziel, die Schwermetallbelastung des Bodens durch die prähistorische Kupfererzverhüttung zu beschreiben. Parallel dazu wurden 1992/1993 erste mineralogische Untersuchungen von Kupferschlacken und Gesteinen aus der Grabungsfläche sowie von einem Kupfererzstück vom Steirischen Erzberg vorgenommen. Diese Analysen führte der Mineraloge Hassan Neinavaie, Mitarbeiter der Fa. Geoöko, durch (vgl. Kap. 3.2).<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Obermarkscheider Ing. Johann Resch, Leoben. Johann Resch war in seiner aktiven Zeit als Markscheider bei der VOEST Alpine Erzberg GmbH tätig.

<sup>2</sup> Vgl. Kap. 3.3 und ausführlich in DRESCHER 2004.

<sup>3</sup> Dr. Max Eisenhut, Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, das 1994 als Institut für Bodenwirtschaft in das neu errichtete Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft eingegliedert wurde, welches 2002 zur Abteilung Landwirtschaftlicher Boden dem Institut für Waldökologie und Boden des BFW wurde. – Zur Person Dr. Maximilian Eisenhut (1936–1995) vgl. den Nachruf von SCHNEIDER 1995, 7f.

<sup>4</sup> Umweltgeologie-Geoökologie, 1180 Wien / Wiss. ARGE Geochemie, 8790 Eisenerz, Dr. Herbert Pirkl.

<sup>5</sup> H. NEINAVAIE, Bericht über bodenchemisch-mineralogische Untersuchungen im Bereich eines Kupferschmelzplatzes in der Eisenerz Ramsau, September 1993. Umweltgeologie-Geoökologie, 1180 Wien / Wiss. ARGE Geochemie, 8790 Eisenerz, Dr. Herbert Pirkl. (Archiv S. Klemm)

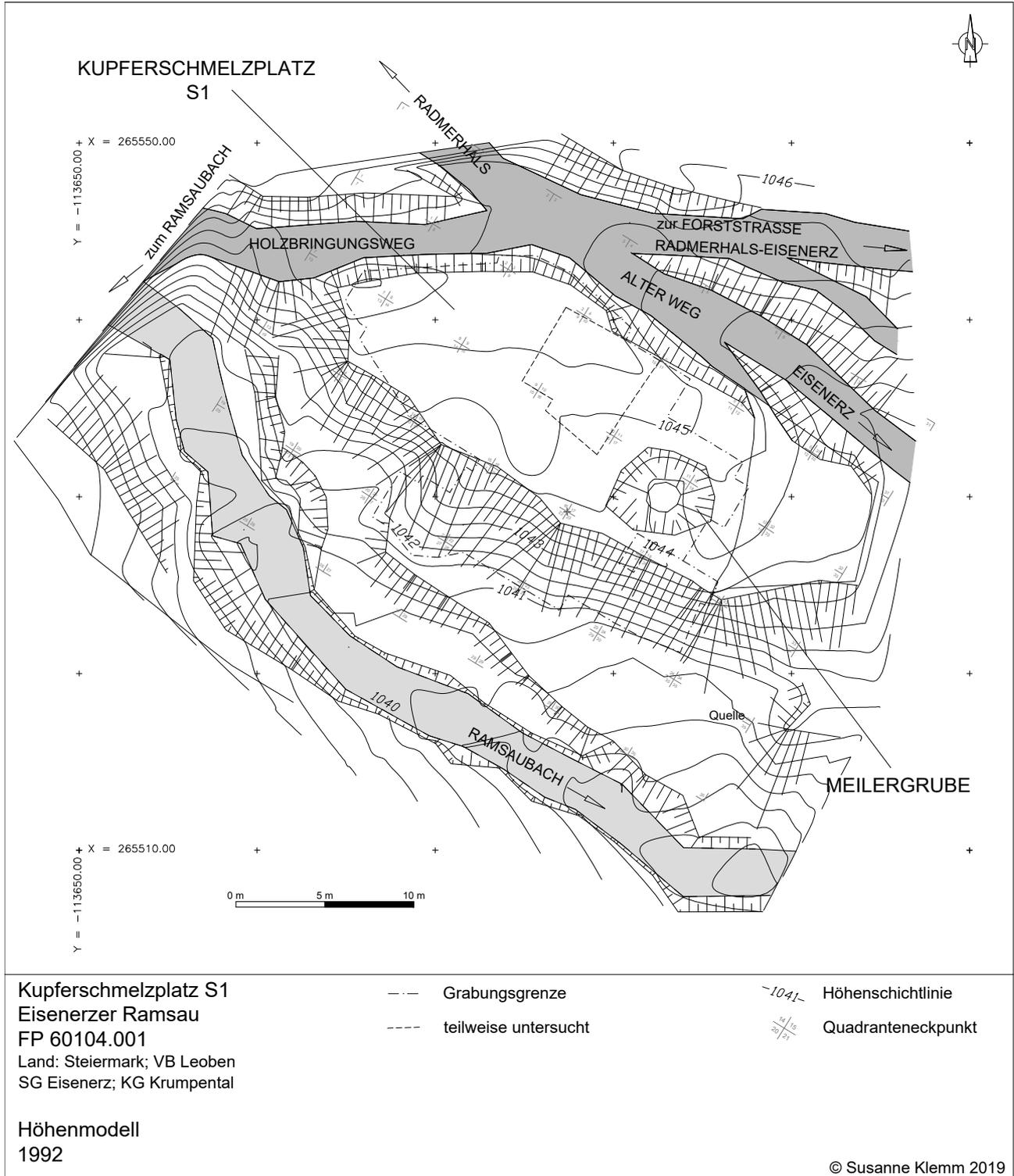


Abb. 3.1: Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau. Höhenmodell. Geodätische Vermessung, E. Salzer, J. Resch 1992.  
Kartengrundlage: Vermessung VA Erzberg GmbH; Grafik: S. Klemm, U. Schuh

Fig. 3.1. Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau. Elevation model. Survey by E. Salzer, J. Resch 1992.  
Map: Survey VA Erzberg GmbH; plan: S. Klemm, U. Schuh



Abb. 3.2: Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau. Geodätische Vermessung mit Johann Resch, links im Bild und Mitarbeitern der VOEST Alpine Erzberg GmbH, 1992.

Foto: S. Klemm

Fig. 3.2. Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau. Survey with J. Resch (left) and colleagues from VOEST Alpine Erzberg GmbH, 1992.

Photo: S. Klemm

Georg WALACH sen. †

### 3.1 Geophysikalische Prospektion vor Grabungsbeginn 1992

Auf dem Kupferschmelzplatz S1 wurden hochauflösende geophysikalische Detailmessungen durchgeführt.<sup>6</sup> Dabei kam neben der Geomagnetik auch eine hochauflösende Elektromagnetik zur Anwendung. Der Plan des geomagnetischen Störfeldes (Messpunktraster 1 x 1 m) wird in Abbildung 3.4 dargestellt.<sup>7</sup> Trotz der schematisierten-plakativen Darstellungsart waren die Positionen von einem

Teil der später untersuchten Objekte der Kupfererzverhüttung auf dem Kupferschmelzplatz S1 deutlich anhand der Gelb- und Rottöne ersichtlich (vgl. dazu Kap. 4). Es wurden geomagnetische und geoelektrische Anomalien, wie sie für prähistorische Kupferschmelzplätze in den Eisenerzer Alpen bereits seit 1979 und vor allem in den frühen 1980er Jahren charakteristisch waren, erfasst (Abb. 3.3–Abb. 3.5).<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Univ.-Doz. Dr. mont. Georg Walach, Institut für Geophysik, Montanuniversität Leoben, Geophysikalische Untersuchungen zur urzeitlichen Kupfergewinnung in der Eisenerzer Ramsau, Stmk., Zusammenfassender Bericht 1992–1995. Leoben im Februar 1996. Der Bericht war gerichtet an: Kulturverein Innerberger Forum, Schulgasse 1, A-8790 Eisenerz, insbesondere S. 9, Beilagen 9 und 10. (Archiv S. Klemm). Zur Person von G. Walach sen. siehe den Nachruf: N. N., Triple-M, Zeitschrift der Montanuniversität Leoben (1/2011), 13.

<sup>7</sup> Kopien der Geomagnetik, vgl. Abb. 3.3 und 3.4 im Text, wurden der Grabungsleiterin übergeben. Der Plan des geomagnetischen Störfeldes (Messpunktraster 1 x 1 m) entstammt dem Bericht von G. WALACH sen. 1996.

<sup>8</sup> Z. B. WALACH 1979 (BHM 124/8, 1979, 388); weitere Literatur in KLEMM 2003, 160f.

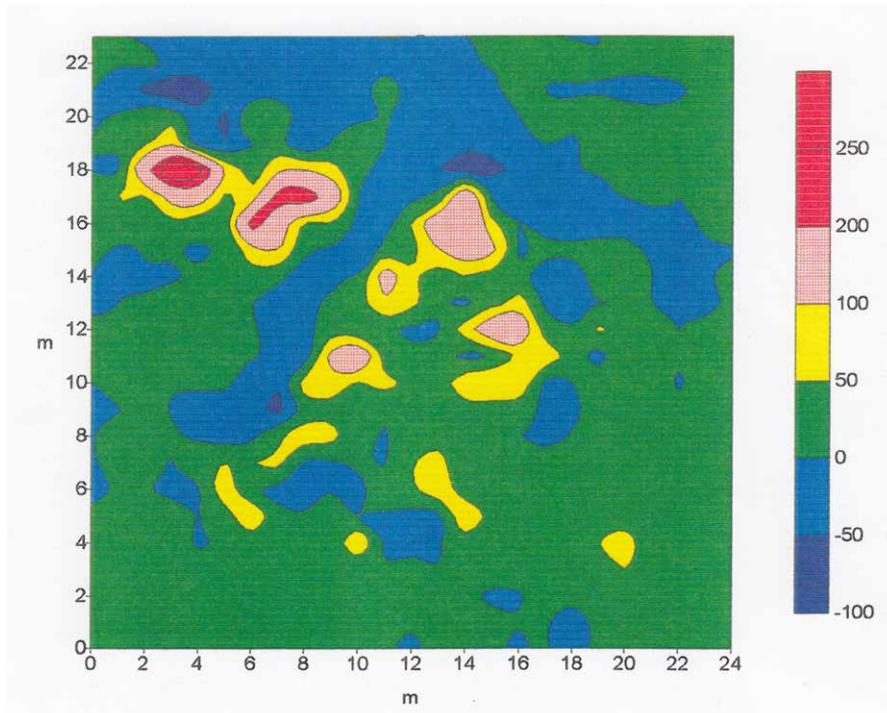


Abb. 3.3: Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau. Geomagnetisches Anomaliefeld (nT) bezogen auf 47500 nT. Messung 12. Juli 1991.

Grafik: G. Walach sen. †

Fig. 3.3. Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau. Geomagnetic anomaly field (nT) referenced on 47500 nT. Geophysical survey 12. Juli 1991.

Graphic: G. Walach sen. †

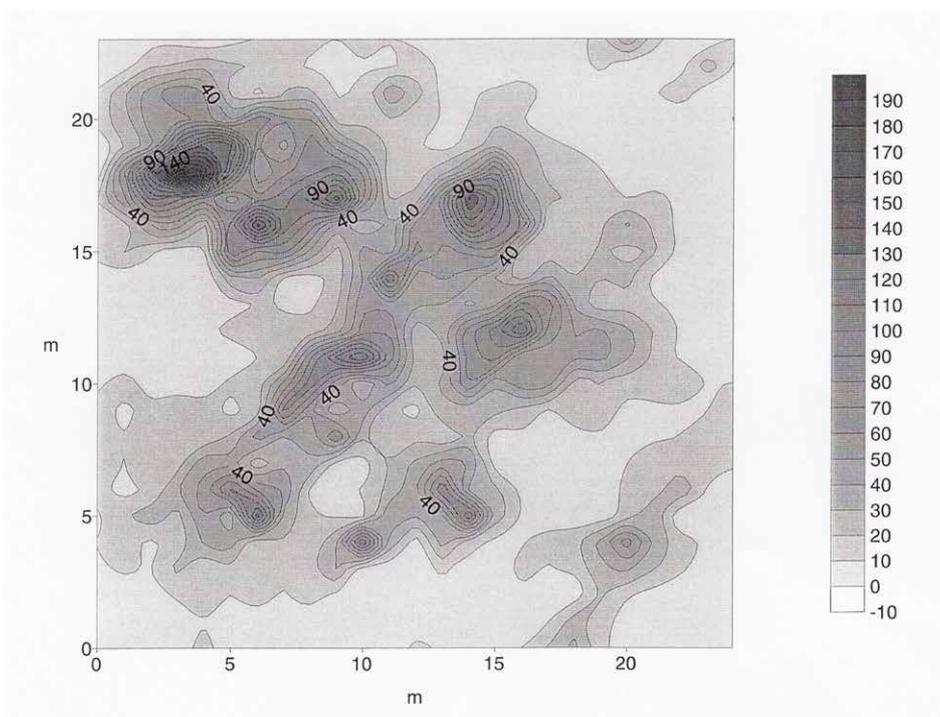


Abb. 3.4: Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau. Magnetischer Störgradient (nT/m). Messung 12. Juli 1992.

Grafik: G. Walach sen. †

Fig. 3.4. Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau. Magnetic gradient of perturbation (nT/m). Survey 12. Juli 1992.

Graphic: G. Walach sen. †

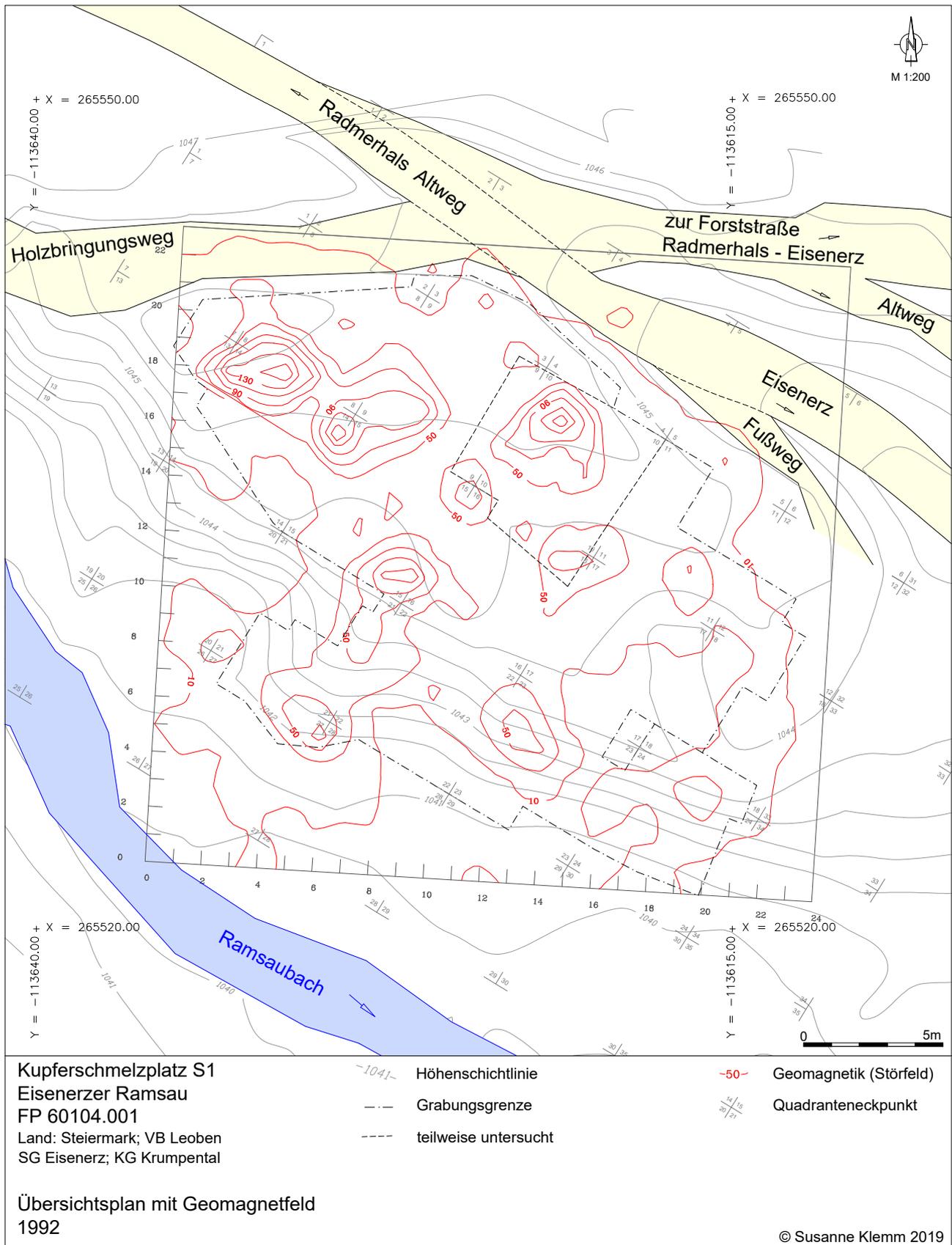


Abb. 3.5: Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau. Übersichtsplan mit Geomagnetfeld, Höhenmodell und Quadrantennetz.

Plan: S. Klemm, U. Schuh

Fig. 3.5. Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau. General plan with geomagnetic field, elevation model and net of quadrants.

Plan: S. Klemm, U. Schuh

Hassan NEINAVAIE

### 3.2 Mineralogisch-geochemische Untersuchungen und Probennahme von Bodenprofilen vor Grabungsbeginn 1992

Ziel der Untersuchungen war es, durch Spurenelemente von Kupferschlacken des Kupferschmelzplatzes S1 in der Eisenerzer Ramsau und Erzminerale Hinweise zur Herkunft des Ausgangserzes zur Kupfergewinnung zu erhalten. Als primäres Kupfererz wurde vorerst die Fahlerz-Kupferkiesmineralisation aus dem Bergbaurevier Steirischer Erzberg herangezogen.

Anhand der Bodenprofile vor Beginn der Grabungsarbeiten konnten nicht nur Probenmaterial für die mineralogisch-geochemischen Untersuchungen, sondern bereits erste Indizien für die Mächtigkeit der archäologischen Schichten gewonnen werden.

#### 3.2.1 Probennahme vor Grabungsbeginn und Ziel der geochemischen Untersuchungen

Vor Grabungsbeginn wurden am 17. August 1992 im Bereich des Kupferschmelzplatzes S1 in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark, drei Bodenprofile mittels Hohllochbohrer gewonnen. Ein viertes Profil wurde knapp außerhalb als Vergleichspunkt be-

probt. Die Proben wurden von Dr. Max Eisenhut †, Institut für Bodenwirtschaft, unter Mitarbeit von dem damaligen Studenten der Geologie Thomas Umfer und in Begleitung der Grabungsleiterin Susanne Klemm entnommen (Abb. 3.6 und 3.7, Anhang 1, Abb. 3.8 bis 3.18).

Ziel der geochemischen Untersuchungen bzw. der für alle Bodenhorizonte ausgeführten Multielementanalytik war die Charakterisierung einerseits der beginnenden Bodendynamik auf diesen Kultursubstraten und andererseits die Schwermetallgehalte und -verteilungen (Anhang 1; Abb. 3.8 bis 3.11).

Neben den Bodenprofilen wurden auch zwei Kupferschlacken in die Analytik einbezogen. Als primäres Kupfererz wurde eine Probe der Fahlerz-Kupfermineralisation aus dem Bergbaurevier Steirischer Erzberg herangezogen.<sup>9</sup>

Die in diesem Beitrag vorgelegten Arbeiten umfassen die Beschreibung der Beprobung von vier relevanten Bodenprofilen (vgl. Anhang 1: Bodenprofil 1, 920501–920507; Bodenprofil 2, 920514–920518; Bodenprofil 3, 920526–920531; Bodenprofil 4, 920538–920541):



Abb. 3.6: Beprobung eines Bodenprofils in Quadrant 10.

Foto: S. Klemm

Fig. 3.6. Sampling of a soil profile in quadrant 10.

Photo: S. Klemm

<sup>9</sup> Es soll hier angemerkt werden, dass für eine definitive Aussage über die Herkunft des Erzmaterials für den Verhüttungsprozess auf dem Kupferschmelzplatz S1 weitere Untersuchungen an verschiedenen Kupfererztypen der näheren Umgebung des Schmelzplatzes nach wie vor notwendig wären.

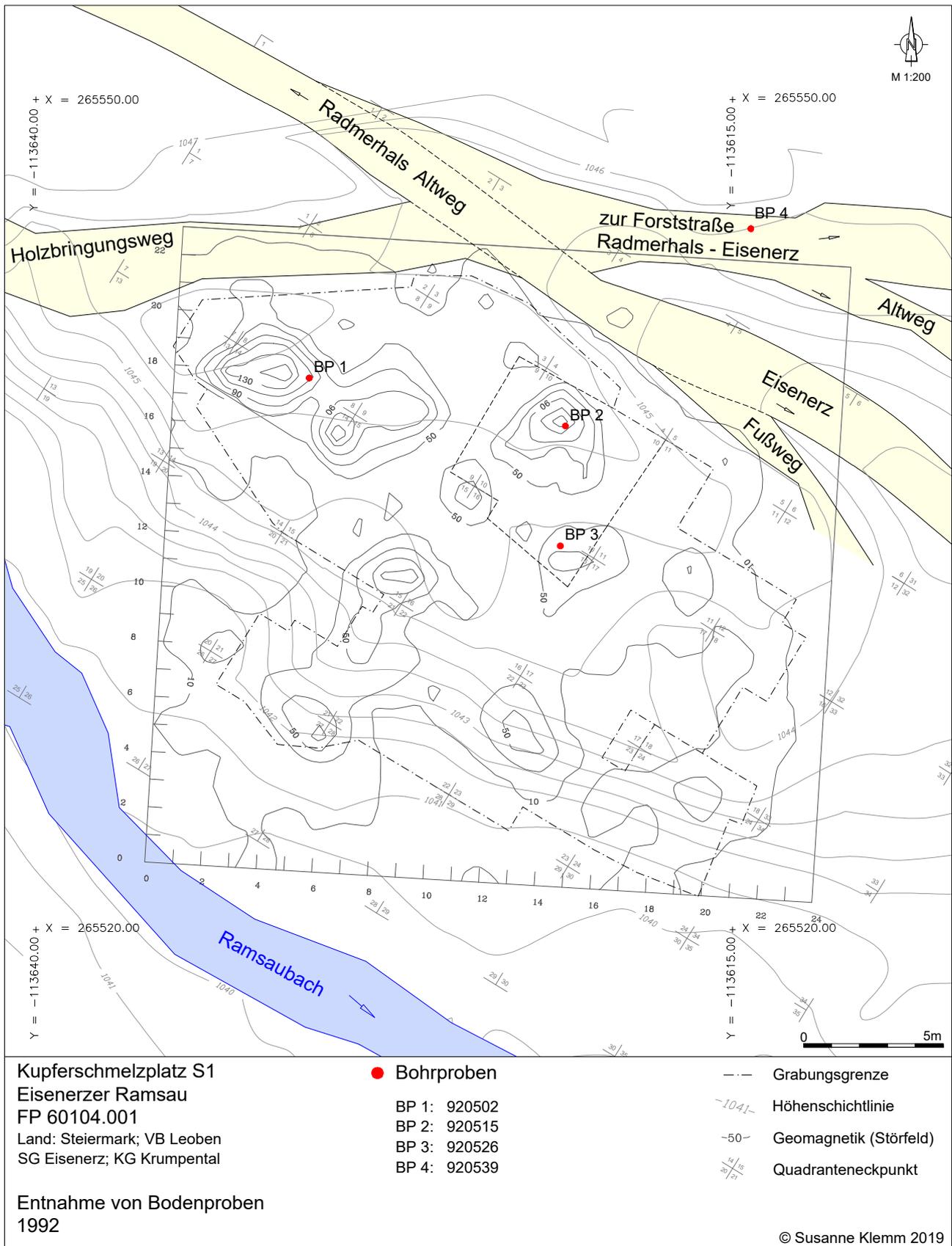


Abb. 3.7: Kupferschmelzplatz S1. Übersichtsplan zur Probennahme. Lage der Bodenprofile 1-4 (Probenpunkte 920502, 920515, 920526, 920539).

Plangrundlage geomagnetische Vermessung v. G. Walach und Höhenmodell; Grafik: S. Klemm, U. Schuh

Fig. 3.7. Copper Smelting Site S1. General Plan of Sampling. Samples 1-4 (point numbers 920502, 920515, 920526, 920539).

Plan: geomagnetic survey by G. Walach and elevation model; plan: S. Klemm, U. Schuh

- die Bearbeitung der Geländebodenbeschreibungen nach international verwendetem FAO-Standard (vgl. Anhang 1)
- die Multielementanalytik an 23 Bodenproben und 8 Gesteins- und Schlackenproben (vgl. Anhang 1)
- die mineralogische Phasenanalytik an ausgewählten Boden- und Gesteinsproben (vgl. Kap. 3.2.2.1)
- die Auswertung der Analytik sowie ein erster Versuch einer Zuordnung zu bekannten lokalen Mineralisationen (vgl. Tab. 3.2 bis 3.7).

### 3.2.2 Auswertung und Interpretation

#### 3.2.2.1 Mineralphasenuntersuchungen

Zur Identifizierung der Mineralphasen wurden neben mikroskopischen Untersuchungen (im Durch- und Auflicht) auch Röntgendiffraktometrie heran-

gezogen. Die Spurenelementgehalte der festgestellten Mineralphasen wurden anschließend mittels Elektronenstrahlmikrosonde semiquantitativ und quantitativ an der Montanuniversität Leoben/Institut für Mineralogie und am Institut für Mineralogie der Universität Innsbruck untersucht.

Die sehr heterogen aufgebauten Schlacken – stückige Schlacke und in Bodenproben festgestellte Schlackenkomponenten weisen dieselbe Zusammensetzung auf – sind aus folgenden Mineralphasen aufgebaut (Tab. 3.1):

In den Abbildungen 3.8 und 3.9 werden einige der Mineralphasen dargestellt. Bornit, Kupferkies sowie z. T. auch Kupferglanz bilden hier wahrscheinlich das primäre Ausgangserz. Die Kupferminerale, insbesondere metallisches Kupfer, weisen nicht selten auch einen geringeren Gehalt bis Spuren von As, Sb, Co, Zn und Ni auf (siehe Abb. 3.10 bis 3.16, Tab. 3.2 bis 3.4).

Tab. 3.1: Mineralphasen in stückiger Schlacke und in Bodenproben festgestellte Schlackenkomponenten.

Tab. 3.1. Mineral phases in slag pieces and slag components of soil samples.

Mineralphasen in stückiger Schlacke und in Bodenproben festgestellte Schlackenkomponenten	Mineral phases in slag pieces and slag components in soil samples
Metallisches Kupfer (mit 0.3–0.4 % As, 0.8 % Ni)	Metallic copper (with 0.3–0.4 % As, 0.8 % Ni)
Kupferglanz	Chalcocite
Cuprit	Cuprite
Bornit (Buntkupferkies)	Bornite
Kupferkies (primär sowie als Einschlüsse in Magnesioferrit)	Chalcopyrite (primary as well as inclusion in magnesioferrite)
(Fe,Cu)Oxyd („Delafossit“)	(Fe,Cu)Oxide (‘Delafossite’)
Magnetit und Cuprospinel	Magnetite and Cuprospinel
Hämatit (in Schlacken, Werfener Schiefer und Hämatitderberz)	Hematite (in slags, Werfener shist and hematite ore)
Wüstit	Wüstite
Magnesioferrit (mit Spuren von Zn und Ni)	Magnesioferrite (with traces of Zn and Ni)
Olivinmischkristalle – Fayalit und Monticellit (meist mit bis 1.4 % MnO und einigen Prozent CuO im Saumbereich)	Olivine solid solutions – Fayalite and Monticellite (often contain up to 1.4 % MnO and some percent CuO in the edges)
Hedenbergit	Hedenbergite
Baryt (in Schlacken sowie in Hämatitderberz)	Baryte (in slags as well as in hematite ore)
Sekundäre Cu- und Fe-Minerale wie Malachit, Azurit, Eisenhydroxyde mit bis 1.9% CuO und „Chrysokoll“	Secondary Cu and Fe minerals such as malachite, azurite, iron hydroxides with up to 1.9 % CuO and “chrysocolla”
Glasphase (häufig mit bis 2.5 % CuO, P, Cl, S, K, Mn, Ba, Ti)	Glass phase (often contains up to 2.5 % CuO, P, Cl, S, K, Mn, Ba, Ti)
Quarz, Feldspat und sehr häufig auch Holzkohle	Quartz, feldspar and very frequently charcoal

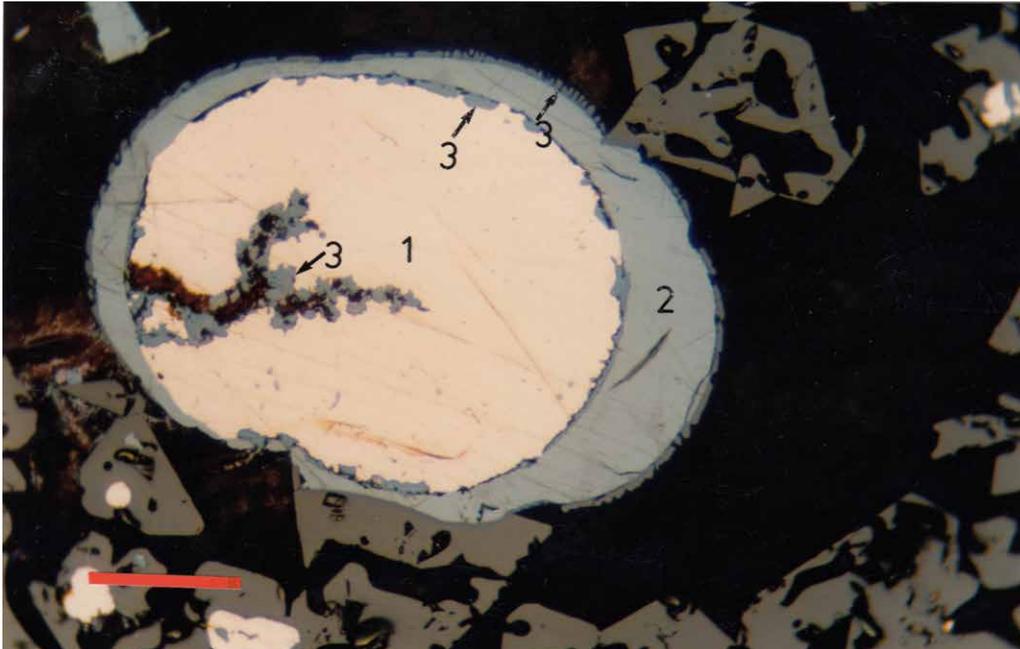


Abb. 3.8: Metallisches Kupfer (1) mit Cupritsaum (3), Kupferglanz (2) sowie skelettartige Magnetitkristalle (4) in silikatischer Grundmasse (schwarz). Probe 91EE-1, Kupferschlacke. Kupferschmelzplatz S1. Polierter Dünnschliff, Nicols parallel, Marke = 0,5 mm, Ölimmersion.

Foto: H. Neinavaie

Fig. 3.8. Metallic copper (1) surrounded by cuprite (3), chalcocite (2) and magnetite crystals (4) in silicate matrix (black). Sample 91EE-1, copper slag. Copper Smelting Site S1. Polished thin section, parallel Nicols, scale = 0.5 mm, oil immersion.

Photo: H. Neinavaie



Abb. 3.9: Delafossit (D) als Saum um „Cuprospinell“ (Cs) und als leistenförmige Kristalle. Grundmasse besteht aus kristallinen und glasigen Silikatphasen. Probe 920845 Kupferschlacke, Kupferschmelzplatz S1 (FNR 68, Qu 8). Polierter Dünnschliff, Nicols parallel, Marke = 0.05 mm, Ölimmersion.

Foto: H. Neinavaie

Fig. 3.9. Delafossite (D) appears around 'Cuprospinell' (Cs) and as lath-shaped crystals. The matrix are crystalline and glassy silicate phases. Sample 920845 copper slag, Copper Smelting Site S1 (FNR 68, Qu 8). Polished thin section, parallel Nicols, mark = 0.05 mm, oil immersion.

Photo: H. Neinavaie

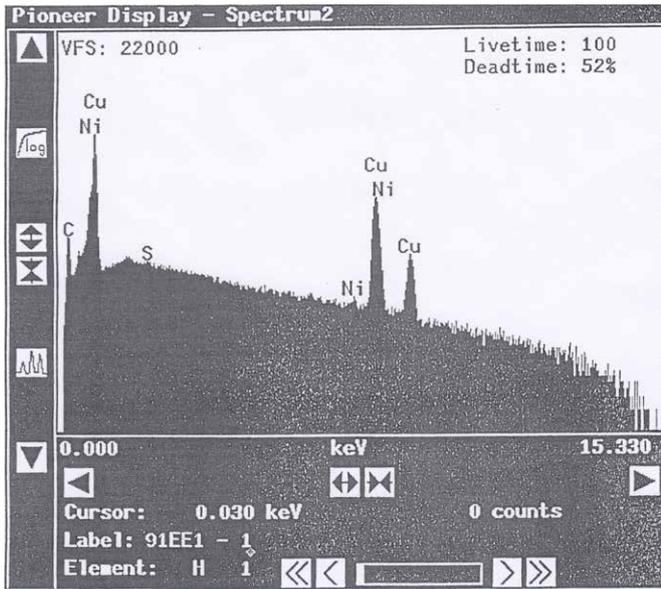


Abb. 3.10: Semiquantitative Analyse von metallischem Kupfer mittels Mikrosonde (energiedispersives Analysensystem). Probe 1EE-1, Kupferschlacke. Kupferschmelzplatz S1.

Fig. 3.10. Semiquantitative analysis of metallic copper using microprobe (energy dispersive analysis system). Sample 1EE-1, copper slag. Copper Smelting Site S1.

Tab. 3.2: Chemische Zusammensetzung des metallischen Kupfers (Mikrosondenanalytik). Probe 1EE-1, Kupferschlacke.

Tab. 3.2. Chemical composition of metallic copper (microprobe analytics). Sample 1EE-1, copper slag. Copper Smelting Site S1.

Element	O	Cu	As	Sb	Ni	Fe	Mn	Co	S	Total
Wt %	0.33	97.75	0.41	0.11	0.73	0.12	0.00	0.00	0.55	100.01

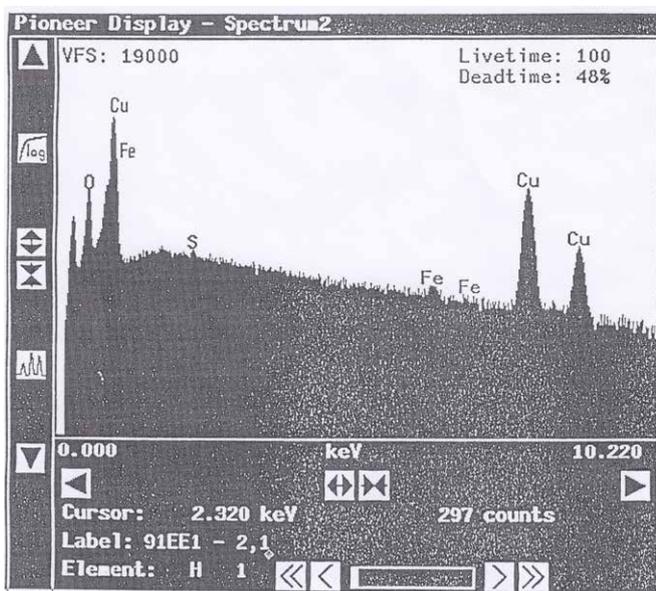


Abb. 3.11: Semiquantitative Analyse von Cuprit mittels Mikrosonde (energiedispersives Analysensystem). Probe 1EE-1, Kupferschlacke. Kupferschmelzplatz S1.

Fig. 3.11. Semiquantitative analysis of cuprite using microprobe (energy dispersive analysis system). Sample 1EE-1, copper slag. Copper Smelting Site S1.

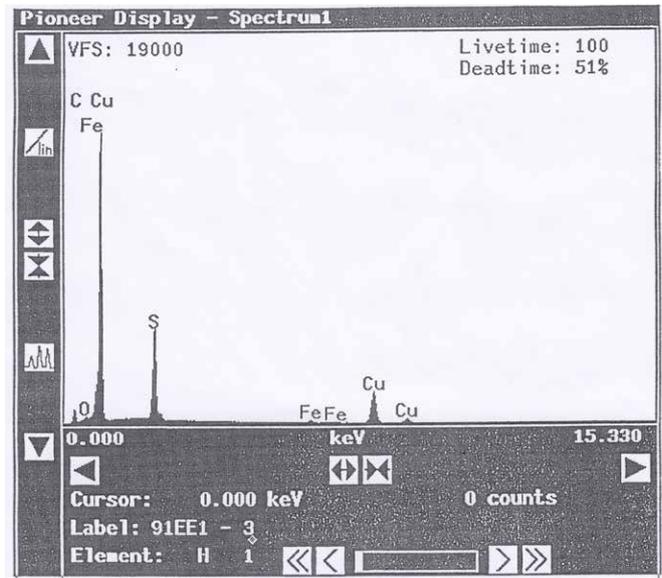
Tab. 3.3: Chemische Zusammensetzung des Cuprits (Mikrosondenanalytik). Probe 1EE-1. Kupferschmelzplatz S1.

Tab. 3.3. Chemical composition of cuprite (microprobe analytics). Sample 1EE-1, copper slag. Copper Smelting Site S1.

Element	O	Cu	As	Sb	Ni	Fe	Mn	Co	S	Total
Wt %	11.67	88.18	0.00	0.00	0.33	0.64	0.00	0.00	0.18	101.00

Abb. 3.12: Semiquantitative Analyse von Kupferglanz mittels Mikrosonde (energiedispersives Analysensystem). Probe 1EE-1, Kupferschlacke. Kupferschmelzplatz S1.

Fig. 3.12. Semiquantitative analysis of chalcocite using microprobe (energy dispersive analysis system). Sample 1EE-1, copper slag. Copper Smelting Site S1.



Tab. 3.4: Chemische Zusammensetzung des Kupferglanzes (Mikrosondenanalytik). Probe 1EE-1, Kupferschlacke. Kupferschmelzplatz S1.

Tab. 3.4. Chemical composition of chalcocite (microprobe analytics). Sample 1EE-1, copper slag. Copper Smelting Site S1.

Element	O	Cu	As	Sb	Ni	Fe	Mn	Co	S	Total
Wt %	0.00	76.54	0.14	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	19.61	97.74

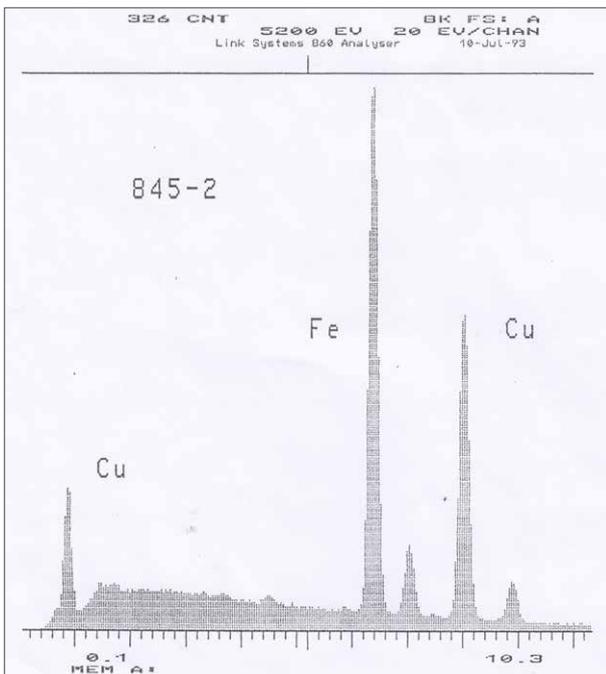


Abb. 3.13: Semiquantitative Analyse von Delafossit mittels Mikrosonde (energiedispersives Analysensystem). Probe 920845, Kupferschlacke. Kupferschmelzplatz S1, FNR 68.

Fig. 3.13. Semiquantitative analysis of Delafossite using microprobe (energy dispersive analysis system). Sample 1EE-1, copper slag. Copper Smelting Site S1, FNR 68.

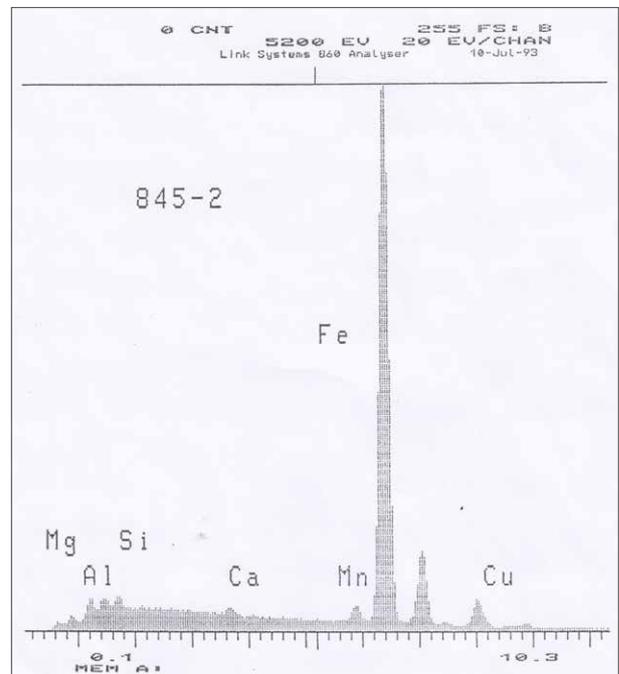


Abb. 3.14: Semiquantitative Analyse von „Cuprospinnell“ mittels Mikrosonde (energiedispersives Analysensystem). Probe 920845, Kupferschlacke. Kupferschmelzplatz S1, FNR 68.

Fig. 3.14. Semiquantitative analysis of 'cuprospinel' using microprobe (energy dispersive analysis system). Sample 920845, copper slag. Copper Smelting Site S1, FNR 68.

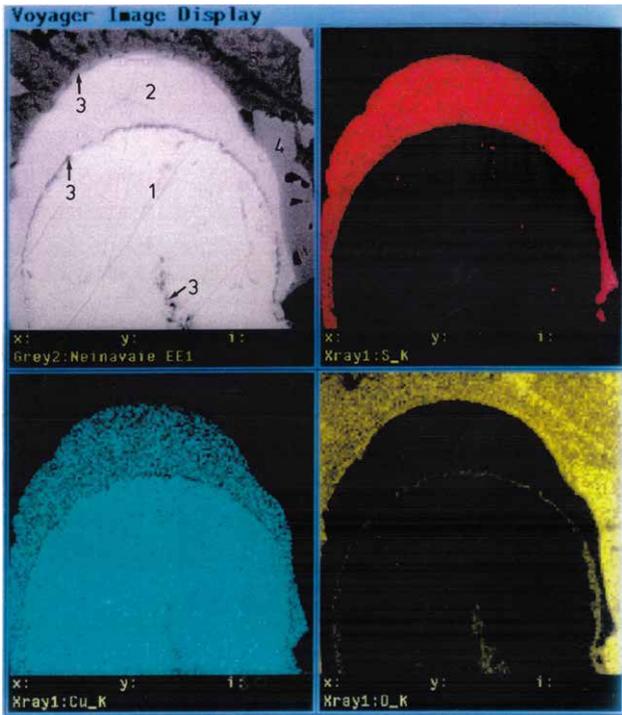


Abb. 3.15: Elementverteilungsbilder von S, Cu und O in metallischem Kupfer (1), Kupferglanz (2), Cuprit (3), Magnetitkristalle (4) und Olivinmischkristalle (5). Oben links Oberflächenabbildung mittels sekundärer Elektronen (siehe auch Abb. 3.8). Vergrößerung etwa 800x. Probe 1EE-1, Kupferschlacke. Kupferschmelzplatz S1.

Fig. 3.15. Elemental distribution patterns of S, Cu and O in metallic copper (1), chalcocite (2), cuprite (3), magnetite crystals (4) and olivine crystals (5). Top left, surface mapping using secondary electrons (see also Fig. 3.8). Magnification about 800x. Sample 1EE-1, copper slag, Copper Smelting Site 1.

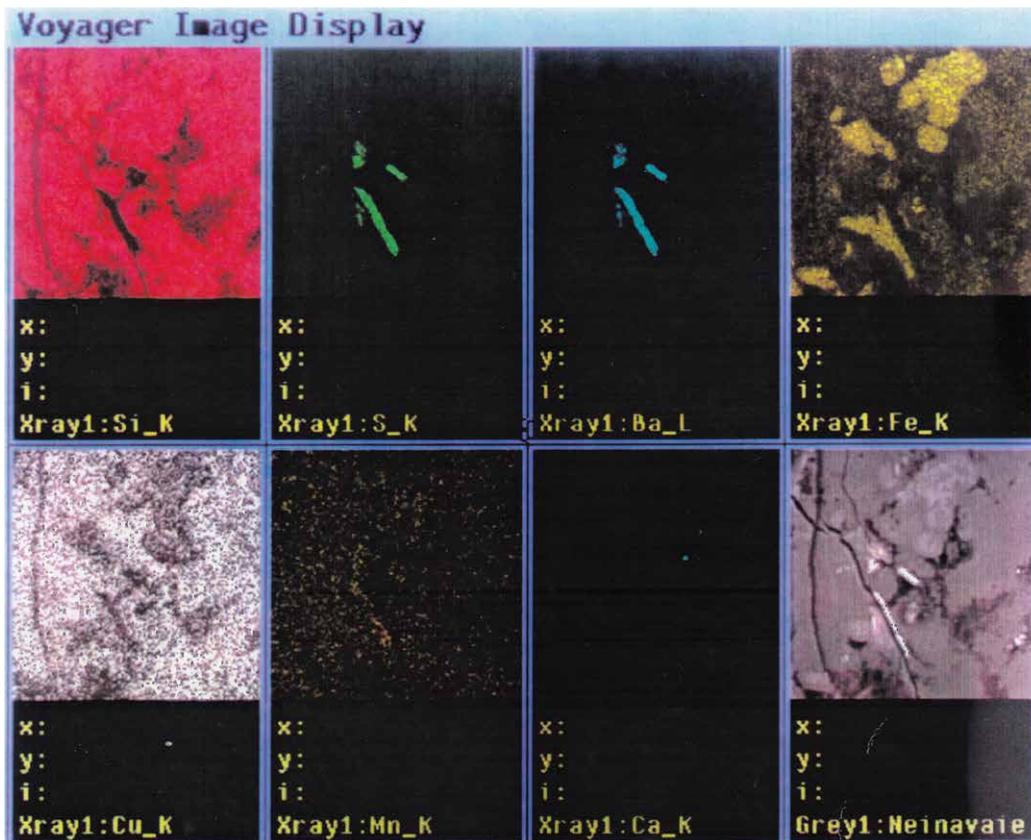


Abb. 3.16: Elementverteilungsbilder von Si, S, Ba, Fe, Cu, Mn und Ca in Kupferschlacke. Unten rechts Oberflächenabbildung mittels sekundärer Elektronen. Vergrößerung etwa 800x. Probe 1EE-2, Kupferschlacke, Kupferschmelzplatz S1.

Fig. 3.16. Elemental distribution patterns of Si, S, Ba, Fe, Cu, Mn and Ca in copper slag. Lower right surface mapping using secondary electrons. Magnification about 800x. Sample 1EE-1, copper slag, Copper Smelting Site 1.

### 3.2.2.2 Schwermetallgehalt von Erz- und Bodenproben

Die untersuchte Kupfer-Fahlerzvererzung aus dem Bergbau am Steirischen Erzberg besteht aus Kupferkies, Fahlerz, Kupferglanz, Malachit, Azurit, Covellin und Gangart (Abb. 3.17). In den Abbildungen 3.18 und 3.19 sowie in den Tabelle 3.5 bis 3.7 wird die chemische Zusammensetzung der Kupferminerale dargestellt.

Der z. T. sehr hohe Kupfergehalt der Bodenproben (bis 2,4 %) wurde durch Schlackenkomponenten, welche auch sehr feinkörnig zerfallen sind, verursacht. Barium dürfte aus dem das Ausgangserz begleitenden Mineral Baryt stammen. Baryt wurde in einer Erzprobe (Hämatitderberz, Probe 920848) festgestellt, wo er häufig als Gangart mit Hämatit vergesellschaftet ist. Baryt wurde auch als Einschlüsse in Schlacken festgestellt (Abb. 3.17 bis Abb. 3.19, Tab. 3.5 bis 3.7).

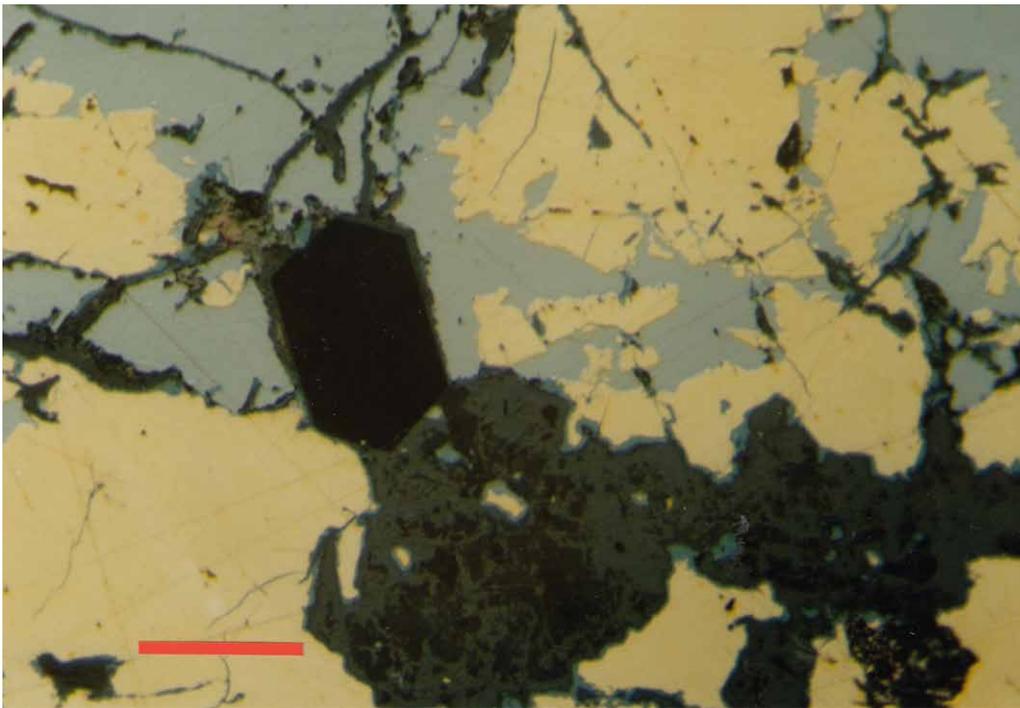


Abb. 3.17: Kupferkies (gelb), Fahlerz (bläulichgrau), Kupferglanz (grünlichblauer Saum um Kupferkies), Malachit (dunkelgrau) und idiomorpher Quarzkristall (schwarz). Polierter Dünnschliff, Marke = 0.1 mm, Ölimmersion, Nicols parallel. Probe 920861, Steirischer Erzberg.

Foto: H. Neinavaie

Fig. 3.17. Chalcopyrite (yellow), fahlore (blueish grey), chalcocite (greenish blue fringe around chalcopyrite), malachite (dark grey) and idiomorphic quartz crystal (black). Polished thin section, scale = 0.1 mm, oil immersion, parallel Nicols. Sample 920861, Styrian Iron Mountain.

Photo: H. Neinavaie

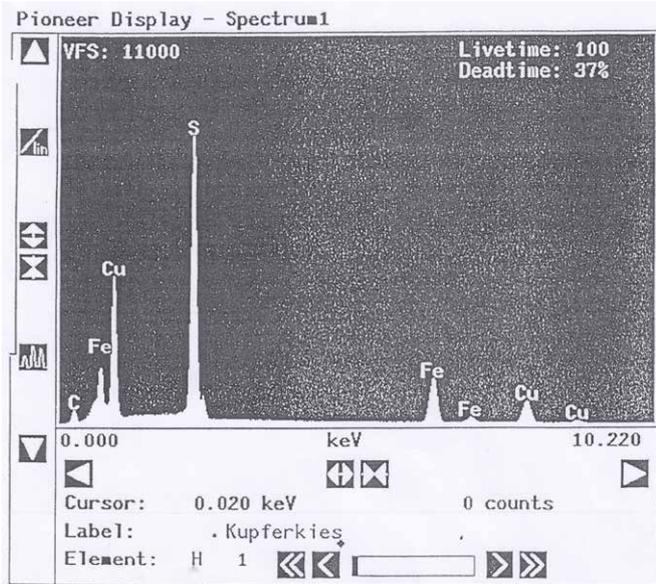


Abb. 3.18: Semiquantitative Analyse von Kupferkies mittels Mikrosonde (energiedispersives Analysensystem). Probe 920861, Steirischer Erzberg.

Fig. 3.18. Semiquantitative analysis of chalcopyrite via microprobe analytics (energy dispersive analysis system). Sample 920861. Styrian Iron Mountain.

Tab. 3.5: Chemische Zusammensetzung des Kupferkieses (Mikrosondenanalytik). Probe 920861, Steirischer Erzberg.

Tab. 3.5. Chemical composition of chalcopyrite (micro probe analytics). Sample 920861. Styrian Iron Mountain.

Element	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ge	As	Ag	Sb	Mg	Total
Wt %	35.55	29.17	0.00	0.00	35.46	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.90

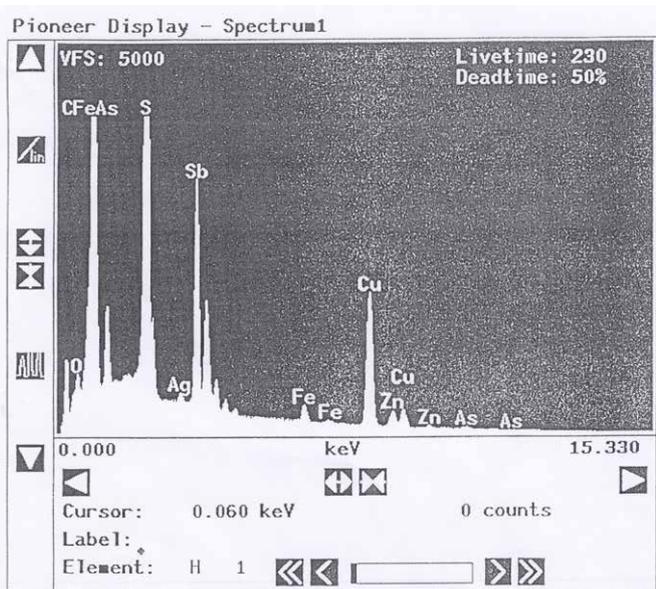


Abb. 3.19: Semiquantitative Analyse von Fahlerz und Kupferglanz mittels Mikrosonde (energiedispersives Analysensystem). Probe 920861, Steirischer Erzberg.

Fig. 3.19. Semiquantitative analysis of fahlore and chalcocite via microprobe (energy dispersive analysis system). Sample 920861. Styrian Iron Mountain.

Tab. 3.6: Chemische Zusammensetzung des Fahlerzes (Mikrosondenanalytik). Probe 920861, Steirischer Erzberg.

Tab. 3.6. Chemical composition of fahlore (micro probe analytics). Sample 920861. Styrian Iron Mountain.

Element	S-K	Fe-K	Co-K	Ni-K	Cu-K	Zn-K	Ge-K	As-L	Ag-L	Sb	Mg-K	Total
Wt %	24.10	1.63	0.00	0.00	35.10	5.09	0.00	0.00	0.00	30.03	0.00	100.00

Tab. 3.7: Chemische Zusammensetzung des Kupferglanzes (Mikrosondenanalytik). Probe 920861, Steirischer Erzberg.

Tab. 3.7. Chemical composition of chalcocite (microprobe analytics). Sample 920861. Styrian Iron Mountain.

Element	O	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ge	As	Ag	Sb	Mg	Total
Wt %	0.00	20.40	3.35	0.00	0.16	75.27	0.30	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	99.73

### 3.2.3 Ergebnisse der mineralogisch-geochemischen Untersuchungen und Probenahme von Bodenprofilen vor Grabungsbeginn 1992

In den Böden direkt am Kupferschmelzplatz S1 war eine beginnende Braunerdebildung mit Kupfergehalten von durchwegs mehreren tausend ppm zu beobachten. Wurden Schlackenpartikel angetroffen, stieg der Kupfergehalt in einzelnen Horizonten bis über 20.000 ppm. Diese Kupfergehalte besitzen Großteils eine starke Korrelation mit Arsen, teilweise auch mit Nickel. In Schlacken ist darüber hinaus eine hohe Korrelation mit Antimon und Quecksilber nachzuweisen.

Anton DRESCHER

## 3.3 Vegetationskundliche Untersuchungen auf dem Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark)<sup>10</sup>

### 3.3.1 Natürliche Vegetation der Umgebung des Kupferschmelzplatzes

Die Vegetation der Umgebung des Kupferschmelzplatzes S1 ist durch die Lage an der Grenze zwischen Nördlichen Kalkalpen mit triadischen Kalken und Dolomiten als Ausgangsgesteinen für die Bodenbildung und den südlich angrenzenden Eisenerzer Alpen mit meist geschieferten Gesteinen<sup>11</sup> gekennzeichnet. Diese Grenze, die im Gebiet vom Radmerhals und zum Kämpensattel zwischen Kaiserschild und Donnersalm und dann weiter durch die Große Fölz nach Münichtal<sup>12</sup> verläuft, bildet auch die Grenze zwischen den forstlichen Wuchsgebieten „Nördliche Zwischenalpen–Osteil“ und „Östliche Zwischenalpen–Nordteil“.<sup>13</sup>

Der flächenmäßig überwiegende Teil des Gebietes wird von der montanen Höhenstufe (900–1400/1500 m) eingenommen. Über Kalkgesteinen in der nordwestlichen Umrahmung des Hochtals dominiert die Rotbuche die potentiell-natürlichen Waldgesellschaften. Diese ursprünglichen Laub-Nadelmischwälder wurden durch jahrhundert-

Der Kupferschmelzplatz hebt sich nach seinen Schwermetallgehalten eindeutig und sehr stark von seinem geochemischen Umfeld ab. Im Vergleichsprofil außerhalb des Schmelzplatzes liegen alle Schwermetallpegel im Bereich der Gesteinshintergrundwerte.

Da in den Bodenhorizonten am Schmelzplatz unterschiedliche Elementkorrelationen gefunden wurden, kann als vorläufiges Ergebnis aus den geochemischen Daten abgeleitet werden, dass sowohl Kupferkies als auch Fahlerz zur Verhüttung eingesetzt wurden.

langen Raubbau – vor allem für die Holzkohleproduktion im Mittelalter<sup>14</sup> – in reine Fichtenbestände umgewandelt, die der Assoziation *Adenostylo glabrae-Piceetum* zugeordnet werden. Palynologische Untersuchungen im Moor am Neuburgsattel etwa 10 km Luftlinie westlich des Kupferschmelzplatzes und von der benachbarten Schröckalm durch Marshall zeigen eine Fichtendominanz schon ab der Römischen Kaiserzeit.<sup>15</sup> Die früher weiter verbreitete Waldweide wird heute nicht mehr ausgeübt. Auf sehr frischen Unterhängen und an Grabeneinhängen über paläozoischen Gesteinen der Nördlichen Grauwackenzone mit bindigen, zum Teil vergleyten Böden wird es durch den Labkraut-Fichten-(Tannen-)wald (*Galio rotundifolii-Piceetum*) ersetzt.<sup>16</sup> Über basenarmen Gesteinen der Grauwackenzone und mäßig nährstoffarmen Böden südlich des Ramsaubaches stellen Fichten-Tannenwälder, in die Rotbuche, Lärche und an feuchten Unterhängen auch Berg-Ahorn sporadisch auftritt, das vegetationsprägende Element dar (*Luzulo luzuloidis-Piceetum*).<sup>17</sup> Diese Fichten-(Tannen-)wälder wer-

<sup>10</sup> Eine ausführliche Diskussion siehe DRESCHER 2004.

<sup>11</sup> STÜWE 2018.

<sup>12</sup> WAGNER 1973.

<sup>13</sup> KILLIAN u. a. 1994.

<sup>14</sup> DRESCHER-SCHNEIDER 2003.

<sup>15</sup> MARSHALL 1994.

<sup>16</sup> ZUKRIGL 1973; EXNER 2007.

<sup>17</sup> EXNER 2007.

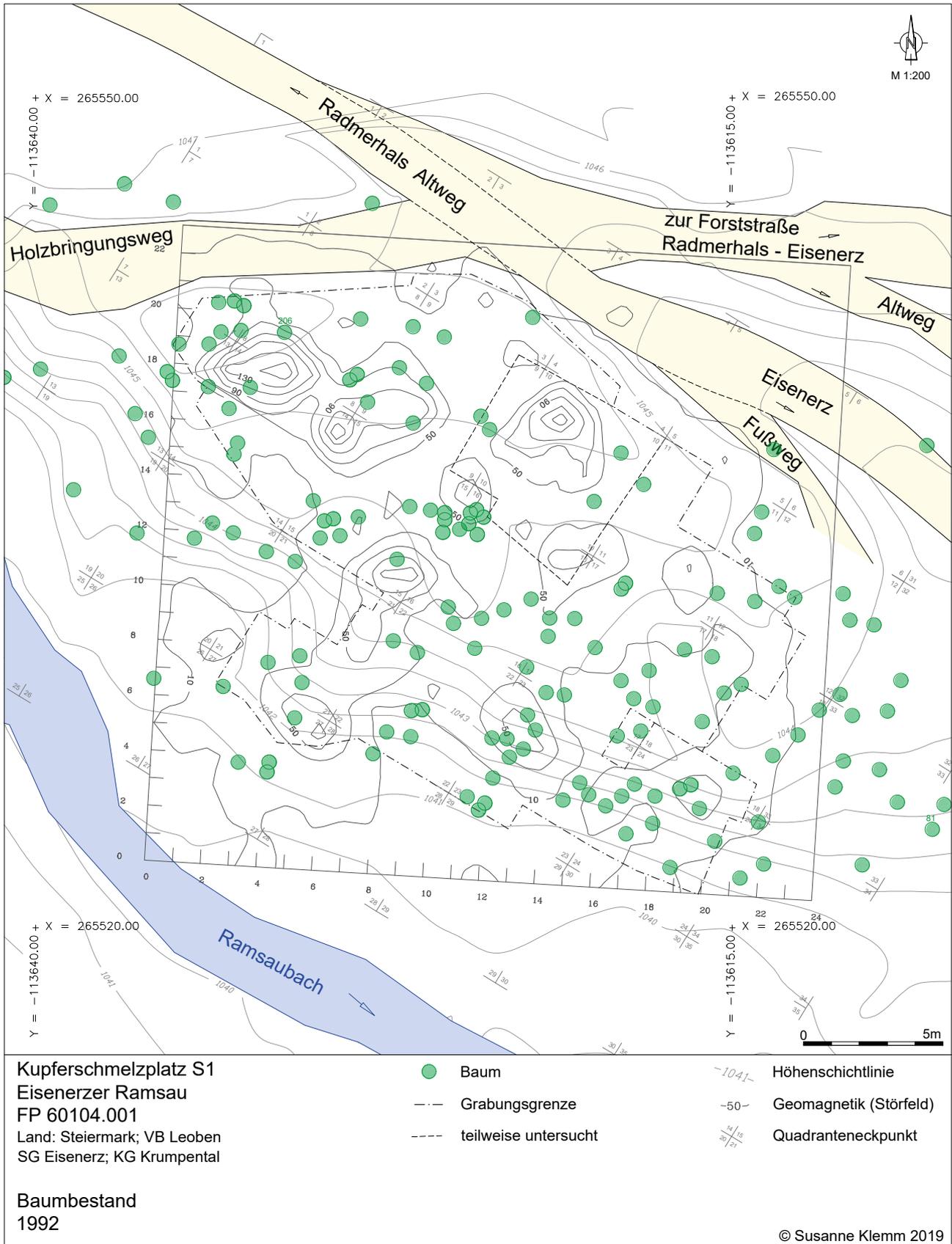


Abb. 3.20: Der bronzezeitliche Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau. Bestand des Fichtenjungwuchses vor der Rodung vor Grabungsbeginn. Die grünen Punkte stellen die Stammbasen dar, auf die Ausführung der Kronenprojektion wurde der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Aufnahme 1992. Grafik: S. Klemm, U. Schuh

Fig. 3.20. Bronze Age Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau. Tree population of young spruce before forest clearance in advance of the excavation. The green symbols demonstrate the bases of the trunks; for reasons of clarity, a projection of the treetops was abstained from. Survey 1992. Map: S. Klemm, U. Schuh

den in der hochmontanen Stufe vom Alpenlat-tich-Fichtenwald (*Homogyno alpinae-Piceetum*) abgelöst.<sup>18</sup>

Der Talboden im Bereich der Gemeindealm in der Eisenerzer Ramsau aus quartärem Moränenmaterial und zum Teil fluviatilen Sedimenten wird durch die Schwemmkegel des Kaltenbaches und des Lasitzenbaches gegliedert und ist vollständig entwaldet. Die Einhänge zum Ramsaubach werden – vor allem in den Mündungsbereichen von Lasitzen- und Kaltenbach – von Hochstauden dominiert, die Bestände können der Ross-Minzen-Staudenflur (*Aegopodio-Menthetum longifoliae*)<sup>19</sup> angeschlossen werden (vgl. Probefläche HS in Tab. 3.8, Abb. 3.21). Die flugfähigen Samen der Fichte verschaffen ihr in den Anfangsstadien der Wiederbewaldung einen Vorteil. Das Ergebnis sind sekundäre Fichtenreinbestände anstelle von Laub-Nadelholzmischbeständen. Der Vorbestand auf der Parzelle in der die Grabungsfläche liegt, kann nur mit Hilfe alter Forstoperare eruiert werden, die genaue Entstehung der Fichten-Verjüngung auf der Grabungsfläche muss also offen bleiben (Abb. 3.20).<sup>20</sup> Die Struktur dieser Waldbestände (Altersaufbau, Schichtung) ist wie in einem großen Teil der Ennstaler und Eisenerzer Alpen von der jahrhundertelangen Köhlerei und der damit verbundenen Kahlschlagswirtschaft geprägt. Auch Waldweide und die Nutzung als kaiserliches Jagdrevier durch Maximilian I. waren lokal von Bedeutung. Die Entwicklung im 19. und 20. Jahrhundert führte zu hohen Rotwildichten und großflächigen Schältschäden.<sup>21</sup>

### 3.3.2 Untersuchungen vor Grabungsbeginn

Um die Frage nach dem Vorkommen von Zeigerpflanzen für Kupfer auf prähistorischen Kupferschmelzplätzen bzw. den Schlackenhalde

worten zu können, wurden im Sommer 1992 fünf Probeflächen auf dem bronzezeitlichen Kupferschmelzplatz S1 floristisch dokumentiert und die Abundanz/Dominanz jeder Art mit Hilfe der erweiterten 9-stufigen Skala geschätzt.<sup>22</sup> In Tabelle 3.8 sind diese Daten zusammengestellt.

Keine der in der Literatur angeführten Zeigerpflanzen für Kupfer – durchwegs Kryptogamen – konnte beobachtet werden, wohl aber einige Gefäßpflanzen aus Familien mit Vertretern, die auch Schwermetallstandorte besiedeln. Sie sind in Tabelle 3.8 mit \* markiert. Von den auf dem Kupferschmelzplatz S1 vorkommenden Arten ist nur eine Art von der Halde eines Bergbaues auf silberhaltige Blei/Zink-Erze in Deutschnofen-St. Helena, Südtirol/Italien mit Messungen dokumentiert. Die Kupfergehalte der oberirdischen Organe von *Agrostis stolonifera* betragen 19 mg/kg, die der Wurzeln 134 mg/kg.<sup>23</sup> Die wie alle Gräser wegen des Verhältnisses der Kupfergehalt von oberirdischer zu unterirdischer Phytomasse < 1 als „excluder“<sup>24</sup> eingestufte Art ist auf Grund der zu geringen Abundanz in unserem Fall nicht für Analysen herangezogen worden.

Aus diesem Grund wurden am 17. August 1992 von zwei Fichten (*Picea abies*), Nr. 206 von einem Standort mit starker Schwermetall-Anomalie und Nr. 81 von einem Standort (00) außerhalb der Untersuchungsfläche, Nadelproben gewonnen und auf das Schwermetall Kupfer untersucht (Abb. 3.21).<sup>25</sup>

Obwohl die Aufnahmerate in sauren Böden (im vorliegenden Fall zwischen pH 3,4 und maximal 6,6<sup>26</sup>) am größten ist, ergaben die Messungen an Fichte Nr. 206 (Standort mit starken Anomalien) bzw. Nr. 81 (mehr oder minder ungestörter Standort) Werte zwischen 4 und 14 mg/kg Trockengewicht und zwar ohne signifikante Unterschiede zwischen belastetem und unbelastetem Standort. Im

<sup>18</sup> EXNER 2007.

<sup>19</sup> MUCINA 1993.

<sup>20</sup> KREINER 2000 u. a. mit Informationen zur jüngsten Geschichte und den Strukturveränderungen in der Eisenerzer Ramsau und angeschlossener Karte der Biotoptypen im Maßstab 1:10.000; Drescher-Schneider 2003 mit detaillierten Informationen über die Vegetations- und Landschaftsentwicklung seit dem Neolithikum.

<sup>21</sup> KREINER 2000.

<sup>22</sup> BRAUN-BLANQUET 1964; REICHEL/WILMANN 1973.

<sup>23</sup> PUNZ u. a. 1994.

<sup>24</sup> BAKER 1981.

<sup>25</sup> Die Cu-Gehalte der getrockneten und gemahlten Nadeln wurden im Salpeter-Perchlorsäuregemisch (5:1) mit dem Atomabsorptionsspektrographen Marke Perkin-Elmer, Typ 2380 gemessen. Zur Methode der Probenahme siehe GLATTES u. a. 1985.

<sup>26</sup> Vgl. die Protokolle im Anhang 1 (Proben der organischen Auflagehorizonte [Ol, Oh] – Probennummern 920501, 920514; der Mineralbodenhorizonte [Ah, AP – Probennummern 920502, 920515 und Bv – Probennummern 920503 und 920516]).

Tab. 3.8: Vegetationsaufnahmen des Schmelzplatzes S1 (vgl. Abb. 3.21). Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen richtet sich nach FISCHER et al. 2008. Mit \* markierte Taxa sind aus Familien, deren Arten öfter auf schwermetallhaltigen Standorten vorkommen.

Tab. 3.8. Survey of the vegetation at the Copper Smelting Site S1 (see fig. 3.21). The binary nomenclature follows FISCHER et al. 2008. Taxa marked with \* derive from families whose species are often found on sites with heavy metal concentration.

	00	A1	A2	A3	HS
Aufnahmemonat 1992	8	8	8	8	8
Seehöhe in m	1035	1035	1035	1035	1030
Exposition					SW
Neigung in Grad					3
Fläche in m <sup>2</sup>	6	6	6	6	8
Gesamtdeckung	80	30	75	70	95
Vegetationshöhe K in dm	5	4	4	4	12
Vegetationsdeckung K in %	50	20	35	60	90
Vegetationsdeckung M in %	30	10	40	10	5
Artenzahl	38	38	40	57	33
Artname					
<i>Picea abies</i>	1	1	1	1	1
<i>Sambucus racemosa</i>	r				
<i>Sorbus aucuparia</i> subsp. <i>aucuparia</i>			+		
<i>Acer pseudoplatanus</i>		r		r	
<i>Luzula luzuloides</i>	1	1	1	1	
<i>Potentilla erecta</i>	1	1	2m	2a	
<i>Homogyne alpina</i>	2m	2m	2m	2m	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	2a	1	2a	1	
<i>Carex leporina</i>	1		1	+	
<i>Rubus idaeus</i>	+	1		+	
<i>Ranunculus spec.</i>	+	r		1	
* <i>Agrostis capillaris</i>	2m	2m	2m	2m	
<i>Thelypteris limbosperma</i>	1	1	1	r	
<i>Deschampsia cespitosa</i>	1	+	+	+	1
<i>Gentiana asclepiadea</i>	+	r	1	+	+
<i>Hypericum maculatum</i>	+		+	r	1
<i>Lysimachia nemorum</i>	1		2m	1	1
<i>Alchemilla vulgaris</i> agg.	r		r	r	r
<i>Athyrium filix-femina</i>		1		r	
<i>Veronica officinalis</i>	1			1	
<i>Senecio ovatus</i> subsp. <i>ovatus</i>	+			+	2a
<i>Epilobium montanum</i>	r			r	r
<i>Prenanthes purpurea</i>	+	r			+
<i>Hieracium murorum</i>		r		r	
<i>Carex pilulifera</i>		+		+	
<i>Galeopsis spec.</i>	+				
<i>Lycopodium clavatum</i>	r				
<i>Epilobium angustifolium</i>		1			
* <i>Campanula rotundifolia</i>		r			
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>		1			
<i>Hieracium bifidum</i>		1	+		

	00	A1	A2	A3	HS
<i>Ajuga reptans</i>		1		+	+
<i>Solidago virgaurea</i>		+		+	
<i>Melica nutans</i>		+			
<i>Oxalis acetosella</i>		r	r		
<i>Dryopteris carthusiana</i>		+	r	r	
<i>Lycopodium annotinum</i>			1		
<i>Maianthemum bifolium</i>	r		+		
<i>Blechnum spicant</i>			1		
* <i>Avenella flexuosa</i>			+	r	
<i>Carex flacca</i>			+		
<i>Cynosurus cristatus</i>			+		
* <i>Festuca rubra</i>			+		
* <i>Poa supina</i>			+		
<i>Ranunculus acris</i>			+		
<i>Fragaria vesca</i>	1			2m	
<i>Trifolium repens</i> subsp. <i>repens</i>		r		1	
<i>Euphrasia officinalis</i> subsp. <i>rostockoviana</i>				2m	
<i>Luzula pilosa</i>			+	+	
<i>Carex digitata</i>			r	r	
<i>Plantago major</i>				1	
<i>Prunella vulgaris</i>				1	
* <i>Poa annua</i>				+	
<i>Luzula luzulina</i>	+			+	
<i>Cerastium holosteoides</i>				+	
<i>Stachys sylvatica</i>				+	
<i>Hieracium spec.</i>				+	
<i>Nardus stricta</i>				+	
<i>Phleum rhaeticum</i>				+	
<i>Caltha palustris</i>				+	
<i>Rumex acetosa</i>				r	
<i>Gnaphalium spec.</i>				r	
<i>Platanthera bifolia</i>				r	
<i>Galeopsis speciosa</i>				r	
* <i>Silene dioica</i>				r	
<i>Tussilago farfara</i>				r	
<i>Galium spec.</i>				r	
<i>Chaerophyllum hirsutum</i>					2a
<i>Mentha longifolia</i>					2a
<i>Myosotis nemorosa</i>					1
<i>Stellaria nemorum</i>					1
<i>Crepis paludosa</i>					1
<i>Ranunculus repens</i>					1
<i>Petasites abus</i>					1

	00	A1	A2	A3	HS
Rumex alpestris					1
* Agrostis stolonifera agg.					1
Primula elatior					1
Rubus spec.					+
Carex sylvatica					+
Veronica chamaedrys					+
* Cardamine hirsuta					+
Chrysosplenium alternifolium					+
Lamium maculatum					+
Alchemilla crinita					+
Equisetum arvense					r
Viola biflora					r
Veronica persica					r
Dicranum scoparium	+	1	1	1	+
Pleurozium schreberi	1	+	2m	2m	+
Polytrichum formosum	1	+	2m		

	00	A1	A2	A3	HS
Polytrichum commune	2a		3	1	
Rhytidiadelphus squarrosus		+	1	1	+
Rhytidiadelphus loreus		1	1	+	
Orthodicranum montanum		1	+	+	
Plagiomnium affine		1	r		
Tetraphis pellucida		+			
Plagiothecium laetum		+			
Rhacomitrium canescens		+			
Sphagnum nemoreum			+		
Plagiochila asplenioides			+		
Atrichum undulatum	1			+	
Cladonia spec.		+	+	+	
Barbilophozia lycopodioides			+		
Brachythecium salebrosum		+		+	
Eurhynchium hians					r

vorliegenden Fall sind die kupferschlackenhaltigen Mineralbodenhorizonte Bv mit Cu-Gehalten von 2470 bzw. 6847 mg/kg<sup>27</sup> von stark humosen Auflagen bzw. A-Horizonten mit Cu-Gehalten von über 200 bis maximal 890 mg/kg<sup>28</sup> abgedeckt, in denen nur ein geringer Prozentsatz der Cu-Ionen in einer pflanzenverfügbaren Form vorliegt.

Die Kupfergehalte in den obersten Bodenhorizonten eines ausschließlich mit Kryptogamen bewachsenen Haldenstandortes am NE-exponierten Unterhang zum Halsbach ca 1,3 km Luftlinie SW der Gemeindealm bewegen sich zwischen 16100 und 29000 mg/kg. Der Standort weist keine nennenswerte Humusaufgabe auf.<sup>29</sup> Auf Grund des Vorkommens der Moose *Nardia scalaris* und *Oligotrichum hercynicum* stellen Emmerer/Hafellner die Aufnahmen in die Assoziation *Pogonatum urnigeri*, einer Pioniermoosgesellschaft, die eine Reihe weiterer Moose mit einem Verbreitungsschwerpunkt auf schwermetallreichen Standorten beherbergt.<sup>30</sup>

Die Cu-Gehalte der obersten Bodenhorizonte anderer Standorte derselben Halde, auf denen bereits Gefäßpflanzen vorkommen, sind mit 3980 bis 4500 mg/kg deutlich niedriger<sup>31</sup> und entsprechen denen der Mineralbodenhorizonte des Kupferschmelzplatzes S1<sup>32</sup>.

Die Artenkombination des Kupferschmelzplatzes S1 (Tab. 3.8) zeigt weder Übereinstimmungen mit der Moosgesellschaft *Pogonatum urnigeri* vom stark belasteten Haldenstandort am Halsbach (FP 60104.007)<sup>33</sup> noch mit den beschriebenen Vegetationseinheiten von anderen ostalpinen Schwermetall- bzw. Haldenstandorten<sup>34</sup>. Sie entsprechen relativ gut den Aufnahmen aus dem Umfeld des Haldenkomplexes vom Halsbach bzw. Fichtenbeständen von neuzeitlichen Schlackenhalde aus dem Walchengraben (Niedere Tauern),<sup>35</sup> die verschiedenen Fichtenwald-Ausbildungen zugeordnet werden können.<sup>36</sup> Sowohl das Vorkommen von Zwergsträuchern wie Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) oder wenig anspruchsvollen Farnen wie Eichenfarn

<sup>27</sup> Vgl. die Protokolle im Anhang 1 (Probennummern 920503 und 920516).

<sup>28</sup> Vgl. die Protokolle im Anhang 1 (Probennummern 920501, 920502 sowie 920514 und 920515).

<sup>29</sup> EMMERER u. a. 2003: Die Proben wurden von der Kupferschlackenhalde der Fundstelle FP 60104.007 in der Eisenerzer Ramsau genommen. Vgl. dazu KLEMM/RESCH 2003.

<sup>30</sup> EMMERER/HAFELLNER 2005.

<sup>31</sup> EMMERER/HAFELLNER 2005, Tabelle 9.

<sup>32</sup> Vgl. Anm. 18.

<sup>33</sup> KLEMM u. a. 2003; EMMERER/HAFELLNER 2005, Tabelle 10.

<sup>34</sup> PUNZ/MUCINA 1997.

<sup>35</sup> EMMERER/HAFELLNER 2005.

<sup>36</sup> EMMERER/HAFELLNER 2005, Tabelle 8.

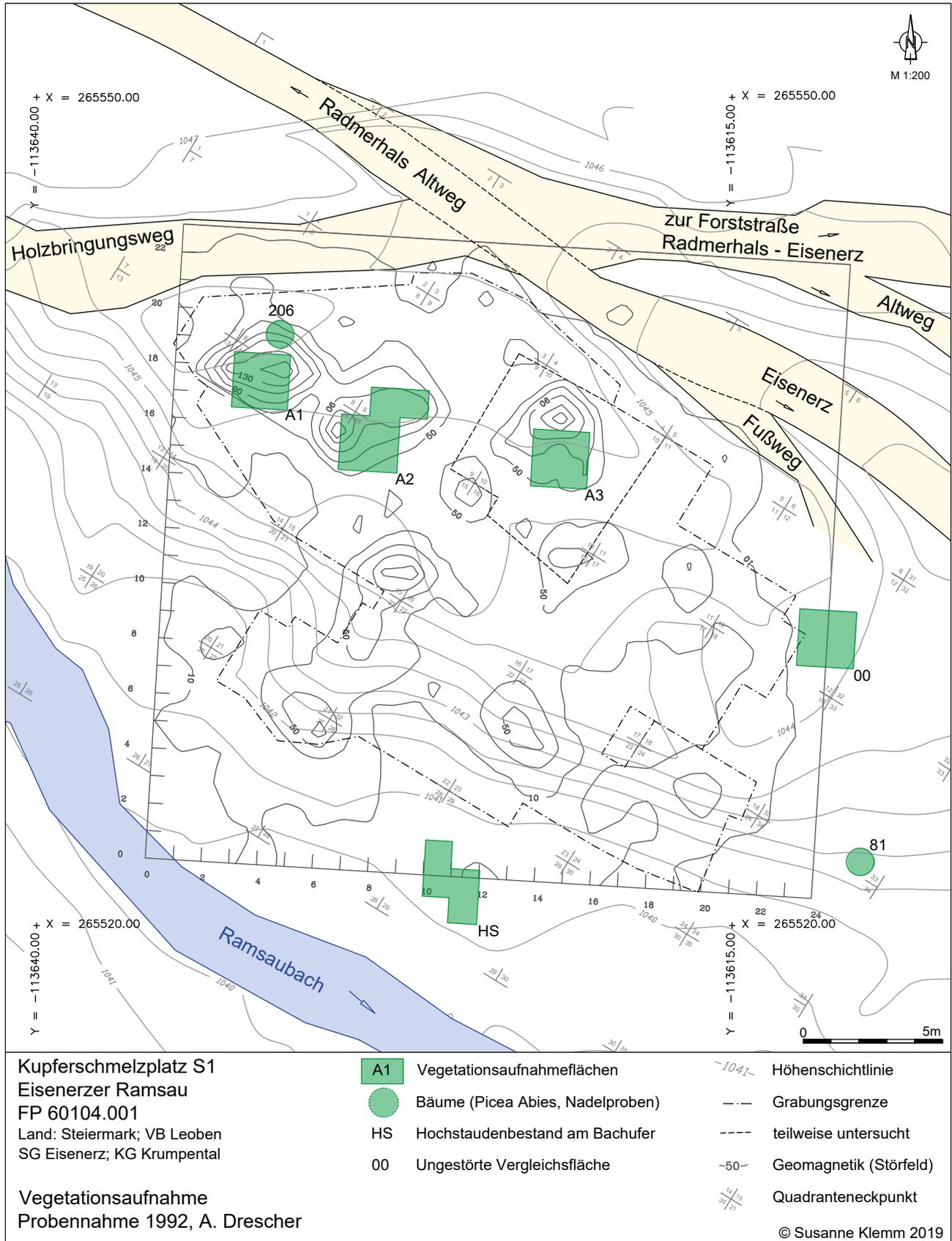


Abb. 3.21: Der bronzezeitliche Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau. Versuchsanordnung und Vegetationsaufnahme vor Grabungsbeginn im August 1992, A. Drescher. Nadelanalysen erfolgten an der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien (FBVA<sup>36a</sup>).

Nach A. DRESCHER 2004, Abb. 2; Grafik: S. Klemm, U. Schuh

Fig. 3.21. Bronze Age Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau. Experimental set-up and documentation of the vegetation prior to the excavation in August 1992, A. Drescher. The analyses of the pins of spruce by Forstliche Bundesversuchsanstalt, Vienna (FBVA).

See A. DRESCHER 2004, fig. 2; map: S. Klemm, U. Schuh

(*Gymnocarpium dryopteris*) in den Fichtenbeständen in der Umgebung der Halden am Halsbach als auch in der Eisenerzer Ramsau zeigt, dass die Bindung der Cu-Ionen an Huminstoffe der Humusaufgabe recht stabil ist und nur geringe Mengen Cu in der Bodenlösung zur Verfügung stehen.<sup>37</sup> Es fehlen daher auch die für kupferbelastete Standorte typischen Moose *Nardia scalaris*, *Oligotrichum hercynicum* und *Pohlia drummondii*.<sup>38</sup> Der abgedeckte, lehmige Mineralbodenhorizont auf dem Kupferschmelzplatz S1 mit Cu-Gehalten zwischen 2470 mg/kg und 6847 mg/kg entsprechen denen auf gefäßpflanzendominierten Bereichen des Probepunktes 2 der Halde FP 60104.007<sup>39</sup>.

Unter diesen Verhältnissen können auf den untersuchten Teilflächen des Schmelzplatzes S1 Frischezeiger wie Kriechender Günsel (*Ajuga reptans*),

Alpen-Brandlattich (*Homogyne alpina*) oder Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) in der Gehölzverjüngung wachsen. Sogar gegenüber der Stickstoffversorgung etwas anspruchsvollere Arten wie Wald-Gilbweiderich (*Lysimachia nemorum*) und Fuchshain-Greiskraut (*Senecio ovatus*) sind am Einhang zum Ramsaubach und in einzelnen Teilflächen vorhanden (vgl. Tab. 3.8). Die Vegetation auf dem Kupferschmelzplatz S1 entspricht dem „Typus e“ in Emmerer u. a., dessen Artenzusammensetzung nicht von durch Kupfer unbelasteten Standorten der Umgebung abweicht. Die Abdeckung des Mineralbodens durch eine unter einem Waldbestand gebildete Humusaufgabe macht daher den Standort für den Kupfernachweis mittels Zeigerpflanzen ungeeignet.

Susanne KLEMM

### 3.4 Zusammenfassung

Vor Grabungsbeginn im August 1992 erfolgte eine geodätische Vermessung des Kupferschmelzplatzes S1 sowie eine geophysikalische Vermessung. Die zukünftige Grabungsfläche wurde in Quadranten zu 5 x 5 m untergliedert, deren Eckpunkte wurden mit Holzpflocken, in die kleine Nägel eingeschlagen wurden, markiert. Auf der annähernd ebenen Fläche sowie auf dem mittleren und östlichen Teil der Böschung zum Bach wurden eindeutige geomagnetische Anomalien, wie sie auch von anderen Kupferschmelzplätzen bekannt waren, erfasst (Abb. 3.1 bis 3.5).

Auf Basis der Ergebnisse der geophysikalischen Prospektion wurden am 17. August 1992 botanische Proben sowie Bohrprofile bis zu einer Tiefe von max. 1 m entnommen, um Probenmaterial für Untersuchungen zur Schwermetallbelastung des Bodens wie des Bewuchses vornehmen zu können. Diese wurden ergänzt durch erste mineralogische Untersuchungen von Kupferschlacken des Schmelzplatzes und Kupfererz, welches vom Steirischen Erzberg stammte.

Die geochemischen Untersuchungen der Proben vom Kupferschmelzplatz S1 wiesen einen bis über 20.000 ppm hohen Kupfergehalt in einzelnen Horizonten nach (Proben B1–B3), während die Schwermetallgehalte der Kontrollprobe knapp außerhalb der Fläche (Probe B4) im Bereich der Gesteinshintergrundwerte lagen. Die Kupfergehalte wiesen eine hohe Korrelation mit Arsen und Nickel auf, Schlackenstücke zudem eine hohe Korrelation mit Antimon und Quecksilber. Bei der Erzverhüttung wurden somit Kupferkies wie Fahlerz eingesetzt (Abb. 3.6 bis 3.19, Tab. 3.7).

Im Zuge der botanischen Beprobung des aktuellen Bewuchses wurden keine der in der einschlägigen Literatur angeführten Zeigerpflanzen gefunden. Der Grund dafür liegt in der jahrhundertelangen Nutzung der Fläche im Rahmen der Waldwirtschaft und als Weide sowie aufgrund der Bodenneubildung seit der Auflassung des Kupferschmelzplatzes in der Bronzezeit bzw. der Nachnutzung des Standortes im späten Mittelalter für die Holzkohleproduktion in einer Meilergrube (Abb. 3.20 und 3.21, Tab. 3.8).

<sup>36a</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Forstliche\\_Bundesversuchsanstalt](https://de.wikipedia.org/wiki/Forstliche_Bundesversuchsanstalt) (bis 2005; Nachfolger: BFW, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft).

<sup>37</sup> DRESCHER 2004 (dort auch Diskussion).

<sup>38</sup> EMMERER/HAFELLNER 2005, Tabelle 10.

<sup>39</sup> EMMERER u. a. 2003.

### 3.5 Scientific Investigations prior to the Archaeological Excavation at the Copper Smelting Site S1: Geophysical, Mineralogical-geochemical and Botanical Investigations (Summary)

Before the start of the excavation in August 1992, a geophysical survey of the Copper Smelting Site S1 was carried out. On the large, rather flat area as well as on the middle and eastern part of the steep slope towards the stream, geomagnetic anomalies were identified such as have been known from other prehistoric copper smelting sites in the Eastern Alps. In preparation for the excavation, a survey for an elevation model of the site took place and a net of squares, each measuring 5 x 5 m, their corners marked with wooden posts with nails on top, was established all over the site. (Figs. 3.1 to 3.5)

Based on the results of the geophysical survey, soil samples were taken for soil analyses. As the geochemical analyses of some soil samples showed, a number of these (samples B1–B3) had copper contents as high as 20.000 ppm in contrast to sample B4 from outside the site. The copper contents had a high

correlation with arsenic and nickel; the slag pieces also had a high correlation with antimony and mercury. In addition, the first mineralogical analyses of the copper slags and copper ore from the Styrian Iron Mountain were carried out. The results showed that chalcopyrite as well as fahlore were used for copper production on the Copper Smelting Site S1 (Figs. 3.6 to 3.19, Tabs. 3.1 to 3.7, Supplement 1).

The current vegetation was also described and samples taken, though no specific concentration of copper was found in the spruce needles. No plants typical of sites with high copper concentrations were found. The reason for this lies in the formation of new soil since the site's abandonment in the Bronze Age as well as the reuse of the flattened area for charcoal production in the late Middle Ages and in the centuries-long use of the area as forest and/or meadow for cattle. (Figs. 3.20 and 3.21, Tab. 3.8)

### 3.6 Literatur / Publications

BAKER 1981

BAKER A. J. M., Accumulators and excluders — strategies in the response of plants to heavy metals. In: *Journal of Plant Nutrition* 3 (1981), 643–654.

BRAUN-BLANQUET 1964

BRAUN-BLANQUET J., *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde* (Berlin–Wien–New York <sup>3</sup>1964).

DRESCHER 2004

DRESCHER A., Vegetationskundliche Untersuchungen an prähistorischen Kupferschmelzplätzen in der Eisenerzer Ramsau, Alpenkupfer – Rame delle Alpi (= Der Anschnitt, Beiheft 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 347–354.

DRESCHER-SCHNEIDER 2003

DRESCHER-SCHNEIDER R., Die Vegetation- und Siedlungsgeschichte der Region Eisenerz auf Basis pollenanalytischer Untersuchungen im Leopoldsteiner See und in der Eisenerzer Ramsau. In: S. KLEMM, *Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau* (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 50, Wien 2003), 174–197.

EMMERER/HAFELLNER 2005

EMMERER B./HAFELLNER J., Zur aktuellen Vegetation auf Abraum- und Schlackenhalde historischer Kupferbergbaue in der Montanstufe der Niederen Tauern und der Eisenerzer Alpen (Steiermark, Österreich). In: *Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark* 134 (2005), 121–152.

EMMERER u. a. 2003

EMMERER B./STEINLECHNER E./TRINKAUS P./GÖSSLER W., Ökologische Untersuchungen von prähistorischen Kupferschlackenhalde in der Eisenerzer Ramsau. In: S. KLEMM, *Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen*

Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 50, Wien 2003), 165–173.

EXNER 2007

EXNER A., Vaccinio-Piceetea Br.-Bl. et al. 1939. In: W. WILLNER/G. GRABHERR, Die Wälder und Gebüsche Österreichs (Heidelberg 2007), 183–208.

FISCHER u. a. 2008

FISCHER M. A./OSWALD K./ADLER W., Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol (Linz<sup>3</sup>2008).

GLATTES u. a. 1985

GLATTES F./SMIDT S./DRESCHER A./MAJER C./MUTSCH F., Höhenprofil Zillertal Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Einrichtung und Ergebnisse 1984. In: FBVA-Berichte 9 (1985), 1–81.

KILIAN u. a. 1994

KILIAN W./MÜLLER F./STARLINGER F., Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. In: FBVA-Berichte 82 (1994), 1–60.

KLEMM u. a. 2003

KLEMM S./RESCH J./WEINEK H., Fundstellenkatalog Eisenerzer Ramsau: KG Krumpental (VB Leoben). In: S. KLEMM, Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau. Mit Beiträgen von Johann RESCH †, Horst WEINEK, Herwig PROSKE, Barbara EMMERER, Elisabeth STEINLECHNER, Peter TRINKAUS, Werner GÖSSLER, Ruth DRESCHER-SCHNEIDER (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 50, Wien 2003), 95–148.

KREINER 2000

KREINER D., Naturräumliche Bewertung der Eisenerzer Ramsau (Eisenerzer Alpen/Steiermark) (DiplA. Graz 2000).

MUCINA 1993

MUCINA L., 1993. Galio-Urticetea. In: L. MUCINA/G. GRABHERR/T. ELLMAUER (Hgg.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Teil I: Anthropogene Vegetation (Jena–Stuttgart–New York 1993), 201–251.

PUNZ u. a. 1994

PUNZ W./KOVACS G./KÖRBER-ULRICH S./THONKE A./WIELÄNDER B./WIESHOFER I., Schwermetallstandorte im mittleren Alpenraum — neue Befunde. In: Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft Österreich 131 (1994), 1–26.

PUNZ/MUCINA 1997

PUNZ W./MUCINA L., Vegetation on anthropogenic metalliferous soils in the Eastern Alps. In: Folia Geobotanica et Phytotaxonomica 32 (1997), 283–295.

REICHELT/WILMANN 1973

REICHELT G./WILMANN O., Vegetationsgeographie (Braunschweig 1973).

WILLNER 2007

WILLNER W., Fagion sylvaticae Luquet 1926. In: W. WILLNER/G. GRABHERR, Die Wälder und Gebüsche Österreichs (Heidelberg 2007), 144–166.

ZUKRIGL 1973

ZUKRIGL K., Montane und subalpine Waldgesellschaften am Alpenostrand (= Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt 101, Wien 1973).

### 3.7 Anhang: Beilage zu den mineralogisch-geochemischen Untersuchungen / Supplement to the Mineralogical-geochemical Investigations ↓









## Eisenerz-Ramsau - Halde von Cu-Schlacke

1993-Mai-18

PKT_NR	PROB_NR	Bez. (OE)	Horizont		BA_RFA	CU_RFA	FE_RFA	K_RFA	NI_RFA	P_RFA	PB_RFA	ZN_RFA	HG_SONDER	pH	VOLUMEN	Gew. ges.	Fraktion	Gew. Fraktion
			von	bis														
920502	920501	01oh	1.0	0.0	422	561	3.020	1.390	28	.193	129	90		3.9		789.3	543.0	
	920502	Ah	0.0	-8.0	454	890	5.780	3.040	36	.139	118	85	2.660	3.6		188.5	135.4	
	920503	Bv	-8.0	-17.0	3445	2470	6.520	3.320	62	.143	89	158	3.500	5.0	191.134	144.2	98.0	
	920504	I*	-17.0	-35.0	904	5163	8.590	3.400	103	.155	57	214	2.670	4.7	382.269	272.6	150.8	
	920505	II*	-35.0	-52.0	651	2847	5.110	4.230	79	.092	37	107	.940	5.3	361.032	300.4	158.8	
	920506	III*	-52.0	-70.0	324	78	4.570	4.460	41	.093	15	28	.850	5.5	382.269	310.9	189.5	
	920507	Cv	-70.0	-94.0	289	152	4.800	4.720	51	.094	20	48	.410	5.2	509.692	796.6	402.6	
920515	920514	0f0h	1.0	0.0	413	239	1.890	1.990	21	.242	102	84		4.4		412.2	237.5	
	920515	Ah	0.0	-6.0	344	277	4.010	3.110	23	.206	97	53	1.030	4.1		207.4	169.8	
	920516	Bv	-6.0	-20.0	388	6847	5.010	3.180	79	.309	38	150	3.020	6.6	297.320	181.7	148.9	
	920517	I*	-20.0	-26.0	583	21300	8.340	2.990	202	.844	46	240	3.250	6.9	127.423	121.0	82.1	
	920518	II*	-26.0	-46.0	383	3232	4.000	3.330	51	.098	20	72	.860	6.4	424.743	507.5	237.0	
920526	920525	0	2.0	0.0	436	214	2.570	1.690	19	.282	160	77		3.7		324.3	191.1	
	920526	Ah	0.0	-4.0	345	344	4.350	3.140	19	.206	118	50	.990	3.4	84.949	65.0	47.0	
	920527	AP	-4.0	-8.0	299	339	4.620	3.510	19	.156	87	31	1.920	3.7	84.949	103.0	75.5	
	920528	P	-8.0	-10.0	341	297	4.710	3.090	20	.077	50	30	1.670	3.7	42.474	119.7	94.2	
	920529	I*	-10.0	-29.0	357	736	4.430	3.720	30	.094	31	38	.790	3.9	403.506	406.9	232.4	
	920530	B	-29.0	-44.0	351	397	4.260	3.210	26	.075	26	36	.670	4.0	318.557	264.4	148.0	
	920531	Cv	-44.0	-68.0	475	1042	5.990	3.630	31	.129	28	37	.860	4.2	509.692	455.1	259.6	
920539	920538	0	3.0	0.0	260	20	1.560	2.110	18	.176	97	74		3.7		126.3	87.1	
	920539	AP	0.0	-7.0	241	23	3.200	3.290	17	.143	72	44	.720	3.5		150.7	98.6	
	920540	Bv	-7.0	-32.0	301	58	4.600	4.070	23	.093	33	60	.500	4.0	530.929	291.6	151.4	
	920541	Bvcv	-32.0	-46.0	301	41	10.000	4.450	45	.116	18	52	.410	4.6	297.320	498.6	136.6	

3 records selected.

16-JUN-93

Analytik - Übersicht über RAM

1

Prob_Nr	Horizont	Gew		pH	SCN	CaCO3	ICP			As	As	Sb	KW	Anmerkung
		GFT	KGV				RFA	HE	B	ICP	Co	Hg		
920501		+++	-	+	+	----	+	-	-	-	----	----	-	nicht volumsgerecht
920502		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	nicht volumsgerecht
920503		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920504		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920505		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920506		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920507		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920514		+++	-	+	+	----	+	-	-	-	----	----	----	nicht volumsgerecht
920515		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	nicht volumsgerecht
920516		+++	-	+	+	----	+	(+)	+	+	+++	+++	----	
920517		+++	-	+	+	----	+	(+)	-	+	+++	+++	----	
920518		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920525		+++	-	+	+	----	+	-	-	-	----	----	----	nicht volumsgerecht
920526		+++	-	+	+	----	+	+	-	-	----	+++	----	
920527		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920528		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920529		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920530		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920531		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920538		+++	-	+	+	----	+	-	-	-	----	----	----	nicht volumsgerecht
920539		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	nicht volumsgerecht
920540		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920541		+++	-	+	+	----	+	+	-	+	+++	+++	----	
920845		+++	-	+	-	----	-	-	-	-	----	+++	+++	Schlacke
920847		+++	-	+	-	----	-	-	-	-	----	+++	+++	Schlacke
920849		+++	-	+	-	----	-	-	-	-	----	+++	----	Boden / Aushub
920850		+++	-	+	-	----	-	-	-	-	----	+++	----	Boden / Skelett
920851		+++	-	+	-	----	-	-	-	-	----	+++	----	Gestein
920852		+++	-	+	-	----	-	-	-	-	----	+++	----	Gestein
920853		+++	-	+	-	----	-	-	-	-	----	+++	----	Gestein
920858		+++	-	+	-	----	-	-	-	-	----	+++	----	Gestein

31 records selected.

LEGENDE:

- + ... Analytik von BVFA, vollständig
- (+) ... unvollständige Analytik (oder: pH-Wert von VA)
- ... keine Analytik

Prob_Nr	Pkt-Code	Horizont OE	von	bis	Anmerkung zu Probe	Anmerkung zu Lage
920501	920502	0Loh	1.00	0.00	nicht volumsgerecht	
920502	920502	Ah	0.00	-8.00	nicht volumsgerecht	
920503	920502	Bv	-8.00	-17.00		
920504	920502	I*	-17.00	-35.00		
920505	920502	II*	-35.00	-52.00		
920506	920502	III*	-52.00	-70.00		
920507	920502	CV	-70.00	-94.00		
920514	920515	OfOh	1.00	0.00	nicht volumsgerecht	
920515	920515	Ah	0.00	-6.00	nicht volumsgerecht	
920516	920515	Bv	-6.00	-20.00		
920517	920515	I*	-20.00	-26.00		
920518	920515	II*	-26.00	-46.00		
920525	920526	O	2.00	0.00	nicht volumsgerecht	
920526	920526	Ah	0.00	-4.00		
920527	920526	AP	-4.00	-8.00		
920528	920526	P	-8.00	-10.00		
920529	920526	I*	-10.00	-29.00		
920530	920526	B	-29.00	-44.00		
920531	920526	CV	-44.00	-68.00		
920538	920539	O	3.00	0.00	nicht volumsgerecht	
920539	920539	AP	0.00	-7.00	nicht volumsgerecht	
920540	920539	Bv	-7.00	-32.00		
920541	920539	BvCV	-32.00	-46.00		
920845	920845				Schlacke	
920847	920847				Schlacke	
920849	920849				Boden / Aushub	
920850	920850				Boden / Skelett	
920851	920851				Gestein	
920852	920852				Gestein	
920853	920853				Gestein	
920858	920858				Gestein	

Prob_Nr	Horizont OE	GEW_GESAMT	GEW_FRAKTION	TV105G	PH	AL_RFA	BA_RFA	CA_RFA	CL_RFA	CO_RFA	CR_RFA	CU_RFA	F_RFA	FE_RFA	GA_RFA	K_RFA	MG_RFA	MN_RFA	MO_RFA
920501	0LOh	789.3	543	4.01	3.9	3.49	422	.38	.022	15	63	561	-.05	3.02	21	1.39	.55	.124	1
920502	Ah	188.5	135.4	2.65	3.6	7.1	454	.23	.013	20	68	890	-.05	5.78	24	3.04	.84	.307	4
920503	Bv	144.2	98	2.11	5	7.88	3445	.23	.007	24	69	2470	-.05	6.52	20	3.32	.89	1.468	6
920504	I*	272.6	150.8	11.82	4.7	7.2	904	.26	.007	29	72	5163	-.05	8.59	19	3.4	.9	1.874	4
920505	III*	300.4	158.8	.91	5.3	9.56	651	.29	.007	23	64	2847	-.05	5.11	24	4.23	1.41	.543	1
920506	III*	310.9	189.5	.33	5.5	9.33	324	.12	.007	23	69	78	-.05	4.57	23	4.46	.89	.253	2
920507	CV	796.6	402.6	.43	5.2	8.11	289	.31	.008	20	67	152	-.05	4.8	24	4.72	1.85	.098	2
920514	OfOh	412.2	237.5	4.22	4.4	3.45	413	.74	.017	12	59	239	-.05	1.89	24	1.99	.83	.161	-1
920515	Ah	207.4	169.8	3.44	4.1	6.78	344	.38	.012	11	58	277	-.05	4.01	23	3.11	.97	.088	2
920516	Bv	181.7	148.9	1.8	6.6	7.59	388	2.21	.007	24	58	6847	-.05	5.01	16	3.18	1.14	.735	2
920517	I*	121	82.1	3.08	6.9	8.54	583	6.24	.009	28	52	21300	-.05	8.34	14	2.99	.86	1.378	5
920518	II*	507.5	237	.56	6.4	7	383	.25	.005	13	47	3232	-.05	4	17	3.33	1.17	.113	-1
920525	O	324.3	191.1	5.36	3.7	2.88	436	.4	.027	12	70	214	-.05	2.57	24	1.69	.39	.064	-1
920526	Ah	65	47	4.45	3.4	5.78	345	.3	.017	12	70	344	-.05	4.35	25	3.14	.78	.055	-1
920527	AP	103	75.5	3.37	3.7	8.05	299	.16	.009	12	72	339	-.05	4.62	28	3.51	.99	.033	1
920528	P	119.7	94.2	2.32	3.7	6.59	341	.14	.006	13	52	297	-.05	4.71	25	3.09	.94	.085	-1
920529	I*	406.9	232.4	1.57	3.9	9.85	357	.09	.006	19	65	736	-.05	4.43	20	3.72	1.01	.174	3
920530	B	264.4	148	1.48	4	8.43	351	.22	.008	15	65	397	-.05	4.26	22	3.21	.96	.169	3
920531	CV	455.1	259.6	1.34	4.2	9.54	475	.15	.005	26	66	1042	-.05	5.99	24	3.63	.87	.34	2
920538	O	126.3	87.1	5.51	3.7	1.99	260	.54	.02	10	47	20	-.05	1.56	17	2.11	.53	.075	-1
920539	AP	150.7	98.6	3.25	3.5	7.21	241	.16	.012	12	65	23	-.05	3.2	27	3.29	.95	.045	2
920540	Bv	291.6	151.4	1.69	4	9.87	301	.04	.007	16	67	58	-.05	4.6	22	4.07	1.2	.129	2
920541	BvCv	498.6	136.6	.97	4.6	9.23	301	.05	.005	20	61	41	-.05	10	18	4.45	1.39	.577	3
920845		84.6					166	7.62	.005	37	10	21300	-.05	23.47	-10	.99	.87	.309	3
920847		49.1					286	.2	.01	20	56	1441	-.05	8.23	22	3.73	1.1	.123	4
920849		116.6					270	.33	.008	13	64	418	-.05	3.16	21	3.78	.55	.04	-1
920850		79.7					384	.24	.008	13	65	371	-.05	3.72	21	3.61	1.63	.029	-1
920851		123.6					348	.23	-.005	10	58	456	-.05	3.28	17	3.2	.56	.015	-1
920852		112.1					506	.34	.006	7	98	16	-.05	3.23	34	4.42	.5	.013	-1
920853		42.3					699	.29	.005	12	82	430	-.05	3.71	24	3.4	.8	.052	-1
920858		597.1					367	.26	.005	9	87	-10	-.05	3.69	27	3.76	.53	.029	-1

Prob_Nr	Horizont OE	NA_RFA	NB_RFA	NI_RFA	P_RFA	PB_RFA	RB_RFA	SI_RFA	SR_RFA	TH_RFA	TI_RFA	U_RFA	V_RFA	W_RFA	Y_RFA	ZN_RFA	ZR_RFA
920501	010h	.17	19	28	.193	129	135	16.5	50	.449	128		128		21	90	170
920502	Ah	.2	20	36	.139	118	136	24.6	55	.563	141		141		26	85	176
920503	Bv	.17	18	62	.143	89	129	22.8	144	.552	159		159		30	158	219
920504	I*	.2	15	103	.155	57	127	23.9	61	.548	228		228		51	214	163
920505	II*	.25	19	79	.092	37	154	25.2	60	.521	129		129		34	107	165
920506	III*	.19	18	41	.093	15	148	26.7	57	.506	112		112		29	28	147
920507	Cv	.29	19	51	.094	20	163	24.2	58	.523	103		103		35	48	152
920514	0f0h	.18	20	21	.242	102	134	16.8	53	.419	115		115		22	84	174
920515	Ah	.23	22	23	.206	97	130	23.8	53	.484	108		108		30	53	188
920516	Bv	.19	14	79	.309	38	122	23.9	52	.489	131		131		41	150	176
920517	I*	.35	-10	202	.844	46	97	17.6	92	.411	164		164		60	240	131
920518	II*	.26	15	51	.098	20	125	23.56	54	.438	108		108		43	72	180
920525	O	.16	21	19	.282	160	143	15.3	48	.411	132		132		14	77	135
920526	Ah	.2	20	19	.206	118	136	21.2	29	.512	135		135		20	50	138
920527	AP	.21	24	19	.156	87	154	24.6	55	.575	131		131		26	31	165
920528	P	.19	15	20	.077	50	124	22.6	51	.46	123		123		38	30	163
920529	I*	.25	18	30	.094	31	154	26.8	56	.541	119		119		31	38	177
920530	B	.28	24	26	.075	28	152	28	57	.582	126		126		36	177	177
920531	Cv	.21	21	31	.129	28	159	26.2	59	.571	125		125		26	37	159
920538	O	.13	15	18	.176	97	84	10.9	43	.322	104		104		21	74	131
920539	AP	.2	22	17	.143	72	115	23.2	54	.544	118		118		30	44	180
920540	Bv	.2	22	23	.093	33	164	26	59	.554	116		116		26	40	167
920541	BvCv	.21	21	45	.116	18	167	23.2	66	.483	110		110		-10	52	135
920845		.26	-10	39	.149	-10	51	12	192	.132	40		40		12	53	81
920847		.19	21	26	.299	26	170	23.72	66	.524	110		110		17	52	175
920849		.23	18	31	.059	17	144	28.6	47	.514	97		97		22	12	170
920850		.32	17	29	.091	19	162	26.3	68	.494	98		98		28	23	170
920851		-.05	17	25	.065	13	151	29.2	44	.57	104		104		33	11	166
920852		-.18	21	19	.033	20	242	26.1	48	.64	154		154		17	11	91
920853		.68	21	42	.045	15	151	27.1	65	.607	211		211		28	77	151
920858		.26	19	47	.074	11	215	25.5	58	.656	140		140		27	12	121





## Geochemische Untersuchungstechnik

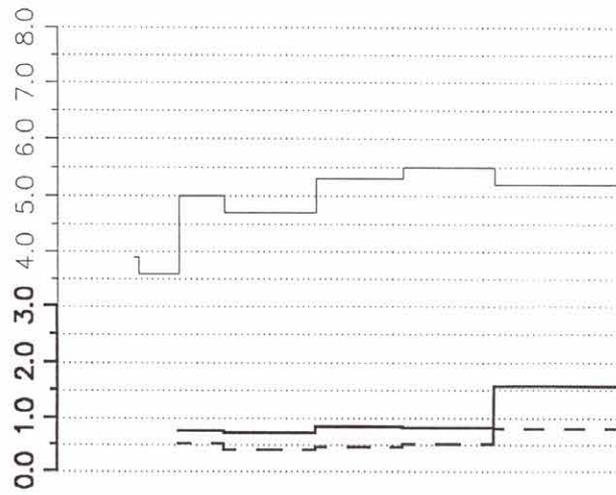
920502 – Zn-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— ZN\_RFA Massebezug  
 - - - ZN\_RFA Volumsbezug fein  
 ····· ZN\_RFA Volumsbezug gesamt

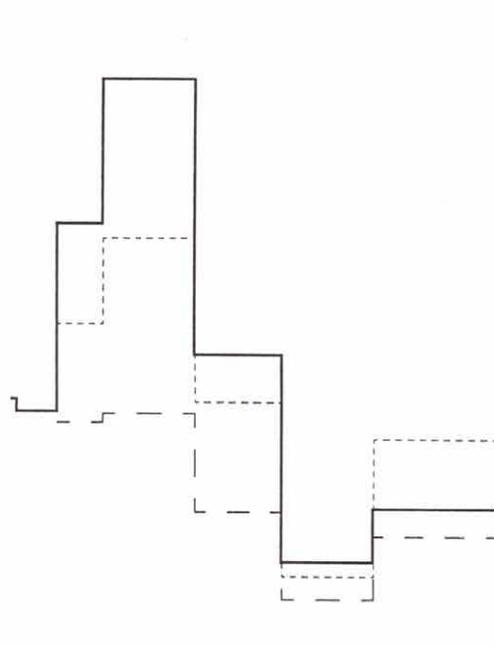
— Lagerungsdichte ges.  
 - - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil: 0,0 42,8 85,6 128,4 171,2 214,0 ZN\_RFA

Horizont	920501	920502	920503	920504	920505	920506	920507
Horizont		Ah	Bv	I*	II*	III*	Cv
δ		-8,-	-17,-	-35,-	-52,-	-70,-	-94,-



GEOTECHNIK-Hbr 18-MAY-93 19:02:13 Eisenerz-Ramsau

# Geochemische Untersuchungstechnik

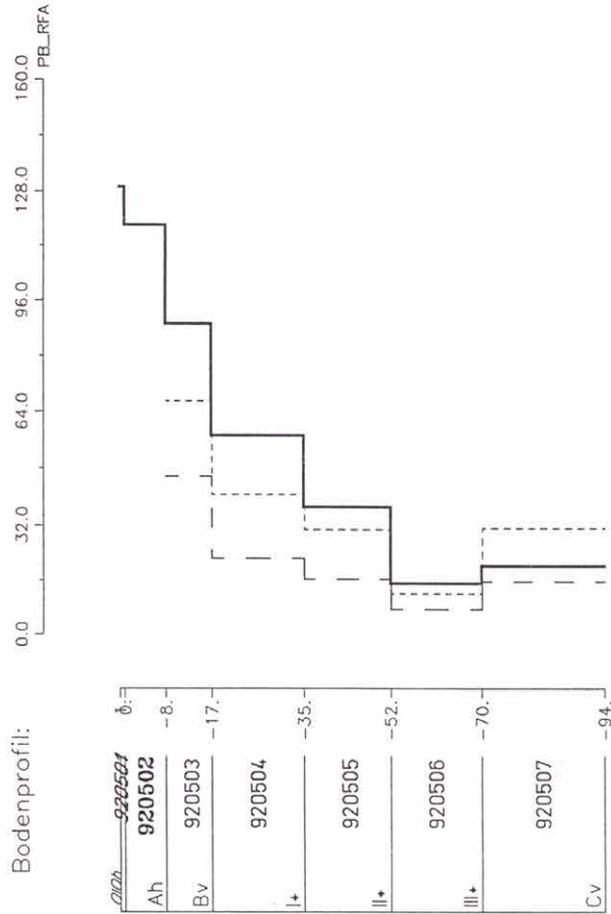
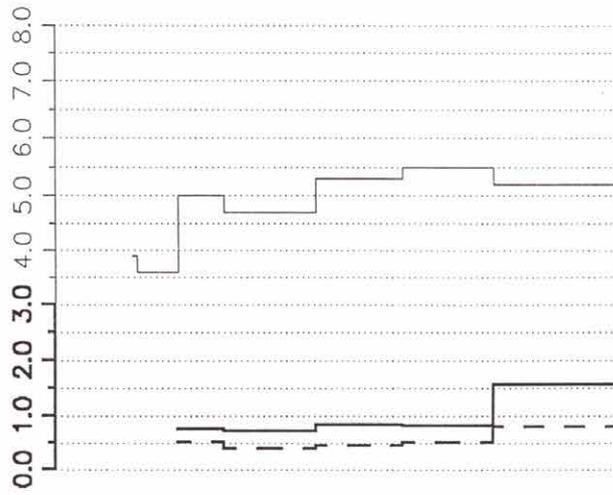
## 920502 – Pb-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

- Lagerungsdichte ges.
- - Lagerungsdichte < 2mm
- pH

- PB\_RFA Massebezug
- - PB\_RFA Volumsbezug fein
- · · · · PB\_RFA Volumsbezug gesamt

Lagerungsdichte und pH



## Geochemische Untersuchungstechnik

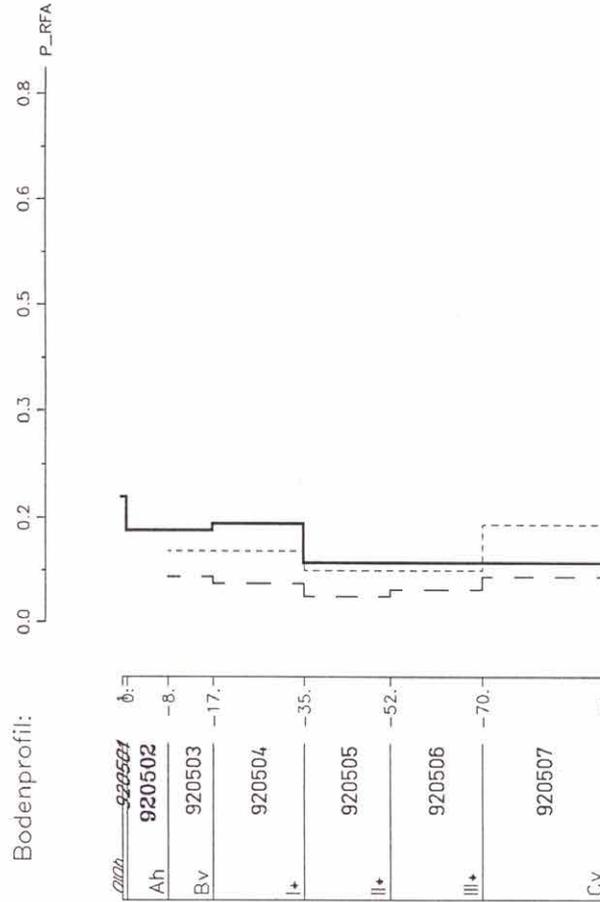
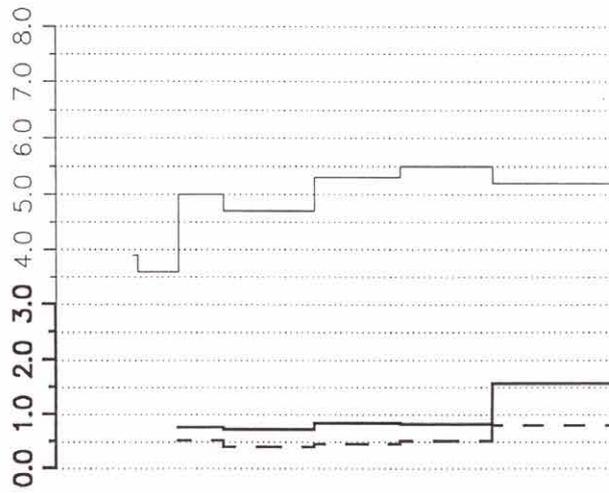
### 920502 – P-RFA ppm

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— P\_RFA Massebezug  
 - - P\_RFA Volumsbezug fein  
 ····· P\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

**Lagerungsdichte und pH**



Bodenprofil:

Tiefe	920502	0:
Ah	920502	- 8.
Bv	920503	- 17.
	920504	- 35.
	920505	- 52.
	920506	- 70.
C.v	920507	- 94.

# Geochemische Untersuchungstechnik

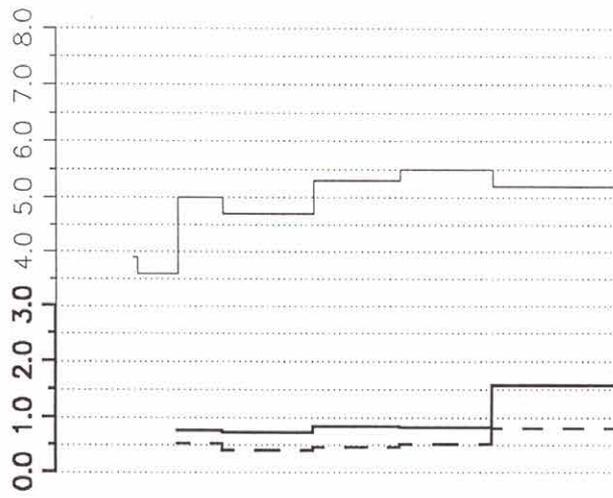
## 920502 – Ni-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

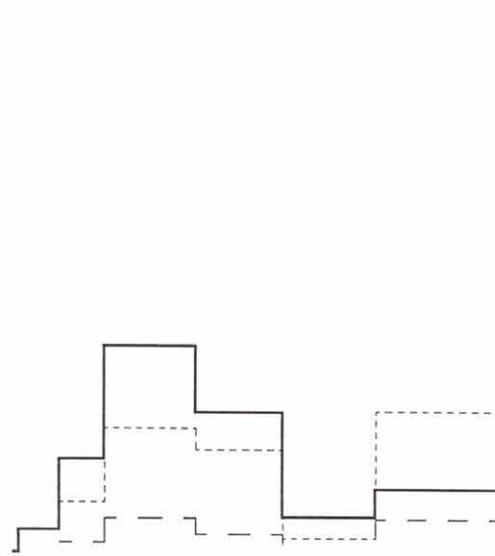
— Ni\_RFA Massebezug  
 - - Ni\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - Ni\_RFA Volumsbezug gesamt

### Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil: 0.0 40.4 80.8 121.2 161.6 202.0 Ni\_RFA

010h	920501	0:
Ah	920502	-8.-
Bv	920503	-17.-
	920504	-35.-
	920505	-52.-
	920506	-70.-
	920507	-94.-



## Geochemische Untersuchungstechnik

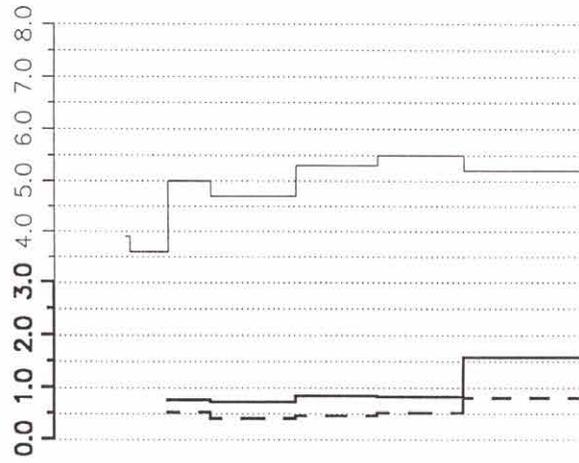
### 920502 – K-RFA ppm

— Lagerungsdichte ges.  
 - - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— K\_RFA Massebezug  
 - - - K\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - - K\_RFA Volumsbezug gesamt

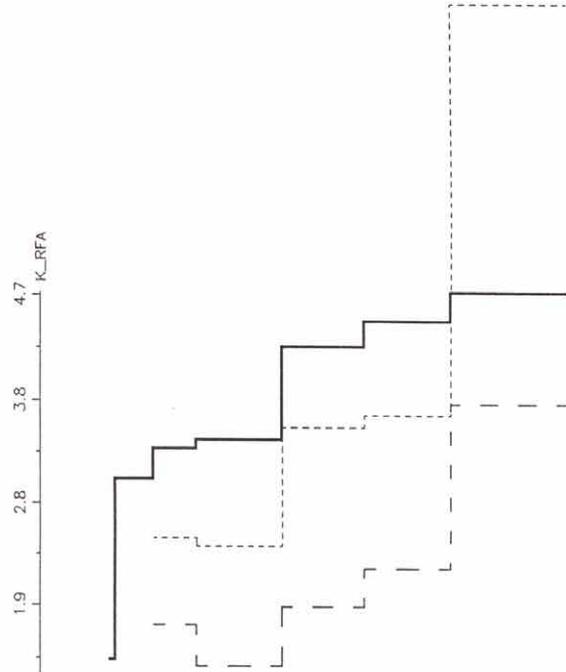
Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

### Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil: 0.0 0.9 1.9 2.8 3.8 4.7 K\_RFA

Horizont	tiefe
0/10cm	0.-
Ah	0.-8.-
Bv	8.-17.-
I+	17.-35.-
II+	35.-52.-
III+	52.-70.-
Cv	70.-94.-



GEDTECHN-18r 18-MAY-83 17:55:30 Eisenerz-Flamsau

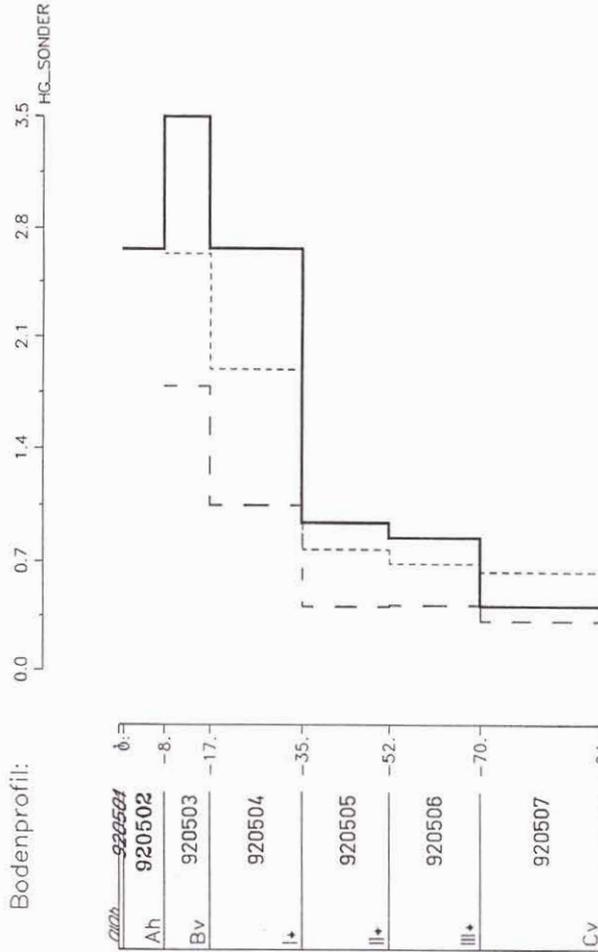
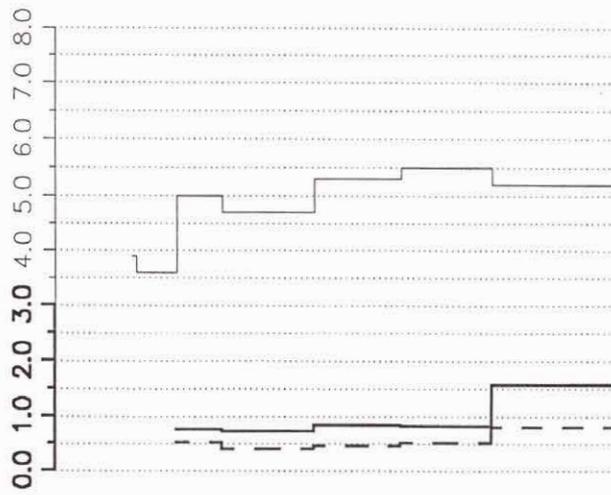
# Geochemische Untersuchungstechnik 920502 – Hg-Sonder

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— HG\_SONDER Massebezug  
 - - HG\_SONDER Volumsbezug fein  
 - - - - HG\_SONDER Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

## Lagerungsdichte und pH



Horizont	920501	920502	920503	920504	920505	920506	920507
Ah		-8.					
Bv			-17.				
I+				-35.			
II+					-52.		
III+						-70.	
Cv							-94.

GEOTECHNIK-Ibr 18-MAY-93 17:39:40 Eisenerz-Romanau

# Geochemische Untersuchungstechnik

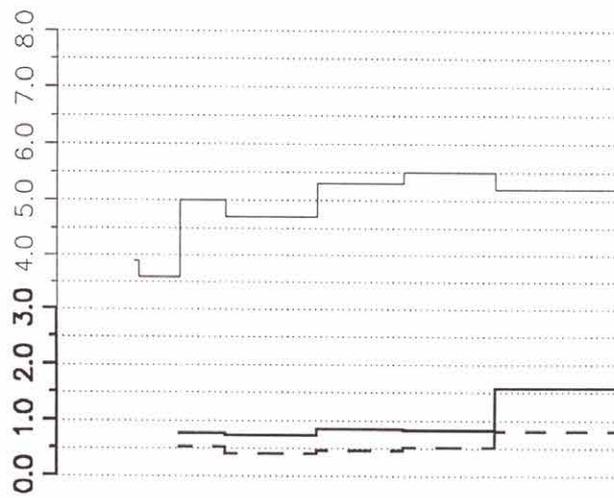
## 920502 – Fe-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

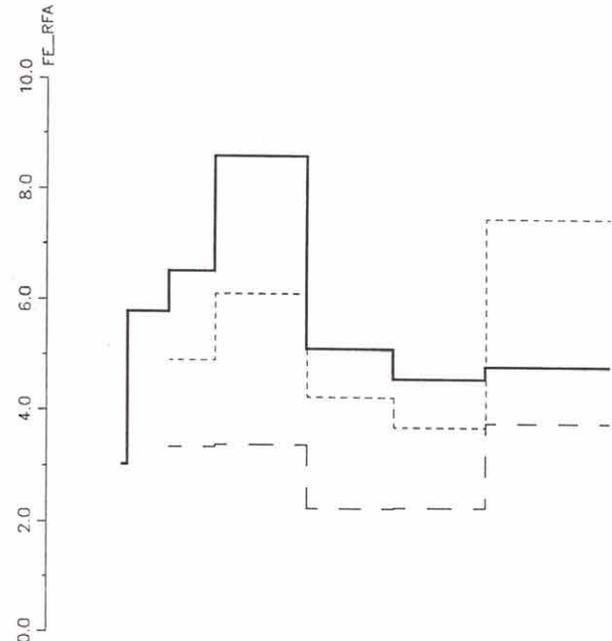
— FE\_RFA Massebezug  
 - - FE\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - FE\_RFA Volumsbezug gesamt

### Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil: 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 FE\_RFA

Horizont	920502	920503	920504	920505	920506	920507
Ah	-8.-					
Bv	-17.-					
I+			-35.-			
II+				-52.-		
III+					-70.-	
Cv						-94.-



GEOTECHNIK-Ibr 18-MAY-93 17:48:22 Eisenerz-Ramsau

# Geochemische Untersuchungstechnik

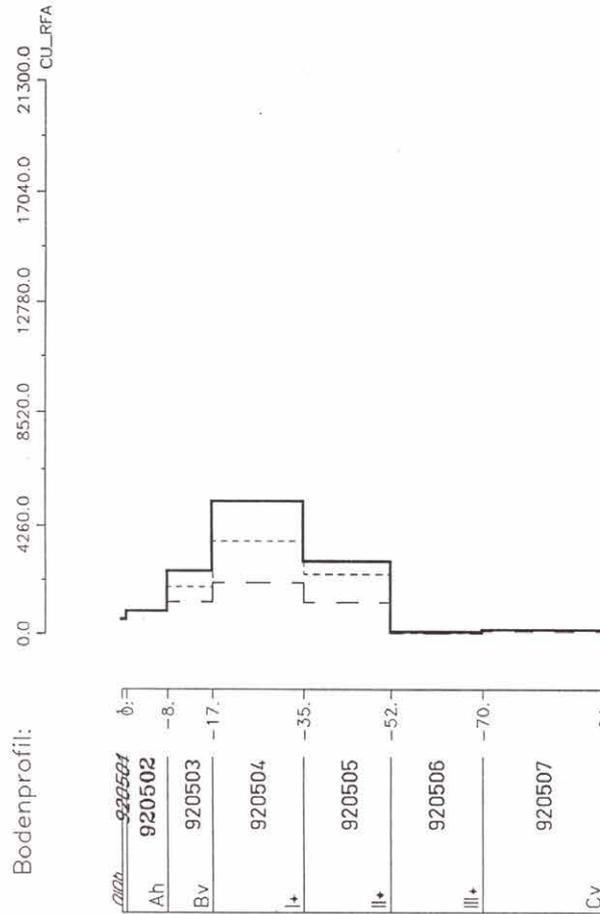
## 920502 – Cu-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— CU\_RFA Massebezug  
 - - CU\_RFA Volumsbezug fein  
 ····· CU\_RFA Volumsbezug gesamt

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

### Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil:

Horizont	tiefe	Ø
Ah	920502	-8.
Bv	920503	-17.
I+	920504	-35.
II+	920505	-52.
III+	920506	-70.
Cv	920507	-94.

# Geochemische Untersuchungstechnik

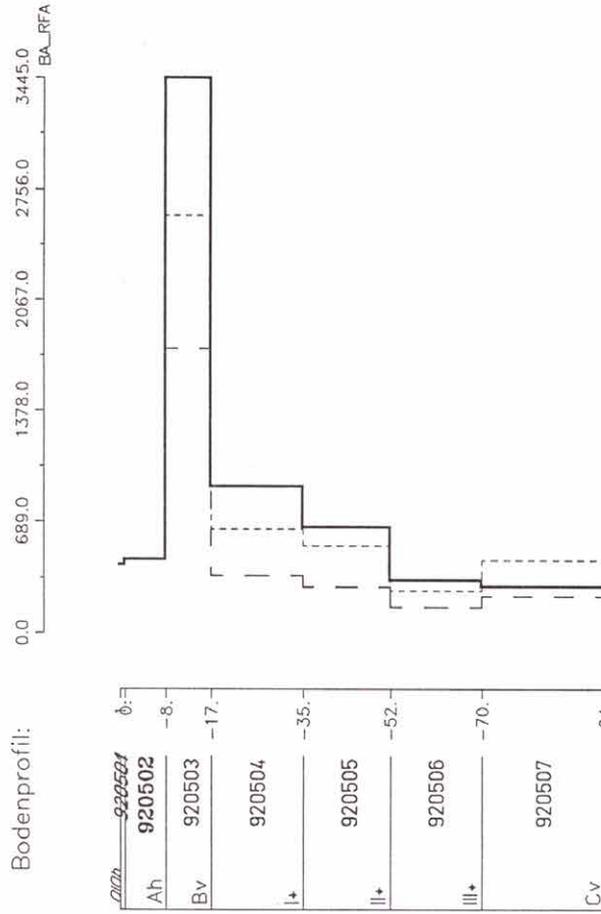
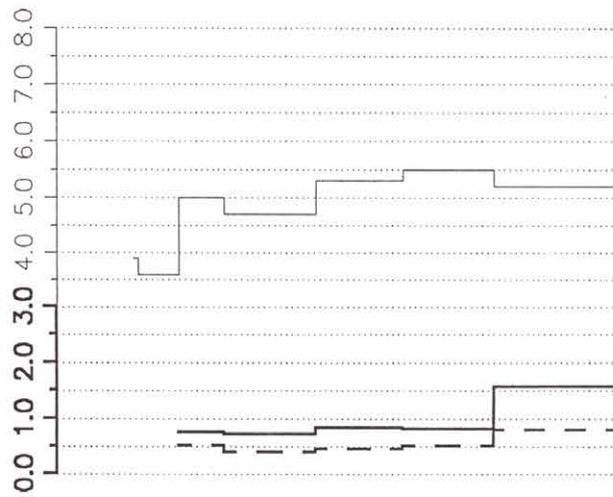
## 920502 – Ba-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— BA\_RFA Massebezug  
 - - BA\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - BA\_RFA Volumsbezug gesamt

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

### Lagerungsdichte und pH



GEOTECHNIK-Fbr. 18-MAY-93 18.11.95 Eisenenz-Ramsau

Bodengeochemie Eisenerzer Ramsau

Beilage 4/2

Probenpunkt 920515

pH- und Elementverteilungen innerhalb des Bodenprofils

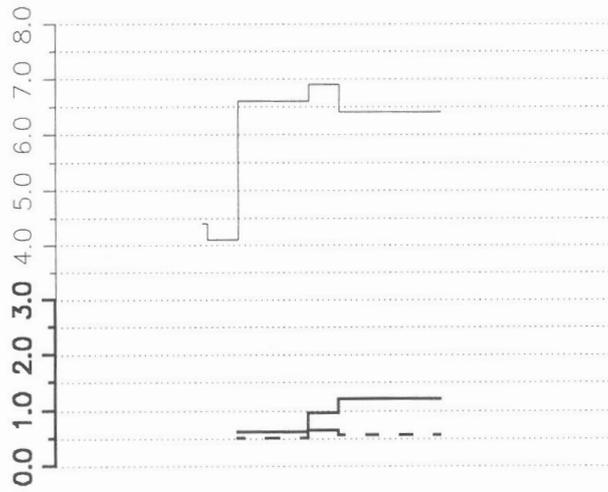
## Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – Ba-RFA

— Lagerungsdichte ges.  
 - - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

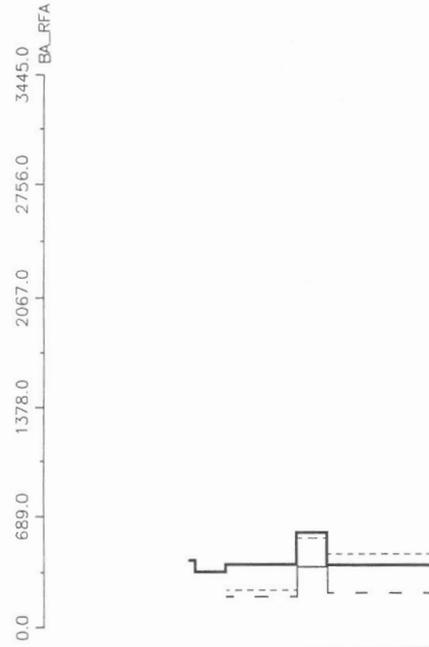
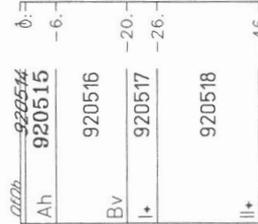
— BA\_RFA Massebezug  
 - - - BA\_RFA Volumsbezug fein  
 ····· BA\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:



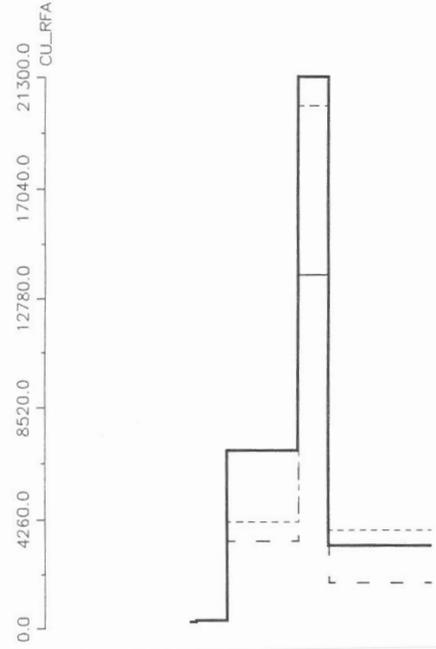
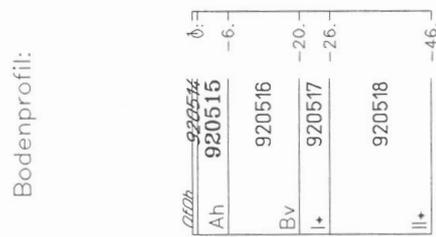
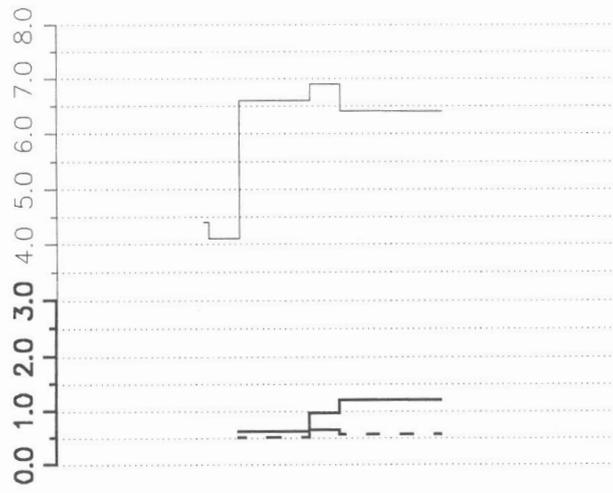
## Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – Cu-RFA

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— CU\_RFA Massebezug  
 - - CU\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - CU\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug(mg/kg) zu Volumsbezug(mg/l)

**Lagerungsdichte und pH**



## Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – Fe-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges

— Lagerungsdichte < 2mm

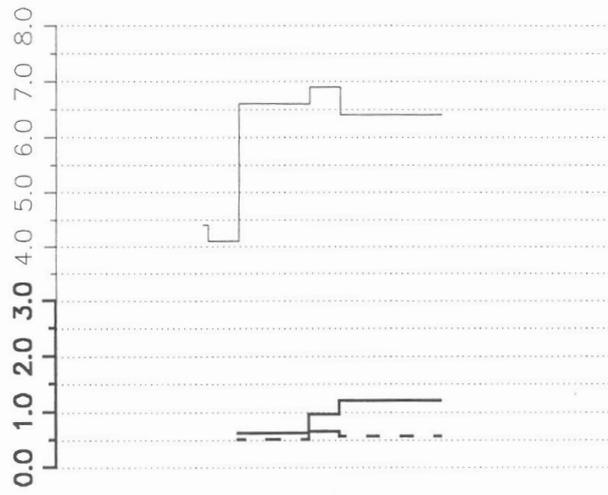
— pH

— FE\_RFA Massebezug

— FE\_RFA Volumsbezug fein

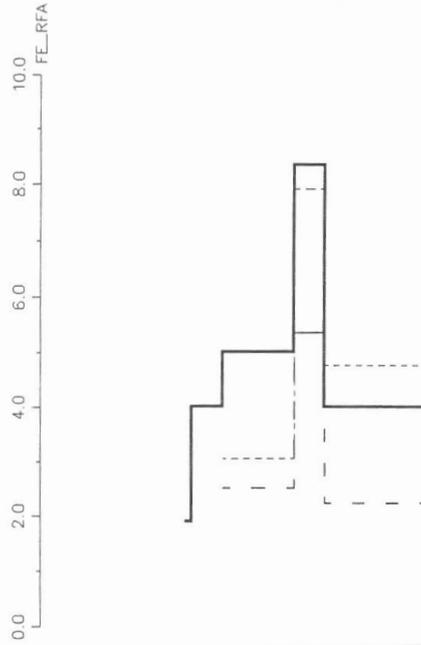
— FE\_RFA Volumsbezug gesamt

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:

010h	920514	φ:
Ah	920515	-6.-
Bv	920516	
I+	920517	-20.-
II+	920518	-46.-



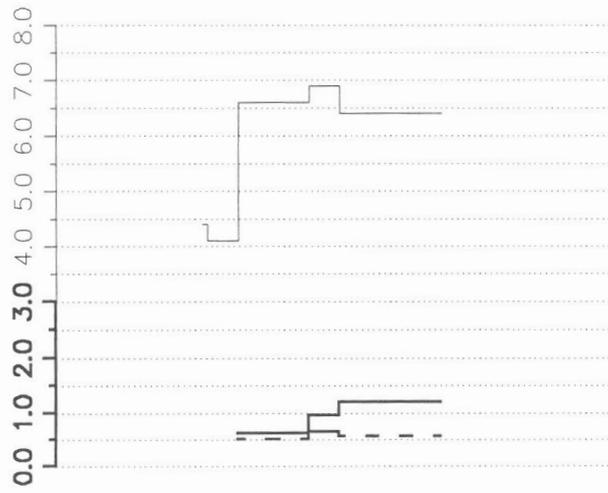
## Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – Hg-SONDER

— Lagerungsdichte ges.  
 - - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

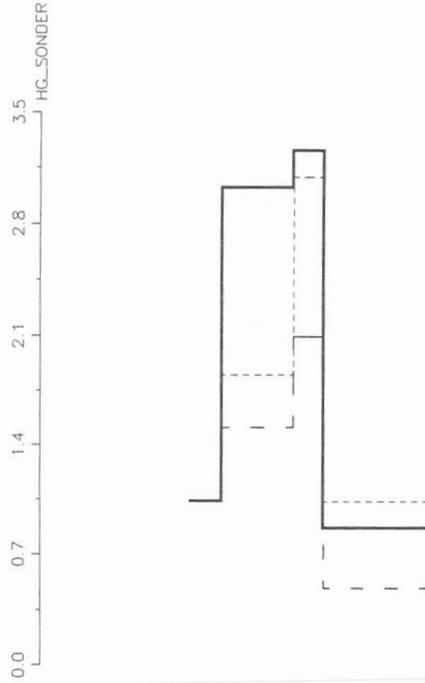
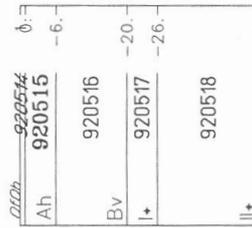
— HG\_SONDER Massebezug  
 - - - HG\_SONDER Volumsbezug fein  
 - - - - - HG\_SONDER Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug(mg/kg) zu Volumsbezug(mg/l)

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:



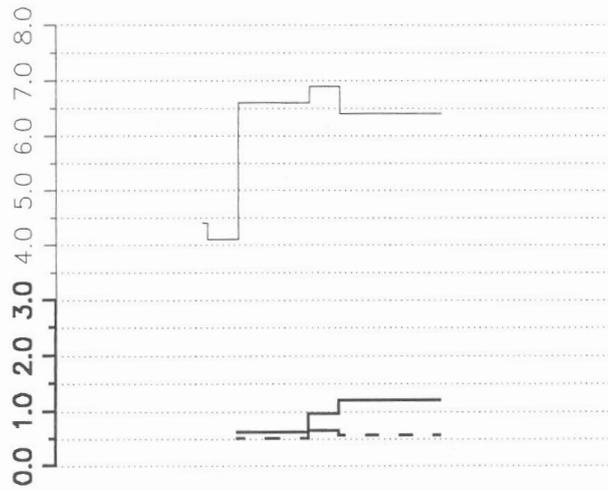
## Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – K-RFA

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— K\_RFA Massebezug  
 - - K\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - K\_RFA Volumsbezug gesamt

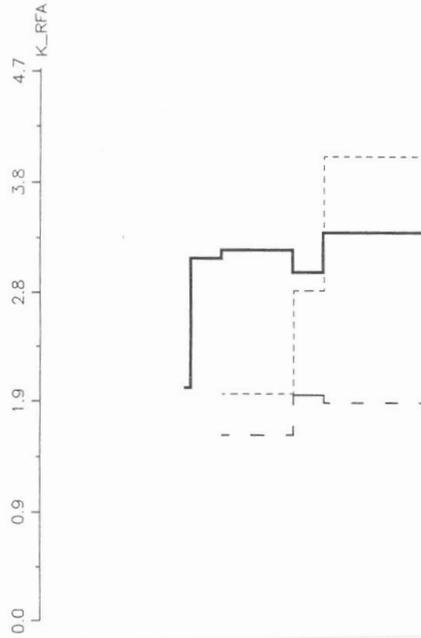
Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:

Horizont	tiefe
Ah	0 - 6
Bv	6 - 20
I+	20 - 26
II+	26 - 46



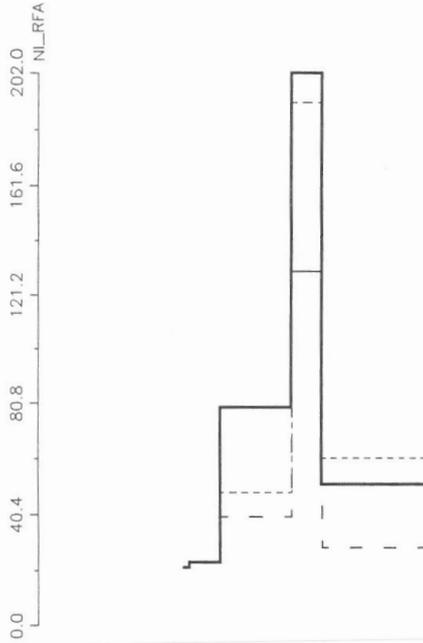
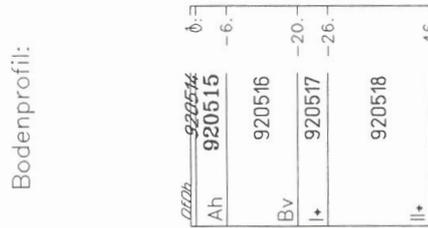
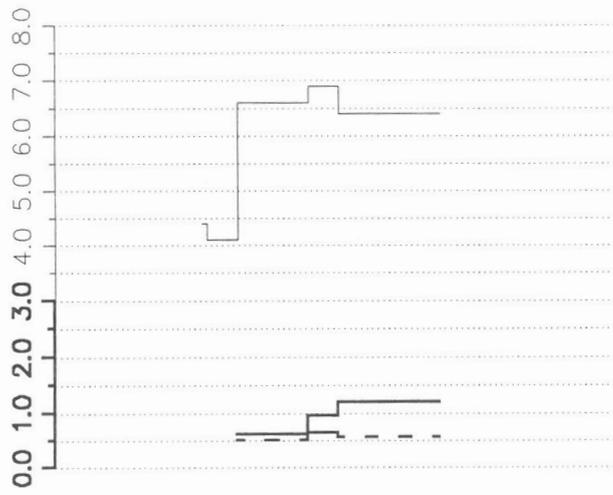
# Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – Ni-RFA ppm

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— NI\_RFA Massebezug  
 - - NI\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - NI\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

## Lagerungsdichte und pH



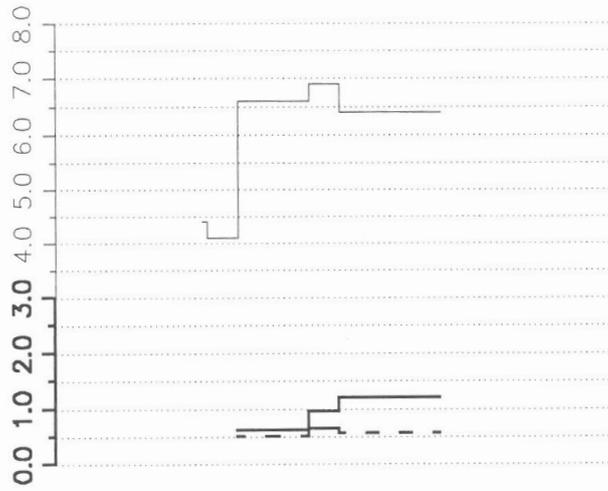
## Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – P-RFA ppm

— Lagerungsdichte ges.  
 - - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— P\_RFA Massebezug  
 - - - P\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - P\_RFA Volumsbezug gesamt

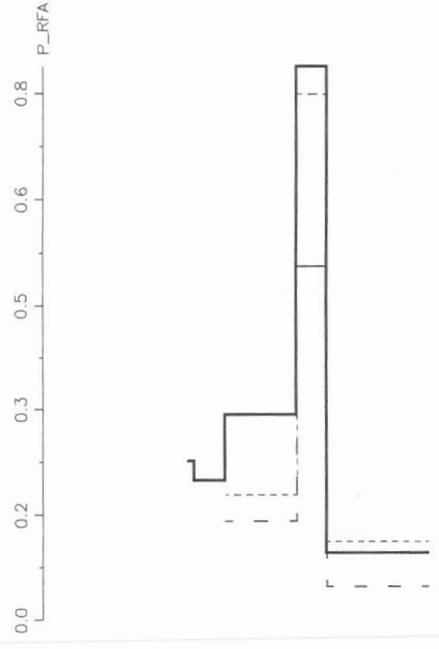
Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

### Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil:

920514	φ:
Ah	-6.
Bv	-20.
I+	-26.
II+	-46.



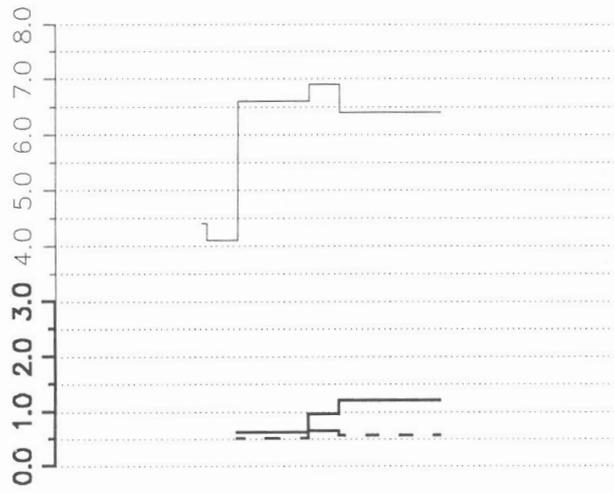
## Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – Pb-RFA ppm

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

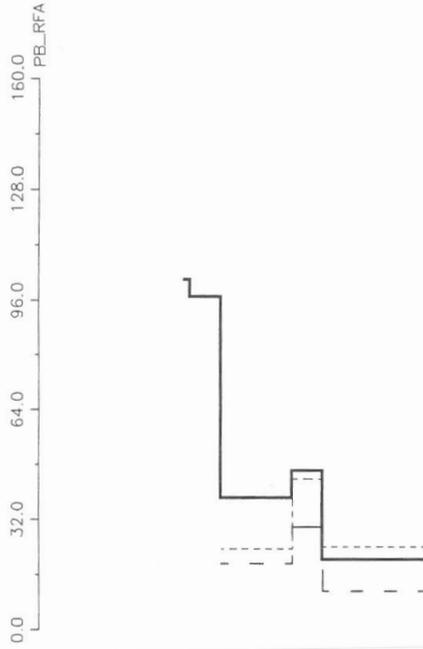
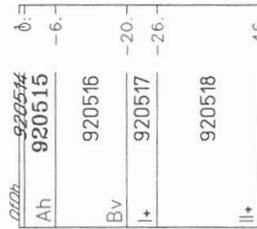
— PB\_RFA Massebezug  
 - - PB\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - PB\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:



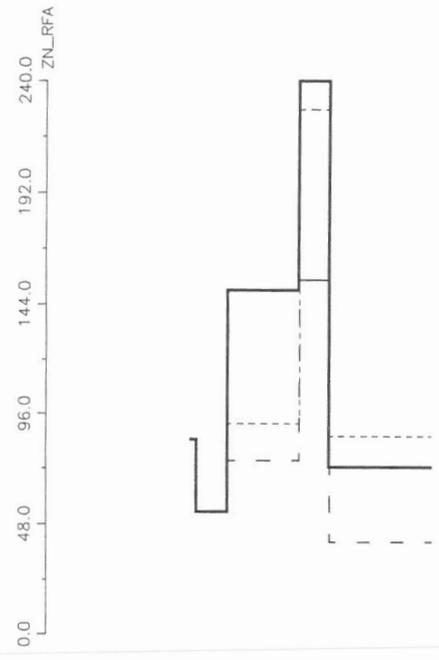
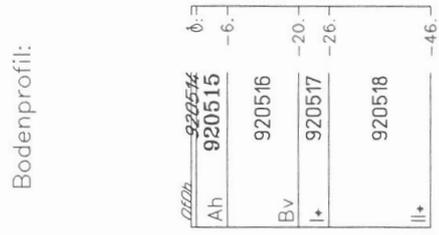
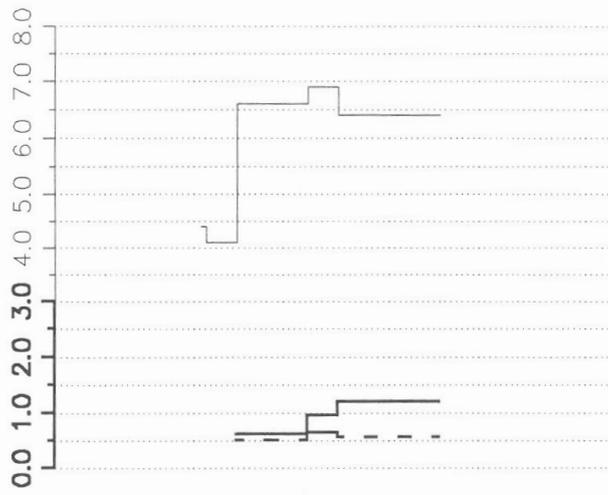
## Geochemische Untersuchungstechnik 920515 – Zn – RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— ZN\_RFA Massebezug  
 - - ZN\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - ZN\_RFA Volumsbezug gesamt

### Lagerungsdichte und pH



Bodengeochemie Eisenerzer Ramsau

Beilage 4/3

Probenpunkt 920526

pH- und Elementverteilungen innerhalb des Bodenprofiles

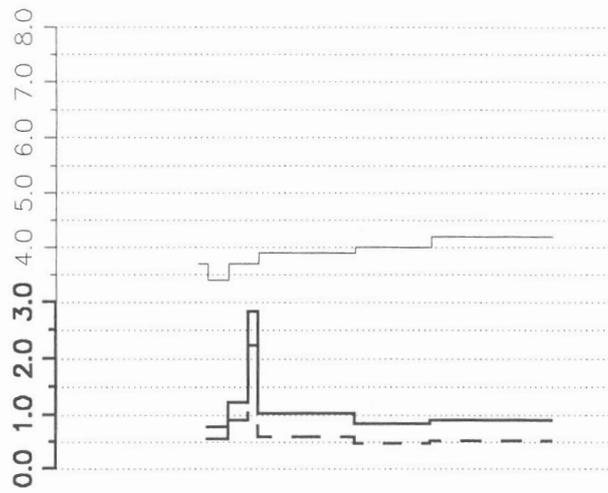
## Geochemische Untersuchungstechnik 920526 – Ba-RFA ppm

— BA\_RFA Massebezug  
 - - BA\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - BA\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

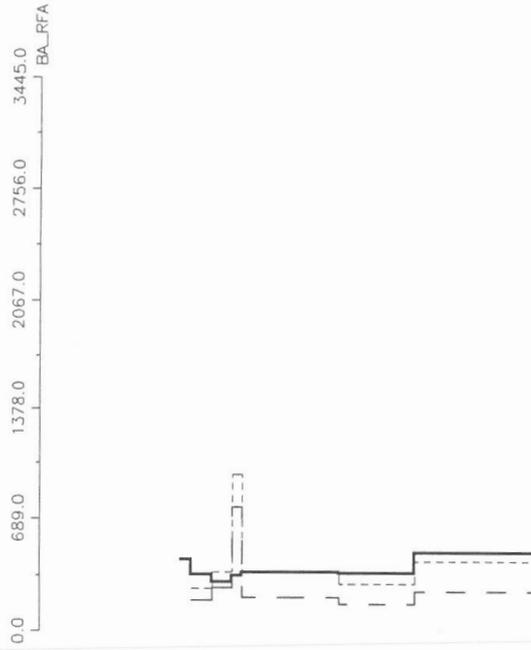
— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:

0	920526	0
Ah	920526	-4
AP	920526	-18
I*	920529	-29
B	920530	-44
Cv	920531	-68



# Geochemische Untersuchungstechnik

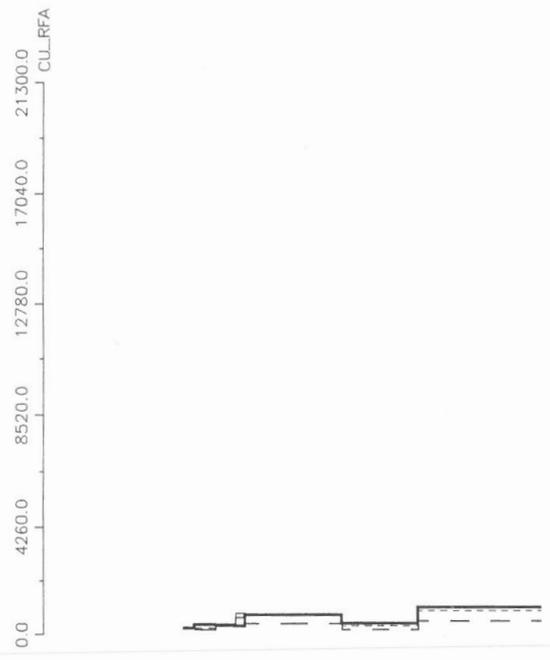
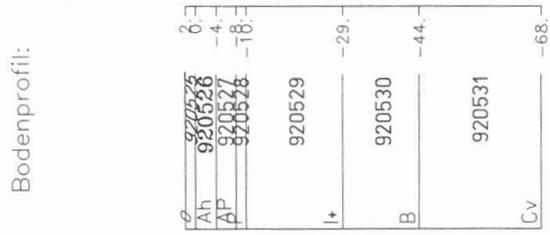
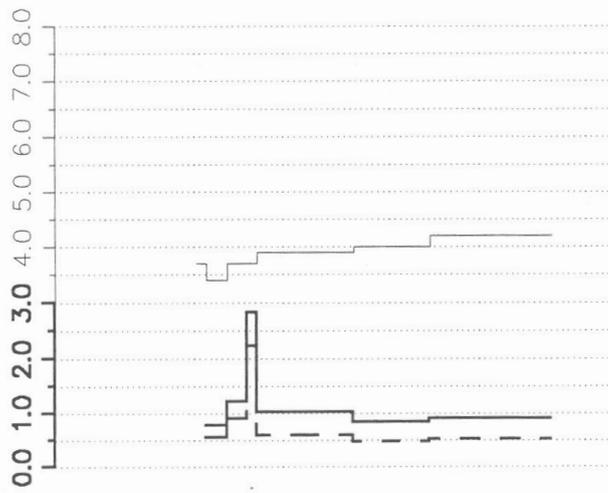
## 920526 – Cu-RFA ppm

Vergleich Massenbezug(mg/kg) zu Volumsbezug(mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— CU\_RFA Massebezug  
 - - - CU\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - CU\_RFA Volumsbezug gesamt

### Lagerungsdichte und pH



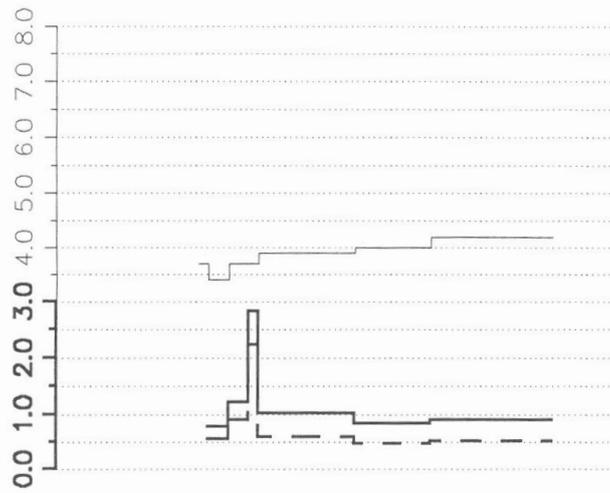
## Geochemische Untersuchungstechnik 920526 – Fe-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

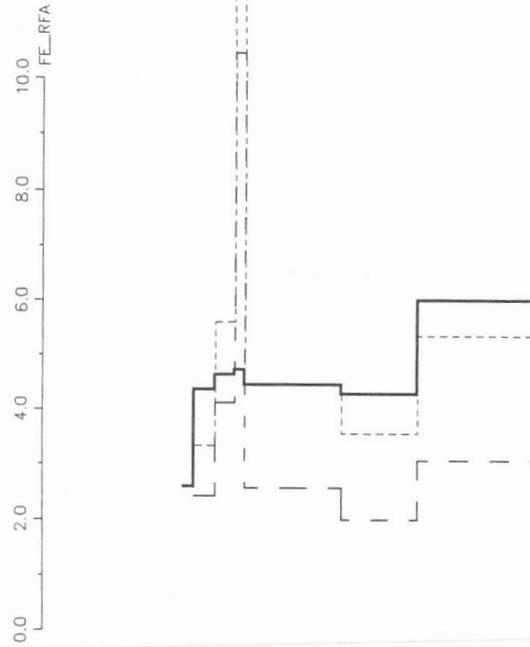
— FE\_RFA Massebezug  
 - - FE\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - FE\_RFA Volumsbezug gesamt

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:

0	920526	0
Ah	920526	-4
Ap	920527	-18
	920528	
I*	920529	-29
B	920530	-44
Cv	920531	-68



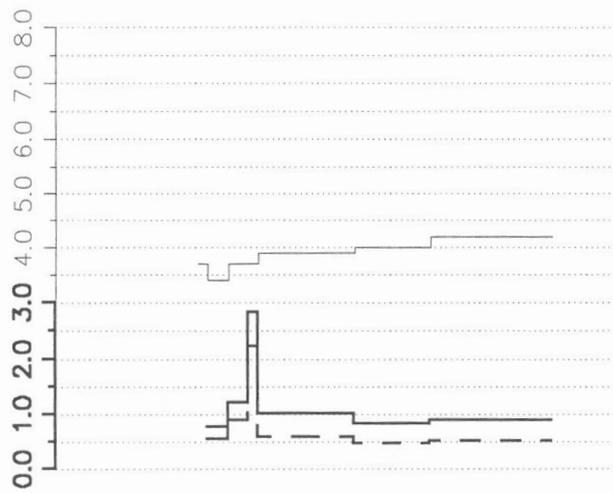
## Geochemische Untersuchungstechnik 920526 – Hg-SONDER

— Lagerungsdichte ges.  
 - - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— HG-SONDER Massebezug  
 - - - HG-SONDER Volumsbezug fein  
 ····· HG-SONDER Volumsbezug gesamt

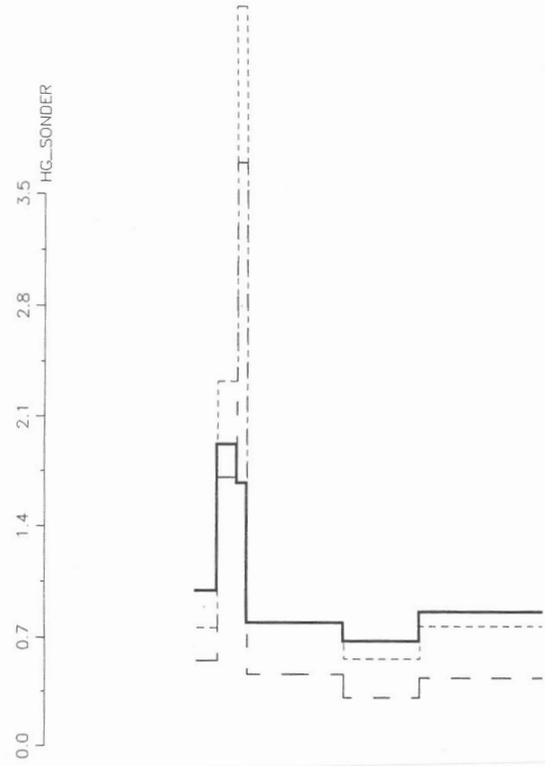
Vergleich Massenbezug(mg/kg) zu Volumsbezug(mg/l)

### Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil:

Ah	920526	δ <sub>s</sub>	-4
AP	920527		-18
	920528		
I*	920529		-29
B	920530		-44
Cv	920531		-68



### Geochemische Untersuchungstechnik

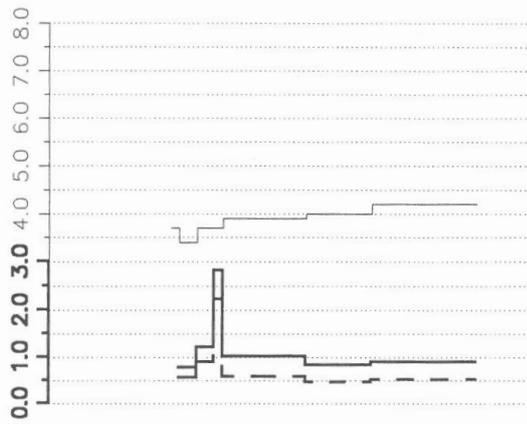
920526 – K-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

- Lagerungsdichte ges.
- - Lagerungsdichte < 2mm
- pH

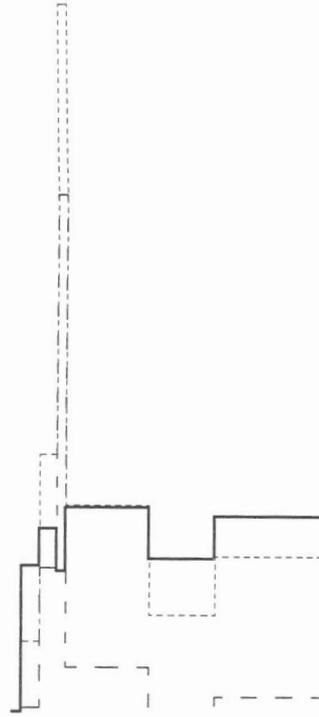
- K\_RFA Massebezug
- - K\_RFA Volumsbezug fein
- - - K\_RFA Volumsbezug gesamt

Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil: 0.0 0.9 1.9 2.8 3.8 4.7 K\_RFA

0.0	920526
0.5	Ah 920526
1.0	AP 920526
1.5	920526
2.0	920529
2.5	I*
3.0	920530
3.5	B
4.0	920531
4.5	Cv
5.0	-68-
5.5	-44-
6.0	-29-
6.5	-18-
7.0	-4-
7.5	0.0



GEO TECH-NIK-11b/ 18-MAY-93 17:55:30 Eisenert-Ramsou

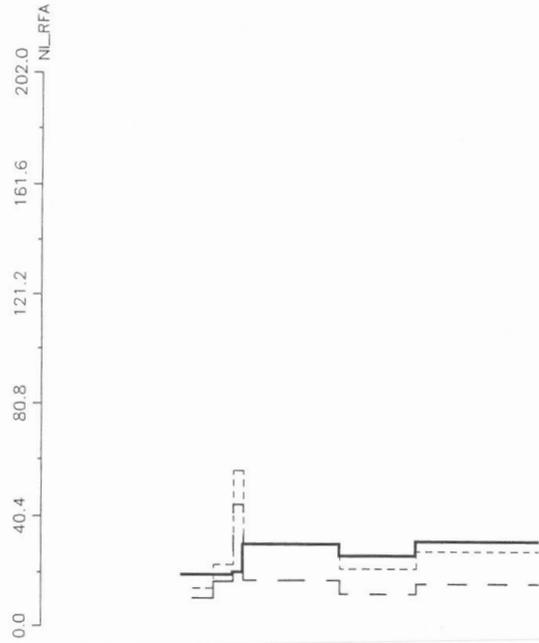
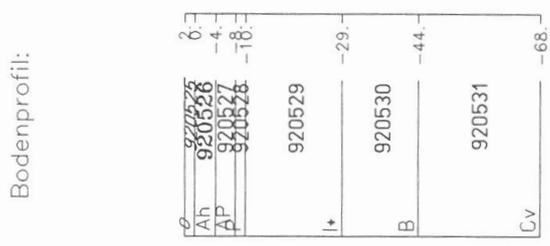
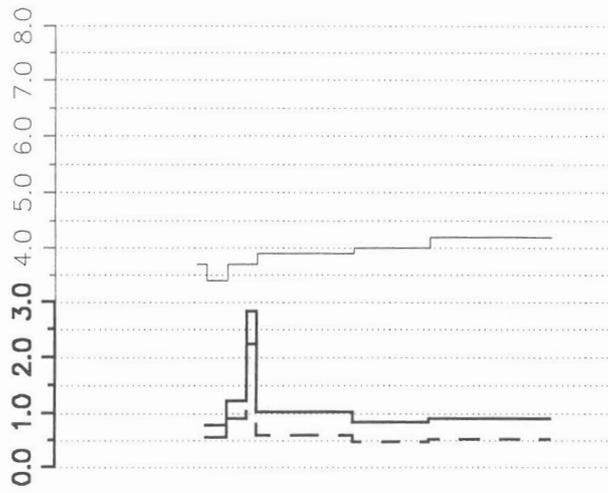
## Geochemische Untersuchungstechnik 920526 – Ni-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
- - Lagerungsdichte < 2mm  
— pH

— Ni\_RFA Massebezug  
- - Ni\_RFA Volumsbezug fein  
- - - - Ni\_RFA Volumsbezug gesamt

### Lagerungsdichte und pH



## Geochemische Untersuchungstechnik

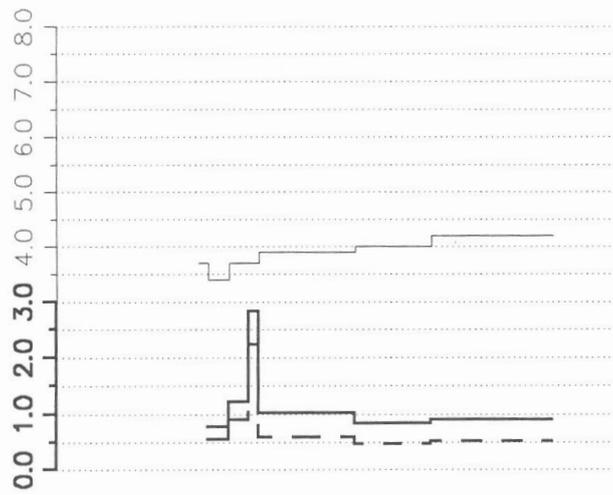
920526 – P-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

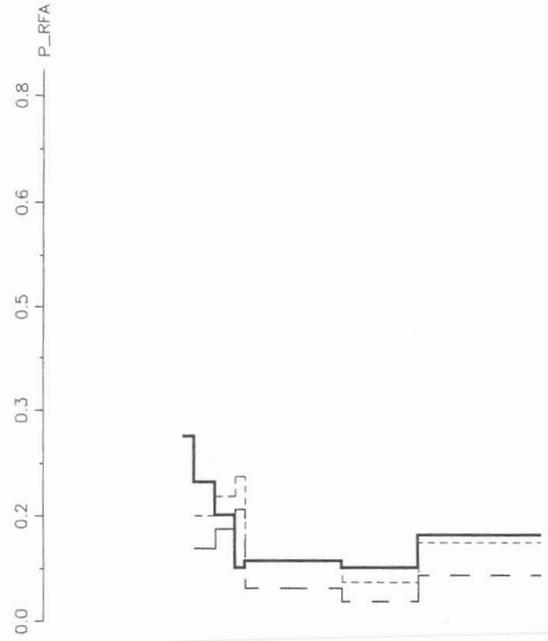
— P\_RFA Massebezug  
 - - P\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - P\_RFA Volumsbezug gesamt

Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil:

Horizont	tiefe (cm)
Ah	0-4
AP	4-18
I+	29
B	44
Cv	68



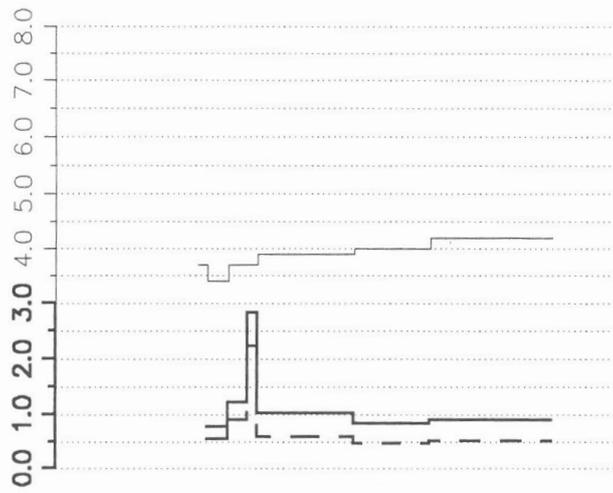
# Geochemische Untersuchungstechnik 920526 – Pb-RFA

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

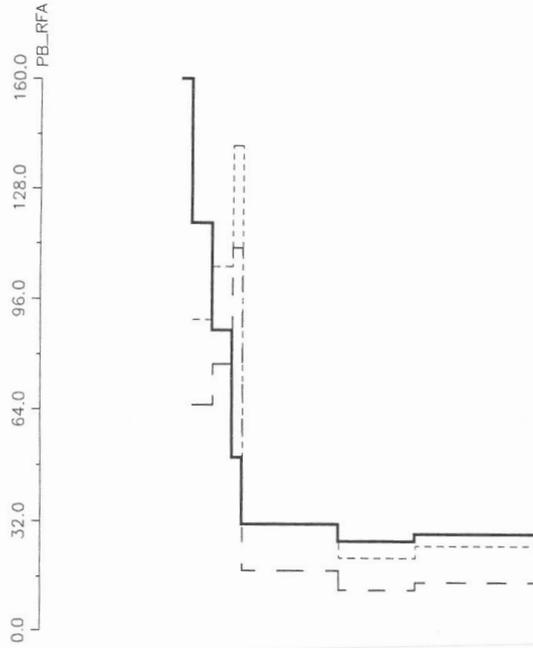
— PB\_RFA Massebezug  
 - - PB\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - - PB\_RFA Volumsbezug gesamt

## Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil:

0	920526	δ <sub>s</sub>
Ah	920526	-4-
AP	920527	-18-
I*	920529	-29-
B	920530	-44-
Cv	920531	-68-



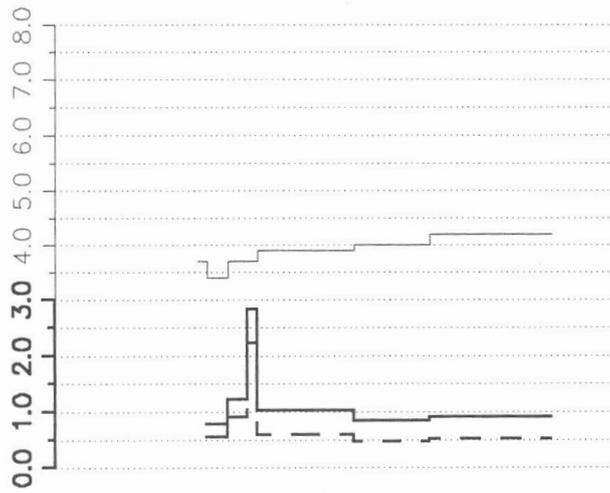
# Geochemische Untersuchungstechnik 920526 - Zn-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

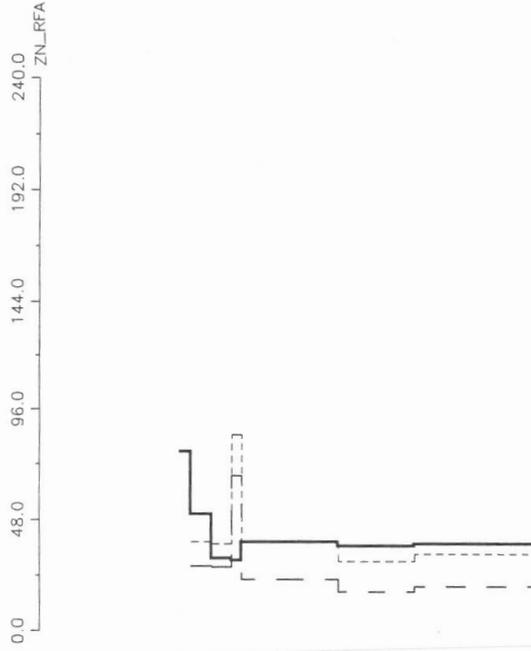
— ZN\_RFA Massebezug  
 - - ZN\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - ZN\_RFA Volumsbezug gesamt

**Lagerungsdichte** und pH



Bodenprofil:

0	920526	0
Ah	920526	-4
AP	920526	-18
I+	920529	-29
B	920530	-44
Cv	920531	-68



Bodengeochemie Eisenerzer Ramsau

Beilage 4/4

Probenpunkt 4/4

pH- und Elementverteilungen innerhalb des Bodenprofiles

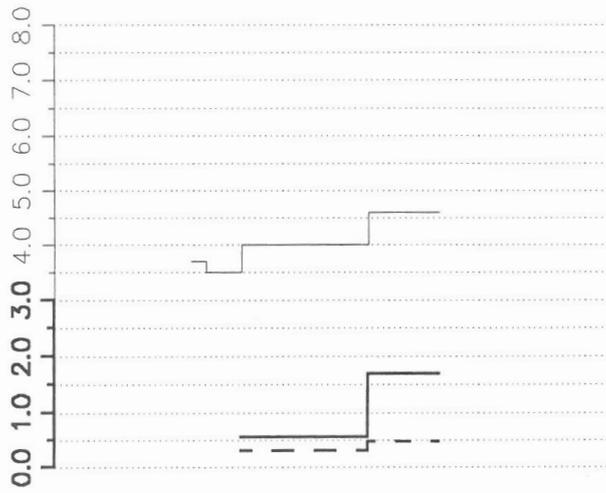
## Geochemische Untersuchungstechnik 920539 – Ba-RFA ppm

— BA\_RFA Massebezug  
 - - BA\_RFA Volumsbezug fein  
 ····· BA\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:

0	920538	3.
AP	920539	0.
Bv	920540	-7.
BvCv	920541	-32.
		-46.



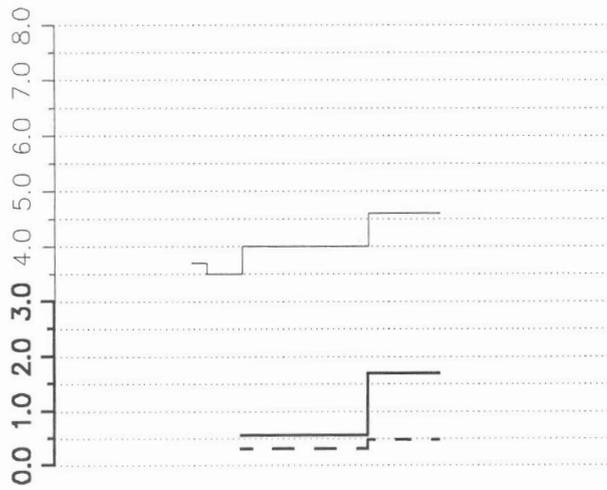
# Geochemische Untersuchungstechnik 920539 – Cu-RFA ppm

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— CU\_RFA Massebezug  
 - - CU\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - CU\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug(mg/kg) zu Volumsbezug(mg/l)

## Lagerungsdichte und pH



## Bodenprofil:

Ø	920538	3.
AP	920539	0.
		-7.
Bv	920540	
		-32.
BvCv	920541	
		-46.



### Geochemische Untersuchungstechnik

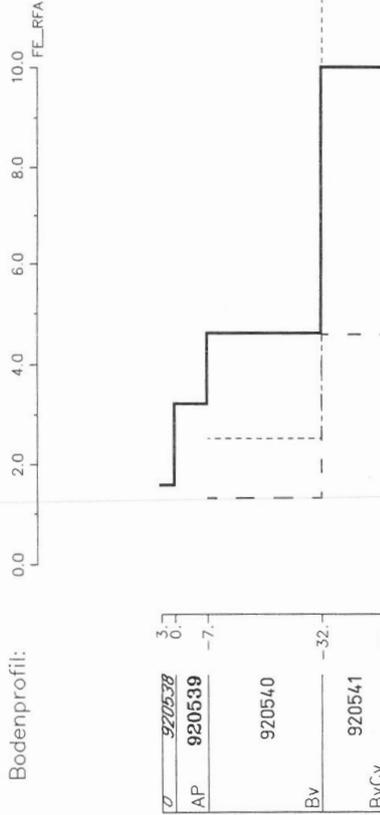
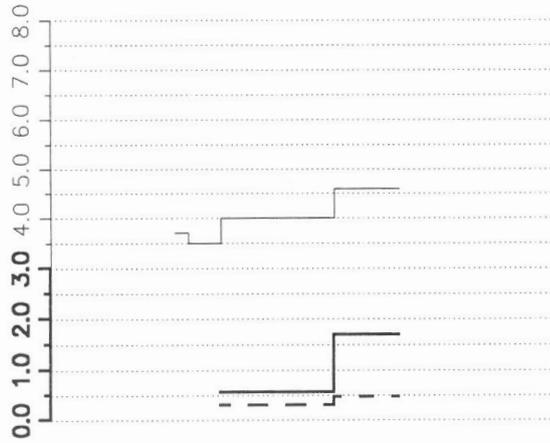
#### 920539 – Fe-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— FE\_RFA Massebezug  
 - - FE\_RFA Volumsbezug fein  
 ····· FE\_RFA Volumsbezug gesamt

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

Lagerungsdichte und pH



0	920538	3
AP	920539	0.1
		-7.1
	920540	
Bv		-32.1
BvCv	920541	-46.1

GEOTECHNIK-HR 18-MAY-93 17:48:22 Eisenerz-Ramtau

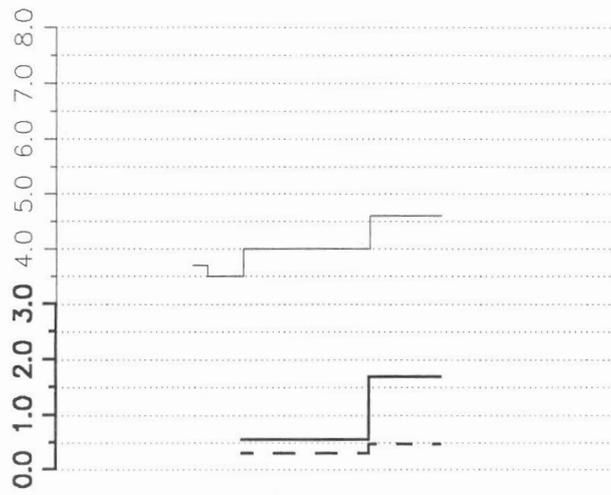
# Geochemische Untersuchungstechnik 920539 – Hg-SONDER ppm

— Lagerungsdichte ges.  
 - - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

— HG\_SONDER Massebezug  
 - - - HG\_SONDER Volumsbezug fein  
 - - - - - HG\_SONDER Volumsbezug gesamt

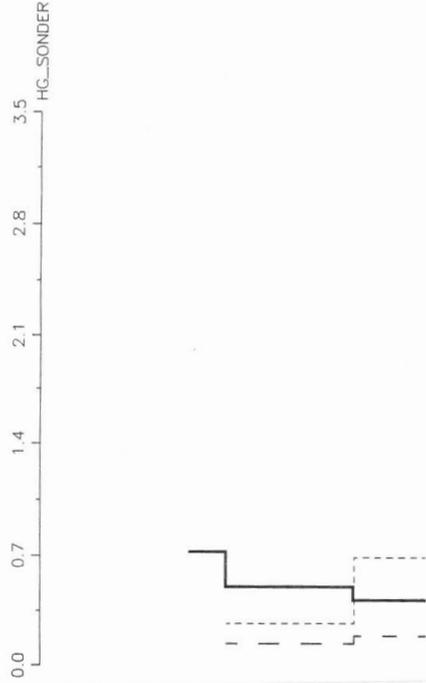
Vergleich Massenbezug(mg/kg) zu Volumsbezug(mg/l)

## Lagerungsdichte und pH



## Bodenprofil:

0	920538	3.
AP	920539	0.
		-7.
Bv	920540	-32.
BvCv	920541	-46.



## Geochemische Untersuchungstechnik

### 920539 – K-RFA

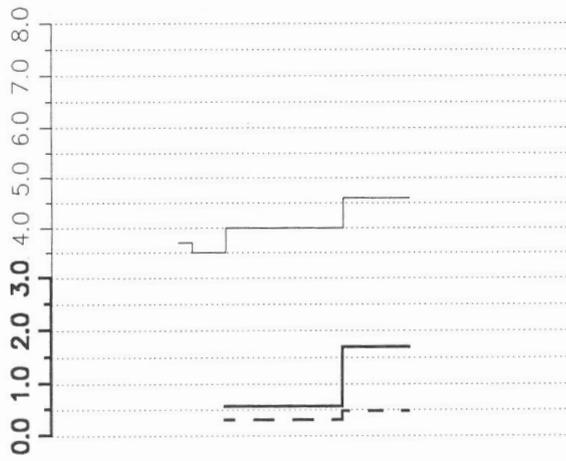
ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

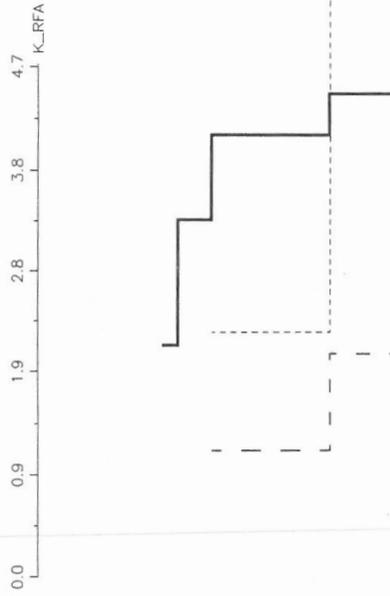
— K\_RFA Massebezug  
 - - K\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - K\_RFA Volumsbezug gesamt

**Lagerungsdichte** und pH



Bodenprofil:

0	920538	3.
AP	920539	-7.
Bv	920540	
BvCv	920541	-32.
		-46.



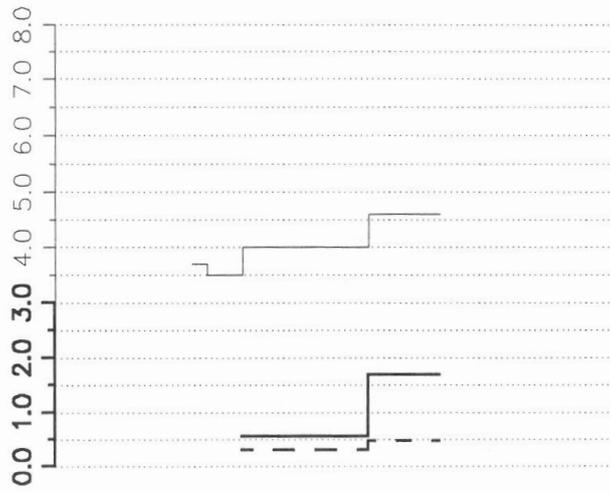
# Geochemische Untersuchungstechnik 920539 – Ni-RFA ppm

— NL\_RFA Massebezug  
 - - NL\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - NL\_RFA Volumsbezug gesamt

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

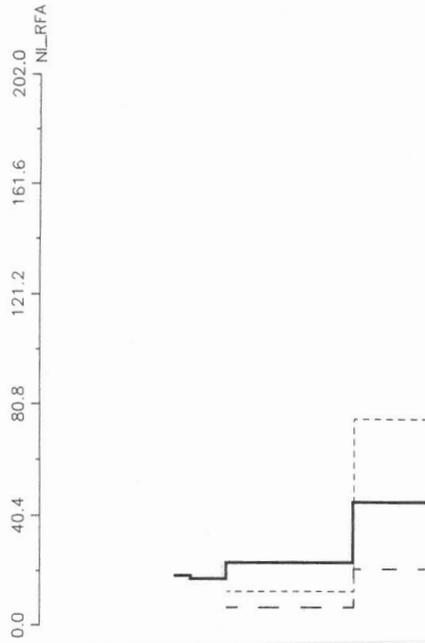
— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

## Lagerungsdichte und pH



## Bodenprofil:

0	920539	3.7
AP	920539	0.7
		-7.1
Bv	920540	
		-32.1
BvCv	920541	
		-46.1



## Geochemische Untersuchungstechnik

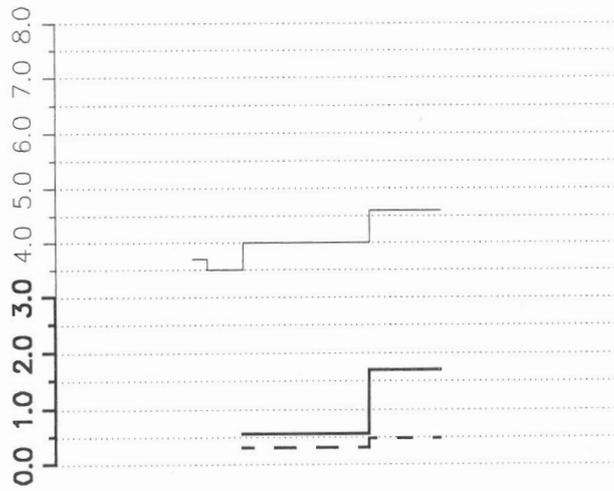
920539 – P-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

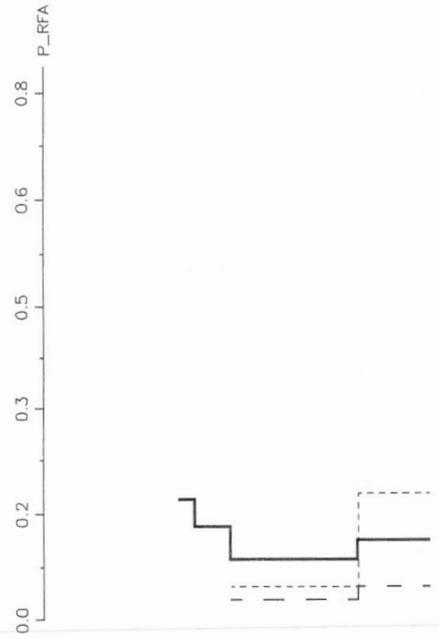
— P\_RFA Massebezug  
 - - P\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - P\_RFA Volumsbezug gesamt

Lagerungsdichte und pH



Bodenprofil:

0	920539	3.
AP	920539	0.
		-7.
	920540	
Bv		-32.
	920541	
BvCv		-46.



# Geochemische Untersuchungstechnik

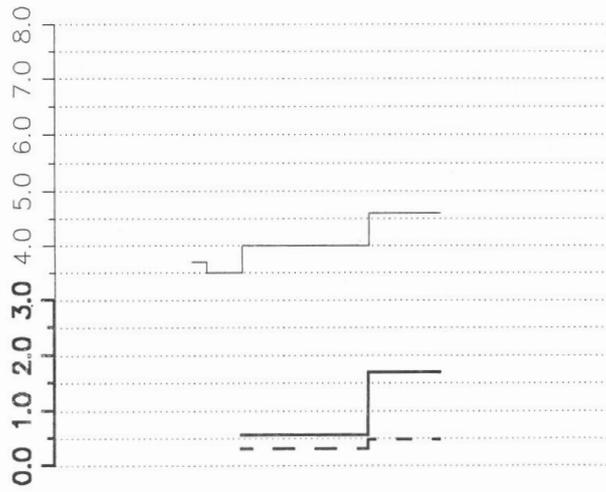
## 920539 – Pb-RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
 - - Lagerungsdichte < 2mm  
 — pH

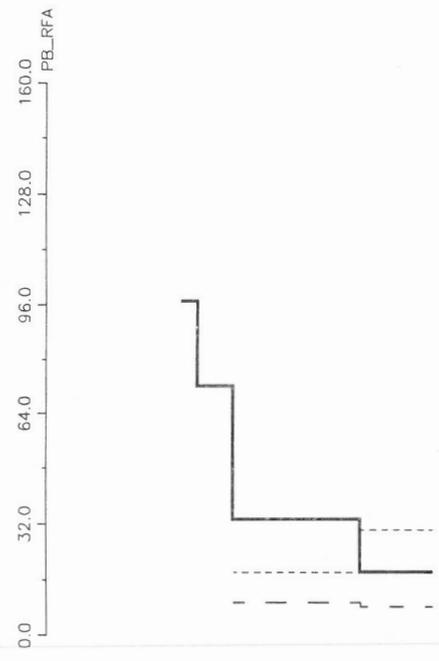
— PB\_RFA Massebezug  
 - - PB\_RFA Volumsbezug fein  
 - - - - PB\_RFA Volumsbezug gesamt

### Lagerungsdichte und pH



### Bodenprofil:

0	920539	3
AP	920539	0.
		-7.
	920540	
Bv		-32.
BvCv	920541	-46.



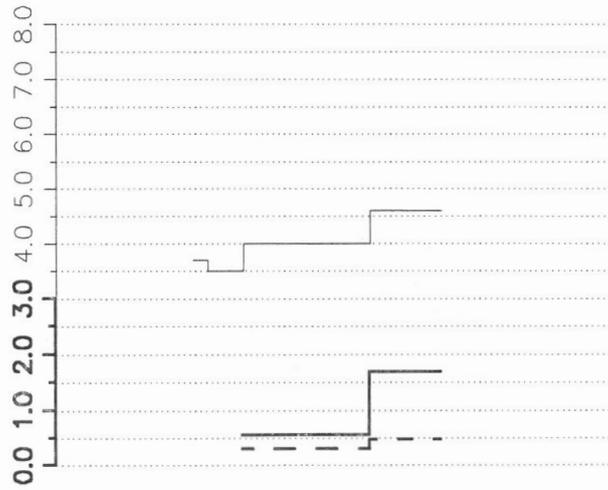
## Geochemische Untersuchungstechnik 920539 – Zn – RFA ppm

Vergleich Massenbezug (mg/kg) zu Volumsbezug (mg/l)

— Lagerungsdichte ges.  
- - Lagerungsdichte < 2mm  
— pH

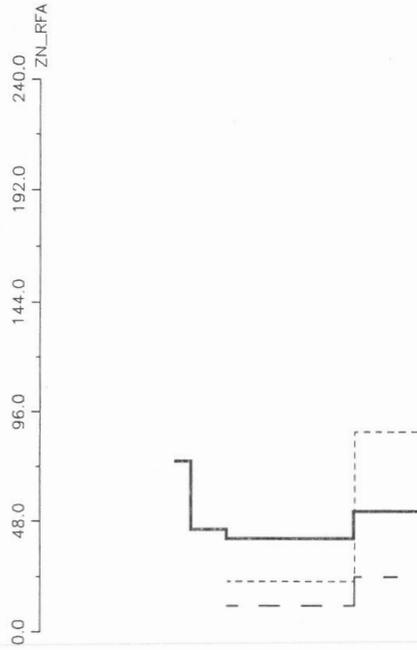
— ZN\_RFA Massebezug  
- - ZN\_RFA Volumsbezug fein  
- - - - ZN\_RFA Volumsbezug gesamt

**Lagerungsdichte und pH**



Bodenprofil:

0	920539	3.
AP	920539	0.
		-7.
Bv	920540	
		-32.
BvCv	920541	
		-46.



Susanne KLEMM

## 4 Der bronzezeitliche Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau – Überblick über den archäologischen Befund und erste Ergebnisse<sup>1</sup>

Der Kupferschmelzplatz S1 ist einer von 21 prähistorischen Kupferschmelzplätzen in der Eisenerzer Ramsau und liegt im Talschluss des kleinen Hochtals am linken Ufer des Ramsaubaches auf ca. 1045 m Seehöhe und trägt die Fundstellenummer FP 60104.001 gemäß dem Verzeichnis in Klemm 2003. In den gesamten Eisenerzer Alpen wurden bisher rund 125 prähistorische Kupferschmelzplätze entdeckt.

In den Jahren 1992–2006 wurde die Anlage zur Kupfererzverhüttung auf dem Kupferschmelzplatz S1 als bisher größte Anlage dieser Art in den Ostalpen unter der Leitung der Verfasserin archäologisch untersucht, zusammen mit einer im späten Mittelalter hier angelegten Meilergrube und angrenzenden Altwegen.<sup>2</sup>

Der Verhüttungsplatz befindet sich auf einem künstlich errichteten Plateau mit einer West-Ost-Ausdehnung von 28 m und einer Nord-Süd-Ausdehnung von 12 m. Die Abfälle des Verhüttungsprozesses – vor allem Kupferschlacke und Baumaterial der Schmelzöfen – wurden über die Böschung zum Ramsaubach Richtung Süden entsorgt.

Die ostalpinen Anlagen zur Kupfererzverhüttung der Bronzezeit zeichnen sich durch eine charakteristische Bauweise aus. Auf zwei stufig angeordneten Arbeitspodien wurden jeweils ein sogenanntes Röstbett und zwei nebeneinander errichtete Schmelzöfen angelegt. Talwärts gerichtet findet sich meist eine Schlackenhalde (Abb. 4.1).

Diese klassische Anordnung war wiederholt auf dem Kupferschmelzplatz S1 anzutreffen. In Summe dürften sich ursprünglich zumindest acht Doppelofoenanlagen mit insgesamt 16 Schmelzöfen und wohl 12 Röstbetten auf dem kleinen Plateau befunden haben. Während eine Doppelofoenanlage südlich von Röstbett 6 nicht mehr ausgegraben wurde, war zumindest eine Doppelofoenanlage zwischen der Verfärbung 3, welche als Rest eines Röstbettes inter-

pretiert wird, und Halde 3 durch den Aushub der Meilergrube zerstört worden. Der Zwillingsofen von Ofen 11 wird gleichfalls diesen Bauaktivitäten zum Opfer gefallen sein, ebenso wie die Ofenschächte von Ofen 7 und 8, von denen nur mehr die Ofenmulde und ein unterster Teil der Ofenwand erhalten blieben.

Als sogenannte Röstbetten dienten rechteckige, seichte Gruben, deren Seitenränder mit senkrecht gestellten Steinen und Lehm verstärkt wurden. Auch die ebene Sohle der Röstbetten wurde mit Lehm verstrichen oder aber auch mit flachen Steinen oder Schlackenbrocken ausgelegt. Die Länge der Röstbetten war variabel und konnte 1,15 m bis 3,4 m betragen. Die innere lichte Weite der Röstbetten betrug meist 0,9 m. Die Röstbetten 7 und 9 wiesen eine massive Schlackenschicht an der Basis auf, die wohl der Isolierung, aber auch der Luftzufuhr diente. Das sulfidische Kupfererz wurde mit frischem Holz geröstet und anschließend in den Schachtöfen geschmolzen (Abb. 4.2).

Die rechteckigen Schachtöfen waren in den Hang eingebaut und damit auf drei Seiten in ihrem unteren Bereich isoliert; sie wiesen eine Gesamtlänge des Innenraumes (Nord-Süd) von 0,7–0,9 m, einen Innendurchmesser im Bereich der annähernd runden Ofenmulde von 0,5–0,57 m und eine rekonstruierte Schachthöhe von ca. 1 m auf. Die Rückwände der Schmelzöfen 1 und 2 waren noch mit einer Höhe von 0,57 bzw. 0,66 m erhalten. Die Rückwand und die Seitenwände der Schachtöfen wurden aus großen Steinen und Lehm aufgemauert und an der Innenseite mit Lehm ausgeschmiert, während die Ofenbrust an der Vorderseite vor allem aus Lehm und kleinen Steinen errichtet wurde. Reste der Ofenbrust der Schmelzöfen 1 und 3 waren noch in situ erhalten. An der Ofensohle, einer annähernd runden, seichten Mulde, befand sich bei der Aus-

<sup>1</sup> Vgl. die ausführlichen Darstellungen der Ergebnisse der Untersuchungen zum Baumaterial, den metallurgischen Rückständen und den Tierknochen in dieser Ausgabe der online-Publikation, Kap. 5–7.

<sup>2</sup> Vgl. die Übersicht zu den bisherigen Publikationen zum Kupferschmelzplatz S1 in Kap. 8.

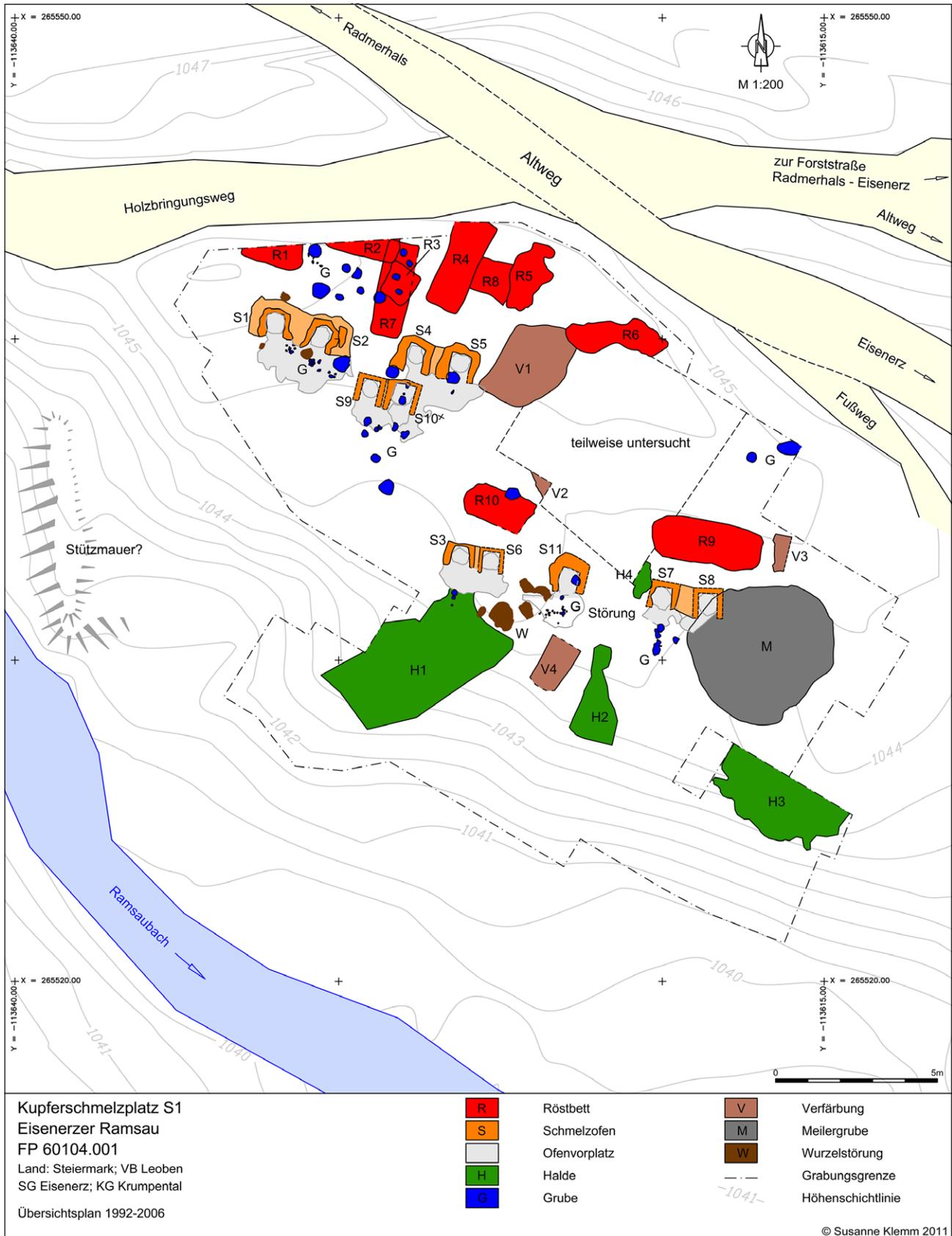


Abb. 4.1: Übersichtsplan des Kupferschmelzplatzes S1 in der Eisenerzer Ramsau. Archäologische Ausgrabung 1992–2006.

Grafik: S. Klemm, U. Schuh

Fig. 4.1. General plan of the Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau. Archaeological excavation 1992–2006.

Plan: S. Klemm, U. Schuh



Abb. 4.2: Kupferschmelzplatz S1, Rösthof 7. NW-Teil der Anlage.

Foto: S. Klemm

Fig. 4.2. Copper Smelting Site S1, roasting hearth 7. NW-part of the site.

Photo: S. Klemm

grabung eine mehrere Zentimeter starke Schicht aus Asche und Holzkohle, die wohl durch das Ausheizen der Öfen mit frischem Holz entstand. Die Ofenbrust wurde nach Beendigung des Schmelzprozesses abgebrochen, der Ofen ausgeräumt, d. h. die Schlacke mit Holzkohleresten auf Halde geworfen und das Endprodukt entnommen. Es ist zu vermuten, dass die beiden Schmelzöfen einer Doppelofenanlage abwechselnd in Betrieb waren; sie wurden auch mehrfach repariert und erneut in Betrieb genommen. Die aus der Zusammensetzung der Schlacken abgeleiteten Schmelztemperaturen liegen bei ca. 1150–1300° C (Abb. 4.3 und 4.4).

Es handelt sich somit um einen mehrstufigen Verhüttungsprozess, bei dem zunächst chalkopyritführende Erze auf dem Rösthof geröstet wurden. Anschließend wurde im Schachtofen Kupferstein produziert. Vermutlich wurde der erschmolzene Kupferstein wiederholt mit neuem Erz geröstet und im Schachtofen weiter an Kupfer angereichert, um Rohkupfer herzustellen. Zwei kleine Rohkupferstücke, die anhand ihrer Spurenelementsignaturen der Kupfersorte des „ostalpinen Kupfers“ zuzuordnen sind, deuten darauf hin. Eine anschließende Raffination des Rohkupfers wurde nicht nachgewiesen.

Eine Änderung der komplexen Prozesstechnik oder der Rohstoffbasis auf diesem Hüttenstandort ist im Großen und Ganzen nicht nachzuweisen, allenfalls eine etwas effizientere Prozessführung bei den jüngsten und auch etwas größeren Schmelzöfen 1 und 2. Als Energieträger fungierte frisches Holz, nicht nur beim Rösten des Erzes, sondern wahr-



Abb. 4.3: Kupferschmelzplatz S1, Doppelofenanlage der Öfen 1 und 2. NW-Teil der Anlage.

Foto: S. Klemm

Fig. 4.3. Copper Smelting Site S1, furnaces 1 and 2. NW-part of the site.

Photo: S. Klemm

Abb. 4.4: Kupferschmelzplatz S1, Halde 2, mittlerer Teil der Anlage.

Foto: S. Klemm

Fig. 4.4. Copper Smelting Site S1, spoil heap 2, central part of the site.

Photo: S. Klemm



scheinlich auch beim eigentlichen Schmelzprozess. Holz von Rotbuche, Fichte bzw. Lärche und Tanne wurde am häufigsten verwendet, zusätzlich auch Ahorn, Esche, Ulme, Hasel, Hartriegel und Faulbaum. Für die Funktion der zahlreichen kleinen Gruben gibt es noch keine endgültige Interpretation, ebenso wenig für die als Verfärbung 1, 2 und 4 bezeichneten Objekte.

Auffallend waren die Tierknochenfunde. Auf dem gesamten Schmelzplatz wurden in den holzkohlereichen Schichten in den Ofenmulden, auf den Ofenvorplätzen sowie auf den Halden verbrannte bzw. kalzinierte Tierknochen und -zähne in stark fragmentiertem Zustand gefunden. Dabei handelte es sich vorwiegend um Knochen von fleischarmen Teilen vom Hausschwein und Schaf bzw. Ziege, vergleichbar mit den Funden von alpinen Brandopferplätzen. Dass diese winzigen Fundstücke ein Nachweis von rituellen Handlungen im Zusammenhang mit der Kupfererzverhüttung waren, ist denkbar, muss jedoch mangels vergleichbarer Funde von anderen Schmelzplätzen offen bleiben.

Zur Altersbestimmung der Verhüttungsanlage dienten einige wenige datierende bronzezeitliche Keramikfragmente, vor allem jedoch Holzkohlestücke, die als Rückstand des Schmelzprozesses in den Öfen, auf den Ofenvorplätzen und Halden liegen blieben. Sie konnten mittels Radiokarbondatierung

den Zeitraum der Kupfererzverhüttung auf dem Kupferschmelzplatz S1 vom 16. bis zum 11. Jh. v. Chr. belegen. Die Hauptnutzungsphase dieses Hüttenstandortes umspannt den Zeitraum des 15. bis 13. Jh. v. Chr.

Die älteste Nutzung stellen Röstbett 7 und die Doppelofenanlage der Öfen 9 und 10 im Westteil der Fundstelle dar. Nachdem die Ofenschächte dieser Schmelzöfen entweder bereits zusammengelassen oder aber auch abgerissen worden waren, wurde die Fläche planiert, um nördlich davon die erneut paarweise angeordneten Schmelzöfen 4 und 5 aufzubauen. Röstbett 4 wurde nördlich von Ofen 4 errichtet. Die Zugehörigkeit des stark zerstörten Röstbettes 8 zu dieser Doppelofenanlage ist denkbar, ebenso die des nur mehr durch die stark rot gefärbte Fläche am Nordrand des Verhüttungsplatzes erkennbaren Röstbettes 5. Die jüngsten Objekte sind die Schmelzöfen 1 und 2 mit den zugehörigen Röstbetten 1–3. Zumindest auf dem Standort von Ofen 2 wurde zweimal ein Ofen aufgebaut, wie ein älterer Mauerrest bezeugt. Im Ostteil der Verhüttungsanlage sind die Schlackenablagerungen der Halde 3 die ältesten. Die Ofenanlagen der Öfen 3/6 und 7/8 sowie Ofen 11 mit den jeweils zugehörigen Objekten datieren in die mittlere Phase der Arbeiten auf dem Kupferschmelzplatz S1, in das 14./13. Jh. v. Chr., ähnlich wie die Doppelofenanlage der Öfen 4 und 5.

Susanne KLEMM

## The Bronze Age Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau – Overview of the Archaeological Features and First Results

The Copper Smelting Site S1 is one of twenty-one prehistoric copper smelting sites in the Eisenerzer Ramsau Valley. The site is situated at the valley end on the left side of the Ramsaubach, a mountain stream at ca. 1045 m.a.s.l. Its site number is FP 60104.001, as listed in Klemm 2003. A hundred and twenty-five prehistoric copper smelting sites have been discovered so far in the Eisenerzer Alps in Styria.

This site with several installations for copper production, which was investigated by the author during the years 1992–2006, so far remains the largest of its kind in the Eastern Alps. In addition, a mediaeval pit for charcoal production found on the copper smelting site as well as the historical roads north of it have also been investigated.

The smelting site is situated on an artificial plateau. Its west–east extension measures 28 m and its north–south extension 12 m. The residues of the smelting process – mainly copper slag, charcoals and building materials – were disposed of down the slope towards the Ramsaubach.

All Bronze Age Eastern Alpine smelting installations for copper production show a characteristic construction: a roasting hearth and two shaft furnaces built on two different levels. A spoil heap, usually downhill, is to be found below these (Fig. 4.1).

Several of these characteristic installations were excavated at the Copper Smelting Site S1. In total, at least 8 double furnaces (with 16 single smelting furnaces) and presumably 12 roasting hearths were originally built at the site. In the northern part, south of roasting hearth 6 (R6 on Fig. 4.1), at least two double furnaces are to be expected. The construction and use of the mediaeval charcoal production pit (M on Fig. 4.1) might have destroyed another set composing a roasting hearth (V3 on Fig. 4.1) and two furnaces in the eastern part of the site. In addition, it can be presumed that the twin furnace of furnace 11 (S11 on Fig. 4.1) as well as the shafts of furnaces 7 and 8 were destroyed by activities in the Middle Ages.

Roasting hearths were rectangular features: shallow pits with stones set vertically at the edges

strengthened with sticky clay. The base of the roasting hearths was lined with sticky clay and flat stones or rarely slags. The length of the roasting hearths varied from 1.15 to 4 m while the inner width was usually 0.9 m. The massive slag layers found on the base of roasting hearths 7 and 9 might have been used for insulation and were probably useful for air circulation during roasting (Fig. 4.2).

The rectangular shaft furnaces were built into the slope and therefore insulated at their lower part. The inside of the furnaces measured 0.7–0.9 m (north–south), the diameter 0.5–0.57 m; the reconstructed height of the furnaces was ca. 1 m. The back walls of furnaces 1 and 2 still had a height of 0.57 and 0.66 m respectively. The back wall and the sidewalls of the furnaces consisted of large stones and clay; the inside of the walls were lined with sticky clay. The front wall was constructed with smaller stones and clay as remains at furnaces 1 and 3 demonstrated. A small, round, low pit was regularly found in the thick charcoal and ash layer at the bottom of the furnaces. This layer of charcoal and ash will have resulted from the heating up of the furnace after its construction. At the end of the smelting process, the front wall was dismantled, the remaining slag thrown on the slag heap and the product of the smelting process – the raw copper – taken out. It is presumed that the two furnaces were in use one after the other: while one was in use, the other was being prepared for the next smelting and/or repaired after the last smelting. The smelting temperatures, obtained from the consistence of the slags, were 1150–1300° C (Figs. 4.3 and 4.4).

The process of copper production was a multi-step process. First, the copper ore, chalcopyrite, was roasted in roasting hearths. Then, matte was produced in the shaft furnaces. It is assumed that the matte was roasted again with more ore and enriched with copper in the furnace in order to produce metallic copper. A final refining process of the raw copper was not detected. A change in this complex smelting process or a change in the ore type cannot be detected at the Copper Smelting Site S1. It could

be argued that the smelting process in the latest and slightly larger furnaces 1 and 2 might have been more efficient. The energy source for the roasting of the ore and, quite possibly, for smelting, too, was fresh wood. Wood from copper beech, spruce/larch and fir was most frequently used; additionally, acer, ash, elm, hazel, cornel and buckthorn were used. So far, no specific function can be assigned to the many small pits recorded at the site.

The findings of animal bones were most surprising. All over the site, calcined animal bones and animal teeth, mostly belonging to goat and sheep and to a lesser extent domestic pig, were found in layers rich in charcoals: in the pits of the furnaces, in front of the furnaces, mixed with slags and debris from the furnaces on the spoil heaps. The pieces were strongly fragmented. It is conceivable that these small bone fragments are proof of rituals connected with the smelting process, though this remains a hypothesis as this is so far the sole copper smelting site in the Eastern Alps where only calcined bones were excavated.

A small number of Bronze Age pottery sherds, but above all the charcoal pieces found all over the

site were used to date the site. The results of dating the charcoals with the radiocarbon method show that copper was smelted at the Copper Smelting Site S1 from the 16th to the 11th century B.C. The main period of activities spans the 15th–13th centuries B.C.

The roasting hearth 7 and the double furnaces 9 and 10 in the western part of the site were the earliest installations at the site. After the destruction of these furnaces, either by nature or by man, the area was levelled so that the new furnaces 4 and 5 could be built north of them. At the same time, roasting hearth 4 was constructed. It remains unclear whether the features called roasting hearths 5 and 8 belonged to this unit. The latest installation was furnaces 1 and 2 with the roasting hearths 1–3 in the north-west of the site. Part of the eastern wall from an older furnace was recorded behind the eastern wall of furnace 2. In the east of the site, slag heap 3 is the oldest. The double furnaces 3/6 and 7/8 and furnace 11 and other features related to them belong to the middle phase of use at the Copper Smelting Site S1 and date to the 14th/13th century B.C., as might also the double furnaces 4 and 5.

Christina REISCH und Karin GRUBER

## 5 Makroskopische Gesteinsbestimmung des Baumaterials von Röstbetten und Schmelzöfen des Kupferschmelzplatzes S1 in der Eisenerzer Ramsau

### 5.1 Einleitung

Dieser Beitrag befasst sich mit der Bestimmung des Baumaterials der Röstbetten und Schmelzöfen des Kupferschmelzplatzes S1, welcher sich in der Eisenerzer Ramsau südwestlich von Eisenerz in der Steiermark befindet. Auf dieser archäologischen, in die Bronzezeit datierenden Fundstelle wurden elf Schmelzöfen bzw. Ofenreste und zehn Röstbetten freigelegt.

Die petrographische Bestimmung des Baumaterials der gefundenen Röstbetten und Schmelzöfen des Kupferschmelzplatzes S1 liefert die Grundlage

dieses Beitrages. Anhand eines frischen Bruches wurden wesentliche Merkmale der Gesteine wie Mineralzusammensetzung, Farbe, Grad der Oxidation und Verwitterung bestimmt. Diese Daten dienen als Basis für die Zuordnung der Gesteine in die umliegenden geologischen Einheiten und in weiterer Folge zur Herkunftsbestimmung des Baumaterials. Für eine genauere Klassifizierung der Gesteine und der auftretenden Erze sind spezifischere Untersuchungsmethoden notwendig.

### 5.2 Geologische Beschreibung des Umfeldes des Kupferschmelzplatzes S1

Das Arbeitsgebiet wird von paläozoischen Gesteinseinheiten der östlichen Grauwackenzone dominiert, welche im Norden an die mesozoischen Einheiten der Nördlichen Kalkalpen angrenzen (Abb. 5.1).

Die östliche Grauwackenzone wird in vier alpidische Decken aufgeteilt. Laut Neubauer u. a.<sup>1</sup> gliedert sich die steirische Grauwackenzone vom Liegenden zum Hangenden in die Veitscher Decke, die Silbersberg Decke, die Kaintaleck Decke und die Norische Decke (Abb. 5.2).

Das Liefergebiet um den Ramsaubach gehört vorwiegend dem Norischen Deckensystem an. Die Norische Decke (Abb. 5.3) unterliegt im Hangenden transgressiv den permoskythischen Ablagerungen der Nördlichen Kalkalpen, welche dem Oberostalpin zugeteilt werden.<sup>2</sup>

Zu beiden Seiten des Ramsaubachtals treten im Bereich des Plöschkogels und der Donnersalpe (Abb. 5.3) schwarze Kieselschiefer (Unter- bis Ober-

silur) und Bunter Flaserbänderkalk mit geschiefer-ten Kalken (Unterdevon) als Einschaltungen der Orthoceren-, Eisen- und Bunte Kalke (Obersilur) auf.<sup>3</sup> Im Hangenden transgredieren die Präbichschichten auf der Norischen Decke und leiten die mesozoische Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen ein.<sup>4</sup>

Westlich des Plöschkogels bis hin zum Beerriedel (Abb. 5.3) kommen als Basis der permoskythischen Einheiten der Radschiefer (Silur – Unterdevon) und der Blasseneck-Porphyr (Ordovizium) vor.<sup>5</sup>

Im Nordwesten schließen die Werfener Schichten (Skyth) an die paläozoischen Ablagerungen an. Dem Porphyr liegt der Polsterquarzit (Ordovizium) auf, welcher der altpaläozoischen Schichtfolge der Norischen Decke angehört. Durch örtliche Umwandlung devonischer Kalke bilden sich bis ins Unterkarbon erzführende Kalke.<sup>6</sup> Neben diesen Siderit-Ankerit-Vererzungen der Norischen Decke sind

<sup>1</sup> NEUBAUER u. a. 1994, 61.

<sup>2</sup> SCHMID u. a. 2004, 106.

<sup>3</sup> SCHÖNLAUB 1982, 371.

<sup>4</sup> OBERHAUSER/BAUER 1980, 91.

<sup>5</sup> BAUER 1996, 303.

<sup>6</sup> OBERHAUSER/BAUER 1980, 91.

Abb. 5.1: Lage des Kupferschmelzplatzes S1 innerhalb der östlichen Grauwackenzone in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark.

Grafik: S. Klemm, J. Klammer 2020 © Archäologie & Communication, Susanne Klemm; Kartengrundlage: ALS (DGM 1m) & Geologische Karte 1:50 000 © GIS Land Steiermark

Fig. 5.1. The position of the Copper Smelting Site S1 within the eastern Greywacke Zone, Eisenerzer Ramsau, Styria.

Map: S. Klemm, J. Klammer 2020 © Archäologie & Communication, Susanne Klemm; Map base: ALS (DGM 1m) & Geologische Karte 1:50 000 © GIS Land Steiermark

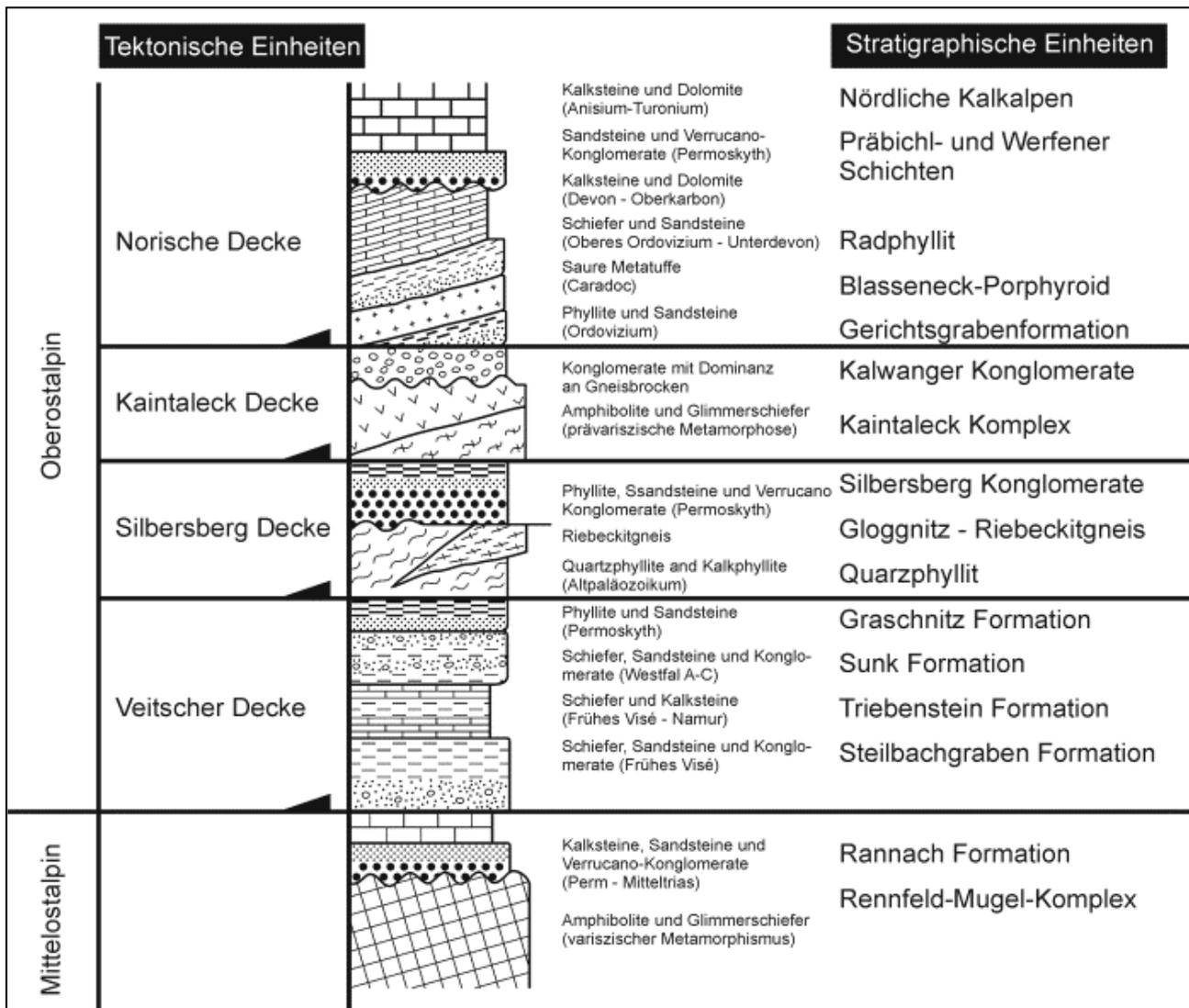
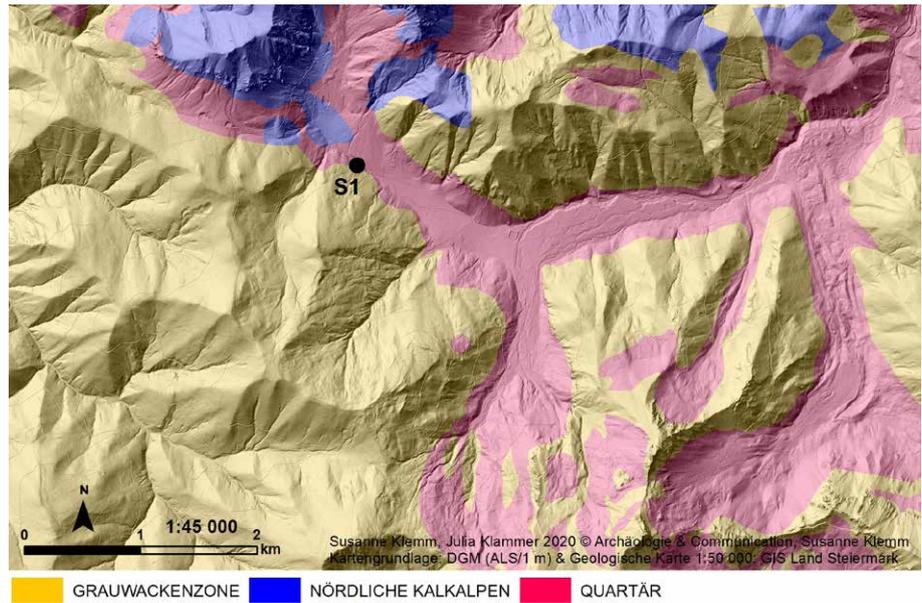


Abb. 5.2: Tektonostratigraphische Gliederung der Östlichen Grauwackenzone.  
Fig. 5.2. Tectonostratigraphic classification of the eastern Greywacke Zone.

NEUBAUER et al. 1994, 70  
NEUBAUER et al. 1994, 70

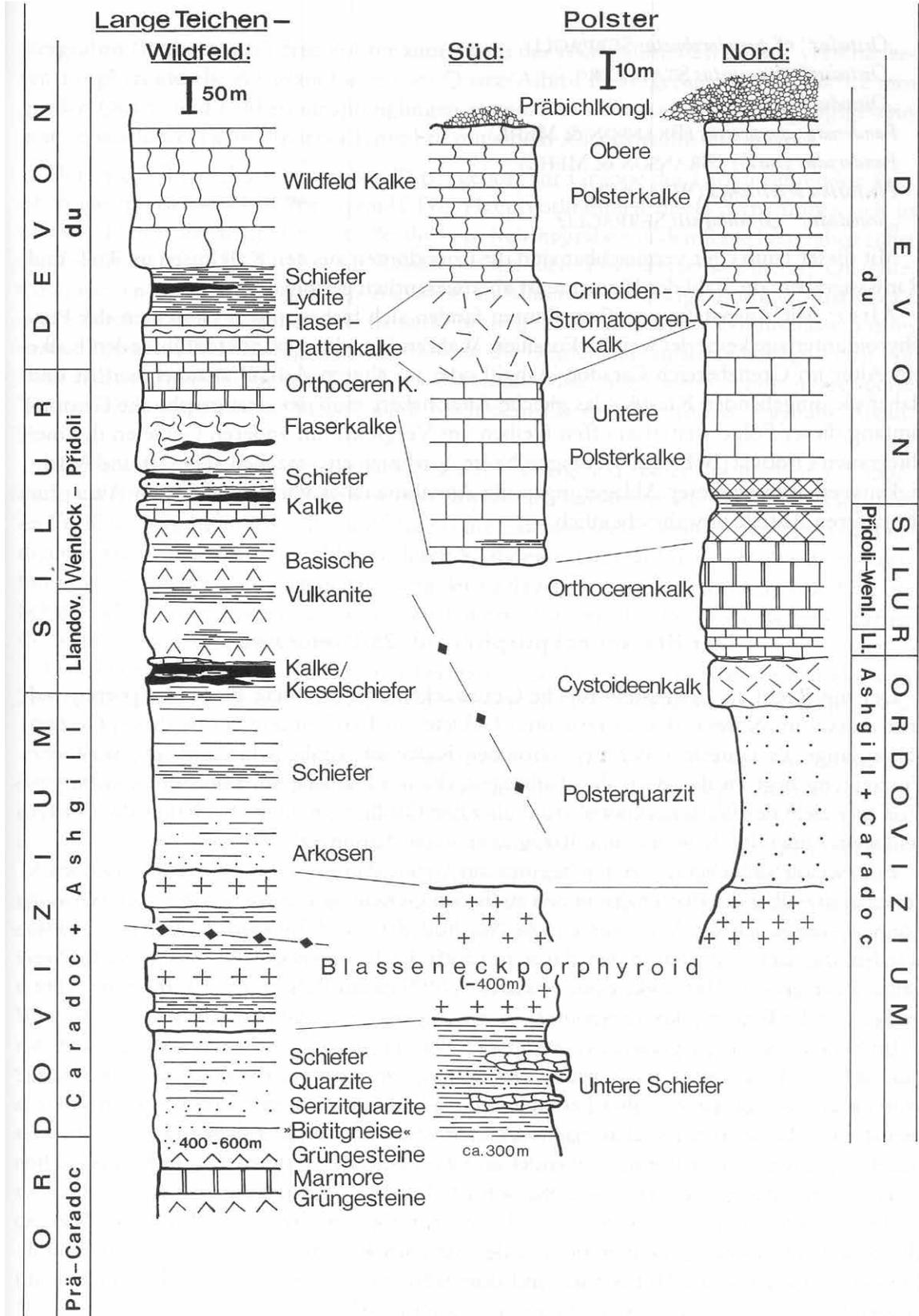


Abb. 5.3: Stratigraphische Gliederung der Norischen Decke auf der Süd- und Ostseite des Polster im Vergleich zum Südbereich der Eisenerzer Grauwackenzone. SCHÖNLAUB 1982, 377; nach SCHÖNLAUB 1979, 86  
 Fig. 5.3. Stratigraphic classification of the Noric Nappe system at the south and east side of Polster in comparison with the south area of the Greywacke Zone at Eisenerz.  
 SCHÖNLAUB 1982, 377; following SCHÖNLAUB 1979, 86

polymetallische Sulfidmineralisationen, die im Verband mit silurischen Schwarzschiefern auftreten, hervorzuheben.<sup>7</sup>

Nur im Norden des Kupferschmelzplatzes S1, im Bereich des Bärenlochs, kam es im Ramsaubachtal zu einer Vergletscherung. Südlich kam es lediglich zu großen Schwemmkegelbildungen durch die einmündenden Seitenbäche. Folglich entsteht ein riesiger Schwemmkegel an der Mündung des Lasitzenbaches und verändert den Verlauf des Ramsaubaches nach Norden zur Buchleiten. Heute noch zu erkennende Folgeerscheinungen sind der übersteilte Fußbereich der Buchleiten sowie die gefällsarme Talstrecke südlich des Kupferschmelzplatzes S1 (Gemeindealm). Die Talfüllung des Ramsaubaches wird von würmglazialen und fluviatilen Ablagerungen dominiert. Östlich des Lasitzenbaches erstreckt sich eine teilweise verschwemmte würmglaziale Grundmoräne sowie Moränenwälle. Im Westen bis zum Kar des Bärenlochs ist das Tal von Schuttablagerungen bedeckt.<sup>8</sup>

### 5.2.1 Lithologien der Norischen Decke in der Eisenerzer Ramsau (Abb. 5.3)

#### *Blasseneck-Porphyröid (Ordovizium)*

Die Bildung des Blasseneck-Porphyröids wird auf Ablagerungen von Ignimbriten zurückgeführt. Der östlich vom Leobner auskeilende Porphyröid zeigt eine Abfolge von dazitischen, rhyodazitischen und rhyolitischen Pyroklastika.<sup>9</sup> Zwischen dem Finstergraben (Radmer) und dem Polster weisen die rekristallisierten Porphyröide ein granoblastisches quarz- und feldspatreiches Gefüge auf.<sup>10</sup> Die rhyodazitischen Gesteine sind vergleichsweise zu den im Hangenden auftretenden rhyolitischen Porphyröideinheiten durch einen hohen Gehalt an Eisen, Magnesium und Kalzium gekennzeichnet. Dazwischen befinden sich lokal Phyllit-Siltschiefer-Einschaltungen.<sup>11</sup>

#### *Polsterquarzit (Ordovizium)*

Der Polsterquarzit liegt unmittelbar dem Blasseneck-Porphyröid auf und wird als typische Transgressionssequenz gedeutet. Beim Polsterquarzit handelt es sich meist um sehr kompakte, grob oder undeutlich gebankte Sandsteine mit hohem Quarzanteil. Neben Quarzareniten und Quarzwacken haben sich auch graue Schiefer entwickelt. Bei deren Bildung hat der Blasseneck-Porphyröid als Sedimentlieferant eine untergeordnete Rolle gespielt.<sup>12</sup>

#### *Grauwackenschiefer (Oberordovizium – Silur)*

Im Hangenden des Blasseneck-Porphyröids im Bereich des Finstergrabens beißen Serizitschiefer, sandige Schiefer, Sandsteine und Grauwackensandsteine aus.<sup>13</sup> Die Gesteine wurden durch A. Daurer<sup>14</sup> petrographisch untersucht. Dabei unterteilte er die Gesteine in Chloritschiefer, Metabasalt, Hornblendeporphyröit und Metaglastuff. Die nach Südosten streichenden Grauwackenschiefer werden von phyllonitischen Kieselschiefer, Quarziten und Graphitschiefern begleitet.<sup>15</sup>

#### *Radschiefer (Silur – Unterdevon)*

Dunkle serizitische Schiefer mit gelegentlicher Feinschichtung kommen neben hellen Quarziten, lichtgrauen Chloritoidschiefern und Feinkonglomeraten mit Porphyröidkomponenten vor.<sup>16</sup> Als Einschaltungen der dunklen Schiefer treten Grauwacken und Lydite auf. Diese Gesteinsvergesellschaftung (Rad-Phyllite) bilden die Basis der permoskythischen Serien.<sup>17</sup>

#### *Schwarze Kieselschiefer (Unter- bis Obersilur)*

Silurische Eisen- und Orthocerenkalke schalten sich in Wechsellagerungen in den dunkelgrauen bis schwarzen Kieselschiefern ein.<sup>18</sup> Die dunkle Färbung ist auf eine relative Anreicherung inkohlerter

<sup>7</sup> PROSKE 2003, 163.

<sup>8</sup> VAN HUSEN 2004/2005, 90f.

<sup>9</sup> SCHÖNLAUB 1982, 378f.; LÖSCHKE u. a. 1990, 345.

<sup>10</sup> HEINISCH 1981, 35; SCHÖNLAUB 1982, 379.

<sup>11</sup> HEINISCH 1981, 73; SCHULZ u. a. 1997, 71.

<sup>12</sup> SCHÖNLAUB 1982, 380f.

<sup>13</sup> SCHÖNLAUB 1982, 383; SCHULZ 1997, 74.

<sup>14</sup> zitiert in SCHÖNLAUB 1982, 385f.

<sup>15</sup> SCHÖNLAUB 1982, 383.

<sup>16</sup> OBERHAUSER/BAUER 1980, 287.

<sup>17</sup> OFNER 2002, 28.

<sup>18</sup> SCHÖNLAUB 1982, 386.

Substanzen zurückzuführen.<sup>19</sup> Im Liegenden der Kieselschiefer-Kalk-Wechselfolge entwickelten sich im Untersilur Alaunschiefer.<sup>20</sup> Bei den Hauptgemengteilen in den Phylloniten handelt es sich um Quarz, Kalzit und Chlorit. Die makroskopisch erkennbare feine Schichtung ist von der Verteilung der dominierenden Minerale und dem Grad der tektonischen Beanspruchung abhängig.<sup>21</sup> Entlang des Ramsaubaches zwischen Kaltenbach und Radmerhals treten in unterschiedlichen Mächtigkeiten polymetallische Sulfidmineralisationen (vor allem Fahlerze und Kupferkies) gemeinsam mit den silurischen Schwarzschiefern auf.

#### *Orthoceren-, Eisen- und Bunte Kalke (Obersilur)*

Die obersilurische Kalkabfolge besteht aus gebankten bis plattigen, grauen und hellen, häufig rötlich bis bunt gefleckten Kalken mit vereinzelt auftretenden Tonlagen. Durch oberflächliche Verwitterung von Pyrit kommt es zu Hohlrumbildungen und diese verleihen den Kalken ihr charakteristisches Aussehen.<sup>22</sup>

#### *Bunter Flaser- und Bänderkalk (Unterdevon)*

Im Unterdevon dominieren metamorph überprägte bunte Flaserkalke, hellgrau bis weiße Bänderkalke, Marmore und rötliche Kalkschiefer. Im Bereich der Donnersalpe an der Nordflanke der Eisenerzer Ramsau treten die plattigen Kalke zu Tage. An diese Lithologie gebunden treten örtlich Siderit-Ankerit-Vererzungen auf, weshalb die devonischen Karbonate auch als „Erzführende Kalke“ (Devon – Unterkarbon) bezeichnet werden.<sup>23</sup>

#### *Präbichlschichten (Perm)*

Laut Bauer<sup>24</sup> bestehen die Präbichlschichten aus Konglomeraten, Sandsteinen, Quarziten und Schiefer. Diese permische Transgressionsserie liegt über dem Paläozoikum der Grauwackenzone. Die Kong-

lomerate bestehen größtenteils aus Quarz und verschiedenen Gesteinsbruchstücken der Grauwackenzone und weisen lokal Siderit-Ankerit-Vererzungen auf. Über den Kalkkonglomeraten folgt eine über 20 m mächtige Wechselfolge von Quarzkonglomeratlinsen (mit hellen Kieselschieferkomponenten) und violetten Tonschiefern, die in eine mindestens 50 m mächtige Sandstein- und Tonschieferfolge überleitet.<sup>25</sup> Die charakteristische violette bis graue Färbung der mittel- bis feinkörnigen glimmerreichen Sandsteinen ist auf Eisen- und Manganbeläge zurückzuführen. Die auftretenden grauen bis roten Schiefer erinnern an die Werfener Schichten.<sup>26</sup> Die Typuslokalität der Präbichlschichten liegt im Gebiet Polster – Leobner Hütte – Handalm.

#### *Werfener Schichten (Skyth)*

Die violett-rot gefärbten Werfener Schichten schließen an der Basis der mesozoischen Karbonatentwicklung an. Die Präbichlschichten<sup>27</sup> gehen graduell in die Werfener Schichten über, makroskopisch sind diese durch einsetzende Feinkörnigkeit, bräunliche, rötliche und grüne Farben und das Zurücktreten der Eisen- und Manganbeläge voneinander zu unterscheiden.<sup>28</sup> Ebenso wie in den Präbichlschichten kommt es lokal zu Siderit-Vererzungen. Die Silt- bis Sandsteine und Serizitschiefer der Werfener Schichten haben eine charakteristische Schieferung. Die überwiegend rote Färbung der Gesteine ist auf Hämatit-reiche Feinlagen zurückzuführen. Bei einer Anreicherung von Chlorit und Pyrit, anstelle von Hämatit, weisen die Gesteine eine Grünfärbung auf. Im Zuge der Verwitterung kommt es zu einer Limonitisierung, wobei die Verwitterungsminerale Lepidokrokit und Goethit das Gestein mitunter fleckig und auch entlang der Schichtung braunrot bzw. gelbbraun färben. Ist der Anteil der färbenden Mineralpigmente gering, ist das Gestein grau gefärbt.<sup>29</sup>

<sup>19</sup> SCHULZ u. a. 1997, 74.

<sup>20</sup> SCHÖNLAUB 1982, 387.

<sup>21</sup> SCHULZ u. a. 1997, 74.

<sup>22</sup> SCHÖNLAUB u. a. 1982, 387.

<sup>23</sup> SCHÖNLAUB 1982, 390, 414; WEBER 1997, 183.

<sup>24</sup> BAUER 1996, 303.

<sup>25</sup> SCHÖNLAUB 1982, 397f.

<sup>26</sup> BAUER 1996, 303.

<sup>27</sup> PROSKE 2003, 163; SCHÖNLAUB 1982, 398.

<sup>28</sup> BAUER 1996, 303.

<sup>29</sup> SCHULZ u. a. 1997, 86.

### 5.2.2 Eisen- (Kupfer-) Erzbezirk Norische Decke

Die erzführenden Kalke der Norischen Decke sind im Gegensatz zu den im Silur vorwiegend abgelagerten klastischen Sedimenten karbonatisch entwickelt. Im Zusammenhang mit diesen devonischen Karbonaten kam es zur Ausbildung von zahlreichen Siderit-Ankerit-Vererzungen mit vereinzelt Chalkopyrit-Vorkommen. Die Entwicklung der Erzparagenese wird auf vulkanische Aktivitäten im

Devon bzw. Unterkarbon zurückgeführt. Die Schichtabfolge reicht im Bereich des Steirischen Erzberges teilweise bis ins Unterkarbon. Neben den Eisenkarbonaten Siderit und Ankerit kommen untergeordnet die Oxide Hämatit und Magnetit vor. Aus der Mineralklasse der Sulfide ist vor allem Pyrit neben Arsenopyrit, Tetraedrit, Chalkopyrit und Cinnabarit vertreten.<sup>30</sup> Besonders die Gebiete von Radmer und Johnsbach zeigen starke Kupfer-Vererzungen.<sup>31</sup>

## 5.3 Makroskopische Gesteinsbestimmung des Baumaterials

### 5.3.1 Methode

Grundlage der petrographischen Untersuchung des Baumaterials der gefundenen Röstbetten und Schmelzöfen des Kupferschmelzplatzes S1 liefert die makroskopische Gesteinsbestimmung anhand eines frischen Bruches. Es wurden 6841 Gesteinsproben makroskopisch untersucht. Dabei wurden die üblichen Hilfsmittel Geologenhammer, Lupe mit 10facher Vergrößerung und Salzsäure mit einem HCl-Gehalt von 10 % für die Karbonatanalyse verwendet. Bei der Gesteinsansprache wurden die Hauptmineralzusammensetzung und die Farbe des frischen Bruches bestimmt; der Verwitterungsgrad, der Grad der Oxidation sowie die Intensität der thermischen Beanspruchung der Gesteine wurden abgeschätzt. Diese Daten dienen als Basis für die Bestimmung und Zuordnung zu entsprechenden Gesteinsarten sowie in weiterer Folge der Zuordnung zu geologischen Einheiten. Der Mineralgehalt, die Gesteinsfarbe des frischen Bruches, der Verwitterungsgrad und die thermische Beanspruchung waren die Hauptkriterien für die Ermittlung der einzelnen Gesteinsgruppen innerhalb einer Lithologie. Diese wurden in Tabellen zusammengefasst und graphisch als Häufigkeitsverteilung dargestellt.

### 5.3.2 Ergebnisse

Die am archäologischen Fundort Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau auftretenden Gesteine und deren prozentuelle Verteilung sind in

Abbildung 5.4 graphisch dargestellt. Der überwiegende Teil der 6842 untersuchten Proben ist thermisch stark beansprucht und weist einen hohen Oxidationsgrad auf. Durch die hinzukommende fortgeschrittene Verwitterung ist an dem Baumaterial eine starke Limonitisierung deutlich zu erkennen. Vereinzelt hat eine vollständige Umwandlung der eisenhaltigen Gesteine zu Limonit stattgefunden.

Sand-, Ton- und Siltsteine (Abb. 5.4), mit unterschiedlicher Anreicherung von Quarz, Glimmer, Hämatit, Limonit und akzessorisch mit Pyrit, Malachit und Erzmineralen, dominieren unter den makroskopisch untersuchten Gesteinen. Weniger häufig kommen Quarzsandsteine, Quarzite, Tonschiefer, Quarzchloritschiefer, Quarz und Phyllite in unterschiedlichen Variationen vor (Abb. 5.4).

Die am Fundort auftretenden Kalke mit Erzmineralisationen (Abb. 5.4) treten im Verband mit den Siderit-Ankerit-Vererzungen des Eisen- (Kupfer-) Erzbezirks der Norischen Decke auf. Die untersuchten Rauwacken (Abb. 5.4) gehören vermutlich den Reichenhaller Rauwacken der Nördlichen Kalkalpen an, welche im Nordwesten des Fundortes vorkommen.

Unter den Proben des Kupferschmelzplatzes S1 befinden sich untergeordnet Breccien und Konglomerate, wobei es sich um sedimentäre Ablagerungen handelt.

Die unbestimmbaren Proben nehmen einen Anteil von 0,61 % des Gesamtanteils des untersuchten Baumaterials ein. Sie konnten aufgrund ihres hohen

<sup>30</sup> WEBER 1997.

<sup>31</sup> OFNER 2002, 35; WEBER 1997, 336.

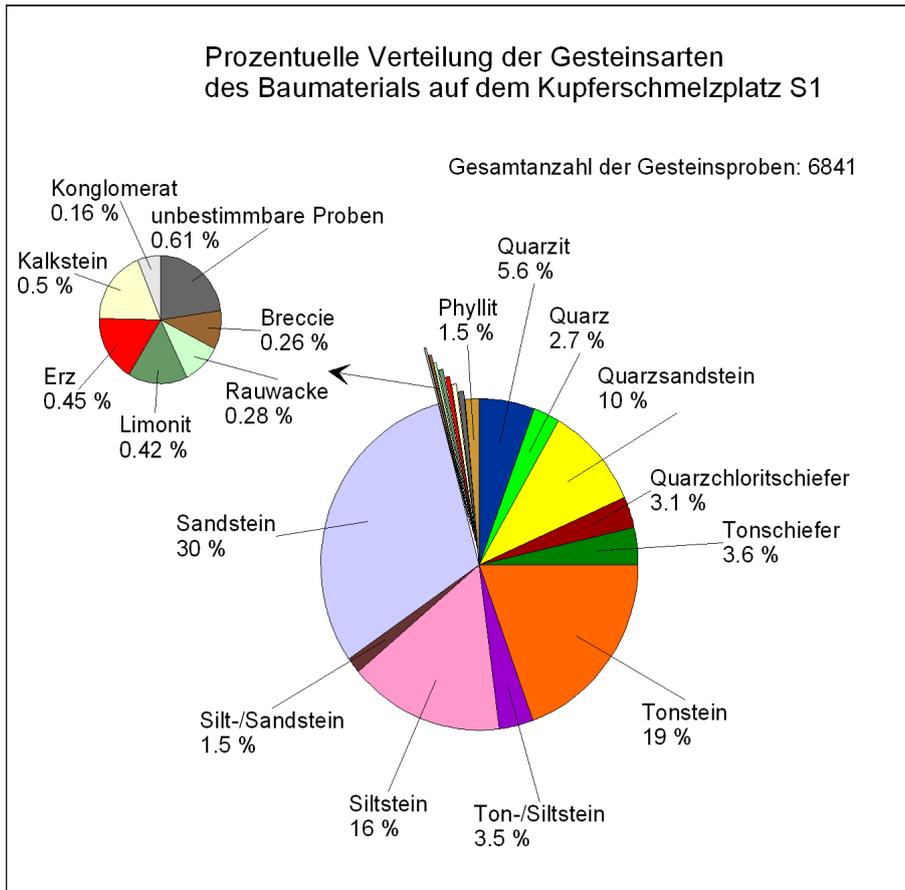


Abb. 5.4: Häufigkeitsverteilung der makroskopisch untersuchten Gesteine des Kupferschmelzplatzes S1 in der Eisenerzer Ramsau.

Fig. 5.4. Frequency distribution of the macroscopically defined rocks of the Copper Smelting Site S1.

Verwitterungsgrades und der hohen thermischen Beanspruchung mit der rein makroskopischen Untersuchungsmethode nicht bestimmt werden.

#### Sandstein

Sandsteine mit einem hohen Anteil an Quarz und Glimmer dominieren und nehmen 30 % des gesamten Baumaterials des Kupferschmelzplatzes S1 ein. Untergeordnet waren in den 2086 Sandsteinproben makroskopisch Hämatit, Limonit und akzessorisch Pyrit, Manganbeläge, Erzminerale, Malachit und Chlorit zu sehen. Die Anzahl der Gesteinsproben der jeweiligen Untergruppen sind in Abbildung 5.5 graphisch dargestellt. Die Farbe des frischen Bruchs der Sandsteine variiert von Rotbraun über Grauviolett bis zu dominantem Blauviolett. Die typische grauviolette und blauviolette Farbe des mittel- bis feinkörnigen Sandsteins wird durch einen erhöhten Eisen- und Mangangehalt verursacht, welcher charakteristisch für die Präbichlschichten ist.<sup>32</sup> Die grauen bis rotbraunen Sandsteine können den Prä-

bichlschichten und Werfener Schichten zugeordnet werden. Die rötliche Färbung der Sandsteine ist auf Hämatit-reiche Feinlagen und Limonitisierung zurückzuführen. Bei geringerem Hämatitgehalt und erhöhtem Chlorit- und Pyritgehalt (Abb. 5.5) weisen die Sandsteine eine grünliche Färbung auf und werden den Werfener Schichten zugeteilt.<sup>33</sup> Die Präbichlschichten und Werfener Schichten sind im Nordwesten bis Nordosten der Fundstelle abgeschlossen.

#### Tonstein, Ton-/Siltstein und Tonschiefer

Bei den Tonsteinen, Ton-/Siltsteinen und Tonschiefern (Abb. 5.6, 5.7 und 5.8) ist der Mineralgehalt, die Verwitterung und thermische Beanspruchung maßgeblich für die Färbung, gleich wie bei den Sandsteinen, verantwortlich. Bei der makroskopischen Gesteinsbestimmung wurden 1333 Proben (19 %) des Baumaterials als Tonstein, 247 Proben (3,6 %) als Tonschiefer und 237 Proben (3,5 %) als Ton-/Siltstein angesprochen. Die eisenhaltigen

<sup>32</sup> BAUER 1996, 303.

<sup>33</sup> SCHULZ u. a. 1997, 86.

Abb. 5.5: Häufigkeitsverteilung der Sandsteine mit unterschiedlichen Mineral-komponenten des Kupferschmelzplatzes S1.

Fig. 5.5. Frequency distribution of sandstones with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.

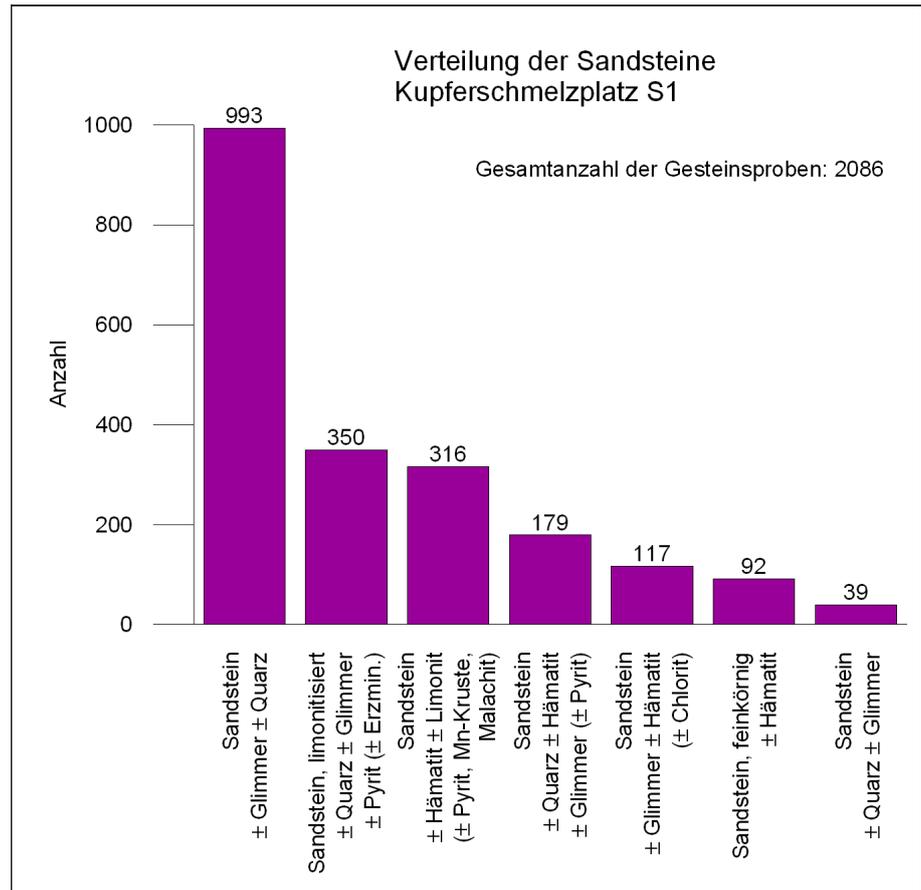
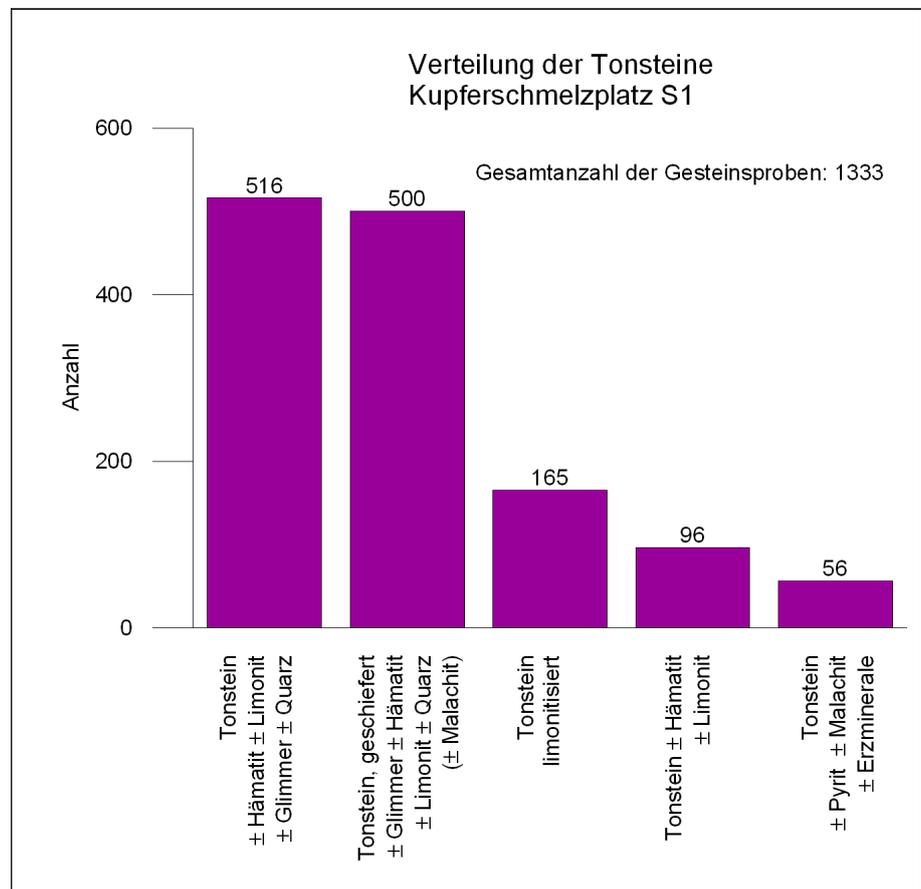


Abb. 5.6: Häufigkeitsverteilung der Tonsteine mit unterschiedlichen Mineralkomponenten des Kupferschmelzplatzes S1.

Fig. 5.6. Frequency distribution of claystones with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.



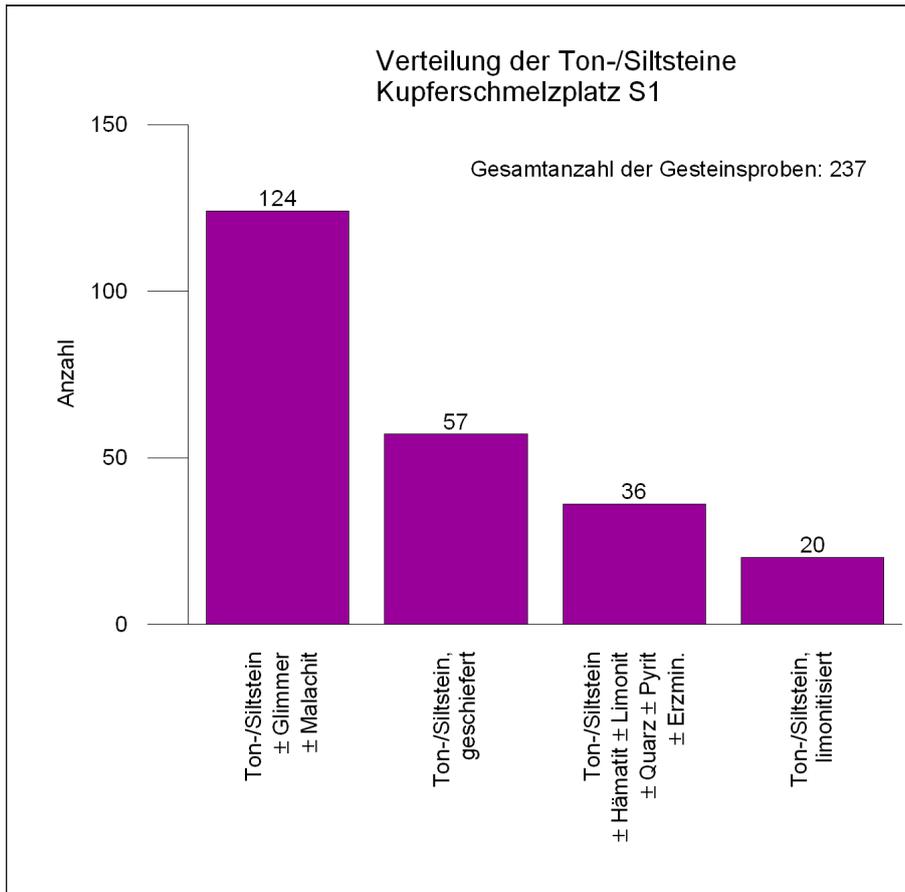


Abb. 5.7: Häufigkeitsverteilung der Ton-/Siltsteine mit unterschiedlichen Mineralkomponenten des Kupferschmelzplatzes S1.

Fig. 5.7. Frequency distribution of clay-/siltstones with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.

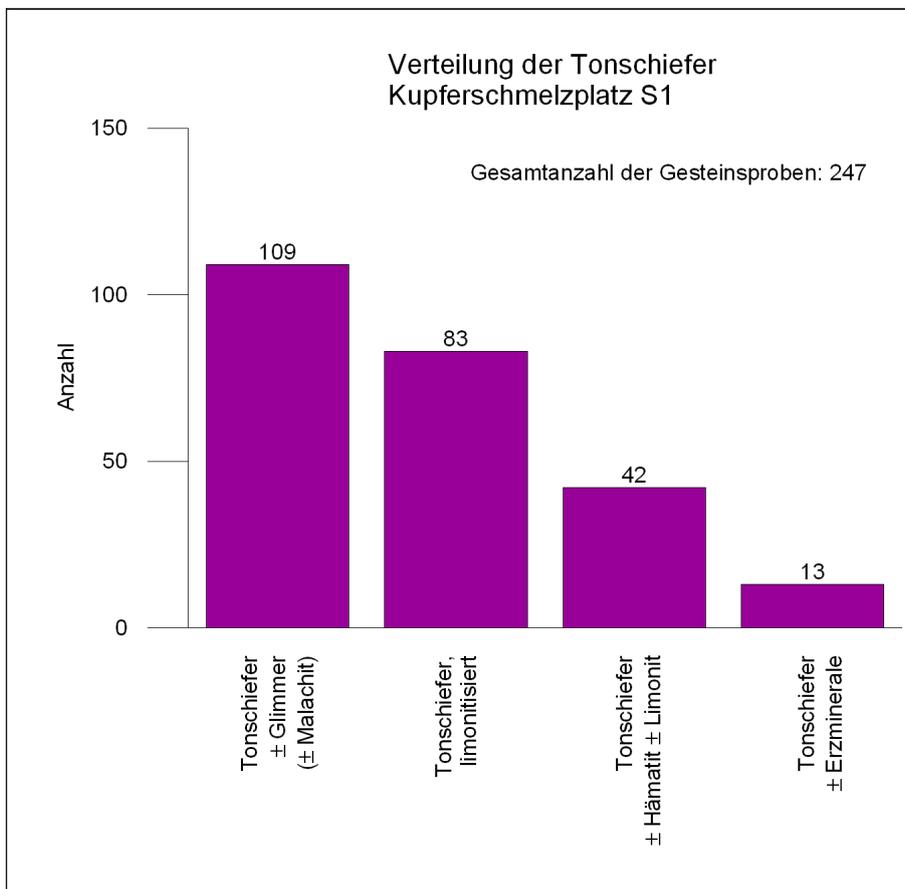


Abb. 5.8: Häufigkeitsverteilung der Tonschiefer mit unterschiedlichen Mineralkomponenten des Kupferschmelzplatzes S1.

Fig. 5.8. Frequency distribution of clay schists with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.

Minerale sind für die rötlichbraune bis violettgraue Farbe ausschlaggebend. Bei fortgeschrittener Limonitisierung geht die Farbe des Gesteins in Braunocker bis Dunkelrotorange über. Auf den Schichtflächen mancher Tonsteine waren neben Quarz und Glimmer die Minerale Hämatit und Limonit dominant, akzessorisch waren Pyrit, Malachit und Erzminerale zu erkennen. Der überwiegende Teil der Tonsteine, Ton-/Siltsteine und Tonschiefer (Abb. 5.6, 5.7 und 5.8) werden den Radschiefern, den Präbichlschichten und den untertriassischen Schichtfolgen zugeordnet. Ebenso treten in den Orthoceren-, Eisen- und Bunte Kalken vereinzelt Tonlagen auf.<sup>34</sup> Die Präbichlschichten und untertriassischen Schichtfolgen kommen im Nordwesten bis Nordosten und die Radschiefer im gesamten Südwesten des Fundortes (vgl. Abb. 5.1) vor. An den Flanken des Lasitzenbachtals südwestlich der Fundstelle sind die Orthoceren-, Eisen- und Bunte Kalke aufgeschlossen.

### Siltsteine, Silt-/Sandsteine

Die untersuchten Silt- bzw. Silt-/Sandsteine nehmen mit einer Probenmenge von 1084 bzw. 105 Stück einen Prozentsatz von 16 bzw. 1,5 % des gesamten Baumaterials ein. Die Färbung der Siltsteine und Silt-/Sandsteine ist wie bei den Sand- und Tonsteinen von Verwitterung, Oxidation, thermischer Beanspruchung und den Mineralkomponenten abhängig. Die Mineralzusammensetzung ist mit jener der Sand- und Tonsteine vergleichbar. Makroskopisch erkennbarer Glimmer dominiert; Hämatit, Limonit, sowie in geringen Gehalten Pyrit, Erzminerale, Malachit und Mangan sind vorhanden (Abb. 5.9 und 5.10). Durch diese Farbpigmente treten rotbraune, hell- bis dunkelgraue, rotgraue bis rotviolette Gesteine auf. Überwiegend kommen Siltsteine und Silt-/Sandsteine im Blasseneck-Porphyr, in den Präbichlschichten und den Werfer Schichten vor.

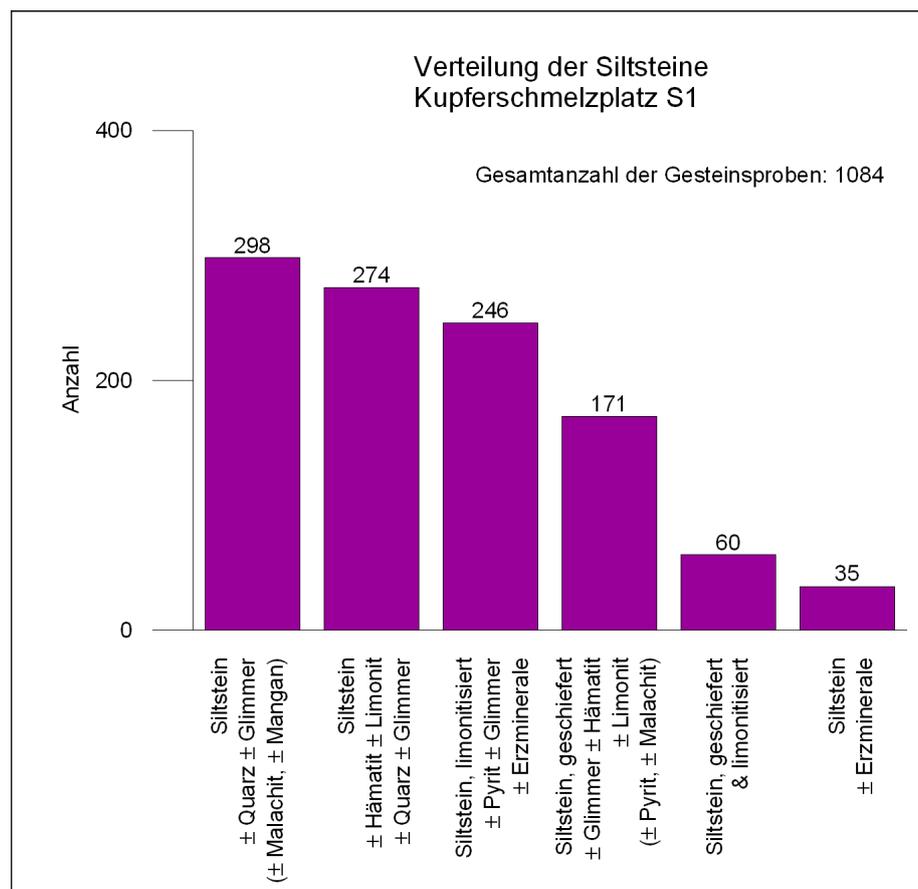
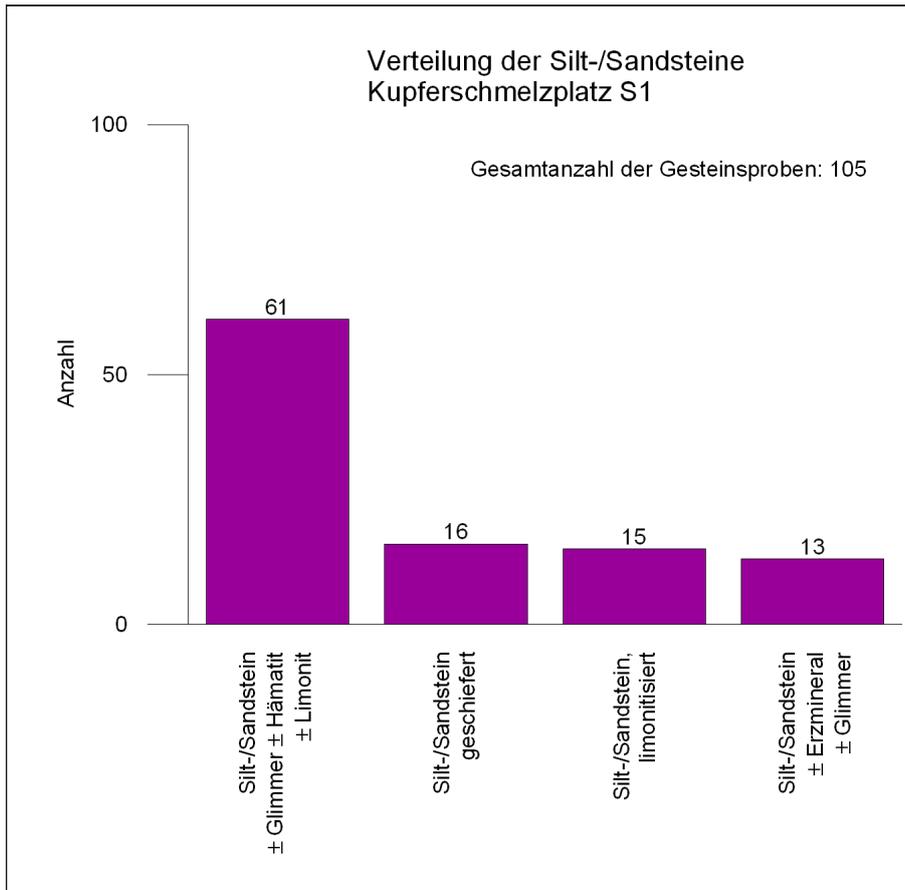


Abb. 5.9: Häufigkeitsverteilung der Siltsteine mit unterschiedlichen Mineralkomponenten des Kupferschmelzplatzes S1.

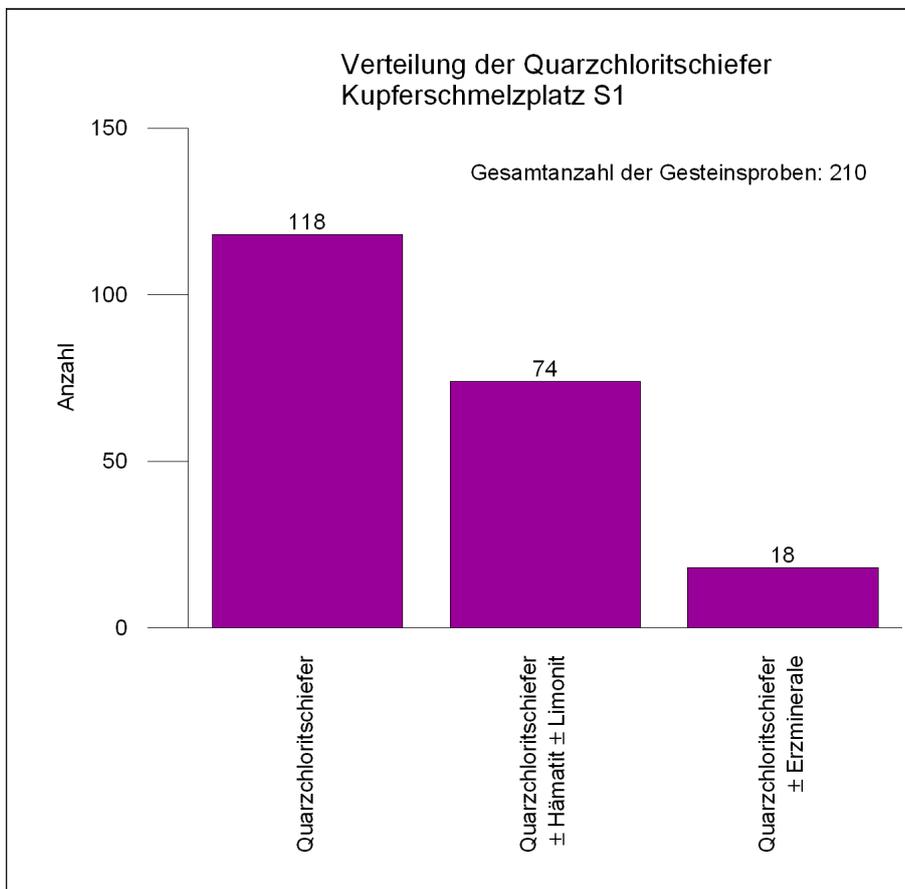
Fig. 5.9. Frequency distribution of siltstones with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.

<sup>34</sup> SCHÖNLAUB u. a. 1982, 387.



*Abb. 5.10: Häufigkeitsverteilung der Silt-/Sandsteine mit unterschiedlichen Mineral-komponenten des Kupferschmelzplatzes S1.*

*Fig. 5.10. Frequency distribution of silt-/sandstones with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.*



*Abb. 5.11: Häufigkeitsverteilung der Quarzchloritschiefer mit unterschiedlichen Mineral-komponenten des Kupferschmelzplatzes S1.*

*Fig. 5.11. Frequency distribution of quartz-chlorite schist with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.*

**Quarzchloritschiefer**

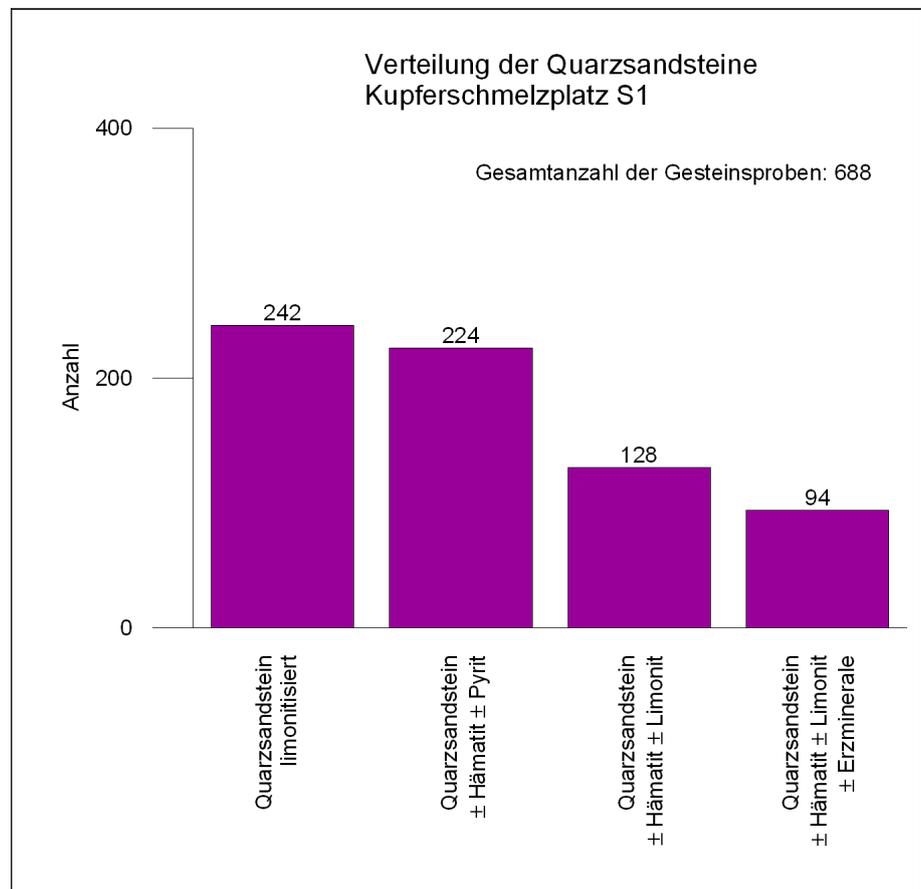
Von dem gesamten Baumaterial wurden 3,1 % (208 Proben) als Quarzchloritschiefer bestimmt (Abb. 5.11). Sie werden den westlich vom Fundort liegenden Radschiefern und Grauwackenschiefern (vgl. Abb. 5.1) zugeordnet, deren grünlich graue bis dunkelgraue Farbe charakteristisch ist. Der Großteil der Quarzchloritschiefer weist vergleichsweise zu den andern Gesteinsarten eine weniger makroskopisch sichtbare thermische Beanspruchung auf. Dies ist auf eine höhere Verwitterungs- und Temperaturresistenz der Mineralbestandteile des Gesteins zurückzuführen. Spärlich sind stärker thermisch beanspruchte Quarzchloritschiefer vorhanden, was durch den instabilen Gesteinsverband erkennbar war. Vereinzelt makroskopisch ersichtlich sind Magnetit, Limonit und Erzminerale (Abb. 5.11).

**Quarzsandstein, Quarzite und Quarz**

Die Gesteine dieser Gruppe nehmen 18,3 % des gesamten Baumaterials ein. Dabei hat der Quarzsand-

stein einen Anteil von 10 %, wobei es sich um 688 Gesteinsproben handelt (vgl. Abb. 5.4). Einen geringen Anteil des Gesamtvorkommens nehmen Quarzite mit 384 (5,6 %) und Quarz mit 183 Gesteinsproben (2,7 %) ein. Die Nebengemengteile der von Quarz dominierten Gesteine sind Hämatit und Limonit, untergeordnet treten Pyrit, Chlorit und Erzminerale auf (Abb. 5.12, 5.13 und 5.14). Die Färbung des Gesteins variiert von Rotbraun über Grüngrau bis Gelbbraun, was auf den unterschiedlichen Mineralgehalt, mittel bis starke Limonitisierung und thermische Beanspruchung hindeutet. Die Herkunft der Quarzsandsteine ist dem Polsterquarzit zuzuordnen, während die Quarzite den Grauwackenschiefern, die hellen Quarzite dem Radschiefer und der Quarz den Präbichlschichten zuzuordnen sind (vgl. Abb. 5.1). Siderit-Ankerit-Vererzungen, welche an Gangquarz gebunden sind, bilden sich im Zusammenhang mit devonischen Karbonaten im Eisen- (Kupfer-) Erzbezirk der Norischen Decke aus. Die vereinzelt am Fundort auftretenden Karbonate (vgl. Abb. 5.4) weisen ebenfalls Erzmineralisationen auf.

Abb. 5.12: Häufigkeitsverteilung der Quarzsandsteine mit unterschiedlichen Mineralkomponenten des Kupferschmelzplatzes S1. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalierungen der y-Achse. Fig. 5.12. Frequency distribution of quartz-sandstone with various mineral components from the Copper Smelting Site S1. Please note the different scales on the y-axis.



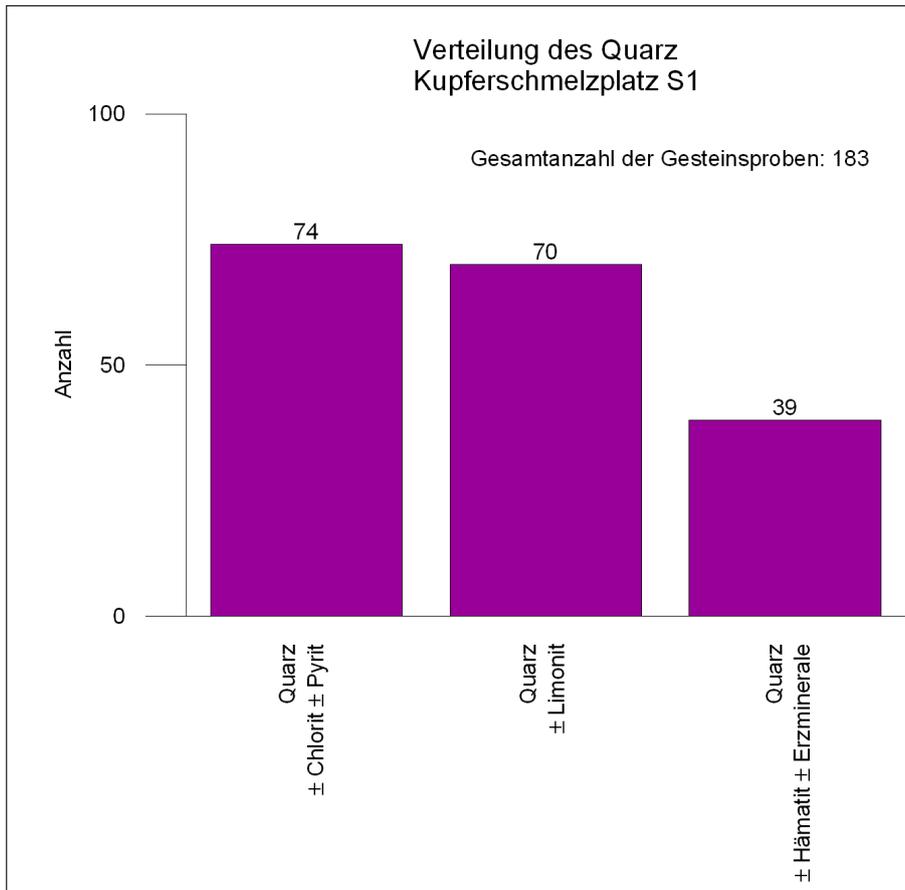


Abb. 5.13: Häufigkeitsverteilung von Quarz mit unterschiedlichen Mineralkomponenten des Kupferschmelzplatzes S1.

Fig. 5.13. Frequency distribution of quartz with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.

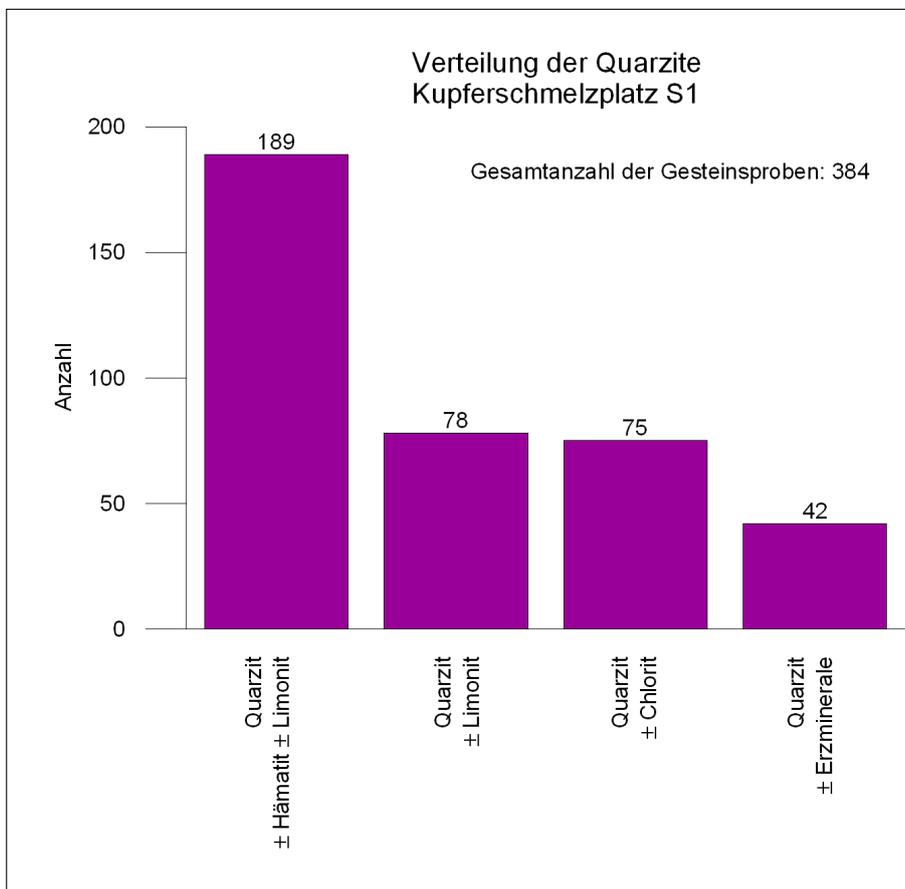


Abb. 5.14: Häufigkeitsverteilung der Quarzite mit unterschiedlichen Mineralkomponenten des Kupferschmelzplatzes S1.

Fig. 5.14. Frequency distribution of quartzite with various mineral components from the Copper Smelting Site S1.

### Phyllite

Die Phyllite mit einer Probenmenge von 100 Stück (1,5 % des gesamten Baumaterials, Abb. 5.4 und 5.5) werden den Radschiefern und dem Blasseneck-Porphyröid zugeordnet. Für den Blasseneck-Porphyröid sind lokale Phyllit-Siltschiefer-Einschaltungen charakteristisch.<sup>35</sup> Die dem Radschiefer zugeordneten seltener auftretenden hellgrünen Quarzchloritschiefer (vgl. Abb. 5.4) kommen neben dunklen Schiefen, welche eine gele-

gentliche Feinschichtung aufweisen, Quarziten und Konglomeraten (vgl. Abb. 5.4) vor.<sup>36</sup> Am häufigsten vertreten sind Phyllite (Abb. 5.15) mit starker Limonitisierung aufgrund ausgeprägter thermischer Beanspruchung und Verwitterung. In den geringer limonitierten Phylliten (Abb. 5.15) konnten teilweise makroskopisch die Mineralkomponenten Hämatit, Limonit, Quarz und Erzminerale erkannt werden. Die Radschiefer und der Blasseneck-Porphyröid beißen im gesamten Südwesten des Fundorts aus (vgl. Abb. 5.1).

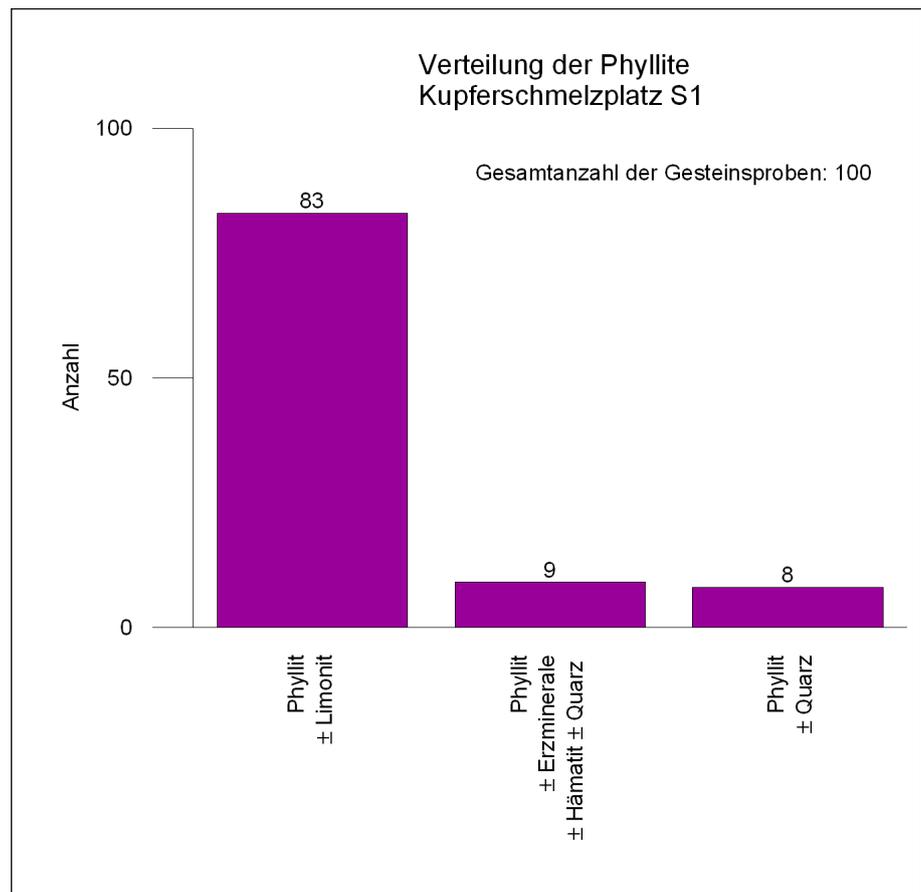


Abb. 5.15: Häufigkeitsverteilung der Phyllite des Kupferschmelzplatzes S1.

Fig. 5.15. Frequency distribution of phyllite from the Copper Smelting Site S1.

## 5.4 Zusammenfassung

Die archäologische Ausgrabung des Kupferschmelzplatzes S1 befindet sich in der Eisenerzer Ramsau in der Steiermark. Die Mehrheit der vorliegenden Gesteine vom Fundort Kupferschmelzplatz S1 wird den umliegenden Lithologien zugeordnet. Das Einzugsgebiet erstreckt sich etwa 1 km nach Norden, begrenzt durch den Kampengraben und Kupfergra-

ben und etwa 2 km nach Süden bis zum Halsbach und Kaltenbachriedel. Anhand eines frischen Bruches wurden die Proben makroskopisch untersucht. Die untersuchten Gesteine sind den Schichtabfolgen der östlichen Grauwackenzone der Norischen Decke in den Nördlichen Kalkalpen zuzuordnen. Der Großteil der Gesteine stammt vom

<sup>35</sup> HEINISCH 1981, 73; SCHULZ u. a. 1997, 71.

<sup>36</sup> OBERHAUSER/BAUER 1980, 287.

Blasseneck-Porphyroid, den Radschiefern, den Grauwackenschiefern, den Präbichlschichten und den Werfener Schichten, welche im gesamten Einzugsgebiet der archäologischen Fundstelle auftreten (Abb. 5.1–5.3). Bei den angesprochenen Gesteinen handelt es sich überwiegend um Ton-, Silt- und Sandsteine, die teilweise geschiefert vorkommen. Quarz, Hämatit, Glimmer, und Limonit bilden die mineralischen Hauptbestandteile (Abb. 5.4–5.15). Der Großteil der untersuchten Gesteine ist ther-

misch stark beansprucht und weist einen hohen Oxidationsgrad auf. Durch die hinzukommende fortgeschrittene Verwitterung ist an den Gesteinen eine starke Limonitisierung deutlich zu erkennen. Polymetallische Sulfidvererzungen kommen im Verband mit Siderit-Ankerit-Vererzungen im Eisen- (Kupfer-) Erzbezirk der Norischen Decke vor. Vorwiegend an Gangquarz gebunden waren Eisenoxide und Sulfide makroskopisch zu erkennen.

## 5.5 Macroscopic Rock Identification of the Building Materials for the Roasting Hearths and Smelting Furnaces of the Copper Smelting Site S1 (Summary)

The archaeological excavation of the Copper Smelting Site S1 is located in the Eisenerzer Ramsau, Styria. On a fresh surface, the rock samples were investigated macroscopically. The analysed rock samples can be assigned to the layer sequences of the eastern part of the greywacke zone of the Noric Nappe system in the Northern Calcareous Alps. A large number of the analysed samples originate from the Blasseneck Porphyroid, the Rad phyllite, the Greywacke schists, the Präbichl and the Werfen beds which are

located in the surrounding area of the archaeological site. Most of the investigated samples were strongly thermally stressed and show high oxidation. A strong limonite mineralisation can be observed due to additional advanced weathering. Polymetallic sulphidic mineralisations are related to siderite-ankerite-mineralisations in the iron-copper district of the Noric Nappe system. Iron oxides and sulphides were macroscopically identifiable bound to vein quartz (Figs. 5.1 to 5.15).

## 5.6 Literatur / Publications

BAUER 1996

BAUER F. K., Bericht 1996 über geologische Aufnahmen an der Basis der Nördlichen Kalkalpen im Raum Gollrad auf Blatt 102 Aflenz, Geologische Bundesanstalt (Wien 1996), 303.

HEINISCH 1981

HEINISCH H., Zum ordovizischen „Porphyroid“-Vulkanismus der Ost- und Südalpen – Stratigraphie, Petrographie, Geochemie. In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 124 (1981), 1–109.

LOESCHKE/KRETZSCHMA u. a. 1990

LOESCHKE J./KRETZSCHMA T./LANGER V./STRECK M., Zur Geologie der Norischen Decke nordwestlich von Kalwang (Eisenerzer Alpen, Steirische Grauwackenzone/Österreich). In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 133 (1990), 345–363.

NEUBAUER/HANDLER u. a. 1994

NEUBAUER F./HANDLER R./HERMANN S./PAULUS G., Revised Lithostratigraphy and Structure of the Eastern Greywacke Zone (Eastern Alps). In: Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft 86 (1994), 61–74.

OBERHAUSER/BAUER 1980

OBERHAUSER R./BAUER F. K., Der Geologische Aufbau Österreichs (Wien 1980), 700.

OFNER 2002

OFNER L., Zur Genese der Kupferlagerstätte Radmer an der Hasel und weiterer ausgewählter Mineralisationen der Norischen Decke im Raum Eisenerz/Steiermark 2002 (DiplA. Leoben 2002), 180.

## PROSKE 2003

PROSKE H., Geologie der Eisenerzer Ramsau. In: S. KLEMM, Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 50, Wien 2003), 163f.

## SCHMID/FÜGENSCHUH u. a. 2004

SCHMID S. M./FÜGENSCHUH B./KISSLING E./SCHUSTER R., Tectonic map and overall architecture of the alpine orogeny. In: *Eglogae Geologicae Helvetiae* 97 (2004), 93–117.

## SCHÖNLAUB 1979

SCHÖNLAUB H. P., Die Nördliche Grauwackenzone. In: H. P. Schönlaub, Das Paläozoikum in Österreich (= Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt 33, Wien 1979), 76–97.

## SCHÖNLAUB 1982

SCHÖNLAUB H. P., Die Grauwackenzone in den Eisenerzer Alpen (Österreich). In: *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt* 124 (1982), 361–423.

## SCHULZ/VAVTAR u. a. 1997

SCHULZ O./VAVTAR F./DIEBER K., Die Siderit-Erzlagerstätte Steirischer Erzberg: Eine geowissenschaftliche Studie, mit wirtschaftlicher und geschichtlicher Betrachtung (= *Archiv für Lagerstättenforschung der geologischen Bundesanstalt* 20, Wien 1997), 65–178.

## VAN HUSEN 2004/2005

VAN HUSEN D., Bericht 2004/2005 über geologische Aufnahmen im Quartär auf Blatt 101 Eisenerz, Aufnahmebericht ÖK101, Geologische Bundesanstalt (Wien 2004/2005), 88–94.

## WEBER 1997

WEBER L. (Hg.), Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs: Erläuterungen zur metallogenetischen Karte von Österreich 1:500.000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe (= *Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt* 19, Wien 1997), 967.

## 6 Untersuchungen der archäometallurgischen Funde vom Kupferschmelzplatz S1

### 6.1 Einleitung

Bereits seit dem Paläolithikum wurden die Alpen immer wieder zum Zwecke der Rohstoffgewinnung für die Herstellung von Waffen und Geräten aufgesucht. Im ausgehenden Paläolithikum erfolgte der Abbau von Feuerstein bereits bergmännisch. Spätestens seit der Bronzezeit, wahrscheinlich aber schon seit der Kupferzeit, wurden zahlreiche Kupfererzlagerstätten der Nördlichen Grauwackenzone abgebaut. Dies wurde bereits im 19. Jahrhundert erkannt, als durch den modernen Bergbau vermehrt Hinweise auf vorgeschichtliche Bergbautätigkeiten entdeckt wurden. Als Pioniere der Untersuchung des prähistorischen Bergbaus sind M. Much<sup>1</sup>, E. Preuschen und R. Pittioni<sup>2</sup> zu nennen. Früh entwickelte sich auch eine Diskussion um die Rekonstruktion der prähistorischen Verhüttungsmethoden.<sup>3</sup> Es stellte sich heraus, dass die bronzezeitlichen Kupferverhüttungsplätze der Ostalpen einen auffallend einheitlichen Aufbau zeigen und dass auf diesen Plätzen sulfidische Erze, bevorzugt Kupferkies und Fahlerz, verhüttet wurden.<sup>4</sup>

Auf dem mittelbronzezeitlichen Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark) (FP 60104.001)<sup>5</sup>, der am intensivsten untersuchten prähistorischen Kupferverhüttungsanlage in den Ostalpen, wurden bei den archäologischen Grabungen 1992–2006 unter der Leitung von S. Klemm zehn Röstbetten, sechs Doppelofenanlagen sowie mehrere Schlackenhalde mit etwa 1,5 t Schlacken freigelegt. Gefördert vom österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) wurden im Rahmen des interdisziplinären Projekts „Die Konstruktion der ostalpinen Kupferhütte“ alle

Materialien, die beim Hüttenprozess eine Rolle spielen, untersucht, um den prähistorischen Kupferverhüttungsprozess an diesem Fundplatz zu rekonstruieren. Dazu zählen Ausgangsstoffe wie Erz, Brennmaterial und mögliche Zuschlagstoffe sowie Schmelzprodukte, Schlacken und thermisch belastete Baumaterialien des Schmelzplatzes. Neben der Darstellung der Ergebnisse naturwissenschaftlicher Untersuchungen wurden auch Vergleiche mit anderen bronzezeitlichen Fundplätzen der Ostalpen angestellt<sup>6</sup>.

Die unterschiedlichen Schlackentypen wurden in den bisher vorgeschlagenen Modellen für den ostalpinen Verhüttungsprozess, basierend auf der Übertragung moderner oder historischer Verfahren, verschiedenen Prozessstufen zugeordnet. Daher galt es, die bestehenden Theorien zur bronzezeitlichen Kupfererzverhüttung mit naturwissenschaftlichen Methoden zu überprüfen. Dabei war es wichtig festzustellen, in welchem Maße sich die modernen bzw. historischen Verfahren zur Verhüttung sulfidischer Kupfererze auf die prähistorischen Funde übertragen lassen und ob eine Zuordnung der Schlacken zu unterschiedlichen Prozessstufen zweifelsfrei möglich ist. Durch chemische und mineralogische Analysen der aufgefundenen Erze, Schlacken und des verschlackten Ofenbaumaterials sollten in Verbindung mit mößbauerspektroskopischen Untersuchungen an einigen Schlacken differenzierte Informationen über die verwendete Rohstoffbasis, eventuelle Zuschläge und mögliche Zwischen- und Endprodukte sowie über wichtige Prozessparameter wie Ofentemperatur und Gasatmosphäre gewonnen werden.

<sup>1</sup> MUCH 1902.

<sup>2</sup> PREUSCHEN/PITTIONI 1955.

<sup>3</sup> MUCH 1902; KLOSE 1918; KYRLE 1920; ZSCHOCKE/PREUSCHEN 1932.

<sup>4</sup> EIBNER 1982.

<sup>5</sup> Nach KLEMM 2003, 96.

<sup>6</sup> Teilergebnisse der Untersuchungen wurden bereits auf verschiedenen Tagungen als Vortrag bzw. Poster präsentiert (KRAUS u. a. 2010, 2011a, 2011b, 2012).

## 6.2 Stand der archäometallurgischen Forschung zur prähistorischen Kupfergewinnung in den Ostalpen

Bereits seit den Anfängen der montanarchäologischen Erforschung der prähistorischen Kupfergewinnung in den Ostalpen werden auch naturwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt. Das primäre Ziel dieser Untersuchungen ist seit jeher die Rekonstruktion des durchgeführten Verhüttungsprozesses sowie die Frage nach der Art und Herkunft der für die aufgefundenen kupfer- und bronzezeitlichen Metallartefakte verwendeten Erze. Zu diesem Zweck wurden anfangs Haupt- und Spurenelementgehalte der Artefakte, Zwischen- aber auch der Abfallprodukte analysiert.<sup>7</sup> Neben der Suche nach der Herkunft der Ausgangserze liegt seit dem Beginn der archäometallurgischen Forschung ein weiterer Schwerpunkt in der Rekonstruktion der angewandten Verhüttungsverfahren. Früh wurde erkannt, dass hauptsächlich Kupferkies und Fahlerze verhüttet wurden.<sup>8</sup>

### 6.2.1 Die Kupfervererzungen der nördlichen Grauwackenzone

Das Hochtal der Eisenerzer Ramsau wird überwiegend von paläozoischen Gesteinsformationen der nördlichen Grauwackenzone umschlossen. Nur der

nordwestliche Talabschluss wird durch mesozoische Gesteine der nördlichen Kalkalpen gebildet.<sup>9</sup> Hinsichtlich der Rohstoffführung bildet die nördliche Grauwackenzone eine sehr wichtige tektonische Einheit der Ostalpen. Vor allem die polymetallischen Sulfidmineralisationen (hauptsächlich Kupferkies und Fahlerze) spielten für den prähistorischen Bergbau eine bedeutende Rolle.<sup>10</sup>

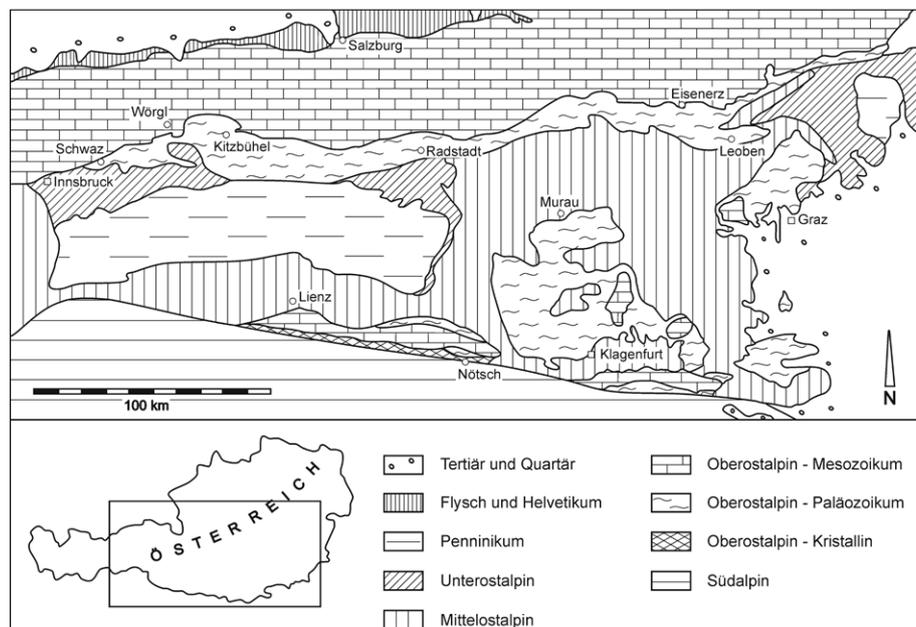
Die Bezeichnung Grauwackenzone geht auf den Begriff „Grauwackenformation“ zurück. Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde er verwendet und auf die Bedeutung dieser Zone für den Bergbau hingewiesen.<sup>11</sup> Die Stratigraphie setzt mit dem Oberordovizium ein und reicht bis in das Oberkarbon. Demnach wird die nördliche Grauwackenzone dem oberostalpinen Paläozoikum zugerechnet. Nach Ebner<sup>12</sup> bildet sie, bei jedoch meist tektonisch überprägtem Verband, die primäre Basis der Kalkalpen. Bei einer durchschnittlichen Breite von 10 km, maximal ca. 25 km, erstreckt sie sich entlang des Südrandes der nördlichen Kalkalpen von Schwaz/Tirol im Westen bis nahe Ternitz/Niederösterreich im Osten (etwa 450 km). Bei Ternitz taucht sie unter die Bedeckung des Wiener Beckens.

Abb. 6.1: Geologische Übersichtskarte der Ostalpen.

Modifiziert nach HEINISCH et al. 1988, 269

Fig. 6.1. Geological map of the Eastern Alps.

Modified after HEINISCH et al. 1988, 269



<sup>7</sup> OTTO/WITTER 1952.

<sup>8</sup> SPERBER 1999, 48.

<sup>9</sup> PROSKE 2003, 163.

<sup>10</sup> WEBER u. a. 1997, 325; OFNER 2002, 34.

<sup>11</sup> SCHÖNLAUB 1980, 265.

<sup>12</sup> EBNER 1997, 173.

Im Süden liegt sie mit tektonischem Kontakt dem Kristallin der Zentralalpen auf (Abb. 6.1).

Im Unterschied zu den nördlichen Kalkalpen bildet die nördliche Grauwackenzone morphologisch ein sanft gewelltes, größtenteils dicht bewaldetes Hügelland. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die altpaläozoischen Schiefer und Grauwacken der Abtragung einen geringeren Widerstand als die Kalke entgegensetzen.<sup>13</sup>

Aufgrund der geographischen Gegebenheiten wird die nördliche Grauwackenzone in zwei Regionen geteilt: in die westliche und die östliche Grauwackenzone.<sup>14</sup> Diese Gebiete werden regional weiter untergliedert: Die westliche Grauwackenzone gliedert sich in die Flauringer Quarzphyllite, die Kitzbühler Alpen und den Raum von der Zeller Furche bis Radstadt. Die östliche Grauwackenzone gliedert sich in das Ennstal, die Eisenerzer Alpen mit dem Palten-Liesingtal sowie den Raum zwischen Leoben und Ternitz.<sup>15</sup>

Die größten Kupfererzlagerstätten konzentrieren sich in der westlichen Grauwackenzone, wie der Fahlerzbezirk Schwaz/Brixlegg, der Kupfererzbezirk Röhrebrühel/Kitzbühel und vor allem der Kupfererzbezirk Mitterberg – Mühlbach – Larzenbach. Die Lagerstätte Mitterberg ist das größte Kupfererzvorkommen der Ostalpen. Bei den Kupfervererzungen handelt es sich sowohl um stoffkoncordante als auch stoffdiskordante Erzmineralisationen in vorwiegend altpaläozoischen Metasedimenten. Die konkordanten Erzlager im Südrevier im Mitterberger Raum beinhalten hauptsächlich Chalkopyrit, Pyrit, seltener goldhaltigen Tetraedrit sowie kobalthaltigen Gersdorffit. Weiter östlich bzw. südlich in den Lagerstätten von Larzenbach und St. Veit ist der goldführende Tetraedrit das dominierende Kupfererz. Die Kupfermineralisationen des diskordant ausgebildeten Mitterberger Hauptgangs bestehen im Wesentlichen aus Chalkopyrit, begleitet von Nickelerzen (Gersdorffit, Millerit). Als Gangarten erscheinen Karbonate der Dolomit-Ankerit- und Siderit-Magnesit-Mischkristallreihe.<sup>16</sup>

In der östlichen Grauwackenzone, zu der die Eisenerzer Alpen gehören, gibt es zahlreiche Siderit-Ankerit-Vererzungen, die gelegentlich Kupferkies führen.<sup>17</sup> Erzvorkommen mit Buntmetalldominanz ohne eine Bindung an Eisenvererzungen sowie Kieslagerstätten sind dagegen ausgesprochen selten. Auffällig ist jedoch die stärkere Kupferkiesführung mit Fahlerz im Bereich Radmer und Johnsbach sowie der Eisenerzer Ramsau.

Die Kupferkies- und Fahlerzvorkommen in der Radmer werden als bis zu faustgroße Nester in den Eisenkarbonaten Ankerit und Siderit beschrieben.<sup>18</sup> Gegen die Hinterradmer nehmen die Gehalte und Häufigkeiten an Kupferkies zu, der Siderit im Verhältnis zum Ankerit jedoch ab. Im Paradeisstollen treten überwiegend Karbonate der Ankerit-Dolomit-Mischkristallreihe und Quarz als Gangart auf. Die primären Erzminerale sind Chalkopyrit, antimonhaltige Fahlerze (Tetraedrit) mit geringem Silberanteil, eisenreicher Gersdorffit, Zinkblende und Pyrit. Untergeordnet erscheinen Pentlandit, Magnetkies und Millerit.<sup>19</sup>

Im Raum Johnsbach bestehen die Vererzungen am Sensenschmidtgang aus 10–12 cm starken Lagergängen mit einer Grundmasse aus Kupferkies, Fahlerz und Ankerit in einem Netzwerk von Siderit und Tonschiefern.<sup>20</sup> Am Hotzengraben wird die Gangart von rötlichen, spätigen Eisenkarbonaten und Quarz gebildet. Die Vererzung beinhaltet hier überwiegend Chalkopyrit und Pyrit, Fahlerz (Tetraedrit, Tennantit), Arsenkies, Zinkblende, Markasit und Gersdorffit.<sup>21</sup>

Die Mineralisationen in der Eisenerzer Ramsau sind Vertreter verschiedener Vererzungstypen. Sie erscheinen zum einen als schieferungsparallele Eisenkarbonatgänge in erzführenden Kalken und zum anderen als hydrothermale Quarz-Sulfidgänge in der Nähe von Rohwandgängen in paläozoischen Grauwackenphylliten. Die Gangartminerale werden durch Quarz, Eisenkarbonate und Baryt gebildet.<sup>22</sup> Die Erzparagenese setzt sich aus Chalkopyrit mit Covellinsäumen, Pyrit, Zinkblende, Millerit

<sup>13</sup> METZ 1953, 8; BÖGEL/SCHMIDT 1976, 27; SCHLAEGEL-BLAUT 1990, 8.

<sup>14</sup> GWINNER 1978, 233; MÖBUS 1997, 161; HUBMANN u. a. 2006, 51–53.

<sup>15</sup> SCHÖNLAUB 1980, 265–267.

<sup>16</sup> BERNHARD 1966, 39f.; WEBER u. a. 1997, 332.

<sup>17</sup> WEBER u. a. 1997, 336.

<sup>18</sup> REDLICH/SELLNER 1923, 291.

<sup>19</sup> OFNER 2002, 150.

<sup>20</sup> REDLICH 1923, 309.

<sup>21</sup> OFNER 2002, 155.

<sup>22</sup> NEINAVAIE 1993, 4. Vgl. dazu Kap. 3.2 in diesem Band.

und vereinzelt Gersdorffit zusammen. Die wenigen untersuchten Vererzungen in der Eisenerzer Ramsau enthalten jedoch kein Fahlerz.<sup>23</sup> Die nachstehende Tabelle (Tab. 6.1) enthält die wichtigsten

Kupferminerale mit der Angabe ihrer chemischen Formel. Darüber hinaus sind in der Tabelle alle im Text verwendeten Minerale mit ihrer Formel aufgelistet.

Tab. 6.1: Auflistung der wichtigsten Kupfererze sowie der im Text verwendeten Minerale (Abkürzungen nach CHASE 1956; KRETZ 1983; WHITNEY/EVANS 2010).

Tab. 6.1. List of important copper ores and other minerals used in the text (abbreviations after CHASE 1956; KRETZ 1983; WHITNEY/EVANS 2010).

Mineralname	Mineralname (engl.)	Abkürzung	chemische Formel
Chalcopyrit (Kupferkies)	Chalcopyrite	Ccp	CuFeS <sub>2</sub>
Bornit (Buntkupferkies)	Bornite	Bn	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>
Vallerit	Vallerite		Cu <sub>2</sub> Fe <sub>4</sub> S <sub>7</sub>
Cubanit	Cubanite	Cbn	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Covellin	Covellite	Cv	CuS
Chalkosin (Kupferglanz)	Chalcocite	Cc	Cu <sub>2</sub> S
Digenit	Digenite	Dg	Cu <sub>9</sub> S <sub>5</sub>
Tennantit (Arsenfahlerz)	Tennantite	Tnt	Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>
Tetraedrit	Tetrahedrite	Ttr	Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>
Cuprit (Rotkupfererz)	Cuprite	Cpr	Cu <sub>2</sub> O
Malachit	Malachite	Mlc	Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>
Azurit	Azurite	Az	Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>
Pyrit	Pyrite	Py	FeS <sub>2</sub>
Markasit	Marcasite	Mrc	FeS <sub>2</sub>
Pyrrhotin (Magnetkies)	Pyrrhotite	Po	Fe <sub>1-x</sub> S
Millerit	Millerite	Mlr	NiS
Gersdorffit	Gersdorffite		NiAsS
Sphalerit (Zinkblende)	Sphalerite	Sp	ZnS
Pentlandit	Pentlandite	Pn	(Ni,Fe) <sub>9</sub> S <sub>2</sub>
Wüstit	Wüstite	Wus	FeO
Hämatit	Hematite	Hem	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Magnetit	Magnetite	Mag	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Magnesioferrit	Magnesioferrite	Mfr	MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Delafossit	Delafossite	Del	CuFeO <sub>2</sub>
Olivin(gruppe)	Olivine	Ol	(Mg,Fe)SiO <sub>4</sub>
Fayalit	Fayalite	Fa	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
Forsterit	Forsterite	Fo	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
Larnit	Larnite	Lrn	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
Tephroit	Tephroite	Tep	Mn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
Glaucochroit	Glaucochroite	Glc	CaMnSiO <sub>4</sub>
Kirschsteinit	Kirschsteinite	Kir	CaFeSiO <sub>4</sub>
Monticellit	Monticellite	Mtc	CaMgSiO <sub>4</sub>
Klinopyroxen(gruppe)	Clinopyroxene	Cpx	(Mg,Fe)CaSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Enstatit	Enstatite	En	Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Ferrosilit	Ferrosilite	Fs	Fe <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Wollastonit	Wollastonite	Wo	Ca <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>

<sup>23</sup> OFNER 2002, 154.

Mineralname	Mineralname (engl.)	Abkürzung	chemische Formel
Augit	Augite	Aug	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$
Hedenbergit	Hedenbergite	Hd	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
Diopsid	Diopside	Di	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
Pigeonit	Pigeonite	Pgt	$(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})_2\text{Si}_2\text{O}_6$
Tschermak-Komponente		CaTs	$\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$
Quarz	Quartz	Qtz	$\text{SiO}_2$
Cristobalit	Critobalte	Crs	$\text{SiO}_2$
Tridymit	Tridymite	Trd	$\text{SiO}_2$
Hercynit	Hercynite	Hc	$\text{FeAl}_2\text{O}_4$
Baryt	Barite (Baryte)	BrT	$\text{BaSO}_4$
Calcit (Kalk)	Calcite	Cal	$\text{CaCO}_3$
Ankerit	Ankerite	Ank	$\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$
Dolomit	Dolomite	Dol	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Muskovit	Muscovite	Ms	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$
Chlorit(gruppe)	Chlorite	Chl	$(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Feldspat(gruppe)	Feldspar	Fsp	$(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca}, \text{Ba}, \text{NH}_4)(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$
Anorthit	Anorthite	An	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

## 6.2.2 Die prähistorische Verhüttung sulfidischer Kupfererze in den Ostalpen

### 6.2.2.1 Die metallurgischen Grundlagen der Verhüttung sulfidischer Kupfererze

Grundsätzlich wird bei der Kupfergewinnung aus den verschiedenen bergmännisch gewonnenen und aufbereiteten Erzen zwischen nassen und trockenen Verfahren unterschieden. Die nassen oder hydrometallurgischen Gewinnungsverfahren basieren auf der Überführung des Kupfers aus seinen Verbindungen in eine Lösung durch Laugung und der anschließenden Ausfällung als Metall oder einer Verbindung, die Kupfer in einer konzentrierten und leicht gewinnbaren Form enthält.<sup>24</sup> Diese Verfahren werden vor allem bei der Gewinnung von Kupfer aus armen Erzen sowie Zwischen- und Abfallprodukten aus anderen Verhüttungsvorgängen angewendet.

Für die prähistorische Kupfergewinnung aus sulfidischen Erzen ist jedoch vorwiegend von einem trockenen oder pyrometallurgischen Verfahren auszugehen, dessen Ziel es ist, den gesamten Kupfergehalt aus dem Erz unter Verschlackung der Gangart und der unerwünschten Nebenbestandteile zu gewinnen. Um dieses Ziel zu erreichen, können verschiedene Methoden angewendet werden.

Beim Röstreduktionsverfahren wird das sulfidische Erz totgeröstet, um den gesamten Schwefel aus dem Erz zu entfernen und das Kupfer vollständig zu oxidieren. Der Röstprozess findet bei 400–700° C, also deutlich unterhalb der Schmelztemperatur von Kupfer, statt und erhält sich selbst, so lange ein Schwefelüberschuss vorhanden ist. Anschließend erfolgt die Reduktion des Kupferoxids zu metallischem Kupfer im Ofen.<sup>25</sup> Da Kupfer eine höhere Affinität zum Schwefel als Eisen hat, ist für eine vollständige Entfernung des Schwefels erhebliche Energiezufuhr nötig. Aufgrund der ungünstigen Energiebilanz dieses Verfahrens war es für prähistorische Hüttenleute wohl kaum möglich, den Schwefel vollständig zu entfernen.

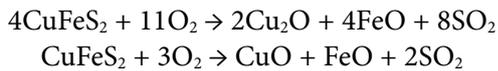
Beim sogenannten Röstreaktionsverfahren wird beim Rösten nur ein Teil des Schwefels entfernt und die gebildeten Kupferoxide im anschließenden Schmelzprozess zu metallischem Kupfer reduziert. Beide Verfahren ermöglichen die Gewinnung metallischen Kupfers direkt aus dem Erz.

Denkbar ist auch ein weiteres Verfahren, nämlich das Verschmelzen von totgeröstetem Erz mit unbehandeltem Erz, wodurch ebenfalls direkt Kupfer gewonnen werden kann. Dabei geht jedoch ein großer Teil des Kupfers in die Schlacke und kann nur unter hohem Aufwand wiedergewonnen werden.

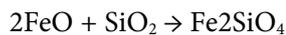
<sup>24</sup> TAFEL/WAGENMANN 1951, 464.

<sup>25</sup> TAFEL/WAGENMANN 1951.

Für die prähistorische Kupfergewinnung in den Ostalpen wird daher von einem mehrstufigen Konzentrations- bzw. Anreicherungsverfahren ausgegangen (vgl. Kap. 6.4.2). Zunächst werden die sulfidischen Erze entweder im Haufen oder auf eigens dafür angelegten Röststadeln oder Röstbetten geröstet. Dabei werden die sulfidischen Metallverbindungen in Metalloxide überführt:<sup>26</sup>

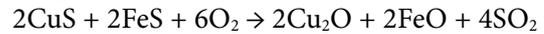


Ein Teil des im Erz enthaltenen Kupfers bleibt aufgrund seiner höheren Affinität zum Schwefel zunächst daran gebunden, während die Eisensulfide oxidiert werden. Im darauf folgenden ersten Schmelzgang wird das Röstgut zusammen mit der quarzreichen Gangart und/oder Zuschlägen im Schachtofen geschmolzen. Dabei entsteht Kupferstein, ein Gemisch aus Kupfer- und Eisensulfiden, während ein Teil des Eisens zusammen mit dem Quarz eine Eisensilikatschlacke bildet:<sup>27</sup>



Um das Kupfer aus dem erschmolzenen Kupferstein zu gewinnen, wird dieser erneut auf dem Röstbett geröstet und anschließend im Schachtofen unter Verschlackung des noch vorhandenen Eisens zu metallischem Kupfer reduziert.

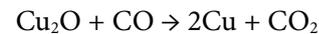
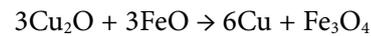
Röstung:



Verschlackung:



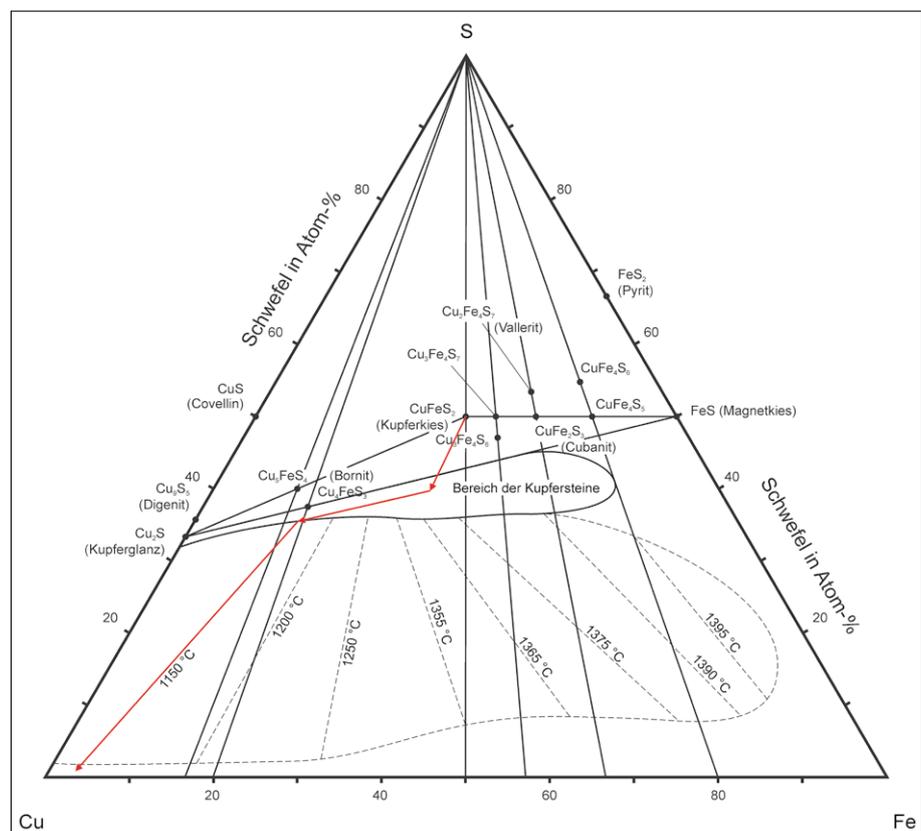
Reduktion:



Das gewonnene Schwarzkupfer wird dann in einem folgenden Raffinationsverfahren zu Kupfer des gewünschten Reinheitsgrades geschmolzen. Es ist aber auch denkbar, dass das Konzentrationsschmelzen mehrfach ausgeführt wird. Dabei wird der Kupferstein immer weiter an Kupfer angereichert bis die Mischungslücke des Systems Cu-Fe-S (Abb. 6.2) erreicht wird und sich metallisches Kupfer, das so-

Abb. 6.2: Schematische Darstellung des Systems Cu-Fe-S (modifiziert nach SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952). Die Bildung von metallischem Kupfer aus Kupferkies ist dabei entlang der rot markierten Linie anzunehmen.

Fig. 6.2. Schematic description of the system Cu-Fe-S (modified after SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952). The formation of metallic copper from chalcopyrite is to be expected along the red line.



<sup>26</sup> Gemäß TAFEL/WAGENMANN 1951, 239.

<sup>27</sup> Nach BACHMANN 1982, 22.

genannte Bodenkupfer (Rohkupfer, Schwarzkupfer), spontan abscheidet.

Der Schwefelabbau der höheren Cu/Fe-Sulfide erfolgt dabei bei Ofentemperaturen über 1100° C durch Dissoziation und ein Aufschwefeln des nicht an den Schwefel gebundenen Kupfers durch Eisensulfide. In Abbildung 6.2 ist der Bereich der technischen Kupfersteine zwischen der Linie  $\text{Cu}_2\text{S-FeS}$  und der Mischungslücke eingetragen. Daraus ist ersichtlich, dass kupferarme Steine im flüssigen Zustand deutlich höhere Mengen Metall lösen können, ohne dass eine Metallschicht abgeschieden wird. Diese Löslichkeit nimmt mit steigendem  $\text{Cu}_2\text{S}$ -Gehalt ab, so dass bei kupferreichen Steinen leicht eine Abscheidung von metallischem Kupfer stattfinden kann. Diese Strategie wurde im mittelalterlichen und neuzeitlichen Japan verfolgt, wo man dieses Verfahren als Mabuki-Prozess bezeichnet.<sup>28</sup>

Möglich ist aber auch eine direkte Umwandlung des geschmolzenen Kupfersteins durch Oxidation mit Luft in kleinen Schmelztiegeln (das „Verblasen“ des Steins), um metallisches Kupfer (Schwarzkupfer) zu gewinnen. Großtechnisch entspricht dieser Prozess dem modernen Konverterverfahren<sup>29</sup>, das heute durch Einblasen von Sauerstoff unter Druck durchgeführt wird. Dabei entsteht Schwarzkupfer mit einigen Prozent Eisen und Konverterschlacke mit relativ hohem Kupfergehalt. In der modernen Hüttenindustrie wird diese in den Prozess zurückgeführt. Das Schwarzkupfer wird in der Regel weiter gereinigt, indem man es unter Luft schmilzt oder Luft auf das geschmolzene Schwarzkupfer aufbläst. Dabei werden die chemisch unedleren Verunreinigungen oxidiert und bilden eine kupferreiche Tiegelschlacke.

Eine Alternative zum Aufblasen von Luft auf das Schwarzkupfer ist das Eintauchen von frischem Holz in das geschmolzene Kupfer. Der dabei entstehende Wasserdampf und die Holzkohle führen ebenfalls zu einer Raffination. Diesen Vorgang nennt man das „Polen“ des Kupfers.<sup>30</sup> Heute wird Kupfer elektrolytisch raffiniert, was für die prähistorische Produktion natürlich entfällt.

#### 6.2.2.2 Theorien zur prähistorischen Verhüttung sulfidischer Kupfererze in den Ostalpen

Abbildung 6.3 zeigt die in der Literatur diskutierten, verschiedenen Ansätze zur bronzezeitlichen Kupfergewinnung aus sulfidischen Erzen. In allen bislang vorgeschlagenen Modellen werden moderne oder historisch belegte Verfahrenstechniken auf den prähistorischen Prozess übertragen. Danach wird für die prähistorische Verhüttung sulfidischer Kupfererze in den Ostalpen im Allgemeinen von einem mehrstufigen Prozess ausgegangen. Die erste Stufe entspricht dem Rösten des zu verhüttenden Erzes. In der zweiten Stufe erfolgt der erste Schmelzvorgang im Schmelzofen mit dem Ziel, Kupferstein zu gewinnen. In einer weiteren Stufe wird der erzeugte Kupferstein (eventuell zusammen mit weiteren Erzbrocken) ebenfalls geröstet und während des darauf folgenden Schmelzgangs mit Kupfer angereichert.

So ging bereits MUCH<sup>31</sup> von einem zweistufigen Verfahren aus, bei dem das zu verhüttende Erz vor dem Schmelzen im Ofen einem Röstprozess unterzogen wird. Er vermutete, dass das Rösten der Erze auf frei liegenden oder mit Steinen umstellten Haufen erfolgte. Nach dem vorgeschlagenen Verfahren wurde der dann im Ofen erschmolzene Stein anschließend im Tiegel angereichert und verblasen. Die auf den Schmelzplätzen gefundenen Schlacken teilte Much nach ihren äußeren Eigenschaften ein und ordnete sie den verschiedenen Prozessstufen zu. Demnach entstanden die heterogenen Schlackenklötze während des Kupfersteinschmelzens und die dünnflüssigen Plattenschlacken beim späteren Raffinationsprozess.

Auch nach dem von KLOSE<sup>32</sup> vorgeschlagenen Verfahren wurden die sulfidischen Kupfererze vor dem eigentlichen Schmelzprozess im Ofen auf eigens dafür angelegten Plätzen geröstet. Danach erfolgte der erste Schmelzgang im Ofen. Der dabei gewonnene Kupferstein wurde dann im zweiten Ofen geschmolzen, um den Kupfergehalt im Stein weiter zu erhöhen, bevor er anschließend im Tiegel zu Schwarzkupfer verarbeitet wurde. Die auf den Schmelzplätzen entdeckten Schlacken unterschei-

<sup>28</sup> OKADA 1911.

<sup>29</sup> TAFEL/WAGENMANN 1951.

<sup>30</sup> TAFEL/WAGENMANN 1951, 444–446.

<sup>31</sup> MUCH 1902, 12.

<sup>32</sup> KLOSE 1918, 27–33.

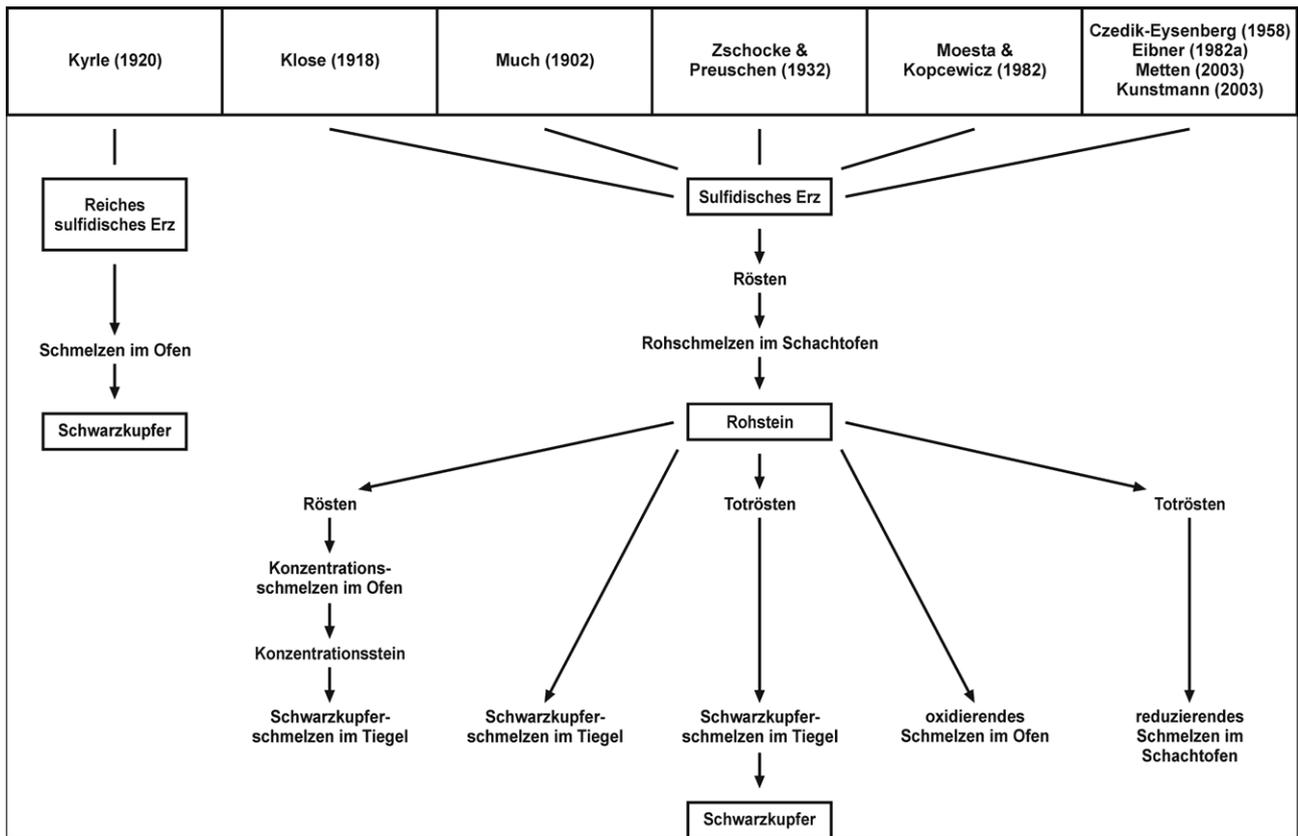


Abb. 6.3: Schematische Darstellung der verschiedenen Theorien zur bronzezeitlichen Kupfergewinnung.

Erweitert nach METTEN 2003, 13

Fig. 6.3. Schematic description of the various theories of Bronze Age copper production.

Extended after METTEN 2003, 13

det KLOSE<sup>33</sup> ebenfalls nach ihrer äußeren Typologie und führt sie auf die verschiedenen Prozessstufen zurück. Die heterogenen Schlackenklötze ordnet er dem Rohschmelzen zu und die Plattenschlacken dem Konzentrationsschmelzen.

KYRLE<sup>34</sup> schlägt dagegen ein einstufiges Verfahren vor, bei dem für die Verhüttung sulfidische Reicherze verwendet wurden, deren Kupfergehalt so hoch war, dass bereits der erste Schmelzgang im Ofen ohne vorherigen Röstprozess zu verwertbarem Kupfer führte und eine Verfeinerung des Metalls nur in seltenen Fällen nötig war. Die Schlacken unterteilt Kyrle<sup>35</sup> nach ihrem äußerlichen Erscheinungsbild und schließt daraus ebenfalls auf unterschiedliche Prozesse. Die geringe Fundzahl an

dünnflüssiger Plattenschlacke führt er schließlich auf die nur in geringem Maße durchgeführte Raffination des Kupfers zurück.<sup>36</sup>

ZSCHOCKE/PREUSCHEN<sup>37</sup> postulierten ein Verhüttungsverfahren, das aus mindestens zwei Stufen besteht, wobei sowohl die Erze als auch die Zwischenprodukte geröstet wurden. Auf das Rosten folgte anschließend die reduzierende Schmelzarbeit im Schachtofen. Dabei wurde zunächst das geröstete Erz unter Zugabe von Zuschlägen zur Schlackebildung zu Kupferstein geschmolzen. Das Schwarzkupferschmelzen aus dem (tot)gerösteten Kupferstein erfolgte nach diesem Modell im Tiegel. Eine weitere Raffination des Kupfers war nur in wenigen Fällen nötig.

<sup>33</sup> KLOSE 1918, 30.

<sup>34</sup> KYRLE 1920, 258.

<sup>35</sup> KYRLE 1918, 43.

<sup>36</sup> KYRLE 1918, 45.

<sup>37</sup> ZSCHOCKE/PREUSCHEN 1932, 106.

CZEDIK-EYSENBERG<sup>38</sup> ging von einem dem von AGRICOLA<sup>39</sup> beschriebenen „Deutschen Prozess“ ähnlichen Verfahren aus, bei dem das geröstete Erz zunächst in einem niedrigen Schachtofen bei geringer Windpressung geschmolzen wurde. Neben der heterogenen Rohschlacke, die als Abfall auf die Halde gelangte, entstand dabei ein Kupferstein mit 40–60 % Kupfer, welcher im Anschluss im Haufen geröstet wurde. Der geröstete Kupferstein wurde danach in einem weiteren niedrigen Schachtofen bei schwacher Windpressung zu Schwarzkupfer mit einem Kupfergehalt von 94–96 % verarbeitet.

Basierend auf den Ergebnissen der archäologischen Untersuchungen des Schmelzplatzes „Versunkene Kirche“ (FP 67512.001)<sup>40</sup> entwickelte EIBNER<sup>41</sup> ein Modell für die bronzezeitliche Verhüttung, bei dem das Ausgangserz zunächst auf mit Steinen umstellten Röstbetten (Röststadeln) abgeröstet wurde. Der Röstprozess wurde dabei mit frischem Holz in Gang gesetzt und verlief im Folgenden unter Verbrennung des Schwefels. Das geröstete Erz wurde dann unter Zugabe von Quarz im Schachtofen geschmolzen. Dabei entstand eine Eisensilikatschlacke sowie der Kupferstein (mit bis zu 60 % Kupfer), die sich aufgrund ihrer Unmischbarkeit und ihres unterschiedlichen spezifischen Gewichtes voneinander trennen. Der anschließend totgeröstete Kupferstein wurde dann in einem niedrigen Schachtofen unter leicht reduzierenden Bedingungen zu Schwarzkupfer mit einem Kupfergehalt von bis zu 96 % geschmolzen. Durch den zusätzlichen Quarzzuschlag wurde das restliche Eisen verschlackt und es entstand eine dünne, homogene Plattenschlacke.

Eine andere Möglichkeit zur prähistorischen Kupferverhüttung schlugen MOESTA/KOPCEWICZ<sup>42</sup> vor, basierend auf der Analyse der durch mineralogische und mößbauerspektroskopische Untersuchungen der Schlacken ermittelten Redox-Bedingungen. Demnach wurde das sulfidische Erz zuerst partiell geröstet und das Röstgut im Anschluss im Schachtofen unter Zugabe von Quarz reduzierend geschmolzen. Dabei entstand Kupferstein sowie

eine blasige Laufschlacke. Bis zu diesem Punkt entspricht das Modell den Vorstellungen von F. Czedik-Eysenberg und C. Eibner. Die weitere Kupferanreicherung fand nach MOESTA/KOPCEWICZ<sup>43</sup> jedoch ohne vorheriges Rösten des Kupfersteins im offenen Ofen unter oxidierenden Bedingungen statt, ähnlich dem japanischen Mabuki-Prozess<sup>44</sup>. Durch Zugabe von Quarz wurde das im Stein enthaltene Eisen zu dünnflüssiger Plattenschlacke als auch dickerer Laufschlacke verschlackt.

Aufgrund der archäologischen Befunde am Schmelzplatz „Flitzen II“ (FP 67501.006)<sup>45</sup> und den archäometallurgischen Untersuchungen hinsichtlich der Zusammensetzung von Schlacken, Röstbettproben und Erzen schlug KUNSTMANN<sup>46</sup> einen vierstufigen Verhüttungsprozess vor. Das verhüttete Ausgangserz bestand überwiegend aus Fahlerz und Kupferkies. Es wurde zunächst auf Röstbetten partiell geröstet und anschließend im Ofen zu Kupferstein geschmolzen. Der erhaltene Kupferstein wurde danach erneut geröstet und im Ofen zu Schwarzkupfer verarbeitet. Dieser Verhüttungsablauf entspricht weitestgehend dem von F. Czedik-Eysenberg und C. Eibner postulierten Modell.

Die archäologischen und archäometallurgischen Untersuchungen am spätbronzezeitlichen Schmelzplatz von Acqua Fredda im Trentino lassen auch für die Südalpen ein mehrstufiges Verfahren vermuten. Obwohl hier keine Röstbetten im archäologischen Befund nachgewiesen wurden, geht METTEN<sup>47</sup> davon aus, dass die verhütteten Erze vor dem eigentlichen Schmelzen im Schachtofen einem Röstprozess unterworfen wurden, ähnlich dem von F. Czedik-Eysenberg und C. Eibner angenommenen Verfahren. Anhand der chemischen und mineralogischen Untersuchungen der makroskopisch verschiedenen Schlacken geht sie jedoch entgegen diesem Modell davon aus, dass alle Schlackentypen aus einem Prozess stammen, bei dem die Plattenschlacken als ideal zusammengesetzte Teilschmelze einer Gesamtcharge interpretiert werden und die Schlackenkuchen einen partiell aufgeschmolzenen

<sup>38</sup> CZEDIK-EYSENBERG 1958, 3–6.

<sup>39</sup> AGRICOLA 1556.

<sup>40</sup> Nach KLEMM 2003, 90.

<sup>41</sup> EIBNER 1982, 404–406.

<sup>42</sup> MOESTA/KOPCEWICZ 1982.

<sup>43</sup> MOESTA/KOPCEWICZ 1982, 494.

<sup>44</sup> OKADA 1911.

<sup>45</sup> Nach KLEMM 2003, 84.

<sup>46</sup> KUNSTMANN 2003, 146.

<sup>47</sup> METTEN 2003, 69.

„Restit“ darstellen.<sup>48</sup> Sowohl die von HERDITS (1997) durchgeführten Analysen an verschiedenen Schlackentypen vom Schmelzplatz Mühlbach/Brennerwald (Salzburg) als auch die Untersuchungen von Doonan (1996) am Kupferschmelzplatz S1 unterstützen dieses Modell.

### 6.2.3 Archäometallurgische Forschung in den Eisenerzer Alpen

Die nachstehende Tabelle (Tab. 6.2) gibt eine zusammenfassende Übersicht über die bisher durchgeführten naturwissenschaftlichen Untersuchungen an verschiedenen Materialgruppen von prähistorischen Schmelzplätzen der Eisenerzer Alpen. Schwerpunktmäßig sollen hier die verwendeten Methoden aufgezeigt werden, daher wurde auf eine Darstellung von Einzelergebnissen verzichtet. Weiterführende Informationen zu den einzelnen Fundorten der Tallandschaften sind der angegebenen Literatur sowie dem Fundstellenkatalog in Klemm 2003<sup>49</sup> zu entnehmen.

Die archäometallurgischen Untersuchungen setzten bereits mit dem Beginn der montanarchäologischen Forschungen im Bereich der Eisenerzer Alpen ein.<sup>50</sup> Im Mittelpunkt der frühen Untersuchungen stand dabei vor allem die chemische und mineralogische Untersuchung von Schlacken und Rohprodukten, wobei in der älteren Literatur nur selten die angewandten Methoden zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung genannt werden. Während sich die Forschungen anfangs nur auf die Fundstellen im Paltental und in Johnsbach konzentrierten, erfolgten seit der archäologischen Erschließung der Eisenerzer Ramsau in den frühen 1990er Jahren auch in diesem Raum zahlreiche naturwissenschaftliche Untersuchungen. Dabei lassen die Ergebnisse von PRESSLINGER u. a.<sup>51</sup> eine Unterscheidung von Schlacken aus verschiedenen Tallandschaften der Eisenerzer Alpen anhand ihrer Spurenelementgehalte vermuten.

Wie aus den archäologischen und archäometallurgischen Untersuchungen hervorgeht, treten

an allen prähistorischen Kupferschmelzplätzen in den Eisenerzer Alpen variierende Mengen an Laufschlacken, Plattenschlacken und Schlackensand auf.<sup>52</sup> Das Auftreten dieser drei Schlackenkategorien ist jedoch nicht nur für die Eisenerzer Alpen charakteristisch, sondern auch für zahlreiche Verhüttungsplätze im gesamten Alpenraum.<sup>53</sup> Dabei ist zu beachten, dass die Einteilung in verschiedene Schlackentypen nicht immer in der gleichen Weise erfolgte und es bisher keine einheitliche Terminologie gibt.

So werden Laufschlacken in der Literatur einerseits oft als heterogene, stark blasige „Schlackenklötze“ oder „Schlackenkuchen“ beschrieben, die häufig von Quarzbruchstücken, Erzresten, Sulfidtropfen und Holzkohle durchsetzt sind. Auf der anderen Seite bezeichnen sie aber auch kompakte und weniger poröse Schlackenstücke. Charakteristische Plattenschlacken bestehen dagegen aus bis 5 mm dicken Platten, die homogen kristallin erscheinen und auf ihren Oberflächen oft Abkühlungsrünzeln aufweisen. Einschlüsse von Sulfiden und Quarzen treten nur untergeordnet auf. Als Schlackensand werden mechanisch aufbereitete Schlackenstücke in Sand- bis Gruskorngröße bezeichnet. Auf einigen ostalpinen Schmelzplätzen wird er auch als Magerungsbestandteil von Keramik nachgewiesen.<sup>54</sup> Am Kupferschmelzplatz S1 wurde dieser Typ jedoch nicht gefunden.

Nach den bereits beschriebenen Hypothesen zur bronzezeitlichen Verhüttung sulfidischer Kupfererze werden die nach ihren makroskopischen Eigenschaften unterscheidbaren Schlackentypen verschiedenen Prozessstufen zugeordnet. Neuere Untersuchungen zu Mineralogie und Zusammensetzung von Lauf- und Plattenschlacken zeigen jedoch keine signifikanten Unterschiede, die eine solche Zuordnung mit absoluter Sicherheit zulassen. Vielmehr wird vermutet, dass sowohl Laufschlacken als auch Plattenschlacken in einer einzigen Prozessstufe entstanden sind, wobei die Plattenschlacken als ideal zusammengesetzte Teilschmelze der Gesamtcharge beim Abstechen aus dem Ofen herausliefen und unter Kontakt mit Luft rasch abkühlten,

<sup>48</sup> METTEN 2003, 73f.

<sup>49</sup> KLEMM 2003, 45–148.

<sup>50</sup> KLEMM 2003. – Für den forschungsgeschichtlichen Überblick siehe Beitrag Klemm, Kap. 4, in diesem Band.

<sup>51</sup> PRESSLINGER u. a. 2004b, 37.

<sup>52</sup> PRESSLINGER u. a. 1980, 138; EIBNER 1982, 406; DOONAN u. a. 1996, 20.

<sup>53</sup> KYRLE 1920, 257; ZSCHOCKE/PREUSCHEN 1932, 99f.; BRUN 1983, 13; PIEL u. a. 1992, 463f.; HERDITS 1997, 37–49; METTEN 2003, 31–34; GOLDENBERG 2004, 174; GOLDENBERG/RIESER 2004, 49.

<sup>54</sup> KLOSE 1918, 36; PRESSLINGER u. a. 2001, 225.

Tab. 6.2: Übersicht über bisherige für die Archäometallurgie in den Eisenerzer Alpen relevanten Untersuchungen (FP-Nr. nach KLEMM 2003). 1 = Makroskopie, 2 = Mikroskopie, 3 = Rasterelektronenmikroskopie, 4 = Elektronenstrahlmikrosonde, 5 = Röntgenfluoreszenzanalyse, 6 = Röntgendiffraktometrie, 7 = Mößbauer-Spektroskopie, 8 = Atomabsorptionsspektrometrie, 9 = Neutronenaktivierungsanalyse, 10 = Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma, 11 = Bleiisotopenanalyse, 12 = naßchemische Analyse, 13 = Brenntemperaturbestimmung, 14 = Fluiduntersuchung (Crush and Leach), 15 = Mikrothermometrie, 16 = vegetationskundliche Untersuchungen, 17 = chemische Analyse ohne Angabe der verwendeten Methode.

Tab. 6.2. Overview of studies conducted so far that are relevant for the archaeometallurgy in the Eisenerzer Alps (FP-Nr. after KLEMM 2003). 1 = Macroscopy, 2 = Microscopy, 3 = Scanning electron microscopy, 4 = Electron microprobe, 5 = X-ray fluorescence, 6 = X-ray diffraction, 7 = Mößbauer-spectroscopy, 8 = Atomic absorption spectrometry, 9 = Neutron activation analysis, 10 = Mass spectrometry with inductively coupled plasma, 11 = Lead isotope analysis, 12 = Wet chemical analysis, 13 = Firing temperature determination, 14 = Fluid studies (Crush and Leach), 15 = Microthermometry, 16 = Vegetation studies, 17 = chemical analysis without specifying the method used.

Region	Fundort	Literatur	Material	Methodik
Eisenerzer Ramsau	Kupferschmelzplatz S1 (FP 60104.001)	Neinavaie 1993; vgl. Neinavaie, Kap. 3.2, in diesem Band; Thalhammer & Thalhammer 2006	Bodenproben	1, 2, 3, 4, 5
		Thalhammer & Thalhammer 2006	Ofensteine	1, 2, 3, 4, 5
		Drescher 2004	Pflanzenreste	16
		Neinavaie 1993; vgl. Neinavaie, Kap. 3.2, in diesem Band; Adetunji et al. 1996; Doonan 1996; Doonan et al. 1996; Thalhammer & Thalhammer 2006	Schlacken	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
	Kupferschmelzplatz S3 (FP 60104.003)	Presslinger et al. 2004b	Schlacken	9, 10
	Kupferschmelzplatz S5 (FP 60104.005)	Presslinger et al. 2004b	Schlacken	9, 10
	Kupferschmelzplatz S7 (FP 60104.007)	Emmerer et al. 2003	Bodenproben	10
		Emmerer 2000; Jäger 2003	Pflanzenreste	16
		Emmerer et al. 2003	Regenwürmer	10
		Presslinger et al. 2004b	Schlacken	9, 10
	Kupferschmelzplatz S8 (FP 60104.008)	Emmerer 2000	Pflanzenreste	16
		Presslinger et al. 2004b	Schlacken	9, 10
	Kupferschmelzplatz S10 (FP 60104.010)	Emmerer 2000	Pflanzenreste	16
		Presslinger et al. 2004b	Schlacken	9, 10
	Kupferschmelzplatz S12 (FP 60104.012)	Emmerer 2000	Pflanzenreste	16
		Presslinger et al. 2001	Schlacken	12
	Kreuzung Antriebstr./ Zwiigrabenstr. (FP )	Ofner 2002	Erze	1, 2, 4, 14, 15
	Kreuzung Stichstr./ Kaltenbachgraben (FP )	Ofner 2002	Erze	1, 2, 4, 14, 15
Johnsbach	Foitlbauer Alm (FP )	Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	9, 10
	Goaßsteig (FP )	Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	9, 10

Region	Fundort	Literatur	Material	Methodik
	Griesmeier/Hinterfell (FP 67404.020)	Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger et al. 1992	Schlacken	17
	Hotzengraben (FP)	Ofner 2002	Erze	1, 2, 4, 14, 15
	Kohlanger (FP 67404.021)	Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger et al. 1992	Schlacken	17
	Kohlanger I (FP 67404.041)	Presslinger & Prochaska 2002; Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	1, 9, 10
	Kohlanger II (FP 67404.034)	Moesta et al. 1984	Schlacken	7
	Kölblalm (FP 67404.015)	Presslinger & Prochaska 2002; Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	1, 9, 10
	Kühgatschboden (FP 67404.012)	Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	9, 10
	Pfarralm I (FP 67404.037)	Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger et al. 1992	Schlacken	17
	Pfarralm II (FP 67404.038)	Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger et al. 1992	Schlacken	17
	Pfisterbergalm/ Finsterbergalm (FP)	Presslinger & Prochaska 2002; Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	1, 9, 10
	Ploden Odelstein/ Pl. Ödensteinhöhle (FP)	Presslinger & Prochaska 2002; Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	1, 9, 10
	Schröckalm (FP 67404.008)	Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger et al. 1992, 2004b, 2009; Presslinger & Prochaska 2002	Schlacken	1, 9, 10
	Wolfbauer (FP)	Sperl 1979	Schlacken	2,4
Liesingtal	Kupferschmelzplatz Ehrnau (FP 60330.001)	Prochaska & Presslinger 1989; Hebert & Presslinger 1990; Wedenig et al. 1992; Presslinger et al. 1992, 2001; Presslinger & Eibner 1993	Schlacken	1, 2, 3, 4, 12
	Langteichen I (FP)	Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	9, 10
Paltental	Bärndorf/Rottenmann (FP)	Wasserthal 1982	Erze	2, 4, 5
	Braunruck I (FP 60366.001)	Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	9, 10
	Braunruck III (FP 60366.003)	Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	9, 10
	Büschendorf I (FP 67503.001)	Prochaska & Presslinger 1989	Erze	17
	Flitzenalm I (FP 67501.001)	Prochaska & Rantitsch 2004	Bodenproben	8
		Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger et al. 1992, 2004b, 2009; Presslinger & Prochaska 2002; Prochaska & Rantitsch 2004	Schlacken	1, 9, 10
	Flitzenalm II (FP 67501.006)	Kunstmann 2003, 2004	Bodenproben	1, 6, 9, 13
		Kunstmann 2003, 2004; Presslinger 2004; Presslinger et al. 2004b	Gußkuchen, Rohprodukte	1, 5, 11

Region	Fundort	Literatur	Material	Methodik
		Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger et al. 1992, 2004b, 2009; Presslinger & Prochaska 2002; Kunstmann 2003, 2004; Prochaska & Rantitsch 2004	Schlacken	1, 2, 5, 9, 10, 11
	Flitzenalm III (FP)	Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	9, 10
	Haberlalm (FP 60366.004)	Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger et al. 1992, 2001, 2004b, 2009; Presslinger 1998; Presslinger & Eibner 2004	Schlacken	1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 12
	Kupferschmelzplatz BDA (FP 67501.013)	Presslinger & Eibner 1993; Presslinger et al. 1992, 2001; Wedenig et al. 1992	Schlacken	12
	Kaiserköpperl (FP 67502.001)	Presslinger & Gruber 1984; Angerbauer 1985; Presslinger et al. 1986, 2009; Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger & Eibner 1993, 2004; Prochaska et al. 2002; Presslinger 2004	Bronzeobjekte	1, 2, 5
		Kunstmann 2003, 2004	Erze	2, 5, 11
		Kunstmann 2003, 2004	Rohprodukte	2, 5, 11
		Hebert & Presslinger 1990; Presslinger & Eibner 1993, 2004; Presslinger 1998; Presslinger et al. 2009	Schlacken	1, 2, 3, 5, 12
	Meilerplatz I (FP)	Presslinger & Prochaska 2002; Prochaska & Rantitsch 2004; Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	1, 9, 10
	Meilerplatz II (FP)	Presslinger & Prochaska 2002; Prochaska & Rantitsch 2004	Schlacken	1, 9
	Oberschwärzen (FP 67501.008)	Presslinger et al. 1982, 1992, 2001, 2009; Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger 1998; Presslinger & Eibner 2004	Schlacken	1, 2, 3, 5, 12
	Prenterwinkelgraben (FP 67502.004)	Prochaska & Presslinger 1989	Erze	17
	Schaupenhube (FP 67512.002)	Presslinger & Eibner 2004	Erze	3, 4
	Schlosser/Trieben (FP)	Presslinger et al. 2011	Keramik	1, 2, 3, 5
		Presslinger & Prochaska 2002; Presslinger et al. 2004b, 2009	Schlacken	1, 9, 10
	Siedlungsgrube (FP 60366.005)	Presslinger et al. 1992, 2001; Wedenig et al. 1992; Presslinger & Eibner 1993	Schlacken	2, 3, 4, 12
	Versunkene Kirche (FP 67512.001)	Prochaska et al. 2002	Bodenproben	8
		Presslinger et al. 1982, 1985, 1986, 2004b, 2009; Gruber & Presslinger 1983; Presslinger & Gruber 1984; Angerbauer 1985; Prochaska & Presslinger 1989; Presslinger & Eibner 1989, 1993, 2004; Zwicker 1991; Prochaska et al. 2002; Kunstmann 2003, 2004; Presslinger 2004	Gußkuchen, Rohprodukte	1, 2, 3, 5, 11
		Presslinger et al. 2000	Keramik	1, 2, 3, 4, 5, 6
		Presslinger et al. 2000; Presslinger 2002	Lehmproben	1, 2, 3, 4, 5, 6
		Presslinger et al. 1980, 1998; Presslinger 2002	Ofensteine	1, 2, 3, 4, 5, 6, 12
		Presslinger et al. 1980, 1982, 1985, 1986, 1992, 2001, 2004b, 2009; Presslinger & Gruber 1985; Prochaska & Presslinger 1989; Wedenig et al. 1992; Presslinger & Eibner 1993, 2004; Presslinger 1998; Presslinger & Prochaska 2002	Schlacken	1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 12

Region	Fundort	Literatur	Material	Methodik
Radmer	Aufschließungsstraße zur Neuburg (R1) (FP 60106.003)	Presslinger et al. 2004b	Schlacken	9, 10
	Blümeeggergraben (R15) (FP 60106.006)	Presslinger et al. 2004b	Schlacken	9, 10
	Paradeisstollen (FP )	Ofner 2002	Erze	1, 2, 4, 5, 8, 14, 15
	R6 (FP 60107.007)	Presslinger et al. 2004b	Schlacken	9, 10
Steirischer Erzberg	Erzberg	Neinavaie 1993	Erze	1, 2, 3, 4
	Nordrampe 242 Richtung Gerichtsgraben	Ofner 2002	Erze	1, 2, 4, 14, 15

während die Laufschlacken im Ofen zurückblieben und nur langsam abkühlten.<sup>55</sup>

Bisher wurden an den prähistorischen Schlackenfundplätzen keine Erze gefunden, die einen Rückschluss auf die verhütteten Rohstoffe zulassen. Seit dem Beginn der archäometallurgischen Forschung wird allgemein davon ausgegangen, dass Chalkopyrit die wichtigste Rohstoffquelle für die bronzezeitliche Gewinnung von Kupfer im gesamten Alpenraum ist. Diese Theorie stützt sich unter anderem auf den Nachweis von bronzezeitlichem

Bergbau auf chalkopyritische Erze am Mitterberg und anderen Revieren in den Ostalpen sowie auf mineralogische Untersuchungen an Schlackenfundstücken aus dem gesamten Alpenraum.<sup>56</sup> Da Fahlerze mit modernen Methoden im Schachtofen nur schwer zu verhütten sind, wurde lange Zeit angenommen, dass sie in der Bronzezeit nicht als Rohstoffe für die Kupfergewinnung herangezogen wurden.<sup>57</sup> Neue Untersuchungen im Raum Schwaz/Brixlegg konnten diese Hypothese widerlegen.<sup>58</sup>

### 6.3 Ziele der archäometallurgischen Untersuchungen

Auf dem Kupferschmelzplatz S1 wurde mehrfach die charakteristische Bauweise der ostalpinen Kupferverhüttungsanlagen nachgewiesen.<sup>59</sup> Der erste und zugleich am höchsten gelegene Arbeitsbereich umfasst die quer oder parallel zum Hang angelegten Röstbetten. Unterhalb der Röstbetten wurden die Schmelzöfen in den Hang gebaut. Dem Materialfluss folgend befinden sich auf der Böschung zum Bach die Schlackenhalde, wobei diese nur im Ostteil des Schmelzplatzes belegt sind. Auf der gesamten Fläche des Schmelzplatzes wurden bei den archäologischen Ausgrabungen Schlacken dokumentiert und zunächst ihrer Größe und ihrem Gewicht nach aufgenommen. DOONAN<sup>60</sup> gliederte sie bei seinen ersten Untersuchungen anhand ihrer äußeren

Merkmale in drei Typen. Da diese Gliederung nur an einem Teil der am Schmelzplatz gefundenen Schlacken durchgeführt wurde, ist eine erneute bzw. erweiterte typologische Einteilung der Schlacken nach ihrem äußeren Erscheinungsbild zweckmäßig.

Mit der vorliegenden Arbeit soll daher der Versuch unternommen werden, die bestehenden Modelle zur prähistorischen Verhüttung sulfidischer Kupfererze anhand naturwissenschaftlicher Untersuchungen an den auf dem Kupferschmelzplatz S1 gefundenen Verhüttungsrelikten zu bestätigen oder zu widerlegen. Im Mittelpunkt stehen dabei chemische und mineralogische Analysen der Schlacken und Verschlackungen der Ofenwände sowie einiger

<sup>55</sup> PIEL u. a. 1992, 470; DOONAN u. a. 1996, 21; HERDITS 1997, 37; METTEN 2003, 73f.

<sup>56</sup> ZSCHOCKE/PREUSCHEN 1932; PRESSLINGER u. a. 1980; MOESTA/KOPCEWICZ 1982; BRUN 1984; MOESTA u. a. 1984; PIEL u. a. 1992; PRESSLINGER 1998; SCHAER 2003; GOLDENBERG 2004.

<sup>57</sup> BACHMANN 1982, 17.

<sup>58</sup> Vgl. GOLDENBERG/RIESER 2004; HUIJSMANS u. a. 200; SCHNEIDER u. a. 2009; KLAUNZER u. a. 2010; KRISMER u. a. 2011.

<sup>59</sup> Vgl. Beitrag KLEMM, Kap. 4, in diesem Band.

<sup>60</sup> DOONAN 1996, 46f.

aufgefundener Erze und Metallstücke, um differenzierte Informationen über die verwendeten Ausgangserze, mögliche Zuschläge sowie bei der Verhüttung erhaltene Zwischen- und Endprodukte zu gewinnen. Mößbauerspektroskopische Untersuchungen an einigen Schlacken sollen zudem beitragen, Hinweise auf wichtige Prozessparameter wie Temperatur und Gasatmosphäre im Ofen während der Verhüttung zu erhalten. Ferner besteht mittels der Analyse von Bleiisotopenverhältnissen in Schlacken, Erzen und Metallen die Möglichkeit, Aussagen über die Herkunft der verwendeten Erze zu treffen. Allerdings fehlen derzeit in den Eisenerzer Alpen eindeutige Belege für prähistorischen Kupferbergbau.<sup>61</sup>

Aufgrund der stratigraphischen Verhältnisse auf dem Kupferschmelzplatz S1 wird der westliche Teil der Anlage in drei aufeinanderfolgende Nutzungsphasen untergliedert. Mit Hilfe der durchgeführten Analysen der Schlacken und Verschlackungen der Ofenwände aus den verschiedenen Betriebsperioden sollen Hinweise auf mögliche diachrone Verän-

derungen in der Rohstoffbasis oder im Prozessablauf gewonnen werden.

Eine Gemeinsamkeit der verhüttungstechnologischen Anlagen wie Röstbetten und Schmelzöfen liegt in der Verwendung von Lehm als Baumaterial. Die Analyse der Spurenelementgehalte in den Lehmproben ermöglicht dabei einen Vergleich der verschiedenen Baumaterialien, um mögliche Unterschiede aufzuzeigen. Im Vordergrund steht dabei die Frage, ob für den Bau der Röstbetten eine andere Rohstoffquelle genutzt wurde als für den Bau der Schmelzöfen. Aussagen zur Herkunft des Materials sind jedoch nicht möglich, da eine Beprobung potentieller Lagerstätten in der näheren Umgebung des Schmelzplatzes im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgesehen war.

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist die Rekonstruktion der bronzezeitlichen Verhüttung sulfidischer Kupfererze am Kupferschmelzplatz S1 und die Stellung des angewandten Prozesses im Vergleich mit anderen bronzezeitlichen Kupferschmelzplätzen in den Ostalpen.

## 6.4 Methodik

### 6.4.1 Probenahme

#### *Schlacken*

Die auf dem Kupferschmelzplatz S1 ausgegrabenen Schlacken sind den einzelnen Anlagen wie Röstbetten, Öfen und den dazugehörigen Vorplätzen sowie den Schlackenhalden zugeordnet. Die archäologische Aufnahme der Schlackenfunde erfolgte dabei nach Größe und Gewicht der einzelnen Schlackenstücke.<sup>62</sup>

Der Westteil des Schmelzplatzes wird in drei Nutzungsphasen unterteilt.<sup>63</sup> Für eine Untersuchung hinsichtlich möglicher diachroner Veränderungen in der Prozessführung oder der Wahl der verhütteten Ausgangserze erfolgte die Probenahme der Schlacken für jede Nutzungsphase. Dabei wurden sowohl Schlacken aus den Röstbetten 1–3, 4 und 7 sowie von den Vorplätzen der Doppelofenanlagen 1/2, 4/5 und 9/10 beprobt. Für vergleichende Untersuchungen wurden zudem die Röstbetten 5 und 8 beprobt.

Einzig im Ostteil der Anlage wurden größere Schlackenhalden archäologisch dokumentiert. Alle Schlackenhalden weisen mehrere schlackenführende Schichten auf. Um der Frage nachzugehen, ob die Schlacken der einzelnen Schichten aus verschiedenen Prozessen stammen, erfolgte die Beprobung der Schlackenhalden unter Berücksichtigung der stratigraphischen Abfolge in den einzelnen Halden. Halde 1 wird der Doppelofenanlage 3/6 und dem Röstbett 10 zugeordnet. Daher erfolgte die Beprobung des Ofens 3 im Hinblick darauf, inwiefern sich die Schlacken der Halde von der Ofenwandverschlackung unterscheiden lassen. Zudem erfolgte die Beprobung des Vorplatzes von Ofen 11, welcher mit Vorbehalt der Halde 2 zugeordnet wird. Für vergleichende Untersuchungen wurden das Röstbett 9 sowie der Vorplatz der Doppelofenanlage 7/8 beprobt.

Generell wurde die Probenahme der Schlacken stets unter Beachtung der von BACHMANN<sup>64</sup> beschriebenen Kriterien durchgeführt. Es wurde daher besonderer Wert darauf gelegt, dass die für die Un-

<sup>61</sup> KLEMM 2003, 14ff.

<sup>62</sup> Siehe Beitrag KLEMM, Kap. 4, in diesem Band.

<sup>63</sup> Vgl. Beitrag KLEMM, Kap. 4, in diesem Band.

<sup>64</sup> BACHMANN 1982, 5.

tersuchungen ausgewählten Schlacken typisch für den jeweiligen Schlackentyp aus den einzelnen Befunden waren. Eine wichtige Rolle bei der Auswahl spielten auch Farbe und Form der Schlacken, weil diese auf unterschiedliche Prozesse bei der Schlackenbildung hinweisen können. Es wurden jedoch keine besonders auffälligen Schlackenstücke beprobt, da diese meist atypisch sind und dann zu Fehlinterpretationen führen.<sup>65</sup> Andererseits wurden die wenigen atypischen Funde gesondert untersucht, um beispielsweise kleine Reste von bestimmten Prozessstufen zu identifizieren. Besonders wurde darauf geachtet, ob sich vielleicht makroskopische Stücke von Kupferstein finden lassen, die belegen würden, dass Kupferstein als Zwischenprodukt gewonnen wurde. Insgesamt wurden zunächst 992 Materialproben makroskopisch begutachtet, von denen 143 Proben für die weiteren Untersuchungen ausgewählt wurden.

#### *Erze*

Während der Grabungen wurden neben Schlacken nur sehr wenige Erzstücke auf dem Schmelzplatz gefunden. Da es sich bei dem überwiegenden Teil der gefundenen Erze um Eisenerze handelt, wurden nur insgesamt vier Erzstücke näher untersucht. Diese Untersuchungen ermöglichen erste Aussagen hinsichtlich der für die Verhüttung verwendeten Rohstoffe. Zum Zeitpunkt der analytischen Bearbeitung der Funde vom Kupferschmelzplatz S1 waren in der unmittelbaren Umgebung des Schmelzplatzes keine Kupfererzvorkommen bekannt, so dass eine weitergehende Untersuchung bezüglich der Rohstoffquellen nicht möglich war.

#### *Baumaterial der Röstbetten und Schmelzöfen*

An den bei der Ausgrabung der Schmelzöfen freigelegten Ofensteinen war an der zum Ofeninneren gerichteten Seite die Schlackenschicht vielfach noch erhalten. Bei der Auswahl der zu untersuchenden Stücke wurde besonders darauf geachtet, dass sie aus den verschiedenen Höhen einer Ofenwand stammen. So sind Aussagen über die Prozessbedingungen innerhalb eines Schmelzofens möglich. Insgesamt wurden 24 verschlackte Ofensteine, fünf verschlackte Ofenlehmstücke sowie 13 Schlackenhautproben für die Untersuchungen ausgewählt.

Zusätzlich erfolgte eine Beprobung des Lehms von der Auskleidung der Röstbetten und der Ofeninnenwände, um der Frage nachzugehen, ob für den Bau der Röstbetten das gleiche oder ein anderes Material als für den Bau der Schmelzöfen verwendet wurde. Dafür wurden insgesamt 18 Lehmproben, verteilt auf dem gesamten Schmelzplatz, genommen, wovon 16 Proben hinsichtlich ihrer Spurenelementgehalte untersucht wurden.

#### *Metallfunde*

Auf dem Schmelzplatz wurden außerdem drei Metallobjekte gefunden, deren Untersuchung Aussagen über die verwendeten Ausgangserze, deren Verhüttung und das erschmolzene Produkt ermöglichen. Es handelt sich hierbei um eine Bronzenadel sowie um zwei ungeformte Metallfragmente, wohl Reste von Schwarzkupfer.

#### 6.4.2 Probenaufbereitung

##### *Schlacken*

Die Schlackenproben wurden zunächst unter fließendem Wasser mit einer Bürste von anhaftenden Sedimentresten befreit und anschließend mit einer Gesteinssäge geteilt. Daraufhin wurden die Proben zwölf Stunden bei ca. 100° C getrocknet. Für die pauschalchemischen Analysen wurden von den ausgewählten Probenstücken die verwitterten Randschichten entfernt. Im Anschluss daran wurden die Stücke mittels Quetschmörser auf eine Korngröße von ca. 5 mm zerkleinert, in einer Scheibenschwingmühle aus Wolframcarbid analysenfein gemahlen und abschließend zwölf Stunden bei ca. 100° C getrocknet. Für die licht- und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden oberflächenpolierte An- und Dünnschliffe hergestellt.

Für die Bestimmung der Bleisotopenverhältnisse wurden ca. 50 mg Probenpulver mit 3 ml konzentriertem Königswasser aufgeschlossen, um das Blei herauszulösen. Um bei der Messung mögliche Störungen durch spektrale sowie nicht spektrale Interferenzen zu vermeiden, wurden die Probenlösungen mittels Ionenchromatographie gereinigt, um eine saubere Bleilösung zu erhalten.

##### *Erze*

Die Erzproben wurden zunächst grob gereinigt und von anhaftenden Sedimentresten befreit, zersägt und getrocknet. Anschließend wurde das Proben-

<sup>65</sup> BACHMANN 1978, 69.

material auf eine Größe von ca. 2 cm zerkleinert und durch Handklaubung angereichert. Das angereicherte Material wurde dann in einer Scheibenschwingmühle aus Wolframcarbid analysenfein gemahlen und zwölf Stunden bei ca. 100° C getrocknet. Für die licht- und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden oberflächenpolierte An- und Dünnschliffe hergestellt. Die Probenpräparation für die Bleiisotopenanalyse erfolgte analog zur Aufbereitung der Schlacken.

#### *Baumaterial der Röstbetten und Schmelzöfen*

Die Ofensteine, Ofenlehmstücke und Schlackenhautproben wurden unter fließendem Wasser grob gereinigt, zersägt und getrocknet. Da nur die chemische Zusammensetzung der Verschlackung untersucht werden sollte, wurden ausgewählte Stücke zerschlagen und die Schlacke vom Stein bzw. Lehm durch Handklaubung getrennt. Die ausgelesenen Schlackenproben wurden danach in einer Scheibenschwingmühle aus Wolframcarbid analysenfein gemahlen und zwölf Stunden bei ca. 100° C getrocknet. Für die licht- und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen an den Ofensteinen wurden oberflächenpolierte An- und Dünnschliffe hergestellt.

Die 16 Lehmproben wurden zunächst auf 2 cm Größe zerkleinert, anschließend in einer Achatkugelmühle analysenfein gemahlen. Die Probenpulver wurden dann zwölf Stunden bei ca. 100° C getrocknet.

#### *Metallfunde*

Für die Untersuchung der Metallfunde wurde aus dem größeren Objekt ein Keil herausgesägt. Das kleinere Metallfragment wurde komplett in zwei Teile getrennt. Der Keil, eine Hälfte des zweiten Metallfragments sowie eine Probe des Nadelschaftes wurden in Epoxidharz eingebettet und ein polierter Anschliff für die licht- und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen hergestellt.

### 6.4.3 Analytische Verfahren

#### *6.4.3.1 Polarisationsoptische Untersuchungen*

Alle polierten An- und Dünnschliffe wurden polarisationsmikroskopisch untersucht (Zeiss Axioskop 40 A Pol). Aufgrund des hohen Anteils an opaken Phasen in den Proben wurden hauptsächlich Auflichtverfahren angewendet. So ist in den meisten

Fällen bereits eine sichere Unterscheidung der einzelnen Phasen möglich.

#### *6.4.3.2 Rasterelektronenmikroskop (REM) und energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDX)*

An 53 polierten An- und Dünnschliffen wurden neben der optischen Mikroskopie Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskop Typ EVO MA 25 der Firma Zeiss durchgeführt. Dafür wurden die angefertigten Schliffe mit Kohlenstoff bedampft, um eine elektrisch leitfähige Oberfläche zu erhalten und so eine Aufladung zu vermeiden. Die Untersuchungen erfolgten im Hochvakuum bei 15 kV Hochspannung. Eine umfassende Darstellung der Grundlagen der Rasterelektronenmikroskopie findet sich in FLEGLER u. a. 1995.

Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der vollständig aufgeschmolzenen Schlackenphasen erfolgte durch Flächenanalysen mittels energiedispersiver Röntgenmikroanalyse (EDX). Dabei wurde stets darauf geachtet, dass nur die aus der Schmelze erstarrten Phasen analysiert wurden, da mitgemessene Chargenrelikte oder Kupfersteineinschlüsse die Ergebnisse verfälschen. Ebenfalls mittels EDX erfolgte die Analyse der Zusammensetzung der Kupfersteineinschlüsse, wobei in allen Fällen die Summe der analysierten Elemente auf 100 Gew.-% normiert wurde.

#### *6.4.3.3 Röntgendiffraktometrie*

Die qualitative Bestimmung des Phasenbestandes von vier Schlackenproben erfolgte an einem Pulverdiffraktometer mit einer Cu-Röhre und einem Sekundärmonochromator (Typ D5005 Bragg-Brentano der Firma Siemens). Eine ausführliche Darstellung zu den Grundlagen und Anwendungen der Röntgendiffraktometrie findet sich in Spiess u. a. 2009. Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung von Dr. Christoph Berthold am Institut für Geowissenschaften der Universität Tübingen durchgeführt. Die ermittelten Diffraktogramme wurden mit der EVA-Software von Bruker-AXS ausgewertet. Aufgrund des hohen röntgenamorphen Anteils in den Schlacken sind die Diffraktogramme jedoch nicht sehr aufschlussreich (vgl. Abb. A-06), so dass die Phasenbestimmung ausschließlich mittels Licht- und Rasterelektronenmikroskop erfolgte.

#### 6.4.3.4 Mößbauer-Spektroskopie

Bei der Mößbauer-Spektroskopie wird die von R. L. Mößbauer 1958 entdeckte Methode zur Beobachtung der resonanten Absorption von Gammaquanten bei Kernübergängen genutzt, um kleinste Verschiebungen und Aufspaltungen von Kernniveaus aufgrund der Hyperfeinwechselwirkung mit der elektronischen Umgebung der Kerne in Festkörpern zu vermessen. Auf diese Weise werden wichtige Informationen über die elektronische und kristallographische Struktur der Festkörper gewonnen sowie über deren magnetische Eigenschaften und über den chemischen (Valenz-) Zustand der Mößbaueratome.<sup>66</sup> An neun Pulverproben ausgewählter Schlacken erfolgte so die Bestimmung des  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ -Verhältnisses sowie eine qualitative Analyse der Eisenverbindungen. Die Messungen wurden von Dr. Christian Schröder am Institut für Geowissenschaften der Universität Tübingen durchgeführt. Die Mößbauerspektren wurden bei Raumtemperatur mit einer  $^{57}\text{Co}$ -Quelle mit einem Transmissionsaufbau der Firma Wissel aufgenommen. Die Spektren wurden über eine Messung einer  $\alpha\text{-Fe}(0)$  kalibriert und mit Hilfe der „Voigt-based-Fitting (VBF)“ des Recoil Softwarepaketes ausgewertet.<sup>67</sup> Aufgrund der Ergebnisse der Untersuchungen sind Aussagen zu den im Schmelzofen herrschenden Prozessbedingungen wie Schmelztemperatur und Gasatmosphäre möglich.

#### 6.4.3.5 Röntgenfluoreszenzanalyse

Die pauschalchemische Zusammensetzung von 125 Schlacken bzw. Ofenwandverschlackungen wurde mittels wellenlängendispersiver Röntgenfluoreszenz (WD-RFA) bestimmt.<sup>68</sup> Die Untersuchungen erfolgten am Institut für Geowissenschaften der Universität Tübingen (Dr. Heinrich Taubald, Typ AXS S4 Pioneer der Firma Bruker) sowie am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg (Dr. Hans-Peter Meyer, Typ SRS 303 der Firma

Siemens)<sup>69</sup>. In Tübingen erfolgten die Messungen an Pulverpresstabletten (6 g Probe, 1,2 g Wachs) mit dem firmeneigenen, sogenannten standardlosen Programm „Multi-Res-Vac34“. Dabei werden in 35 Minuten Messzeit pro Probe alle Elemente abgescannt und quantitativ umgerechnet.<sup>70</sup> In Heidelberg wurden die Messungen ebenfalls an Presstabletten durchgeführt und das firmeneigene, standardlose Programm „Eval“ für die Auswertung verwendet.<sup>71</sup>

Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Metallproben erfolgte mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenz und wurde am Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie in Mannheim (Typ ARL Quant'X der Firma Thermo Electron Cooperation) durchgeführt. Die Nachweisgrenzen liegen dabei elementspezifisch bei 0,002 Gew.-% für Silber, 0,005 Gew.-% für Selen und Tellur und 0,01 Gew.-% für Cobalt, Blei und Bismut. Durch Störungen des Hauptelementes Kupfer liegt die Nachweisgrenze für Zink nur bei 0,2 Gew.-%. Die Anregung der Proben erfolgte bei 35 und 50 keV mit einer Messzeit von jeweils 1000 s.

#### 6.4.3.6 Neutronenaktivierungsanalyse (NAA)

Die Bestimmung der Spurenelementgehalte der 16 Lehmproben erfolgte mittels der Neutronenaktivierungsanalyse. Dabei werden durch Bestrahlung der Probe mit Neutronen in einem Reaktor durch Kernreaktionen mit stabilen Nukliden radioaktive Nuklide erzeugt. Die von den radioaktiven Nukliden ausgesandte  $\gamma$ -Strahlung ist für das entsprechende Nuklid charakteristisch und ermöglicht dadurch eine qualitative und quantitative Analyse.<sup>72</sup> Die Untersuchungen wurden mittels eines Gammadetektors vom Typ Coaxial HPGe der Firma Ortec am Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie in Mannheim durchgeführt. Die Bestrahlung der Proben erfolgte am TRIGA-Forschungsreaktor des Instituts für Kernchemie an der Universität in Mainz.

<sup>66</sup> WAGNER/KYEK 2004; GÜTLICH/SCHRÖDER 2012.

<sup>67</sup> Schriftl. Mitt. SCHRÖDER 2012.

<sup>68</sup> Zur Methodik siehe HAHN-WEINHEIMER u. a. 1995.

<sup>69</sup> Aus logistischen Gründen wurden die Analysen an zwei Instituten durchgeführt, da während des Untersuchungszeitraums Umbauten am Geowissenschaftlichen Institut der Universität Tübingen stattfanden. Einige Schlacken wurden sowohl in Tübingen als auch in Heidelberg gemessen, um eine Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten (vgl. Tab. A.3).

<sup>70</sup> Schriftl. Mitt. Taubald 2011.

<sup>71</sup> Schriftl. Mitt. Meyer 2011.

<sup>72</sup> PERNICKA 2000.

#### 6.4.3.7 Bleiisotopenverhältnisse

Die Bestimmung und Interpretation der Bleiisotopenverhältnisse ist vor allem in der archäometallurgischen Forschung eine unverzichtbare Methode für Herkunftsanalysen. Sie beruht auf der Tatsache, dass die Verhältnisse der vier stabilen Bleiisotope durch Abtrennung von Uran und Thorium bei der Bildung des Erzes festgelegt werden und sich wäh-

rend der Verhüttung und Verarbeitung zu Metallobjekten nicht mehr ändern. Die Untersuchungen wurden an einem Multikollektor-Massenspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (MC-ICP-MS) am Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie in Mannheim durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der Methodik und Messprozedur findet sich in NIEDERSCHLAG u. a.<sup>73</sup> und in HÖPPNER u. a.<sup>74</sup>.

## 6.5 Die archäometallurgischen Funde

### 6.5.1 Die Kupferverhüttungsschlacken

Nach der Definition von BACHMANN<sup>75</sup> bilden Schlacken das hauptsächliche Abfallprodukt bei der Verhüttung von (Kupfer-)Erzen. Ihre Aufgabe ist es, unerwünschte Nebenbestandteile der Charge aufzunehmen. Daher wird ihre Zusammensetzung direkt beeinflusst durch die Zusammensetzung der Erze und ihrer Gangart sowie durch Zuschläge und das verwendete Brennmaterial (Holzkohle, Holz etc.). Aber auch das Baumaterial des Schmelzofens sowie der Lehm der Innenauskleidung bestimmen die chemische Zusammensetzung der Schlacken. In der Regel werden Schlacken als wertloser Abfall an den Schmelzplätzen zurückgelassen, so dass sie zum einen als archäologischer Indikator bei der Suche nach frühen Verhüttungsplätzen dienen. Auf der anderen Seite sind Schlacken meist die einzigen Quellen, die zur Untersuchung der frühen metallurgischen Verfahren herangezogen werden können. So können durch ihre geochemische und mineralogische Analyse Aussagen über die Verwendung der Ausgangserze und mögliche Zuschläge getroffen werden. Darüber hinaus ist es möglich, die im Ofen vorherrschenden chemisch-physikalischen Parameter wie Temperatur und Sauerstoffpartialdruck abzuleiten und die Effizienz des Verfahrens zu bestimmen sowie die Zusammensetzung des erschmolzenen Metalls. In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der mineralogischen, chemischen und mößbauerspektroskopischen Untersuchungen, die an den Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 durchgeführt wurden, vorgestellt. Die Diskussion der Ergebnisse der Bleiisotopenanalyse erfolgt in Kapitel 6.7.

#### 6.5.1.1 Schlackentypologie

Die typologische Einteilung der Schlacken des Kupferschmelzplatzes S1 erfolgt anhand ihrer makroskopischen Eigenschaften (vgl. Tab. A.2). Demnach werden die Schlacken in vier Typen unterteilt. Die Bezeichnung der Schlackentypen basiert auf den von Doonan 1996 durchgeführten Untersuchungen und wurde entsprechend ergänzt.<sup>76</sup> Dabei handelt es sich um Laufschlacken (Typ A), Blasenschlacken (Typ B), Plattenschlacken (Typ C) sowie um Kombinationen aus diesen Typen (Typ A+B). Am Kupferschmelzplatz S1 wurden hauptsächlich Laufschlacken (Typ A), Blasenschlacken (Typ B) und Schlacken vom Typ A+B ausgegraben. Nur sehr selten treten die charakteristisch dünnen Plattenschlacken (Typ C) auf. Bei der Probenahme wurde die unterschiedliche Häufigkeit der einzelnen Schlackentypen zwar berücksichtigt, jedoch spiegeln die unten aufgeführten Zahlen keineswegs das tatsächliche Mengenverhältnis wider. Von den insgesamt 143 untersuchten Schlacken handelt es sich um 18 Laufschlacken, 60 Blasenschlacken, 55 Schlacken vom Typ A+B sowie 10 Plattenschlacken.

#### Laufschlacken (Typ A)

Bei den als Laufschlacken (Abb. 6.4) bezeichneten Stücken handelt es sich um kompakte Schlacken, die auf ihrer Oberseite häufig Fließstrukturen aufweisen. Die meisten Stücke sind auf ihrer Unterseite abgeflacht. Die durchschnittliche Dicke der untersuchten Schlacken variiert zwischen 1,2 und 3,2 cm. Auf dem Fundplatz wurden jedoch auch Stücke mit einer Dicke > 5 cm gefunden. Einige wenige Stücke besitzen eine Dicke < 1,2 cm. Das Gewicht der

<sup>73</sup> NIEDERSCHLAG u. a. 2003, 64–67.

<sup>74</sup> HÖPPNER u. a. 2005, 303.

<sup>75</sup> BACHMANN 1982, 9f.

<sup>76</sup> Vgl. auch DOONAN u. a. 1996.

untersuchten Schlackenstücke liegt je nach Größe zwischen 30 und 350 g.

Die Schlacken zeigen oberflächlich meist eine olivbraune bis graubraune Färbung. Einige Stücke weisen stellenweise rostbraune Verwitterungsspuren auf. Auffallend ist zudem, dass die Schlacken, die aus den Bereichen der Röstbetten stammen, eine deutlich rötlichere Färbung haben. Im Querschnitt besitzen die Schlacken überwiegend eine dunkelgraue bis braunschwarze Färbung. Bei einigen Schlacken, insbesondere bei denen von den Röstbetten, ist eine bis zu 1 cm dicke, rostbraune Verwitterungsschicht an den Randbereichen zu erkennen.

Das Gefüge der Laufschlacken erscheint makroskopisch als eine relativ homogene Schlackenschmelze, die nur wenige kleinere Poren ( $\text{\O} < 1 \text{ mm}$ ) aufweist. In wenigen Fällen treten größere Hohlräume ( $\text{\O} < 3 \text{ mm}$ ) im unteren Teil der Schlacken auf. In einigen Schlacken sind zudem partiell aufgeschmolzene Quarzbruchstücke (selten größer als 1–2 mm) sichtbar.

#### Blasenschlacken (Typ B)

Als Blasenschlacken (Abb. 6.5) oder blasige Laufschlacken werden heterogene, stark blasige Schlackenstücke bezeichnet. Die Blasen sind offensichtlich durch Reaktionsgase entstanden. Einige Schlacken weisen auf der Oberseite wulstartige Verdickungen auf, aber keine Fließstrukturen, was darauf hindeutet, dass diese Schlacken innerhalb des Schmelzofens abgekühlt sind. Nur bei wenigen Schlacken sind auch Fließstrukturen zu erkennen. In einigen Fällen lassen sich Holzkohleabdrücke beobachten, teilweise sind auch noch einzelne Holzkohlestücke erhalten. Die Größe der untersuchten Schlackenstücke ist sehr variabel und reicht von  $2,4 \times 2,4 \times 2,0 \text{ cm}$  bis  $17,8 \times 9,5 \times 4,7 \text{ cm}$ , es wurden jedoch auch weit größere Stücke gefunden. Das Gewicht der untersuchten Schlacken variiert in Abhängigkeit ihrer Größe und der Porosität von 8–660 g.

Im Handstück besitzen die Schlacken eine olivbraune bis rotschwarze Färbung. Bei mehreren Schlacken sind zudem hellgrüne, sekundär gebil-



Abb. 6.4: Typische Laufschlacken (Typ A) vom Kupferschmelzplatz S1. (a) Probe MA-091456 (FNr. 696, Halde 1, Schicht 6), (b) Probe MA-092862 (FNr. 2863, Vorplatz Doppelofenanlage 9/10), (c) Probe MA-113472 (FNr. 4160, Vorplatz Ofen 11, Schicht 17), (d) Probe MA-092831 (FNr. 1219, Röstbett 2). Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.4. Typical type A slags ("Laufschlacken") of the Copper Smelting Site S1. (a) Sample MA-091456 (FNr. 696, slag dump 1, layer 6), (b) Sample MA-092862 (FNr. 2863, area in front of double furnace 9/10), (c) Sample MA-113472 (FNr. 4160, area in front of furnace 11, layer 17), (d) Sample MA-092831 (FNr. 1219, roasting hearth 2). Photos: Steffen Kraus

dete Kupferminerale erkennbar. Ein Teil der Schlacken zeigt stellenweise rostbraune Verwitterungsspuren, andere sind nahezu vollständig mit einer Verwitterungsschicht überzogen. Wie bei den Laufschlacken weisen vor allem die Blasenschlacken aus den Röstbetten eine deutlich rötliche Färbung auf. Im Querschnitt sind sie dagegen überwiegend grau bis dunkelgrau. Bei der Mehrheit der Schlacken, vor allem aus den Röstbetten, sind die Randbereiche von einer bis zu 1 mm dicken Verwitterungsschicht überzogen.

Das stark heterogene Gefüge der Blasenschlacken ist durch die hohe Porosität charakterisiert. Der Durchmesser der Hohlräume liegt durchschnittlich zwischen 0,1 und 0,5 cm, selten größer als 1,5 cm. Zudem sind oft nur partiell aufgeschmolzene Quarzbruchstücke von einer Größe bis 1 cm (in der Regel 0,1–0,4 cm) sichtbar. In wenigen Schlacken wurden auch runde oder ovale ( $\text{\O} < 3 \text{ mm}$ ), metallisch glänzende Sulfideinschlüsse beobachtet.

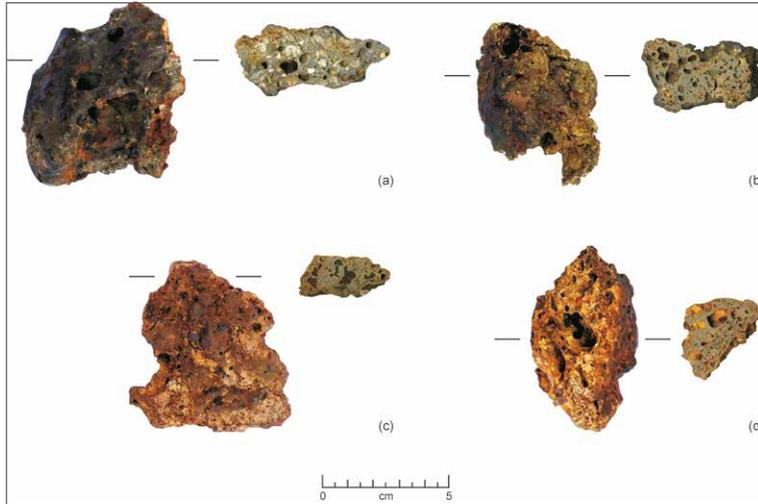


Abb. 6.5: Typische Blasenschlacken (Typ B) vom Kupferschmelzplatz S1. (a) Probe MA-091448 (FNr. 694, Halde 1, Schicht 5), (b) Probe MA-091503 (FNr. 2095, Halde 2, Schicht 3), (c) Probe MA-092835 (FNr. 1144, Röstbett 3), (d) Probe MA-092851 (FNr. 3348, Röstbett 9).

Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.5. Typical type B slags ("Blasenschlacken") of the Copper Smelting Site S1. (a) Sample MA-091448 (FNr. 694, slag dump 1, layer 5), (b) Sample MA-091503 (FNr. 2095, slag dump 2, layer 3), (c) Sample MA-092835 (FNr. 1144, roasting hearth 3), (d) Sample MA-092851 (FNr. 3348, roasting hearth 9).

Photos: Steffen Kraus

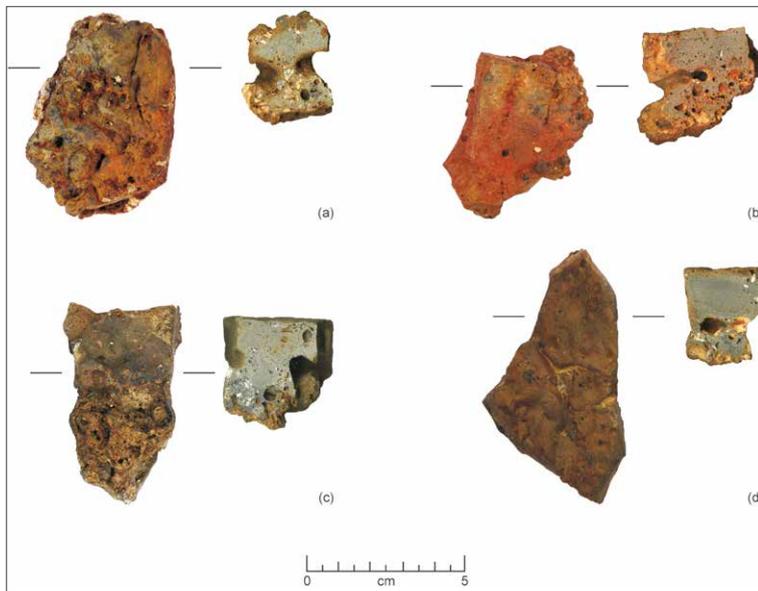


Abb. 6.6: Typische Schlacken vom Typ A+B vom Kupferschmelzplatz S1. (a) Probe MA-092846 (FNr. 3046, Röstbett 9), (b) Probe MA-092849 (FNr. 3994, Röstbett 9), (c) Probe MA-092816 (FNr. 2614, Halde 2, Schicht 3), (d) Probe MA-091474 (FNr. 4104, Halde 3, Schicht 2).

Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.6. Typical type A+B slags of the Copper Smelting Site S1. (a) Sample MA-092846 (FNr. 3046, roasting hearth 9), (b) Sample MA-092849 (FNr. 3994, roasting hearth 9), (c) Sample MA-092816 (FNr. 2614, slag dump 2, layer 3), (d) Sample MA-091474 (FNr. 4104, slag dump 3, layer 2).

Photos: Steffen Kraus

### Schlacken vom Typ A+B

Bei den Schlacken vom Typ A+B handelt es sich um Kombinationen der vorangegangenen Schlackentypen (Abb. 6.6). Die Oberseite der Schlacken weist häufig Fließstrukturen, ähnlich wie bei den Laufsclacken auf, während die Unterseite teils glatt ist, teilweise aber auch wulstige Verdickungen besitzt, die jedoch nicht als Fließstrukturen zu bezeichnen sind. Bei zwei Proben wurden zudem Abdrücke von Holzkohlestücken festgestellt. Die Dicke der untersuchten Schlacken variiert zwischen 2,4 und 6,1 cm, wobei der Laufsclackenanteil zwischen 1 und ca. 3 cm misst. Der Übergang zwischen Lauf- zu Blasenschlacke ist meist durch größere, ovale Hohlräume ( $\varnothing$  zwischen 1,5 und 2,0 cm) gekennzeichnet. Die Größe der untersuchten Stücke ist ebenfalls sehr unterschiedlich und liegt zwischen 3,1×2,3 cm und 10,8×8,1 cm. Das Gewicht variiert abhängig von Größe und Porosität der Schlacken zwischen 47 und 741 g.

Im Handstück besitzen die Schlacken eine dunkelolivbraune bis schwärzlichbraune Färbung. Ein Teil der Schlacken weist auf der Oberfläche stellenweise rostbraune Verwitterungsspuren auf, andere, vorwiegend Schlacken aus den Röstbetten, sind nahezu vollständig von einer rostbraunen Verwitterungsschicht umgeben. Im Querschnitt zeigen die untersuchten Schlackenstücke eine graue bis dunkelgraue Färbung, während die Randbereiche meist von einer bis 1 mm dicken, rostbraunen Verwitterungsschicht gekennzeichnet sind.

Der Laufsclackenanteil besitzt ein überwiegend dichtes und kompaktes Gefüge mit nur wenigen Poren. Der Blasenschlackenanteil ist oft durch größere, ovale Hohlräume ( $\varnothing$  zwischen 1,5 und 2,0 cm) vom Laufsclackenanteil getrennt. Das Gefüge ist stark heterogen und häufig sind bis 1 cm große, partiell aufgeschmolzene Quarzstücke

zu erkennen. Sowohl im Lauf- als auch im Blasenschlackenanteil treten metallisch glänzende Sulfideinschlüsse ( $\varnothing$  bis 4 mm) auf.

#### Plattenschlacken (Typ C)

Die in vergleichsweise geringer Anzahl gefundenen Plattenschlacken (Abb. 6.7) zeichnen sich durch ihre charakteristische Dicke von 0,4–1,1 cm aus und lassen sich dadurch makroskopisch sehr gut von den Laufschlacken unterscheiden. Einige Schlackenstücke weisen einen leicht nach unten gebogenen Rand auf. Sonst handelt es sich um nahezu planparallele Platten. Alle untersuchten Stücke haben auf ihrer Oberfläche mehr oder weniger deutlich sichtbare Fließstrukturen und eine überwiegend flache Unterseite. Die Größe der Schlackenstücke variiert zwischen 3,3×3,0 cm und 5,5×5,1 cm. Abhängig von der Größe liegt das Gewicht zwischen 15 und 35 g.

Im Handstück besitzen die Plattenschlacken eine rotschwarze Färbung. Die Probe MA-092838 aus dem Röstbett 5 weist als einzige eine dunkelbraune Färbung auf. Im Querschnitt zeigen die Schlacken eine dunkelgraue bis braunschwarze/schwarze Färbung. Einige Proben weisen dabei einen 1–3 mm dicken, rostbraun verwitterten Randbereich auf, der jedoch im Handstück oberflächlich nicht zu erkennen war.

Das Gefüge der Plattenschlacken erscheint makroskopisch als sehr dicht und nahezu porenfrei. Es konnten keine sichtbaren Einschlüsse beobachtet werden.

#### 6.5.1.2 Gefüge und Phasenbestand

Der Phasenbestand der mittels Lichtmikroskopie untersuchten Schlacken ist in Tabelle A-02 zusammengefasst dargestellt.

#### Laufschlacken (Typ A)

Die Laufschlacken bestehen mikroskopisch aus einem eng verzahnten Gefüge aus idiomorphen Olivinen (überwiegend Fayalit) und untergeordnet

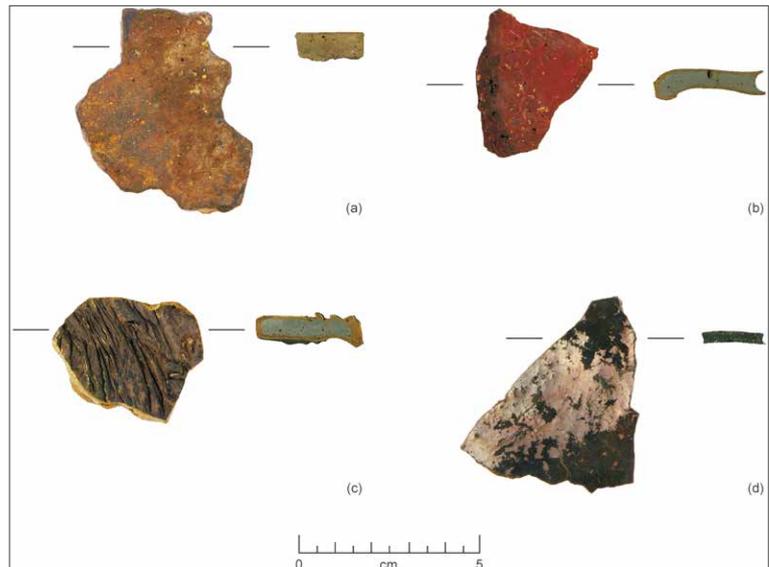


Abb. 6.7: Typische Plattenschlacken (Typ C) vom Kupferschmelzplatz S1. (a) Probe MA-092838 (FNr. 641, Röstbett 5), (b) Probe MA-092854 (FNr. 1772, Vorplatz Doppelofenanlage 1/2), (c) Probe MA-091513 (FNr. 1936, Halde 2, Schicht 22), (d) Probe MA-091471 (FNr. 3042, Halde 3, Schicht 2). Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.7. Typical type C slags ('Plattenschlacken') of the Copper Smelting Site S1. (a) Sample MA-092838 (FNr. 641, roasting hearth 5), (b) Sample MA-092854 (FNr. 1772, area in front of double furnace 1/2), (c) Sample MA-091513 (FNr. 1936, slag dump 2, layer 22), (d) Sample MA-091471 (FNr. 3042, slag dump 3, layer 2). Photos: Steffen Kraus

Klinopyroxenen (Abb. 6.8 bis 6.13). Die Olivine repräsentieren dabei die Erstkristallite in den Schlacken und sind häufig prismatisch bis leistenförmig ausgebildet und weisen oft einen Zonarbau auf. In der Grundmasse sind sie meist feinkörnig, in den Randbereichen können sie in größere Kristallskelette übergehen, sie treten hier aber auch in Form von langen, richtungslos gewachsenen Nadeln auf. Die Klinopyroxene sind überwiegend kurzprismatisch bis leistenförmig kristallisiert. Die Zwischenräume sind mit einer glasigen Matrix ausgefüllt, die an einigen Stellen eine beginnende Rekristallisation erkennen lässt. Teilweise treten in den Zwischenräumen auch feinkörnige Spinelle (Magnetit) in Form von Dendriten oder als idiomorphe Phasen auf. Einige Schlacken besitzen einen mehrschichtigen Aufbau, was auf ein mehrmaliges Abstechen der Schlackenschmelze während der Verhüttung zurückgeführt werden kann.

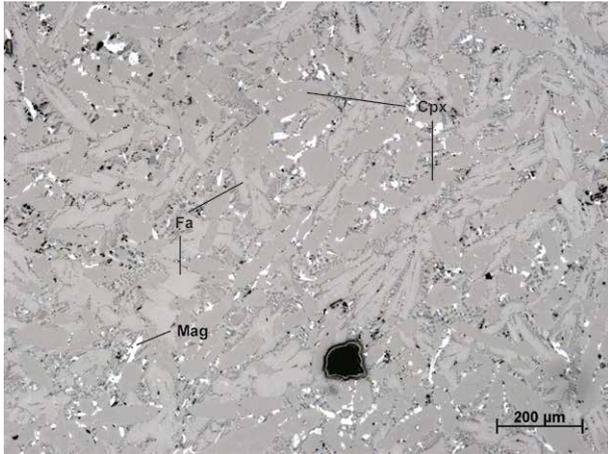


Abb. 6.8: Mikrogefüge einer Laufschlacke (Typ A) (Probe MA-092862, FNr. 2863, Vorplatz Doppelofenanlage 9/10). Fayalite (Fa) sind idiomorph und teilweise in Skelettwachstum, Klinopyroxene (Cpx) leistenförmig ausgebildet. In den Zwischenräumen kristallisieren feinkörnige Magnetite (Mag).

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.8. Microstructure of a type A slag (sample MA-092862, FNr. 2863, area in front of double furnace 9/10). Prismatic fayalite (Fa) with partial skeletal growth and short prismatic clinopyroxene (Cpx), interstices contain fine-grained magnetite (Mag).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

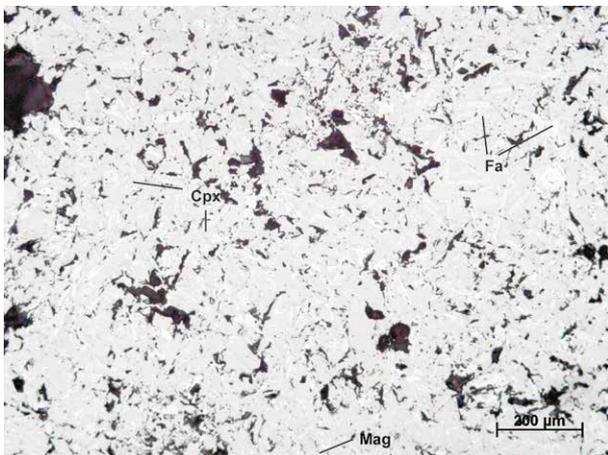


Abb. 6.10: Mikrogefüge einer Laufschlacke (Typ A) (Probe MA-091473, FNr. 4558, Halde 3, Schicht 2). Das Gefüge besteht überwiegend aus prismatisch ausgebildeten Klinopyroxenen (Cpx) und leistenförmigen Fayaliten (Fa), die teilweise ein Skelettwachstum aufweisen. In den Zwischenräumen kristallisieren feinkörnige Magnetite (Mag).

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.10. Microstructure of a type A slag (sample MA-091473, FNr. 4558, slag dump 3, layer 2). Prismatic clinopyroxene (Cpx) and lath-shaped fayalite (Fa) with partial skeletal growth, interstices contain fine-grained magnetite (Mag).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

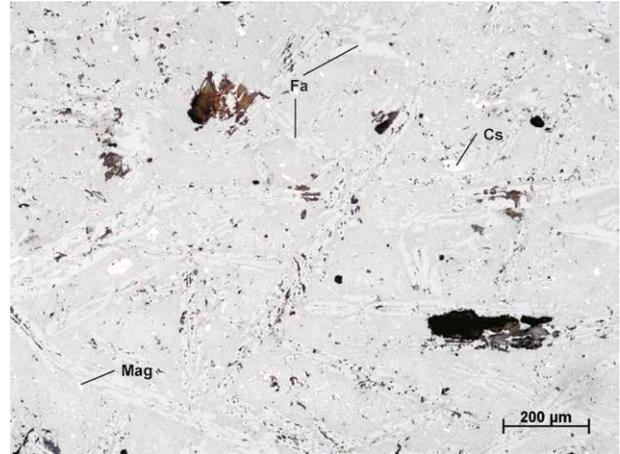


Abb. 6.9: Mikrogefüge einer Laufschlacke (Typ A) (Probe MA-091447, FNr. 595, Halde 1, Schicht 5). Die Fayalitkristalle (Fa) sind überwiegend skelettartig ausgebildet. In den Zwischenräumen kristallisieren feinkörnige Magnetite (Mag) sowie einzelne Cu/Fe-Sulfide (Cs).

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.9. Microstructure of a type A slag (sample MA-091447, FNr. 595, slag dump 1, layer 5). Prismatic fayalites (Fa) with skeletal growth, interstices contain fine-grained magnetite (Mag) and Cu/Fe-sulphides (Cs).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

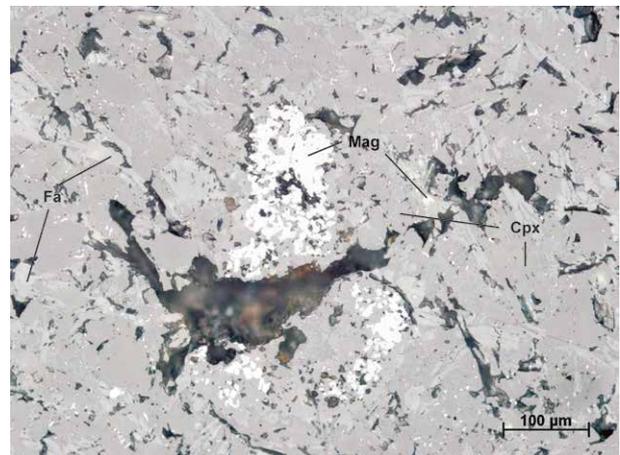


Abb. 6.11: Magnetitagglomerat in einer Laufschlacke (Typ A) (Probe MA-091473, FNr. 4558, Halde 3, Schicht 2). Die Magnetitkristalle (Mag) sind teilweise dicht zusammengesintert, doch lassen einzelne Kristalle noch unterscheiden (Cpx = Klinopyroxen, Fa = Fayalite).

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.11. Agglomeration of magnetite in a type A slag (sample MA-091473, FNr. 4558, slag dump 3, layer 2). Magnetite is partially densely sintered, but single crystals can be distinguished. (Cpx = clinopyroxene, Fa = fayalite).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

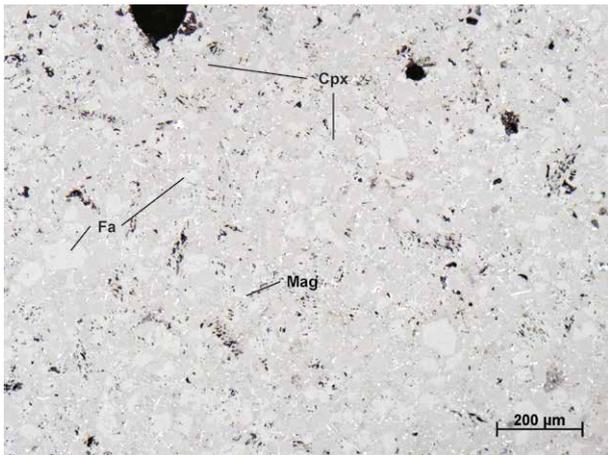


Abb. 6.12: Mikrogefüge einer Laufschlacke (Typ A) (Probe MA-092845, FNr. 1795, Röstbett 8). Fayalite (Fa) sind idiomorph, prismatisch, Klinopyroxene (Cpx) kurzprismatisch ausgebildet. In den Zwischenräumen kristallisieren feinkörnige Magnetite (Mag).

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.12. Microstructure of a type A slag (sample MA-092845, FNr. 1795, roasting hearth 8). Prismatic fayalite (Fa) and short prismatic clinopyroxene (Cpx), interstices contain fine-grained magnetite (Mag).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

Charakteristisch ist für einige Schlacken das Auftreten von verschiedenen Eisenoxidagglomeraten. Die Magnetite sind überwiegend xenomorph bis hypidiomorph ausgebildet (vgl. Abb. 6.11 und 6.13), in einigen Agglomeraten können einzelne Kristalle noch unterschieden werden. In den Zwicken der Magnetite treten vereinzelt Sulfide, Cuprit oder metallisches Kupfer auf. Bei den Sulfiden handelt es sich meist um Chalkopyrit, der oft ein dichtes Netzwerk an kupferreichen Entmischungslamellen aufweist sowie um Cu/Fe-Sulfide mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung. In einigen Schlacken sind die Magnetite zu derben Massen zusammengesintert, oft in Verbindung mit Magnesioferritaggregaten. Die wenigen Quarzbruchstücke zeigen keine Reaktionssäume, die auf eine Reaktion mit der umgebenden Schmelze hinweisen, was eine Verwendung von Quarz als Zuschlag vermuten lässt, um eine besser flüssige Schmelze zu erhalten.

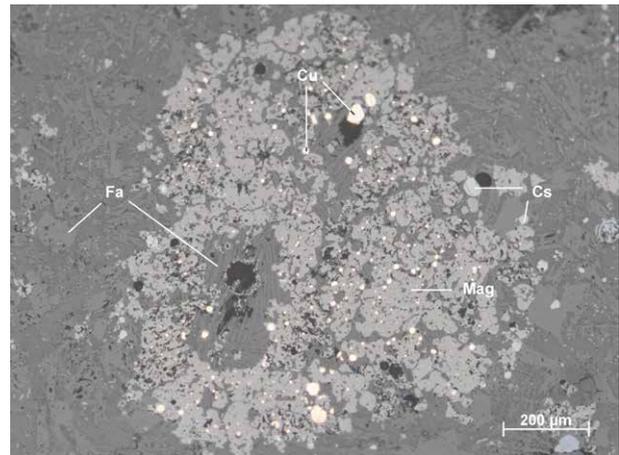


Abb. 6.13: Magnetitagglomerat in einer fayalitischen Laufschlacke (Typ A) (Probe MA-091479, FNr. 4433, Halde 3, Schicht 9). Die Magnetitkristalle (Mag) sind teilweise dicht zusammengesintert, in den Zwicken treten metallisches Kupfer (Cu) und Cu/Fe-Sulfide (Cs) unterschiedlicher Zusammensetzung auf (Fa = Fayalite).

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.13. Agglomeration of magnetite in a fayalitic type A slag (sample MA-09179, FNr. 4433, slag dump 3, layer 9). Magnetite is partially densely sintered. The interstices contain metallic copper (Cu) and Cu/Fe sulphides (Cs) (Fa = fayalite).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

### Blasenschlacken (Typ B)

Das Gefüge der Blasenschlacken besteht mikroskopisch aus prismatisch bis leistenförmig kristallisierten Olivinen und untergeordnet Klinopyroxenen (Abb. 6.14 bis 6.19) und zeigt somit große Ähnlichkeiten zu den Laufschlacken. Die Olivine lassen häufig einen Zonarbau erkennen. In den Randbereichen treten sie auch in Form von skelettartig ausgebildeten Olivinleisten auf. Die Klinopyroxene sind überwiegend xenomorph ausgebildet. Nur in einzelnen Schlacken sind sie als kurzprismatische oder leistenförmige Körner kristallisiert, oft zeigen sie dann einen skelettartigen Aufbau. Die Zwischenräume werden von einer glasigen, teilweise rekristallisierten Matrix ausgefüllt. Mehrere Schlacken weisen einen mehrschichtigen Aufbau auf. Dies zeigt sich vor allem anhand durchlaufender Magnetitbänder (Abb. 6.17), die ursprünglich den äußersten Rand der Schlackenoberfläche bildeten und nun die verschiedenen Schlackenschichten voneinander trennen. Dies lässt ein mehrfaches Abstecken der Schlackenschmelze während des Schmelzprozesses vermuten.

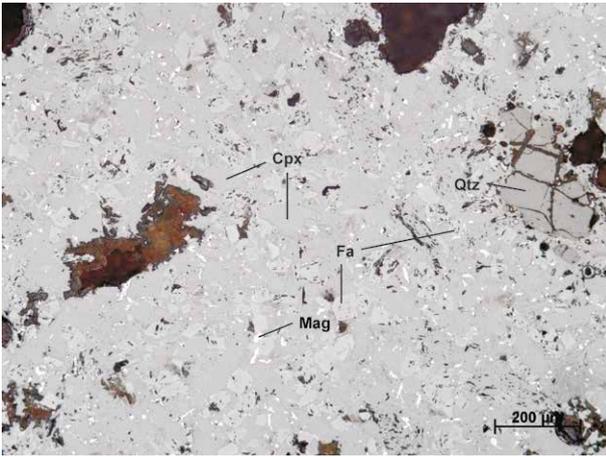


Abb. 6.14: Mikrogefüge einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-091475, FNr. 3066, Halde 3, Schicht 2). Fayalite (Fa) sind prismatisch, teilweise skelettartig ausgebildet, Klinopyroxene (Cpx) oft kurzprismatisch, zum Teil auch fleckig xenomorph. Magnetit (Mag) tritt überwiegend feinkörnig auf (Qtz = Quarz).  
Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.14. Microstructure of a type B slag (sample MA-091475, FNr. 3066, slag dump 3, layer 2). Prismatic fayalite (Fa) with partial skeletal growth and short prismatic clinopyroxene (Cpx). Magnetite (Mag) occurs mainly fine-grained (Qtz = quartz).  
Incident light image, photos: Steffen Kraus

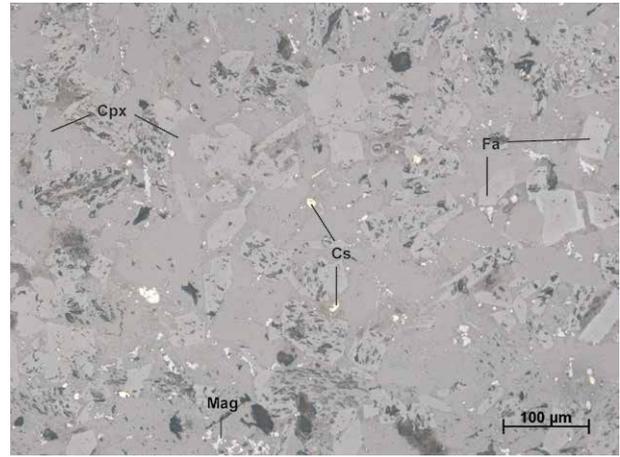


Abb. 6.15: Mikrogefüge einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-091475, FNr. 3066, Halde 3, Schicht 2). Fayalite (Fa) zeigen in einigen Fällen einen Zonarbau während Klinopyroxene (Cpx) oft kurzprismatisch und zum Teil fleckig xenomorph ausgebildet sind. In den Zwischenräumen findet sich feinkörniger Magnetit (Mag) sowie vereinzelt Cu/Fe-Sulfideinschlüsse (Cs).  
Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.15. Microstructure of a type B slag (sample MA-091475, FNr. 3066, slag dump 3, layer 2). Fayalite (Fa) with partial zonal structure and short prismatic clinopyroxene (Cpx). Interstices contain fine-grained magnetite (Mag) Magnetite (Mag) and Cu/Fe-sulphides (Cs)  
Incident light image, photos: Steffen Kraus

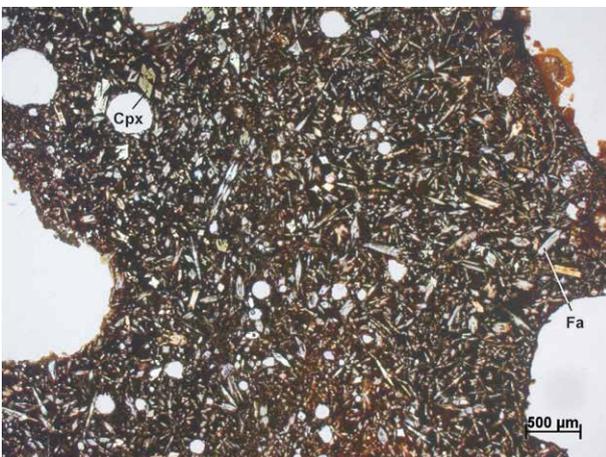


Abb. 6.16: Mikrogefüge einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-092847, FNr. 2249, Röstbett 9). Leistenförmige und teilweise skelettartig ausgebildete Fayalite (Fa) erscheinen im Durchlicht farblos während kurzprismatische Klinopyroxene (Cpx) einen grünen bis gelblichgrünen Pleochroismus aufweisen.  
Durchlichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.16. Microstructure of a type B slag (sample MA-092847, FNr. 2249, roasting hearth 9). Lath-shaped fayalite (Fa) with partial skeletal growth and short prismatic clinopyroxene (Cpx) with green to yellowish green pleochroism.  
Transmitted light image, photo: Steffen Kraus

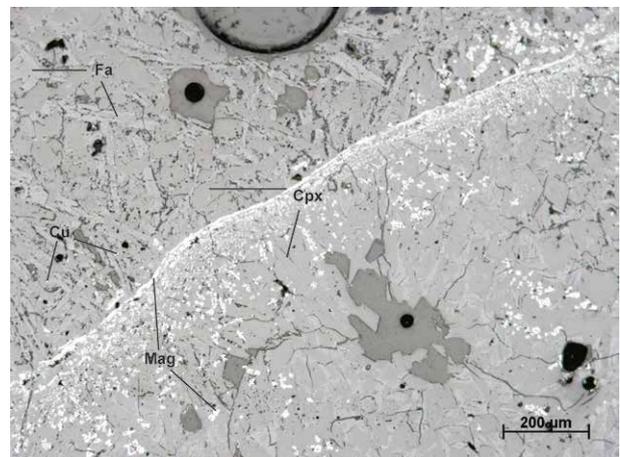


Abb. 6.17: Mikrogefüge einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-092847, FNr. 2249, Röstbett 9). Fayalite (Fa) sind überwiegend leistenförmig, teilweise skelettartig ausgebildet, Klinopyroxene (Cpx) oft kurzprismatisch, zum Teil auch fleckig xenomorph. Magnetit (Mag) tritt überwiegend feinkörnig auf, aber auch in Form von Bändern (Cu = metallisches Kupfer).  
Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.17. Microstructure of a type B slag (sample MA-092847, FNr. 2249, roasting hearth 9). Lath-shaped fayalite (Fa) with partial skeletal growth and short prismatic clinopyroxenes (Cpx). Magnetite (Mag) occurs mainly fine-grained but also in the form of lines (Cu = metallic copper).  
Incident light image, photos: Steffen Kraus

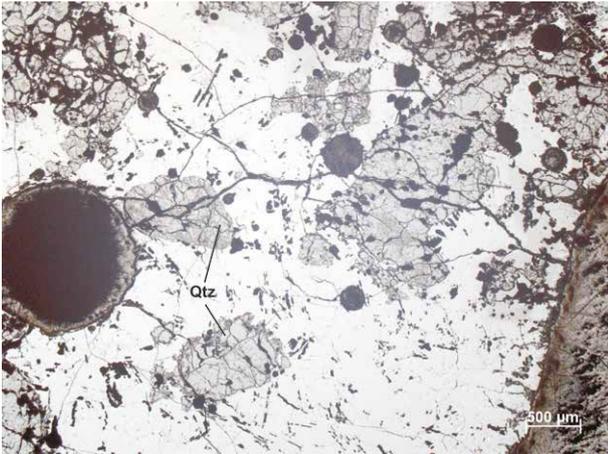


Abb. 6.18: Mikrogefüge einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-091469, FNr. 3029, Schicht 1, Halde 3). Vor allem im unteren Bereich der Schlacke sind zahlreiche unaufgeschmolzene Quarzbruchstücke (Qtz) eingeschlossen. Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.18. Microstructure of a type B slag (sample MA-091469, FNr. 3029, layer 1, dump 3). Especially in the lower part of the slag there are several unmelted quartz fragments (Qtz).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

In nahezu jeder untersuchten Blasenschlacke wurden unaufgeschmolzene Quarz- bzw. Quarzite-komponenten festgestellt. Dies zeigt sich daran, dass sie an den Rändern keine Reaktionssäume aufweisen, die auf eine Reaktion mit der Schmelze hinweisen. Einige Quarzbruchstücke enthalten Einschlüsse von Cu/Fe-Sulfiden (Abb. 6.19), die auf die quarzreiche Gangart der hydrothermalen Lagerstätten hinweisen. Bei den Sulfiden handelt es sich überwiegend um Chalkopyrit mit Resten von Bornit und Covellin, Pyrit und Pyrrhotin. Die Verteilung von Spinell ist sehr unterschiedlich in den einzelnen Schlacken. Am häufigsten sind feinkörnige, hypidiomorphe Magnetite, die als Spätkristallite in den Zwischenräumen der Silikate ausgebildet sind. Daneben kommen auch größere dicht zusammengesinterte Agglomerate, oft in Verbindung mit Magnesioferriten, vor. In deren Zwickel treten zuweilen verschiedene Cu/Fe-Sulfide, in wenigen Fällen auch metallisches Kupfer auf.

#### Schlacken vom Typ A+B

Das Gefüge der Laufschlackenanteile der Schlacken vom Typ A+B besteht überwiegend aus prisma-

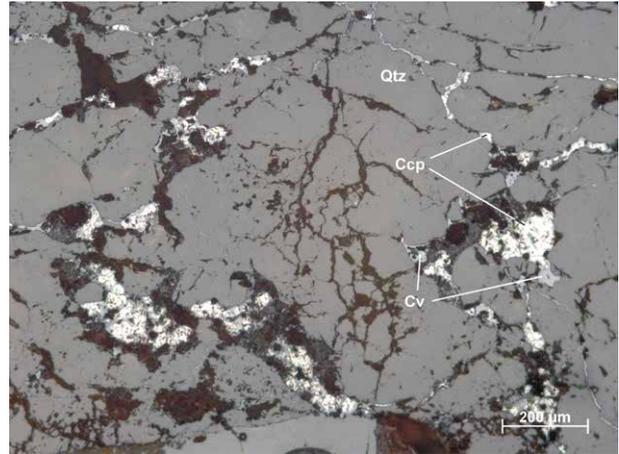


Abb. 6.19: Cu/Fe-Sulfide in einem unaufgeschmolzenen Quarzbruchstück (Qtz) (Probe MA-091469, FNr. 3029, Schicht 1, Halde 3). Die Sulfideinschlüsse bestehen aus Chalkopyrit (Ccp) und Covellin (Cv). Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.19. Cu/Fe sulphides in an unmelted quartz inclusion (Qtz) (sample MA-091469, FNr. 3029, layer 1, dump 3). The sulphides consist of chalcopyrite (Ccp) and covellite (Cv).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

tischen bis leistenförmigen Olivinen, die oft einen zonaren Aufbau besitzen. Untergeordnet kommen generell feinkörnige, xenomorphe, teilweise leistenförmige Klinopyroxene vor (Abb. 6.20). Die Zwischenräume sind mit einer glasigen bis kryptokristallinen Matrix ausgefüllt. In den oberen Randbereichen treten Olivine häufig als dünne, lange, richtungslos gewachsene Nadeln auf, zum Teil auch in Form von langen Leisten mit Skelettwachstum.

Die Blasenschlackenanteile der Schlacken vom Typ A+B (Abb. 6.21) zeigen ein eng verfilztes Gefüge aus idiomorphen, leistenförmigen Olivinen und xenomorph bis hypidiomorph ausgebildeten Klinopyroxenen in einer glasigen bis kryptokristallinen Matrix. Bis auf eine höhere Porosität und das vermehrte Auftreten eingelagerter Quarzkomponenten sind keine signifikanten Unterschiede zu den Laufschlackenanteilen festzustellen. In einigen Poren ist Malachit als Sekundärmineral ausgebildet (Abb. 6.22).

Die meisten Quarzkomponenten zeigen keine Reaktionssäume an den Rändern, die auf eine Reaktion mit der Schmelze hinweisen, was vermuten lässt, dass sich dabei um unaufgeschmolzene



Abb. 6.20: Mikrogefüge des Laufschlackenanteils einer Schlacke vom Typ A+B (Probe MA-091499, FNr. 2078, Halde 2, Schicht 2). Das Gefüge besteht hauptsächlich aus Fayalit (Fa) und Klinopyroxen (Cpx). In den Zwischenräumen können feinkörnige Magnetite (Mag) auftreten. Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.20. Microstructure of the type A slag part of a type A+B slag (sample MA-091499, FNr. 2078, slag dump 2, layer 2). The slag consists mainly of fayalite (Fa) and clinopyroxene (Cpx). The interstices contain fine-grained magnetite (Mag).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

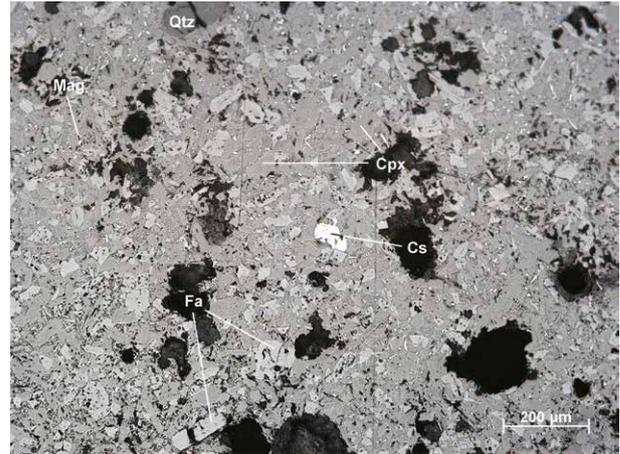


Abb. 6.21: Mikrogefüge des Blasenschlackenanteils einer Schlacke vom Typ A+B (Probe MA-091499, FNr. 2078, Halde 2, Schicht 2). Das Gefüge besteht hauptsächlich aus Fayalit (Fa) und Klinopyroxen (Cpx). In den Zwischenräumen können feinkörniger Magnetit (Mag) sowie verschiedene Cu/Fe-Sulfide (Cs) auftreten. Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.21. Microstructure of the type B slag part of a type A+B slag (sample MA-091499, FNr. 2078, slag dump 2, layer 2). The slag consists mainly of fayalite (Fa) and clinopyroxene (Cpx). The interstices contain fine-grained magnetite (Mag) and various Cu/Fe sulphides (Cs).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

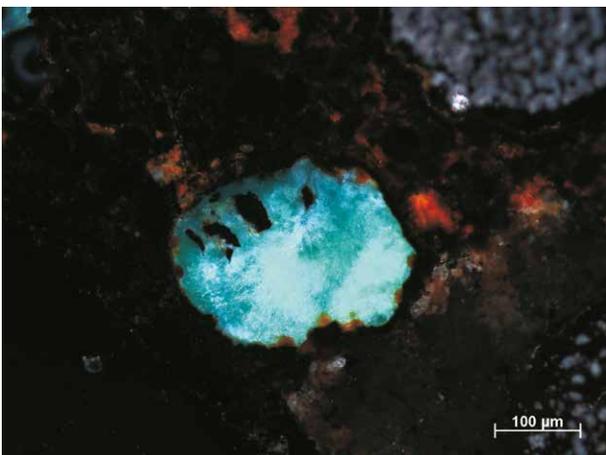


Abb. 6.22: Sekundär gebildeter Malachit in einem Hohlraum im Blasenschlackenanteil einer Schlacke vom Typ A+B (Probe MA-091487, FNr. 3666, Halde 3, Schicht 4).

Auflichtaufnahme, gekreuzte Polarisatoren, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.22. Secondarily formed malachite in the type B slag part of a type A+B slag (sample MA-091487, FNr. 3666, slag dump 3, layer 4).

Incident light image, crossed polars, photo: Steffen Kraus

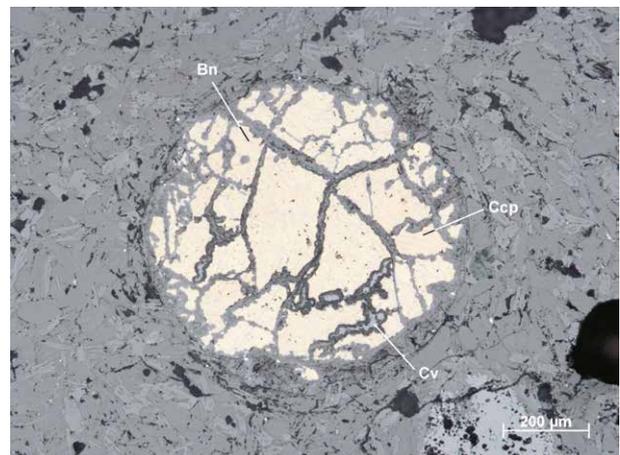


Abb. 6.23: Cu/Fe-Sulfideinschluss in einer Schlacke vom Typ A+B (Probe MA-091511, FNr. 2267, Halde 2, Schicht 17). Der Einschluss besteht hauptsächlich aus Chalkopyrit (Ccp) mit lamellaren Entmischungen von Bornit (Bn). In den Rissen ist Covellin (Cv) ausgebildet. Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.23. Cu/Fe-sulphide in a type A+B slag (sample MA-091511, FNr. 2267, slag dump 2, layer 17). It consists mainly of chalcopyrite (Ccp) with lamellar segregation of bornite (Bn). In some cracks covellite (Cv) has formed. Incident light image, photos: Steffen Kraus

Incident light image, photos: Steffen Kraus

Chargenrelikte handelt. Einzelne Quarzstücke enthalten in einzelnen Rissen Aggregate von Pyrit sowie von Chalkopyrit mit Resten von Pyrrhotin und Bornit.

In nahezu allen Schlacken sind verschiedene Eisenoxide zu beobachten. Sehr feinkörnige hypidionomorphe Magnetite treten innerhalb der teilweise rekristallisierten Matrix zwischen den silikatischen Hauptmineralphasen auf. In einigen Schlacken bilden sie, häufig in Verbindung mit Magnesioferrit, größere Agglomerate, in deren Zwickeln oft Cu/Fe-Sulfide sowie metallische Kupfertropfen auftreten. Bei den Sulfiden handelt sich überwiegend um Kupfersteineinschlüsse, die oft von einem Covellin-saum umgeben sind. Häufig weisen die Sulfide Schrumpfungsrisse auf, die auf eine Volumenverminderung durch Entschwefelung hinweisen. In mehreren Schlacken wurden Aggregate von Chalkopyrit festgestellt (Abb. 6.23), die meist eng mit Bornit verwachsen sind, wobei lamellare Entmischungstexturen dominieren.

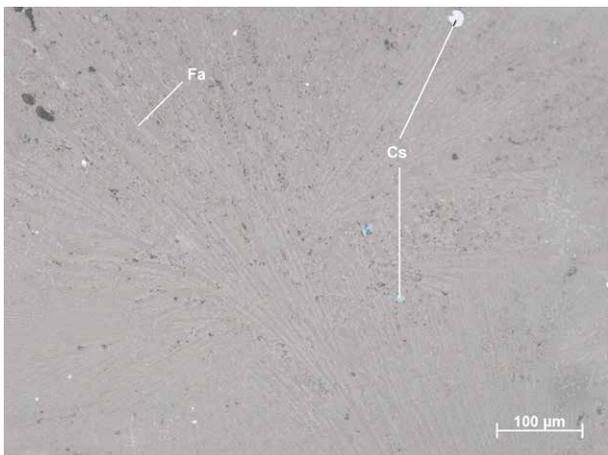


Abb. 6.24: Mikrogefüge einer Plattenschlacke (Typ C) (Probe MA-091471, FNr. 3042, Halde 3, Schicht 2). Die Fayalite (Fa) sind im Spinifexgefüge kristallisiert. In den Zwischenräumen können runde bis tropfenförmige Cu/Fe-Sulfide (Cs) unterschiedlicher Zusammensetzung eingelagert sein.

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.24. Microstructure of a type C slag (sample MA-091471, FNr. 3042, slag dump 3, layer 2). It shows the typical fayalitic spinifex structure (Fa). The interstices contain various Cu/Fe sulphides (Cs).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

### Plattenschlacken (Typ C)

Die Plattenschlacken bestehen mikroskopisch hauptsächlich aus einer nahezu homogenen fayalitischen Schlacke. Unaufgeschmolzene Quarzbruchstücke treten nur in einzelnen Schlacken an deren unteren Seite auf. Die Fayalite sind überwiegend als lange, parallele, skelettartig ausgebildete Leisten im Spinifexgefüge kristallisiert (Abb. 6.24 bis 6.27). Dies deutet auf eine schnelle Abkühlung. Die glasierte Matrix füllt die Zwischenräume aus und zeigt bei einigen Schlacken eine beginnende Rekristallisation. In diesen Bereichen besteht das Gefüge aus idiomorphen Olivinkristallen, die häufig einen Zonarbau aufweisen.

In den Zwischenräumen treten gelegentlich runde bis tropfenförmige Cu/Fe-Sulfide auf. Dabei handelt es sich überwiegend um Kupfersteine mit unterschiedlichen Gehalten an Kupfer und Eisen. Untergeordnet finden sich auch metallische Kupfertropfen. In der teilweise rekristallisierten Matrix lässt sich zudem feinkörniger Magnetit beobachten. An den äußeren Randbereichen sind Abkühlungssäume aus feindendritischen Magnetiten ausgebildet, die an den Schlackenoberseiten stärker ausgeprägt sind als an den Unterseiten (Abb. 6.25).

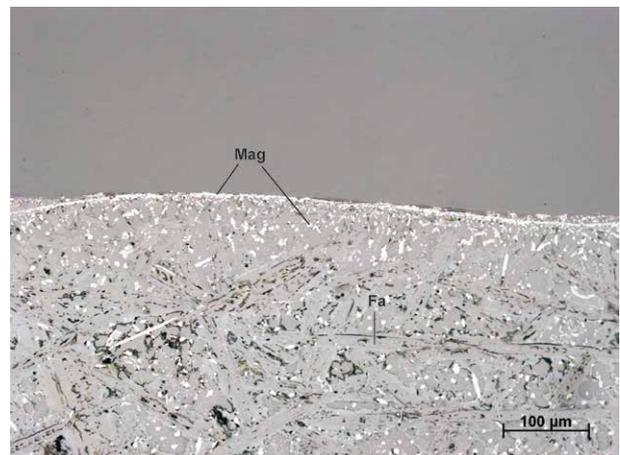


Abb. 6.25: Mikrogefüge des oberen Bereichs einer Plattenschlacke (Typ C) (Probe MA-091471). Die Fayalite (Fa) sind in Form von langen Leisten kristallisiert. Der überwiegend feinkörnig auftretende Magnetit (Mag) bildet am oberen Rand einen Abkühlssaum.

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.25. Microstructure of the upper part of a type C slag (sample MA-091471). Lath-shaped fayalite (Fa) dominate the upper part of the slag, fine-grained magnetite (Mag) forms a thin cooling layer on the edge.

Incident light image, photos: Steffen Kraus

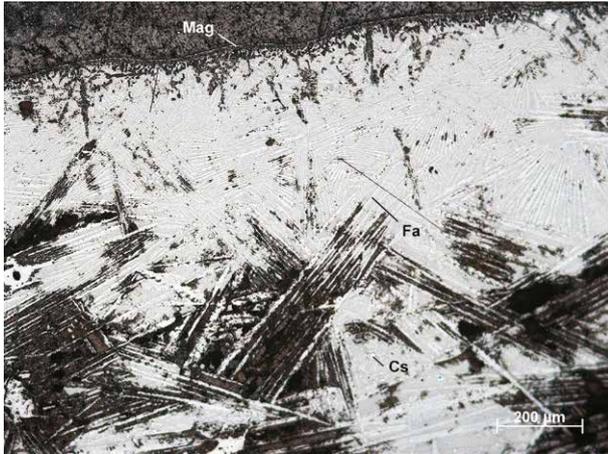


Abb. 6.26: Mikrogefüge einer Plattenschlacke (Typ C) (Probe MA-091441, FNr. 535, Schicht 1, Halde 1). Die Fayalite (Fa) sind im Spinifexgefüge kristallisiert. Feinkörniger Magnetit (Mag) bildet einen dünnen Abkühlungssaum am oberen Rand der Schlacke (Cs = Cu/Fe-Sulfid). Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.26. Microstructure of a type C slag (sample MA-091441, FNr. 535, layer 1, dump 1). It shows the typical fayalitic spinifex structure (Fa). Fine-grained magnetite (Mag) forms a thin cooling layer on the edge. Incident light image, photos: Steffen Kraus

### 6.5.1.3 Chemische Zusammensetzung der Schlacken

Die chemische Zusammensetzung der Schlacken wird in erster Linie durch die Erzcharge sowie eventuelle Zuschlagsstoffe bestimmt. Beeinflusst wird sie jedoch auch durch die Verwitterungsprozesse, denen die Schlacken während ihrer Bodenlagerung ausgesetzt waren. Die Verwitterung ist abhängig von verschiedenen Faktoren, wie der Zusammensetzung und der Mineralogie der Ausgangsmaterialien, den klimatischen Bedingungen während der Ablagerung sowie den biogenen Prozessen im Boden. Nach HENDERSON<sup>77</sup> zeigt bei jeder Verwitterung Aluminium die geringste Mobilität. Im Vergleich zu Aluminium erfolgen in der Regel eine nahezu vollständige Abreicherung von CaO und Na<sub>2</sub>O, eine bedeutende Abreicherung von FeO und MgO sowie eine geringe Abreicherung von K<sub>2</sub>O

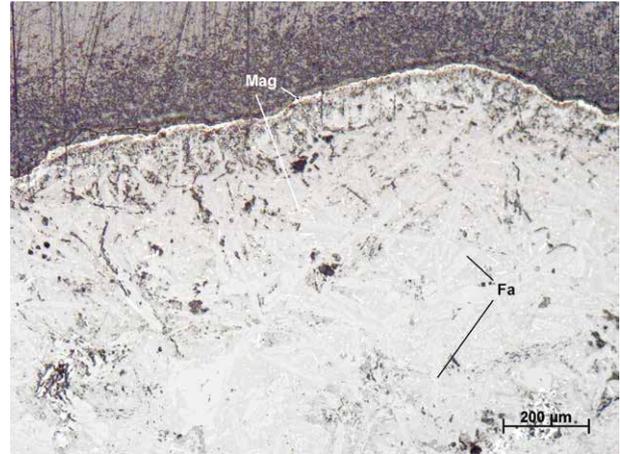


Abb. 6.27: Mikrogefüge des oberen Bereichs einer Plattenschlacke (Typ C) (Probe MA-113463, FNr. 207, Vorplatz Doppelofenanlage 1/2). Das Gefüge besteht hauptsächlich aus richtungslos gewachsenen Fayalitleisten (Fa) in einer amorphen Glasmatrix. Der überwiegend feinkörnig auftretende Magnetit (Mag) bildet einen dünnen Abkühlungssaum am oberen Rand der Schlacke.

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.27. Microstructure of a type C slag (sample MA-113463, FNr. 207, area in front of doublefurnace 1/2). The slag consists of lath-shaped, directionless grown fayalite (Fa) and glass. Fine-grained magnetite (Mag) forms a thin cooling layer on the edge. Incident light image, photos: Steffen Kraus

und SiO<sub>2</sub>. Dagegen ist eine starke Anreicherung von Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>O festzustellen. Unter vergleichbaren Verwitterungsbedingungen nimmt die Stabilität der in den Schlacken auftretenden Phasen Olivin, Magnetit und Quarz in der angeführten Reihenfolge zu. Daher wurden die verwitterten Randbereiche bei der Aufbereitung der Schlacken so weit wie möglich entfernt, um sekundäre Veränderungen in der Zusammensetzung der Schlacken auszuschließen.

Die Ergebnisse der pauschalchemischen Untersuchungen sind in der Tabelle A.3 dargestellt. Der Gesamteisengehalt wurde als FeO berechnet. Die Untersuchungen zeigen, dass alle makroskopisch unterschiedlichen Schlackentypen weitgehend die gleiche Schwankungsbreite in ihrer Zusammensetzung aufweisen. Es handelt sich überwiegend um typische Silikatschlacken mit durchschnittlichen

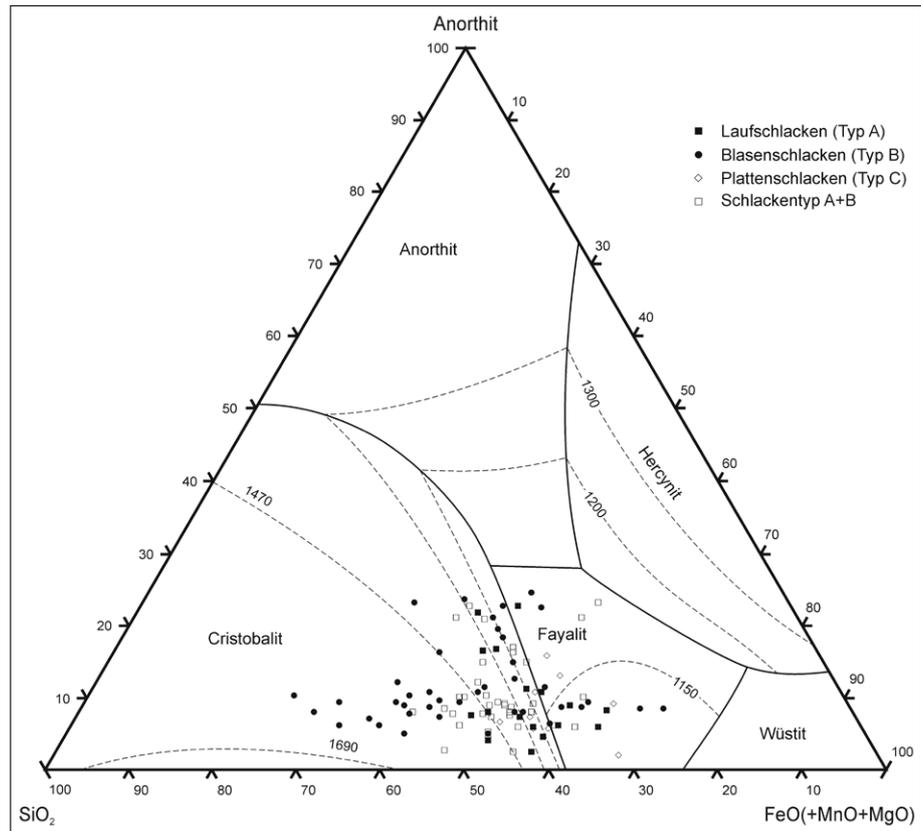
<sup>77</sup> HENDERSON 1982, 262.

Abb. 6.28: Darstellung der Pauschalanalysen der unterschiedlichen Schlackentypen im System  $\text{SiO}_2$ -Anorthit- $\text{FeO} (+\text{MnO}+\text{MgO})$ .

Erweitert nach SCHAIRER 1942, 252

Fig. 6.28. Chemical composition of the different slag types plotted in the system  $\text{SiO}_2$ -anorthite- $\text{FeO} (+\text{MnO}+\text{MgO})$ .

Extended after SCHAIRER 1942, 252



$\text{SiO}_2$ -Gehalten zwischen 25–45 Gew.-%,  $\text{FeO}$ -Gehalten zwischen 30–50 Gew.-%,  $\text{CaO}$ -Gehalten zwischen 5–15 Gew.-% und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalten zwischen 2–12 Gew.-%. Die Gehalte von  $\text{MgO}$  und  $\text{K}_2\text{O}$  schwanken zwischen 0,2–5 Gew.-%. Die Gehalte der weiteren Nebenelemente wie  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$  liegen unter 2 Gew.-%. Eine gemeinsame Darstellung der Haupt- und Nebenkomponten und somit ihre gegenseitige Abhängigkeit ist also nur durch Vereinfachung möglich. Um alle Komponenten zu berücksichtigen, wurden die Daten daher in das erweiterte ternäre System  $\text{SiO}_2$ -Anorthit- $\text{FeO} (+\text{MnO}+\text{MgO})$  nach SCHAIRER<sup>78</sup> projiziert (Abb. 6.28).

Dabei zeigen vor allem Blasenschlacken und die Schlacken vom Typ A+B die größte Variabilität mit der Tendenz zu einer  $\text{SiO}_2$ -reichen Zusammensetzung. Die meisten Lauf- und Plattenschlacken liegen dagegen aufgrund ihrer hohen  $\text{FeO}$ -Gehalte im Bereich des Fayalitfeldes des Systems, wobei die

Laufschlacken eine Verbindung zwischen den Blasenschlacken und den Plattenschlacken bilden.

Wie die ebenfalls im Diagramm eingezeichneten Isothermen zeigen, liegt der überwiegende Teil der Analysen in einem Temperaturbereich zwischen 1400 und 1600° C. Hierbei handelt sich um Temperaturen, die in den (einfachen) Schmelzöfen der mittleren Bronzezeit nicht erreicht wurden. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die Temperaturen in den bronzezeitlichen Schmelzöfen in einem Bereich unterhalb von 1300° C lagen.<sup>79</sup> Als Ursache für die Lage der Analysen in dem für bronzezeitlichen Verhältnisse zu hohen Temperaturbereich sind die zahlreichen Einschlüsse ungeschmolzener Quarzbruchstücke und anderer Chargenrelikte zu nennen, die während der Aufbereitung nicht vollständig von der eigentlichen Schlacke getrennt werden konnten. Eine Abschätzung der Schmelztemperaturen der Schlacken ist daher anhand dieser Daten nicht möglich.

<sup>78</sup> SCHAIRER 1942, 252.

<sup>79</sup> BACHMANN 1982, 10.

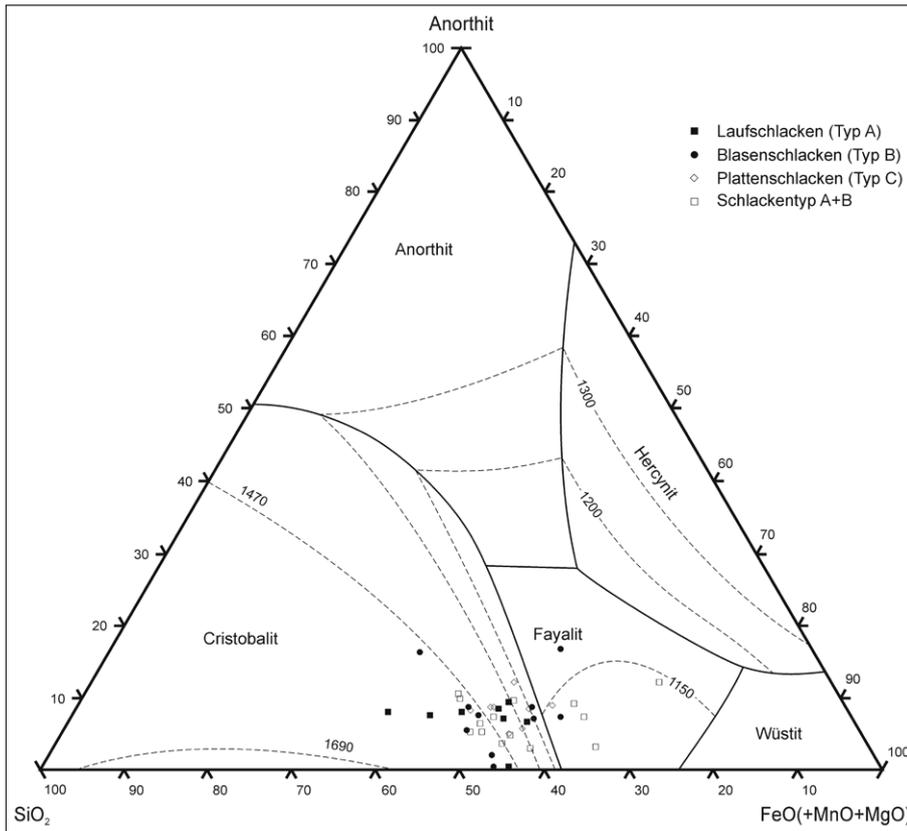


Abb. 6.29: Darstellung der EDX-Analysen von vollständig aufgeschmolzenen Bereichen verschiedener Schlackentypen im System  $\text{SiO}_2$ -Anorthit- $\text{FeO}(+\text{MnO}+\text{MgO})$ .

Erweitert nach SCHAIRER 1942, 252

Fig. 6.29. EDX analyses of completely smelted parts of the different slag types plotted in the system  $\text{SiO}_2$ -anorthite- $\text{FeO}(+\text{MnO}+\text{MgO})$ .

Extended after SCHAIRER 1942, 252

Um eine realistische Abschätzung der Schmelztemperaturen zu gewährleisten, wurden von den vollständig aufgeschmolzenen Bereichen der Schlacken halbquantitative EDX-Flächenanalysen am Rasterelektronenmikroskop durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle A.4 aufgeführt. Bei der Betrachtung der mittels EDX gewonnenen Analysendaten im oben genannten System (Abb. 6.29) zeigt sich für Blasenschlacken und Schlacken vom Typ A+B eine deutliche Verschiebung der Zusammensetzung in Richtung des Fayalitfeldes. Für Lauf- und Plattenschlacken, die nur wenige unaufgeschmolzene Quarzeinschlüsse enthalten, ist kaum eine Änderung zu beobachten. Es zeigt sich außerdem, dass eine Differenzierung der makroskopisch unterschiedlichen Schlackentypen anhand ihrer chemischen Zusammensetzung nicht möglich ist.

Jedoch ermöglicht die Zusammensetzung der vollständig aufgeschmolzenen Bereiche in den Schlacken eine Abschätzung der Schmelztemperaturen. Demnach wurden die Schlacken in einem Temperaturbereich von ca. 1150–1300° C gebildet.

#### 6.5.1.4 Mineralchemische Zusammensetzung der Schlackenphasen

Die mit dem Lichtmikroskop bestimmten Schlackenphasen wurden hinsichtlich ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung mittels Rasterelektronenmikroskop und Röntgenmikroanalyse genauer untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Folgenden für die einzelnen Phasen vorgestellt.

#### Olivine

Die chemische Zusammensetzung der Olivine in den Schlacken wurde im Rasterelektronenmikroskop mittels Punktanalysen bestimmt. Dabei wurden pro Probe mindestens fünf Messungen an verschiedenen Stellen durchgeführt, um eine repräsentative Aussage über die Variationsbreite der Olivinzusammensetzung in der Schlacke zu erhalten (Tab. A.5). Die von THALHAMMER/THALHAMMER<sup>80</sup> durchgeführten Untersuchungen mittels Elektronenstrahlmikrosonde<sup>81</sup> ergaben vergleichbare Ergebnisse (vgl. Tab. A.18).

<sup>80</sup> THALHAMMER/THALHAMMER 2006.

<sup>81</sup> Die Untersuchungen erfolgten mit einer ARL-SMQ Elektronenstrahlmikrosonde (EMS), ausgerüstet mit einem LINK 860 EDS.



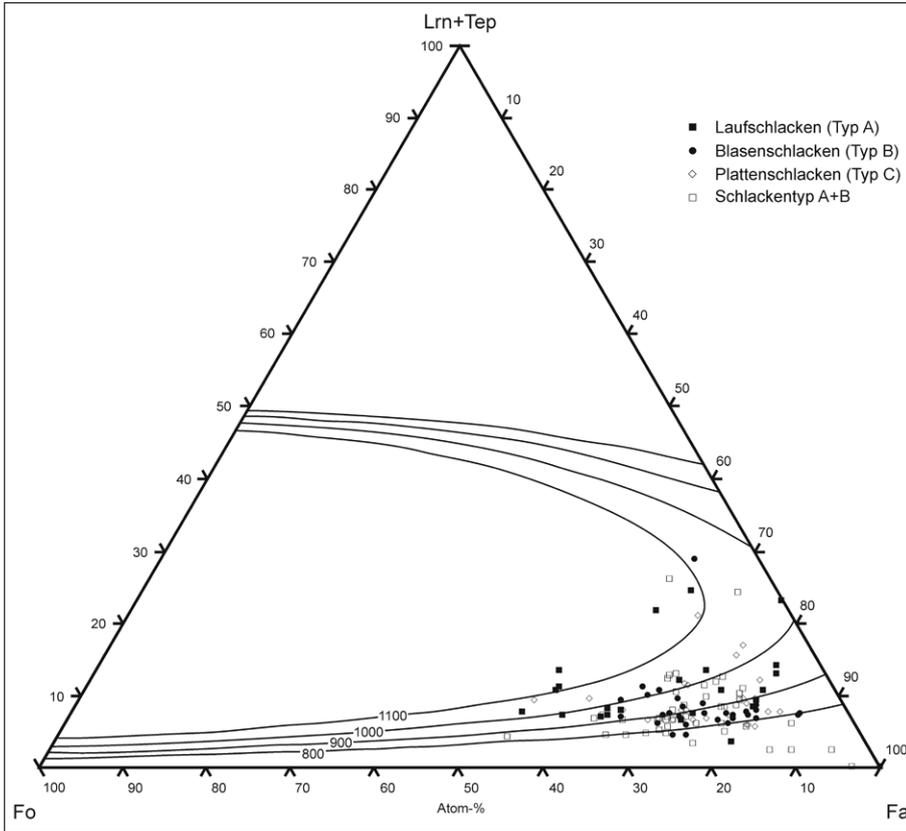


Abb. 6.31: Darstellung der Zusammensetzung von Olivinen verschiedener Schlackentypen im System Forsterit (Fo)-Fayalit (Fa)-Larnit (Lrn) + Tephroit (Tep) mit eingetragenen Isothermen. Nach DAVIDSON/MUKHOPADHYAY 1984, 261

Fig. 6.31. Chemical composition of olivines in the different slag types plotted in the system forsterite (Fo)-fayalite (Fa)-larnite (Lrn) + tephroite (Tep) with indicated isotherms. After DAVIDSON/MUKHOPADHYAY 1984, 261

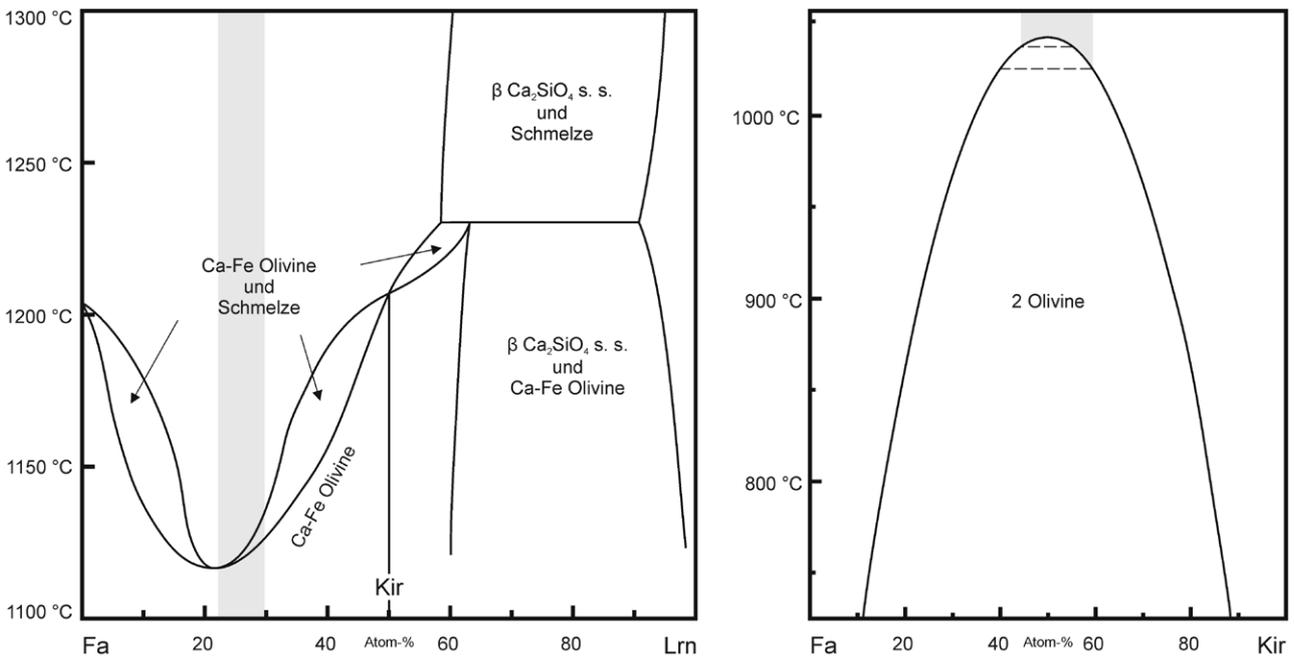


Abb. 6.32: Phasendiagramm des Systems Fayalit (Fa)-Larnit (Lrn) modifiziert nach MUKHOPADHYAY/LINDSLEY 1983, 1091-1092. Die Zusammensetzung der untersuchten kalziumreichen Schlackenolivine (grau) liegt nahe dem Schmelzminimum zwischen Fayalite und Kirschsteinit (Kir). Die Entstehung dieser Olivine ist auf die Mischungslücke des Systems (rechts) zurückzuführen.

Fig. 6.32. Phase diagram of the system fayalite (Fa)-larnite (Lrn) modified after MUKHOPADHYAY/LINDSLEY 1983, 1091-1092. The composition of the investigated calcium-rich olivines (grey) is near the melting minimum between fayalite and kirschsteinite (Kir). These olivines form due to the immiscibility of the system (right).

In den meisten Schlacken aus allen Bereichen des Schmelzplatzes war unter dem Mikroskop zu erkennen, dass die Olivinkristalle zoniert aufgebaut sind. In Abbildung 6.33 ist ein mittels EDX aufgenommenes Linienprofil eines zonierten Olivinkris-

talls dargestellt. Dabei zeigt sich neben den Unterschieden in den Hauptkomponenten FeO und MgO eine Anreicherung von CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und K<sub>2</sub>O in den Randbereichen.

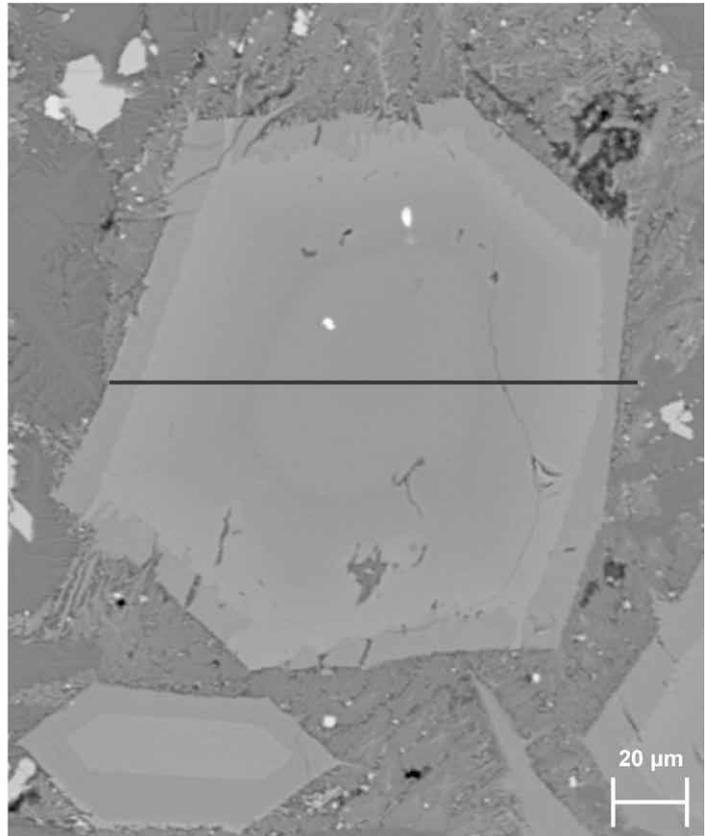
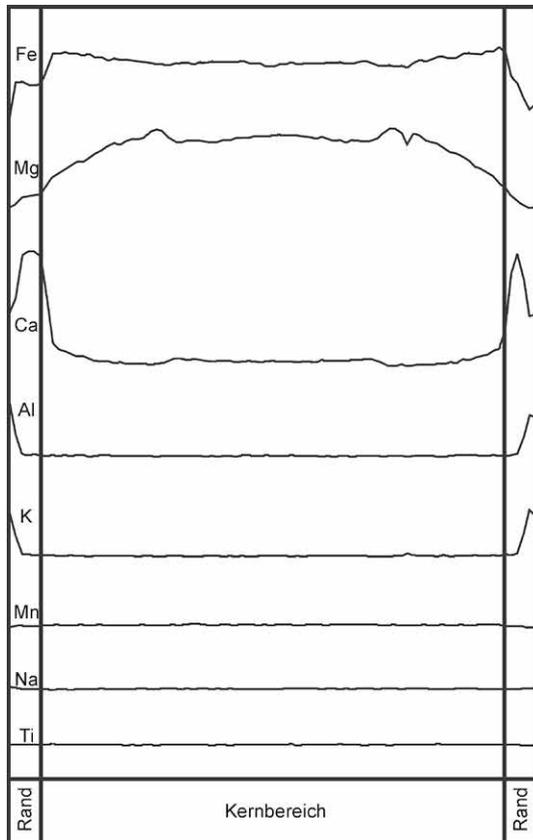


Abb. 6.33: EDX-Linienprofil durch einen zonierten Olivin (Probe MA-092853, FNr. 1570, Vorplatz Doppelofenanlage 1/2). Im Kernbereich zeigt sich eine hohe Konzentration an FeO und MgO, während im Randbereich eine Anreicherung von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO und K<sub>2</sub>O zu beobachten ist.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.33. EDX-line-scan through a zoned olivine (sample MA-092853, FNr. 1570, area in front of double furnace 1/2). The core contains a high concentration of FeO and MgO, whereas an enrichment of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO and K<sub>2</sub>O can be detected at the edge of the olivine.

Graphic: Steffen Kraus

### Klinopyroxene

Klinopyroxene treten als Nebenbestandteile vorwiegend in Blasen- und Laufschlacken auf sowie in Schlacken vom Typ A+B. In der Regel kristallisieren sie nach der Ausbildung der Olivine. Die Analyse der chemischen Zusammensetzung der Klinopyroxene (Tab. A.6) ergab, dass es sich hierbei ausschließlich um kalzium- und eisenreiche Pyroxene handelt. Die von THALHAMMER/THALHAMMER<sup>86</sup> durchgeführten Untersuchungen mittels Elektro-

nenstrahlmikrosonde ergaben vergleichbare Ergebnisse (vgl. Tab. A.19). Aufgrund der Tschermak-Substitution können bis zu 7 Gew.-% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eingebaut sein.

Die chemische Zusammensetzung der Pyroxene liegt entsprechend dem Mg- bzw. Fe-Gehalt zwischen Augit und Hedenbergit mit Schwerpunkt bei Hedenbergit (Abb. 6.34). Auffallend ist, dass einige Projektionspunkte zu weit in der Wollastonitecke liegen, was darauf zurückzuführen ist, dass ein Teil

<sup>86</sup> THALHAMMER/THALHAMMER 2006.

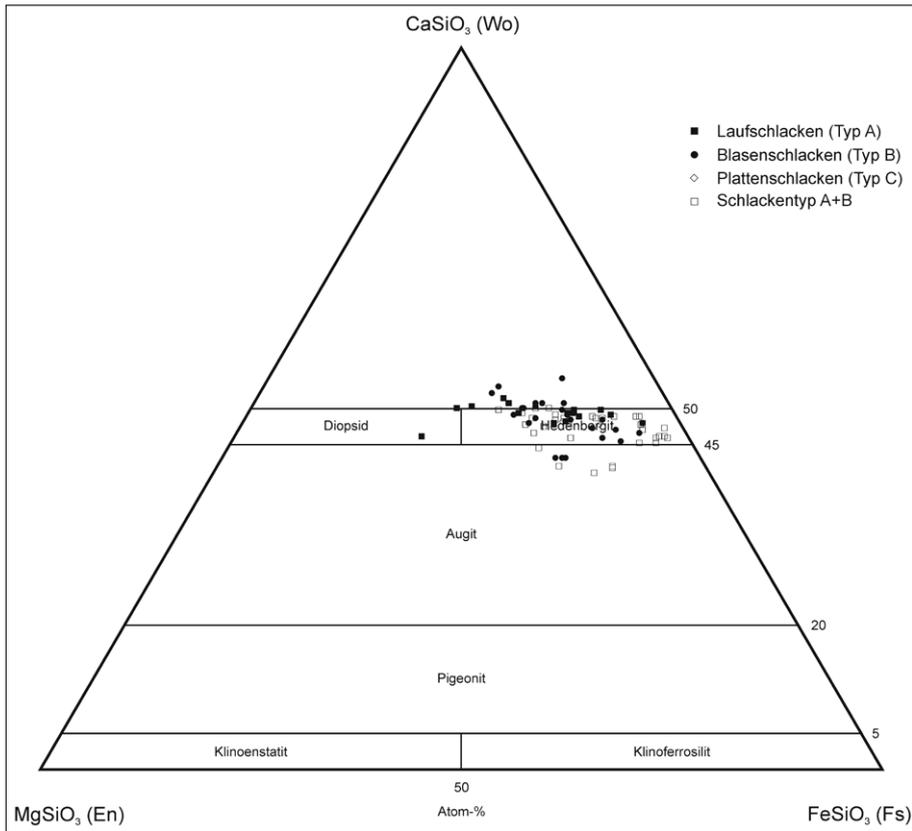


Abb. 6.34: Darstellung der Zusammensetzung von Klinopyroxenen verschiedener Schlackentypen im System  $\text{MgSiO}_3$  (En)- $\text{CaSiO}_3$  (Wo)- $\text{FeSiO}_3$  (Fs).

Nach MORIMOTO 1989, 150

Fig. 6.34. Chemical composition of clinopyroxenes of the different slag types plotted in the system  $\text{MgSiO}_3$  (En)- $\text{CaSiO}_3$  (Wo)- $\text{FeSiO}_3$  (Fs).

After MORIMOTO 1989, 150

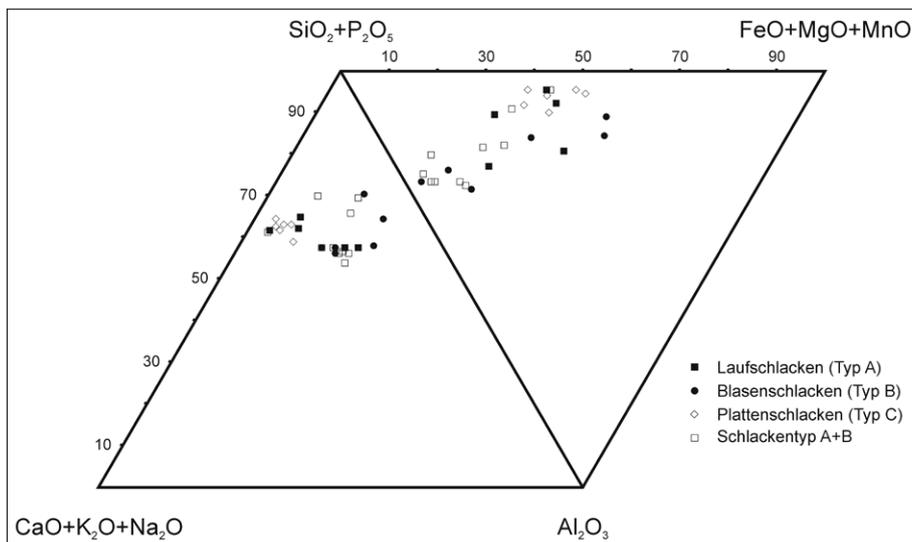


Abb. 6.35: Darstellung der Mittelwerte der Glasanalysen verschiedener Schlackentypen in den Systemen  $\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5-\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{SiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}+\text{MnO}+\text{MgO}$ .

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.35. Chemical composition of glasses in the different slag types plotted in the systems  $\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5-\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2+\text{P}_2\text{O}_5-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}+\text{MnO}+\text{MgO}$ .

Graphic: Steffen Kraus

des Kalziums an die Tschermak-Komponente ( $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ ) gebunden ist. Die Tschermak-Komponente führt dabei zu einer Verschiebung der thermischen Stabilität des Klinopyroxens. Nach BOWEN u. a.<sup>87</sup> ist reiner Hedenbergit nur bei Temperaturen

unter  $965^\circ\text{C}$  stabil, während aluminiumhaltiger Hedenbergit schon bei deutlich höheren Temperaturen kristallisiert<sup>88</sup>. Die Kristallisationstemperatur in den untersuchten Schlacken konnte jedoch nicht festgestellt werden.

<sup>87</sup> BOWEN u. a. 1933, 217.

<sup>88</sup> KUSHIRO 1960, 553.

### Glasphasen

In den meisten untersuchten Schlacken ist die ursprünglich glasige Matrix nicht mehr erhalten. Sie zeigt verbreitet Rekristallisationserscheinungen und liegt als feinkörniges Gemisch aus verschiedenen Mineralphasen vor, welche sich jedoch aufgrund ihrer geringen Korngröße nicht näher bestimmen lassen. Für die Untersuchungen wird daher dieses Gemisch aus Glas und kryptokristalliner Matrix als „Glasphase“ angesprochen. Hauptbestandteil dieser Gläser ist  $\text{SiO}_2$  mit Gehalten zwischen 30 und 65 Gew.-% (Tab. A.7). Die wichtigsten Nebenbestandteile sind  $\text{FeO}$  (3–45 Gew.-%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (3–25 Gew.-%),  $\text{CaO}$  (ca. 15 Gew.-%) und  $\text{K}_2\text{O}$  (ca. 10 Gew.-%). Die Untersuchungen zeigen, dass die Glasphasen in den Lauf- und Blasenschlacken sowie in den Schlacken vom Typ A+B eine starke Variabilität mit einer Tendenz zu einer eisen- und aluminiumreichen Zusammensetzung aufweisen (Abb. 6.35). Plattenschlacken besitzen dagegen eine kalziumreiche und aluminiumarme Zusammensetzung.

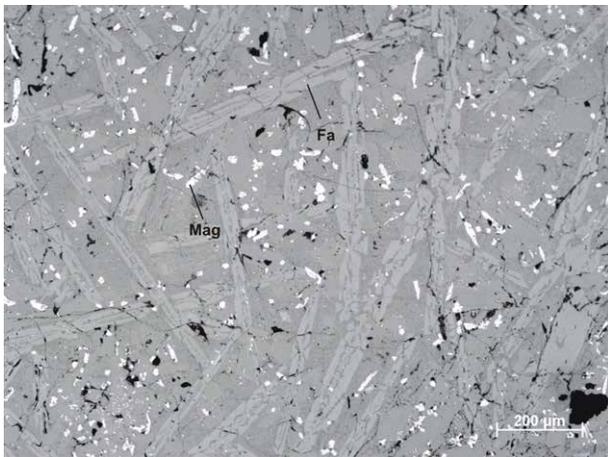


Abb. 6.36: Feinkörniger Magnetit (Mag) in einer Schlacke vom Typ A+B (Probe MA-092816, FNr. 2614, Halde 2, Schicht 3) (Fa = Fayalit).

Auflichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.36. Fine-grained magnetite (Mag) in a type A+B slag (sample MA-092816, FNr. 2614, slag dump 2, layer 3) (Fa = fayalite).

Incident light image, photo: Steffen Kraus

### Spinelle

Die untersuchten Schlacken enthalten neben silikatischen Phasen verschiedene komplex zusammengesetzte Spinelle. Aufgrund ihres Auftretens werden die Spinelle wie folgt unterschieden. Zum einen handelt es sich um feinkörnige, hypidiomorph bis xenomorph ausgebildete Spinelle, die innerhalb der glasigen, teilweise rekristallisierten Matrix zwischen den silikatischen Hauptmineralphasen auftreten. Zu dieser Gruppe werden auch grobkörnige, meist idiomorphe, skelettartige Spinelle gezählt. Es handelt sich ausschließlich um Magnetite mit bis zu 4 Gew.-%  $\text{MgO}$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (vgl. Tab. A.8). Die Anteile an  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$  und  $\text{CaO}$  liegen im Mittel unter 2 Gew.-%. In einigen Proben wurden sehr Cu-reiche Spinelle mit bis zu 5,5 Gew.-% Cu analysiert. Die Gehalte an  $\text{SiO}_2$  betragen durchschnittlich 1,2 Gew.-%, was auf Verunreinigungen durch Silikate oder auf den Einbau von  $\text{SiO}_2$  in die Spinellstruktur zurückzuführen ist. Diese Spinelle sind vermutlich im Verlauf der Schlackenbildung aus der Restschmelze kristallisiert.

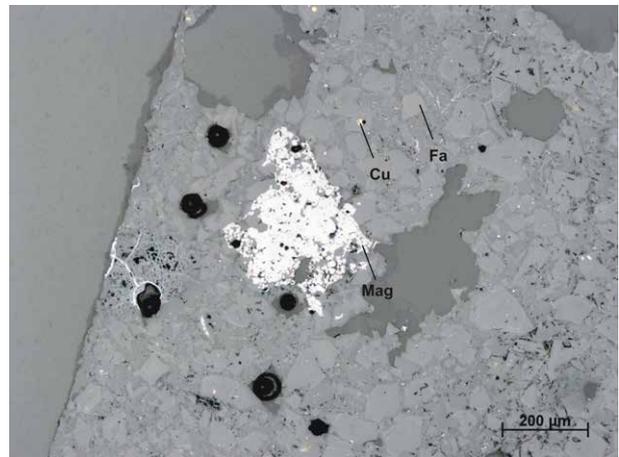


Abb. 6.37: Magnetitagglomerat in einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-092828, FNr. 258, Röstbett 1). Die Magnetitkristalle (Mag) sind dicht zusammengesintert, teilweise können noch einzelne Kristalle identifiziert werden (Cu = metallisches Kupfer, Fa = Fayalit).

Auflichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.37. Agglomeration of magnetite in a type B slag (sample MA-092828, FNr. 258, roasting hearth 1). Magnetite is densely sintered, partially single crystal can be identified (Cu = metallic copper, Fa = fayalite).

Incident light image, photo: Steffen Kraus

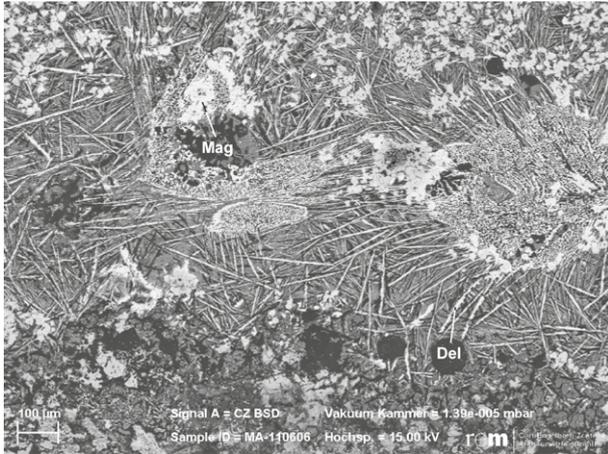


Abb. 6.38: Rückstreuerelektronenbild von Delafossitnadeln (Del) neben kupferhaltigen Magnetit (Mag) in einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-110606, FNr. 1609, Röstbett 3).

Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.38. Backscattered electron image of delafossite needles (Del) and copper-containing magnetite (Mag) in a type B slag (sample MA-110606, FNr. 1609, roasting hearth 3).

Photo: Steffen Kraus

Die zweite Gruppe besteht aus Spinellaggregaten, die nicht homogen verteilt, sondern meist lokal konzentriert sind. Es handelt sich hierbei überwiegend um Magnesioferrite oder Magnetit-Magnesioferrit-Agglomerate. Der MgO-Gehalt reicht bis 30 Gew.-%. Die Anteile  $Al_2O_3$ , MnO und  $SiO_2$  liegen im Mittel unter 2 Gew.-% und die von  $TiO_2$  und CaO unter 0,5 Gew.-%. Bei diesen Agglomeraten handelt es sich vermutlich um unaufgeschmolzene Chargenrelikte.

#### Delafossit

Delafossit ist eine typische Phase in kupferreichen Schlacken, die unter stark oxidierenden Bedingungen entstanden sind.<sup>89</sup> In den untersuchten Schlacken wurde er nur in der Probe einer Blasenschlacke (MA-110606, FNr. 1609) nachgewiesen (Abb. 6.38). In Fragmenten von verschlackter Ofenwandung ist das Mineral häufiger zu finden. Die Delafossite sind idiomorph nadelig zwischen den Spinellen ausgebildet. Sie lassen daher auf einen Anstieg des Sauerstoffpartialdruckes während der Spätphase der Kristallisation schließen. Ein Grund dafür könnte z. B. die Abkühlung unter Luftzufuhr sein.

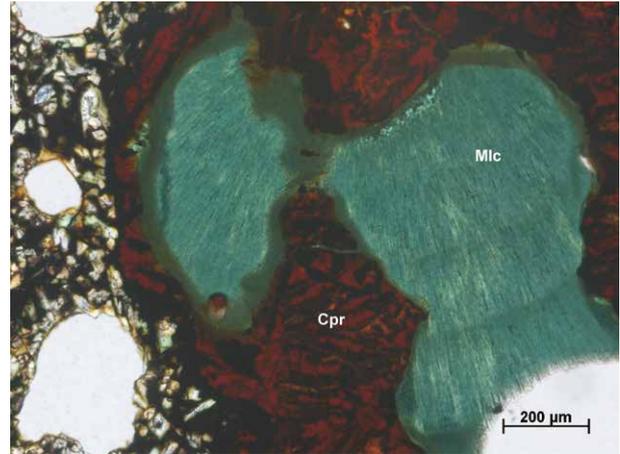


Abb. 6.39: Malachiteinschluss (Mlc) umgeben von Cuprit (Cpr) in einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-092860, FNr. 3242, Vorplatz Doppelofenanlage 9/10).

Durchlichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.39. Malachite (Mlc) surrounded by cuprite (Cpr) in a type B slag (sample MA-092860, FNr. 3242, area in front of double furnace 9/10).

Transmitted light image, photos: Steffen Kraus

#### Cuprit

Cuprit tritt vor allem in Blasenschlacken und Schlacken vom Typ A+B auf. Er ist ein Zersetzungsprodukt von im Erz vorhandenen sekundären Kupfermineralen und umgibt deren Einschlüsse in den Schlacken (Abb. 6.39). Demnach entsteht Cuprit als Übergangsphase bei der Reduktion der Erze zu metallischem Kupfer.

#### Sulfidische Cu/Fe-Einschlüsse

Bei der Verhüttung sulfidischer Kupfererze werden neben metallischem Kupfer auch Kupfersteine oder Matte produziert. Diese Neben- oder Zwischenprodukte bestehen aus gemischten Cu/Fe-Sulfiden, welche Rückschlüsse sowohl auf Art und Zusammensetzung der verwendeten Erze als auch die angewandten Verhüttungstechniken ermöglichen. Je nach Kupfergehalt werden dabei Roh-, Konzentrations- (Cu/Fe-Sulfide) und Spursteine (reine Cu-Sulfide) unterschieden. Die in den Schlacken gefundenen Kupfersteinphasen liegen meist als runde bis tropfenförmige Einschlüsse vor (vgl. Abb. 6.23) und können teilweise selbst Schlackeneinschlüsse enthalten. Diese Phasen sind überwiegend bronzefarben.

<sup>89</sup> HAUPTMANN 1985, 59.

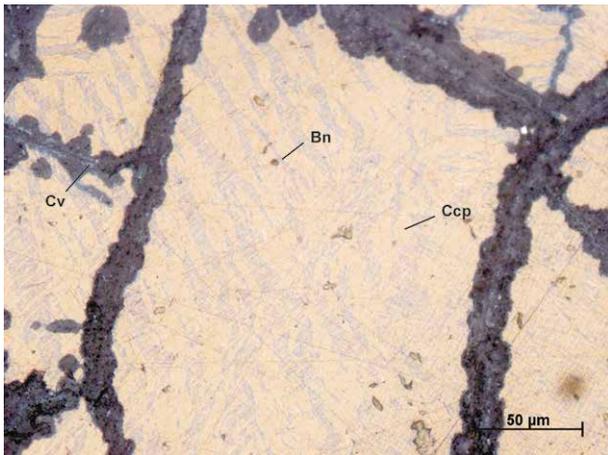


Abb. 6.40: Detailaufnahme eines Kupfersteins (Probe MA-091511, FNr. 2267, Halde 2, Schicht 17). Er besteht aus Chalkopyrit (Ccp) mit dunkleren Bornitentmischungslamellen (Bn). In Rissen ist Covellin (Cv) als Verwitterungsprodukt ausgebildet.

Auflichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.40. Detail of a matte inclusion (sample MA-091511, FNr. 2267, slag dump 2, layer 17).

It consists of chalcopyrite (Ccp) and lamellar segregation of bornite (Bn). In some cracks covellite (Cv) has formed due to weathering.

Incident light image, photo: Steffen Kraus

bis messinggelb, was auf einen höheren Eisengehalt hindeutet. Stellenweise sind die Kupfersteine durch Verwitterung in Oxide, Karbonate und Sulfate umgewandelt. Eine Abtrennung dieser Komponenten für die chemische Analyse war nicht möglich. Daher zeigen einige untersuchte Kupfersteineinschlüsse zu hohe Eisen- bzw. zu niedrige Schwefelgehalte (Tab. A.9). Die auftretenden Phasen sind Chalkopyrit, Bornit und Chalkosin mit variierenden Gehalten an Digenit und Covellin sowie metallisches Kupfer.

In den Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 lassen sich drei verschiedene Arten von Kupfersteineinschlüssen unterscheiden. Die erste Gruppe, die den größten Teil ausmacht, besteht aus einem charakteristischen komplexen Lamellensystem von Chalkopyrit und Bornit (Abb. 6.40). Abhängig von ihrer Zusammensetzung besteht ihre Matrix aus Bornit bzw. Chalkopyrit mit lammellenartigen Chalkopyrit- bzw. Bornitentmischungen. In Rissen sind häufig Covellin, Digenit oder Chalkosin als Verwitterungsprodukte entwickelt. Die zweite

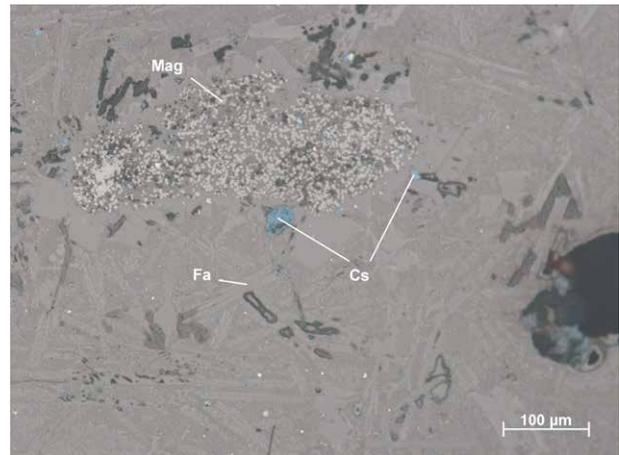


Abb. 6.41: Kupferreiche Kupfersteine (Cs) in einer Plattenschlacke (Typ C) (Probe MA-113463, FNr. 207, Vorplatz Doppelofenlage 1/2). Sie bestehen hauptsächlich aus Chalkosin (Fa = Fayalit, Mag = Magnetit).

Auflichtaufnahme, Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.41. Copper-rich matte inclusions (Cs) of a type C slag (sample MA-113463, FNr. 207, area in front of doublefurnace 1/2). They consist mainly of chalkosin (Fa = fayalite, Mag = magnetite).

Incident light image, photos: Steffen Kraus

Gruppe von Kupfersteinen ist kupferreicher und besitzt oft eine dunkelblaue Farbe (Abb. 6.41). Sie bestehen überwiegend aus Chalkosin, Digenit und Covellin, vereinzelt mit Bornitentmischungslamellen. In einzelnen Schlacken wurden außerdem eisenreiche Kupfersteineinschlüsse nachgewiesen. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Chalkopyrit und kupferhaltigen Pyrrhotin, in dem an Rissen Chalkopyrit ausgebildet ist.

Die chemische Zusammensetzung der Kupfersteineinschlüsse wurde durch Flächenanalysen mittels EDX ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle A.9 aufgelistet. Neben den Hauptelementen Kupfer, Eisen und Schwefel konnten nur geringe Anteile von Antimon nachgewiesen werden, alle anderen Elemente lagen unterhalb der Nachweisgrenze von ca. 0,1 Gew.-%. Im ternären System Cu-Fe-S liegen die Kupfersteineinschlüsse oberhalb der Mischungslücke (Abb. 6.42). Einige Projektionspunkte liegen innerhalb der Mischungslücke. Dies ist allerdings nur auf die Unsicherheit (Messpräzision) der quantitativen Analyse zurückzuführen. Anhand der Zusammensetzung der Kupfersteineinschlüsse ist es

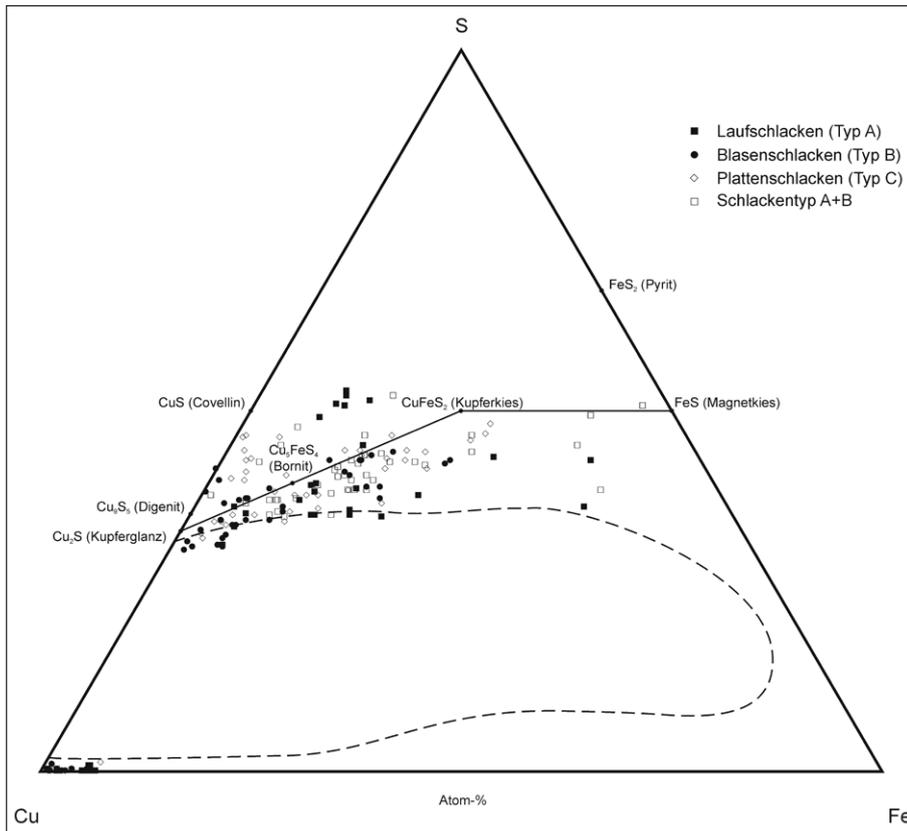


Abb. 6.42: Darstellung der Kupfersteinanalysen verschiedener Schlackentypen im System Cu-Fe-S.

Nach SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

Fig. 6.42. Composition of matte inclusions of the different slag types plotted in the system Cu-Fe-S.

After SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

möglich, Schlacken unterschiedlichen Prozessstufen zuzuordnen. So würden Schlacken, die in einem ersten Schmelzprozess entstanden, bei dem Erz unterschiedlicher Zusammensetzung geschmolzen wurde, eine starke Variationsbreite mit einer Tendenz zu eisenreichen Steinen (Rohsteine) aufweisen. Schlacken, die während eines späteren Schmelzgangs gebildet wurden, bei dem Kupferstein als Produkt entstand, zeigen dagegen einen Trend zu kupferreichen Steinen (Spursteine). Schlacken aus dem letzten Verhüttungsschritt, dem Schwarzkupferschmelzen, zeigen ausschließlich kupferreiche Steine und metallisches Kupfer. Die Zusammensetzung der untersuchten Einschlüsse zeigt für alle Schlackentypen eine starke Variationsbreite mit der Tendenz zu kupferreichen Steinen. Außerdem wurden in allen Schlackentypen neben Kupfersteineinschlüssen auch Einschlüsse von metallischem Kupfer nachgewiesen (vgl. Tab. A.9). Daher ist zu vermuten, dass die Schlacken aus einem späteren Schmelzgang stammen. Es ist jedoch nicht möglich, die verschiedenen Schlackentypen anhand ihrer Cu/Fe-Sulfide zu

unterscheiden bzw. verschiedenen Prozessstufen zuzuordnen.

Aufgrund der Zusammensetzung der Kupfersteineinschlüsse ist darüber hinaus davon auszugehen, dass es sich bei den Ausgangserzen nicht um reinen Chalkopyrit, sondern um verschiedene Cu/Fe-Sulfide mit einer Zusammensetzung entlang der Linie  $\text{CuFeS}_2\text{-FeS}_2$  handelt.

#### 6.5.1.5 Mößbauerspektroskopische Untersuchungen

Erste mößbauerspektroskopische Untersuchungen an Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 wurden bereits von ADETUNJI u. a.<sup>90</sup> durchgeführt. Danach besitzen Blasenschlacken ein reines Fayalit-Spektrum während Plattenschlacken ein Fayalit-Magnetit-Spektrum aufweisen. Den erhöhten Magnetitgehalt in den Plattenschlacken führen sie auf ein Abstecken der Schlacke und die oxidischen Bedingungen während des raschen Abkühlens außerhalb des Ofens zurück. Die Blasenschlacken kühlten dagegen innerhalb des Ofens langsamer ab und lassen daher eher Rückschlüsse auf die Bedingungen während der Schlackenbildung zu.<sup>91</sup>

<sup>90</sup> ADETUNJI u. a. 1996.

<sup>91</sup> ADETUNJI u. a. 1996, 771.

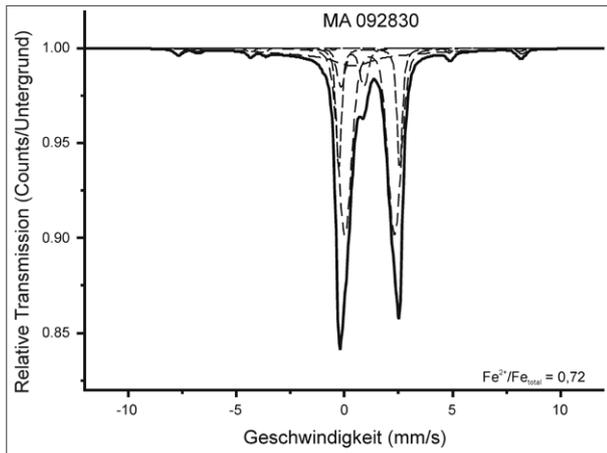


Abb. 6.43: Mößbauerspektrum vom Typ 1 einer Blasenschlacke (Typ B) (Probe MA-092830, FNr. 981, Röstbett 2). Es handelt sich hier um ein reines Fayalit/Pyroxen-Spektrum mit geringen Gehalten an Magnetit.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.43. Mößbauer-spectrum type 1 of a type B slag (sample MA-092830, FNr. 981, roasting hearth 2). It is comparable with pure fayalite/pyroxene with a small amount of magnetite.

Graphic: Steffen Kraus

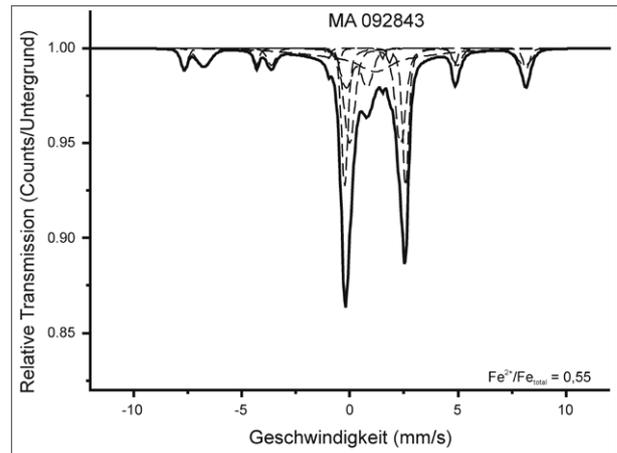


Abb. 6.44: Mößbauerspektrum vom Typ 2 einer Schlacke vom Typ A+B (Probe MA-092843, FNr. 1200, Röstbett 7). Es zeigt ein Fayalit/Pyroxen-Magnetit-Spektrum.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.44. Mößbauer-spectrum type 2 of a type A+B slag (sample MA-092843, FNr. 1200, roasting hearth 7). It is comparable with fayalite/pyroxene and magnetite.

Graphic: Steffen Kraus

Im Rahmen dieser Arbeit wurden lediglich Blasen- und Laufschlacken mößbauerspektroskopisch untersucht. Tabelle A.16 enthält die Anteile der eisenhaltigen Schlacken bezogen auf den Gesamteisengehalt. Zudem sind der Tabelle die  $\text{Fe}^{2+}$ - und  $\text{Fe}^{3+}$ -Gehalte zu entnehmen. Das daraus ermittelte Verhältnis von  $\text{Fe}^{2+}$  zu  $\text{Fe}_{\text{total}}$  ist in Tabelle A-17 aufgeführt. Alle Schlacken enthalten neben Fayalit und Pyroxen auch unterschiedliche Gehalte an Magnetit sowie eine unbestimmte  $\text{Fe}^{3+}$ -haltige Komponente, wobei es sich vermutlich um die im Glas gebundenen Eisenanteile handelt. Einige Schlacken aus den Röstbetten besitzen zudem geringe Mengen an Hämatit. Die ermittelten Mößbauerspektren der untersuchten Schlacken lassen sich demnach in zwei Typen einteilen.

Bei dem ersten Typ handelt es sich um ein Fayalit/Pyroxen-Spektrum (Abb. 6.43) mit sehr geringen Anteilen an Magnetit von unter 4 Gew.-%. Wie bereits die Analysen von ADETUNJI u. a.<sup>92</sup> vermuten ließen, wurden Spektren des ersten Typs

ausschließlich in Blasenschlacken festgestellt. In diesen Schlacken tritt Magnetit nur feinstverteilt in den Zwischenräumen der silikatischen Phasen auf, wie die lichtmikroskopischen Untersuchungen zeigen.

Bei dem zweiten Spektrentyp handelt es sich um Fayalit/Pyroxen-Magnetit-Spektren (Abb. 6.44). Entgegen der Annahme von ADETUNJI u. a.<sup>93</sup> zeigen die Untersuchungen, dass dieser Spektrentyp auch in Schlacken vom Typ A+B und demzufolge auch in Lauf- und Blasenschlacken auftreten kann. Einige untersuchte Schlacken, vorwiegend die aus den Röstbetten, enthalten neben Magnetit auch geringe Anteile an Hämatit. Die Bildung von Hämatit ist auf die wiederholte Erhitzung und den damit einhergehenden stark oxidierenden Bedingungen beim Rosten der Erze zurückzuführen. Diese Schlacken wurden für die Bestimmung des Sauerstoffpartialdrucks nicht berücksichtigt, da daraus keine Rückschlüsse auf die Bedingungen im Ofen während der Schlackenbildung gezogen werden können.

<sup>92</sup> ADETUNJI u. a. 1996.

<sup>93</sup> ADETUNJI u. a. 1996.

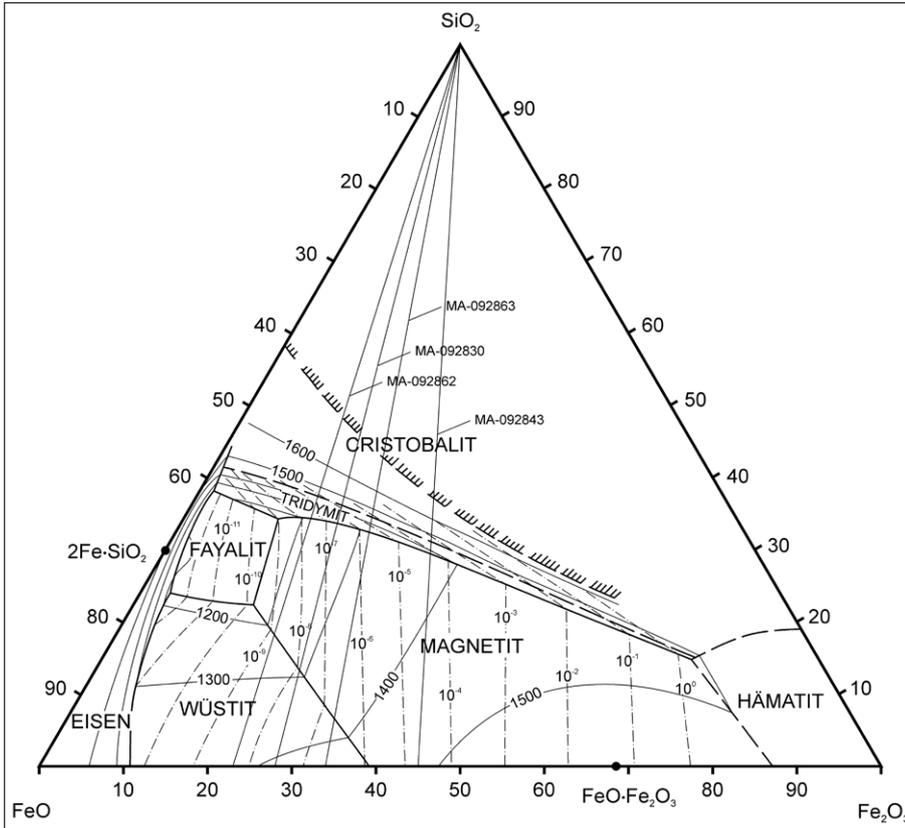


Abb. 6.45: Das System  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  (modifiziert nach MUAN 1955, 970) mit eingezeichneten Geraden für die untersuchten Schlacken.

Fig. 6.45. The system  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  (modified after MUAN 1955, 970) with indicated lines of the analysed slags.

#### 6.5.1.6 Abschätzung der Reduktions-/Oxidationsverhältnisse

Die Reduktions-/Oxidationsverhältnisse eines Schmelzofens hängen in erster Linie von seiner Form und Größe, der Füllhöhe, der Brennstoffmengen und der Menge der eingebrachten Luft ab. In den bronzezeitlichen Schmelzofen wurde ausschließlich mit Holz oder Holzkohle als Brennstoffmaterial verhüttet. Der Sauerstoffpartialdruck ist daher primär abhängig vom  $\text{CO/CO}_2$ -Verhältnis, welches wiederum durch das Boudouard-Gleichgewicht reguliert wird. Demnach lassen sich anhand der Bestimmung des Sauerstoffpartialdrucks Rückschlüsse auf das  $\text{CO/CO}_2$ -Verhältnis ziehen, wodurch Aussagen über die Prozesstechnik ermöglicht werden. Eine Möglichkeit den Sauerstoffpartialdruck abzuschätzen besteht in der Bestimmung des  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ -Verhältnisses durch mößbauer-spektroskopische Untersuchung der Schlacken.

Nach dem von MOESTA u. a.<sup>94</sup> vorgeschlagenen Verfahren werden die ermittelten  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ -Verhältnisse in das von MUAN<sup>95</sup> entwickelte ternäre Schmelzdiagramm des Systems  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  eingetragen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich der durch die pauschalchemischen Analysen bestimmte  $\text{SiO}_2$ -Gehalt aus der  $\text{SiO}_2$ -Konzentration der Schmelze und den unaufgeschmolzenen Quarzeinschlüssen zusammensetzt und deshalb nicht direkt zur Darstellung im System  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  verwendet werden kann. Daher werden die ermittelten Verhältnisse als Gerade von der  $\text{SiO}_2$ -Spitze zu den entsprechenden Punkten auf der  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3$ -Achse eingezeichnet (Abb. 6.45). Die so bestimmten Sauerstoffpartialdrücke liegen zwischen  $10^{-4}$  und  $10^{-9}$  bar. Jedoch ist die Abschätzung der Sauerstoffpartialdrücke anhand des ternären Systems  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  als fraglich zu betrachten, da sich die Isobaren auf die Zusammensetzung der Schmelze und nicht aber auf die pauschalchemische Zusammensetzung beziehen.

<sup>94</sup> MOESTA u. a. 1984, 103.

<sup>95</sup> MUAN 1955, 970.

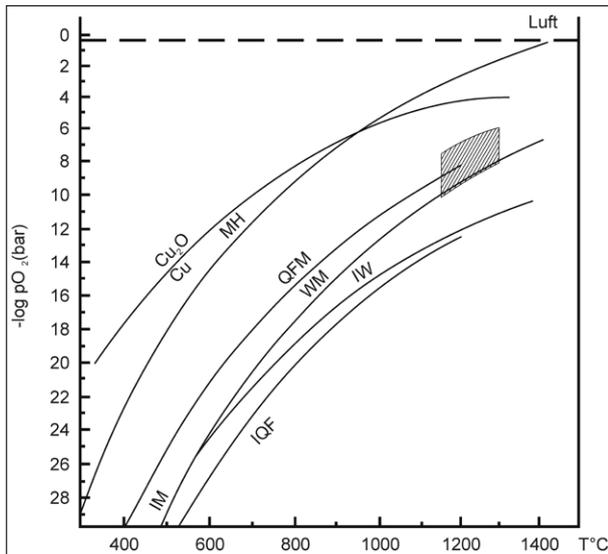


Abb. 6.46: Abschätzung der Sauerstoffpartialdruck- und Temperaturbereiche der eisenreichen Kupferschlacken vom Kupferschmelzplatz S1 im  $pO_2/T$ -Diagramm der Systeme Fe-Si-O und Cu-O (modifiziert nach HAUPTMANN 1985, 68). IQF = Eisen + Quarz - Fayalit, IM = Eisen - Magnetit, IW = Eisen - Wüstit, WM = Wüstit - Magnetit, QFM = Fayalit - Quarz + Magnetit, MH = Magnetit - Hämatit.

Fig. 6.46. Estimation of the oxygen partial pressure and temperature of the iron-rich copper slags from the Copper Smelting Site S1 in the system Fe-Si-O and Cu-O (modified after HAUPTMANN 1985, 68). IQF = iron + quartz - fayalite, IM = iron - magnetite, IW = iron - wustite, WM = wustite - magnetite, QFM = fayalite - magnetite + quartz, MH = magnetite - hematite.

Eine weitere Möglichkeit für die Bestimmung des Sauerstoffpartialdrucks ergibt sich aus dem Phasenbestand und dem Gefüge der Schlacken. Für die eisenreichen Schlacken können die während der Verhüttung bestehenden Sauerstoffpartialdrücke durch eine Projektion in das System Fe-Si-O (Abb. 6.46) abhängig von der Temperatur grob abgeschätzt werden. Bei den untersuchten Schlacken handelt es sich überwiegend um Fayalit- und Fayalit-Pyroxen-Schlacken mit geringen Gehalten an Magnetit. Die Magnetite der Abkühlungsänderungen deuten auf eine rasche Abkühlung der Schlacke von ihrer Oberfläche her und spiegeln daher nicht die Redoxbedingungen während des Schmelzprozesses wider, ebenso wie die Magnetit-(Magnesioferrit-) Agglomerate, die als Chargenrelikte in den Schlacken auftreten. Die feinkörnigen Magnetite in den Zwickeln der Silikatphasen der Schlacken sind eindeutig als Spätkristallite einer Restschmelze zu bezeichnen, was vermuten lässt, dass die Reaktionsgrenze Fayalit-Magnetit + Quarz erst am Ende des Schmelzens während der Abkühlung der Schlacken überschritten wurde. Demnach lagen die Sauerstoffpartialdrücke während der Schlackenbildung in der Frühphase der Kristallisation unterhalb und in der Spätphase knapp oberhalb dieser Reaktionsgrenze. Für die aus der Zusammensetzung der Schlacken ermittelten Schmelztemperaturen von 1150–1300° C ergibt sich ein Bereich des Sauerstoffpartialdrucks von etwa  $10^{-6}$ – $10^{-10}$  bar.

## 6.5.2 Die Verschlackung der Ofenwände

Für die ausgegrabenen Schmelzöfen des Kupferschmelzplatzes S1 ist eine Verschlackung der Ofenwände nachgewiesen. Bei den untersuchten Proben handelt es sich einerseits um Steine der Ofenmauern, an denen sich auf der zum Ofeninneren gerichteten Seite eine Schlackenschicht gebildet hat (Ofensteine) und andererseits um Reste der verschlackten Lehmauskleidung (Ofenlehm) an den Innenwänden der Öfen. Daneben tritt eine Fundkategorie auf, die als „Schlackenhaut“ bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um die eigentliche Verschlackungsschicht der Ofenwände. An diesen Stücken finden sich nur selten noch Reste von gebranntem Lehm oder kleinere Steinstücke.<sup>96</sup>

### 6.5.2.1 Makroskopische Beurteilung

Der Großteil der hier untersuchten Ofensteine besteht hauptsächlich aus feinkörnigem Sandstein, welcher durch Hitze einwirkung oft blaugrau bis dunkelviolettblau verfärbt ist (Abb. 6.47). Daneben treten auch Quarzporphyr oder Quarzit auf (vgl. Tab. A.2). Die Verschlackung besitzt oberflächlich eine schwarze bis olivschwarze Färbung. Im Querschnitt zeigt sich eine olivgraue Färbung. Häufig sind sekundär gebildete Kupferminerale auf der Oberfläche zu beobachten. Die Dicke der Schlackenschicht beträgt durchschnittlich 3 mm.

<sup>96</sup> Siehe Beitrag KLEMM, Kap. 4, in diesem Band.



Abb. 6.47: Verschlackte Ofensteine vom Kupferschmelzplatz S1. (a) Probe MA-101390 (FNr. 4941, Ostwand Ofen 1), (b) Probe MA-101399 (FNr. 5476, Ostwand Ofen 2, ältere Phase), (c) Probe MA-101415 (FNr. 4489, Ostwand Ofen 5).

Fotos: Steffen Kraus

Fig. 6.47. Slagged furnace stones from the copper Smelting Site S1. (a) Sample MA-101390 (FNr. 4941, east wall furnace 1), (b) Sample MA-101399 (FNr. 5476, east wall furnace 2, older phase), (c) Sample MA-101415 (FNr. 4489, east wall furnace 5).

Photos: Steffen Kraus

Bei den untersuchten Ofenlehmproben handelt es sich überwiegend um rötlichbraun gebrannten Lehm, der mit einer bis 15 mm dicken Schlackenschicht bedeckt sein kann. Zwei Proben aus Ofen 3 weisen dabei mehrere abwechselnde Schichten aus Schlacke und Ofenlehm auf (Abb. 6.48). Daher ist davon auszugehen, dass die Öfen mehrfach verwendet und stellenweise repariert wurden. Die Schlackenschicht besitzt eine dunkelgraue bis oliv-schwarze Färbung, im Querschnitt erscheint sie olivgrau. In Porenhohlräumen sind außerdem sekundäre Kupferminerale ausgebildet.



Abb. 6.48: Verschlackter Ofenlehm (Probe MA-113468, FNr. 706, Ofen 3). Auf einer ersten Schlackenschicht folgt eine zweite Lehmschicht, die auf ihrer Oberfläche ebenfalls eine Verschlackung aufweist.

Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.48. Slagged furnace clay from the copper Smelting Site S1 (sample MA-113468, FNr. 706, furnace 3). On a first slag layer there is a second layer of clay followed by a second slag layer.

Photo: Steffen Kraus

Die ausgewählten Schlackenhautproben sind meist flache, kompakte Stücke mit einer schwarzen bis rötlich-schwarzen Färbung im Handstück (Abb. 6.49). Die meisten Stücke sind mit sekundär gebildeten Kupfermineralen auf ihrer sonst glatten Oberfläche besetzt. Auf der Unterseite können noch Reste von Ofensteinen oder Ofenlehm haften. Im Querschnitt zeigen sie eine dunkelgraue bis schwarze Färbung und ein poriges Gefüge mit kleineren Quarzbruchstücken. Die Dicke variiert zwischen 5 und 30 mm (vgl. Tab. A.2).



Abb. 6.49: Schlackenhautprobe (Probe MA-101406, FNr. 5155, Westwand Ofen 5).

Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.49. Slag lining sample (sample MA-101406, FNr. 5155, west wall furnace 5).

Photo: Steffen Kraus

### 6.5.2.2 Lichtmikroskopische und mikroanalytische Untersuchungen

Die lichtmikroskopischen Untersuchungen an den Schlackenhautproben sowie an den Verschlackungsschichten auf den Ofensteinen und den Ofenlehmproben ergaben keine signifikanten Unterschiede der Gefüge, wobei in den meisten untersuchten Proben eine beginnende Versinterung im Kontaktbereich von Verschlackung und Ofenwandmaterial zu beobachten ist (Abb. 6.50), was auf Temperaturen von über 1000° C hinweist. Das Gefüge der Ofenwandverschlackung besteht mikroskopisch hauptsächlich aus einer glasigen Matrix, die in Form von gelblichbraunen Flecken auftritt. Stellenweise ist eine beginnende Rekristallisation der Glasmatrix zu erkennen. Die Hauptkomponenten sind hypidiomorph bis idiomorph ausgebildete Spinelle (Abb. 6.51), die überwiegend eine magnetitische Zusammensetzung aufweisen (vgl. Tab. A.8). Außerdem sind sie sehr kupferhaltig und enthalten variable Gehalte an SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO und MnO.

Eine weitere wichtige Phase in den Ofenwandverschlackungen ist Delafossit. Die Delafossitkris-

talle sind stengelig bis nadelig ausgebildet und teilweise mit Spinell verwachsen (Abb. 6.52). Untergeordnet treten Cuprit sowie metallisches Kupfer in Form von rundlichen Tropfen auf (Abb. 6.53). Cuprit ist meist als feiner Saum um die Kupfertropfen ausgebildet, findet sich aber auch feinstverteilt in der Matrix. Sehr selten sind sulfidische Phasen in den Verschlackungen zu beobachten. Ihre Zusammensetzung liegt zwischen der von Chalkosin und Bornit (vgl. Tab. A.9).

Der Vergleich der Phasenverteilung der Ofenwandverschlackungen aus unterschiedlichen Höhen über der Ofensohle ermöglicht eine Unterscheidung von zwei Zonen innerhalb der Schmelzöfen. So zeigen die Ofenwandverschlackungen der Schmelzöfen 1, 2, 4 und 5 im unteren Bereich (bis zu einer Höhe von ca. 30 cm über der Ofensohle) eine Phasenvergesellschaftung von Magnetit und metallischem Kupfer sowie gelegentlich Kupferstein. Im oberen Bereich besitzen die Ofenwandverschlackungen eine Phasenvergesellschaftung aus Magnetit, metallischem Kupfer, Delafossit und Cuprit. Nach der von MOESTA/SCHLICK<sup>97</sup> entwickelten Methode lassen sich die auftretenden Phasenbezie-

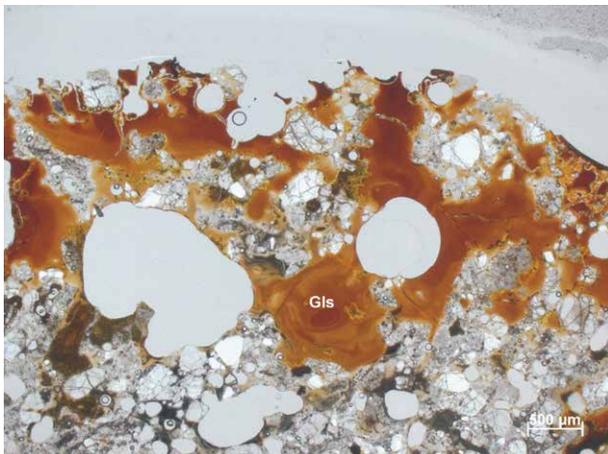


Abb. 6.50: Mikrogefüge der Verschlackung eines Ofensteins (Probe MA-101402, FNr. 5064, Westwand Ofen 4). Im Kontaktbereich von Verschlackung und Ofenfutter zeigt sich eine beginnende Versinterung (Gls = Glas). Durchlichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.50. Microstructure of a slagged furnace stone (sample MA-101402, FNr. 5064, west wall furnace 4). In the contact zone of the slagging and the stone an incipient sintering can be observed (Gls = glass).

Transmitted light image, photo: Steffen Kraus

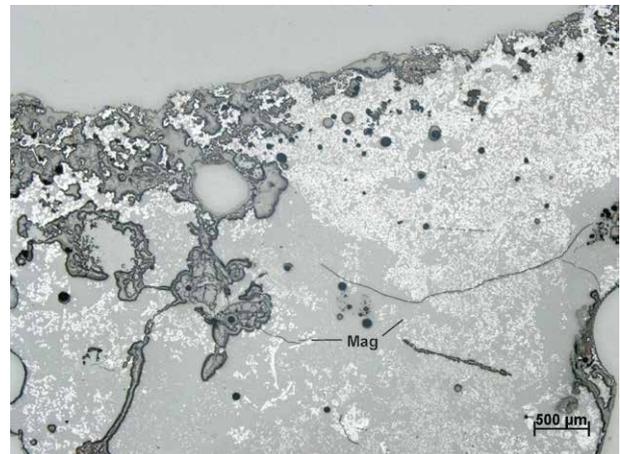


Abb. 6.51: Mikrogefüge der Verschlackung eines Ofensteins (Probe MA-101415, FNr. 4489, Ostwand Ofen 5) im Auflicht. Die im Durchlicht opaken Stellen lassen sich im Auflicht als Magnetit (Mag) identifizieren. Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.39. Malachite (Mlc) surrounded by cuprite (Cpr) in a type B slag (sample MA-092860, FNr. 3242, area in front of double furnace 9/10).

Photo: Steffen Kraus

<sup>97</sup> MOESTA/SCHLICK 1989, 11–13.

hungen mittels isothermer Cu-Fe-O-Zustandsdiagramme (Abb. 6.54) bestimmten Bereichen zuordnen. Diese Phasengebiete sind charakteristisch für definierte Sauerstoffpartialdrücke in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung. Für die untersuchten Ofenwandverschlackungen im unteren Bereich der Schmelzöfen ergibt sich aus der mikro-

skopisch bestimmten Phasenvergesellschaftung bei der abgeschätzten Temperatur von etwa 1200° C ein Sauerstoffpartialdruckbereich von 10<sup>-5</sup>-10<sup>-9</sup> bar. Für den oberen Bereich der Schmelzöfen liegt er zwischen 10<sup>-4</sup> und 10<sup>-6</sup> bar. Die höheren Partialdrücke lassen vermutlich auf die Verhältnisse im Ofen gegen Ende eines Schmelzvorganges schließen, als

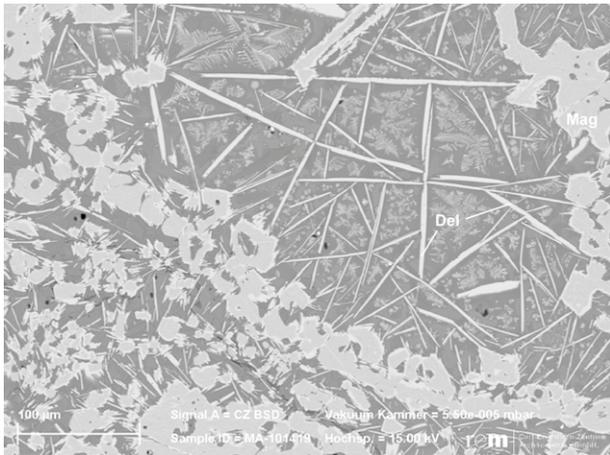


Abb. 6.52: Delafossitkristalle (Del) einer Ofenwandverschlackung (Probe MA-101419, FNr. 5267, Nordwand Ofen 5, ältere Phase). Teilweise sind sie mit kupferhaltigen Magnetit (Mag) verwachsen.

Rückstreuelektronenbild, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.52. Delafossite (Del) in a slag lining (sample MA-101419, FNr. 5267, north wall furnace 5, older phase). Partly fused with copper-containing magnetite (Mag). Backscattered electron image, photo: Steffen Kraus

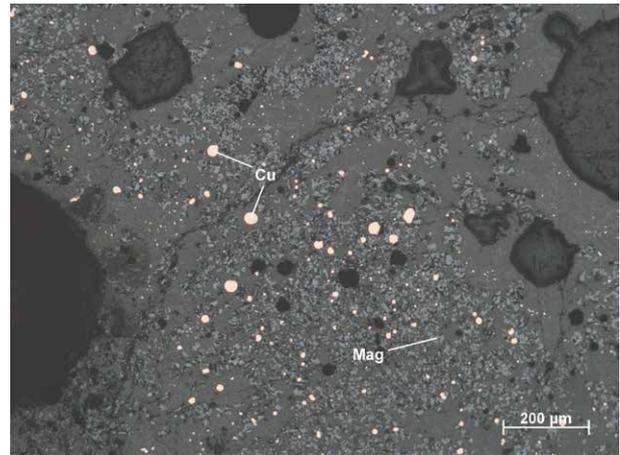


Abb. 6.53: Metallische Kupfertropfen (Cu) einer Ofenwandverschlackung (Probe MA-101407, FNr. 5169, Westwand Ofen 5) (Mag = Magnetit).

Auflichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.53. Metallic copper (Cu) in a slag lining (sample MA-101407, FNr. 5169, west wall furnace 5) (Mag = magnetite). Incident light image, photo: Steffen Kraus

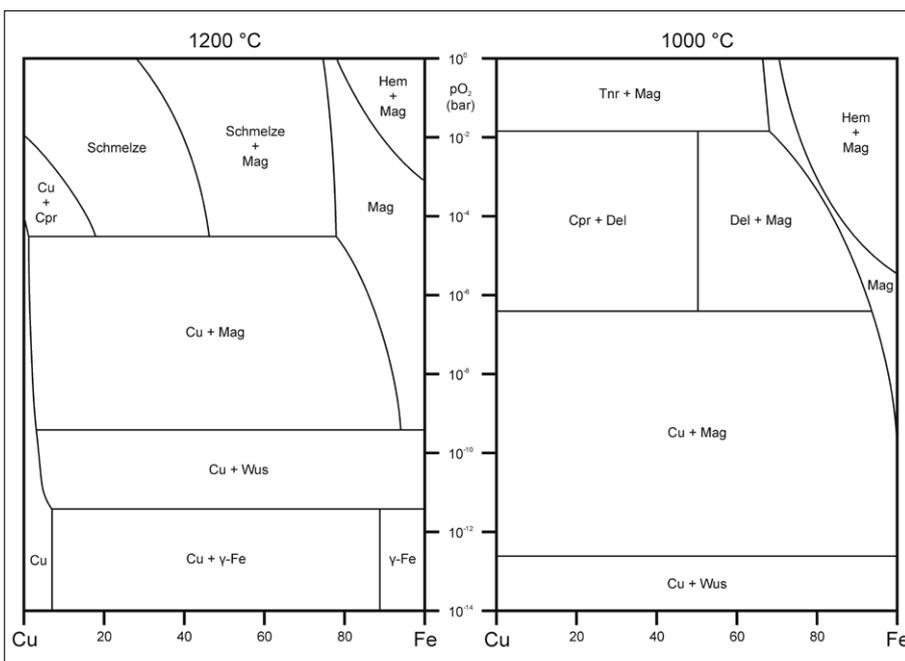
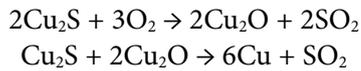


Abb. 6.54: Vereinfachte Darstellung von Stabilitätsdiagrammen im System Cu-Fe-O bei 1000° C und 1200° C modifiziert nach HAUPTMANN 2000, 146) (Cu = metallisches Kupfer, Tnr = Tenorit, Cpr = Cuprit, Del = Delafossit, Fe = Eisen, Wus = Wüstit, Mag = Magnetit, Hem = Hämatit).

Fig. 6.54. Stability diagrams in the system Cu-Fe-O at 1000° C and 1200° C modified after HAUPTMANN 2000, 146) (Cu = metallic Copper, Tnr = tenorite, Cpr = cuprite, Del = delafossite, Fe = iron, Wus = wustite, Mag = magnetite, Hem = hematite).

sich die Schlacken sowie das Schmelzprodukt im unteren Bereich der Schmelzöfen sammelten und die Verschlackungen an den Ofenwänden des oberen Bereichs ohne die Bedeckung durch Holzkohle unter Luftzufuhr oxidiert werden konnten, wodurch auch eine Röstung noch enthaltener Restsulfide und die Bildung metallischen Kupfers nach



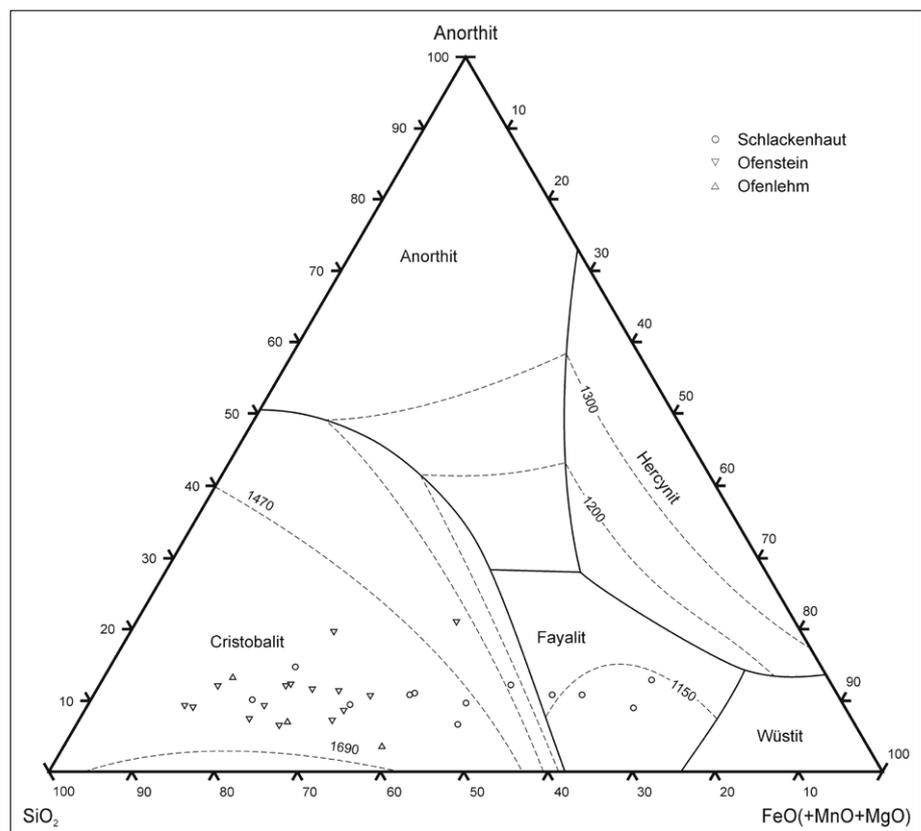
möglich war. Der für den unteren Ofenbereich ermittelte Sauerstoffpartialdruck liegt etwas höher als der Sauerstoffpartialdruck, der anhand des Phasenbestandes der Schlacken, die ja in diesem Bereich gebildet wurden, abgeschätzt wurde. Es ist zu vermuten, dass die untersuchten Schlacken in keinem engen Kontakt mit den Ofenwandungen standen und somit die Bildung unterschiedlicher Phasenvergesellschaftungen ermöglicht wurde. Des Weiteren wird sowohl in den Schlacken als auch in den Ofenwandverschlackungen die letzte Gasatmosphäre im Ofen gespeichert, die nicht unbedingt die während der Verhüttung herrschenden Sauerstoffpartialdrücke widerspiegeln.

### 6.5.2.3 Die chemische Zusammensetzung der Ofenwandverschlackung

Für die Analyse der chemischen Zusammensetzung der Ofenwandverschlackungen wurde die Schlackenschicht vom Ofenwandmaterial abgetrennt und mittels WD-RFA untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle A-03 dargestellt. Der Gesamteisengehalt wurde analog zu den Schlacken als FeO berechnet.

Die Hauptbestandteile der Schlacken sind  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und FeO.  $\text{MgO}$ , CaO und  $\text{K}_2\text{O}$  bilden die wichtigsten Nebenbestandteile. Bei der Betrachtung der Ergebnisse im ternären System  $\text{SiO}_2$ -Anorthit-FeO(+MnO+MgO) (Abb. 6.55) fällt auf, dass die Proben eine hohe Variabilität mit einem Trend zu FeO-reichen Zusammensetzungen aufweisen, während die Verschlackungsschichten auf den Ofensteinen bzw. Ofenlehm eine  $\text{SiO}_2$ -reiche Zusammensetzung besitzen. Da bei den mikroskopischen Untersuchungen kaum Quarzeinschlüsse in den Schlackenschichten beobachtet wurden, lassen sich zwei Ursachen für die erhöhten  $\text{SiO}_2$ -Gehalte annehmen. Einerseits kommt eine unzureichende Trennung des Ofenwandmaterials von der Schlackenschicht

Abb. 6.55: Darstellung der Pauschalanalysen der Ofenwandverschlackungen im System  $\text{SiO}_2$ -Anorthit-FeO(+MnO+MgO).  
Erweitert nach SCHAIRER 1942, 252  
Fig. 6.55. Chemical composition of slag lining samples plotted in the system  $\text{SiO}_2$ -anorthite-FeO(+MnO+MgO)  
Extended after SCHAIRER 1942, 252



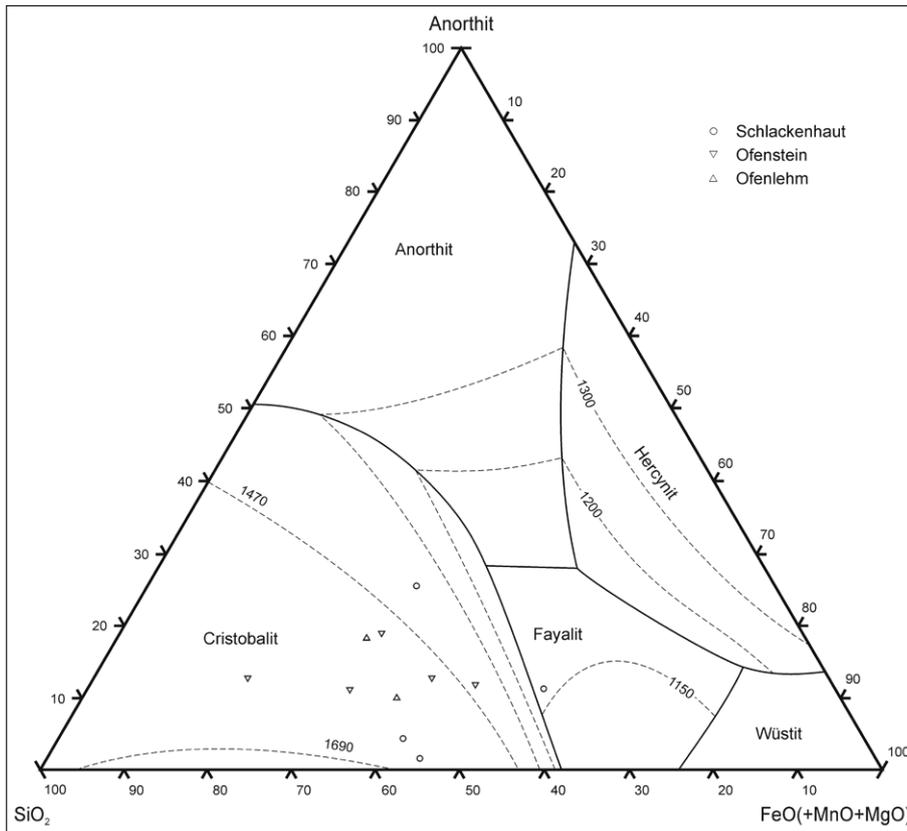


Abb. 6.56: Darstellung der EDX-Analysen der vollständig aufgeschmolzenen Teilbereiche der Ofenwandverschlackungen im System  $\text{SiO}_2$ -Anorthit-FeO (+MnO+MgO).

Erweitert nach SCHAIRER 1942, 252

Fig. 6.56. EDX-analyses of completely smelted parts of slag lining samples in the system  $\text{SiO}_2$ -anorthite-FeO (+MnO+MgO).

Extended after SCHAIRER 1942, 252

bei der Aufbereitung für die chemische Analyse in Betracht. Andererseits ist im Zusammenhang mit den erhöhten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalten auch eine Reaktion der Schmelze mit der silikatischen Ofenwand denkbar.

Um genauere Informationen über die Zusammensetzung der Schmelze der Ofenwandverschlackungen zu erhalten, wurden die vollständig aufgeschmolzenen Bereiche der Verschlackungen mittels EDX-Flächenanalysen untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle A-04 aufgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse im System  $\text{SiO}_2$ -Anorthit-FeO (+MgO+MnO) (Abb. 6.56) zeigt eine leichte Verschiebung der Zusammensetzung in Richtung des Fayalitfeldes. Dennoch besitzen die Ofenwandverschlackungen eine sehr  $\text{SiO}_2$ -reiche Zusammensetzung. In Verbindung mit den mikroskopischen Untersuchungen, bei denen in den Verschlackungen kaum Quarzeinschlüsse beobachtet wurden, sind die hohen  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte daher auf eine Reaktion der Schmelze mit dem Ofenwandmaterial zurückzuführen.

### 6.5.3 Die Metallfunde

Neben einer Bronzenadel mit doppelkonischem Kopf (Probe MA-113459, FNr. 2090), der an der Unterseite mit einem Winkelmuster verziert ist,<sup>98</sup> wurden auf dem Kupferschmelzplatz S1 noch zwei weitere Metallstücke gefunden (Abb. 6.57), deren Funktion nicht bekannt ist. Die Oberfläche beider Metallstücke ist von einer dünnen Verwitterungsschicht bedeckt.

Da die vom Nadelschaft entnommene Probe vollständig korrodiert war, war eine quantitative Analyse der ursprünglichen chemischen Zusammensetzung des Metalls nicht möglich. Immerhin wurde Zinn als Hauptbestandteil identifiziert, so dass das ursprüngliche Metall als Bronze anzusprechen ist. Die chemische Analyse der beiden anderen Metallproben (Tab. A.11) ergab im Wesentlichen Kupfer mit einem Eisengehalt von bis zu 10 Gew.-%. Daraus lässt sich schließen, dass es sich bei den Metallstücken um Rohkupferstücke handelt.

Die Darstellung der Spurenelementgehalte in den doppellogarithmischen Diagrammen Ni/Ag

<sup>98</sup> Vgl. Beitrag KLEMM, Kap. 4, in diesem Band.

Abb. 6.57: Metallstücke vom Kupferschmelzplatz S1. (a) Probe MA-113458 (FNr. 3075, Röstbett 9), (b) Probe MA-113461 (FNr. 3423, Halde 3). Fotos: Steffen Kraus

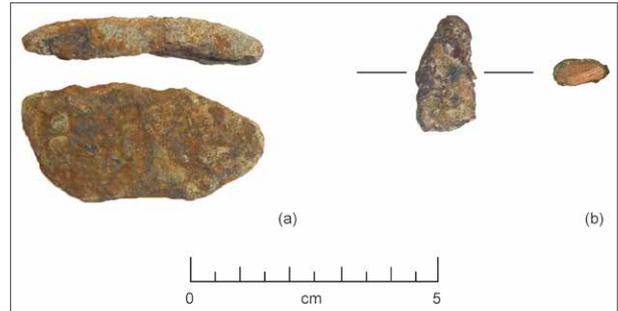


Fig. 6.57. Metals from the Copper Smelting Site S1. (a) Sample MA-112458 (FNr. 3075, roasting hearth 9), (b) Sample MA-113461 (FNr. 3423, slag dump 3). Photos: Steffen Kraus

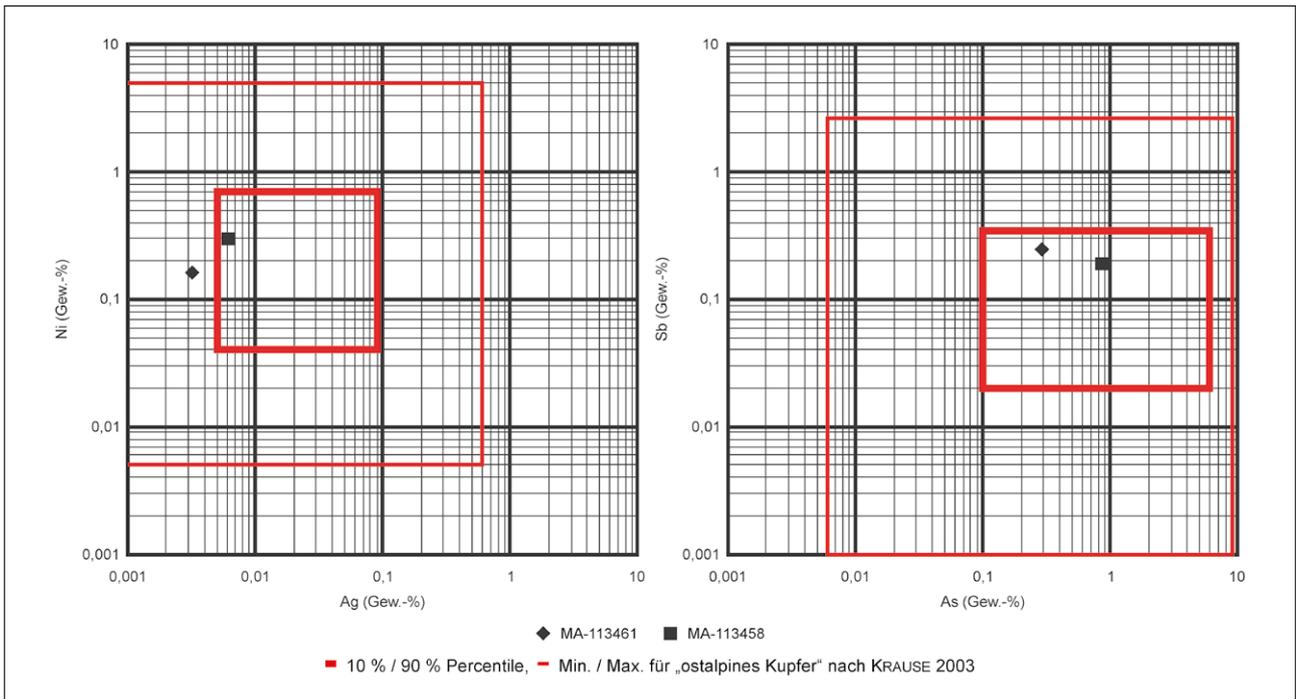


Abb. 6.58: Darstellung der Spurenelementgehalte der untersuchten Metallartefakte in den doppellogarithmischen Diagrammen Ni/Ag und Sb/As. Die Spurenelementverhältnisse deuten darauf hin, dass es sich bei den Metallstücken um „ostalpin copper“ handelt. Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.58. Trace element ratios of the metal artefacts. It can be suggested that the artefacts were made of "east Alpine copper". Graphic: Steffen Kraus

und Sb/As (Abb. 6.58) zeigt, dass es sich bei den Metallstücken um Arsenkupfer mit geringen Konzentrationen an Nickel und Antimon sowie sehr niedrigen Silberkonzentrationen handelt. Die Metallstücke entsprechen demnach der Kupfersorte des sogenannten „ostalpinen Kupfers“.<sup>99</sup> Diese Bezeichnung lässt jedoch nicht zwingend auf die Herkunft der für die Herstellung verwendeten Rohstoffe aus den verschiedenen Regionen der Ostalpen schließen.<sup>100</sup> Um Aussagen zu potentiellen Lagerstätten zu treffen, werden neben Spurenelementverhältnissen zusätzlich Untersuchungen

hinsichtlich der Bleisotopensignaturen herangezogen, deren Ergebnisse in Kapitel 6.7. diskutiert werden.

Beide Proben haben ein charakteristisches Gußgefüge aus metallischem Kupfer mit zahlreichen sulfidischen Einschlüssen (Abb. 6.59 und 6.60). Die mikroanalytischen Untersuchungen (Tab. A.12) ergaben, dass es sich dabei hauptsächlich um Chalkosin mit stellenweisen Digenitentmischungen und Bornit mit lamellaren Entmischungen von Chalkosin handelt. Bei der Betrachtung der mikroskopischen Untersuchung in Zusammenhang mit der

<sup>99</sup> KRAUSE 2003, 90.

<sup>100</sup> KRAUSE 2003, 166.

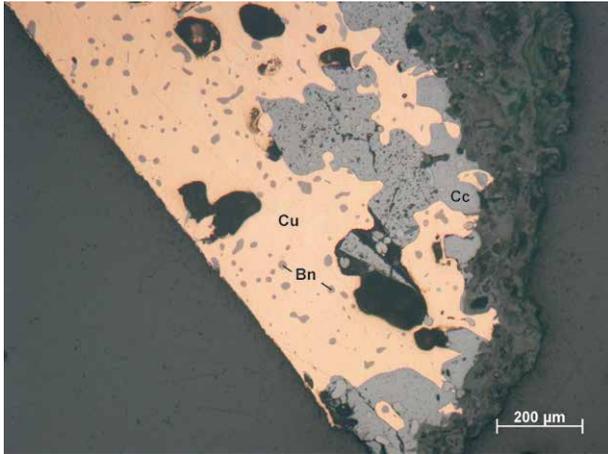


Abb. 6.59: Mikrogefüge des Metallstücks aus Röstbett 9 (Probe MA-113458, FNr. 3075). Das Gefüge besteht hauptsächlich aus metallischem Kupfer (Cu), Chalkosin (Cc) und Bornit (Bn).

Auflichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.59. Microstructure of the metal artefact from roasting hearth 9 (sample MA-113458, FNr. 3075). It consists of metallic copper (Cu) with inclusions of chalcocite (Cc) and bornite (Bn).

Incident light image, photo: Steffen Kraus

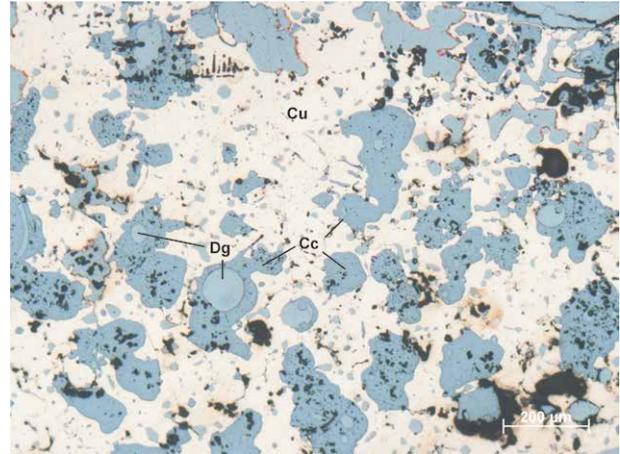


Abb. 6.60: Mikrogefüge des Metallstücks von Halde 3 (Probe MA-113461, FNr. 3423). Das Gefüge besteht hauptsächlich aus metallischem Kupfer (Cu) und Chalkosin (Cc) mit Digenitentmischungen (Dg).

Auflichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.60. Microstructure of the metal artefact from the slag dump 3 (sample MA-113461, FNr. 3423). It consists of metallic copper (Cu) with inclusions of chalcocite (Cc) with segregation of digenite (Dg).

Incident light image, photo: Steffen Kraus

chemischen Analyse der Metallartefakte ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um Rohkupferstücke des „ostalpinen Typs“ handelt und das Kupfer wohl aus sulfidischen Erzen gewonnen wurde.

#### 6.5.4 Die Erzfunde

Bei fast allen untersuchten Erzproben handelt es sich um Eisenerze. Sie bestehen hauptsächlich aus oxidischen Eisenverbindungen (vermutlich Magnetit und Hämatit), die mit Baryt vergesellschaftet sind. Da diese Erze keine Informationen über die Kupfererzverhüttung am Kupferschmelzplatz S1 erwarten lassen, wird an dieser Stelle auf eine Darstellung und weitere Diskussion der Untersuchungsergebnisse<sup>101</sup> verzichtet.

Lediglich die Probe MA-091472 (FNr. 2994) aus Schicht 2 der Halde 3 zeigt auf der Oberfläche Spuren von sekundären Kupfermineralen (Abb. 6.61). Es handelt sich hierbei um einen dunkelockerfarbenen Quarzit mit Spuren von Chalkopyrit. Aufgrund der sehr geringen Menge an Chalkopyrit wurde auf eine pauschalchemische Untersuchung verzichtet. Im Querschnitt zeigt sich außerdem, dass der Quar-

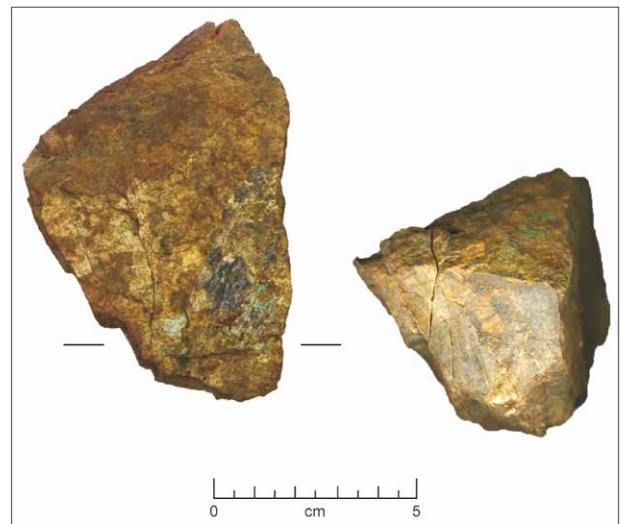


Abb. 6.61: Quarzit mit Chalkopyritvererzung (Probe MA-091472, FNr. 2994, Halde 3, Schicht 2).

Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.61. Quartzite with chalcopyrite (sample MA-091472, FNr. 2994, slag dump 3, layer 2).

Photo: Steffen Kraus

zit von feinen Rissen durchzogen ist, die mit nicht näher zu bestimmenden Eisenoxiden bzw. -hydroxiden gefüllt sind. Unter dem Mikroskop lassen sich

<sup>101</sup> Die Ergebnisse der Lichtmikroskopuntersuchungen sind in Tabelle A.2, die der EDX-Analysen in Tabelle A.10 aufgeführt.

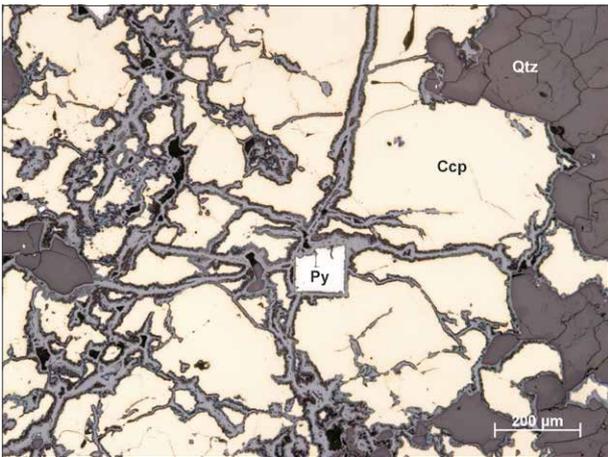


Abb. 6.62: Pyrit (Py) umschlossen von Chalkopyrit (Ccp) in idiomorphen Quarz (Qtz) (Probe MA-091472).  
Auflichtaufnahme, Foto: Steffen Kraus

Fig. 6.62. Pyrite (Py) surrounded by chalcopyrite (Ccp) and quartz (Qtz) (sample MA-091472).  
Incident light image, photo: Steffen Kraus

einzelne idiomorphe Pyritkristalle im Chalkopyrit beobachten (Abb. 6.62). Die mikroanalytische Untersuchung der Chalkopyritvererzung zeigt nur geringe Abweichungen von der Idealzusammensetzung (Tab. A.10). Auf die Ergebnisse der Bleiisotopenuntersuchung wird in Kapitel 6.7. näher eingegangen.

### 6.5.5 Die Lehmproben

Bei den untersuchten Lehmproben aus den Röstbetten handelt es sich um einen sehr tonhaltigen Lehm, der aufgrund der unterschiedlichen thermi-

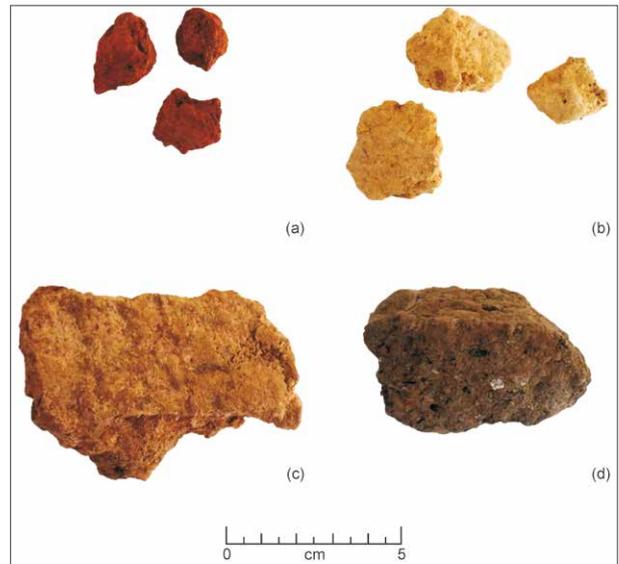


Abb. 6.63: Lehmproben vom Kupferschmelzplatz S1. (a) Probe MA-110593 (FNr. 3675, Röstbett 9), (b) Probe MA-110595 (FNr. 3847, Röstbett 9), (c) Probe MA-110605 (FNr. 5587, Ostwand Ofen 2), (d) Probe MA-110601 (FNr. 4960, Ofen 1) mit deutlich sichtbaren Holzkohlelinsen (schwarz) und Knochenfragmenten (weiß).  
Fotos: Steffen Kraus

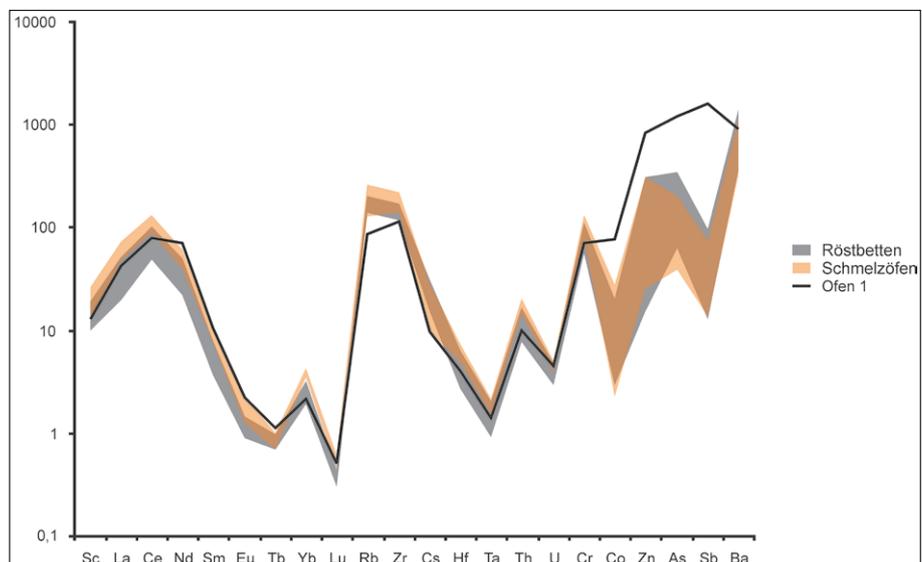
Fig. 6.63. Clay samples from the Copper Smelting Site S1. (a) Sample MA-110593 (FNr. 3675, roasting hearth 9), (b) Sample MA.110595 (FNr. 3847, roasting hearth 9), (c) Sample MA-110605 (FNr. 5587, east wall furnace 2), (d) Sample MA-110601 (FNr. 4960, furnace 1) with charcoal (black) and bone fragments (white).  
Photos: Steffen Kraus

Abb. 6.64: Darstellung der Spurenelementgehalte der untersuchten Lehmproben aus den Röstbetten und Schmelzöfen.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.64. Trace element concentrations of clay samples from roasting hearths and furnaces.

Graphic: Steffen Kraus



schen Belastung der Proben eine orangefarbene bis schwärzlichrotorange Färbung aufweist (Abb. 6.63 (a) und (b)). Die Proben aus den Schmelzöfen sind hellbraungrau bis rotgrau gefärbt (Abb. 6.63 (c)). In einer Probe aus Ofen 1 wurden bis 2 mm große Knochenfragmente sowie Reste von Holzkohle nachgewiesen (Abb. 6.63 (d)). Auch die rötliche Färbung der Lehmproben aus den Schmelzöfen lässt auf eine unterschiedlich starke Hitzeeinwirkung schließen.

Um die Frage zu klären, ob für den Bau der Röstbetten und der Schmelzöfen das gleiche Material verwendet wurde, erfolgte eine Analyse der Lehmproben hinsichtlich ihrer Spurenelementgehalte mittels Neutronenaktivierung. Eine Mikroskopuntersuchung der Proben wurde nicht durchgeführt, da durch die Einwirkung unterschiedlicher Temperaturen während des Röstens bzw. des Schmelzens verschiedene Mineralumwandlungen bzw. -neubildungen erfolgen und daher ein Vergleich anhand der Mineralzusammensetzung nicht sinnvoll erscheint.

In Abbildung 6.64 sind die Ergebnisse der Spurenelementanalysen dargestellt, getrennt für die Proben aus den Röstbetten einerseits und den Proben aus den Schmelzöfen andererseits, (vgl.

Tab. A.13). Diese Darstellung zeigt, dass die einzelnen Proben nur sehr geringe Streuungen untereinander aufweisen. Die Standardabweichung für die Seltenen Erdelemente liegt zwischen 10 % und 25 % vom Mittelwert. Dies deutet darauf hin, dass sie alle aus dem gleichen Material bestehen. Die aus dem Erz stammenden Elemente Cobalt, Zink, Arsen und Antimon streuen stärker. Die Standardabweichung liegt hier deutlich über 50 % vom Mittelwert. Aus der Abbildung geht außerdem hervor, dass auch eine Unterscheidung der Lehmproben aus den Röstbetten und denen aus den Schmelzöfen nicht möglich ist. Lediglich die Probe aus Ofen 1 (MA-110601, FNr. 4960) unterscheidet sich durch signifikant höhere Gehalte an Cobalt, Zink, Arsen und Antimon, d. h. sie ist stärker mit Erzresten kontaminiert. Aber die für den Vergleich relevanten Elemente zeigen kaum Unterschiede zu den übrigen Proben. Es ist daher davon auszugehen, dass alle Proben aus dem gleichen Rohmaterial hervorgegangen sind und durch Röst- und Schmelzprozesse an Schwermetallen angereichert sind. Da die potentiellen Lehmvorkommen nicht bekannt sind und daher nicht beprobt werden konnten, sind Aussagen zur Herkunft des verwendeten Materials nicht möglich.

## 6.6 Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen der Schlacken aus den unterschiedlichen Bereichen des Kupferschmelzplatzes S1 diskutiert. Da zwischen den makroskopisch unterschiedlichen Schlackentypen keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden (vgl. Kap. 6.5), erfolgt die Diskussion der Ergebnisse unabhängig von der Schlackentypologie.

### 6.6.1 Die Schlacken aus den Röstbetten

Während des Röstens sulfidischer Erze wird der als Sulfid gebundene Schwefel zu Schwefeldioxid oxidiert. Bei diesem Prozess entstehen in der Regel keine Schlacken. Die auf den Röstbetten gefundenen Schlacken am Kupferschmelzplatz S1 wurden daher wohl als Unterbau der Röstbetten verwendet, auf denen dann das zu röstende Erz aufgeschichtet wurde. Dies gewährleistete eine ausreichende Luft-

zufuhr von unten für den Röstprozess.<sup>102</sup> Makroskopisch lassen sie sich anhand ihrer deutlich rötlicheren Färbung von den Schlacken aus den Halden und den Schmelzöfen unterscheiden. Die Verfärbung ist auf die Bildung von Hämatit durch die Hitzeeinwirkung unter stark oxidierenden Bedingungen während des Röstprozesses zurückzuführen.

Aus den Ergebnissen der pauschalchemischen Analyse der Schlacken der verschiedenen Röstbetten (Abb. 6.65) wird deutlich, dass alle Schlacken weitestgehend die gleiche Zusammensetzung bezüglich der Hauptbestandteile aufweisen. Die Schlacken aus Röstbett 4 zeigen tendenziell höhere Gehalte an  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  und  $\text{K}_2\text{O}$ , doch lassen sie sich aufgrund ihres Streubereichs nicht eindeutig von den Schlacken aus den anderen Röstbetten unterscheiden. Die Schlacken aus Röstbett 5 besitzen

<sup>102</sup> Vgl. Beitrag KLEMM, Kap. 4, in diesem Band.

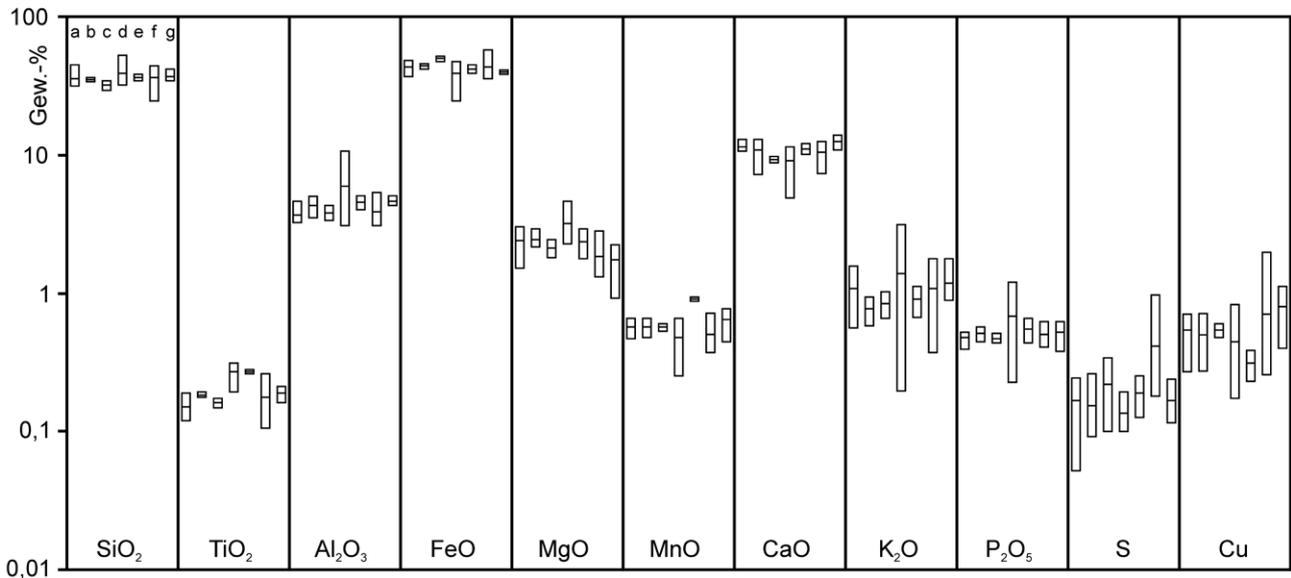


Abb. 6.65: Vergleich der Pauschalanalysen der Schlacken aus den Röstbetten 1 (a, n=5), 2 (b, n=3), 3 (c, n=2), 4 (d, n=4), 5 (e, n=2), 7 (f, n=12) und 9 (g, n=4) vom Kupferschmelzplatz S1 (Nummerierung in allen Spalten entsprechend Spalte 1)

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.65. Comparison of the chemical composition of slags from the roasting hearths 1 (a, n=5), 2 (b, n=3), 3 (c, n=2), 4 (d, n=4), 5 (e, n=2), 7 (f, n=12) und 9 (g, n=4) from Copper Smelting Site S1 (numbering in all cases according to column 1).

Graphic: Steffen Kraus

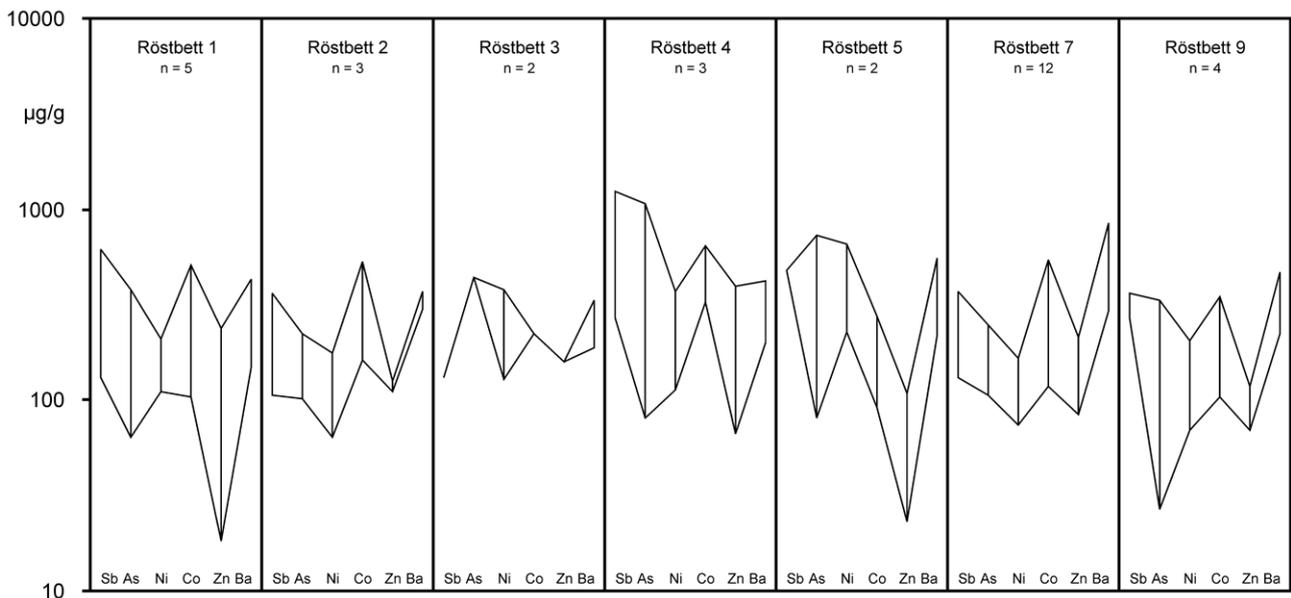


Abb. 6.66: Vergleich ausgewählter Spurenelemente der Schlacken aus den Röstbetten vom Kupferschmelzplatz S1.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.66. Comparison of selected trace elements in slags from the roasting hearths of the Copper Smelting Site S1.

Graphic: Steffen Kraus

etwas höhere Gehalte an  $\text{TiO}_2$  und  $\text{MnO}$ . Leicht höhere  $\text{MnO}$ -Gehalte in den Schlacken weisen auf eine leicht flüssigere Schmelze hin. Zudem enthalten alle Schlacken noch eine Menge Schwefel, wobei die Schlacken aus Röstbett 7 die größten Gehalte aufweisen.

Die Gehalte der Spurenelemente in den Schlacken sind relativ einheitlich (Abb. 6.66). Das Auftreten von Barium in den Schlacken lässt auf eine barythaltige Gangart der verhütteten Erze schließen, wie sie für die ostalpinen Kupfervererzungen typisch sind. Zudem enthalten alle untersuchten Schlacken signi-

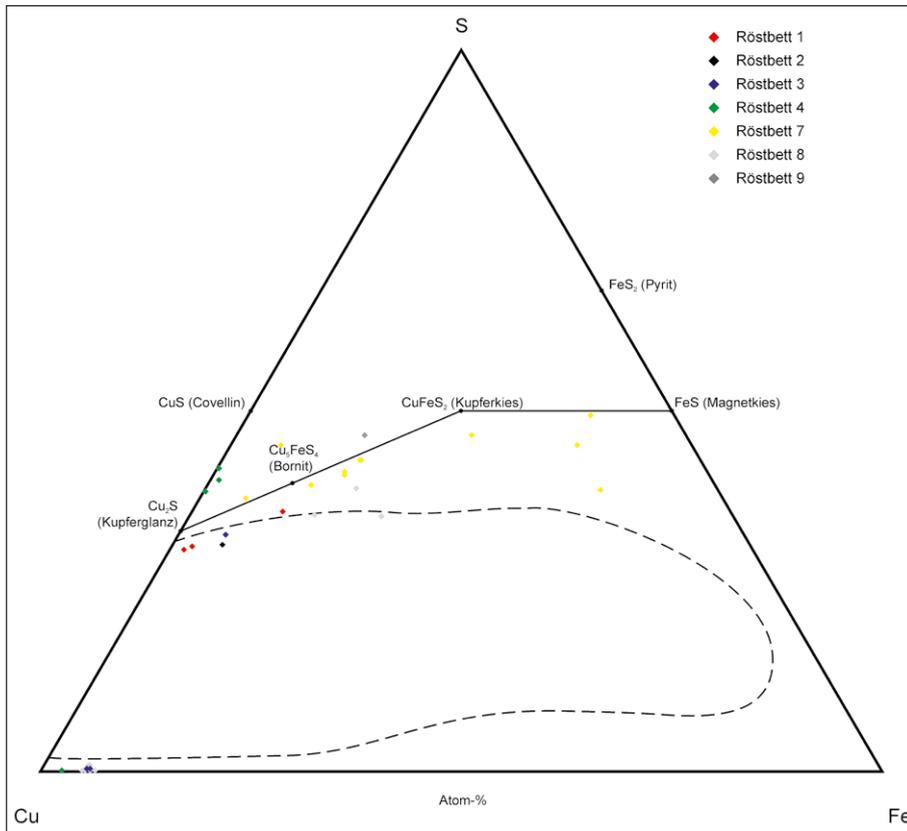


Abb. 6.67: Darstellung der Zusammensetzung der Sulfideinschlüsse in den Schlacken aus den Röstbetten vom Kupferschmelzplatz S1 im System Cu-Fe-S.

Nach SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

Fig. 6.67. Chemical composition of sulphide inclusions in the slags from the roasting hearths of Copper Smelting Site S1 plotted in the system Cu-Fe-S.

After SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

fikante Gehalte an Arsen und Antimon, die darauf hindeuten, dass in den Erzchargen auch Fahlerzminerale enthalten waren.

Bei den mikroanalytischen Untersuchungen hinsichtlich der Zusammensetzung der Kupfersteineinschlüsse in den Schlacken aus den Röstbetten mittels EDX-Flächenanalysen wurde weder Antimon noch Arsen nachgewiesen<sup>103</sup>. Eine Verhütung von Erzchargen mit wesentlichen Anteilen an Fahlerz oder gar Fahlerzvormacht ist daher ausgeschlossen. Die Darstellung der Ergebnisse der Untersuchungen im System Cu-Fe-S nach SCHLEGEL/SCHÜLLER<sup>104</sup> (Abb. 6.67) zeigt, dass es sich bei den Einschlüssen überwiegend um kupferreiche Steine handelt. Lediglich die Schlacken aus Röstbett 7 weisen auch eisenreiche Sulfideinschlüsse auf. Anhand der Zusammensetzung der Sulfideinschlüsse ist demnach der überwiegende Teil der Schlacken aus den Röstbetten einem Schmelzgang zuzuordnen, bei dem der Kupferstein weiter an Kupfer angereichert wurde.

## 6.6.2 Die Ofenwandverschlackungen der Schmelzöfen

Anhand ihrer chemischen Zusammensetzung lassen sich die verschlackten Teile der Ofenwandmaterialien (Ofensteine, Ofenlehm sowie Schlackenhautproben) von den übrigen Schlacken unterscheiden. So besitzen sie grundsätzlich höhere Gehalte an  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  und  $\text{K}_2\text{O}$ . Auch enthalten sie deutlich höhere Kupferwerte (bis 20 Gew.-%).

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der pauschalchemischen Untersuchungen (Abb. 6.68) fällt zunächst auf, dass die Verschlackungsschichten der beiden Bauphasen von Ofen 5 eine andere Zusammensetzung aufweisen als die Verschlackungsschichten der übrigen Öfen. Bei den Proben aus den Öfen 1 bis 4 handelt es sich überwiegend um die verschlackten Teile von Ofensteinen und Ofenlehm. Deren hohe  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte sind daher einerseits auf eine Reaktion der Schlackenschmelze mit dem silikatischen Baumaterial der Ofenwände

<sup>103</sup> Die Nachweisgrenze der REM/EDX für Arsen und Antimon liegt bei 0,1 Gew.-%. Hier könnten Untersuchungen mittels Mikrosonde, deren Nachweisgrenze für die genannten Elemente deutlich niedriger ist, genauere Informationen liefern.

<sup>104</sup> SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952.

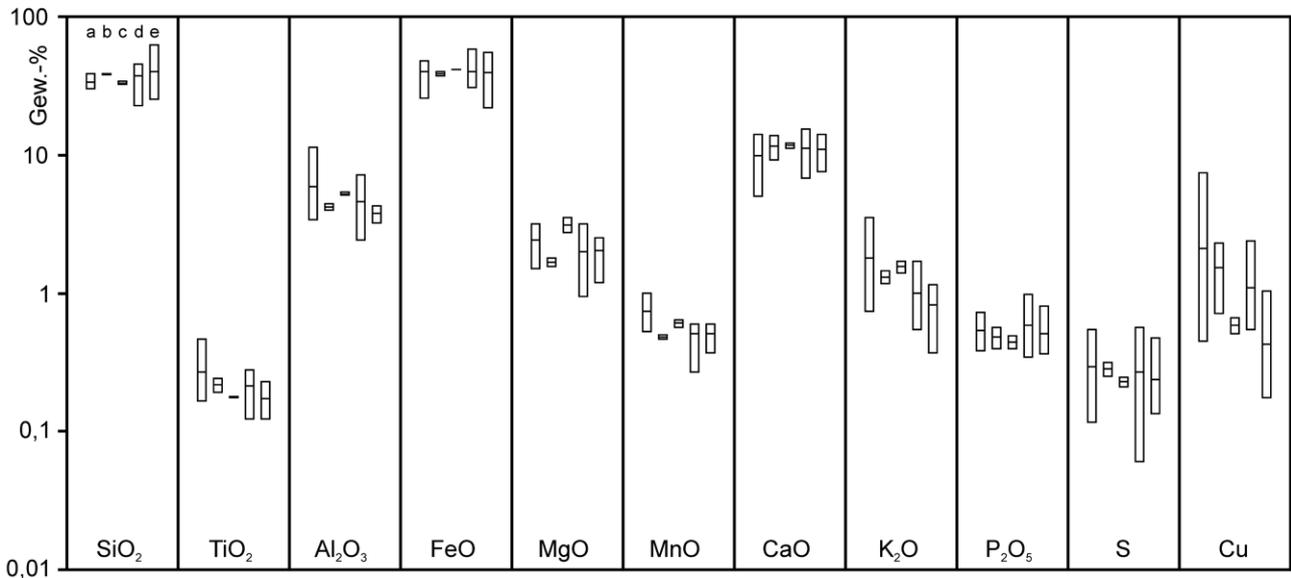


Abb. 6.68: Vergleich der Pauschalanalysen der Ofenwandverschlackungen von Ofen 1 (a, n=4), der älteren Phase von Ofen 2 (b, n=3), der jüngeren Phase von Ofen 2 (c, n=6), Ofen 3 (d, n=2), Ofen 4 (e, n=2), der älteren Phase von Ofen 5 (f, n=4) und der jüngeren Phase von Ofen 5 (g, n=8) vom Kupferschmelzplatz S1 (Nummerierung in allen Spalten entsprechend Spalte 1).

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.68. Comparison of the chemical composition of slag lining samples from furnace 1 (a, n=4), the older phase of furnace 2 (b, n=3), the younger phase of furnace 2 (c, n=6), furnace 3 (d, n=2) furnace 4 (e, n=2), the older phase of furnace 5 (f, n=4) and from the younger phase of furnace 5 (g, n=8) from Copper Smelting Site S1 (numbering in all cases according to column 1).

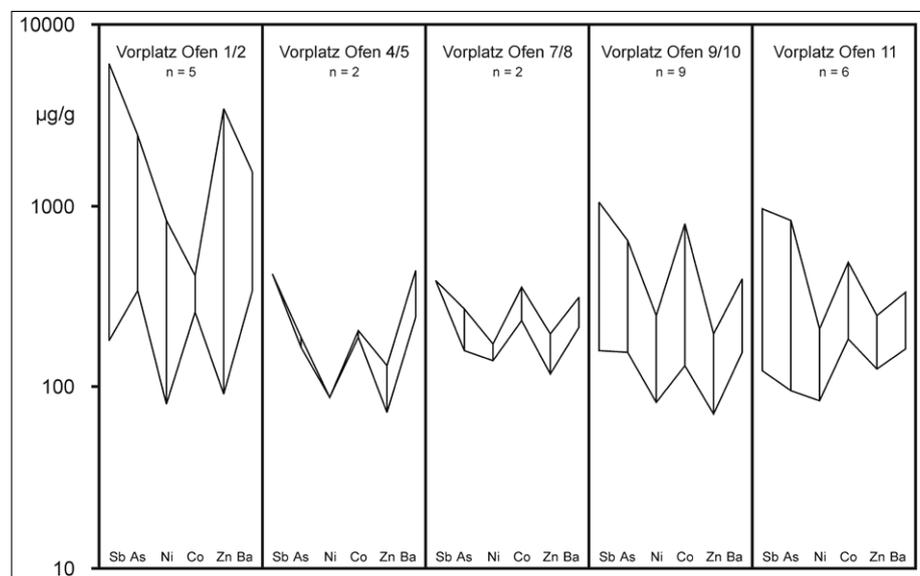
Graphic: Steffen Kraus

Abb. 6.69: Vergleich ausgewählter Spurenelemente der Ofenwandverschlackungen der Schmelzöfen.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.69. Comparison of selected trace elements of slag lining samples from the furnaces.

Graphic: Steffen Kraus



und andererseits auf eine unzureichende Abtrennung des silikatischen Materials von der eigentlichen Verschlackungsschicht für die chemische Analyse zurückzuführen. Bei den Proben aus Ofen 5 handelt es sich dagegen überwiegend um Schlackenhautproben, denen, wie bereits beschrie-

ben, nur wenige silikatische Reste anhaften. Auffällig ist dabei, dass die Verschlackungen der älteren Phase von Ofen 5 deutlich höhere Gehalte an MgO und MnO sowie niedrigere Gehalte an K<sub>2</sub>O im Vergleich zur jüngeren Phase von Ofen 5 aufweisen. Die K<sub>2</sub>O-Gehalte sind überwiegend auf die

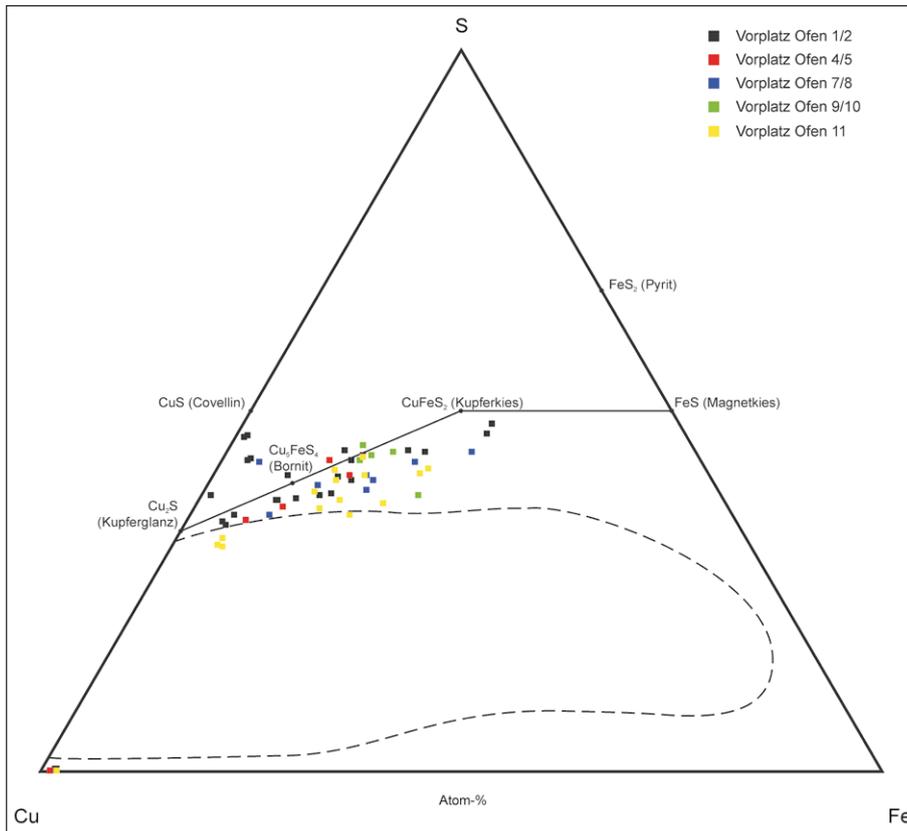


Abb. 6.70: Darstellung der Zusammensetzung der Sulfideinschlüsse in den Ofenwandverschlackungen aus den Schmelzöfen vom Kupferschmelzplatz S1 im System Cu-Fe-S.

Nach SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

Fig. 6.70. Chemical composition of sulphide inclusions in slag lining samples from the furnaces of Copper Smelting Site S1 plotted in the system Cu-Fe-S.

After SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

Reaktion der Schlackenschmelze mit der Asche verwendeten Brennmaterials zurückzuführen und variieren dabei in Abhängigkeit der verwendeten Holzart.<sup>105</sup>

In Abbildung 6.69 sind die Spurenelementsignaturen der Ofenwandverschlackungen der einzelnen Schmelzöfen dargestellt. Es lassen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen. Lediglich die Verschlackung von Ofen 3 zeichnet sich durch sehr niedrige Antimonergehalte aus. Die Verschlackungsschichten der Öfen 1 und 2 weisen dagegen etwas höhere Zinkgehalte auf, was auf eine Vergesellschaftung von Zinkblende mit dem verhütteten Erz deutet. Eine unterschiedliche Prozessführung in den einzelnen Doppelofenlagen konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der mikroanalytischen Untersuchungen der metallischen und sulfidischen Einschlüsse (Abb. 6.70) fällt auf, dass die Probe aus Ofen 4 ausschließlich Cu/Fe-Sulfide enthält, während in den untersuchten Proben von Ofen 5 nur metallisches Kupfer nachgewiesen wurde. Dies lässt zunächst vermuten, dass in Ofen 4 die Verhüttung auf Kupferstein erfolgte und in Ofen 5

eine Reduktion des Kupfersteins zu metallischem Kupfer. Jedoch lässt sich dieser Umstand auch auf die Lage der untersuchten Stücke im Schmelzofen zurückführen. Während die Probe (MA-101402, FNr. 5064) aus Ofen 4 von der Ofensohle stammt, kommen die Proben aus Ofen 5 (MA-101406, FNr. 5155 und MA-101407, FNr. 5169) aus einem Bereich von 20–40 cm oberhalb der Ofensohle. Aufgrund der Untersuchungen hinsichtlich des Phasenbestandes der Verschlackungen ist für diesen Ofenbereich ein Sauerstoffpartialdruck zwischen  $10^{-4}$  und  $10^{-6}$  bar anzunehmen, während im unteren Bereich der Schmelzöfen ein Sauerstoffpartialdruck zwischen  $10^{-5}$  und  $10^{-9}$  bar herrschte. Die höheren Partialdrücke spiegeln die Bedingungen gegen Ende des Schmelzvorganges wider, bei denen durchaus eine Röstung der enthaltenen Restsulfide und eine gleichzeitige Bildung von metallischem Kupfer möglich sind (vgl. Kap. 6.5). Eine Aufteilung verschiedener Stufen des Verhüttungsprozesses auf die beiden Öfen einer Doppelofenanlage kann daher zwar vermutet jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

<sup>105</sup> NELLE/KLEMM 2010.

### 6.6.3 Die Schlacken von den Ofenvorplätzen und den Halden

Die bei den einzelnen Schmelzvorgängen entstandenen Schlacken kamen zunächst auf den den Öfen vorgelagerten Arbeitsbereichen (Ofenvorplätze) zu liegen, bevor sie auf den Halden zusammen mit anderen Hüttenabfällen wie Reste des Ofenbaumaterials deponiert wurden. Daher werden die Schlacken von den Ofenvorplätzen zunächst getrennt von den Halden betrachtet und nach der Diskussion der Schlacken aus den Halden mit diesen verglichen.

#### 6.6.3.1 Die Schlacken der Ofenvorplätze

Die Ergebnisse der pauschalchemischen Analysen (Abb. 6.71) zeigen, dass die Schlacken vom Vorplatz der Doppelofenanlage 9/10 sowie vom Vorplatz des Ofens 11 eine heterogenere Zusammensetzung als die übrigen Schlacken aufweisen. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen der mikroskopischen Untersuchungen lassen sich die Schwankungen in den SiO<sub>2</sub>-Gehalten auf unterschiedliche Mengen an unaufgeschmolzenen Quarzeinschlüssen in den Schlacken zurückführen. So wurden in den Schlacken der Vorplätze der Doppelofenanlagen 1/2, 4/5 und 7/8 tendenziell weniger Quarzeinschlüsse fest-

gestellt. Die Schlacken der Vorplätze der Doppelofenanlage 1/2 besitzen zudem etwas höhere MnO-Gehalte. Im Mittel zeigen jedoch alle Schlacken eine ähnliche Zusammensetzung, was darauf hinweist, dass in den Schmelzöfen gleiche Bedingungen während der Schlackenbildung vorherrschten.

Bei dem Vergleich der Spurenelementmuster für die einzelnen Ofenvorplätze (Abb. 6.72) besitzen die Schlacken vom Vorplatz der Doppelofenanlage 1/2 die größte Variationsbreite. Die hohen Antimon- und Arsengehalte dieser Schlacken lassen eine Verhüttung von fehlerzhaltigen Chargen vermuten. Die hohen Zinkgehalte weisen, wie es bereits bei den Ofenwandverschlackungen dieser Doppelofenanlage beobachtet wurde, auf eine Vergesellschaftung von Zinkblende mit dem verhütteten Erz hin, während die höheren Bariumgehalte ein barythaltiges Nebengestein andeuten. Die Schlacken der Vorplätze der Doppelofenanlagen 4/5, 7/8 und 9/10 sowie vom Vorplatz des Ofens 11 zeigen generell geringere Spurenelementkonzentrationen. Dennoch ist eine Unterscheidung zwischen den Schlacken der einzelnen Ofenvorplätze nur schwer möglich, da sich die Schwankungsbereiche größtenteils überlagern.

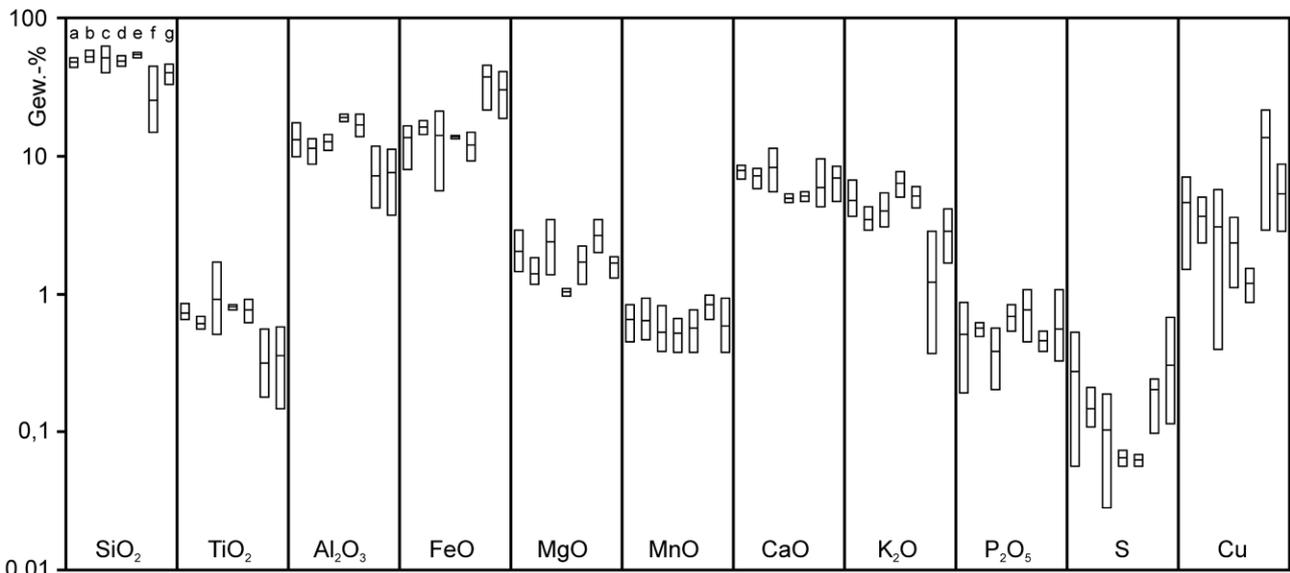


Abb. 6.71: Vergleich der Pauschalanalysen der Schlacken von den Vorplätzen der Doppelofenanlagen 1/2 (a, n=5), 4/5 (b, n=2), 7/8 (c, n=2), 9/10 (d, n=9) sowie vom Vorplatz des Ofens 11 (e, n=6) vom Kupferschmelzplatz S1 (Nummerierung in allen Spalten entsprechend Spalte 1).

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.71. Comparison of the chemical composition of slags from the areas in front of the double furnaces 1/2 (a, n=5), 4/5 (b, n=2), 7/8 (c, n=2), 9/10 (d, n=9) and from the area in front of furnace 11 (e, n=6) from Copper Smelting Site S1 (numbering in all cases according to column 1).

Graphic: Steffen Kraus

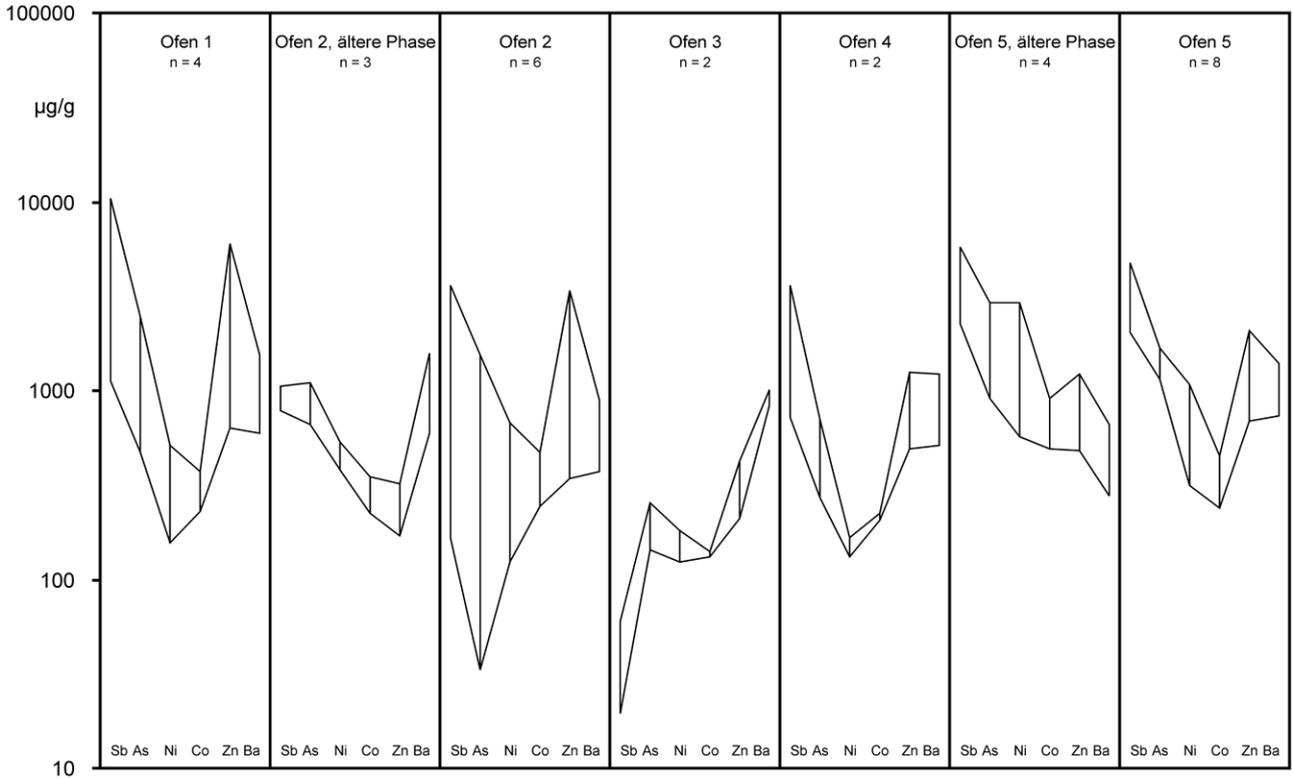


Abb. 6.72: Vergleich ausgewählter Spurenelemente der Schlacken von den Vorplätzen der Doppelofenanlagen vom Kupferschmelzplatz S1.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.72. Comparison of selected trace elements in slags from the areas in front of the double furnaces of the Copper Smelting Site S1.

Graphic: Steffen Kraus

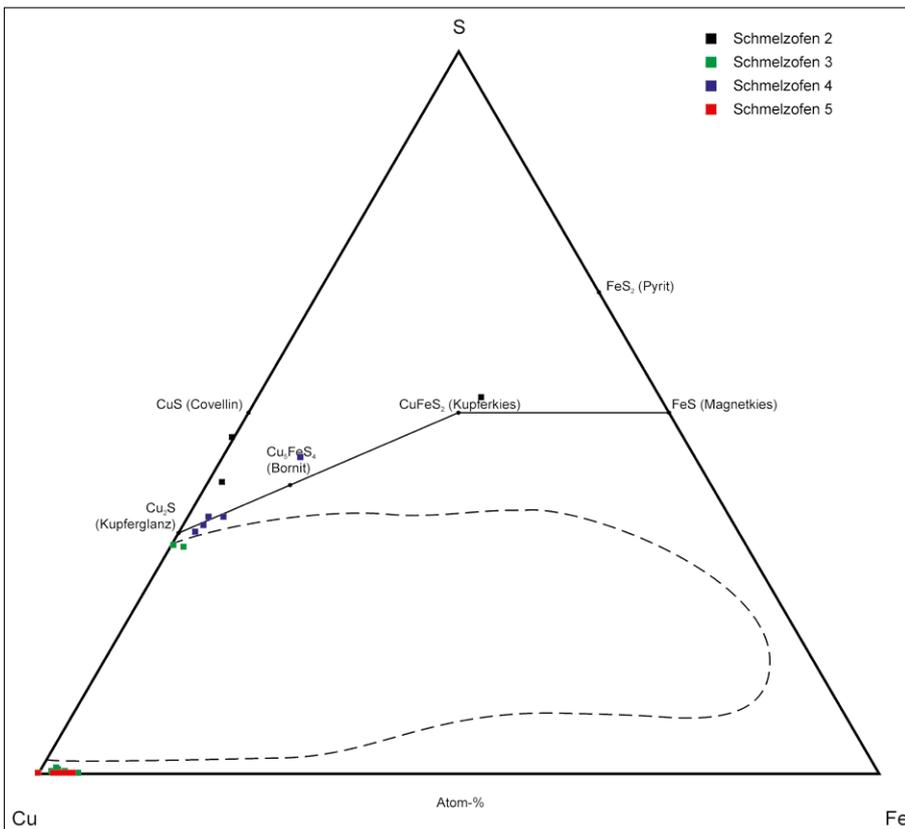


Abb. 6.73: Darstellung der Zusammensetzung der Sulfideinschlüsse in den Schlacken der Vorplätze der Doppelofenanlagen vom Kupferschmelzplatz S1 im System Cu-Fe-S.

Nach SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

Fig. 6.73. Chemical composition of sulphide inclusions in the slags from the areas in front of the double furnaces of Copper Smelting Site S1 plotted in the system Cu-Fe-S.

After SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

Anhand der chemischen Zusammensetzung der in den Schlacken enthaltenen Sulfideinschlüsse ist es möglich, Rückschlüsse auf den schlackenbildenden Prozess zu ziehen (vgl. Kap. 6.4). In Abbildung 6.73 sind die Ergebnisse der mikroanalytischen Untersuchungen an den Kupfersteineinschlüssen der Schlacken aus den Schmelzöfen im System Cu-Fe-S nach SCHLEGEL/SCHÜLLER<sup>106</sup> dargestellt. Sie sind überwiegend kupferreich, wobei eine Unterscheidung zwischen Kupfersteineinschlüssen aus den Schlacken der verschiedenen Ofenvorplätze nicht möglich ist. Es ist daher davon auszugehen, dass in den Schmelzöfen der gleiche Prozess durchgeführt wurde, der eine Anreicherung des Kupfers im Stein zum Ziel hatte. In keinem der Einschlüsse konnten Spurenelemente wie Arsen oder Antimon, die auf die Verwendung von Fahlerzen hinweisen würden, nachgewiesen werden. Die verhütteten Ausgangsstoffe sind demnach auf der Linie Chalkopyrit-Bornit zu suchen.

### 6.6.3.2 Halde 1

In Schlackenhalde 1 wurden drei bronzezeitliche, aufeinanderfolgende, schlackenführende Schichten identifiziert. Dabei entspricht Schicht 7 der älteren, Schicht 6 der mittleren und Schicht 5 der jüngeren Schicht. Erste Analysen von bronzezeitlichen Schlacken dieser Halde wurden bereits von Thalhammer/Thalhammer<sup>107</sup> durchgeführt (vgl. Tab. A.17 bis A.20). Dabei konnten sie keine signifikanten Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Schlacken aus den einzelnen Schichten feststellen. Die Ergebnisse der erneuten Untersuchungen hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung (vgl. Tab. A.3) sind in Abbildung 6.74 dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass die Schlacken der einzelnen Schichten weitestgehend die gleiche Zusammensetzung aufweisen und den Ergebnissen von THALHAMMER/THALHAMMER<sup>108</sup> entsprechen. Aufgrund der einheitlichen Zusammensetzung der Schlacken aus der älteren, der mittleren und der jüngeren Phase der Schlackenhalde 1 ist davon auszugehen, dass sie während der gleichen Stufe des Schmelzprozesses entstanden sind.

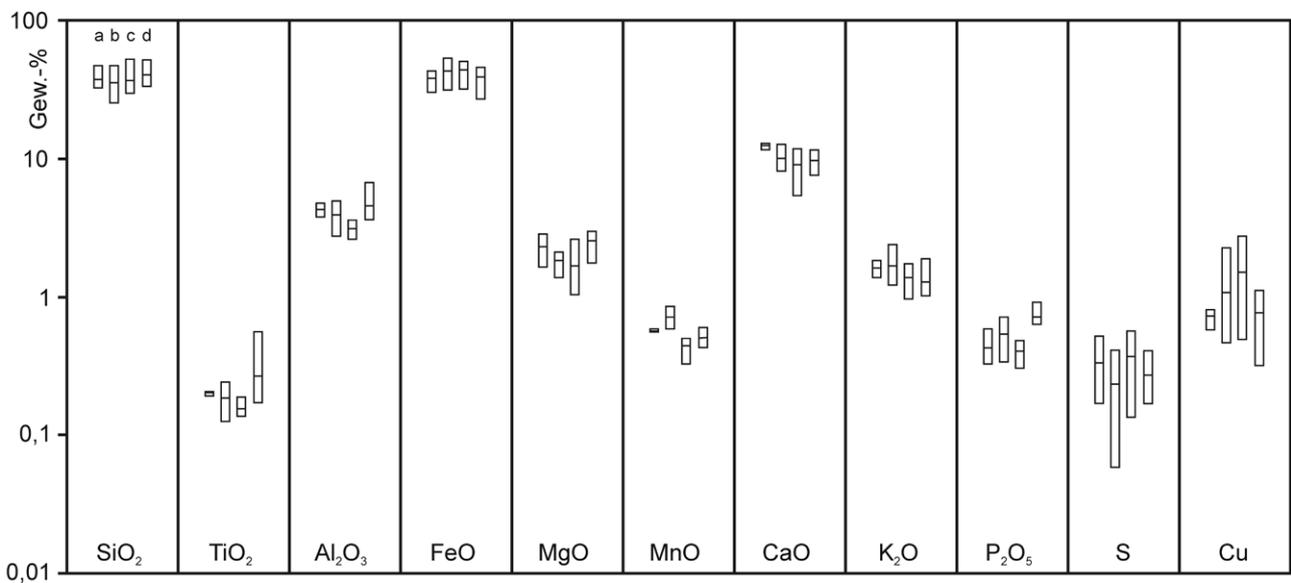


Abb. 6.74: Vergleich der Pauschalanalysen der Schlacken aus der älteren (a, n=3), der mittleren (b, n=5) und der jüngeren Phase (c, n=4) von Halde 1 sowie den Analysen von THALHAMMER/THALHAMMER 2006 (d, n=12) (Nummerierung in allen Spalten entsprechend Spalte 1). Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.74. Comparison of the chemical composition of slags from the older phase (a, n=3), the middle phase (b, n=5) and the younger phase (c, n=4) of slag dump 1 and the analyses of THALHAMMER/THALHAMMER 2006 (d, n=12) (numbering in all cases according to column 1). Graphic: Steffen Kraus

<sup>106</sup> SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952.

<sup>107</sup> THALHAMMER/THALHAMMER 2006.

<sup>108</sup> THALHAMMER/THALHAMMER 2006.

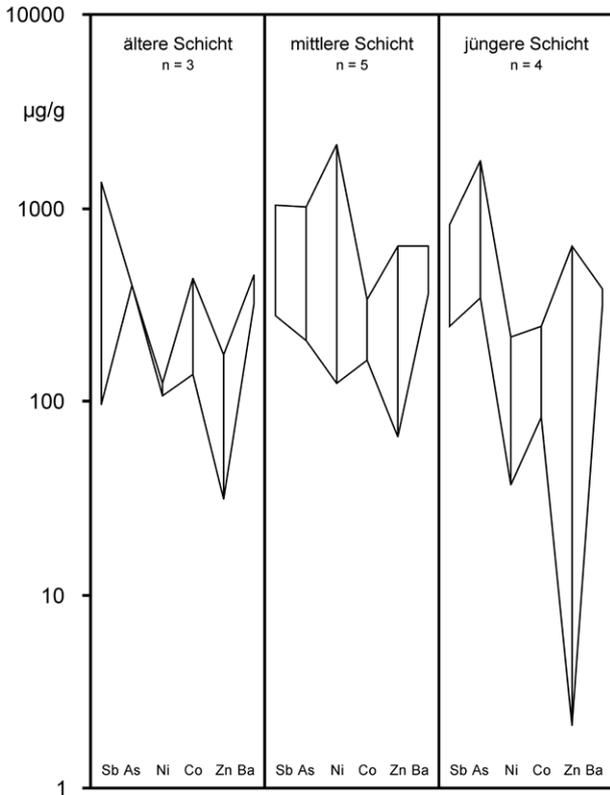


Abb. 6.75: Vergleich ausgewählter Spurenelemente der Schlacken der älteren, der mittleren und der jüngeren Phase von Halde 1. Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.75. Comparison of selected trace elements in slags from slag dump 1. Graphic: Steffen Kraus

Bei der Betrachtung der Spurenelementgehalte (Abb. 6.75) der Schlacken fällt zunächst der große Schwankungsbereich von Zink in den Schlacken aus der jüngeren Phase auf. Im Mittel liegt er jedoch im Schwankungsbereich der übrigen Schlacken. Die Schlacken der jüngeren Phase zeichnen sich außerdem durch leicht höhere Arsengehalte aus, während die Schlacken aus der mittleren Schicht etwas höhere Nickelgehalte aufweisen. Nur in einer Probe konnte ein Kupfersteineinschluss nachgewiesen werden, der neben den Hauptelementen Kupfer, Eisen und Schwefel Spuren von Arsen, Antimon und Nickel enthält (vgl. Tab. A.9). Dies lässt darauf schließen, dass die verhütteten Erze diese Elemente enthielten, eine Verhüttung von Fahlerzen ist jedoch als unwahrscheinlich anzusehen. Die Anwesenheit von Barium lässt auf eine barythaltige Gangart der verhütteten Erze schließen.

Insgesamt zeigen die Schlacken der einzelnen Haldenschichten von Halde 1 eine ähnliche chemische Zusammensetzung. Eine Unterscheidung der Schlacken aus den einzelnen Schichten sowie deren Zuordnung zu unterschiedlichen Prozessstufen ist daher nicht möglich.

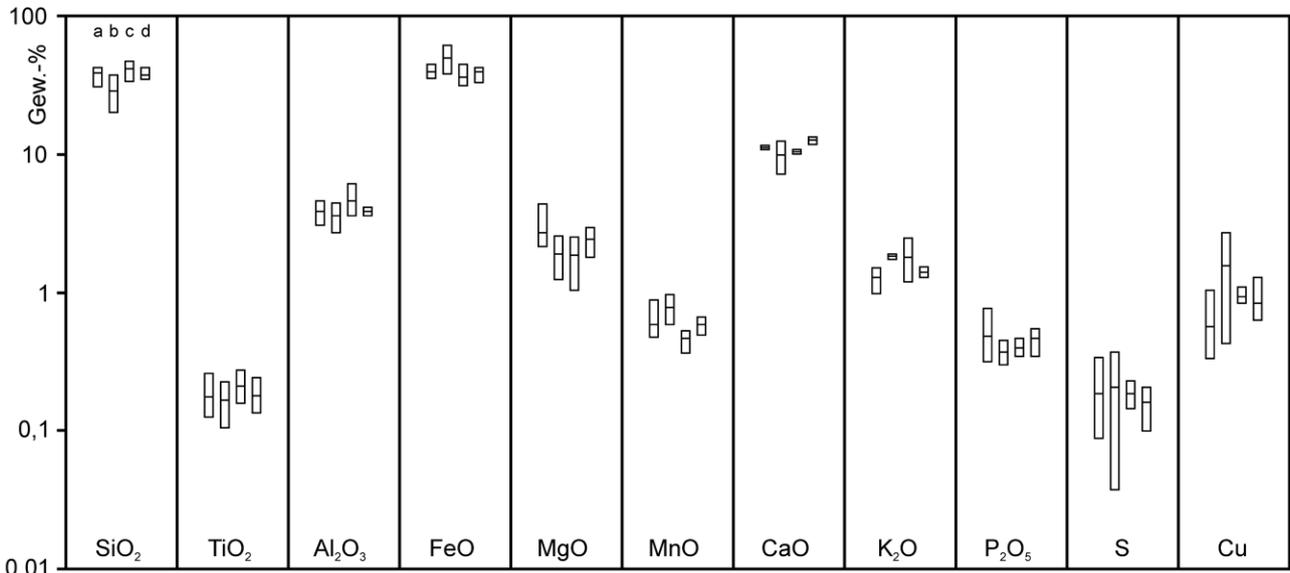


Abb. 6.76: Vergleich der Pauschalanalysen der Schlacken aus dem älteren (a, n=5), dem mittleren (b, n=2), dem jüngeren (c, n=3) sowie dem jüngsten Schichtpaket (d, n=4) von Halde 2 (Nummerierung in allen Spalten entsprechend Spalte 1). Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.76. Comparison of the chemical composition of slags from the older phase (a, n=5), the middle phase (b, n=2), the younger phase (c, n=3) and the youngest phase of slag dump 2 (d, n=4) (numbering in all cases according to column 1). Graphic: Steffen Kraus

### 6.6.3.3 Halde 2

Stratigraphisch lässt sich die Halde 2 in vier aufeinanderfolgende schlackenführende Schichtpakete einteilen. Das ältere Schichtpaket setzt sich aus den Schichten 17, 19, 22, 21a (Pl. 569) und 21b (Pl. 648) zusammen. Die darüber liegende Schicht 7 entspricht dem mittleren und Schicht 6 dem jüngeren Schichtpaket. Das jüngste Schichtpaket der Halde 2 wird durch die Schichten 2 und 3 gebildet. Die Ergebnisse der pauschalchemischen Analyse der Schlacken sind in Abbildung 6.76 in einem Balkendiagramm wiedergegeben.

Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Schlacken der einzelnen Schichtpakete keine signifikanten Unterschiede in ihrer Zusammensetzung aufweisen. Während die Schlacken der mittleren Phase etwas geringere  $\text{SiO}_2$ -Gehalte und entsprechend höhere Gehalte an  $\text{FeO}$  besitzen, zeigen die Schlacken aus den jüngeren Phasen etwas niedrigere Gehalte an  $\text{MnO}$ . Die Schlacken der älteren Phase enthalten leicht höhere Gehalte an  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , was auf eine stärkere Reaktion mit der silikatischen Innenauskleidung hinweist. Tendenziell besitzen jedoch alle Schlacken eine ähnliche Zusammensetzung, weshalb davon auszugehen ist, dass die Schlacken der Halde 2 unter gleichen Bedingungen entstanden und demzufolge aus einer Prozessstufe stammen.

Anhand des Vergleichs ausgewählter Spurenelemente der untersuchten Schlacken von Halde 2

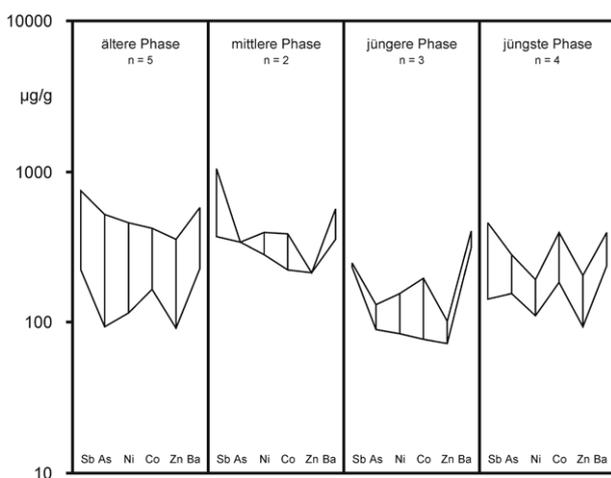


Abb. 6.77: Vergleich ausgewählter Spurenelemente der Schlacken der älteren, der mittleren, der jüngeren sowie der jüngsten Phase von Halde 2.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.77. Comparison of selected trace elements in slags from slag dump 2.

Graphic: Steffen Kraus

(Abb. 6.77) zeigt sich, dass die Schlacken der jüngeren Schichtpakete im Mittel deutlich niedrigere Spurenelementgehalte besitzen. Die Schlacken des mittleren Schichtpakets weisen dagegen etwas höhere Gehalte an Antimon, Arsen und Nickel gegenüber dem jüngeren Schichtpaket auf. Bei den mikroanalytischen Untersuchungen der Kupfersteinschlüsse konnten diese Elemente jedoch nicht nachgewiesen werden. Auffällig ist zudem die starke Streuung der Spurenelementgehalte der Schlacken des älteren Schichtpakets, wodurch eine Unterscheidung der Schlacken aus den einzelnen Phasen der Halde 2 nur schwer möglich ist.

### 6.6.3.4 Halde 3

Die Halde 3 wird aufgrund ihrer Stratigraphie in drei Phasen gegliedert. Die ältere Phase besteht aus den Schichten 4, 5, 10 und 22. Der mittleren Phase werden die Schichten 23, 24 und 25 sowie die Schicht 25a (Pl. 884) zugeordnet. Die Schichten 2, 9, 11a, 13, 17 und 18 entsprechen der jüngeren Phase. Die Ergebnisse der pauschalanalytischen Untersuchungen der Schlacken aus den drei Phasen der Halde 3 sind in Abbildung 6.78 dargestellt.

Alle Schlacken besitzen eine ähnliche Zusammensetzung, wobei die Schlacken der älteren Phase deutlich niedrigere  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte aufweisen. Da  $\text{Al}_2\text{O}_3$  hauptsächlich aus den Tonmineralen des Ofenlehms, mit dem das Innere des Schmelzofens ausgekleidet wurde, in die Schlackenschmelze eingebracht wird, sind die höheren  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte in den Schlacken der mittleren und jüngeren Phase auf eine intensivere Reaktion der Schlackenschmelze mit der Ofenwand zurückzuführen. Abgesehen davon lässt die sonst einheitliche Zusammensetzung der Schlacken insgesamt auf einen gleichartig geführten Schmelzprozess schließen.

Grundsätzlich weisen alle Schlacken ähnliche Spurenelementsignaturen auf (vgl. Abb. 6.79), weshalb eine Unterscheidung der Schlacken anhand ihrer Spurenelementgehalte nur schwer möglich ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass sie unter ähnlichen Bedingungen gebildet wurden. Lediglich die Schlacken der älteren Phase zeigen durchschnittlich geringere Spurenelementgehalte. Die leicht höheren Gehalte an Antimon, Arsen und Nickel in den Schlacken der mittleren und jüngeren Phase lassen eine Verhüttung einer etwas fehlerreicheren Charge vermuten.

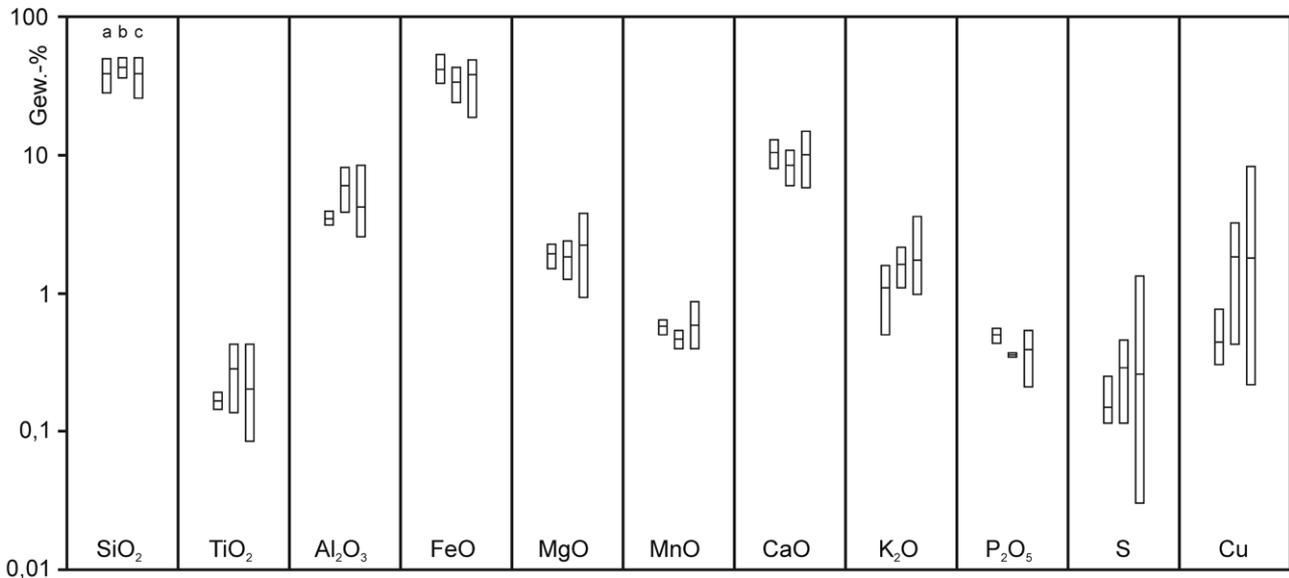


Abb. 6.78: Vergleich der Pauschalanalysen der Schlacken aus der älteren (a, n=4), mittleren (b, n=2) sowie der jüngeren Phase von Halde 3 (c, n=10) (Nummerierung in allen Spalten entsprechend Spalte 1).

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.78. Comparison of the chemical composition of slags from the older phase (a, n=4), the middle phase (b, n=2) and the younger phase of the slag dump 3 (c, n=10) (numbering in all cases according to column 1).

Graphic: Steffen Kraus

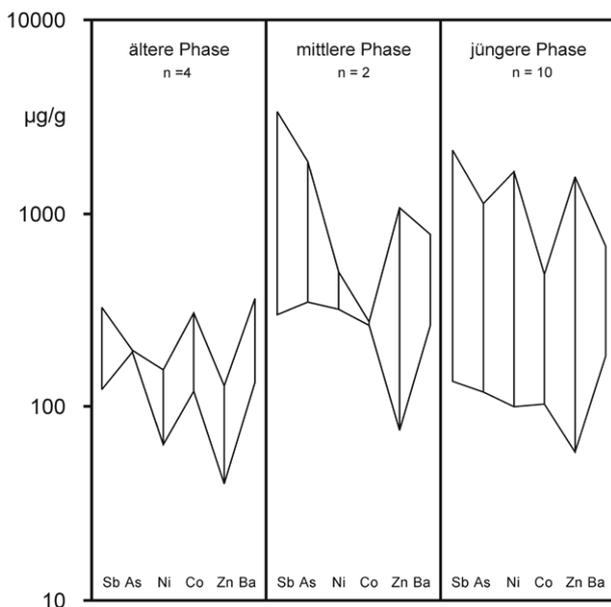


Abb. 6.79: Vergleich ausgewählter Spurenelemente der Schlacken der älteren, mittleren und jüngeren Phase von Halde 3.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.79. Comparison of selected trace elements in slags from slag dump 3.

Graphic: Steffen Kraus

#### 6.6.3.5 Vergleich der Schlacken von den Ofenvorplätzen und den Halden

Aus den vorangegangenen Betrachtungen wird ersichtlich, dass sich die Schlacken der Ofenvorplätze sowie die Schlacken aus den einzelnen Schichten der untersuchten Halden nicht voneinander unterscheiden lassen. Bevor die Schlacken der Ofenvorplätze mit denen aus den Halden verglichen werden, erfolgt zunächst eine Gegenüberstellung der Halden untereinander, um herauszufinden, ob sich die Schlacken der einzelnen Halden verschiedenen Prozessstufen zuordnen lassen. Dafür wurden zunächst die Ergebnisse der pauschalchemischen Untersuchungen in einem Balkendiagramm gegenübergestellt (Abb. 6.80).

Der Vergleich zeigt, dass die Schlacken aus den Schlackenhalden keine signifikanten Unterschiede aufweisen, die auf unterschiedliche Bildungsbedingungen hindeuten könnten. Die einheitliche Zusammensetzung der Schlacken lässt vielmehr auf eine entwickelte Verhüttung sulfidischer Erze mit einer einheitlichen Prozessführung schließen.

Auch bei dem Vergleich der Spurenelementgehalte besitzen die Schlacken der einzelnen Schlackenhalden ähnliche Signaturen (Abb. 6.81). Die signifikanten Gehalte an den Elementen Antimon,

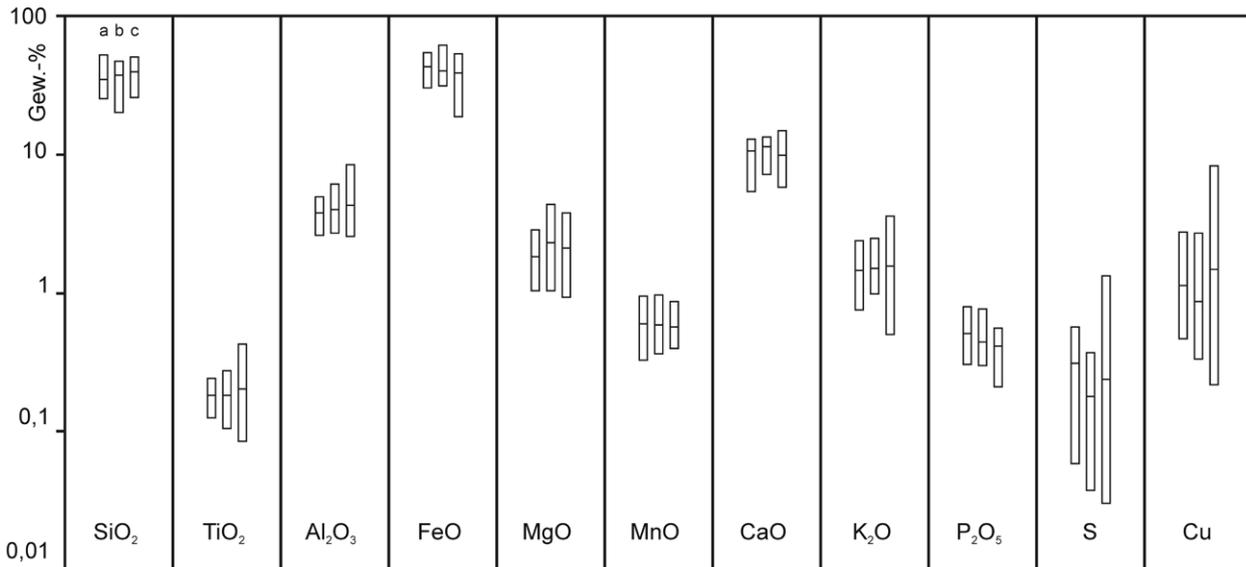


Abb. 6.80: Vergleich der Pauschalanalysen der Schlacken von Halde 1 (a, n=16), Halde 2 (b, n=14) und älteren Halde 3 (c, n=16) (Nummerierung in allen Spalten entsprechend Spalte 1).

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.80. Comparison of the chemical composition of slags from slag dump 1 (a, n=16), slag dump 2 (b, n=14) und slag dump 3 (c, n=16) (Numbering in all cases according to column 1).

Graphic: Steffen Kraus

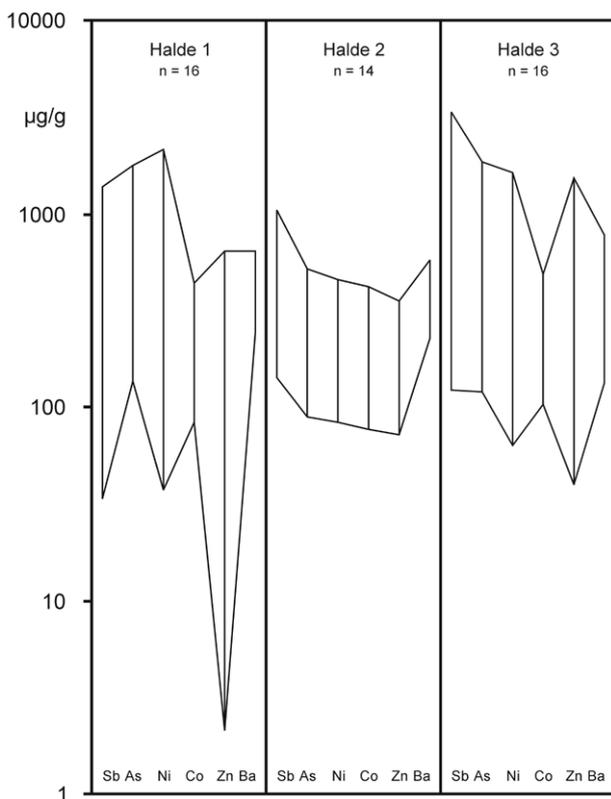


Abb. 6.81: Vergleich ausgewählter Spurenelemente der Schlacken aus den Schlackenhalden vom Kupferschmelzplatz S1.

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.81. Comparison of selected trace elements in slags from the slag dumps of the Copper Smelting Site S1.

Graphic: Steffen Kraus

Arsen und Nickel zeigen, dass die zur Verhüttung gelangten Erzchargen auch geringe Anteile an Fahlerz und nickelhaltigen Mineralen enthielten. Bei der mikroanalytischen Untersuchung der Kupfersteineinschlüsse wurden diese Elemente jedoch nicht nachgewiesen. Es ist daher eindeutig, dass eine Verhüttung von Fahlerzen nicht bewusst durchgeführt wurde. Auffällig ist außerdem, dass ein Großteil der Schlacken erhebliche Mengen an Zink enthalten, die eine Vergesellschaftung von Zinkblende mit dem verhütteten Erz vermuten lassen. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Schlacken der untersuchten Schlackenhalden aus einem ähnlichen Verfahrensschritt stammen, wobei vermutlich die gleichen Ausgangserze für die Verhüttung herangezogen wurden.

Bei den untersuchten Kupfersteineinschlüssen in den Schlacken aus den Halden handelt es sich überwiegend um kupferreiche Steine (Abb. 6.82). Lediglich in einer Schlacke der Halde 1 (Probe MA-091447, FNr. 595) wurden auch eisenreiche Steine nachgewiesen. Schlacken aus der Halde 2 enthalten zudem metallisches Kupfer. Aufgrund der überwiegend kupferreichen Steineinschlüsse wird davon ausgegangen, dass alle untersuchten Schlacken aus den Halden einem ähnlichen Prozess zuzuordnen sind, der die Gewinnung von Kupferstein zum Ziel hatte.

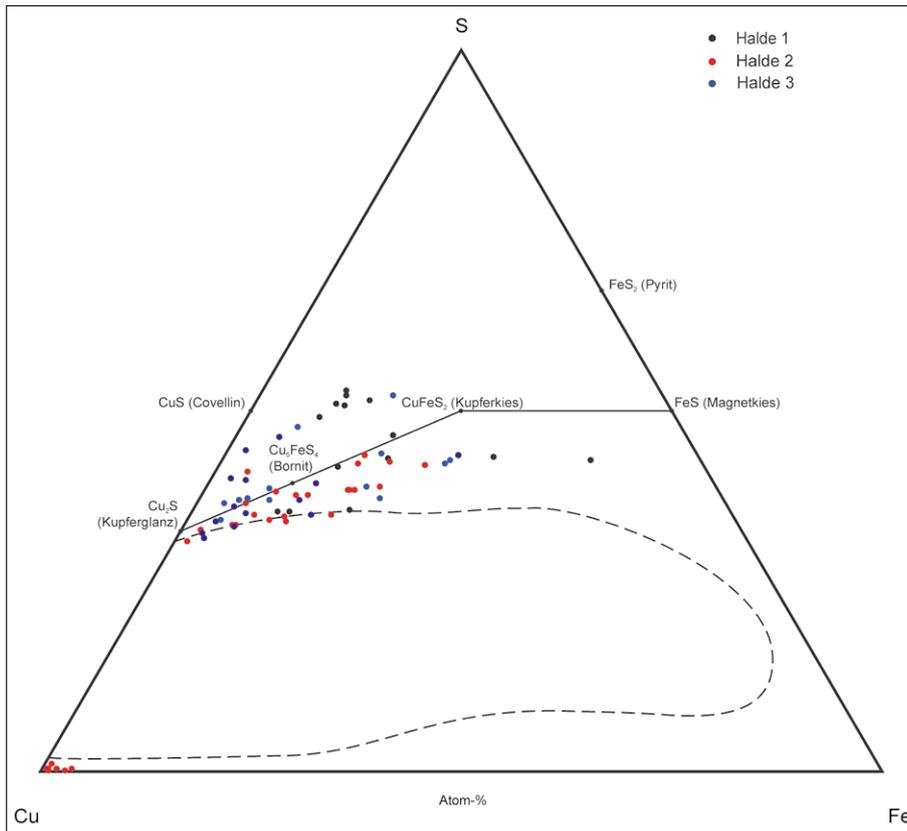


Abb. 6.82: Darstellung der Zusammensetzung der Sulfideinschlüsse in den Schlacken aus den Schlackenhalden vom Kupferschmelzplatz S1 im System Cu-Fe-S.

Nach SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

Fig. 6.82. Chemical composition of sulphide inclusions in slags from the slag dumps of the Copper Smelting Site S1 plotted in the system Cu-Fe-S.

After SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

Neben den Schlacken aus den einzelnen Haldenschichten wurden auch die Schlacken untersucht, die aus den die Halden überlagernden Schichten stammen. Die Untersuchung der pauschalchemischen Zusammensetzung dieser Schlacken ergab tendenziell etwas niedrigere Gehalte an  $\text{SiO}_2$  und leicht höhere Gehalte an  $\text{FeO}$  (vgl. Tab. A.3). Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass sie unter vergleichbaren Bedingungen entstanden wie die Schlacken der Halden. Aus welchen Objekten diese Schlacken ursprünglich stammen, lässt sich allerdings nicht mehr feststellen.

Durch den Vergleich der Ergebnisse der Untersuchungen an den Schlacken der Ofenvorplätze und den Schlacken der Halden (vgl. Abb. 6.71–6.73 und Abb. 6.80–6.82) wird deutlich, dass eine Unterscheidung der Schlacken von einzelnen Objekten kaum möglich ist. Dies zeigt, dass an den verschiedenen Stellen des Kupferschmelzplatzes S1 vergleichbare Bedingungen herrschten, die zur Bildung der einzelnen Schlacken führten.

#### 6.6.4 Die Schlacken der verschiedenen Nutzungsphasen im Westteil des Kupferschmelzplatzes S1

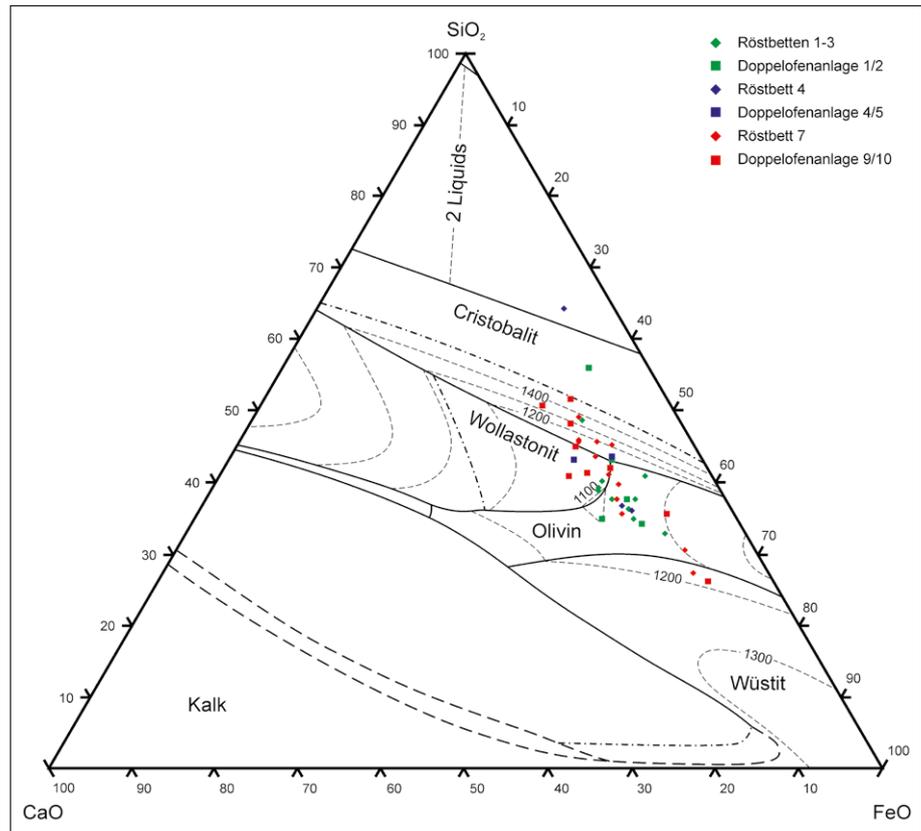
Ein Vergleich der Schlacken aus den unterschiedlichen Nutzungsphasen (vgl. Kap. 6.4.1.) ermöglicht Aussagen über eventuelle diachrone Veränderungen im Prozessablauf.

Die anhand ihrer makroskopischen Eigenschaften unterteilten Schlackentypen sind in allen Nutzungsphasen des Kupferschmelzplatzes S1 nachgewiesen, wobei nicht festgestellt werden konnte, dass ein bestimmter Schlackentyp für eine bestimmte Nutzungsperiode charakteristisch ist. Auffällig ist allerdings, dass an der Doppelofenanlage 1/2 deutlich mehr Plattenschlacken (Typ C) gefunden wurden. Für die Unterlage der Röstbetten der einzelnen Betriebsphasen wurden die Schlackentypen A, B sowie A+B verwendet. Für alle Nutzungsphasen zeigt sich dabei, dass die Schlacken aus den Röstbetten eine deutlich rötlichere Färbung der Oberfläche aufweisen, was auf die wiederholte Hitzeeinwirkung während des Röstens zurückzuführen ist.

Für den Vergleich der Zusammensetzung der Schlacken aus den Nutzungsphasen wurden die Hauptkomponenten in das Schmelzdiagramm des

Abb. 6.83: Darstellung der Hauptkomponenten der Schlacken der verschiedenen Nutzungsphasen des Westteils des Kupferschmelzplatzes S1 im System CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO nach KOWALSKI et al. (1995, 126) (rot = ältere Phase, blau = mittlere Phase, grün = jüngere Phase).

Fig. 6.83. Chemical composition of slags from the different phases of use of the western part of the Copper Smelting Site S1 plotted in the system CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO after KOWALSKI et al. (1995, 126) (red = older phase, blue = middle phase, green = younger phase).



ternären Systems CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO nach KOWALSKI u. a.<sup>109</sup> eingetragen (Abb. 6.83). Die Schlacken der jüngeren Phase besitzen tendenziell niedrigere SiO<sub>2</sub>-Gehalte als die Schlacken der älteren und der mittleren Nutzungsphase. Die niedrigeren SiO<sub>2</sub>-Gehalte lassen sich darauf zurückführen, dass diese Schlacken tendenziell weniger unaufgeschmolzene Quarzbruchstücke enthalten, wie durch die lichtmikroskopischen Untersuchungen festgestellt wurde. Generell weisen alle Schlacken eine ähnliche Zusammensetzung auf. Es handelt sich überwiegend um Fayalit-Schlacken bzw. um Fayalit/Pyroxen-Schlacken, wobei der Pyroxenanteil hauptsächlich aus Hedenbergit besteht (vgl. Kap. 6.5). Auch sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schlacken aus den Röstbetten und den Schmelzöfen der einzelnen Nutzungsphasen festzustellen. Die ähnliche Zusammensetzung der Schlacken lässt darauf schließen, dass während der Schlackenbildung über die gesamte Betriebsdauer des Westteils des Schmelzplatzes hinweg weitestgehend die gleichen

Bedingungen herrschten. Anhand der im Diagramm eingetragenen Isothermen lässt sich für alle untersuchten Schlacken ein Temperaturbereich von 1150–1300° C ablesen.

Um Hinweise zu erhalten, in welcher Stufe der Verhüttung die Schlacken entstanden sind, wurden die Ergebnisse der Untersuchungen an den Kupfersteineinschlüssen in das Zustandsdiagramm des ternären Systems Cu-Fe-S nach SCHLEGEL/SCHÜLLER<sup>110</sup> eingetragen (Abb. 6.84). Daraus ergibt sich, dass es sich überwiegend um kupferreiche Steine handelt, sowie um metallisches Kupfer. Nur eine Schlacke der älteren Nutzungsphase (Probe MA-092843, FNr. 1200, Röstbett 7) enthält zudem eisenreichere Steine. Dennoch kann für alle Nutzungsperioden angenommen werden, dass auf Kupferstein verhüttet wurde. Demnach lassen sich für den gesamten Betriebszeitraum des Westteils des Kupferschmelzplatzes S1 keine Änderungen bezüglich der Prozessführung bei der Verhüttung der sulfidischen Kupfererze nachweisen.

<sup>109</sup> KOWALSKI u. a. 1995, 126.

<sup>110</sup> SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952.

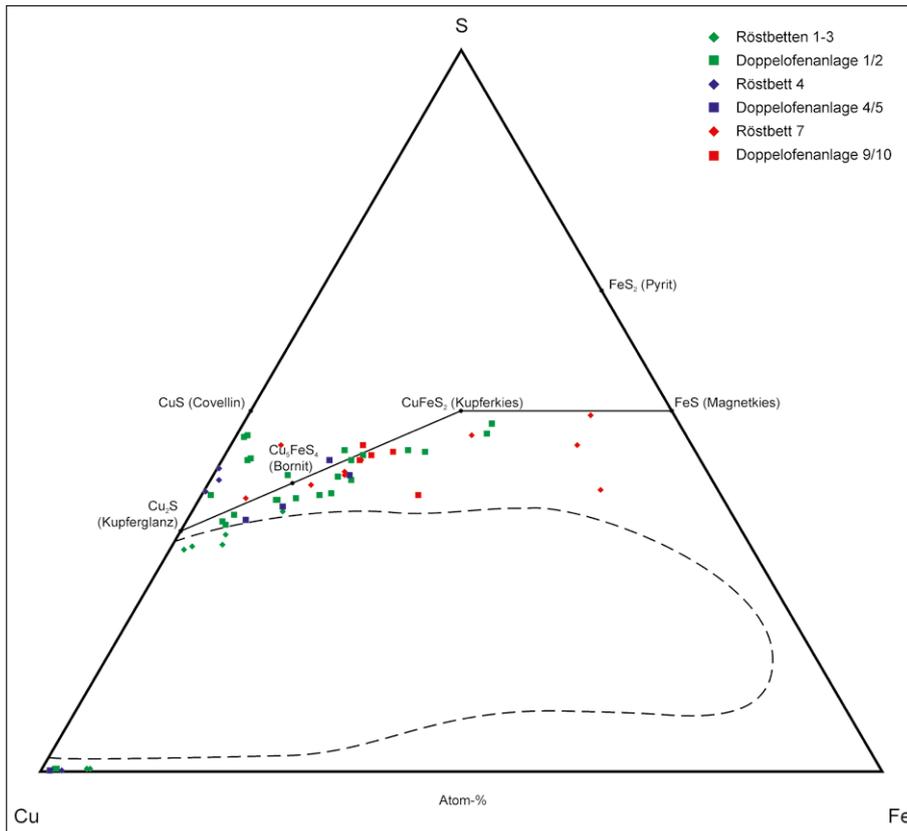


Abb. 6.84: Darstellung der Zusammensetzung der Sulfid-einschlüsse in den Schlacken verschiedener Nutzungsphasen im Westteil des Kupferschmelzplatzes S1 im System Cu-Fe-S nach SCHLEGEL/SCHÜLLER (1952) (rot = ältere Phase, blau = mittlere Phase, grün = jüngere Phase).

Fig. 6.84. Chemical composition of sulphide inclusions of slags from the different phases of use of the western part of the Copper Smelting Site S1 plotted in the system Cu-Fe-S after SCHLEGEL/SCHÜLLER (1952) (red = older phase, blue = middle phase, green = younger phase).

## 6.7 Die bronzezeitliche Kupfererzverhüttung am Kupferschmelzplatz S1

### 6.7.1 Die Rohstoffbasis

Bei den auf dem Kupferschmelzplatz S1 gefundenen Erzstücken handelt es sich in erster Linie um Eisenerze, die für die bronzezeitliche Kupferverhüttung jedoch keine Relevanz hatten. Möglicherweise wurden die Erzchargen am Hüttenplatz noch einmal ausgelesen und an Kupfererzen angereichert, jedoch lässt sich dies im archäologischen Befund nicht nachweisen.<sup>111</sup> Die Eisenerze wären demnach als Abgang dieses Anreicherungs-schrittes zu interpretieren. Auf keinen Fall dürfte es sich um Zuschlagsmaterial handeln, was gelegentlich diskutiert wird.<sup>112</sup> Denn Kupferkies enthält auch in gerösteter Form genug Eisen, um eine fayalitische Schlacke zu bilden. Lediglich die Probe MA-091472 (FNr. 2994) von Halde 3 enthält Spuren von sulfidischem Kupfererz, wobei die mikroskopischen und mikroanalytischen Untersuchungen zeigten,

dass es sich dabei um Chalkopyrit handelt, welcher mit Pyrit vergesellschaftet ist. Die Menge des enthaltenen Erzes war vermutlich auch für bronzezeitliche Verhältnisse nicht ausreichend, weshalb es als „Abfall“ auf die Halde gelangte. Das Nebengestein besteht hauptsächlich aus Quarz bzw. Quarzit und weist auf die quarzreiche Gangart der hydrothermalen Sulfidlagerstätten der nördlichen Grauwackenzone hin. Auch für den Großteil der untersuchten Schlacken konnten bereits bei der makroskopischen Beschreibung unaufgeschmolzene Quarzeinschlüsse nachgewiesen werden, wobei einige dieser Quarzstücke entlang von feinen Rissen noch Reste von Sulfiden enthalten. Daneben treten in den Schlacken aber auch zahlreiche reine Quarzeinschlüsse auf, die ebenfalls auf die quarzreiche Gangart der hydrothermalen Sulfidlager hinweisen, da diese häufig auch im Bereich von mehreren Zentimetern nicht mit Erzen durchsetzt sind.

<sup>111</sup> Vgl. Beitrag KLEMM, Kap. 4, in diesem Band.

<sup>112</sup> HAUPTMANN 2000, 159.

Die Interpretation der Quarzeinschlüsse in den Schlacken als unaufgeschmolzene Chargenrelikte ist demnach sehr wahrscheinlich. Insofern kann eine intentionelle Zugabe von Quarz (z. B. in Form von Sand oder zerkleinerten Quarziten) als Flussmittel weitgehend ausgeschlossen werden.

Die Frage nach der Herkunft der verhütteten Erze ist anhand der einzigen Erzprobe wohl kaum zu beantworten. Anhand eines Vergleichs der chemischen Zusammensetzung der untersuchten Schlacken mit den Ergebnissen von Analysen an Erzen aus Lagerstätten der näheren Umgebung des Schmelzplatzes aus der Literatur können jedoch Hinweise auf potentielle Lagerstätten gewonnen werden. Dafür wurden die schlackenbildenden Oxide  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$  der hydrothermalen Ganglagerstätte des Paradiesstollens (Radmer) und den Sulfidlagern des Steirischen Erzberges (auf 100 % normiert) mit

den unterschiedlichen Schlackentypen verglichen (Abb. 6.85).  $\text{FeO}$  und  $\text{Na}_2\text{O}$  wurden dabei nicht berücksichtigt, da Eisen bei der Verhüttung nicht vollständig in die Schlacke übergeht sondern zu einem nicht bestimmbar Teil an das Schmelzprodukt (Kupferstein) gebunden bleibt und Natrium nur mit geringer Präzision bestimmt wurde und geochemisch sehr mobil ist. Zum Zeitpunkt der Arbeit lagen für potentielle Lagerstätten in der Eisenerz Ramsau keine Analysedaten bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung vor, weshalb sie in diesen Vergleich nicht aufgenommen werden konnten.

Wie dem Verteilungsmuster der Oxide zu entnehmen ist, sind die Streubereiche der einzelnen Oxide in den beiden Erzvorkommen so groß, dass die chemische Zusammensetzung der Schlacken sowohl mit den Erzen des Paradiesstollens als auch den Erzen vom Steirischen Erzberg prinzipiell kompatibel ist.<sup>113</sup> Allerdings ist diese Aussage für die

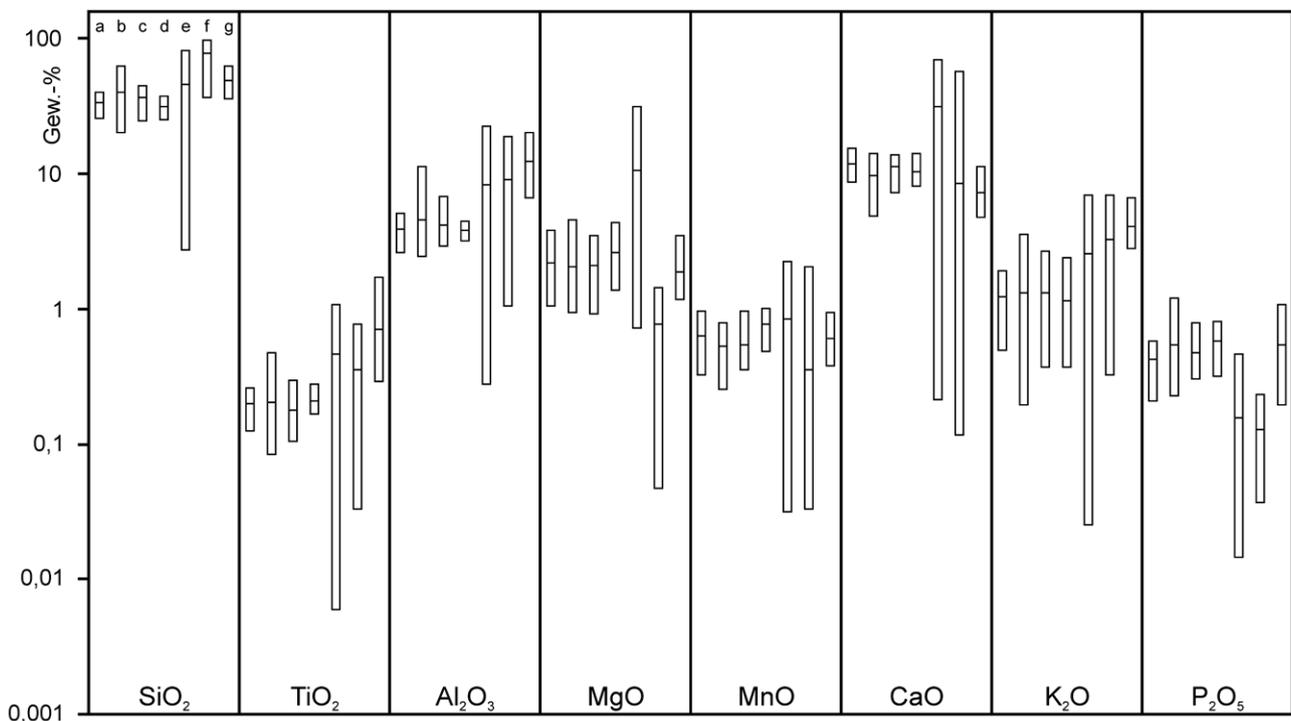


Abb. 6.85: Vergleich der Zusammensetzung der Laufschlacken (Typ A) (a), Blasenschlacken (Typ B) (b), Schlacken vom Typ A+B (c), Plattenschlacken (Typ C) (d) und Ofenwandverschlackungen (e) mit den auf 100 % normierten Analysen der Erze vom Paradiesstollen (f) und vom Steirischen Erzberg (g) (Erzanalysedaten aus Ofner 2002) (Nummerierung in allen Spalten entsprechend Spalte 1).

Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.85. Chemical composition of type A slags (a), type B slags (b), type C slags (c), type A+B slags (d) and slag lining samples (e) in comparison with normalised composition of ores from "Paradiesstollen" (f) and "Erzberg" (g) (ore data from Ofner 2002) (numbering in all cases according to column 1).

Graphic: Steffen Kraus

<sup>113</sup> Vgl. Beitrag NEINAVAIIE, Kap. 3.2, in diesem Band.

Diskussion einer Herkunftsbeziehung von geringer Bedeutung. Denn die chemische Zusammensetzung der Schlacken wird nicht nur durch die Erze und deren Gangart und durch allfällige Zuschlagstoffe bestimmt sondern auch durch die Zusammensetzung der keramischen Bestandteile der Ofeninnenauskleidung.<sup>114</sup> Wie ebenfalls aus Abbildung 6.85 hervorgeht, lässt die Zusammensetzung der Ofenwandverschlackung vermuten, dass deren Gehalte an  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{K}_2\text{O}$  zu einer Konzentrationserhöhung dieser Oxide in den Schlacken führte. Darüber hinaus bedingt erhöht auch die Asche des Brennmaterials die Gehalte an  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Zusätzlich zum Vergleich der chemischen Zusammensetzung von Erzen und Schlacken müssen auch die unterschiedlichen Erzminerale der Lagerstätten berücksichtigt werden. Wie die mineralogischen Untersuchungen zeigen, enthalten alle Schlackentypen unterschiedlich zusammengesetzte Cu/Fe-Sulfideinschlüsse mit der Tendenz zu kupferreichen Steinen. Daher ist davon auszugehen, dass in erster Linie Chalkopyrit bzw. ein Gemisch aus Chal-

kopyrit und Pyrit verhüttet wurde. Die Vererzungen in der Eisenerzer Ramsau bestehen hauptsächlich aus Chalkopyrit mit Verwachsungen von Covellin und Pyrit mit Quarz als Ganggestein. Im Chalkopyrit sind gelegentlich Zinkblende- und Millerittropfen eingebettet.<sup>115</sup> Die Haupterzminerale des Paradiesstollens sind Chalkopyrit, antimonreiches Fahlerz, Zinkblende und Pyrit. Untergeordnet findet sich Pentlandit, Millerit und Magnetkies. Als Nebengestein treten hier vorwiegend Quarz und Karbonate der Ankerit-Dolomit-Mischkristallreihe auf.<sup>116</sup> Am Steirischen Erzberg bilden Pyrit und Chalkopyrit die Primärvererzung neben Fahlerz, Covellin, Markasit, Gersdorffit und Zinkblende in Sulfid-Quarz-Eisenkarbonatgängen.<sup>117</sup> Demnach sind auch die Mineralassoziationen der untersuchten Lagerstätten sehr ähnlich, wodurch eine eindeutige Zuordnung nicht möglich ist.

Eine weitere Möglichkeit, Hinweise zur Herkunft der verwendeten Rohstoffe zu erhalten, ergibt sich aus dem Vergleich der Bleiisotopensignaturen von Erzen und Schmelzprodukten. In Abbildung 6.86 sind die Ergebnisse der Bleiisotopenanalyse

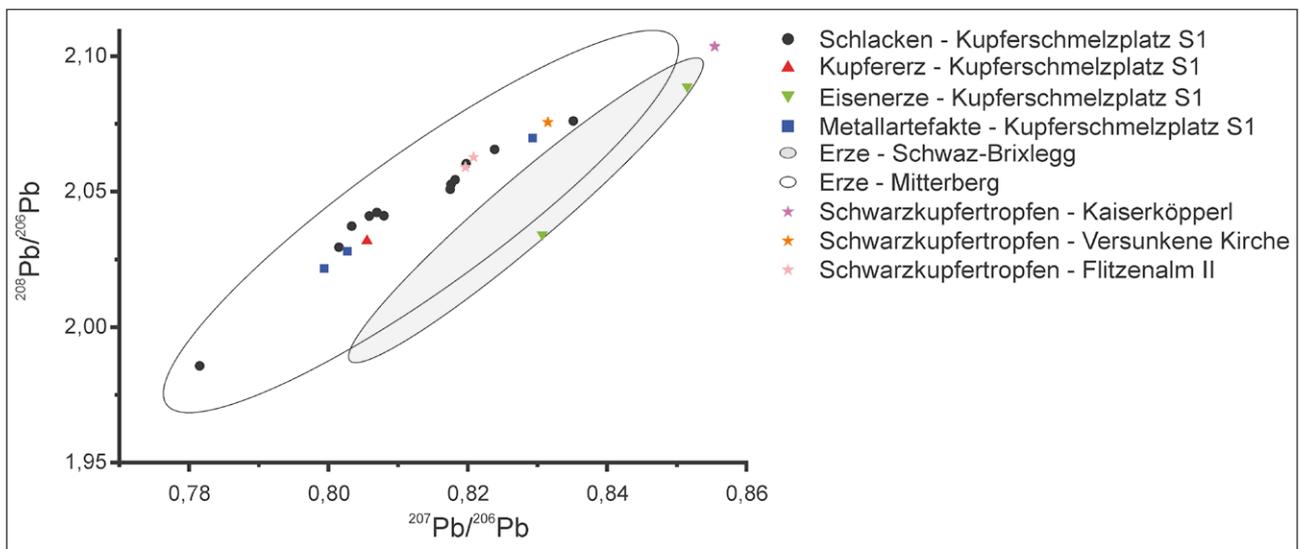


Abb. 6.86: Bleiisotopenverhältnisse von Schlacken, Erzen und Metallfunden vom Kupferschmelzplatz S1 im Vergleich mit Erzen vom Mitterberg und der Region Schwaz-Brixlegg sowie von Schwarzkupfertropfen in Schlacken verschiedener Fundstellen der Eisenerzer Alpen.

Daten aus KUNSTMANN 2003; HÖPPNER et al. 2005; LUTZ et al. 2009, 2010, Grafik: Steffen Kraus

Fig. 6.86. Lead isotope ratios of slags, ores and metals from Copper Smelting Site S1 in comparison with ores from Mitterberg and the Schwaz-Brixlegg region as well as black copper prills from different sites in the Eisenerzer Alps.

Data from KUNSTMANN 2003, HÖPPNER et al. 2005, LUTZ et al. 2009, 2010, graphic: Steffen Kraus

<sup>114</sup> BACHMANN 1982, 9.

<sup>115</sup> OFNER 2002, 154.

<sup>116</sup> OFNER 2002, 150.

<sup>117</sup> OFNER 2002, 152.

von Schlacken, Metallartefakten und Erzstücken vom Kupferschmelzplatz S1 dargestellt (vgl. Tab. A.14). Zum Vergleich sind die Bereiche der Bleiisotopenverhältnisse der Erze vom Mitterberg, Salzburg, sowie die Signaturen der Fahlerzvererzungen aus dem Raum Schwaz-Brixlegg, Tirol, eingetragen. Ergänzend sind die Bleiisotopenverhältnisse von Schwarzkupfertropfen aus Schlacken von anderen Fundstellen der Eisenerzer Alpen (Kaiserköpferl, Versunkene Kirche und Flitzenalm II) dargestellt. Sowohl die Schlacken als auch die Metallartefakte vom Kupferschmelzplatz S1 weisen eine große Streuung der Bleiisotopenverhältnisse auf. Auffällig ist dabei die Übereinstimmung der Signaturen mit denen der Erze vom Mitterberger Revier. Dies ist allerdings kein Herkunftsnachweis sondern zeigt lediglich, dass die verhütteten Erze aus ähnlichen genetischen Verhältnissen stammen. Sowohl im Mitterberger Revier als auch im Gebiet der Eisenerzer Alpen sind die Vererzungen an die paläozoischen Schichten der nördlichen Grauwackenzone gebunden (vornehmlich an Phyllite). Es handelt sich dabei um epigenetische Erzgänge, die später gebildet wurden und die Schichten diskordant durchlaufen. Typisch ist die Imprägnierung mit Uran, was zu einer sehr starken Streuung der Bleiisotopenverhältnisse auch innerhalb einer Vererzung führt. Es ist kennzeichnend für den ostalpinen Typus der Kupfervererzung, dass die Erze chemisch weitgehend einheitlich zusammengesetzt sind und bleiisotopisch stark variieren. Dies trifft auch auf die hier untersuchten Proben zu. Die übrigen Bleiisotopendaten aus den Eisenerzer Alpen zeigen Übereinstimmungen mit den Signaturen vom Kupferschmelzplatz S1. Signifikante Aussagen über die Herkunft der verhütteten Erze sind daher durch Bleiisotopenanalysen allein nicht zu erwarten.

### 6.7.2 Der Verhüttungsprozess am Kupferschmelzplatz S1

Aufgrund der Bestimmung der Schmelztemperaturen der Schlacken und die Abschätzung der Sauerstoffpartialdrücke sind für die makroskopisch unterscheidbaren Schlackentypen vergleichbare Bildungsbedingungen anzunehmen. In allen untersuchten Schlacken konnten zudem Cu/Fe-Sulfide unterschiedlicher Zusammensetzung mit der Tendenz zu kupferreichen Steinen nachgewiesen wer-

den, was auf einen Schmelzgang hindeutet, bei dem Kupferstein produziert wurde. In einzelnen Schlacken treten darüber hinaus auch eisenreiche Cu/Fe-Sulfide auf, die auf die Verhüttung gemischter sulfidischer Cu/Fe-Erze hindeuten.

Obwohl auf den im archäologischen Befund als „Röstbetten“ angesprochenen Strukturen keine Röstprodukte nachgewiesen wurden (diese sind als metastabile bzw. wasserlösliche Verbindungen sicher durch Korrosion verloren gegangen), kann davon ausgegangen werden, dass die verhütteten Erze vor dem ersten Schmelzgang im Schachtofen einem Röstprozess unterzogen wurden. Die zahlreichen kupferreichen Sulfide in den Schlacken deuten dabei auf eine partielle Röstung hin. Beim partiellen Rosten von sulfidischen Erzen, die hauptsächlich aus Chalkopyrit und untergeordnet Pyrit bestehen, entstehen überwiegend kupferreiche Sulfide und Eisenoxide gemäß:



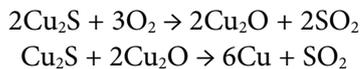
Da dabei nicht das gesamte Eisen in Oxide umgewandelt wird, bleiben auch eisenreichere Sulfide zurück. Die Röstung von kupferreichen Steinen würde ein ähnliches Bild erwarten lassen. Die Magnetitagglomerate, die in einigen Schlacken auftreten, können hierbei auch als Relikte von gerösteten Erzen angesehen werden. Bei dem anschließenden Schmelzprozess reagieren die Eisenoxide dann mit dem Quarz aus der Gangart und bilden eine fayalitische Schlacke.

Für den Metallgewinnungsprozess wird im Allgemeinen von einer Trennung zwischen Schlacke und Wertträger (Kupferstein oder Metall) durch eine flüssige Entmischung bei hohen Temperaturen ausgegangen. Voraussetzung dafür ist, dass die Schlacke und der Wertträger vollkommen aufgeschmolzen sind und sich aufgrund ihres unterschiedlichen spezifischen Gewichts trennen lassen. Wie jedoch aus den Untersuchungen der bronzeitlichen Schlacken hervorgeht, bestand der Großteil der Schlacken aus einer zähflüssigen Schmelze mit teilweise hohen Anteilen an nichtaufgeschmolzenen Chargenrelikten. Es ist daher auch denkbar, dass für eine Trennung von Schlacke und Wertträger nicht nur das unterschiedliche spezifische Gewicht eine Rolle gespielt hat, sondern vielmehr die unterschiedlichen Schmelztemperaturen von Kupferstein und Schlacke. Nach MUAN<sup>118</sup> bildet sich ab

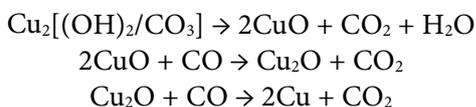
<sup>118</sup> MUAN 1955, 971.

ca. 1180° C eine fayalitische Schmelze im reinen System FeO<sub>n</sub>-SiO<sub>2</sub>. Der Schmelzpunkt von Chalkopyrit liegt dagegen bei 880° C, der von Bornit bei 925° C.<sup>119</sup> Dies ermöglicht ein Ausschmelzen der niedrighschmelzenden Cu/Fe-Sulfide aus dem gerösteten Erz bereits vor der Schlackenbildung.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die sulfidischen Einschlüsse in den Schlacken nicht das einzige Produkt der Prozessstufe darstellen, in dem sie entstanden sind. Es bildete sich während des Schmelzens auch metallisches Kupfer. Für die Bildung von metallischem Kupfer gibt es dabei mehrere Möglichkeiten. Eine Möglichkeit besteht darin, dass bei der Verhüttung von Chalkopyrit oder kupferreichen Steinen im Bereich vor den Düsen Cu-Sulfide oxidiert werden, welche dann mit den übrigen Sulfiden reagieren und metallisches Kupfer bilden gemäß:



Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch eine ausreichende Schwefelabreicherung aus den Cu/Fe-Sulfiden während des Schmelzvorganges. Dabei bildet sich metallisches Kupfer durch Entmischung entsprechend der ausgedehnten Mischungslücke des ternären Systems Cu-Fe-S.<sup>120</sup> Darüber hinaus kann für den Kupferschmelzplatz S1 auch eine Verhüttung von sulfidischen Erzen zusammen mit oxidischen Erzen nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Bei den Magnetitagglomeraten, die in ihren Zwickeln verstärkt metallisches Kupfer aufweisen, kann es sich auch um Erzrelikte aus der Verwitterungszone von Sulfidlagerstätten handeln, wodurch das enthaltene Kupfer dann durch eine direkte Reduktion der oxidischen Kupfererze entstanden ist, gemäß:



Grundsätzlich ist jedoch davon auszugehen, dass das primäre Schmelzprodukt der Prozessstufe, in der die untersuchten Schlacken gebildet wurden, der Kupferstein ist und nur nebenbei auch metallisches Kupfer gebildet wurde. Das Ausschmelzen des

Kupfersteins ist bereits bei Temperaturen unterhalb von 1000° C möglich, während die Bildung der Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 erst in einem Temperaturbereich von 1150–1300° C beginnt und solange andauert, wie das Eisenoxid/Quarz-Verhältnis in der Charge im Liquidusfeld des Systems liegt und die Temperaturen gehalten werden können. Bei einem Überschuss an Quarz oder Eisenoxid in der Charge bleiben diese als unaufgeschmolzene Reste in der Schmelze, wodurch die typischen Blasenschlacken (Typ B) entstehen, auf denen die etwas flüssigeren Laufsclacken (Typ A) aufliegen. Wie die Untersuchungen zeigen, sind die Plattenschlacken (Typ C) nicht einer eigenen Prozessstufe zuzuschreiben, sondern sie bilden vielmehr eine ideal zusammengesetzte, niedrig viskose Teilschmelze der Gesamtcharge, wie es bereits von DOONAN<sup>121</sup> postuliert wurde.<sup>122</sup> Aus den Untersuchungen der Erzlagerstätten der näheren Umgebung des Schmelzplatzes von Ofner<sup>123</sup> geht hervor, dass die Vererzungen immer mit Quarz verwachsen sind. Da wohl Erze aus der Umgebung verhüttet wurden, ist eine bewusste zusätzliche Zugabe von Quarz als Flussmittel in die Schmelze eher unwahrscheinlich.

Ob bei der Verhüttung dieser Erze eine Aufteilung verschiedener Prozessstufen auf die einzelnen Schmelzöfen einer Doppelofenlage erfolgte, kann letztlich nicht vollständig geklärt werden. Grundsätzlich kann für den Kupferschmelzplatz von einem mehrstufigen Verhüttungsverfahren ausgegangen werden. Zunächst wurden die sulfidischen Erze auf den Röstbetten partiell geröstet und anschließend im Schachtofen reduzierend geschmolzen. Der dabei produzierte Kupferstein wurde vermutlich erneut geschmolzen, um in einem weiteren Schmelzgang an Kupfer angereichert zu werden. Wie die Kupfereinschlüsse in den Schlacken zeigen, erfolgte dabei bereits eine erste Abscheidung metallischen Kupfers. Dass an diesem Schmelzplatz metallisches Kupfer erzeugt wurde, ist durch den Fund der beiden ungeformten Metallobjekte denkbar. Nach ihrer chemischen Zusammensetzung handelt es sich um Rohkupferstücke, die sich dem „ostalpinen Kupfer“ zuordnen lassen. Die Spurenelementgehalte der Metallfunde und der Schlacken lassen vermuten, dass die verhütteten Erze neben Chalko-

<sup>119</sup> METTEN 2003, 70.

<sup>120</sup> SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952.

<sup>121</sup> DOONAN 1996, 65f.

<sup>122</sup> Vgl. auch DOONAN u. a. 1996.

<sup>123</sup> OFNER 2002.

pyrit auch geringe Mengen an Fahlerzen enthielten. Die zahlreichen Sulfideinschlüsse in den Metallobjekten weisen aber auch darauf hin, dass die im ersten Schmelzgang gewonnenen Kupfersteine nicht totgeröstet wurden. Vielmehr wurde wiederholt eine partielle Röstung (eventuell mit neuen Erzstücken) durchgeführt. Daher ist anzunehmen, dass der Kupferstein das primäre Schmelzprodukt des am Kupferschmelzplatz S1 durchgeführten Verhüttungsprozesses darstellt.

### 6.7.3 Überlegungen zur bronzezeitlichen Kupferverhüttung in den Ostalpen

Während der Bronzezeit wurden in weiten Teilen der Ostalpen Kupfererze gewonnen und verhüttet. Bei den archäologischen Untersuchungen verschiedener Schmelzplätze in den Ost- und Südalpen stellte sich heraus, dass sie einen auffallend einheitlichen Aufbau zeigen. So sind die Schmelzplätze in Arbeitspodien unterteilt, welche die notwendigen Anlagen für den jeweiligen Arbeitsschritt enthalten. Des Weiteren treten an den untersuchten Schmelzplätzen meist alle makroskopisch unterschiedlichen Schlackentypen auf, wie dies auch am Kupferschmelzplatz S1 der Fall ist. Die Schlacken der einzelnen Schmelzplätze unterscheiden sich dabei nur geringfügig in ihrer äußeren Typologie und ihrer Zusammensetzung, was sich auf lokale Variationen der Ausgangserze oder eine leicht veränderte Prozessführung zurückführen lässt. Anhand der folgenden Beispiele wird ersichtlich, dass der am Kupferschmelzplatz S1 durchgeführte Verhüttungsprozess keine Einzelercheinung ist, der sich durch eine besondere Prozessführung auszeichnet. Vielmehr ist davon auszugehen, dass während der Bronzezeit im gesamten Ostalpenraum eine relativ einheitliche Verfahrenstechnik etabliert war, die einen intensiven Abbau der chalkopyritführenden Erze und deren Verhüttung ermöglichte.

#### 6.7.3.1 Der spätbronzezeitliche Schmelzplatz

##### „Versunkene Kirche“ bei Trieben, Steiermark

Die Verhüttungsanlage der „Versunkenen Kirche“ befindet sich im Hochwald auf 840 m Höhe ü. N. N.

im Gebiet der Gemeinde Trieben, VB Liezen. Die gefundene Keramik sowie ein  $^{14}\text{C}$ -Datum datieren den Fundplatz in die späte Bronzezeit.<sup>124</sup> Auf dem Schmelzplatz wurden ein Röstbett und eine Doppelofenanlage freigelegt. Außerdem wurden bei den Grabungen überwiegend blasige Laufsclacken, einige Plattensclacken sowie ein Fragment eines Gusskuchens entdeckt. Die chemischen Untersuchungen der Schlacken ergaben eine den Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 ähnliche Grundzusammensetzung von 30–40 Gew.-%  $\text{SiO}_2$ , 20–40 Gew.-%  $\text{FeO}$  und 10–20 Gew.-%  $\text{CaO}$ . Die restlichen 10 Gew.-% setzen sich aus den übrigen Schlackenbestandteilen zusammen.<sup>125</sup>

Das Gusskuchenfragment besteht aus drei Schichten: metallisches Kupfer, eine eisenreiche Zwischenschicht und Kupferstein. Das metallische Kupfer ist mit 4,5 Gew.-% Eisen als Schwarzkupfer anzusehen.<sup>126</sup> Darüber hinaus enthalten alle Schichten beträchtliche Gehalte an Antimon und Arsen, was auf die Verhüttung von Fahlerzen hinweist. Die eisenreiche Zwischenschicht besteht sowohl aus Eisenarseniden und -antimoniden und ist als Speise (im hüttenmännischen Sinn) anzusprechen. Der dabei durchgeführte Verhüttungsprozess erfolgte in einem vierstufigen Verfahren<sup>127</sup>, wobei das zu verhüttende sulfidische Kupfererz zunächst geröstet wurde und im Anschluss ein erster Schmelzgang im Schachtofen zur Verschlackung des Eisenoxids mit Quarz und zur Anreicherung des Kupfers im Stein folgte. Danach wurde der erschmolzene Kupferstein in einem weiteren Röstvorgang oxidiert, um im zweiten Schmelzgang durch Entmischung entsprechend der Mischungslücke im ternären System Cu-Fe-S Schwarzkupfer herzustellen.<sup>128</sup>

#### 6.7.3.2 Der mittelbronzezeitliche Schmelzplatz

##### Hechenberg bei Jochberg, Tirol

Der Verhüttungsplatz „Hechenberg“ befindet sich westlich der Jochberger Ache auf einer Höhe von 1320 m ü. N. N. auf einer Almwiese. Die archäologischen Grabungen an diesem Schmelzplatz ergaben zwei übereinanderliegende Röstbetten sowie vier Schmelzöfen. Die Datierung des Schmelzplatzes in die Mittlere Bronzezeit erfolgte anhand von  $^{14}\text{C}$ -Daten.<sup>129</sup>

<sup>124</sup> PRESSLINGER u. a. 1980, 137; PRESSLINGER u. a. 1982, 125.

<sup>125</sup> PRESSLINGER/EIBNER 2004, 69.

<sup>126</sup> PRESSLINGER u. a. 1986, 229.

<sup>127</sup> KUNSTMANN 2003, 146.

<sup>128</sup> PRESSLINGER/EIBNER 1989, 238.

<sup>129</sup> GOLDENBERG 2004, 169–173.

Die auf dem Schmelzplatz gefundenen Schlacken lassen sich in drei Typen einteilen. Dabei handelt es sich um heterogene Laufschlacken, Plattenschlacken und Schlackensand. Die heterogenen Laufschlacken bestehen aus einer blasigen Silikatschlacke mit zahlreichen Quarzeinschlüssen. Sie ähneln damit den Blasenschlacken (Typ B) vom Kupferschmelzplatz S1. Wie die Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 enthalten sie ausschließlich kupferreiche Cu/Fe-Sulfide, jedoch kaum metallisches Kupfer. Daher wird eine Verhüttung auf Kupferstein angenommen. Der Schlackensand ist dabei als Produkt der Zerkleinerung der Schlacken anzusehen, um noch enthaltenen Kupferstein zu gewinnen, wobei unsicher ist, ob dies direkt nach dem Schmelzprozess erfolgte oder durch ein späteres Aufsuchen des Schmelzplatzes, um die Schlackenhalde noch einmal aufzuarbeiten. Der letzte Schritt, die Verarbeitung von Kupferstein zu Schwarzkupfer konnte allerdings nicht nachgewiesen werden.<sup>130</sup>

#### 6.7.3.3 *Der mittel- bis spätbronzezeitliche Schmelzplatz Mühlbach/Brennerwald, Salzburg*

Der Kupferverhüttungsplatz Mühlbach/Brennerwald liegt am Nordabhang des Schlöglberges auf ca. 1100 m Höhe ü. N. N. Die Grabungen ergaben acht Schachtöfen, zwei aufeinander liegende Röstbetten sowie eine vierphasige Schlackenhalde. Anhand der Keramiktypologie und durch <sup>14</sup>C-Daten wurde der Schmelzplatz in die Mittlere bis Späte Bronzezeit datiert.<sup>131</sup>

Bei den auf dem Schmelzplatz gefundenen Schlacken handelt es sich um Schlackenkuchen, Plattenschlacken und Schlackensand, der hier als Magerungsbestandteil der Keramik auftritt. Die Schlackenkuchen zeigen in ihrer äußeren Typologie deutlich Ähnlichkeiten zu den Blasenschlacken (Typ B) vom Kupferschmelzplatz S1. Einige Schlackenkuchen zeigen eine schräge Durchbohrung in ihrer Mitte, die vermutlich auf das Abstechen im noch zähflüssigen Zustand zurückzuführen ist.<sup>132</sup> Nach den chemischen Untersuchungen handelt es

sich dabei überwiegend um Eisensilikatschlacken mit Gehalten von 30–45 Gew.-% SiO<sub>2</sub>, 40–55 Gew.-% FeO, 3–7 Gew.-% MgO und 2–5 Gew.-% CaO, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den makroskopisch unterscheidbaren Schlackentypen festgestellt werden konnten.<sup>133</sup> Von den Schlacken des Kupferschmelzplatzes S1 lassen sie sich durch ihre niedrigeren Gehalte an CaO sehr gut unterscheiden, zeigen aber sonst eine ähnliche Zusammensetzung. Die mikroskopischen Untersuchungen zeigen weitestgehend vergleichbare Gefüge. Anhand der Cu/Fe-Sulfideinschlüsse in den Schlacken von Mühlbach wird von einer Verhüttung eines Gemischs aus Chalkopyrit und Pyrit ausgegangen. Die Verhüttung fand bei Temperaturen von 1150–1300° C statt. Aufgrund der angenommenen Schmelztemperaturen und der Mineralvergesellschaftung in den Schlacken wird ein Sauerstoffpartialdruck von 10–8–10–13 bar abgeschätzt.<sup>134</sup> Damit kann für den Verhüttungsprozess in Mühlbach ein vergleichbares Verfahren wie am Kupferschmelzplatz S1 angenommen werden, wobei in Mühlbach eine stärker reduzierendere Ofenatmosphäre ermittelt wurde.

#### 6.7.3.4 *Der spätbronzezeitliche Verhüttungsplatz von Acqua Fredda, Trentino, Italien*

Die Verhüttungsanlage von Acqua Fredda liegt auf einer Höhe von 1450 m ü. N. N. am Redebus Pass, der die Hochebene von Pinè mit dem Val dei Mocheni (Fersental) verbindet. Bei den Ausgrabungen wurden neun Schmelzöfen sowie eine Schlackenhalde unterhalb der Schmelzanlagen freigelegt. Da der Bereich oberhalb der Schmelzöfen bereits vor den Grabungen durch die Anlage einer Kiesgrube für den Straßenbau zerstört wurde, kann lediglich vermutet werden, dass es auch in Acqua Fredda Röstanlagen gegeben hat.<sup>135</sup> Die Datierung des Fundplatzes in die Späte Bronzezeit erfolgte anhand der gefundenen Keramik sowie durch <sup>14</sup>C-Daten von Holz- und Holzkohleproben.<sup>136</sup>

Die Schlacken von Acqua Fredda lassen sich nach METTEN<sup>137</sup> in drei Typen einteilen: Schlacken-

<sup>130</sup> GOLDENBERG 2004, 174.

<sup>131</sup> HERDITS/LÖCKER 2004.

<sup>132</sup> HERDITS 1997, 40.

<sup>133</sup> Bericht von B. HOHLMANN in HERDITS 1997.

<sup>134</sup> Bericht von B. HOHLMANN in HERDITS 1997.

<sup>135</sup> METTEN 2003, 31.

<sup>136</sup> CIERNY u. a. 1995, 85; CIERNY 2008, 68.

<sup>137</sup> METTEN 2003, 31.

kuchen, Plattenschlacken und Schlackensand. Die Plattenschlacken werden nochmals unterteilt in heterogene und in homogene Plattenschlacken. Nach ihren äußeren Eigenschaften sind die Schlackenkuchen mit den Blasenschlacken (Typ B) vom Kupferschmelzplatz S1 vergleichbar. Die heterogenen Plattenschlacken ähneln den Laufschlacken (Typ A), während die homogenen Plattenschlacken den Plattenschlacken (Typ C) vom Kupferschmelzplatz S1 entsprechen. Auch die mikroskopischen Untersuchungen spiegeln deutlich die Gemeinsamkeiten wider. So bestehen die Schlackenkuchen aus einem Gerüst aus unaufgeschmolzenen Quarzstücken und Cu/Fe-Sulfideinschlüssen unterschiedlicher Zusammensetzung in einer fayalitschen Schmelze. Die heterogenen Plattenschlacken besitzen ebenfalls ein fayalitisches Gefüge, in dem gelegentlich Klinopyroxen und unaufgeschmolzene Quarzbruchstücke auftreten. Dagegen zeigen die homogenen Plattenschlacken überwiegend ein Gefüge aus langen, dünnen Fayalitnadeln, die im Spinifexgefüge ausgebildet sind.

Nach den pauschalchemischen Untersuchungen besitzen die Schlacken aus dem Trentino eine Zusammensetzung aus 20–60 Gew.-% SiO<sub>2</sub>, 20–70 Gew.-% FeO, 3–11 Gew.-% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und 1–8 Gew.-% CaO.<sup>138</sup> Dabei konnten keine signifikanten Unter-

schiede zwischen den makroskopisch verschiedenen Schlackentypen festgestellt werden, weshalb alle Schlackentypen der gleichen Prozessstufe zugeordnet werden.<sup>139</sup> Die Analyse der Cu/Fe-Sulfideinschlüsse ergab eine starke Variationsbreite der Zusammensetzung von eisenreichen bis kupferreichen Steinen. Die starke Streuung zeigt sich sowohl in den Plattenschlacken als auch in den Schlackenkuchen, so dass eine Unterscheidung der Schlackentypen anhand ihrer Cu/Fe-Sulfide nicht möglich ist. Es wird vermutet, dass alle Schlacken einem frühen Schmelzgang entstammen, bei dem ein Gemisch aus Chalkopyrit und Pyrit verhüttet wurden, um Kupferstein herzustellen. Die Bildung der Schlacken erfolgte dabei in einem Temperaturbereich von 1150–1250° C in einer Ofenatmosphäre von 10<sup>-8</sup>–10<sup>-11</sup> bar (Metten 2003, 5). Damit kann für den Schmelzplatz von Acqua Fredda ein mit dem vom Kupferschmelzplatz S1 vergleichbares Verfahren zur Verhüttung sulfidischer Erze angenommen werden, wobei die Schlacken im Trentino eher einer früheren Prozessstufe zuzuordnen sind, während die Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 aus einer späteren Stufe des Schmelzprozesses stammen. In beiden Fällen war aber vermutlich Kupferstein das erzielte Schmelzprodukt.

## 6.8 Zusammenfassung

Der Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau stellt den bisher am intensivsten archäologisch untersuchten Schmelzplatz der Mittleren Bronzezeit in den Ostalpen dar. Für die archäometallurgischen Untersuchungen, die in diesem Beitrag vorgestellt werden, wurden Schlacken aus den wichtigsten Befunden beprobt. Im Fokus standen dabei chemische und mineralogische Analysen der Schlacken und Verschlackungen der Ofenwände sowie einiger aufgefundener Erze und Metallstücke, um differenzierte Informationen über verwendete Ausgangserze, mögliche Zuschläge sowie bei der Verhüttung erhaltene Zwischen- und Endprodukte zu gewinnen. Die mineralogischen Untersuchungen erfolgten mittels Polarisationsmikroskop (Zeiss Axioskop 40 A Pol) sowie mittels Rasterelektronen-

mikroskop (REM, Zeiss EVO MA 25) und energie-dispersiver Röntgenmikroanalyse (EDX). Die pauschalchemische Zusammensetzung der Schlacken wurde mittels wellenlängendispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse bestimmt (in Tübingen an einem Bruker AXS S4 Pioneer, in Heidelberg an einem Siemens SRS 303). Zusätzlich erfolgten mößbauer-spektroskopische Untersuchungen an ausgewählten Schlacken, um Hinweise auf wichtige Prozessparameter wie Temperatur und Gasatmosphäre im Ofen während der Verhüttung zu gewinnen. Ferner wurden die Bleiisotopenverhältnisse in Schlacken, Erzen und Metallen bestimmt, um Aussagen über die Herkunft der verwendeten Erze zu treffen.

Die untersuchten Schlacken sind anhand ihrer äußeren Eigenschaften in vier Typen zu unterteilen.

<sup>138</sup> METTEN 2003, 99–103.

<sup>139</sup> METTEN 2003, 73f.

Dabei handelt es sich um kompakte Laufsclacken (Typ A, Abb. 6.4), blasige Laufsclacken oder Blasensclacken (Typ B, Abb. 6.5), Plattensclacken (Typ C, Abb. 6.7) sowie um Kombinationen aus den Typen A und B (Typ A+B, Abb. 6.6). Auf dem Kupferschmelzplatz S1 treten überwiegend Blasensclacken (Typ B) und Schlacken vom Typ A+B auf, während Plattensclacken (Typ C) nur selten gefunden wurden. Die Schlacken sind auf dem ganzen Schmelzplatz anzutreffen, naturgemäß in größter Konzentration auf den Schlackenhalde. Lediglich im Bereich der Schmelzöfen 1 und 2 wurde eine im Verhältnis höhere Anzahl an Plattensclacken (Typ C) festgestellt.

Die Untersuchungen mit einem Lichtmikroskop zeigten, dass Lauf- und Blasensclacken sowie die Schlacken vom Typ A+B ein ähnliches Gefüge aufweisen (vgl. Abb. 6.8 bis 6.23). Sie bestehen überwiegend aus einem Gerüst aus leistenförmigem bis prismatischen Olivin und kurzprismatischem Klinopyroxen. Die Olivine zeigen oft einen Zonarbau. Anhand der mikroanalytischen Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskop und EDX wurde dabei neben den Unterschieden in den Hauptkomponenten FeO und MgO eine Anreicherung von CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und K<sub>2</sub>O in den Randbereichen festgestellt (Abb. 6.33). Die Blasensclacken (Typ B) bzw. der Blasensclackenanteil in den Schlacken vom Typ A+B unterscheiden sich von den Laufsclacken (Typ A) lediglich durch eine höhere Porosität sowie ein vermehrtes Auftreten unaufgeschmolzener Quarzbruchstücke, die zum Teil noch Reste von Cu/Fe Sulfiden enthalten (Abb. 6.23) und als Chargenrelikte interpretiert werden. Die Plattensclacken (Typ C) bestehen dagegen überwiegend aus langen, dünnen Olivinnadeln, die im Spinifexgefüge ausgebildet sind (Abb. 6.24 bis 6.27). Der äußere Randbereich wird von einer dünnen Magnetitschicht gebildet, was auf ein rasches Abkühlen außerhalb des Schmelzofens zurückzuführen ist, während die Lauf- und Blasensclacken sowie die Schlacken des Typs A+B langsamer im Inneren des Ofens erstarrten.

Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung (vgl. Tab. A.3) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den makroskopisch unterscheidbaren Schlackentypen festgestellt werden. Es handelt sich um Eisensilikatschlacken mit 25–45 Gew.-% SiO<sub>2</sub>, 30–50 Gew.-% FeO und 5–15 Gew.-% CaO. Die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte schwanken zwischen 2–12 Gew.-%, die Gehalte von MgO und K<sub>2</sub>O zwi-

schen 0,2–5 Gew.-%. Die Gehalte der weiteren Nebenelemente wie TiO<sub>2</sub>, MnO, Na<sub>2</sub>O und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> liegen unter 2 Gew.-% (Abb. 6.28 und Abb. 6.29). Die hohen SiO<sub>2</sub>-Werte in einigen Schlacken, vorwiegend Blasensclacken (Typ B) sind auf eine hohe Zahl an unaufgeschmolzenen Quarzeinschlüssen zurückzuführen. Die aus der Zusammensetzung abgeleiteten Schmelztemperaturen liegen bei den untersuchten Schlacken bei ca. 1150–1300° C. In Verbindung mit der mineralogischen Zusammensetzung wurde ein Sauerstoffpartialdruck von etwa 10<sup>-6</sup>–10<sup>-10</sup> bar ermittelt.

Die in allen Schlacken nachgewiesenen Cu/Fe-Sulfideinschlüsse lassen auf eine Verhüttung sulfidischer Erze schließen, die vermutlich aus einem Gemisch aus Chalkopyrit und Pyrit bestanden. Allerdings zeigen sowohl die Spurenelementsignaturen der Schlacken als auch der untersuchten Metallfragmente eine gewisse Menge an Nickel, Arsen und Antimon, was darauf hindeutet, dass die verhüttete Charge neben Chalkopyrit auch geringe Anteile an Fahlerz und nickelhaltigen Mineralen enthielt, eine für die ostalpinen Kupferlagerstätten typische Mineralassoziation. In diesem Zusammenhang ist das einzige Erzstück (Abb. 6.61), das auf dem Kupferschmelzplatz S1 gefunden wurde und mit der Kupferverhüttung in Verbindung gebracht werden kann, zu erwähnen. Es handelt sich um einen Quarzit, der Spuren von Chalkopyrit enthält und ebenfalls auf die möglichen Ausgangserze hinweist. Eine genauere Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung der Erzbasis war aufgrund des Fehlens weiterer Erzfunde am Kupferschmelzplatz S1 nicht möglich. Die wenigen Analysen von Erzproben aus der nächsten Umgebung des Schmelzplatzes (Eisenerz und Radmer) sind für eine Herkunftsbestimmung nicht ausreichend. Aufgrund der Bleiisotopenverhältnisse (Abb. 6.84, Tab. A.14) der Schlacken und der Metallfunde sind sie jedoch generell den Sulfidlagern der nördlichen Grauwackenzone zuzuordnen.

Die chemische Zusammensetzung der Sulfideinschlüsse (Tab. A.9) zeigt für alle Schlackentypen eine große Variationsbreite mit der Tendenz zu kupferreichen Steinen (Abb. 6.42). Demnach lassen sich die Schlackentypen anhand ihrer Sulfideinschlüsse nicht unterscheiden. Es ist zu vermuten, dass alle Schlacken aus der gleichen Prozessstufe stammen, bei der Kupferstein geschmolzen wurde bzw. bereits gewonnener Kupferstein weiter an Kupfer angereichert wurde. In einigen Schlacken entstand dabei

auch metallisches Kupfer. Dass am Kupferschmelzplatz S1 metallisches Kupfer erzeugt wurde, ist auch durch die untersuchten Metallfragmente (Abb. 6.57) denkbar. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung (Abb. 6.58, Tab. A.11) und wegen der hohen Zahl an Cu/Fe-Sulfideinschlüssen (Abb. 6.59 und Abb. 6.60) sind sie als Rohkupferstücke zu bezeichnen und anhand ihrer Spurenelementsignaturen der Kupfersorte des „ostalpinen Kupfers“ zuzuordnen.

Des Weiteren wurden die Verschlackungen der Ofenwände (Abb. 6.47 bis 6.49) untersucht. Anhand der mineralogischen Analyse der Ofenwandverschlackungen sind in den Schmelzöfen zwei Bereiche zu unterscheiden. Im unteren Bereich der Schmelzöfen (bis zu einer Höhe von ca. 30 cm über der Ofensohle) zeigen die Ofenwandverschlackungen eine Phasenvergesellschaftung von Magnetit und metallischem Kupfer sowie gelegentlich Kupferstein. Im oberen Bereich weisen die Ofenwandverschlackungen eine Phasenvergesellschaftung aus Magnetit, metallischem Kupfer, Delafossit und Cuprit auf. Bei den ermittelten Schmelztemperaturen von etwa 1200° C ergibt sich daraus ein Sauerstoffpartialdruckbereich von  $10^{-5}$ – $10^{-9}$  bar im unteren Ofenbereich. Für den oberen Bereich der Schmelzöfen liegt er zwischen  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  bar (Abb. 6.54). Die höheren Partialdrücke im oberen Ofenbereich sind auf die Bedingungen gegen Ende eines Schmelzganges zurückzuführen, als sich die Schlacken sowie das Schmelzprodukt im unteren Ofenbereich konzentrierten, während im oberen Ofenbereich eine Oxidation der Ofenwandverschlackungen durch die fehlende Bedeckung mit Holzkohle ermöglicht wurde. Dabei ist zu beachten, dass sowohl die Schlacken als auch die Ofenwandverschlackungen die letzte Gasatmosphäre im Ofen widerspiegeln, die nicht unbedingt mit den während der Verhüttung herrschenden Sauerstoffpartialdrücken übereinstimmen müssen. Auch eine Aufteilung verschiedener Stufen des Verhüttungsprozesses auf die beiden Öfen einer Doppelofenanlage konnte bei den Untersuchungen nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Zudem wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schlacken aus den Röstbetten, den Schmelzöfen und den Schlackenhalde festgestellt (vgl. Abb. 6.65 bis 6.83). Die Schlacken aus den Röstbetten weisen lediglich oberflächlich eine rötlichere Färbung auf, die auf eine wiederholte Hitzeinwirkung während des Röstprozesses zurückzuführen ist. Die Anwesenheit von Cu/Fe-Sulfiden in

diesen Schlacken zeigt, dass die Schlacken dabei nicht zum Rösten auf das Röstbett gelangten, sondern als Baumaterial dienten, um eine geeignete Luftzufuhr von unten zu gewährleisten.

Die einheitliche Zusammensetzung der Schlacken aus allen Bereichen des Schmelzplatzes zeigt, dass sie unter vergleichbaren Bedingungen entstanden. Anhand der Zusammensetzung der enthaltenen Cu/Fe-Sulfide (Abb. 6.83) lässt sich ein Prozess rekonstruieren, bei dem der Kupfergehalt im Kupferstein angereichert wurde. Die Plattenschlacken stellen dabei die ideale niedrig viskose Teilschmelze der Gesamtcharge dar, die beim Abstechen der Schlacke außerhalb des Ofens rasch erstarrte, während die Lauf- und Blasenschlacken bzw. der Schlackentyp A+B im Schmelzofen verblieben und langsam abkühlten.

Des Weiteren gibt es keine Hinweise, die auf eine Veränderung im Prozessablauf während der verschiedenen Nutzungsphasen im Westteil des Schmelzplatzes schließen lassen. Die Schlacken der jüngsten Phase im Westteil der Anlage weisen dabei tendenziell einen geringeren  $\text{SiO}_2$ -Gehalt bzw. eine geringere Anzahl eingeschlossener Quarzbruchstücke auf. Die Untersuchungen der Erzlagerstätten der näheren Umgebung des Schmelzplatzes sowie das untersuchte Erzstück vom Schmelzplatz selbst zeigen, dass die Erze immer mit Quarz verwachsen sind und daher eine bewusste Zugabe von Quarz als Flussmittel oder zur Andickung der Schlacken grundsätzlich nicht nötig gewesen ist.

Damit ist für den Kupferschmelzplatz S1 von einem mehrstufigen Verhüttungsverfahren auszugehen, bei dem zunächst chalkopyritführende Erze auf Röstbetten geröstet wurden. Nach dem Rösten erfolgte ein erster Schmelzgang im Schachtofen zur Produktion von Kupferstein. Der erschmolzene Kupferstein wurde im Anschluss vermutlich wiederholt zusammen mit neuem Erz geröstet und im Schachtofen weiter an Kupfer angereichert, um Rohkupfer herzustellen. Ein Totrösten des Kupfersteins kann aufgrund der in den Rohkupferstücken enthaltenen Sulfide ausgeschlossen werden. Eine anschließende Raffination des Rohkupfers wurde nicht nachgewiesen.

Darüber hinaus ist anhand der Untersuchung der Lehmproben (Abb. 6.63, Tab. A.13) vom Kupferschmelzplatz S1 festzustellen, dass für den Bau der Röstbetten sowie für die Innenauskleidung der Schmelzöfen der gleiche Rohstoff verwendet wurde (Abb. 6.64). Obwohl keine Probe der lokalen Ton-

lager untersucht wurde, ist zu vermuten, dass die Rohstoffquelle für den genutzten Lehm in der Nähe des Schmelzplatzes zu suchen ist.

Im Vergleich mit anderen prähistorischen Schmelzplätzen in den Ostalpen zeigt sich, dass die Verhüttung sulfidischer Kupfererze am Kupfer-

schmelzplatz S1 keine Einzelercheinung ist. Vielmehr ist davon auszugehen, dass im gesamten Ostalpenraum die bronzezeitlichen Hüttenleute eine relativ einheitliche Verfahrenstechnik zur Ausbeutung und Verhüttung sulfidischer Erze beherrschten.

## 6.9 Archaeometallurgical Analyses of Slags and Other Finds of the Copper Smelting Site S1 (Summary)

The Copper Smelting Site S1 in the Ramsau Valley near Eisenerz is one of the most intensively archaeologically and archaeometallurgically investigated Middle Bronze Age smelting sites in the Eastern Alps. For the archaeometallurgical studies that are presented in this paper, slag samples were taken from the most important features. The main focus was on chemical and mineralogical analyses of the slags, the slagged furnace walls and some ore and metal finds to obtain information on the raw materials used as well as on intermediate and final smelting products. The mineralogical investigations were carried out using a polarising microscope (Zeiss Axioskop 40 A Pol) and scanning electron microscope (Zeiss EVO MA 25) with energy-dispersive X-ray microanalysis (EDX). The chemical compositions of the slags were determined by wavelength-dispersive X-ray fluorescence analyses (in Tübingen with a Bruker AXS S4 Pioneer and in Heidelberg with a Siemens SRS 303). In addition, Mößbauerspectroscopy on selected slag samples helped to obtain information about important process parameters such as temperature and gas atmosphere in the furnace during the smelting. Furthermore, lead isotope ratios were determined in slags, ores and metals to discuss the origin of the ores used.

According to their macroscopic properties, the slags are divided into four types: Type A slags ("Laufschlacken", Fig. 6.4), type B slags ("Blasenschlacken", Fig. 6.5), type C slags ("Plattenschlacken" [plate slags], Fig. 6.7) and combinations of the slag types A and B (type A+B, Fig. 6.6). Mostly type B and type A+B slags and only rarely type C slags were found at the Copper Smelting Site S1. The slags were distributed over the whole smelting site without any concentration of a particular slag type in a specific area. Only in the area of smelting furnaces 1 and 2 was a larger amount of plate slags (Type C) found.

Under the microscope, the slag types A and B as well as the slag type A+B show similar structures of

short prismatic to lath-shaped olivine and prismatic clinopyroxene (Figs. 6.8–6.23). Microanalytical studies using the scanning electron microscope with EDX revealed an enrichment of CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>O at the edges in addition to the differences in the main components FeO and MgO (Fig. 6.33). The only differences between the slag types are the higher porosity of type B slags (and the type B part of the slag type A+B) and the increased occurrence of unmelted quartz inclusions in them. Some of these quartz inclusions contain remains of Cu/Fe sulphides (Fig. 6.23). These are mainly iron-rich sulphides which consist of agglomerates of copper bearing pyrrhotite and chalcopyrite. In contrast, the structure of type C slags consists of thin, long fayalite needles in a glassy matrix (Figs. 6.24–6.27). The outer edge of these slags is often covered by a thin magnetite layer, which forms as a result of rapid cooling outside the furnace, while the slags of types A, B and A+B cooled down slowly inside the furnace. Nearly all slag samples contain matte inclusions (Fig. 6.40 and Fig. 6.41) of varying copper concentrations.

The analysis of the chemical composition (Tab. A.3) of the macroscopically different slag types shows that all slags have more or less similar compositions. These are mainly fayalitic and silicate slags with 25–45 wt-% SiO<sub>2</sub>, 30–50 wt-% FeO and 5–15 wt-% CaO. The Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content varies between 2–12 wt-%, the contents of MgO and K<sub>2</sub>O between 0.2–5 wt-%. The contents of the minor elements such as TiO<sub>2</sub>, MnO, Na<sub>2</sub>O and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> are below 2 wt-% (Fig. 6.28 and Fig. 6.29). Some type B slags show a higher concentration of SiO<sub>2</sub> which is due to numerous inclusions of quartz. The smelting temperatures of the slags which can be derived from their chemical and mineralogical composition were estimated between 1150° C and 1300° C. In combination with the mineralogical composition, a partial pressure of oxygen of about 10<sup>-6</sup>–10<sup>-10</sup> bar was deduced (Fig. 6.46).

The Cu/Fe sulphide inclusions imply the smelting of sulphide ores, which probably consisted of a mixture of chalcopyrite and pyrite. However, the trace element signatures of the analysed slags and metal fragments indicate a certain amount of nickel, arsenic and antimony. This suggests that the smelted charge consisted mainly of chalcopyrite with a small amount of fahlore and nickeliferous minerals, a mineral association that is typical for copper deposits in the East Alpine region. Only one ore sample (Fig. 6.61) found at the Copper Smelting Site S1 can be associated with copper smelting. It is a quartzite, which contains traces of chalcopyrite and some pyrite. The origin of the smelted ore could not be determined unambiguously. The few analyses of ore samples from the nearest surroundings of the smelting site (Eisenerz and Radmer) are not sufficient for provenance studies. The lead isotope ratios of the slags and the metal objects (Fig. 6.84, Tab. A.14) indicate ores that are generally assigned to the sulphidic ore deposits of the northern greywacke zone.

The chemical composition of the sulphide inclusions (Tab. A.9) shows a wide variation with a tendency to copper-rich matte for all slag types (Fig. 6.42). For this reason it is not possible to distinguish between the slag types based on their sulphide inclusions. It seems that all slags come from the same process, in which matte was the main smelting product or it was enriched in copper. Thereby metallic copper was formed in some slags. This and the two metal objects (Fig. 6.57) that have been found on the site suggest the production of metallic copper at the Copper Smelting Site S1. Due to their chemical composition (Fig. 6.58, Tab. A.11) and the numerous sulphidic inclusions (Fig. 6.59 and Fig. 6.60), both metal objects are described as raw copper. Based on their trace element signatures, they belong to the "East Alpine Copper" type.

The slagged furnace stones (Fig. 6.47), slagged furnace clay (Fig. 6.48) and slag lining (Fig. 6.49) were also analysed. Based on the mineralogical analysis of the slagged furnace walls, the furnaces are divided into two sections. The slagging of the lower part of the furnaces (up to a height of about 30 cm above the furnace floor) shows a phase association of magnetite and metallic copper and occasionally matte. In the upper section, the slagging shows a phase association of magnetite, metallic copper, cuprite and delafossite. At the estimated smelting temperatures of about 1200° C this indicates a partial pressure of oxygen of  $10^{-5}$ – $10^{-9}$  bar for the lower sec-

tion. For the upper part of the furnaces it is between  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  bar (Fig. 6.54). The higher partial pressures in the upper furnace section are due to the conditions at the end of the smelting process, when the slag and the smelting product are concentrated in the lower furnace section, while the slagging of the furnace wall in the upper furnace section oxidised due to the lack of coverage with charcoal. It should be noted that both the slag and the slagged furnace wall reflect the last gas atmosphere in the furnace, which does not necessarily represent the prevailing oxygen partial pressures during the smelting. A division of the several stages of the smelting process between the two furnaces of a single double furnace could not be clearly demonstrated.

The analyses of the slags show that there is no significant difference between slags from the roasting hearths, the furnaces and the slag dumps (Figs. 6.65–6.83). Only the slags from the roasting hearths show a more reddish colour on their surface, which is caused by repeated exposure to heat during the roasting process. The presence of Cu/Fe sulphides in these slags shows that they were not roasted but used as construction material to ensure a sustainable air supply from below.

The homogeneous composition of the slags from the Copper Smelting Site S1 indicates that they were formed under similar conditions. They can probably be assigned to a single stage. Due to the composition of the Cu/Fe sulphides (Fig. 6.83) a process can be reconstructed, in which the copper content was enriched in the matte. The plate slags (type C) here represent the ideal low-viscosity partial melt of the total charge, which solidified outside the furnace rapidly after tapping the slag, while the type A, B and A+B slags remained in the furnace and cooled down slowly.

Furthermore, no evidence has been found to indicate a change in the technique of smelting during the various phases of use at the site. However, it seems that the slags of the latest phase in the western part of the site have a lower SiO<sub>2</sub> content and a smaller number of quartz fragments respectively. The study of ore deposits in the surroundings of the smelting site as well as the investigated ore from the site itself show that the ores are always intergrown with quartz and, therefore, a deliberate addition of silica as a flux was not generally necessary.

As a result, this suggests a multistep process at the site. In the first step the chalcopyritic ores were roasted on roasting hearths. After roasting, a first

smelting process took place in the shaft furnace to produce matte. Afterwards the matte was probably roasted again together with fresh copper ore and further enriched in copper in the furnace in order to produce metallic copper. Because of the sulphidic phases in the metal objects the matte was not dead roasted. A final refining process of the raw copper was not detected.

The analyses of the clay samples (Fig. 6.63, Tab. A.13) from the roasting hearths and the furnaces of the Copper Smelting Site S1 show that the same material was used for the construction of the fur-

naces and the roasting hearths (Fig. 6.64). Although no sample of the local clay deposits was analysed, it can be assumed that the source of the raw material was located near the smelting site.

In summary, it is obvious that the process for smelting sulphidic ores at the Copper Smelting Site S1 is comparable with other contemporary smelting sites in the Eastern Alps. Therefore, it can be assumed that the Bronze Age metallurgists used a relatively standardised technology for exploiting and smelting sulphidic ores in the entire Eastern Alp region.

## 6.10 Danksagung

Die Untersuchungen an den stratigraphisch gesicherten Schlacken, Erzen und anderen Verhütungsresten vom Kupferschmelzplatz S1 erfolgte in Form einer Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. Für die vielfältige Unterstützung bei der Durchführung und der Auswertung der analytischen Untersuchungen bedanken sich die Autoren bei Dr. Heinrich Taubald (Uni-

versität Tübingen, Röntgenfluoreszenzanalysen), Dr. Hans-Peter Meyer (Universität Heidelberg, Röntgenfluoreszenzanalysen), Dr. Christoph Berthold (Universität Tübingen, Röntgendiffraktometrie), Dr. Christian Schröder (Universität Tübingen, Mößbauer-Spektroskopie) und Dr. Thorsten Schifer (Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie, Mannheim, Neutronenaktivierungsanalysen).

## 6.11 Literatur / Publications

ADETUNJI u. a. 1996

ADETUNJI J./WILLIAMS J. M./DOONAN R. C. P., MÖSSBAUER spectroscopic Studies of ancient Bronze Slags. In: I. ORTALLI (Hg.), International Conference on the Applications of the Mössbauer Effect. ICAME-95 (= Conference Proceedings 50, Bologna 1996), 769–772.

AGRICOLA 1556

AGRICOLA G., Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen in denen die Ämter, Instrumente, Maschinen und alle Dinge, die zum Berg- und Hüttenwesen gehören, nicht nur aufs deutlichste beschrieben, sondern auch durch Abbildungen, die am gehörigen Orte eingefügt sind, unter Angabe der lateinischen und deutschen Bezeichnungen aufs klarste vor Augen gestellt werden. Sowie sein Buch von den Lebewesen unter Tage. In neuer deutscher Übersetzung bearbeitet von Carl Schiffner (Berlin 1928).

AIDONA u. a. 2006

AIDONA E./SCHOLGER R./MAURITSCH H. J./SCHNEPP E./KLEMM S., Spatial distribution of archaeomagnetic vectors within archaeological samples from Eisenerz (Austria). In: Geophysical Journal International 166 (2006), 46–58.

ANGERBAUER 1985

ANGERBAUER A., Werkstoffkundliche Untersuchungen an Kupferfunden aus der Bronzezeit (DiplA. Leoben 1985).

BACHMANN 1978

BACHMANN H.-G., Schlacken: Indikatoren Archäometallurgischer Prozesse. In: H. W. HENNICKE (Hg.), Mineralische Rohstoffe als kulturhistorische Informationsquelle. Diskussionstagung des Arbeitskreises Archäometrie in der Fachgruppe Analyte Chemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker vom 24.–26. Februar 1977 in Heidelberg (Hagen 1978), 66–103.

BACHMANN 1982

BACHMANN H.-G., The Identification of Slags from Archaeological Sites, Occasional Publication 6. Institute of Archaeology (London 1982).

BERNHARD 1966

BERNHARD J., Die Mitterberger Kupferkieslagerstätte. Erzführung und Tektonik. In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 109 (1966), 3–90.

BÖGEL/SCHMIDT 1976

BÖGEL H./SCHMIDT K., Kleine Geologie der Ostalpen. Allgemein verständliche Einführung in den Bau der Ostalpen unter Berücksichtigung der angrenzenden Südalpen (Thun 1976).

BOWEN u. a. 1933

BOWEN N. L./SCHAIRER J. F./POSNJAK E., The system, CaO-FeO-SiO<sub>2</sub>. In: American Journal of Science 26/153 (1933), 193–284.

BOWEN/SCHAIRER 1935

BOWEN N. L./SCHAIRER J. F., The system, MgO-FeO-SiO<sub>2</sub>. In: American Journal of Science 5/29 (1935), 151–217.

BRUN 1983

BRUN E., 3500 Jahre Bergbau und Verhüttung im Oberhalbstein. In: Bergknappe. Zeitschrift über Bergbau in Graubünden und der übrigen Schweiz 7/4 (1983), 8–13.

BRUN 1984

BRUN E., Die Schlackenhalde des Oberhalbsteins. In: Bergknappe. Zeitschrift über Bergbau in Graubünden und der übrigen Schweiz 8/1 (1984), 7–11.

CHACE 1956

CHACE F. M., Abbreviations in field and mine geological mapping. Economic Geology 51/7 (1956), 712–723.

CIERNY 2008

Cierny J., Prähistorische Kupferproduktion in den südlichen Alpen, Region Trentino Orientale (= Der Anschnitt, Beiheft 22, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum 163, Bochum 2008).

CIERNY u. a. 1995

CIERNY J./MARZATICO F./WEISGERBER G./HOHLMANN B./HAUPTMANN A./SCHRÖDER B., Endbronzezeitliche Kupferproduktion im Trentino. Ein Vorbericht. In: Der Anschnitt. Mitteilungsblatt der Vereinigung der Freunde von Kunst und Kultur im Bergbau 47/3 (1995), 82–91.

CZEDIK-EYSENBERG 1958

F. CZEDIK-EYSENBERG, Beiträge zur Metallurgie des Kupfers in der Urzeit. In: R. PITTIONI (Hg.), *Studia Palaeometallurgica in honorem Ernésti Preuschen* (= *Archaeologia Austriaca*, Beiheft 3, Wien 1958), 1–18.

DAVIDSON/MUKHOPADHYAY 1984

DAVIDSON P. M./MUKHOPADHYAY D. K., Ca-Fe-Mg olivines: phase relations and a solution model. In: Contributions to Mineralogy and Petrology 86 (1984), 256–263.

DOONAN 1996

DOONAN R. C. P., Old Flames, Slags, and Society. Copper smelting technology in the Ramsau valley, Austria during the Bronze Age (Diss. Sheffield 1996).

DOONAN u. a. 1996

DOONAN R. C. P./KLEMM S./OTTAWAY B. S./SPERL G./WEINEK H., The east alpine Bronze Age copper smelting process: Evidence from the Ramsau valley, Eisenerz, Austria. In: Ş. DEMIRCI/A. M. ÖZER/G. D. Summers (Hgg.), *Archaeometry '94. The proceedings of the 29<sup>th</sup> International Symposium of Archaeometry*, Tübitak (Ankara 1996), 18–22.

## DRESCHER 2004

DRESCHER A., Vegetationskundliche Untersuchungen an prähistorischen Kupferschmelzplätzen in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark). In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), Alpenkupfer – Rame delle Alpi (= Der Anschnitt, Beiheft 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 347–354.

## EBNER 1997

EBNER F., Die geologischen Einheiten Österreichs und ihre Rohstoffe. In: L. WEBER (Hg.), Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur metallogenetischen Karte von Österreich 1:500.000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe (= Archiv für Lagerstättenforschung 19, Wien 1997), 49–229.

## EIBNER 1982

EIBNER C., Kupfererzbergbau in Österreichs Alpen. In: H. GEISLINGER (Hg.), Südosteuropa zwischen 1600 und 1000 v. Chr. (= Prähistorische Archäologie in Südosteuropa 1, Berlin–Bad Bramstedt 1982), 399–408.

## EIBNER 2004

EIBNER C., Die mittelbronzezeitliche Fundstelle „Schlosser“ in Schwarzenbach, Stadtgemeinde Trieben. In: *res montanarum*. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 33 (2004), 27–30.

## EMMERER 2000

EMMERER B., Vegetationsentwicklung auf alten Bergbauhalden in den Niederen Tauern und den Eisenerzer Alpen (DiplA. Graz 2000).

## EMMERER u. a. 2003

EMMERER B./STEINLECHNER E./TRINKAUS P./GÖSSLER W., Ökologische Untersuchungen von prähistorischen Kupferschlackenhalde in der Eisenerzer Ramsau. In: S. KLEMM (Hg.), Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark – Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 50, Wien 2003), 165–173.

## FLEGLER u. a. 1995

FLEGLER S. L./HECKMAN J. W. JR./KLOMPARENS K. L., Elektronenmikroskopie. Grundlagen, Methoden, Anwendungen (Heidelberg–Berlin–Oxford 1995).

## GOLDENBERG 2004

GOLDENBERG G., Ein Verhüttungsplatz der mittleren Bronzezeit bei Jochberg (Nordtirol). In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), Alpenkupfer – Rame delle Alpi (= Der Anschnitt, Beiheft 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 165–176.

## GOLDENBERG/RIESER 2004

GOLDENBERG G./RIESER B., Die Fahlerzlagerstätten von Schwaz/Brixlegg (Nordtirol). Ein weiteres Zentrum urgeschichtlicher Kupferproduktion in den österreichischen Alpen. In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), Alpenkupfer – Rame delle Alpi (= Der Anschnitt, Beiheft 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 37–52.

## GRUBER/PRESSLINGER 1983

GRUBER A./PRESSLINGER H., Werkstoffkundliche Untersuchungen an prähistorischen Kupfergußkuchen aus den Ostalpen. In: METALL. Zeitschrift für Technik, Industrie und Handel 37/12 (1983), 1254–1256.

## GÜTLICH/SCHRÖDER 2012

GÜTLICH P./SCHRÖDER C., Mössbauer Spectroscopy. In: R. SCHÄFER/P. C. SCHMIDT (Hgg.), Methods in Physical Chemistry 1 (Weinheim 2012), 351–289.

## GWINNER 1978

GWINNER M. P., Geologie der Alpen. Stratigraphie, Paläogeographie, Tektonik (Stuttgart 1978).

HAHN-WEINHEIMER u. a. 1995

HAHN-WEINHEIMER P./HIRNER A./WEBER-DIEFENBACH K., Röntgenfluoreszenzanalytische Methoden. Grundlagen und praktische Anwendung in den Geo-, Material- und Umweltwissenschaften (Braunschweig–Wiesbaden 1995).

HAUPTMANN 1985

HAUPTMANN A., 5000 Jahre Kupfer in Oman. Band 1: Die Entwicklung der Kupfermetallurgie vom 3. Jahrtausend bis zur Neuzeit (= Der Anschnitt, Beiheft 4, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 33, Bochum 1985).

HAUPTMANN 2000

HAUPTMANN A., Zur frühen Metallurgie des Kupfers in Fenan/Jordanien (= Der Anschnitt, Beiheft 11, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 87, Bochum 2000).

HAUPTMANN u. a. 1984

HAUPTMANN A./KEESMANN I./SCHULZ-DOBRICK B., Die Kristallisation von Fe-reichem Olivin in archäometallurgischen Schlacken. In: Fortschritte der Mineralogie 62/Beiheft 1 (1984), 84–86.

HEBERT/PRESSLINGER 1990

HEBERT B./PRESSLINGER H., Untersuchung prähistorischer Schlacken vom Burgstallkogel. In: Archäologie Österreichs. Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte 1/1-2 (1990), 48–50.

HEINISCH u. a. 1988

HEINISCH H./HERTOGEN J./SCHLAEGEL P., Ausgewählte Spurenelementdaten von metamorphen basischen Magmatiten aus der Nördlichen Grauwackenzone (Österreich). In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 131/2 (1988), 267–278.

HENDERSON 1982

HENDERSON P., Inorganic Geochemistry (Oxford u. a. 1982).

HERDITS 1997

HERDITS H., Ein bronzezeitlicher Kupferverhüttungsplatz in Mühlbach/Hochkönig (Salzburg) (DiplA. Wien 1997).

HERDITS/LÖCKER 2004

HERDITS H./LÖCKER K., Eine bronzezeitliche Kupferhütte im Mitterberger Kupferkies-Revier (Salzburg). Ausgrabung und Rekonstruktion. In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), Alpenkupfer – Rame delle Alpi (= Der Anschnitt, Beiheft 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 177–188.

HÖPPNER u. a. 2005

HÖPPNER B./BARTELHEIM M./HUIJSMANS M./KRAUSS R./MARTINEK K.-P./PERNICKA E./SCHWAB R., Prehistoric Copper Production in the Inn Valley (Austria), and the earliest Copper in Central Europe. In: Archaeometry 47/2 (2005), 293–315.

HUBMANN u. a. 2006

HUBMANN B./SUTTNER T. J./MESSNER F., Geologic Frame of Palaeozoic Reefs in Austria with Special Emphasis on Devonian Reef-architecture of the Graz Palaeozoic. In: Joannea – Geologie und Paläontologie 8 (2006), 47–72.

HUIJSMANS u. a. 2004

HUIJSMANS M./KRAUSS R./STIBISCH R., Prähistorischer Fahlerzbergbau in der Grauwackenzone. Neolithische und bronzezeitliche Besiedlungsgeschichte und Kupfermetallurgie im Raum Brixlegg (Nordtirol). In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), Alpenkupfer – Rame delle Alpi (= Der Anschnitt, Beiheft 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 53–62.

JÄGER 2003

JÄGER T., Untersuchungen von Stressreaktionen bei Pflanzen auf einer bronzezeitlichen Schlackenhalde (DiplA. Graz 2003).

KLAUNZER u. a. 2010

KLAUNZER M./GOLDENBERG G./HYE S./STAUDT M./TÖCHTERLE U./TOMEDI G., Prehistoric Fahlore Mining and Metallurgy in the Mauken Valley, Radfeld/Brixlegg, North-Tyrol. In: P. ANREITER/G. GOLDENBERG/K. HANKE/R. KRAUSE/W. LEITNER/F. MATHIS/K. NICOLUSSI/K. OEGGL/E. PERNICKA/M. PRAST/J. SCHIBLER/I. SCHNEIDER/H. STADLER/T. STÖLLNER/G. TOMEDI/P. TROPPER (Hgg.), Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings of the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT, 12.–15. November 2009, Innsbruck (Innsbruck 2010), 345–350.

KLEMM 2003

KLEMM S., Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark – Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 50, Wien 2003).

KLOSE 1918

KLOSE O., Die prähistorischen Funde vom Mitterberge bei Bischofshofen im städtischen Museum Carolino-Augusteam zu Salzburg und zwei prähistorische Schmelzöfen auf dem Mitterberge. In: G. KYRLE (Hg.), Urgeschichte des Kronlandes Salzburg (= Österreichische Kunsttopographie 17, Wien 1918), 1–40.

KOWALSKI u. a. 1995

KOWALSKI M./SPENCER P. J./NEUSCHÜTZ D., Phase diagrams. In: Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hg.), Slag Atlas (Düsseldorf 21995), 21–214.

KRAUS 2012

KRAUS S., Archäometallurgische Studien zur bronzezeitlichen Kupferverhüttungstechnologie am Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark, Österreich) (Diss. Tübingen 2012).

KRAUS u. a. 2010

KRAUS S./KLEMM S./PERNICKA E., Schlackenkundliche Untersuchungen zur bronzezeitlichen Kupferverhüttung am Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau, Steiermark. In: O. HAHN/A. HAUPTMANN/D. MODARRESSI-TEHRANI/M. PRANGE (Hgg.), Archäometrie und Denkmalpflege 2010. Jahrestagung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum 15.–18. September 2010 (= Metalla, Sonderheft 3, Bochum 2010), 76–78.

KRAUS u. a. 2011a

KRAUS S./KLEMM S./PERNICKA E., Untersuchungen zur bronzezeitlichen Kupfergewinnung in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark: Erste schlackenkundliche Ergebnisse. In: J. CEMPER-KIESSLICH/F. LANG/K. SCHALLER/C. UHLIR/M. UNTERWURZACHER (Hgg.), Secundus Conventus Austriacus Archaeometriae. Scientiae Naturalis Ad Historiam Hominis Antiqui Investigandam. MMX. Tagungsband zum Zweiten Österreichischen Archäometrie Kongress 2010 (= archæoPLUS – Schriften zur Archäologie und Archäometrie der Paris-Lodron-Universität Salzburg 2, Salzburg 2011), 115–118.

KRAUS u. a. 2011b

KRAUS S./KLEMM S./PERNICKA E., Archaeometallurgical studies on slags of the Middle Bronze Age Copper Smelting Site S1, Styria, Austria. In: A. HAUPTMANN/D. MODARRESSI-TEHRANI/M. PRANGE (Hgg.), International Conference Archaeometallurgy in Europe III. Abstracts (= Metalla, Sonderheft 4, Bochum 2011), 189.

KRAUS u. a. 2012

KRAUS S./SCHRÖDER C./KLEMM S./PERNICKA E., Untersuchungen zur Mittelbronzezeitlichen Kupferverhüttung am Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau, Steiermark. In: F. SCHLÜTTER/S. GREIFF/M. PRANGE (Hgg.), Archäometrie und Denkmalpflege 2012. Jahrestagung an der Eberhard Karls Universität Tübingen 28.–31. März 2012 (= Metalla, Sonderheft 5, Bochum 2012), 140–142.

KRAUS u. a. 2015

KRAUS S./SCHRÖDER C./KLEMM S./PERNICKA E., Archaeometallurgical studies on the slags of the Middle Bronze Age Copper Smelting Site S1, Styria, Austria. In: A. HAUPTMANN/D. MODARESSI-TEHRANI/M. PRANGE (Hgg.), *Archaeometallurgy in Europe III. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference*, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, June 29 – July 1, 2011 (= *Der Anschnitt*, Beiheft 26, = Veröffentlichungen aus dem Deutschem Bergbaumuseum Bochum 202, Bochum 2015), 301–308.

KRAUSE 2003

KRAUSE R., Studien zur kupfer- und frühbronzezeitlichen Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee (= *Vorgeschichtliche Forschungen* 24, Rahden/Westf. 2003).

KRETZ 1983

KRETZ R., Symbols for rock-forming minerals. In: *American Mineralogist. An international journal of earth and planetary materials* 68/1,2 (1983), 277–279.

KRISMER u. a. 2011

KRISMER M./GOLDENBERG G./TROPPEL P., Die chemische Zusammensetzung von spätbronzezeitlichen Schlacken vom Schmelzplatz Mauken/Brixlegg. In: K. OEGGL/G. GOLDENBERG/T. STÖLLNER/M. PRAST (Hgg.), *Die Geschichte des Bergbaus in Tirol und seinen angrenzenden Gebieten. Proceedings zum 5. Milestone-Meeting des SFB HiMAT vom 7.–10.10.2010 in Mühlbach (Innsbruck 2011)*, 185–192.

KUNSTMANN 2003

KUNSTMANN L., Archäologische und archäometallurgische Untersuchungen zum Röstprozess in der spätbronzezeitlichen Kupfermetallurgie in den Ostalpen (DiplA. Freiberg 2003).

KUNSTMANN 2004

KUNSTMANN L., Ergebnisse der archäometallurgischen Untersuchungen zum Röstprozess in der spätbronzezeitlichen Kupfermetallurgie in den Ostalpen. In: *res montanarum. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich* 33 (2004), 33–36.

KUSHIRO 1960

KUSHIRO I., Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. In: *American Journal of Science* 258 (1960), 548–554.

KYRLE 1918

KYRLE G., Der prähistorische Bergbaubetrieb in den Salzburger Alpen. In: G. KYRLE (Hg.), *Urgeschichte des Kronlandes Salzburg* (= *Österreichische Kunsttopographie* 17, Wien 1918), 1–70.

KYRLE 1920

KYRLE G., Urgeschichtliche Bergbaue in den Ostalpen. In: *Österreichische Monatsschrift für den öffentlichen Baudienst und das Berg- und Hüttenwesen* 1 (1920), 170–173, 256–260, 282–285, Tafeln 17–20.

LUTZ u. a. 2009

LUTZ J./PERNICKA E./PILS R./STEINER M./VAVTAR F., Geochemische Charakterisierung der Erzvorkommen am Mitterberg und in Kitzbühel. In: K. OEGGL/M. PRAST (Hgg.), *Die Geschichte des Bergbaus in Tirol und seinen angrenzenden Gebieten. Proceedings zum 3. Milestone-Meeting des SFB HiMAT vom 23.–26.10.2008 in Silbertal (Innsbruck 2009)*, 175–181.

LUTZ u. a. 2010

LUTZ J./PERNICKA E./PILS R./TOMEDI G./VAVTAR F., Geochemical Characteristics of Copper Ores from the greywacke Zone in the Austrian Alps and their Relevance as a Source of Copper in Prehistoric Times. In: P. ANREITER/G. GOLDENBERG/K. HANKE/R. KRAUSE/W. LEITNER/F. MATHIS/K. NICOLUSSI/K. OEGGL/E. PERNICKA/M. PRAST/J. SCHIBLER/I. SCHNEIDER/H. STADLER/T. STÖLLNER/G. TOMEDI/P. TROPPEL (Hgg.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings of the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HiMAT, 12.–15. November 2009, Innsbruck (Innsbruck 2010)*, 145–150.

## METTEN 2003

METTEN B., Beitrag zur spätbronzezeitlichen Kupfermetallurgie im Trentino (Südalpen) im Vergleich mit anderen prähistorischen Kupferschlacken aus dem Alpenraum (= Metalla: Forschungsberichte des Deutschen Bergbau-Museums 10/1/2, Bochum 2003).

## METZ 1953

METZ K., Die stratigraphische und tektonische Baugeschichte der steirischen Grauwackenzone. In: Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien 44, 1951 (1953), 1–84.

## MÖBUS 1997

MÖBUS G., Geologie der Alpen. Eine Einführung in die regional-geologischen Einheiten zwischen Genf und Wien (Köln 1997).

## MOESTA/KOPCEWICZ 1982

MOESTA H./KOPCEWICZ B., Bronzezeitliche Hüttenprozesse in den Ostalpen. In: Die Naturwissenschaften 69/10 (1982), 493f.

## MOESTA/SCHLICK 1989

MOESTA H./SCHLICK G., The Furnace of Mitterberg – An Oxidizing Bronze Age Copper Process. In: Bulletin of the Metals Museum 14 (1989), 5–16.

## MOESTA u. a. 1984

MOESTA H./SCHNAU-ROTH G./WAGNER H.-G., Mößbauer-Studien zu bronzezeitlichen Kupferhütten-Prozessen – I. Schlacken, besonders der ostalpinen Kupfertechnik. In: Berliner Beiträge zur Archäometrie 9 (1984), 95–112.

## MORIMOTO 1989

MORIMOTO N., Nomenclature of pyroxenes. In: Canadian Mineralogist 27 (1989), 143–156.

## MUAN 1955

MUAN A., Phase Equilibria in the System FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. In: JOM. Journal of Metals 7/9 (1955), 965–976.

## MUCH 1902

MUCH M., Prähistorischer Bergbau in den Alpen. In: Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 33 (1902), 1–31.

## MUKHOPADHYAY/LINDSLEY

MUKHOPADHYAY D. K./LINDSLEY D. H., Phase relations in the join kirschsteinit (CaFeSiO<sub>4</sub>)-fayalite (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>). In: American Mineralogist. An international journal of earth and planetary materials 68/11+12 (1983), 1089–1094.

## NELLE/KLEMM 2010

NELLE O./KLEMM S., Wood and Charcoal Supplies for Prehistoric and Mediaeval Mining Activities in the Eisenerzer Ramsau, Styria, Austria. In: P. ANREITER/G. GOLDENBERG/K. HANKE/R. KRAUSE/W. LEITNER/F. MATHIS/K. NICOLUSSI/K. OEGGL/E. PERNICKA/M. PRAST/J. SCHIBLER/I. SCHNEIDER/H. STADLER/T. STÖLLNER/G. TOMEDI/P. TROPPER (Hgg.), Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies – Proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT, 12.–15. November 2009, Innsbruck (Innsbruck 2010), 177–182.

## NEINAVAIE 1993

NEINAVAIE H., Bericht über bodengeochemisch-mineralogische Untersuchungen im Bereich eines Kupferschmelzplatzes in der Eisenerzer Ramsau (Wien, Eisenerz 1993, unpublizierter Bericht) [Archiv S. Klemm].

## NIEDERSCHLAG u. a. 2003

NIEDERSCHLAG E./PERNICKA E./SEIFERT T./BARTELHEIM M., The determination of lead isotope ratios by Multiple Collector ICP-MS: A case study of Early Bronze Age artefacts and their possible relation with ore deposits of the Erzgebirge. In: Archaeometry 45/1 (2003), 61–100.

OFNER 2002

OFNER L. M., Charakteristik der Kupfermineralisationen im Raum Eisenerz – Radmer – Johnsbach (Grauwackenzone/Steiermark) (DiplA. Leoben 2002).

OKADA 1911

OKADA Y., Der „Mabuki“-Prozeß. Die japan. Gewinnungsmethode d. metall. Kupfers aus Kupferstein (Freiberg 1911).

OTTO/WITTER 1952

OTTO H./WITTER W., Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa (Leipzig 1952).

PERNICKA 2000

PERNICKA E., Neutronenaktivierungsanalyse (NAA). In: M. K. PAVIĆEVIĆ/G. AMTHAUER (Hgg.), Physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden in den Geowissenschaften. Band 1: Mikroskopische, analytische und massenspektrometrische Methoden (Stuttgart 2000), 151–158.

PIEL u. a. 1992

PIEL M./HAUPTMANN A./SCHRÖDER B., Naturwissenschaftliche Untersuchungen an bronzezeitlichen Kupferverhüttungsschlacken von Acqua Fredda/Trentino. In: A. LIPPERT/K. SPINDLER (Hgg.), Festschrift zum 50jährigen Bestehen des Institutes für Ur- und Frühgeschichte der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck (= Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 8, Bonn 1992), 463–472.

PITTIONI 1953

PITTIONI R., Über den derzeitigen Stand der Erforschung des urzeitlichen Bergbaues auf Kupfererz in der Alten Welt. In: Forschungen und Fortschritte: Nachrichtenblatt der deutschen Wissenschaft und Technik 27/6 (1953), 174–178.

PRESSLINGER 1998

PRESSLINGER H., Schlackenkundliche Untersuchungsergebnisse von bronzezeitlichen Schlacken aus dem Paltental. In: res montanarum. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 19 (1998), 17–24.

PRESSLINGER 2002

PRESSLINGER H., Der Bau metallurgischer Anlagen in der Spätbronzezeit. In: res montanarum. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 28 (2002), 5–10.

PRESSLINGER 2004

PRESSLINGER H., Chemische Analysen von spätbronzezeitlichen Metallprodukten – ein Hinweis auf die Erzeugungstätten? In: res montanarum. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 33 (2004), 40–42.

PRESSLINGER/EIBNER 1989

PRESSLINGER H./EIBNER C., Bronzezeitliche Kupferverhüttung im Paltental. Montanarchäologische und archäometallurgische Untersuchungen im Ostalpenraum. In: A. HAUPTMANN/E. PERNICKA/G. A. WAGNER (Hgg.), Archäometallurgie der Alten Welt – Beiträge zum Internationalen Symposium „Old World Achaemetallurgy“, Heidelberg 1987 (= Der Anschnitt, Beiheft 7, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 44, Bochum 1989), 235–240.

PRESSLINGER/EIBNER 1993

PRESSLINGER H./EIBNER C., Prähistorischer Kupfererzbergbau und die Verhüttung der Erze. In: H. PRESSLINGER/H. J. KÖSTLER (Hgg.), Bergbau und Hüttenwesen im Bezirk Liezen (Steiermark) (= Kleine Schriften der Abteilung Schloß Trautenfels am Steiermärkischen Landesmuseum Joanneum 24, Trautenfels 1993), 25–36.

PRESSLINGER/EIBNER 2004

PRESSLINGER H./EIBNER C., Montanarchäologie im Paltental (Steiermark). Bergbau, Verhüttung, Verarbeitung und Siedlungstätigkeit in der Bronzezeit. In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), Alpinkupfer – Rame delle Alpi (= Der Anschnitt, Beiheft 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 63–74.

PRESSLINGER/GRUBER 1984

PRESSLINGER H./GRUBER A., Blühende Kupferindustrie in der Urnenfelderzeit. Werkstoffkundliche Untersuchung an prähistorischen Metallfunden. In: Da schau her. Die Kulturzeitschrift aus Österreichs Mitte 5/2 (1984), 14–16.

PRESSLINGER/GRUBER 1985

PRESSLINGER H./GRUBER A., Urnenfelderzeitliche Bronze gießerei in Wörschach. In: Da schau her. Die Kulturzeitschrift aus Österreichs Mitte 6/1 (1985), 7–9.

PRESSLINGER/PROCHASKA 2002

PRESSLINGER H./PROCHASKA W., Chemische Untersuchungen von bronzezeitlichen Laufschlacken. In: res montanarum. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 28 (2002), 10–14.

PRESSLINGER u. a. 1980

PRESSLINGER H./EIBNER C./WALACH G./SPERL G., Ergebnis der Erforschung urnenfelderzeitlicher Kupfermetallurgie im Paltental. In: BHM. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Zeitschrift für Rohstoffe, Geotechnik, Metallurgie, Werkstoffe und Maschinenbau 125/3 (1980), 131–142.

PRESSLINGER u. a. 1982

PRESSLINGER H./SPERL G./EIBNER C./WALACH G., Kupfererzverhüttung in Österreich vor 3000 Jahren. In: Österreichischer Kalender für Berg, Hütte und Energie 28 (1982), 121–127.

PRESSLINGER u. a. 1985

PRESSLINGER H./GRUBER A./PASCHEN P., Die Verhüttung sulfidischer Erze im Schachtofen in der Bronzezeit. In: METALL. Zeitschrift für Technik, Industrie und Handel 39/5 (1985), 423–425.

PRESSLINGER u. a. 1986

PRESSLINGER H./WALACH G./EIBNER C./GRUBER A., Geophysikalische, montanarchäologische und metallurgische Untersuchungsergebnisse von bronzezeitlichen ostalpinen Kupferhütten. In: BHM. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Zeitschrift für Rohstoffe, Geotechnik, Metallurgie, Werkstoffe und Maschinenbau 131/7 (1986), 225–230.

PRESSLINGER u. a. 1992

PRESSLINGER H./WALACH G./EIBNER C./PROCHASKA W., Montanarchäologische Untersuchungsergebnisse eines urnenfelderzeitlichen Kupfererz-Verhüttungsplatzes bei Mautern/Steiermark. In: BHM. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Zeitschrift für Rohstoffe, Geotechnik, Metallurgie, Werkstoffe und Maschinenbau 137/1 (1992), 31–37.

PRESSLINGER u. a. 1998

PRESSLINGER H./MAYER A./NILICA R., Beurteilung bronzezeitlicher Ofensteine aus einem Schachtofen zur Rohkupfererzeugung. In: res montanarum. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 19 (1998), 25–27.

PRESSLINGER u. a. 2000

PRESSLINGER H./EIBNER C./HARMUTH H./LETH I., Baustoffe, Feuerfestmaterialien und Keramiken im bronzezeitlichen Hüttenbetrieb. In: BHM. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Zeitschrift für Rohstoffe, Geotechnik, Metallurgie, Werkstoffe und Maschinenbau 145/9 (2000), 368–376.

PRESSLINGER u. a. 2001

PRESSLINGER H./HARMUTH H./PROCHASKA W./EIBNER C., Metallurgische Schlacken – ein Sekundärrohstoff in der Bronzezeit. In: BHM. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Zeitschrift für Rohstoffe, Geotechnik, Metallurgie, Werkstoffe und Maschinenbau 146/5 (2001), 222–226.

PRESSLINGER u. a. 2004a

PRESSLINGER H./EIBNER C./WALACH G./PRESSLINGER B., Fünf Jahre Arbeit im Projekt „Erforschung der Ur- und Frühgeschichte der Steiermark am Beispiel Paltental“ – eine Danksagung. In: res montanarum. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 33 (2004), 7–10.

PRESSLINGER u. a. 2004b

PRESSLINGER H./PROCHASKA W./WALACH G., Beurteilung der chemischen Analysenergebnisse von bronzezeitlichen Laufsclacken und metallischen Rohprodukten – eine Einteilung nach Talschaften. In: *res montanarum*. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 33 (2004), 37–39.

PRESSLINGER u. a. 2009

PRESSLINGER H./EIBNER C./PRESSLINGER B., Archäologische Belege der bronzezeitlichen Kupfererzverhüttung im Paltental. In: *res montanarum*. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 46 (2009), 35–45.

PRESSLINGER u. a. 2011

PRESSLINGER H./EIBNER C./HARMUTH H., Naturwissenschaftliche Untersuchungsergebnisse an Gebrauchskeramikproben vom mittelbronzezeitlichen Arbeits- und Siedlungsplatz Schlosser/KG Schwarzenbach/OG Trieben. In: BHM. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Zeitschrift für Rohstoffe, Geotechnik, Metallurgie, Werkstoffe und Maschinenbau 156/1 (2011), 28–33.

PREUSCHEN 1968

PREUSCHEN E., Kupfererzlagerstätten in der Steiermark. In: F. WAIDACHER (Hg.), *Der Bergmann, der Hüttenmann – Gestalter der Steiermark*. Katalog der 4. Landesausstellung 1968 (Graz 1968), 185–188.

PREUSCHEN/PITTIONI 1955

PREUSCHEN E./PITTIONI R., Neue Beiträge zur Topographie des urzeitlichen Bergbaues auf Kupfererz in den österreichischen Alpen. In: *Archaeologia Austriaca*. Beiträge zur Paläanthropologie, Ur- und Frühgeschichte Österreichs 18 (1955), 45–79.

PROCHASKA/PRESSLINGER 1989

PROCHASKA W./PRESSLINGER H., Kupfererze und prähistorische Laufsclacken – Aufschlußreiche geochemische Untersuchungen. In: *Da schau her*. Die Kulturzeitschrift aus Österreichs Mitte 10/4 (1989), 9–14.

PROCHASKA/RANTITSCH 2004

PROCHASKA W./RANTITSCH G., Die Verteilungsmuster von Schwermetallen im Bereich eines urzeitlichen Kupferschmelzplatzes im Paltental. In: *res montanarum*. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 33 (2004), 23–27.

PROCHASKA u. a. 2002

PROCHASKA W./MAURER E.-M./PRESSLINGER H., Die Schwermetallbelastung in der Umgebung eines urzeitlichen Kupferschmelzplatzes im Paltental. In: *res montanarum*. Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich 28 (2002), 14–17.

PROSKE 2003

PROSKE H., Geologie der Eisenerzer Ramsau. In: S. KLEMM (Hg.), *Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark – Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau* (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 50, Wien 2003), 163f.

REDLICH 1923

REDLICH K. A., Der Erzzug Vordernberg – Johnsbachtal: III. Das Johnsbachtal. In: *Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien* 15, 1922 (1923), 305–312.

REDLICH/SELLNER 1923

REDLICH K. A./SELLNER F., Der Erzzug Vordernberg – Johnsbachtal: II. Die Radmer. In: *Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien* 15, 1922 (1923), 267–304.

SCHAER 2003

SCHAER A., Untersuchungen zum prähistorischen Bergbau im Oberhalbstein (Kanton Graubünden). In: *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte* 86 (2003), 7–54.

SCHAIRER 1942

SCHAIRER J. F., The system  $\text{CaO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ : I, Results of quenching experiments on five joins. In: Journal of the American Ceramic Society 25/10 (1942), 241–274.

SCHLAEGEL-BLAUT 1990

SCHLAEGEL-BLAUT P., Der basische Magmatismus der Nördlichen Grauwackenzone, Oberostalpinen Paläozoikum (= Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt 43, Wien 1990).

SCHLEGEL/SCHÜLLER 1952

SCHLEGEL H./SCHÜLLER A., Die Schmelz und Kristallisationsgleichgewichte im System Kupfer-Eisen-Schwefel und ihre Bedeutung für die Kupfergewinnung (= Freiburger Forschungshefte, Reihe B, Metallgewinnung, Metallurgie, Werkstoffwissenschaft 2, Berlin 1952).

SCHNEIDER u. a. 2009

SCHNEIDER P./KRISMER M./SARTORY B./GOLDENBERG G./TROPPEL P./VAVTAR F., Experimentelle Untersuchungen zur Stabilität von Fahlerzen bei hohen Temperaturen: Erste Rückschlüsse auf die Röstbedingungen bei der prähistorischen Kupfererzeugung. In: K. OEGGL/M. PRAST (Hgg.), Die Geschichte des Bergbaus in Tirol und seinen angrenzenden Gebieten. Proceedings zum 3. Milestone-Meeting des SFB HiMAT vom 23.–26.10.2008, Silbertal (Innsbruck 2009), 197–200.

SCHÖNLAUB 1980

SCHÖNLAUB H. P., Die Grauwackenzone. In: R. OBERHAUSER (Hg.), Der geologische Aufbau Österreichs (Wien–New York 1980), 265–289.

SIMKIN/SMITH 1970

SIMKIN T./SMITH J. V., Minor-Element distribution in olivine. In: Journal of Geology 78/3 (1970), 304–325.

SPERBER 1999

SPERBER L., Krisen der spätbronzezeitlichen Metallversorgung im westlichen Mitteleuropa: Von der Bronze zum Eisen. In: K. DĚMAKOPULOS/P. KRUSE (Hgg.), Götter und Helden der Bronzezeit. Europa im Zeitalter des Odysseus, Europarat-Ausstellung 25 (Ostfildern 1999), 48–51.

SPERL 1979

SPERL G., Zur ehemaligen Kupfergewinnung in der Radmer und im Johnsbachtal. In: G. JONTES (Hg.), Montangeschichte des Erzberggebietes. Vorträge der Arbeitstagung 17.–19. November 1978 in Vordernberg (Leoben 1979), 135–145.

SPIESS u. a. 2009

SPIESS L./TEICHERT G./SCHWARZER R./BEHNKEN H./GENZEL C., Moderne Röntgenbeugung. Röntgendiffraktometrie für Materialwissenschaftler, Physiker und Chemiker (Wiesbaden 2009).

TAFEL/WAGENMANN 1951

TAFEL V./WAGENMANN K., Gold, Silber, Platinmetalle, Kupfer, Quecksilber, Wismut (= Lehrbuch der Metallhüttenkunde 1, Leipzig 1951).

THALHAMMER/THALHAMMER 2006

THALHAMMER O. A. R./THALHAMMER T. V., Mineralogische, petrographische und geochemische Bearbeitung von Schlacken, Ofensteinen und Röstbettmaterial vom Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau (Leoben 2006, unveröffentlichter Bericht) [Archiv S. Klemm].

WAGNER/KYEK 2004

WAGNER F. E./KYEK A., Mössbauer Spectroscopy in Archaeology: Introduction and Experimental Considerations. In: Hyperfine interactions. Journal devoted to research in the border regions of solid state, atomic and nuclear physics 154 (2004), 5–33.

WASSERTHAL 1982

WASSERTHAL R., Mikroskopische und geochemische Untersuchungen an der schichtgebundenen Sulfidmineralisation bei Bärndorf (Steiermark, Österreich) (DiplA. Hamburg 1982).

WEBER u. a. 1997

WEBER L./GÖTZINGER M. A./GÖD R./SCHULZ O./EBNER F./SACHSENHOFER R. F./VAVTAR F./PAAR W. H./BRIEGLEB D./HÖLL R./EICHHORN R./SEEMANN R./KIRCHNER E./CERNY I./SCHROLL E./RAITH J. G./PROCHASKA W./TUFAR W./MALI H./GÜNTHER W./SPIELER A./MELCHER F./GRÄF W., Die metallogenetischen Einheiten Österreichs. In: L. WEBER (Hg.), Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur metallogenetischen Karte von Österreich 1:500.000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe (= Archiv für Lagerstättenforschung 19, Wien 1997), 230–394.

WEDENIG u. a. 1991

WEDENIG R./EIBNER C./PRESSLINGER H./HEBERT B., Archäologische Begehungen und Untersuchungen beim Bau der Pyhrn-Autobahn über den Schober-Paß in der Steiermark. In: Fundberichte aus Österreich 30, 1991 (1992), 201–228.

WHITNEY/EVANS 2010

WHITNEY D. L./EVANS B. W., Abbreviations for names of rock-forming minerals. In: American Mineralogist. An international journal of earth and planetary materials 95/1 (2010), 185–187.

ZSCHOCKE/PREUSCHEN 1932

ZSCHOCKE K./PREUSCHEN E., Das urzeitliche Bergbauggebiet von Mühlbach-Bischofshofen (= Materialien zur Urgeschichte Österreichs 6, Wien 1932).

ZWICKER 1991

ZWICKER U., Natural Copper-Arsenic Alloys and smelted Arsenic Bronzes in early Metal Production. In: J.-P. MOHEN/C. ÉLUÈRE (Hgg.), Découverte du Métal (= Millénaires 2, Paris 1991), 331–340.

## 6.12 Anhang: Beilage zu den archäometallurgischen Untersuchungen / Supplement to the Archaeometallurgical Analyses



Tab. A.1: Zusammenstellung der Proben und daran durchgeführte Untersuchungen.  
 Tab. A.1. Sample list and performed analyses.

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makros- kopie	Mikros- kopie	WD- RFA	REM+ EDX	XRD	Blei- isotopie	Möß- bauer	NAA
MA-092828	FNr. 258	Röstoffbett 1	RB1-1	Schlackentyp B	✓	✓	✓					
MA-092829	FNr. 32	Röstoffbett 1	RB1-1	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-092830	FNr. 981	Röstoffbett 1	RB1-3	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓			✓	
MA-101433	FNr. 957	Röstoffbett 1	RB1-4	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-101434	FNr. 973	Röstoffbett 2	2 Pl. 157	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-092831	FNr. 1219	Röstoffbett 2	21 Pl. 210	Schlackentyp A	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
MA-092832	FNr. 1221	Röstoffbett 2	29 Pl. 211	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-092833	FNr. 1335	Unterbau Röstoffbett 3	42	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-092834	FNr. 1335	Unterbau Röstoffbett 3	42	Erz	✓	✓		✓		✓		
MA-110606	FNr. 1609	Unterbau Röstoffbett 3	42	Schlackentyp B	✓	✓		✓				
MA-092835	FNr. 1144	Röstoffbett 3	48	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓				
MA-101431	FNr. 1593	Röstoffbett 4	11 Pl. 136	Schlackentyp B	✓	✓	✓			✓		
MA-092836	FNr. 4162	Röstoffbett 4	16 (=9?) Pl. 291	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓			✓	
MA-101432	FNr. 4162	Röstoffbett 4	16 (=9?) Pl. 291	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-092837	FNr. 506	Röstoffbett 5	1 Pl. 89	Schlackentyp B	✓							
MA-092838	FNr. 641	Röstoffbett 5	2 Pl. 89	Schlackentyp C	✓	✓	✓	✓				
MA-092839	FNr. 683	Röstoffbett 5	8 Pl. 115	Schlackentyp A	✓		✓					
MA-092840	FNr. 1645	Röstoffbett 7	44	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-092841	FNr. 4409	Röstoffbett 7	44	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓	✓			
MA-101426	FNr. 1340	Röstoffbett 7	44	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-101427	FNr. 1340	Röstoffbett 7	44	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-101428	FNr. 4409	Röstoffbett 7	44	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓			✓		
MA-101435	FNr. 1429	Röstoffbett 7	44	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-092842	FNr. 1252	Röstoffbett 7	58	Schlackentyp A	✓		✓					

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makroskopic	Mikroskopic	WD-RFA	REM+EDX	XRD	Bleiisotopie	Mößbauer	NAA
MA-092843	FNr. 1200	Röstoff 7	58	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓			✓	
MA-092844	FNr. 1200	Röstoff 7	58	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-101429	FNr. 1252	Röstoff 7	58	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-101430	FNr. 1200	Röstoff 7	58	Schlackentyp B	✓		✓		✓			
MA-110598	FNr. 4830	Röstoff 7	2 Pl. 984	Lehmprobe	✓							✓
MA-092845	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	Schlackentyp A	✓	✓	✓	✓				
MA-113458	FNr. 3075	Röstoff 9	1 Pl. 465	Metallfragment	✓	✓	ED-RFA	✓		✓		
MA-092846	FNr. 3046	Röstoff 9	1 Pl. 475	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-110597	FNr. 4474	Röstoff 9	1 Pl. 749	Lehmprobe	✓							✓
MA-092849	FNr. 3994	Röstoff 9	26 Pl. 691	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-092850	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓				
MA-110592	FNr. 3656	Röstoff 9	27 Pl. 691	Lehmprobe	✓							✓
MA-110596	FNr. 3946	Röstoff 9	27 Pl. 749	Lehmprobe	✓							✓
MA-110594	FNr. 3819	Röstoff 9	27 Pl. 771	Lehmprobe	✓							✓
MA-110595	FNr. 3847	Röstoff 9	27 Pl. 771	Lehmprobe	✓							✓
MA-110593	FNr. 3675	Röstoff 9	28 Pl. 749	Lehmprobe	✓							✓
MA-110590	FNr. 3235	Röstoff 9	34 Pl. 691	Lehmprobe	✓							✓
MA-092851	FNr. 3348	Röstoff 9	45 Pl. 691	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-092847	FNr. 2249	Röstoff 9	6 Pl. 465	Schlackentyp B	✓	✓						
MA-092848	FNr. 3113	Röstoff 9	9 Pl. 465	Schlackentyp A	✓							
MA-113465	FNr. 468	Ofen 1	Füllmaterial	Lehmprobe	✓							
MA-101385	FNr. 1102	Ofen 1	Nordwand	Ofenstein	✓		✓					
MA-110601	FNr. 4960	Ofen 1	Ofenbrust	Lehmprobe	✓							✓
MA-110602	FNr. 1583	Ofen 1	Ofenversturz	Lehmprobe	✓							✓
MA-101386	FNr. 5283	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	✓	✓						
MA-101387	FNr. 5302	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	✓	✓	✓					
MA-101388	FNr. 5394	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	✓		✓					
MA-101389	FNr. 5394	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	✓		✓					
MA-101390	FNr. 4941	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	✓	✓						

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makroskopie	Mikroskopie	WD-RFA	REM+EDX	XRD	Bleiisotopie	Möb-bauer	NAA
MA-101382	FNr. 5316	Ofen 1	Westwand	Ofenstein	✓	✓						
MA-101383	FNr. 3921	Ofen 1	Westwand	Ofenstein	✓	✓						
MA-101384	FNr. 4958	Ofen 1	Westwand	Ofenstein	✓	✓		✓				
MA-101397	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	Ofenstein	✓		✓					
MA-101398	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	Ofenstein	✓	✓	✓	✓				
MA-101399	FNr. 5476	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	Ofenstein	✓	✓	✓					
MA-101393	FNr. 5509	Ofen 2	Nordwand	Ofenstein	✓	✓	✓				✓	
MA-101394	FNr. 5511	Ofen 2	Nordwand	Ofenlehm	✓	✓	✓	✓				
MA-101395	FNr. 5555	Ofen 2	Nordwand	Ofenstein	✓	✓	✓				✓	
MA-113466	FNr. 5484	Ofen 2	Nordwand	Lehmprobe	✓							
MA-101396	FNr. 5451	Ofen 2	Ostwand	Schlackenhaut	✓		✓			✓		
MA-110603	FNr. 5426	Ofen 2	Ostwand	Lehmprobe	✓							✓
MA-110604	FNr. 5429	Ofen 2	Ostwand	Lehmprobe	✓							✓
MA-110605	FNr. 5587	Ofen 2	Ostwand	Lehmprobe	✓							✓
MA-101391	FNr. 5551	Ofen 2	Westwand	Ofenstein	✓		✓					
MA-101392	FNr. 5551	Ofen 2	Westwand	Ofenstein	✓		✓					
MA-092854	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	Schlackentyp C	✓	✓	✓	✓				
MA-092852	FNr. 1709	Vorplatz Ofen 1/2	4 Pl.68	Schlackentyp B	✓	✓	✓					
MA-092853	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓		✓		
MA-113464	FNr. 313	Vorplatz Ofen 1/2	SE Ofen 2	Schlackentyp C	✓		✓					
MA-113463	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial Ofen 2	Schlackentyp C	✓	✓	✓	✓				
MA-113468	FNr. 706	Ofen 3	Nordwand, abgebr.	Ofenlehm	✓	✓		✓				

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makroskopic	Mikroskopic	WD-RFA	REM+EDX	XRD	Bleiisotopie	Möb-bauer	NAA
MA-113476	FNr. 707/2	Ofen 3	Nordwand	Schlackenhaut	✓		✓					
MA-113469	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	Schlackenhaut	✓	✓	✓	✓				
MA-113471	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	Ofenstein	✓	✓		✓				
MA-101400	FNr. 4876	Ofen 4	Westwand	Ofenlehm	✓	✓	✓					
MA-101401	FNr. 4902	Ofen 4	Westwand	Ofenstein	✓	✓						
MA-101402	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	Ofenstein	✓	✓	✓	✓				
MA-110600	FNr. 4858	Ofen 4	Westwand	Lehmprobe	✓							✓
MA-101418	FNr. 5246	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	Schlackenhaut	✓		✓					
MA-101419	FNr. 5267	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	Schlackenhaut	✓	✓	✓	✓				
MA-101420	FNr. 5262	Ofen 5	ältere Phase, Ostwand	Schlackenhaut	✓		✓					
MA-101417	FNr. 5264	Ofen 5	ältere Phase, Westwand	Schlackenhaut	✓		✓					
MA-101409	FNr. 5182	Ofen 5	Nordwand	Ofenlehm	✓	✓	✓					
MA-101410	FNr. 5198	Ofen 5	Nordwand	Schlackenhaut	✓		✓					
MA-101411	FNr. 5191	Ofen 5	Nordwand	Schlackenhaut	✓		✓					
MA-101412	FNr. 5241	Ofen 5	Nordwand, 2. Schicht	Ofenstein	✓	✓	✓					
MA-101413	FNr. 5120	Ofen 5	Ostwand	Schlackenhaut	✓	✓	✓					
MA-101414	FNr. 4483	Ofen 5	Ostwand	Ofenlehm	✓	✓						
MA-101415	FNr. 4489	Ofen 5	Ostwand	Ofenstein	✓	✓						
MA-101416	FNr. 5150	Ofen 5	Ostwand, 2. Schicht	Schlackenhaut	✓	✓						
MA-101403	FNr. 5127	Ofen 5	Westwand	Ofenstein	✓	✓	✓					
MA-101404	FNr. 5144	Ofen 5	Westwand	Ofenstein	✓	✓						
MA-101405	FNr. 5149	Ofen 5	Westwand	Ofenstein	✓		✓					
MA-101406	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	Schlackenhaut	✓	✓	✓	✓		✓		
MA-101407	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	Schlackenhaut	✓	✓	✓	✓		✓	✓	

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makroskopic	Mikroskopic	WD-RFA	REM+EDX	XRD	Bleisotopie	Möb-bauer	NAA
MA-101408	FNr. 5242	Ofen 5	Westwand, 2. Schicht	Ofenstein	✓	✓						
MA-092855	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	Schlackentyp A	✓							
MA-092856	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓				
MA-092857	FNr. 1901	Vorplatz Ofen 4/5	4 Pl. 358	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-110599	FNr. 4845	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 370	Lehmprobe	✓							✓
MA-092858	FNr. 3647	Vorplatz Ofen 7/8	25 Pl. 760	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-092859	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓				
MA-110591	FNr. 3633	Ofen 10	49 Pl. 758	Lehmprobe	✓							✓
MA-092861	FNr. 3397	Vorplatz Ofen 9/10	15 Pl. 652	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-101422	FNr. 3397	Vorplatz Ofen 9/10	15 Pl. 652	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-101423	FNr. 3397	Vorplatz Ofen 9/10	15 Pl. 652	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-092860	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓				
MA-101421	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-092862	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp A	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
MA-092863	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp B	✓		✓			✓	✓	
MA-101424	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp B	✓		✓					

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makroskopic	Mikroskopic	WD-RFA	REM+EDX	XRD	Bleiisotopie	Möbauer	NAA
MA-101425	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-1113467	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp C	✓	✓	✓	✓				
MA-1113472	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp A	✓	✓	✓	✓				
MA-1113473	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓				
MA-1113474	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-1113475	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-1113470	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓				
MA-091446	FNr. 595	Halde 1	5	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-091447	FNr. 595	Halde 1	5	Schlackentyp A	✓	✓	✓	✓				
MA-091448	FNr. 694	Halde 1	5	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-091449	FNr. 1228	Halde 1	5	Schlackentyp B	✓	✓						
MA-091450	FNr. 1332	Halde 1	5	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓		✓		
MA-091451	FNr. 1332	Halde 1	5	Schlackentyp B	✓							
MA-091452	FNr. 558	Halde 1	6	Schlackentyp C	✓	✓	✓	✓				
MA-091453	FNr. 899	Halde 1	6	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-091454	FNr. 634	Halde 1	6	Schlackentyp B	✓							
MA-091455	FNr. 650	Halde 1	6	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓				
MA-091456	FNr. 696	Halde 1	6	Schlackentyp A	✓		✓					
MA-091457	FNr. 1152	Halde 1	6	Schlackentyp B	✓	✓						
MA-091458	FNr. 1152	Halde 1	6	Schlackentyp C	✓		✓					
MA-091459	FNr. 695	Halde 1	7	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091460	FNr. 1054	Halde 1	7	Schlackentyp B	✓							
MA-091461	FNr. 1029	Halde 1	7	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓				

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makroskopic	Mikroskopic	WD-RFA	REM+EDX	XRD	Bleiisotopie	Möb-bauer	NAA
MA-091462	FNr. 1179	Halde 1	7	Schlackentyp A	✓	✓	✓	✓				
MA-091463	FNr. 1179	Halde 1	7	Schlackentyp B	✓							
MA-091464	FNr. 538	Halde 1	7	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091465	FNr. 825	Halde 1	7	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091466	FNr. 974	Halde 1	7	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091499	FNr. 2078	Halde 2	2	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-091500	FNr. 2078	Halde 2	2	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091501	FNr. 2078	Halde 2	2	Schlackentyp B	✓	✓	✓			✓		
MA-092823	FNr. 2615	Halde 2	2	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-091502	FNr. 2095	Halde 2	3	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-091503	FNr. 2095	Halde 2	3	Schlackentyp B	✓	✓						
MA-092816	FNr. 2614	Halde 2	3	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-092817	FNr. 2614	Halde 2	3	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-092818	FNr. 2856	Halde 2	3	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-092824	FNr. 2721	Halde 2	4	Schlackentyp B	✓							
MA-091506	FNr. 2295	Halde 2	6	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-091507	FNr. 2320	Halde 2	6	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-092822	FNr. 2867	Halde 2	6	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-091508	FNr. 2265	Halde 2	7	Schlackentyp B	✓	✓						
MA-091509	FNr. 2342	Halde 2	7	Schlackentyp A	✓		✓					
MA-092821	FNr. 2976	Halde 2	7	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓				
MA-091510	FNr. 2287	Halde 2	11	Schlackentyp B	✓							
MA-091511	FNr. 2267	Halde 2	17	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓				
MA-091512	FNr. 2350	Halde 2	19	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-091513	FNr. 1936	Halde 2	22	Schlackentyp C	✓	✓	✓	✓	✓			
MA-113459	FNr. 2090	Halde 2	5 Pl. 410	Bronzenadelfragmente	✓	✓		✓		✓		
MA-092819	FNr. 2722	Halde 2	21 Pl. 569	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-092826	FNr. 3178	Halde 2	21 Pl. 569	Schlackentyp B	✓							

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makroskopie	Mikroskopie	WD-RFA	REM+EDX	XRD	Bleiisotopie	Mösbauer	NAA
MA-092820	FNr. 3310	Halde 2	21a Pl. 569	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-092825	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓				
MA-091487	FNr. 3666	Halde 3	4	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-091488	FNr. 3666	Halde 3	4	Schlackentyp B	✓							
MA-091489	FNr. 3225	Halde 3	5	Schlackentyp B	✓	✓	✓					
MA-091490	FNr. 4917	Halde 3	5	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-091491	FNr. 3659	Halde 3	10	Schlackentyp B	✓							
MA-091492	FNr. 4178	Halde 3	22	Schlackentyp B	✓							
MA-091493	FNr. 5053	Halde 3	22	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓				
MA-091494	FNr. 4500	Halde 3	23	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓	✓				
MA-091495	FNr. 4529	Halde 3	23	Schlackentyp A	✓		✓					
MA-091496	FNr. 4543	Halde 3	24	Schlackentyp B	✓	✓	✓	✓				
MA-091497	FNr. 4252	Halde 3	25	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓					
MA-113462	FNr. 4469	Halde 3	25a Pl. 884	Schlackentyp B	✓							
MA-091470	FNr. 3042	Halde 3	2	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-091471	FNr. 3042	Halde 3	2	Schlackentyp C	✓	✓	✓	✓				
MA-091472	FNr. 2994	Halde 3	2	Erz	✓	✓		✓		✓		
MA-091473	FNr. 4558	Halde 3	2	Schlackentyp A	✓	✓	✓	✓		✓		
MA-091474	FNr. 4104	Halde 3	2	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-091475	FNr. 3066	Halde 3	2a	Schlackentyp B	✓	✓						
MA-091476	FNr. 3078	Halde 3	2b	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091477	FNr. 4708	Halde 3	2c	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-091478	FNr. 3037	Halde 3	9	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-091479	FNr. 4433	Halde 3	9	Schlackentyp A	✓	✓	✓	✓				
MA-091486	FNr. 3190	Halde 3	13	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091481	FNr. 4145	Halde 3	17	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-091482	FNr. 4780	Halde 3	17	Schlackentyp B	✓		✓					
MA-091483	FNr. 3625	Halde 3	18	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091484	FNr. 4153	Halde 3	18	Schlackentyp B	✓		✓					

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Makroskopic	Mikroskopic	WD-RFA	REM+EDX	XRD	Bleiisotopie	Möb-bauer	NAA
MA-091485	FNr. 4153	Halde 3	18	Schlackentyp A	✓	✓	✓					
MA-091480	FNr. 3646	Halde 3	11a	Schlackentyp A	✓							
MA-113461	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Metallfragment	✓	✓	ED-RFA	✓		✓		
MA-092827	FNr. 3873	Spitzgraben	14 Pl. 692	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-091440	FNr. 518	Allgemein	1, Halde 1	Schlackentyp A+B	✓		✓					
MA-091441	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	Schlackentyp C	✓	✓		✓				
MA-091442	FNr. 1069	Allgemein	1, Halde 1	Schlackentyp B	✓	✓						
MA-091498	FNr. 2272	Allgemein	1, Halde 2	Schlackentyp A+B	✓							
MA-091467	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Erz	✓	✓		✓		✓		
MA-091468	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Schlackentyp B	✓							
MA-091469	FNr. 3029	Allgemein	1, Halde 3	Schlackentyp B	✓	✓						
MA-091443	FNr. 699	Allgemein	2, Halde 1	verschlackter Offenlehm	✓	✓						
MA-091444	FNr. 699	Allgemein	2, Halde 1	Schlackentyp A+B	✓	✓	✓					
MA-091445	FNr. 1153	Allgemein	2, Halde 1	Schlackentyp A	✓		✓					
MA-091504	FNr. 2118	Allgemein	4, Halde 2	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-091505	FNr. 2118	Allgemein	4, Halde 2	Schlackentyp A+B	✓	✓						
MA-113460	-	Kupfergraben	Lesefund	Erz	✓							

Tab. A.2: Ergebnisse der makroskopischen Ansprache und der Untersuchungen im Lichtmikroskop.  
 Tab. A.2. Sample description and results of microscopic analysis.

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Mag-netik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-092828	FNr. 258	Röstoffbett 1	RB1-1	Schlackentyp B	91	71	56	219,1	✓	heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, messingfarbener Sulfideinschluss (ø 3 mm), schwärzlichrötlichbraun verwittert	Cpx, Fa, Mag, Cu, Cs
MA-092829	FNr. 32	Röstoffbett 1	RB1-1	Schlackentyp A+B	62	45	44	219,8	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 1 mm), messingfarbener Sulfideinschluss (ø 1 mm), rostbraun verwittert	
MA-092830	FNr. 981	Röstoffbett 1	RB1-3	Schlackentyp B	46	38	35	89,0	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 1 mm), dunkelgrau bis braun verwittert	Fa, Gls, Cs
MA-101433	FNr. 957	Röstoffbett 1	RB1-4	Schlackentyp A+B	54	41	41	102,5	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, grau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke, rötlich verwittert	
MA-101434	FNr. 973	Röstoffbett 2	2 Pl. 157	Schlackentyp B	33	32	22	24,8	✓	heterogen, schwärzlichgrau, Quarzbruchstücke (< 3 mm), messingfarbener Sulfideinschluss (ø 4 mm), rötlich verwittert	
MA-092831	FNr. 1219	Röstoffbett 2	21 Pl. 210	Schlackentyp A	57	41	28	99,2	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 5 mm), dunkel-siena verwittert	Cpx, Fa, Gls, Mag, Qtz
MA-092832	FNr. 1221	Röstoffbett 2	29 Pl. 211	Schlackentyp A+B	76	72	37	272,7	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), rötlich verwittert	
MA-092833	FNr. 1335	Unterbau Röstoffbett 3	42	Schlackentyp A+B	69	45	49	261,2	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 5 mm), rötlich verwittert	
MA-092834	FNr. 1335	Unterbau Röstoffbett 3	42	Erz	49	39	28	104,1	✗	Pyrit, Hämatit, Quarz	Mag, Hem, Brt, Qtz

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-110606	FNr. 1609	Unterbau Röstbett 3	42	Schlackentyp B	44	36	17	29,9	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 3 mm), bläulichgrauer Sulfideinschluss (ø 3 mm), rostbraun verwittert	Fa, GlS, Mag, Del, Mlc
MA-092835	FNr. 1144	Röstbett 3	48	Schlackentyp B	65	62	32	95,6	✓	heterogen, dunkelgrau, rostbraun verwittert	Cpx, Fa, Mag, Cs
MA-101431	FNr. 1593	Röstbett 4	11 Pl. 136	Schlackentyp B	24	25	23	13,2	✓	heterogen, schwärzlich-siena verwittert, Quarzbruchstücke (< 1 mm)	Fa, Matrix zersetzt
MA-092836	FNr. 4162	Röstbett 4	16 (=9?) Pl. 291	Schlackentyp B	43	33	24	39,7	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 1 mm), bläulichgrauer Sulfideinschluss (ø 3 mm), rötlich verwittert	Fa, Cpx, Qtz, Ccp, Cs, Mag
MA-101432	FNr. 4162	Röstbett 4	16 (=9?) Pl. 291	Schlackentyp B	35	28	24	25,4	✓	heterogen, olivschwarz, Quarzbruchstücke (< 10 mm), rotschwarz verwittert	
MA-092837	FNr. 506	Röstbett 5	1 Pl. 89	Schlackentyp B	51	45	33	70,2	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 4 mm), bläulichgraue Sulfideinschlüsse (ø 3 mm), rötlich verwittert	
MA-092838	FNr. 641	Röstbett 5	2 Pl. 89	Schlackentyp C	55	50	10	34,0	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, dunkelbraun verwittert	Fa, GlS, Qtz, Mag
MA-092839	FNr. 683	Röstbett 5	8 Pl. 115	Schlackentyp A	81	55	27	179,0	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), hellbraun verwittert	
MA-092840	FNr. 1645	Röstbett 7	44	Schlackentyp A+B	66	47	47	226,5	✓	homogen, unterer Teil stark porig, dunkelgrau, rostbraun verwittert	
MA-092841	FNr. 4409	Röstbett 7	44	Schlackentyp B	77	65	30	182,4	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 1 mm), schwärzlichbraunoliv verwittert	Fa, GlS, Mag, Cs, Qtz
MA-101426	FNr. 1340	Röstbett 7	44	Schlackentyp B	38	38	29	47,7	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 3 mm), graubraun verwittert	
MA-101427	FNr. 1340	Röstbett 7	44	Schlackentyp B	40	37	36	37,1	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 3 mm), dunkelgelbocker verwittert	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-101428	FNr. 4409	Röstoff 7	44	Schlackentyp A+B	62	51	31	132,5	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 5 mm), schwärzlichbraun verwittert	
MA-101435	FNr. 1429	Röstoff 7	44	Schlackentyp A+B	59	56	33	124,4	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 1 mm), schwärzlicholivbraun verwittert	
MA-092842	FNr. 1252	Röstoff 7	58	Schlackentyp A	118	74	19	348,2	✓	homogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 2 mm), olivbraun verwittert	
MA-092843	FNr. 1200	Röstoff 7	58	Schlackentyp A+B	66	53	33	189,9	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 2 mm), schwärzlichorangebraun verwittert	Fa, Cpx, Cs, Mag, Qtz
MA-092844	FNr. 1200	Röstoff 7	58	Schlackentyp B	51	36	24	49,4	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 1 mm), ockerbraun verwittert	
MA-101429	FNr. 1252	Röstoff 7	58	Schlackentyp A+B	57	47	29	92,8	✓	heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, dunkelbraun verwittert	
MA-101430	FNr. 1200	Röstoff 7	58	Schlackentyp B	-	-	-	13,4	✓	heterogen, schwärzlichorangebraun verwittert, Fragmente	
MA-110598	FNr. 4830	Röstoff 7	2 Pl. 984	Lehmprobe	34	21	23	16,4	✗	feiner gebrannter Lehm, schwärzlichorange, Gesteinsbruchstücke (< 1 mm)	
MA-092845	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	Schlackentyp A	72	69	28	226,4	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Cu, Cs
MA-113458	FNr. 3075	Röstoff 9	1 Pl. 465	Metallfragment	47	23	7	25,6	✓	an der Oberfläche hellgrün verwittertes Metallstück	Cu, Bn, Cv
MA-092846	FNr. 3046	Röstoff 9	1 Pl. 475	Schlackentyp A+B	61	47	39	132,4	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), rostbraun verwittert	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-110597	FNr. 4474	Röstoffbett 9	1 Pl. 749	Lehmprobe	63	47	31	65,7	×	feiner gebrannter Lehm, schwärzlichorange, Gesteinsbruchstücke (< 1 mm)	
MA-092849	FNr. 3994	Röstoffbett 9	26 Pl. 691	Schlackentyp A+B	50	38	32	66,2	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Cs, Qtz
MA-092850	FNr. 3589	Röstoffbett 9	26 Pl. 691	Schlackentyp A+B	108	81	60	741,1	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 4 mm), dunkelrötlichbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Cu, Cs, Mlc
MA-110592	FNr. 3656	Röstoffbett 9	27 Pl. 691	Lehmprobe	33	23	22	13	×	feiner Lehm, hellgraugelb, teilweise gebrannt	
MA-110596	FNr. 3946	Röstoffbett 9	27 Pl. 749	Lehmprobe	-	-	-	15,8	×	feiner Lehm, orangeweiß, wenige Gesteinsbruchstücke (< 3 mm), teilweise gebrannt	
MA-110594	FNr. 3819	Röstoffbett 9	27 Pl. 771	Lehmprobe	34	24	24	9,2	×	feiner Lehm, orangeweiß, wenige Gesteinsbruchstücke (< 3 mm), teilweise gebrannt	
MA-110595	FNr. 3847	Röstoffbett 9	27 Pl. 771	Lehmprobe	-	-	-	22,6	×	feiner Lehm, orangeweiß, wenige Gesteinsbruchstücke (< 3 mm), teilweise gebrannt	
MA-110593	FNr. 3675	Röstoffbett 9	28 Pl. 749	Lehmprobe	-	-	-	10,6	✓	feiner gebrannter Lehm, schwärzlichorange	
MA-110590	FNr. 3235	Röstoffbett 9	34 Pl. 691	Lehmprobe	60	26	22	26,4	×	feiner Lehm, hellgraugelb bis orangeweiß, teilweise gebrannt	
MA-092851	FNr. 3348	Röstoffbett 9	45 Pl. 691	Schlackentyp B	68	67	37	130,5	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 1 mm), messingfarbener Sulfideinschluss (ø 3 mm), dunkelrötlichbraun verwittert	
MA-092847	FNr. 2249	Röstoffbett 9	6 Pl. 465	Schlackentyp B	94	61	37	202,4	✓	heterogen, dunkelgrau, wulstige Verdickungen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), ockerbraun verwittert	Fa, Cpx, Qtz, Mag

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-092848	FNr. 3113	Röstoff 9	9 Pl. 465	Schlackentyp A	44	31	30	82,7	✓	homogen, schwärzlich-siena, Fließstrukturen, dunkelrötlich-braun verwittert	
MA-113465	FNr. 468	Ofen 1	Füllmaterial	Lehmprobe	35	25	9	5,9	✓	teilweise gebrannter Lehm, orange-braun, sekundäre Kupferminerale	
MA-101385	FNr. 1102	Ofen 1	Nordwand	Ofenstein	70	36	19	50,1	✓	feinkörniger Sandstein, dunkelviolett-grau, quarzreich, einseitig verschlackt (1 mm)	
MA-110601	FNr. 4960	Ofen 1	Ofenbrust	Lehmprobe	54	35	46	31,1	✗	feiner Lehm, gelb- bis rotgrau, Gesteinsbruchstücke (< 2 mm), Holzkohle, Knochenfragmente (< 2 mm)	
MA-110602	FNr. 1583	Ofen 1	Ofenverstoß	Lehmprobe	74	65	23	109,4	✗	feiner Lehm, hellbraungrau, teilweise gebrannt, Gesteinsbruchstücke (< 1 mm)	
MA-101386	FNr. 5283	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	42	46	37	75,9	✗	feinkörniger, homogener Sandstein, blaugrau, quarzreich, einseitig verschlackt (1 mm)	Qtz - Gls, Mag
MA-101387	FNr. 5302	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	34	43	42	38,1	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, dunkelviolettgrau, quarzreich, einseitig verschlackt (5-10 mm)	Qtz, Fsp - Gls, Mag
MA-101388	FNr. 5394	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	37	42	24	30,0	✓	feinkörniger Sandstein, hellolivbraun, einseitig verschlackt (4 mm), sekundäre Kupferminerale	
MA-101389	FNr. 5394	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	25	30	23	9,5	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, dunkelgrau, einseitig verschlackt (5-10 mm), sekundäre Kupferminerale	
MA-101390	FNr. 4941	Ofen 1	Ostwand	Ofenstein	21	25	34	19,3	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, dunkelviolettgrau, quarzreich, einseitig verschlackt (2 mm)	Qtz, Fsp, Cal? - Gls, Fa, Mag, Ccp
MA-101382	FNr. 5316	Ofen 1	Westwand	Ofenstein	47	64	31	95,7	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, blaugrau, quarzreich, einseitig verschlackt (12 mm), sekundäre Kupferminerale	Qtz, Fsp - Gls, Ccp, Cv, Mlc

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-101383	FNr. 3921	Ofen 1	Westwand	Ofenstein	17	34	56	30,6	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, dunkelviolettgrau, quarzreich, einseitig verschlackt (1 mm)	Qtz, Fsp, Ms - Gls, Mag
MA-101384	FNr. 4958	Ofen 1	Westwand	Ofenstein	38	45	33	62,3	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, blaugrau, quarzreich, einseitig verschlackt (2 mm)	Qtz, Fsp - Gls, Mag
MA-101397	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	Ofenstein	61	54	29	59,2	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, hellbraun, Quarzbruchstücke (< 3 mm), einseitig verschlackt (7 mm)	
MA-101398	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	Ofenstein	56	34	34	42,2	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, hellbraun, einseitig verschlackt (16 mm), sekundäre Kupferminerale	Qtz, Fsp - Gls, Mag, Cu, Mlc
MA-101399	FNr. 5476	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	Ofenstein	53	35	38	51,5	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, dunkelviolettbraun, einseitig verschlackt (4 mm), sekundäre Kupferminerale	Qtz, Fsp, Ms - Gls, Mag, Cu, Cs
MA-101393	FNr. 5509	Ofen 2	Nordwand	Ofenstein	64	78	38	167,8	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, hellbraun, quarzreich, einseitig verschlackt (8 mm)	Qtz, Fsp, Cal? - Gls, Qtz, Mag, Hem, Mfr
MA-101394	FNr. 5511	Ofen 2	Nordwand	Ofenlehm	69	68	49	182,9	✓	heterogen, hellrötlichbraun, einseitig verschlackt (10 mm)	Qtz, Ton - Gls, Mag
MA-101395	FNr. 5555	Ofen 2	Nordwand	Ofenstein	76	79	23	143,7	✓	Quarzporphyr, hellolivbraun, einseitig verschlackt (1 mm)	Qtz, Fsp, Gls, Fa, Mag, Wus, Cu, Cpr, Mlc
MA-113466	FNr. 5484	Ofen 2	Nordwand	Lehmprobe	-	-	-	6,7	×	feiner Lehm, hellbraun, sekundäre Kupferminerale, Holzkohlestücke	
MA-101396	FNr. 5451	Ofen 2	Ostwand	Schlackenhaut	25	28	14	14,1	✓	heterogen, sekundäre Kupferminerale, teilweise rostbraun verwittert	
MA-110603	FNr. 5426	Ofen 2	Ostwand	Lehmprobe	58	26	30	34,7	×	feiner Lehm, hellbraungrau, teilweise gebrannt, Gesteinsbruchstücke (< 1 mm)	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-110604	FNr. 5429	Ofen 2	Ostwand	Lehmprobe	66	56	14	54,8	×	feiner gebrannter Lehm, hellrötlich-orange, Gesteinsbruchstücke (< 2 mm)	
MA-110605	FNr. 5587	Ofen 2	Ostwand	Lehmprobe	71	50	30	91,5	×	feiner gebrannter Lehm, hellrötlich-orange, Gesteinsbruchstücke (< 2 mm)	
MA-101391	FNr. 5551	Ofen 2	Westwand	Ofenstein	53	59	27	59,2	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, dunkelviolettgrau, einseitig verschlackt (10 mm)	
MA-101392	FNr. 5551	Ofen 2	Westwand	Ofenstein	41	50	28	45,5	✓	feinkörniger Sandstein, hellolivbraun, einseitig verschlackt (1 mm)	
MA-092854	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	Schlackentyp C	40	34	6	14,8	✓	homogen, Fließstrukturen, rostbraun verwittert	Fa, GlS, Mag, Cu
MA-092852	FNr. 1709	Vorplatz Ofen 1/2	4 Pl. 68	Schlackentyp B	59	45	21	64,6	✓	heterogen, olivschwarz, im Handstück rotschwarz, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 2 mm)	Fa, GlS, Mag, Hem, Mlc
MA-092853	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	Schlackentyp A+B	104	70	49	387,5	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 1 mm), dunkelorange-braun verwittert	Fa, Cpx, Cs, Mag, Qtz
MA-113464	FNr. 313	Vorplatz Ofen 1/2	SE Ofen 2	Schlackentyp C	38	24	6	11,5	✓	homogen, dunkelgrau, im Handstück rotschwarz, Fließstrukturen	
MA-113463	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	Schlackentyp C	41	20	7	14,9	✓	homogen, dunkelgrau, im Handstück rotschwarz, Fließstrukturen	Fa, GlS, Mag, Cs
MA-113468	FNr. 706	Ofen 3	Nordwand, abgebr.	Ofenlehm	68	48	54	154,1	✓	heterogen, hellbraunorange, Quarzstücke (< 2 mm), einseitig mehrfach verschlackt (27 mm)	Qtz, Ton - GlS, Mag, Cu - Ton - GlS
MA-113476	FNr. 707/2	Ofen 3	Nordwand	Schlackenhaut	102	77	18	102	✓	heterogen, dunkelgrau, im Handstück olivschwarz, anhaftende Lehmstücke	
MA-113469	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	Schlackenhaut	64	60	14	57,8	✓	heterogen, schwarz, im Handstück rotschwarz, anhaftende Lehmstücke	GlS, Qtz, Ton, Mag, Cu

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Mag-netik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-113471	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	Ofenstein	78	74	65	279,5	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, dunkelviolettblau, einseitig mehrfach verschlackt (30 mm), sekundäre Kupferminerale	Qtz, Fsp - Gls, Cpx, Mag, Cu - Ton - Gls, Cpx, Mag
MA-101400	FNr. 4876	Ofen 4	Westwand	Ofenlehm	73	65	43	126,7	✓	Stücke von dunkelviolettblauen Sandstein, Quarzbruchstücke (2 mm), einseitig verschlackt (6 mm)	Ton, Qtz - Gls, Mag
MA-101401	FNr. 4902	Ofen 4	Westwand	Ofenstein	38	33	19	18,2	✓	feinkörniger Quarzit, grauweiß, einseitig verschlackt (2 mm)	Qtz, Cal? - Gls, Mag
MA-101402	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	Ofenstein	30	23	14	6,9	✓	feinkörniger Sandstein, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 3 mm), einseitig verschlackt (1 mm)	Qtz, Fs, Ms - Fa, Gls, Ccp, Cv, Bn, Mlc, Mag
MA-110600	FNr. 4858	Ofen 4	Westwand	Lehmprobe	52	52	53	75,7	✗	feiner gebrannter Lehm, hellrötlich-orange	
MA-101418	FNr. 5246	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	Schlackenhaut	45	30	14	17,9	✓	heterogen, schwarz, im Handstück rötlich, sekundäre Kupferminerale	
MA-101419	FNr. 5267	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	Schlackenhaut	58	32	20	28,7	✓	heterogen, schwarz, im Handstück schwärzlicholivbraun, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 2 mm)	Gls, Mag, Wus, Cu, Del
MA-101420	FNr. 5262	Ofen 5	ältere Phase, Ostwand	Schlackenhaut	26	25	13	7,4	✓	heterogen, schwärzlichgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 5 mm)	
MA-101417	FNr. 5264	Ofen 5	ältere Phase, Westwand	Schlackenhaut	35	27	12	8,5	✓	heterogen, schwarz, im Handstück rötlich, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 2 mm)	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-101409	FNr. 5182	Ofen 5	Nordwand	Ofenlehm	81	60	32	137,8	✓	heterogen, hellbraunorange, Quarzstücke (< 2 mm), einseitig verschlackt (15 mm)	Qtz, Ms, Ton - Gls, Mag, Cu, Cs
MA-101410	FNr. 5198	Ofen 5	Nordwand	Schlackenhaut	46	45	28	71,2	✓	heterogen, braunschwarz, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 1 mm)	
MA-101411	FNr. 5191	Ofen 5	Nordwand	Schlackenhaut	39	32	26	40,7	✓	heterogen, dunkelgrau, im Handstück rotschwarz, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 1 mm)	
MA-101412	FNr. 5241	Ofen 5	Nordwand, 2. Schicht	Ofenstein	32	26	31	20,2	✓	feinkörniger Sandstein, blaugrau, einseitig verschlackt (6-10 mm), sekundäre Kupferminerale	Qtz, Fsp, Ms - Gls, Mag, Cu, Mlc
MA-101413	FNr. 5120	Ofen 5	Ostwand	Schlackenhaut	73	39	21	37,4	✓	heterogen, dunkelgrau, im Handstück rotschwarz, sekundäre Kupferminerale, Gesteinsbruchstücke (< 5 mm)	Gls, Mag, Cu, Mlc
MA-101414	FNr. 4483	Ofen 5	Ostwand	Ofenlehm	38	29	32	27,7	✓	heterogen, hellbraunorange, Quarzstücke (< 2 mm), einseitig verschlackt (8 mm)	Qtz, Ms, Ton - Gls, Mag
MA-101415	FNr. 4489	Ofen 5	Ostwand	Ofenstein	55	42	34	45,1	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, blau- bis violettgrau, einseitig verschlackt (5 mm), sekundäre Kupferminerale	Qtz, Fs - Gls, Mag
MA-101416	FNr. 5150	Ofen 5	Ostwand, 2. Schicht	Schlackenhaut	38	34	7	10,9	✓	heterogen, schwarz, im Handstück rotschwarz	Gls, Mag, Qtz
MA-101403	FNr. 5127	Ofen 5	Westwand	Ofenstein	40	39	27	26,7	✓	feinkörniger Sandstein, blaugrau, einseitig verschlackt (7 mm)	Qtz, Ms, Fsp - Gls, Mag, Mfr, Cu, Mlc, Del
MA-101404	FNr. 5144	Ofen 5	Westwand	Ofenstein	47	16	19	10,8	✓	feinkörniger, homogener Sandstein, dunkelviolettgrau, quarzreich, einseitig verschlackt (5 mm)	Qtz, Fsp, Ms - Gls, Mag, Cu

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-101405	FNr. 5149	Ofen 5	Westwand	Ofenstein	37	26	18	16,9	✓	feinkörniger Sandstein, dunkelviolettgrau, quarzreich, einseitig verschlackt (5 mm), sekundäre Kupferminerale	
MA-101406	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	Schlackenhaut	59	36	14	52,5	✓	heterogen, braunschwarz, im Handstück rötlich, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 2 mm)	Gls, Mag, Wus, Qtz, Cu, Cpr, Mlc
MA-101407	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	Schlackenhaut	71	54	31	95,3	✓	heterogen, braunschwarz, im Handstück rötlich, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 2 mm)	Gls, Mag, Wus, Cu, Cpr, Del, Mlc
MA-101408	FNr. 5242	Ofen 5	Westwand, 2. Schicht	Ofenstein	40	28	28	24,5	✓	feinkörniger Sandstein, blaugrau, einseitig verschlackt (5 mm), sekundäre Kupferminerale	Qtz, Fs, Ms - Gls, Mag, Cu
MA-092855	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	Schlackentyp A	102	65	12	180,3	✓	homogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 2 mm), dunkelolivbraun verwittert	
MA-092856	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	Schlackentyp B	62	49	40	153,4	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 2 mm), messingfarbener Sulfidein-schluss, graubraun verwittert	Fa, Cpx, Cs, Qtz, Py
MA-092857	FNr. 1901	Vorplatz Ofen 4/5	4 Pl. 358	Schlackentyp A+B	82	66	47	307,3	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen Quarzbruchstücke (< 3 mm), rostbraun verwittert	
MA-110599	FNr. 4845	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 370	Lehmprobe	46	24	12	9,2	×	feiner Lehm, hellbraungrau, teilweise gebrannt, Gesteinsbruchstücke (< 1 mm)	
MA-092858	FNr. 3647	Vorplatz Ofen 7/8	25 Pl. 760	Schlackentyp A+B	57	42	60	201,0	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), schwärzlichstena verwittert	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-092859	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	Schlackentyp A+B	48	39	46	118,6	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), schwärzlichockerbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Mfr, Cs
MA-110591	FNr. 3633	Ofen 10	49 Pl. 758	Lehmprobe	56	49	18	41,3	✓	feiner Lehm, grüngrau, Gesteinsbruchstücke (< 2 mm)	
MA-092861	FNr. 3397	Vorplatz Ofen 9/10	15 Pl. 652	Schlackentyp B	35	32	24	46,3	✓	heterogen, rötlichgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), schwärzlichockerbraun verwittert	
MA-101422	FNr. 3397	Vorplatz Ofen 9/10	15 Pl. 652	Schlackentyp B	34	31	20	21,4	✓	heterogen, dunkelgrau, im Handstück rötlichgrau, Quarzbruchstücke (< 1 mm), teilweise rostbraun verwittert	
MA-101423	FNr. 3397	Vorplatz Ofen 9/10	15 Pl. 652	Schlackentyp B	35	28	21	20,4	✓	heterogen, dunkelgrau, rostbraun verwittert	
MA-092860	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	Schlackentyp B	34	28	49	46,5	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 3 mm), bläulichgrauer Sulfideinchluss (ø 2 mm), rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Ccp, Cv, Qtz, Mlc, Cpr
MA-101421	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	Schlackentyp B	61	51	24	58,9	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 5 mm), dunkelbraunocker verwittert	
MA-092862	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp A	72	54	21	151,5	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), teilweise rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Gls, Qtz, Ccp, Cv, Mag, Py
MA-092863	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp B	73	70	48	269,5	✓	heterogen, grau, Quarzbruchstücke (< 3 mm), rostbraun verwittert	
MA-101424	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp B	62	43	37	95,6	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 10 mm), rostbraun verwittert	
MA-101425	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp A+B	54	51	39	94,3	✓	heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 5 mm), rostbraun verwittert	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-113467	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp C	53	40	8	27,5	✓	homogen, dunkelgrau, im Handstück rotschwarz, Fließstrukturen, teilweise rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Gls, Mag, Cs
MA-113472	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp A	45	28	23	36,9	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, schwärzlichgraubraun verwittert	Fa, Cpx, Gls, Qtz, Mag, Cu
MA-113473	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp A+B	65	41	28	118,2	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil he- terogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), schwärz- lichgraubraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Cs
MA-113474	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp B	42	37	20	31,3	✓	heterogen, olivgrau, wulstartige Ver- dickungen, Quarzbruchstücke (< 2 mm), rotschwarz verwittert	
MA-113475	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	Schlackentyp B	48	29	27	43,8	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruch- stücke (< 3 mm), teilweise rostbraun verwittert	
MA-113470	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	Schlackentyp B	34	23	18	15,4	✓	heterogen, dunkelgrau, rostbraun ver- wittert	Fa, Cpx, Gls, Mag, Cs, Qtz
MA-091446	FNr. 595	Halde 1	5	Schlackentyp A+B	79	59	31	179,1	✓	heterogen, schwärzlichgrau, sekundäre Kupferminerale, bläulichgrauer Sulfid- einschluss (ø 3 mm), rostbraun ver- wittert	
MA-091447	FNr. 595	Halde 1	5	Schlackentyp A	57	34	12	49,9	✓	homogen, olivschwarz bis schwarz, Fließstrukturen	Fa, Gls, Mag, Cs, Ccp, Cv
MA-091448	FNr. 694	Halde 1	5	Schlackentyp B	68	57	32	101,4	✓	heterogen, dunkel- bis grüngrau, Quarz- bruchstücke (< 5 mm), bläulichgraue Sulfideinschlüsse (ø 3 mm), Holzkohle- abdrücke, teilweise rostbraun verwittert	
MA-091449	FNr. 1228	Halde 1	5	Schlackentyp B	56	39	28	47,9	✓	heterogen, dunkelgrau, Handstück graubraun, Fließstrukturen, Quarz- bruchstücke (< 3 mm)	Fa, Cpx, Qtz, Mag, Cu, Cv, Cs, Mlc

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091450	FNr. 1332	Halde 1	5	Schlackentyp A+B	63	50	46	214,2	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, schwärzlichgrau, dunkelbraun verwittert	Fa, Gl, Mag, Mfr, Cs, Cv
MA-091451	FNr. 1332	Halde 1	5	Schlackentyp B	54	47	8	28,8	✓	heterogen, braun- bis rotschwarz, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm)	
MA-091452	FNr. 558	Halde 1	6	Schlackentyp C	45	16	7	20,1	✓	homogen, schwarz, im Handstück rotschwarz, Fließstrukturen	Fa, Gl, Cpx, Mag, Ccp
MA-091453	FNr. 899	Halde 1	6	Schlackentyp B	1780	95	47	659,6	✓	heterogen, schwarzgrau, Fließstrukturen, sekundäre Kupferminerale in einigen Poren, Quarzbruchstücke (< 3 mm), braunschwarz bis grau braun verwittert	
MA-091454	FNr. 634	Halde 1	6	Schlackentyp B	74	52	17	48,6	✓	heterogen, schwarzgrau, Quarzbruchstücke (< 3 mm)	
MA-091455	FNr. 650	Halde 1	6	Schlackentyp A+B	31	23	48	79,0	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Handstück grau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 4 mm)	Fa, Cpx, Mag, Qtz, Cs
MA-091456	FNr. 696	Halde 1	6	Schlackentyp A	75	45	23	168,9	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, dunkelbraun verwittert	
MA-091457	FNr. 1152	Halde 1	6	Schlackentyp B	41	37	25	54,8	✓	heterogen, schwärzlichgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 2 mm), rostbraun verwittert	Fa, Gl, Qtz, Py, Cs, Cu, Cv
MA-091458	FNr. 1152	Halde 1	6	Schlackentyp C	49	33	8	20,4	✓	homogen, braunschwarz, im Handstück rotschwarz, Fließstrukturen	
MA-091459	FNr. 695	Halde 1	7	Schlackentyp A+B	98	68	35	203,9	✓	homogen, unterer Teil stark porig, dunkelgrau, Fließstrukturen, grau braun verwittert	
MA-091460	FNr. 1054	Halde 1	7	Schlackentyp B	59	47	28	78,5	✓	heterogen, schwärzlichgrau, im Handstück grünlichgrau, Fließstrukturen	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091461	FNr. 1029	Halde 1	7	Schlackentyp B	40	29	33	39,1	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 3 mm), rotschwarz verwittert	Fa, Cpx, GlS, Qtz, Mag, Ccp, Cs, Cu, Mlc
MA-091462	FNr. 1179	Halde 1	7	Schlackentyp A	64	45	32	110,4	✓	homogen, braunschwarz, dunkelbraun verwittert	Cpx, Fa, GlS, Mag, Cs, Cu, Mlc
MA-091463	FNr. 1179	Halde 1	7	Schlackentyp B	47	38	28	38,7	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 1 mm), dunkel- bis rostbraun verwittert	
MA-091464	FNr. 538	Halde 1	7	Schlackentyp A+B	73	61	49	246,9	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, schwärzlichgrau, sekundäre Kupferminerale, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), dunkelolivbraun verwittert	
MA-091465	FNr. 825	Halde 1	7	Schlackentyp A+B	62	58	39	172,1	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm) im heterogenen Teil, dunkel- bis rostbraun verwittert	
MA-091466	FNr. 974	Halde 1	7	Schlackentyp A+B	71	58	32	170,2	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm)	
MA-091499	FNr. 2078	Halde 2	2	Schlackentyp A+B	72	32	34	89,7	✓	heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 2 mm), bläulichgrauer Sulfideinschluss (ø 3 mm)	Fa, GlS, Cs, Cv - Fa, Cpx, Mag, Cs, Mlc
MA-091500	FNr. 2078	Halde 2	2	Schlackentyp A+B	88	63	38	277,2	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 5 mm) im heterogenen Teil, teilweise rostbraun verwittert	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091501	FNr. 2078	Halde 2	2	Schlackentyp B	48	44	43	72,1	✓	heterogen, braunschwarz, wulstartige Verdickungen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), teilweise rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Cs, Cu
MA-092823	FNr. 2615	Halde 2	2	Schlackentyp A+B	72	69	42	243,5	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 2 mm) im heterogenen Teil, rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Gls, Qtz, Ccp, Cs, Cu
MA-091502	FNr. 2095	Halde 2	3	Schlackentyp A+B	56	38	57	158,0	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm) im heterogenen Teil, rostbraun verwittert	
MA-091503	FNr. 2095	Halde 2	3	Schlackentyp B	53	42	32	69,4	✓	heterogen, dunkelgrau, im Handstück braunschwarz, Quarzbruchstücke (< 1 mm)	Fa, Gls, Mag, Qtz, Ccp, Bn, Cu, Cs
MA-092816	FNr. 2614	Halde 2	3	Schlackentyp A+B	58	35	33	95,4	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 2 mm), bläulich-grauer Sulfideinschluss (ø 3 mm), grau-braun verwittert	Fa, Gls, Mag, - Fa, Cpx, Mag, Cs, Mlc
MA-092817	FNr. 2614	Halde 2	3	Schlackentyp B	58	52	31	102,6	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 3 mm), dunkelockerbraun verwittert	
MA-092818	FNr. 2856	Halde 2	3	Schlackentyp A+B	73	49	31	128,7	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, im Handstück rötlich-schwarz, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 5 mm)	Cpx, Fa, Mag, Cu, Qtz, Ccp
MA-092824	FNr. 2721	Halde 2	4	Schlackentyp B	48	29	31	65,0	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 2 mm), schwärzlichbraun verwittert	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091506	FNr. 2295	Halde 2	6	Schlackentyp A+B	46	45	43	90,8	✓	heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 3 mm), bläulichgrauer Sulfideinschluss (ø 3 mm), graubraun verwittert	
MA-091507	FNr. 2320	Halde 2	6	Schlackentyp A+B	57	44	53	119,8	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), graubraun verwittert	
MA-092822	FNr. 2867	Halde 2	6	Schlackentyp B	95	77	38	197,6	✓	heterogen, grau, Quarzbruchstücke (< 3 mm), rostbraun verwittert	
MA-091508	FNr. 2265	Halde 2	7	Schlackentyp B	52	35	37	67,3	✓	heterogen, grau, Quarzbruchstücke (< 5 mm), rostbraun verwittert	Fa, Gls, Cs, Qtz, Py, Ccp
MA-091509	FNr. 2342	Halde 2	7	Schlackentyp A	63	30	23	82,1	✓	homogen, grau, Quarzbruchstücke (< 2 mm), braun verwittert	
MA-092821	FNr. 2976	Halde 2	7	Schlackentyp B	48	39	30	114,1	✓	heterogen, braunschwarz, Quarzbruchstücke (< 1 mm), rostbraun verwittert	Mag, Mfr, Fa, Gls, Cs, Cu, Cv
MA-091510	FNr. 2287	Halde 2	11	Schlackentyp B	72	42	26	69,2	✓	heterogen, dunkelgrau, im Handstück oliv- bis braunschwarz, Quarzbruchstücke (< 5 mm)	
MA-091511	FNr. 2267	Halde 2	17	Schlackentyp A+B	50	39	40	93,8	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), messingfarbener Sulfideinschluss (ø 3 mm), Holzkohleabdrücke, olivbraun verwittert	Fa, Cpx, Cs, Ccp, Cv, Bn, Mag, Qtz
MA-091512	FNr. 2350	Halde 2	19	Schlackentyp A+B	58	35	55	178,3	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 5 mm), bläulichgrauer Sulfideinschluss (ø 3 mm), schwärzlich-graubraun verwittert	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091513	FNr. 1936	Halde 2	22	Schlackentyp C	38	33	10	25,5	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, rostbraun verwittert	Fa, Gls, Mag, Cs
MA-113459	FNr. 2090	Halde 2	5 Pl. 410	Bronzenadel-fragmente	-	-	-	0,1	×	vollständig verwittertes Fragment des Nadelschafts	Mlc, Az,
MA-092819	FNr. 2722	Halde 2	21 Pl. 569	Schlackentyp A+B	46	44	43	141,9	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, grau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 2 mm), dunkelolivbraun verwittert	Fa, Cpx, Gls, Mag, Qtz, Ccp, Bn, Cv, Cs
MA-092826	FNr. 3178	Halde 2	21 Pl. 569	Schlackentyp B	51	40	36	84,6	✓	heterogen, grau, Quarzbruchstücke (< 5 mm), rostbraun verwittert	
MA-092820	FNr. 3310	Halde 2	21a Pl. 569	Schlackentyp A+B	67	52	39	131,7	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 2 mm), rostbraun verwittert	
MA-092825	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	Schlackentyp A+B	88	64	54	285,8	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), schwärzlich braun verwittert	Fa, Cpx, Gls, Mag, Cs, Mlc
MA-091487	FNr. 3666	Halde 3	4	Schlackentyp A+B	65	48	31	126,3	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 5 mm), rostbraun verwittert	Fa, Gls, Mag, Ccp, Cu, Mlc
MA-091488	FNr. 3666	Halde 3	4	Schlackentyp B	52	38	31	51,6	✓	heterogen, dunkelgrau, rotschwarz im Handstück, wulstartige Verdickungen, Quarzbruchstücke (< 2 mm), rostbraun verwittert	
MA-091489	FNr. 3225	Halde 3	5	Schlackentyp B	37	29	14	12,3	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 4 mm), bläulichgrauer Sulfidein-schluss (ø 3 mm), schwärzlichgrau-braun verwittert	Fa, Gls, Mlc, Cup, Qtz, Mag, Mfr, Cs

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091490	FNr. 4917	Halde 3	5	Schlackentyp A+B	57	43	41	108,4	✓	heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 4 mm), bläulichgraue Sulfideinschlüsse (ø 3 mm), rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Cs, Mlc
MA-091491	FNr. 3659	Halde 3	10	Schlackentyp B	70	45	33	79,2	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 1 mm), Holzkohlabdrücke, graubraun verwittert	
MA-091492	FNr. 4178	Halde 3	22	Schlackentyp B	53	38	25	29,6	✓	heterogen, dunkelgrau, rostbraun verwittert	
MA-091493	FNr. 5053	Halde 3	22	Schlackentyp A+B	70	53	48	207,4	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, braunschwarz, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), Holzkohlabdrücke, dunkelbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Cs
MA-091494	FNr. 4500	Halde 3	23	Schlackentyp A+B	78	54	51	216,0	✓	heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Mfr, Cs, Cu
MA-091495	FNr. 4529	Halde 3	23	Schlackentyp A	73	61	25	87,5	✓	homogen, dunkelgrau, wulstartige Form, rostbraun verwittert	
MA-091496	FNr. 4543	Halde 3	24	Schlackentyp B	55	41	27	62,3	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 6 mm), messingfarbene Metalleinschlüsse (ø 1 mm), rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Cs, Cv, Qtz, Mlc
MA-091497	FNr. 4252	Halde 3	25	Schlackentyp A+B	64	45	46	192,8	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, braunschwarz, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm) im heterogenen Teil	Fa, Gl, Qtz, Ccp, Mag, Cs
MA-113462	FNr. 4469	Halde 3	25a Pl. 884	Schlackentyp B	31	22	12	11,2	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, rostbraun verwittert	
MA-091470	FNr. 3042	Halde 3	2	Schlackentyp B	88	76	43	223,2	✓	heterogen, olivschwarz, Quarzbruchstücke (< 10 mm)	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091471	FNr. 3042	Halde 3	2	Schlackentyp C	59	43	4	18,3	✓	homogen, schwarz, im Handstück rotschwarz, Fließstrukturen	Fa, Gls, Cs, Mag, Mlc
MA-091472	FNr. 2994	Halde 3	2	Erz	114	61	60	434,7	×	Chalkopyrit, sekundäre Kupferminerale, Quarz/Quarzit	Ccp, Cc, Qtz
MA-091473	FNr. 4558	Halde 3	2	Schlackentyp A	76	62	9	90,5	✓	homogen, schwarz, Fließstrukturen, verwittert	Fa, Cpx, Mag, Ccp, Bn, Cs
MA-091474	FNr. 4104	Halde 3	2	Schlackentyp A+B	78	39	40	143,2	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm) im heterogenen Teil, rostbraun verwittert	
MA-091475	FNr. 3066	Halde 3	2a	Schlackentyp B	52	43	32	84,4	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 5 mm), graubraun verwittert	Fa, Cpx, Gls, Ccp, Cv, Bn, Mag
MA-091476	FNr. 3078	Halde 3	2b	Schlackentyp A+B	66	44	41	94,9	✓	heterogen, unterer Teil stark porig, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 3 mm), graubraun verwittert	
MA-091477	FNr. 4708	Halde 3	2c	Schlackentyp A+B	49	38	43	118,0	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 1 mm), bläulichgrauer Sulfidein-schluss (ø 3 mm), rostbraun verwittert	Fa, Cpx, Gls, Mag, Cs, Qtz
MA-091478	FNr. 3037	Halde 3	9	Schlackentyp B	41	46	31	88,8	✓	heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 8 mm), dunkelolivbraun verwittert	
MA-091479	FNr. 4433	Halde 3	9	Schlackentyp A	48	31	14	29,3	✓	homogen, dunkelgrau, im Handstück rotschwarz, sekundäre Kupferminerale	Fa, Cpx, Gls, Mag, Mfr, Cu, Ccp
MA-091486	FNr. 3190	Halde 3	13	Schlackentyp A+B	66	39	37	133,6	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 2 mm), Holzkoh-leabdrücke, rostbraun verwittert	

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091481	FNr. 4145	Halde 3	17	Schlackentyp A+B	61	43	45	175,0	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Quarzbruchstücke (< 1 mm), bläulichgrauer Sulfideinschluss (ø 1 mm)	Fa, Cpx, Qtz, Ccp, Cs, Mag
MA-091482	FNr. 4780	Halde 3	17	Schlackentyp B	102	60	47	352,4	✓	heterogen, dunkelgrau, wulstartige Verdickungen, Quarzbruchstücke (< 5 mm), Holzkohleabdrücke, graubraun verwittert	
MA-091483	FNr. 3625	Halde 3	18	Schlackentyp A+B	65	45	38	124,9	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, bläulichgraue Sulfideinschlüsse (ø 2 mm), rostbraun verwittert	
MA-091484	FNr. 4153	Halde 3	18	Schlackentyp B	44	41	39	136,2	✓	heterogen, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 2 mm), bläulichgrauer Sulfideinschluss (ø 3 mm), Holzkohleabdrücke, dunkelockerbraun verwittert	
MA-091485	FNr. 4153	Halde 3	18	Schlackentyp A	49	43	13	36,8	✓	homogen, dunkelgrau, Handstück rotschwarz, wulstartige Form, Quarzbruchstücke (< 1 mm)	Fa, GlS, Qtz, Mag, Mfr
MA-091480	FNr. 3646	Halde 3	11a	Schlackentyp A	46	40	15	43,7	✓	homogen, braunschwarz, teilweise rostbraun verwittert	
MA-113461	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Metallfragment	24	12	4	4,1	✓	unförmiges, an der Oberfläche rotschwarz verwittertes Metallstück	Cu, Bn, Cv
MA-092827	FNr. 3873	Spitzgraben	14 Pl. 692	Schlackentyp A+B	61	31	27	71,7	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm), dunkelgraubraun verwittert	Cpx, Fa, Mag, Cs, Qtz, Py, Ccp
MA-091440	FNr. 518	Allgemein	1, Halde 1	Schlackentyp A+B	67	50	54	185,7	✓	heterogen, unterer Teil stark porig, dunkelgrau, sekundäre Kupferminerale, rostbraun verwittert	
MA-091441	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	Schlackentyp C	34	29	9	19,1	✓	homogen, dunkelgrau, im Handstück rotschwarz, Fließstrukturen	Fa, Mag, Cu, Cv, Ccp, GlS

Probenr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Probenart	Länge (mm)	Breite (mm)	Dicke (mm)	Gewicht (g)	Magnetik	Beschreibung	Phasenbestand
MA-091442	FNr. 1069	Allgemein	1, Halde 1	Schlackentyp B	55	32	23	32,2	✓	heterogen, olivschwarz, Quarzbruchstücke (< 1 mm), braunschwarz verwittert	Fa, Mag, Cu, Del, Qtz, GlS
MA-091498	FNr. 2272	Allgemein	1, Halde 2	Schlackentyp A+B	44	39	24	46,6	✓	heterogen, dunkelgrau, im Handstück graugrün, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 3 mm)	
MA-091467	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Erz	59	49	23	115,5	×	Pyrit, Hämatit, Quarz	Mag, Hem, Brt, Qtz
MA-091468	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Schlackentyp B	57	38	26	52,8	✓	heterogen, dunkelgrau, wulstartige Verdickungen, Holzkohleabdrücke, braunschwarz verwittert	
MA-091469	FNr. 3029	Allgemein	1, Halde 3	Schlackentyp B	55	49	35	81,6	✓	heterogen, grau bis dunkelgrau, im Handstück schwärzlichgrau, braun, Quarzbruchstücke (< 8 mm)	Fa, GlS, Cu, Qtz, Ccp, Bn, Cv
MA-091443	FNr. 699	Allgemein	2, Halde 1	Ofenlehm	79	56	24	116,8	✓	heterogen, grau bis weiß gebrannt, nahezu vollständig verschlackt (1 mm)	Fa, Qtz, GlS
MA-091444	FNr. 699	Allgemein	2, Halde 1	Schlackentyp A+B	38	35	42	65,9	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, braunschwarz, Quarzbruchstücke (< 3 mm) im heterogenen Teil, dunkelbraun verwittert	Fa, Cpx, Cs, Mag, Qtz
MA-091445	FNr. 1153	Allgemein	2, Halde 1	Schlackentyp A	67	57	12	73,0	✓	homogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 1 mm), dunkelbraun verwittert	
MA-091504	FNr. 2118	Allgemein	4, Halde 2	Schlackentyp A+B	62	40	26	87,1	✓	oberer Teil homogen, unterer Teil heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, sekundäre Kupferminerale, Quarzbruchstücke (< 5 mm), dunkelolivbraun verwittert	Fa, Cpx, Mag, Cs, Mlc
MA-091505	FNr. 2118	Allgemein	4, Halde 2	Schlackentyp A+B	47	39	37	99,9	✓	heterogen, dunkelgrau, Fließstrukturen, Quarzbruchstücke (< 5 mm), bläulich-grauer Sulfideinschluss (ø 2 mm), dunkelolivbraun verwittert	
MA-113460	-	Kupfergraben	Lesefund	Erz	71	45	44	196,9	×	Quarz mit einzelnen Pyritkristallen	

*Tab. A.3: Chemische Pauschalanalysen mittels WD-RFA von verschiedenen Schlackentypen und Ofenwandverschlackungen vom Kupferschmelzplatz S1. Haupt- und Nebenkomponenten in Gewichtsprozent, Spuren in mg/kg (n.n. = nicht nachgewiesen, die mit \* gekennzeichneten Proben wurden am Institut für Geowissenschaften der Universität Tübingen gemessen, alle anderen am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg).*

*Tab. A.3. Bulk composition of slags and slag lining samples from the Copper Smelting Site S1. Analysis was performed using WD-XRF. Major and minor elements are given in weight percent, trace elements are given in mg/kg (n.n. = not detected, samples signed with \* were measured in Tübingen, the rest was measured in Heidelberg).*



	MA-092828* FNr. 258 Röstoffbett 1 Schicht RB1-1	MA-092828 FNr. 258 Röstoffbett 1 Schicht RB1-1	MA-092829* FNr. 32 Röstoffbett 1 Schicht RB1-1	MA-092830* FNr. 981 Röstoffbett 1 Schicht RB1-3	MA-101433 FNr. 957 Röstoffbett 1 Schicht RB1-4	MA-101434 FNr. 973 Röstoffbett 2 Schicht 2 Pl. 157	MA-092831* FNr. 1219 Röstoffbett 2 Schicht 21 Pl. 210	MA-092832* FNr. 1221 Röstoffbett 2 Schicht 29 Pl. 211
SiO <sub>2</sub>	31,60	32,62	34,36	44,58	35,77	36,20	34,03	35,06
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,12	0,15	0,17	0,19	0,18	0,19	0,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,24	3,40	3,66	3,40	4,58	4,27	3,94	4,44
FeO	47,99	46,48	41,67	36,78	41,75	45,85	44,67	41,94
MgO	2,55	3,03	2,90	1,50	1,99	2,89	2,16	2,27
MnO	0,60	0,66	0,57	0,52	0,47	0,48	0,65	0,57
CaO	11,19	10,97	12,90	10,56	11,98	7,19	12,29	12,88
Na <sub>2</sub> O	n.n.	0,072	0,038	0,016	0,199	0,050	0,015	0,0003
K <sub>2</sub> O	0,64	0,56	1,56	1,32	1,31	0,77	0,58	0,94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,46	0,50	0,49	0,52	0,39	0,57	0,54	0,44
S	0,12	0,21	0,21	0,05	0,24	0,26	0,10	0,09
Cu	0,71	0,67	0,65	0,27	0,40	0,56	0,35	0,49
Co	244	500	102	197	417	524	195	160
Zn	18	237	n.n.	111	185	110	124	n.n.
Ni	152	207	124	108	132	63	129	173
Sb	406	606	131	n.n.	245	105	318	359
Ba	148	273	315	290	422	367	318	297
As	63	375	n.n.	n.n.	167	159	220	99
V	n.n.	34	17	n.n.	36	48	n.n.	23
Y	34	52	48	197	91	91	195	51
Sr	46	61	71	111	89	89	124	71
Rb	27	14	49	108	71	35	129	41
Zr	25	26	42	n.n.	37	35	318	51
Cr	n.n.	14	10	290	34	15	318	n.n.
Cl	n.n.	86	n.n.	n.n.	209	82	220	n.n.
Pb	n.n.	72	n.n.	n.n.	91	80	n.n.	n.n.
Nb	n.n.	16	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
W	n.n.	142	n.n.	n.n.	249	392	n.n.	n.n.
Bi	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	99,33	99,57	99,25	99,83	99,53	99,48	99,78	99,43

		MA-092833* FNR. 1335 Unterbau Röstoffbett 3 Schicht 42	MA-092835* FNR. 1144 Röstoffbett 3 Schicht 48	MA-101431 FNR. 1593 Röstoffbett 4 Schicht 11 Pl. 136	MA-092836* FNR. 4162 Röstoffbett 4 Schicht 16 (=9?) Pl. 291	MA-101432 FNR. 4162 Röstoffbett 4 Schicht 16 (=9?) Pl. 291	MA-092838* FNR. 641 Röstoffbett 5 Schicht 2 Pl. 89	MA-092839* FNR. 683 Röstoffbett 5 Schicht 8 Pl. 115	MA-092840* FNR. 1645 Röstoffbett 7 Schicht 44
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	34,16	29,37	32,23	32,15	52,31	34,21	38,17	27,05
TiO <sub>2</sub>		0,15	0,17	0,30	0,19	0,31	0,28	0,26	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3,36	4,30	3,09	3,96	10,69	3,99	5,04	3,06
FeO		46,99	51,98	44,71	46,91	24,53	44,91	38,64	54,60
MgO		1,80	2,45	4,58	2,73	2,26	2,90	1,76	1,43
MnO		0,53	0,60	0,66	0,52	0,25	0,87	0,93	0,48
CaO		9,74	8,75	11,52	10,63	4,87	10,09	11,95	7,33
Na <sub>2</sub> O		0,009	n.n.	0,058	n.n.	0,308	n.n.	0,015	n.n.
K <sub>2</sub> O		1,02	0,66	0,20	0,84	3,11	0,67	1,12	1,78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,43	0,51	1,21	0,62	0,23	0,65	0,44	0,47
S		0,34	0,10	0,19	0,10	0,11	0,13	0,25	0,46
Cu		0,47	0,60	0,17	0,83	0,32	0,23	0,39	1,96
Co	[mg/kg]	222	n.n.	643	n.n.	324	274	90	n.n.
Zn		n.n.	156	388	65	116	107	23	108
Ni		126	377	363	112	307	654	225	122
Sb		131	n.n.	1228	n.n.	266	n.n.	468	n.n.
Ba		326	187	198	272	414	216	550	496
As		n.n.	433	1058	79	958	730	79	n.n.
V		17	n.n.	94	n.n.	81	36	48	n.n.
Y		36	n.n.	31	n.n.	29	32	47	n.n.
Sr		67	156	62	65	34	39	72	108
Rb		45	377	20	112	73	n.n.	52	122
Zr		44	n.n.	78	n.n.	119	63	70	n.n.
Cr		n.n.	187	63	272	45	7	n.n.	496
Cl		152	433	91	79	84	144	n.n.	n.n.
Pb		n.n.	n.n.	127	n.n.	42	n.n.	n.n.	n.n.
Nb		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.
W		n.n.	n.n.	600	n.n.	473	n.n.	n.n.	n.n.
Bi		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	30	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	[Gew.-%]	99,11	99,72	99,41	99,59	99,63	99,24	99,13	98,87

	MA-092841* FNr. 4409 Röstoff 7 Schicht 44	MA-101426 FNr. 1340 Röstoff 7 Schicht 44	MA-101427 FNr. 1340 Röstoff 7 Schicht 44	MA-101428 FNr. 4409 Röstoff 7 Schicht 44	MA-101435 FNr. 1429 Röstoff 7 Schicht 44	MA-092842* FNr. 1252 Röstoff 7 Schicht 58	MA-092842 FNr. 1252 Röstoff 7 Schicht 58	MA-092843* FNr. 1200 Röstoff 7 Schicht 58
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%] 35,96	43,90	39,54	38,01	40,95	31,91	33,37	24,34
TiO <sub>2</sub>	0,13	0,17	0,15	0,26	0,17	0,19	0,18	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,08	4,14	4,09	5,29	3,87	3,85	4,39	4,02
FeO	44,61	35,36	39,77	38,65	37,10	46,35	44,36	57,32
MgO	1,95	2,79	2,27	1,67	1,84	1,45	1,84	1,32
MnO	0,57	0,47	0,49	0,52	0,72	0,54	0,52	0,37
CaO	10,76	10,52	8,44	11,11	12,22	12,04	11,54	8,14
Na <sub>2</sub> O	n.n.	0,091	0,125	0,146	0,104	n.n.	0,082	n.n.
K <sub>2</sub> O	1,07	0,84	1,33	1,69	1,12	0,97	0,85	1,34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,60	0,54	0,50	0,62	0,54	0,41	0,48	0,40
S	0,18	0,21	0,68	0,31	0,27	0,29	0,48	0,56
Cu	0,29	0,31	1,09	0,76	0,39	0,87	0,76	0,78
Co	269	382	434	394	336	301	388	116
Zn	n.n.	175	193	109	151	n.n.	211	94
Ni	152	90	164	156	82	123	132	151
Sb	224	304	140	244	252	130	158	n.n.
Ba	305	354	459	589	438	403	451	287
As	n.n.	244	150	142	110	n.n.	159	n.n.
V	7	41	46	55	36	24	54	n.n.
Y	33	75	42	104	82	102	99	116
Sr	61	77	68	97	88	101	107	94
Rb	33	45	35	45	30	38	34	151
Zr	40	42	40	73	37	53	57	n.n.
Cr	n.n.	43	55	79	41	n.n.	37	287
Cl	n.n.	81	136	115	65	n.n.	89	n.n.
Pb	n.n.	106	55	72	56	n.n.	89	n.n.
Nb	n.n.	n.n.	11	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.
W	n.n.	330	290	215	190	n.n.	108	n.n.
Bi	n.n.	n.n.	30	36	28	n.n.	32	n.n.
Summe	[Gew.-%] 99,33	99,56	98,70	99,30	99,51	99,01	99,08	98,95

	MA-092844* FNr. 1200 Röstoffbett 7 Schicht 58	MA-101429 FNr. 1252 Röstoffbett 7 Schicht 58	MA-101430 FNr. 1200 Röstoffbett 7 Schicht 58	MA-092845 FNr. 1795 Röstoffbett 8 Schicht 15 Pl. 136	MA-092846* FNr. 3046 Röstoffbett 9 Schicht 1 Pl. 475	MA-092850* FNr. 3589 Röstoffbett 9 Schicht 26 Pl. 691	MA-092851* FNr. 3348 Röstoffbett 9 Schicht 45 Pl. 691	MA-092851 FNr. 3348 Röstoffbett 9 Schicht 45 Pl. 691
SiO <sub>2</sub>	41,14	42,20	36,39	31,03	41,74	37,26	34,51	34,46
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,18	0,21	0,19	0,21	0,16	0,19	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,78	3,50	3,73	4,00	4,33	4,31	4,75	5,03
FeO	39,07	37,88	41,69	47,51	38,33	39,00	40,69	40,93
MgO	1,74	1,51	2,27	2,33	0,92	1,81	1,94	2,23
MnO	0,44	0,37	0,48	0,59	0,44	0,63	0,74	0,77
CaO	10,39	12,48	10,90	10,84	10,85	12,49	13,83	13,09
Na <sub>2</sub> O	n.n.	0,071	0,147	0,084	0,0001	0,017	0,008	0,105
K <sub>2</sub> O	0,93	0,37	0,60	0,57	0,98	1,78	1,02	0,88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,47	0,46	0,57	0,58	0,63	0,38	0,52	0,57
S	0,35	0,21	0,96	0,54	0,24	0,13	0,12	0,18
Cu	0,67	0,26	0,26	0,52	0,40	1,11	0,86	0,83
Co	156	361	543	448	102	190	145	345
Zn	84	167	142	134	n.n.	68	n.n.	118
Ni	92	73	82	90	69	202	145	140
Sb	n.n.	174	366	418	n.n.	357	269	349
Ba	438	317	840	476	219	350	333	459
As	104	n.n.	174	655	n.n.	57	26	333
V	n.n.	64	45	58	21	18	13	59
Y	156	98	60	80	87	64	84	91
Sr	84	78	89	67	69	77	69	81
Rb	92	19	10	19	31	46	37	39
Zr	n.n.	22	40	39	39	41	48	36
Cr	438	36	48	32	n.n.	45	n.n.	35
Cl	104	87	77	96	140	122	139	125
Pb	n.n.	56	75	89	n.n.	n.n.	n.n.	68
Nb	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
W	n.n.	215	546	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	133
Bi	n.n.	n.n.	n.n.	37	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	99,31	99,67	98,51	99,06	99,14	99,25	99,32	99,52

		MA-101385 FNr. 1102 Ofen 1 Nordwand	MA-101387 FNr. 5302 Ofen 1 Ostwand	MA-101388 FNr. 5394 Ofen 1 Ostwand	MA-101389 FNr. 5394 Ofen 1 Ostwand	MA-101397 FNr. 5475 Ofen 2 ältere Phase, Ostwand	MA-101398 FNr. 5475 Ofen 2 ältere Phase, Ostwand	MA-101399 FNr. 5476 Ofen 2 ältere Phase, Ostwand	MA-101393 FNr. 5509 Ofen 2 Nordwand
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	43,69	51,80	50,19	48,06	48,23	51,18	58,30	45,08
TiO <sub>2</sub>		0,73	0,85	0,65	0,66	0,56	0,69	0,57	0,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		14,67	17,48	9,96	10,96	12,12	13,45	8,69	12,01
FeO		16,51	8,02	14,62	14,98	18,08	16,23	14,45	19,53
MgO		2,18	1,46	2,93	1,61	1,19	1,17	1,84	1,93
MnO		0,66	0,84	0,45	0,65	0,93	0,54	0,47	0,82
CaO		7,36	8,46	6,77	8,66	7,57	5,86	8,20	7,63
Na <sub>2</sub> O		0,703	0,232	0,183	0,153	0,224	0,407	0,132	0,092
K <sub>2</sub> O		4,35	6,67	3,69	4,41	3,35	4,27	2,90	3,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,50	0,88	0,19	0,49	0,60	0,49	0,62	0,57
S		0,11	0,06	0,39	0,53	0,12	0,21	0,11	0,12
Cu		4,48	1,50	7,04	5,60	5,01	3,58	2,36	5,66
Co	[mg/kg]	336	229	286	368	246	221	350	303
Zn		5975	2131	634	1453	238	322	167	3384
Ni		508	155	448	277	529	377	422	618
Sb		10325	3902	1111	3264	791	1054	776	3578
Ba		1153	1537	596	1070	931	1559	589	875
As		1928	820	2442	472	1096	1035	658	1537
V		122	128	87	76	111	99	70	81
Y		32	36	42	38	44	38	38	38
Sr		106	140	85	106	97	105	140	67
Rb		194	196	92	90	111	106	45	97
Zr		103	161	163	163	102	104	211	115
Cr		114	99	71	58	78	79	42	85
Cl		312	99	135	104	95	271	146	32
Pb		681	106	106	126	78	70	46	544
Nb		11	13	n.n.	23	16	18	7	14
W		873	883	796	1219	346	635	1266	550
Bi		33	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	27	n.n.	n.n.
Summe	[Gew.-%]	98,22	99,29	97,78	97,65	98,47	98,68	99,13	98,18

		MA-101394 FNr. 5511 Ofen 2 Nordwand	MA-101395 FNr. 5555 Ofen 2 Nordwand	MA-101396 FNr. 5451 Ofen 2 Ostwand	MA-101391 FNr. 5551 Ofen 2 Westwand	MA-101392 FNr. 5551 Ofen 2 Westwand	MA-092854 FNr. 1772 Vorplatz Ofen 1/2 Schicht 12 Pl. 68	MA-092852 FNr. 1709 Vorplatz Ofen 1/2 Schicht 4 Pl. 68	MA-092853* FNr. 1570 Vorplatz Ofen 1/2 Schicht 5 Pl. 281
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	49,50	40,54	29,53	59,75	62,39	30,14	38,81	36,64
TiO <sub>2</sub>		0,58	1,70	0,19	0,95	0,87	0,18	0,47	0,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		13,39	13,05	3,96	14,47	11,10	3,66	11,32	6,77
FeO		16,71	21,15	44,06	7,20	5,58	48,16	25,80	39,57
MgO		1,38	2,63	3,02	2,53	3,46	2,96	1,92	1,50
MnO		0,55	0,52	0,78	0,39	0,38	0,62	0,78	0,53
CaO		5,54	11,32	11,34	7,58	9,30	10,33	5,02	9,39
Na <sub>2</sub> O		0,224	0,143	0,097	0,413	0,382	0,148	0,247	0,062
K <sub>2</sub> O		3,26	3,31	1,70	5,38	5,07	0,83	3,51	2,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,40	0,47	0,56	0,27	0,20	0,51	0,73	0,39
S		0,19	0,09	0,64	0,03	0,09	0,54	0,12	0,18
Cu		5,68	3,29	1,85	0,41	0,40	0,45	7,52	1,24
Co	[mg/kg]	241	302	570	258	468	390	407	258
Zn		1364	786	693	483	339	677	3441	91
Ni		478	676	181	139	123	80	825	156
Sb		2401	2186	2236	331	166	1662	6054	179
Ba		830	539	1034	552	374	914	904	335
As		829	598	629	103	33	702	2426	n.n.
V		111	174	76	99	94	57	98	n.n.
Y		23	40	36	43	39	22	31	258
Sr		46	102	89	83	119	56	79	91
Rb		100	128	22	133	105	21	119	156
Zr		120	145	33	343	358	32	87	179
Cr		128	334	68	70	78	34	77	335
Cl		52	198	147	115	126	303	371	n.n.
Pb		271	241	58	107	106	91	115	n.n.
Nb		15	11	n.n.	16	18	n.n.	n.n.	n.n.
W		388	338	466	1117	2004	n.n.	147	n.n.
Bi		22	n.n.	31	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	[Gew.-%]	98,15	98,90	98,36	99,77	99,67	99,03	97,76	99,42

		MA-113464 FNr. 313 Vorplatz Ofen 1/2 SE Ofen 2	MA-113463 FNr. 207 Vorplatz Ofen 1/2 Füllmaterial, Ofen 2	MA-113476 FNr. 707/2 Ofen 3 Nordwand	MA-113469 FNr. 1895 Ofen 3 Ostwand	MA-101400 FNr. 4876 Ofen 4 Westwand	MA-101402 FNr. 5064 Ofen 4 Westwand	MA-101418 FNr. 5246 Ofen 5 ältere Phase, Nordwand	MA-101419 FNr. 5267 Ofen 5 ältere Phase, Nordwand
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	30,54	33,09	44,55	53,68	51,54	56,72	22,26	14,97
TiO <sub>2</sub>		0,17	0,23	0,84	0,77	0,92	0,62	0,22	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3,43	4,46	20,28	17,68	20,20	13,81	5,34	4,26
FeO		43,06	45,08	14,23	13,43	9,28	14,97	39,69	43,16
MgO		3,19	2,68	0,97	1,10	1,18	2,22	2,42	2,76
MnO		0,77	1,00	0,67	0,38	0,77	0,38	0,77	0,93
CaO		14,24	10,42	4,64	5,34	5,52	4,73	4,28	4,35
Na <sub>2</sub> O		0,063	0,084	0,234	0,213	0,424	0,264	0,013	0,025
K <sub>2</sub> O		1,33	0,74	7,76	5,03	6,00	4,22	0,79	0,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,64	0,43	0,84	0,54	1,08	0,45	0,44	0,46
S		0,30	0,33	0,06	0,07	0,06	0,07	0,23	0,23
Cu		0,95	0,48	3,59	1,12	1,53	0,87	17,70	21,73
Co	[mg/kg]	384	385	139	132	222	206	665	818
Zn		634	167	421	207	1232	484	644	572
Ni		155	90	180	123	164	131	937	2915
Sb		2273	253	20	59	3502	716	5699	3529
Ba		1023	1521	999	824	1205	505	394	329
As		669	339	252	142	704	270	2664	1672
V		53	53	122	128	128	64	76	48
Y		41	42	51	44	51	28	35	26
Sr		75	115	86	82	108	95	35	24
Rb		32	26	246	171	210	168	48	15
Zr		36	27	140	153	191	129	48	25
Cr		30	34	86	67	121	65	39	54
Cl		114	136	92	93	96	167	91	85
Pb		106	106	62	73	83	82	126	156
Nb		15	10	11	26	14	11	n.n.	n.n.
W		n.n.	n.n.	n.n.	33	414	n.n.	274	208
Bi		46	n.n.	30	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	[Gew.-%]	99,23	99,36	98,95	99,59	99,35	99,62	95,34	94,47

		MA-101420 FNr. 5262 Ofen 5 ältere Phase, Ostwand	MA-101417 FNr. 5264 Ofen 5 ältere Phase, Westwand	MA-101409 FNr. 5182 Ofen 5 Nordwand	MA-101410 FNr. 5198 Ofen 5 Nordwand	MA-101411 FNr. 5191 Ofen 5 Nordwand	MA-101412 FNr. 5241 Ofen 5 Nordwand, 2. Schicht	MA-101413 FNr. 5120 Ofen 5 Ostwand	MA-101403 FNr. 5127 Ofen 5 Westwand
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	45,15	19,12	45,08	37,71	39,53	46,54	40,65	43,22
TiO <sub>2</sub>		0,56	0,31	0,37	0,26	0,21	0,48	0,58	0,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		11,84	7,13	8,59	6,07	4,81	9,73	11,28	10,64
FeO		21,55	45,66	27,78	34,11	37,74	22,57	28,92	18,89
MgO		2,02	3,46	1,50	1,68	1,74	1,30	1,65	1,62
MnO		0,66	0,99	0,57	0,53	0,50	0,38	0,64	0,94
CaO		9,59	5,52	7,60	6,97	7,20	4,71	6,90	8,47
Na <sub>2</sub> O		0,225	0,168	0,320	0,156	0,115	0,277	0,186	0,296
K <sub>2</sub> O		2,84	0,87	2,82	2,52	2,03	3,42	2,96	4,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,39	0,54	0,59	0,45	0,41	0,33	0,62	1,07
S		0,24	0,10	0,12	0,39	0,17	0,13	0,43	0,43
Cu		2,91	11,80	2,95	6,07	3,48	7,26	2,88	6,45
Co	[mg/kg]	490	902	314	440	448	237	375	272
Zn		1210	477	988	1169	1256	681	1030	1610
Ni		571	1464	317	563	311	1072	418	349
Sb		2259	4818	2392	3462	3344	2748	2941	2029
Ba		661	273	886	1191	1335	728	886	1367
As		908	2903	1207	1323	1272	1151	1215	1337
V		92	65	76	64	50	105	82	140
Y		34	23	22	26	18	28	32	24
Sr		76	41	68	55	59	50	62	107
Rb		70	47	56	49	39	79	95	116
Zr		111	61	71	58	34	86	122	108
Cr		91	79	71	49	58	39	55	78
Cl		81	126	96	80	64	104	92	104
Pb		83	96	125	135	59	184	97	144
Nb		14	14	n.n.	n.n.	n.n.	11	12	21
W		1340	559	256	280	430	n.n.	372	313
Bi		n.n.	37	n.n.	44	n.n.	n.n.	37	n.n.
Summe	[Gew.-%]	98,78	96,86	98,97	97,82	98,81	97,86	98,48	97,60

	MA-101405 Fnr. 5149 Ofen 5 Westwand	MA-101406 Fnr. 5155 Ofen 5 Westwand	MA-101407 Fnr. 5169 Ofen 5 Westwand	MA-092856* Fnr. 2965 Vorplatz Ofen 4/5 Schicht 3 Pl. 358	MA-092857* Fnr. 1901 Vorplatz Ofen 4/5 Schicht 4 Pl. 358	MA-092858* Fnr. 3647 Vorplatz Ofen 7/8 Schicht 25 Pl. 760	MA-092859 Fnr. 4389 Vorplatz Ofen 7/8 Schicht 28 Pl. 909	MA-092861* Fnr. 3397 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 15 Pl. 652
SiO <sub>2</sub>	35,66	43,43	33,43	37,91	38,68	34,44	32,44	45,93
TiO <sub>2</sub>	0,29	0,30	0,15	0,19	0,24	0,17	0,18	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,68	6,98	3,75	4,47	3,98	5,13	5,39	2,44
FeO	31,90	29,94	40,82	40,17	37,71	42,09	42,01	30,88
MgO	1,83	1,86	1,81	1,57	1,81	2,76	3,51	3,19
MnO	0,58	0,58	0,55	0,50	0,47	0,57	0,65	0,60
CaO	6,34	7,24	6,75	9,26	13,82	11,21	12,28	14,08
Na <sub>2</sub> O	0,259	0,145	0,157	0,040	n.n.	0,021	0,157	n.n.
K <sub>2</sub> O	2,94	3,01	1,67	1,45	1,18	1,70	1,40	0,69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,49	0,54	0,55	0,56	0,40	0,40	0,49	0,37
S	0,28	0,12	0,68	0,31	0,25	0,21	0,25	0,06
Cu	8,75	3,50	6,15	2,33	0,72	0,67	0,51	1,04
Co	407	400	393	204	187	230	352	208
Zn	2078	1620	1346	71	130	116	193	70
Ni	1020	845	336	86	87	139	172	245
Sb	4684	3869	3278	n.n.	416	n.n.	382	n.n.
Ba	1340	972	988	437	238	209	308	153
As	1401	1136	1680	185	164	157	268	512
V	58	69	33	n.n.	n.n.	n.n.	43	n.n.
Y	12	25	13	204	187	230	52	208
Sr	56	73	55	71	130	116	78	70
Rb	58	75	41	86	87	139	42	245
Zr	51	57	26	n.n.	416	n.n.	34	n.n.
Cr	61	64	46	437	238	209	44	153
Cl	61	84	271	185	164	157	71	512
Pb	309	259	106	n.n.	n.n.	n.n.	106	n.n.
Nb	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	19	n.n.
W	428	402	124	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bi	n.n.	37	26	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	97,20	98,65	97,36	98,97	99,50	99,54	99,48	99,65

	MA-101422 FNr. 3397 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 15 Pl. 652	MA-101423 FNr. 3397 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 15 Pl. 652	MA-092860* FNr. 3242 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 16 Pl. 652	MA-101421 FNr. 3242 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 16 Pl. 652	MA-092862* FNr. 2863 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 2 Pl. 633	MA-092863* FNr. 2863 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 2 Pl. 633	MA-101424 FNr. 2863 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 2 Pl. 633	MA-101425 FNr. 2863 Vorplatz Ofen 9/10 Schicht 2 Pl. 633
SiO <sub>2</sub>	40,18	22,95	42,76	30,47	36,55	36,49	45,00	37,07
TiO <sub>2</sub>	0,21	0,16	0,23	0,28	0,21	0,21	0,24	0,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,17	3,55	4,60	7,22	3,82	5,96	5,07	4,48
FeO	36,64	58,61	34,44	48,73	37,97	40,55	32,30	39,75
MgO	2,14	2,42	2,23	1,55	2,14	2,01	0,95	1,42
MnO	0,60	0,52	0,58	0,59	0,54	0,55	0,27	0,36
CaO	12,83	6,87	11,70	6,89	15,46	10,05	10,08	13,21
Na <sub>2</sub> O	0,187	0,071	n.n.	0,091	n.n.	n.n.	0,135	0,080
K <sub>2</sub> O	0,76	0,64	0,85	1,21	1,39	1,71	1,16	0,55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,58	0,76	0,37	0,98	0,34	0,73	0,54	0,62
S	0,20	0,57	0,20	0,34	0,15	0,18	0,39	0,32
Cu	0,55	1,42	1,17	0,69	0,78	0,84	2,40	0,94
Co	491	795	142	508	128	234	334	378
Zn	192	137	115	119	152	141	142	159
Ni	188	151	109	215	90	143	114	82
Sb	1044	303	673	229	407	n.n.	242	157
Ba	364	286	n.n.	321	266	291	390	290
As	521	347	636	272	154	208	181	277
V	46	47	n.n.	56	n.n.	n.n.	41	50
Y	79	101	142	81	128	234	203	137
Sr	70	108	115	56	152	141	151	106
Rb	4	9	109	49	90	143	33	27
Zr	66	29	673	63	407	n.n.	97	34
Cr	38	51	n.n.	64	266	291	71	69
Cl	323	128	636	95	154	208	99	85
Pb	106	52	n.n.	70	n.n.	n.n.	58	85
Nb	9	20	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	17	12
W	1098	465	n.n.	184	n.n.	n.n.	247	116
Bi	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	99,52	98,85	99,46	99,29	99,58	99,48	98,78	99,29

	MA-113467 FNr. 4160 Vorplatz Ofen 11 Schicht 17	MA-113472 FNr. 4160 Vorplatz Ofen 11 Schicht 17	MA-113473 FNr. 4160 Vorplatz Ofen 11 Schicht 17	MA-113474 FNr. 4160 Vorplatz Ofen 11 Schicht 17	MA-113475 FNr. 4160 Vorplatz Ofen 11 Schicht 17	MA-113470 FNr. 4106 Vorplatz Ofen 11 Schicht 53	MA-091446* FNr. 595 Halde 1 Schicht 5	MA-091447* FNr. 595 Halde 1 Schicht 5
SiO <sub>2</sub>	25,55	36,13	37,97	33,99	62,82	45,50	30,66	33,99
TiO <sub>2</sub>	0,18	0,20	0,15	0,23	0,12	0,16	0,14	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,30	3,91	4,03	4,16	3,24	3,26	2,92	2,62
FeO	55,34	40,28	40,92	42,50	22,05	34,68	45,86	45,93
MgO	2,52	2,52	1,99	1,85	1,20	2,27	2,62	1,04
MnO	0,49	0,60	0,55	0,47	0,37	0,58	0,46	0,33
CaO	8,98	13,20	10,97	14,26	7,64	10,93	10,70	11,88
Na <sub>2</sub> O	0,106	0,125	0,199	0,105	0,092	0,125	n.n.	0,030
K <sub>2</sub> O	0,37	0,87	0,60	0,94	0,97	1,16	0,97	1,72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,81	0,43	0,51	0,59	0,37	0,36	0,48	0,30
S	0,26	0,47	0,19	0,19	0,14	0,16	0,57	0,45
Cu	0,42	0,29	1,05	0,18	0,39	0,23	2,77	0,49
Co	479	381	368	400	181	283	190	243
Zn	125	209	243	151	134	176	45	2
Ni	98	82	205	114	197	106	119	37
Sb	200	209	957	122	341	766	244	n.n.
Ba	159	327	318	317	281	327	318	379
As	197	95	261	142	816	348	345	n.n.
V	46	52	48	55	51	52	n.n.	18
Y	64	81	34	139	42	56	88	121
Sr	64	85	73	105	28	59	100	103
Rb	20	54	40	37	29	31	23	29
Zr	47	37	21	65	26	35	32	41
Cr	12	26	38	46	10	4	40	8
Cl	156	115	302	58	157	101	195	n.n.
Pb	79	66	87	47	59	35	n.n.	n.n.
Nb	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	45
W	n.n.	107	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bi	72	30	n.n.	35	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	99,51	99,22	99,42	99,64	99,65	99,66	98,32	99,05

	MA-091448* FNr. 694 Halde 1 Schicht 5	MA-091450* FNr. 1332 Halde 1 Schicht 5	MA-091452* FNr. 558 Halde 1 Schicht 6	MA-091453* FNr. 899 Halde 1 Schicht 6	MA-091455 FNr. 650 Halde 1 Schicht 6	MA-091456* FNr. 696 Halde 1 Schicht 6	MA-091458* FNr. 1152 Halde 1 Schicht 6	MA-091461 FNr. 1029 Halde 1 Schicht 7
SiO <sub>2</sub>	52,64	29,94	34,42	47,02	36,44	33,19	25,29	47,12
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,14	0,19	0,24	0,18	0,13	0,19	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,60	3,38	3,69	4,87	4,96	2,76	3,24	4,75
FeO	32,20	50,84	46,17	31,35	38,83	46,59	53,88	30,52
MgO	1,05	1,98	1,59	2,11	2,09	2,02	1,38	1,65
MnO	0,49	0,50	0,85	0,64	0,70	0,58	0,79	0,56
CaO	5,41	8,38	9,60	9,11	12,68	10,74	8,11	11,59
Na <sub>2</sub> O	0,019	n.n.	0,016	0,036	0,125	0,005	0,016	0,124
K <sub>2</sub> O	1,37	1,42	1,25	1,75	1,83	1,21	2,41	1,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,40	0,43	0,45	0,59	0,71	0,34	0,58	0,59
S	0,13	0,34	0,21	0,06	0,25	0,41	0,23	0,17
Cu	1,28	1,53	0,62	1,16	0,47	0,91	2,26	0,58
Co	182	82	163	225	336	234	304	287
Zn	634	52	642	223	159	65	167	176
Ni	218	66	167	814	123	141	2121	106
Sb	828	n.n.	277	1010	348	n.n.	1034	1359
Ba	325	340	494	438	643	357	618	336
As	1761	n.n.	223	1012	205	n.n.	216	403
V	19	24	35	39	43	6	23	56
Y	30	76	37	30	64	39	36	89
Sr	39	96	66	46	81	76	39	83
Rb	35	22	24	46	50	35	30	48
Zr	45	29	43	65	31	27	37	36
Cr	n.n.	n.n.	24	8	18	27	31	15
Cl	142	167	n.n.	n.n.	115	129	n.n.	125
Pb	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	97	n.n.	n.n.	36
Nb	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
W	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bi	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	99,21	98,98	99,29	99,33	99,48	99,00	98,85	99,55

	MA-091462* FNr. 1179 Halde 1 Schicht 7	MA-091462 FNr. 1179 Halde 1 Schicht 7	MA-091501* FNr. 2078 Halde 2 Schicht 2	MA-091502* FNr. 2095 Halde 2 Schicht 3	MA-091502 FNr. 2095 Halde 2 Schicht 3	MA-092817* FNr. 2614 Halde 2 Schicht 3	MA-091506* FNr. 2295 Halde 2 Schicht 6	MA-091507* FNr. 2320 Halde 2 Schicht 6
SiO <sub>2</sub>	33,58	33,48	35,11	35,25	36,20	42,25	33,66	44,38
TiO <sub>2</sub>	0,19	0,21	0,19	0,14	0,15	0,24	0,16	0,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,81	4,30	3,59	3,70	4,11	4,07	3,62	6,15
FeO	43,28	41,14	42,80	41,55	39,61	33,09	44,67	31,29
MgO	2,43	2,84	2,39	2,57	2,99	1,79	2,53	2,01
MnO	0,55	0,59	0,55	0,65	0,66	0,50	0,53	0,51
CaO	12,83	12,71	11,92	12,82	12,85	13,49	10,76	10,63
Na <sub>2</sub> O	0,051	0,178	0,010	n.n.	0,092	0,045	0,054	0,091
K <sub>2</sub> O	1,82	1,65	1,29	1,53	1,38	1,44	1,73	2,47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,33	0,37	0,54	0,35	0,43	0,54	0,35	0,37
S	0,30	0,52	0,15	0,10	0,19	0,21	0,23	0,14
Cu	0,81	0,79	0,73	0,70	0,63	1,29	0,84	0,86
Co	137	436	227	188	394	180	172	195
Zn	31	151	92	96	201	n.n.	100	71
Ni	112	123	124	145	189	109	153	126
Sb	n.n.	96	143	329	454	n.n.	232	244
Ba	322	450	293	232	393	355	312	342
As	n.n.	n.n.	n.n.	154	277	n.n.	129	89
V	21	36	19	20	39	48	16	36
Y	125	119	81	39	55	110	59	62
Sr	115	115	76	70	77	92	68	75
Rb	42	36	50	48	37	43	44	79
Zr	57	44	41	36	44	41	41	71
Cr	96	79	n.n.	n.n.	36	49	14	37
Cl	n.n.	71	119	n.n.	72	n.n.	n.n.	n.n.
Pb	349	437	n.n.	n.n.	63	n.n.	n.n.	n.n.
Nb	n.n.	14	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
W	n.n.	216	n.n.	n.n.	174	n.n.	n.n.	n.n.
Bi	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	99,14	99,03	99,40	99,48	99,52	99,05	99,27	99,33

		MA-092822* FNR. 2867 Halde 2 Schicht 6	MA-091509* FNR. 2342 Halde 2 Schicht 7	MA-092821* FNR. 2976 Halde 2 Schicht 7	MA-091511 FNR. 2267 Halde 2 Schicht 17	MA-091512* FNR. 2350 Halde 2 Schicht 19	MA-091513 FNR. 1936 Halde 2 Schicht 22	MA-092820* FNR. 3310 Halde 2 Schicht 21a (Pl. 569)	MA-092825* FNR. 3293 Halde 2 Schicht 21b (Pl. 648)
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	46,96	37,37	20,10	41,77	41,69	30,97	42,81	35,48
TiO <sub>2</sub>		0,19	0,23	0,11	0,18	0,14	0,26	0,17	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4,19	4,43	2,73	4,63	3,17	4,13	4,18	3,10
FeO		33,28	38,27	61,31	35,29	38,16	44,60	35,48	43,85
MgO		1,05	2,55	1,24	2,14	2,18	4,36	2,43	2,37
MnO		0,36	0,97	0,59	0,48	0,51	0,88	0,52	0,57
CaO		10,07	12,59	7,15	11,03	10,76	11,70	11,35	11,65
Na <sub>2</sub> O		0,001	0,076	0,025	0,156	0,031	0,105	0,048	0,022
K <sub>2</sub> O		1,19	1,90	1,75	1,40	1,41	0,99	1,52	1,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,47	0,45	0,30	0,57	0,44	0,77	0,33	0,31
S		0,18	0,04	0,37	0,34	0,15	0,17	0,09	0,18
Cu		1,10	0,43	2,72	1,03	0,60	0,34	0,40	0,48
Co	[mg/kg]	77	222	380	287	164	417	190	216
Zn		n.n.	213	n.n.	150	90	351	n.n.	n.n.
Ni		83	389	281	114	225	449	158	158
Sb		n.n.	1043	368	253	321	738	311	221
Ba		396	563	351	355	240	577	227	295
As		n.n.	336	n.n.	150	321	511	91	n.n.
V		134	28	n.n.	38	n.n.	76	8	n.n.
Y		142	52	45	109	55	44	41	28
Sr		65	75	47	82	69	45	59	69
Rb		29	54	n.n.	69	47	22	41	45
Zr		45	65	19	43	35	50	47	26
Cr		8	n.n.	9	52	7	41	8	20
Cl		139	n.n.	n.n.	99	n.n.	92	n.n.	n.n.
Pb		n.n.	n.n.	n.n.	106	n.n.	93	n.n.	n.n.
Nb		n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
W		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	56	n.n.	n.n.
Bi		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	[Gew.-%]	99,15	99,61	98,55	99,22	99,39	99,61	99,44	99,30

	MA-091489 FNr. 3225 Halde 3 Schicht 5	MA-091493* FNr. 5053 Halde 3 Schicht 22	MA-091494* FNr. 4500 Halde 3 Schicht 23	MA-091495* FNr. 4529 Halde 3 Schicht 23	MA-091496 FNr. 4543 Halde 3 Schicht 24	MA-091497* FNr. 4252 Halde 3 Schicht 25	MA-091470* FNr. 3042 Halde 3 Schicht 2	MA-091471* FNr. 3042 Halde 3 Schicht 2
SiO <sub>2</sub>	50,98 [Gew.-%]	36,24	38,25	28,19	50,12	38,49	48,13	37,43
TiO <sub>2</sub>	0,43	0,14	0,16	0,17	0,15	0,19	0,43	0,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,10	3,88	3,91	3,30	3,12	3,65	8,43	3,20
FeO	23,96	43,27	39,48	53,92	32,87	40,72	18,69	42,26
MgO	1,27	2,40	2,08	2,27	1,51	1,84	1,87	2,12
MnO	0,40	0,54	0,55	0,60	0,50	0,65	0,75	0,70
CaO	5,99	10,82	13,04	9,54	8,00	11,34	5,86	10,22
Na <sub>2</sub> O	0,134	0,028	0,025	n.n.	0,156	0,007	0,194	0,039
K <sub>2</sub> O	2,17	1,10	1,04	0,50	1,24	1,60	3,58	1,67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,37	0,35	0,55	0,43	0,56	0,45	0,54	0,31
S	0,46	0,12	0,11	0,12	0,25	0,12	0,03	0,09
Cu	3,24	0,43	0,30	0,32	0,76	0,38	8,35	0,61
Co	263	270	185	283	304	119	202	252
Zn	1056	74	50	56	126	40	1532	1047
Ni	497	313	63	154	90	102	1634	219
Sb	3303	299	n.n.	322	122	137	1226	2095
Ba	766	261	270	133	319	355	670	512
As	1833	341	n.n.	193	190	n.n.	1123	806
V	105	n.n.	10	16	52	10	60	6
Y	21	31	46	28	34	71	14	27
Sr	69	56	87	40	61	77	55	57
Rb	65	38	25	n.n.	33	42	86	28
Zr	76	34	38	54	37	47	97	41
Cr	55	n.n.	n.n.	15	57	16	n.n.	40
Cl	136	130	144	145	136	n.n.	n.n.	123
Pb	126	n.n.	n.n.	n.n.	64	n.n.	85	n.n.
Nb	10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
W	40	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bi	23	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	98,35	99,50	99,59	99,51	99,41	99,53	97,54	99,37

		MA-091473*	MA-091474*	MA-091474	MA-091478*	MA-091479	MA-091482*	MA-091484*	MA-091485*
		FNr. 4558 Halde 3 Schicht 2	FNr. 4104 Halde 3 Schicht 2	FNr. 4104 Halde 3 Schicht 2	FNr. 3037 Halde 3 Schicht 9	FNr. 4433 Halde 3 Schicht 9	FNr. 4780 Halde 3 Schicht 17	FNr. 4153 Halde 3 Schicht 18	FNr. 4153 Halde 3 Schicht 18
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	36,43	38,62	40,67	50,89	28,91	39,43	26,06	40,51
TiO <sub>2</sub>		0,23	0,15	0,16	0,21	0,22	0,16	0,08	0,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4,00	3,65	4,28	4,95	4,63	3,33	2,56	3,45
FeO		36,61	40,86	37,32	28,88	48,71	43,26	48,06	38,75
MgO		3,82	2,31	2,86	1,82	1,69	0,93	2,34	2,63
MnO		0,87	0,49	0,53	0,40	0,66	0,49	0,48	0,52
CaO		14,98	11,48	11,50	9,16	8,65	8,37	9,49	11,38
Na <sub>2</sub> O		0,022	n.n.	0,135	0,145	0,127	n.n.	n.n.	0,042
K <sub>2</sub> O		1,35	1,09	0,99	1,98	1,77	1,96	1,64	1,33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,47	0,30	0,38	0,42	0,51	0,52	0,23	0,21
S		0,09	0,12	0,20	0,07	0,49	0,06	1,34	0,14
Cu		0,36	0,35	0,33	0,53	2,14	0,86	4,43	0,22
Co	[mg/kg]	180	184	406	163	484	293	247	102
Zn		457	90	167	58	134	81	n.n.	183
Ni		323	140	196	99	221	256	243	101
Sb		879	347	418	242	209	135	n.n.	524
Ba		406	182	261	188	625	426	237	287
As		405	179	379	119	229	n.n.	144	293
V		32	10	43	21	38	15	30	17
Y		41	51	51	65	40	53	37	56
Sr		73	66	82	56	67	77	52	74
Rb		41	43	44	56	49	37	n.n.	30
Zr		55	44	40	61	57	34	21	44
Cr		n.n.	24	48	9	44	21	n.n.	n.n.
Cl		n.n.	124	146	137	96	n.n.	121	n.n.
Pb		n.n.	n.n.	51	n.n.	135	n.n.	n.n.	n.n.
Nb		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
W		n.n.	n.n.	132	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bi		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	[Gew.-%]	99,53	99,55	99,59	99,58	98,75	99,52	96,83	99,55

		MA-091440* FNr. 518 Allgemein Schicht 1, Halde 1	MA-091444* FNr. 699 Allgemein Schicht 2, Halde 1	MA-091444 FNr. 699 Allgemein Schicht 2, Halde 1	MA-091445* FNr. 1153 Allgemein Schicht 2, Halde 1
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	36,43	38,62	40,67	50,89
TiO <sub>2</sub>		0,23	0,15	0,16	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4,00	3,65	4,28	4,95
FeO		36,61	40,86	37,32	28,88
MgO		3,82	2,31	2,86	1,82
MnO		0,87	0,49	0,53	0,40
CaO		14,98	11,48	11,50	9,16
Na <sub>2</sub> O		0,022	n.n.	0,135	0,145
K <sub>2</sub> O		1,35	1,09	0,99	1,98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,47	0,30	0,38	0,42
S		0,09	0,12	0,20	0,07
Cu		0,36	0,35	0,33	0,53
Co	[mg/kg]	180	184	406	163
Zn		457	90	167	58
Ni		323	140	196	99
Sb		879	347	418	242
Ba		406	182	261	188
As		405	179	379	119
V		32	10	43	21
Y		41	51	51	65
Sr		73	66	82	56
Rb		41	43	44	56
Zr		55	44	40	61
Cr		n.n.	24	48	9
Cl		n.n.	124	146	137
Pb		n.n.	n.n.	51	n.n.
Nb		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
W		n.n.	n.n.	132	n.n.
Bi		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe	[Gew.-%]	99,53	99,55	99,59	99,58

Tab. A.4: EDX-Flächenanalysen vollständig aufgeschmolzener Teilbereiche ausgewählter Schlacken und Ofenwandverschlackungen vom Kupferschmelzplatz Sl. Angaben in Gewichtsprozent (n.n. = nicht nachgewiesen).

Tab. A.4. EDX plane scans of completely smelted parts of slags and slag lining samples from the Copper Smelting Site Sl. Values are given in weight percent (n.n. = not detected).

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu	Ni	Sb
MA-092830_1	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	37,3	n.n.	3,4	41,1	1,8	0,8	12,9	1,9	0,2	0,4	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_1	FNr. 1219	Röstoff 2	21 Pl. 210	35,3	0,3	3,9	41,0	3,6	0,9	13,7	n.n.	0,8	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-110606_1	FNr. 1609	Unterbau Röstoff 3	42	39,8	0,5	9,7	26,8	3,1	1,8	9,5	1,1	2,7	1,0	0,1	3,9	n.n.	n.n.
MA-092835_1	FNr. 1144	Röstoff 3	48	33,3	n.n.	3,8	43,7	4,3	0,7	12,8	0,3	0,5	0,4	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092836_1	FNr. 4162	Röstoff 4	16 (=9?) Pl. 291	31,9	n.n.	4,9	49,4	3,9	0,9	5,8	0,9	0,8	0,5	0,2	1,0	n.n.	n.n.
MA-092838_1	FNr. 641	Röstoff 5	2 Pl. 89	31,6	n.n.	4,3	47,2	3,6	1,1	10,2	0,4	0,5	0,9	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_1	FNr. 4409	Röstoff 7	44	39,7	n.n.	3,6	36,8	3,5	0,8	13,4	n.n.	1,7	0,3	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092843_1	FNr. 1200	Röstoff 7	58	28,6	n.n.	4,9	50,0	2,8	n.n.	9,4	n.n.	1,8	0,7	0,8	1,0	n.n.	n.n.
MA-092845_1	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	35,9	n.n.	3,8	39,0	4,4	0,7	13,5	n.n.	1,0	0,5	0,2	1,1	n.n.	n.n.
MA-092850_1	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	37,7	n.n.	4,4	37,8	3,2	0,8	13,3	n.n.	2,3	0,4	0,1	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092850_2	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	40,2	n.n.	4,5	36,0	3,2	0,8	13,4	n.n.	1,2	0,6	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-101384_1	FNr. 4958	Ofen 1	Westwand	47,4	0,8	9,3	11,0	1,8	n.n.	12,6	n.n.	5,7	1,2	0,3	9,9	n.n.	n.n.
MA-101398_1	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	45,2	0,1	9,8	21,1	3,0	0,8	10,2	1,1	4,4	0,6	n.n.	3,7	n.n.	n.n.
MA-101394_1	FNr. 5511	Ofen 2	Nordwand	53,0	0,6	10,5	11,0	2,4	0,4	11,4	n.n.	2,6	0,6	0,0	7,5	n.n.	n.n.
MA-101394_2	FNr. 5511	Ofen 2	Nordwand	50,2	1,2	33,4	2,3	1,1	n.n.	5,7	0,4	4,1	0,2	n.n.	1,5	n.n.	n.n.
MA-113468_1	FNr. 706	Ofen 3	Nordwand, abgebr.	43,7	0,5	10,0	21,5	2,7	0,9	11,4	n.n.	4,0	0,8	n.n.	4,5	n.n.	n.n.
MA-113468_2	FNr. 706	Ofen 3	Nordwand, abgebr.	41,2	0,5	7,3	26,5	2,5	0,6	13,4	n.n.	4,0	0,7	n.n.	3,5	n.n.	n.n.
MA-113469_1	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	38,2	0,6	12,3	24,4	3,2	1,4	14,5	0,6	2,7	0,8	n.n.	1,3	n.n.	n.n.
MA-113471_1	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	36,0	0,4	6,0	34,8	3,7	0,9	12,9	n.n.	2,1	0,6	0,1	2,5	n.n.	n.n.
MA-113471_2	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	44,8	n.n.	9,7	24,7	2,6	1,1	11,4	n.n.	3,1	0,7	n.n.	1,8	n.n.	n.n.
MA-092854_1	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	36,5	n.n.	4,3	38,7	4,0	0,8	11,9	n.n.	1,5	0,6	0,7	1,0	n.n.	n.n.
MA-092853_1	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	33,4	n.n.	3,2	43,5	2,8	0,9	12,5	0,1	2,0	0,4	0,4	0,8	n.n.	n.n.
MA-092853_2	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	29,1	n.n.	4,0	51,7	3,3	1,0	8,1	0,7	0,5	0,7	0,3	0,6	n.n.	n.n.
MA-092853_3	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	37,4	0,9	5,5	21,0	8,0	1,1	23,6	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	1,2	n.n.	n.n.
MA-113463_1	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	34,9	0,4	4,9	42,6	2,9	1,3	10,4	n.n.	0,8	0,6	0,3	0,9	n.n.	n.n.
MA-101402_1	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	42,8	0,4	7,8	31,8	4,2	1,0	7,3	0,5	2,5	1,0	0,1	0,6	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu	Ni	Sb
MA-101419_1	FNr. 5267	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	26,3	n.n.	4,9	37,2	3,6	0,8	10,6	n.n.	1,7	0,7	0,2	14,3	n.n.	n.n.
MA-101406_1	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	42,3	n.n.	3,1	26,3	4,9	0,7	18,4	n.n.	1,8	0,8	n.n.	1,6	n.n.	n.n.
MA-101407_1	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	42,9	n.n.	3,2	30,2	4,2	1,0	13,9	0,3	2,1	0,6	n.n.	1,5	n.n.	n.n.
MA-092856_1	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	38,6	n.n.	4,3	38,9	2,6	0,7	10,8	0,2	1,5	0,6	0,3	1,5	n.n.	n.n.
MA-092859_1	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	35,8	n.n.	4,4	37,0	4,7	0,9	13,9	n.n.	2,0	0,4	0,3	0,7	n.n.	n.n.
MA-092860_1	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	29,3	n.n.	6,6	50,6	2,0	0,5	6,9	n.n.	0,5	0,2	0,2	3,2	n.n.	n.n.
MA-092862_1	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	38,2	0,4	4,0	34,1	3,8	0,8	15,9	n.n.	1,5	0,4	0,1	0,9	n.n.	n.n.
MA-113467_1	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	33,7	n.n.	3,9	44,5	3,7	0,8	10,6	n.n.	1,0	0,6	0,4	0,9	n.n.	n.n.
MA-113472_1	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	35,6	n.n.	4,0	40,2	3,3	0,9	13,0	0,4	1,0	0,5	0,2	0,9	n.n.	n.n.
MA-113473_1	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	35,5	0,3	3,1	41,5	3,4	0,8	12,4	0,5	0,8	0,5	0,2	0,8	0,3	n.n.
MA-113473_2	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	35,0	n.n.	3,8	42,6	3,5	0,8	11,9	n.n.	0,6	0,5	0,2	1,2	n.n.	n.n.
MA-113470_1	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	39,8	n.n.	4,2	37,1	3,4	0,9	12,5	n.n.	1,3	0,5	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091447_1	FNr. 595	Halde 1	5	34,1	0,1	3,9	41,6	0,9	0,5	14,1	0,4	2,8	0,6	0,5	0,5	n.n.	n.n.
MA-091450_1	FNr. 1332	Halde 1	5	20,6	0,3	4,5	68,0	0,7	n.n.	2,8	n.n.	n.n.	0,3	0,4	2,5	n.n.	n.n.
MA-091452_1	FNr. 558	Halde 1	6	40,0	n.n.	4,6	39,3	2,2	1,0	9,9	0,3	1,3	0,6	0,3	0,5	n.n.	n.n.
MA-091455_1	FNr. 650	Halde 1	6	29,6	0,6	5,4	55,1	4,0	n.n.	1,6	0,5	3,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091461_1	FNr. 1029	Halde 1	7	32,0	0,2	3,7	43,3	3,2	0,6	9,5	0,4	0,8	0,5	0,5	4,7	n.n.	0,61
MA-091462_1	FNr. 1179	Halde 1	7	42,6	0,5	9,7	26,4	2,1	0,7	9,8	1,2	5,2	0,6	0,3	1,0	n.n.	n.n.
MA-092821_1	FNr. 2976	Halde 2	7	35,1	n.n.	4,3	36,7	3,1	1,1	16,3	n.n.	3,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_1	FNr. 2267	Halde 2	17	40,3	0,1	3,7	32,7	7,0	0,3	12,6	n.n.	0,2	0,1	0,5	2,7	n.n.	n.n.
MA-091513_1	FNr. 1936	Halde 2	22	36,1	n.n.	4,8	36,5	5,0	1,2	13,8	n.n.	1,9	0,6	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092825_1	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	36,1	n.n.	3,4	40,2	3,6	0,8	12,6	0,6	1,2	0,3	0,3	0,9	n.n.	n.n.
MA-091493_1	FNr. 5053	Halde 3	22	38,4	n.n.	3,7	38,6	3,9	0,3	12,3	n.n.	2,0	n.n.	0,3	0,6	n.n.	n.n.
MA-091494_1	FNr. 4500	Halde 3	23	38,7	n.n.	4,0	36,3	3,6	0,8	12,8	0,4	1,6	0,6	0,3	0,7	n.n.	n.n.
MA-091496_1	FNr. 4543	Halde 3	24	51,2	n.n.	8,3	26,4	2,6	n.n.	7,8	0,3	3,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091471_1	FNr. 3042	Halde 3	2	36,6	n.n.	3,6	43,5	3,2	0,6	9,7	0,4	1,3	0,4	0,1	0,8	n.n.	n.n.
MA-091473_1	FNr. 4558	Halde 3	2	40,9	n.n.	2,4	27,7	7,0	0,3	19,8	n.n.	0,1	0,3	0,3	1,1	n.n.	n.n.
MA-091479_1	FNr. 4433	Halde 3	9	32,8	0,3	5,3	44,7	1,3	0,4	11,5	0,1	2,9	0,5	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091441_1	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	34,9	n.n.	4,2	45,2	2,0	1,0	8,7	0,6	1,3	0,6	0,4	1,0	n.n.	n.n.

Tab. A.5: EDX-Analysen von Olivinen ausgewählter Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1. Angaben in Gewichtsprozent (n.n. = nicht nachgewiesen).  
 Tab. A.5. EDX analyses of olivine in selected slags from the Copper Smelting Site S1. Values are given in weight percent (n.n. = not detected).

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu
MA-092830_2	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	28,1	n.n.	n.n.	62,3	4,6	1,3	3,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_3	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	28,6	n.n.	0,2	60,1	6,3	1,2	3,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_4	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	28,2	n.n.	0,2	61,2	6,1	1,4	3,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_5	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	28,2	n.n.	n.n.	61,8	5,2	1,3	3,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_6	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	28,5	n.n.	0,1	61,0	6,0	1,3	3,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_2	FNr. 1219	Röstoff 2	21 Pl. 210	32,1	n.n.	n.n.	44,7	18,1	1,1	4,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_3	FNr. 1219	Röstoff 2	21 Pl. 210	28,0	n.n.	n.n.	59,4	5,9	1,5	5,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_4	FNr. 1219	Röstoff 2	21 Pl. 210	31,3	n.n.	n.n.	48,3	15,7	1,3	3,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092835_2	FNr. 1144	Röstoff 3	48	30,6	n.n.	n.n.	52,6	12,2	1,4	3,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092835_3	FNr. 1144	Röstoff 3	48	29,8	n.n.	n.n.	53,8	10,0	1,4	5,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092835_4	FNr. 1144	Röstoff 3	48	29,5	n.n.	n.n.	54,4	9,3	1,5	5,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092836_2	FNr. 4162	Röstoff 4	16 (=9?) Pl. 291	29,2	n.n.	1,0	54,6	8,3	1,1	2,4	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	3,1
MA-092836_3	FNr. 4162	Röstoff 4	16 (=9?) Pl. 291	28,7	n.n.	0,2	57,6	7,1	1,2	4,4	n.n.	n.n.	n.n.	0,2	0,6
MA-092836_4	FNr. 4162	Röstoff 4	16 (=9?) Pl. 291	29,8	n.n.	n.n.	55,9	10,3	1,3	2,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092838_2	FNr. 641	Röstoff 5	2 Pl. 89	29,6	n.n.	n.n.	56,8	9,3	1,6	2,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092838_3	FNr. 641	Röstoff 5	2 Pl. 89	29,4	n.n.	n.n.	58,2	8,2	1,6	2,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092838_4	FNr. 641	Röstoff 5	2 Pl. 89	29,7	n.n.	n.n.	57,3	8,7	1,5	2,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092838_5	FNr. 641	Röstoff 5	2 Pl. 89	29,4	n.n.	n.n.	55,5	10,8	1,6	2,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_2	FNr. 4409	Röstoff 7	44	32,0	n.n.	0,0	54,7	8,1	1,3	3,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_3	FNr. 4409	Röstoff 7	44	31,7	n.n.	n.n.	54,5	9,1	1,4	3,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_4	FNr. 4409	Röstoff 7	44	31,7	n.n.	0,1	55,2	8,6	1,3	3,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_5	FNr. 4409	Röstoff 7	44	31,4	n.n.	n.n.	56,1	9,6	1,2	1,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_6	FNr. 4409	Röstoff 7	44	31,3	n.n.	n.n.	56,9	8,9	1,1	1,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092843_2	FNr. 1200	Röstoff 7	58	29,5	n.n.	n.n.	56,9	6,6	1,0	6,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092843_3	FNr. 1200	Röstoff 7	58	29,0	n.n.	n.n.	57,7	5,9	1,2	6,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092843_4	FNr. 1200	Röstoff 7	58	30,3	n.n.	n.n.	55,0	8,2	1,0	5,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092843_5	FNr. 1200	Röstoff 7	58	29,9	n.n.	0,2	56,3	8,2	1,0	4,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_2	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	30,7	n.n.	n.n.	51,3	12,7	1,4	4,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_3	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	30,3	n.n.	n.n.	52,4	12,0	1,3	4,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu
MA-092845_4	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	29,5	n.n.	n.n.	49,9	7,0	1,2	12,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092850_3	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	29,7	n.n.	n.n.	56,2	9,7	1,4	3,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092850_4	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	28,2	n.n.	n.n.	59,8	6,3	1,5	3,9	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.
MA-092850_5	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	29,2	n.n.	n.n.	57,1	9,4	1,4	3,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092854_2	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	30,9	n.n.	0,2	54,2	7,4	1,3	5,8	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092854_3	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	31,2	n.n.	n.n.	54,8	7,2	1,2	5,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092854_4	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	29,6	n.n.	n.n.	56,2	9,0	1,3	3,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092854_5	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	29,6	n.n.	n.n.	55,8	10,1	1,3	3,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092854_6	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	29,6	n.n.	n.n.	55,7	10,3	1,4	3,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092854_7	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	29,0	n.n.	n.n.	58,0	6,8	1,3	4,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092854_8	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	28,2	n.n.	n.n.	58,6	5,4	1,4	6,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113463_2	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	28,6	n.n.	0,2	59,0	7,4	2,0	2,6	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.
MA-113463_2	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	32,0	n.n.	3,1	51,1	2,9	1,7	7,4	n.n.	0,7	0,5	0,2	0,5
MA-113463_3	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	28,5	n.n.	0,1	60,3	6,1	2,0	2,7	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.
MA-101402_2	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	30,3	n.n.	n.n.	60,4	6,6	1,4	1,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-101402_3	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	30,9	n.n.	n.n.	58,2	7,9	1,7	1,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092856_2	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	28,3	n.n.	n.n.	59,2	6,8	1,2	3,0	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	1,2
MA-092856_3	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	28,7	n.n.	0,2	60,5	6,4	1,1	2,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3
MA-092856_4	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	29,2	n.n.	n.n.	56,2	9,9	1,2	3,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092859_2	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	31,4	n.n.	n.n.	50,4	13,8	1,3	3,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092859_3	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	31,2	n.n.	n.n.	50,9	13,3	1,3	3,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092859_4	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	30,1	2,0	n.n.	52,7	12,2	1,4	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092860_2	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	28,5	n.n.	n.n.	61,7	4,3	1,8	3,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092860_3	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	28,3	n.n.	n.n.	62,0	5,1	1,8	2,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092860_4	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	29,2	n.n.	n.n.	58,6	7,4	1,6	3,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092862_2	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	28,8	n.n.	0,4	56,5	6,0	1,2	7,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092862_3	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	28,8	n.n.	0,5	51,1	4,4	1,3	13,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113467_2	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	29,9	n.n.	0,1	56,5	8,5	1,2	3,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113467_3	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	29,4	n.n.	0,2	57,2	8,2	1,1	3,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113467_4	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	30,5	n.n.	0,1	52,4	11,9	1,1	4,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113472_2	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	29,1	n.n.	0,1	57,9	8,0	1,5	3,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu
MA-113472_3	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	29,3	n.n.	0,1	57,3	8,9	1,4	3,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113472_4	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	27,8	n.n.	0,2	61,8	4,3	1,5	4,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113473_3	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	28,4	n.n.	0,3	60,2	5,5	1,3	4,2	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113473_4	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	28,2	n.n.	0,4	60,1	5,1	1,3	4,5	n.n.	0,3	0,0	0,0	n.n.
MA-113473_5	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	27,9	n.n.	0,1	60,4	6,2	1,2	4,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113470_2	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	31,2	n.n.	1,9	56,7	4,4	1,4	2,5	n.n.	1,4	0,4	n.n.	n.n.
MA-113470_3	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	29,7	n.n.	1,2	61,2	2,3	1,4	3,0	n.n.	1,0	0,2	n.n.	n.n.
MA-113470_4	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	28,2	n.n.	1,1	62,6	2,4	1,4	3,0	n.n.	0,4	0,2	n.n.	0,6
MA-091447_2	FNr. 595	Halde 1	5	28,5	n.n.	0,6	60,0	3,5	0,8	5,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1
MA-091447_3	FNr. 595	Halde 1	5	27,9	n.n.	0,2	61,2	2,2	1,0	7,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091447_4	FNr. 595	Halde 1	5	29,7	n.n.	1,4	58,1	2,3	0,8	6,5	n.n.	1,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091450_2	FNr. 1332	Halde 1	5	25,1	n.n.	6,7	59,3	1,6	n.n.	1,2	1,1	n.n.	3,0	0,2	2,0
MA-091450_3	FNr. 1332	Halde 1	5	28,6	n.n.	0,2	62,2	5,5	1,1	2,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091450_4	FNr. 1332	Halde 1	5	20,2	n.n.	3,0	68,0	4,0	0,7	0,9	n.n.	n.n.	0,6	0,3	2,4
MA-091450_5	FNr. 1332	Halde 1	5	29,9	n.n.	n.n.	59,2	6,7	1,0	2,1	n.n.	n.n.	0,1	n.n.	1,0
MA-091450_6	FNr. 1332	Halde 1	5	30,3	n.n.	n.n.	53,4	12,3	n.n.	4,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091450_7a	FNr. 1332	Halde 1	5	29,1	n.n.	n.n.	57,9	8,6	1,0	3,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091450_7b	FNr. 1332	Halde 1	5	32,7	n.n.	n.n.	40,1	19,7	1,1	6,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091450_8	FNr. 1332	Halde 1	5	29,6	n.n.	n.n.	56,5	9,6	n.n.	4,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091452_2	FNr. 558	Halde 1	6	35,3	n.n.	2,5	51,5	3,6	1,4	3,6	n.n.	1,6	0,5	0,1	n.n.
MA-091452_3	FNr. 558	Halde 1	6	35,9	n.n.	2,7	50,9	4,0	1,4	3,3	n.n.	1,5	0,4	0,1	n.n.
MA-091452_4	FNr. 558	Halde 1	6	31,0	n.n.	1,2	58,2	3,6	1,7	2,9	n.n.	1,1	0,3	n.n.	n.n.
MA-091452_5	FNr. 558	Halde 1	6	28,4	n.n.	n.n.	62,9	5,1	1,6	2,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091455_2	FNr. 650	Halde 1	6	28,4	n.n.	n.n.	60,2	5,0	1,5	5,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091455_3	FNr. 650	Halde 1	6	28,4	n.n.	0,3	64,4	3,1	0,7	3,0	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091455_4	FNr. 650	Halde 1	6	9,5	n.n.	n.n.	79,1	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3	9,7
MA-091461_2	FNr. 1029	Halde 1	7	33,8	n.n.	n.n.	52,5	7,9	1,5	4,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091461_3	FNr. 1029	Halde 1	7	34,6	n.n.	n.n.	48,8	11,0	1,3	4,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091461_4	FNr. 1029	Halde 1	7	34,2	n.n.	0,3	49,0	9,4	1,4	5,3	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091462_2	FNr. 1179	Halde 1	7	35,3	n.n.	0,1	43,4	14,4	1,4	5,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091462_3	FNr. 1179	Halde 1	7	35,7	n.n.	n.n.	42,4	13,5	1,4	7,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu
MA-091462_4	FNr. 1179	Halde 1	7	36,2	n.n.	0,1	43,0	13,9	1,3	5,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091462_5	FNr. 1179	Halde 1	7	28,9	n.n.	0,4	44,6	3,9	1,3	20,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092821_2	FNr. 2976	Halde 2	7	28,5	n.n.	0,8	41,4	2,9	1,5	23,9	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092821_3	FNr. 2976	Halde 2	7	29,1	n.n.	n.n.	49,7	3,3	1,5	16,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_2	FNr. 2267	Halde 2	17	30,0	n.n.	0,5	58,4	4,5	1,3	5,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_3	FNr. 2267	Halde 2	17	36,9	n.n.	4,4	34,9	3,8	n.n.	11,4	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	8,1
MA-091511_4	FNr. 2267	Halde 2	17	35,3	n.n.	8,4	34,8	1,3	n.n.	9,2	0,6	4,7	3,2	0,8	1,9
MA-091511_5	FNr. 2267	Halde 2	17	30,1	n.n.	n.n.	55,5	11,3	1,2	1,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_6	FNr. 2267	Halde 2	17	30,4	n.n.	n.n.	56,4	10,1	1,1	2,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_7	FNr. 2267	Halde 2	17	29,0	n.n.	n.n.	60,3	6,7	1,2	2,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_8	FNr. 2267	Halde 2	17	22,0	n.n.	4,6	55,2	4,3	n.n.	1,2	n.n.	n.n.	3,2	1,3	8,2
MA-091511_9	FNr. 2267	Halde 2	17	29,6	n.n.	n.n.	59,5	8,9	n.n.	2,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091513_2	FNr. 1936	Halde 2	22	32,1	n.n.	n.n.	44,8	16,7	1,8	4,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091513_3	FNr. 1936	Halde 2	22	31,6	n.n.	n.n.	48,8	13,2	1,8	4,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091513_4	FNr. 1936	Halde 2	22	33,1	n.n.	3,4	37,7	4,2	1,4	18,0	n.n.	1,8	0,4	0,1	n.n.
MA-091513_5	FNr. 1936	Halde 2	22	29,9	n.n.	1,9	29,2	4,5	21,0	6,7	n.n.	0,4	0,1	0,2	6,2
MA-091513_6	FNr. 1936	Halde 2	22	39,2	0,2	7,3	28,2	2,0	1,0	17,4	0,6	3,3	0,9	0,0	n.n.
MA-092825_2	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	29,3	n.n.	n.n.	58,6	8,2	1,1	2,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092825_3	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	29,1	n.n.	n.n.	57,2	10,0	1,2	2,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_2	FNr. 5053	Halde 3	22	36,6	n.n.	0,3	42,2	10,6	0,8	9,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_3	FNr. 5053	Halde 3	22	30,5	n.n.	n.n.	55,7	10,3	1,2	2,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_4	FNr. 5053	Halde 3	22	31,5	n.n.	n.n.	51,9	13,5	1,2	1,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_5	FNr. 5053	Halde 3	22	33,0	n.n.	n.n.	44,5	19,6	1,1	1,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091494_2	FNr. 4500	Halde 3	23	31,8	n.n.	1,1	51,0	8,0	1,2	6,3	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091494_3	FNr. 4500	Halde 3	23	31,6	n.n.	1,1	51,5	7,3	1,1	6,7	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091494_4	FNr. 4500	Halde 3	23	31,3	n.n.	1,1	51,3	7,8	1,1	6,5	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091471_2	FNr. 3042	Halde 3	2	41,6	n.n.	5,1	37,1	3,3	0,8	8,3	n.n.	3,1	0,7	n.n.	n.n.
MA-091471_3	FNr. 3042	Halde 3	2	34,3	n.n.	3,2	50,5	4,0	1,2	3,8	n.n.	2,7	0,3	n.n.	n.n.
MA-091471_4	FNr. 3042	Halde 3	2	34,8	n.n.	3,3	49,1	3,3	1,1	7,0	n.n.	1,4	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091473_2	FNr. 4558	Halde 3	2	28,8	n.n.	0,4	54,7	7,7	1,8	5,9	n.n.	0,4	0,4	n.n.	n.n.
MA-091473_3	FNr. 4558	Halde 3	2	29,8	n.n.	n.n.	51,8	13,5	1,8	3,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu
MA-091473_4	FNr. 4558	Halde 3	2	31,1	n.n.	n.n.	51,2	12,8	1,4	3,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091479_2	FNr. 4433	Halde 3	9	19,9	n.n.	2,1	58,0	n.n.	n.n.	13,5	n.n.	6,6	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091479_3	FNr. 4433	Halde 3	9	28,8	n.n.	n.n.	62,2	6,9	n.n.	2,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091479_4	FNr. 4433	Halde 3	9	20,9	n.n.	7,2	60,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	0,4	10,8
MA-091479_5	FNr. 4433	Halde 3	9	28,0	n.n.	n.n.	62,1	4,6	1,5	3,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091441_2	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	32,8	n.n.	2,2	53,3	3,0	1,4	5,3	n.n.	1,5	0,5	0,1	n.n.
MA-091441_3	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	29,3	n.n.	0,2	61,4	5,3	1,6	2,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091441_4	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	28,6	n.n.	0,3	62,6	3,3	1,6	3,2	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091441_5	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	29,2	n.n.	n.n.	61,7	5,4	1,5	2,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Tab. A.6: EDX-Analysen von Pyroxenen ausgewählter Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1. Angaben in Gewichtsprozent (n.n. = nicht nachgewiesen).  
 Tab. A.6. EDX analyses of pyroxene in selected slags from the Copper Smelting Site S1. Values are given in weight percent (n.n. = not detected).

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu
MA-092830_7	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	46,4	n.n.	2,4	25,7	3,0	n.n.	22,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_8	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	43,2	n.n.	2,5	29,2	2,9	n.n.	22,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_9	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	44,3	n.n.	2,0	27,4	3,6	0,4	22,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_10	FNr. 981	Röstoff 1	RB1-3	46,3	n.n.	1,5	23,6	5,3	n.n.	23,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_5	FNr. 1219	Röstoff 2	21 Pl. 210	45,9	n.n.	1,5	20,7	6,6	0,6	24,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_6	FNr. 1219	Röstoff 2	21 Pl. 210	44,2	n.n.	2,5	23,7	5,4	0,6	23,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_7	FNr. 1219	Röstoff 2	21 Pl. 210	43,8	n.n.	2,6	24,4	4,8	0,7	23,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092835_5	FNr. 1144	Röstoff 3	48	44,8	n.n.	2,6	23,6	4,6	n.n.	24,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092835_6	FNr. 1144	Röstoff 3	48	46,5	n.n.	1,7	20,9	6,2	n.n.	24,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092835_7	FNr. 1144	Röstoff 3	48	46,0	n.n.	1,4	20,9	6,4	n.n.	25,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092836_5	FNr. 4162	Röstoff 4	16 (=9?) Pl. 291	45,1	n.n.	2,0	23,9	4,5	0,6	23,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092836_6	FNr. 4162	Röstoff 4	16 (=9?) Pl. 291	45,6	n.n.	1,8	24,4	4,2	n.n.	24,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092836_7	FNr. 4162	Röstoff 4	16 (=9?) Pl. 291	45,0	n.n.	2,2	23,4	4,4	n.n.	25,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_7	FNr. 4409	Röstoff 7	44	46,5	n.n.	1,8	21,3	5,6	n.n.	24,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_8	FNr. 4409	Röstoff 7	44	46,6	n.n.	1,9	21,4	5,7	n.n.	24,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_9	FNr. 4409	Röstoff 7	44	46,8	n.n.	1,8	21,6	5,3	n.n.	24,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_10	FNr. 4409	Röstoff 7	44	46,4	n.n.	1,8	24,2	4,4	n.n.	23,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_11	FNr. 4409	Röstoff 7	44	44,6	n.n.	2,6	27,6	2,8	n.n.	22,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_5	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	46,8	n.n.	1,7	18,8	6,9	0,3	25,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_6	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	46,4	n.n.	1,4	19,6	6,8	0,6	25,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_7	FNr. 1795	Röstoff 8	15 Pl. 136	43,8	n.n.	2,6	24,4	4,2	0,5	24,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092850_6	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	43,2	n.n.	2,4	27,4	2,6	0,7	23,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092850_7	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	44,3	n.n.	2,4	26,3	3,1	0,7	23,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092850_8	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	44,0	n.n.	2,2	26,2	3,3	0,6	23,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092853_9	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	40,0	n.n.	3,3	31,6	1,4	0,5	22,5	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	n.n.
MA-092853_10	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	41,8	n.n.	5,4	27,5	1,5	n.n.	21,4	0,5	1,4	0,7	n.n.	n.n.
MA-092853_11	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	39,6	n.n.	3,8	31,5	1,0	0,7	22,0	n.n.	0,8	0,4	0,1	n.n.
MA-092853_12	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	41,6	n.n.	3,4	29,0	1,7	n.n.	23,7	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.
MA-092853_13	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	41,8	n.n.	4,0	28,5	1,4	n.n.	23,0	n.n.	0,8	0,7	n.n.	n.n.
MA-113468_3	FNr. 706	Ofen 3	Nordwand, abgebr.	38,4	0,6	6,4	20,7	7,4	1,3	23,5	n.n.	0,3	0,4	n.n.	1,0

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu
MA-113468_4	FNr. 706	Ofen 3	Nordwand, abgebr.	41,4	0,3	7,9	20,2	5,1	1,1	19,9	n.n.	2,0	0,5	n.n.	1,5
MA-113468_5	FNr. 706	Ofen 3	Nordwand, abgebr.	37,3	n.n.	6,4	23,4	6,1	1,2	23,6	n.n.	0,8	n.n.	0,1	1,2
MA-113471_3	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	40,2	0,3	4,7	19,6	8,8	0,7	23,2	0,6	0,4	0,5	n.n.	1,0
MA-113471_4	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	40,0	n.n.	4,7	20,5	9,3	0,7	22,7	0,6	n.n.	0,6	n.n.	0,9
MA-113471_5	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	42,1	n.n.	4,7	22,6	6,3	0,8	22,6	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113471_6	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	40,8	n.n.	3,0	21,5	7,5	0,7	26,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113471_7	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	39,2	n.n.	3,5	22,6	6,8	0,9	26,8	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.
MA-101419_2	FNr. 5267	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	39,7	n.n.	4,4	19,1	9,5	0,8	23,8	n.n.	n.n.	1,1	n.n.	1,6
MA-101419_3	FNr. 5267	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	41,3	n.n.	4,3	16,5	10,4	0,6	24,0	n.n.	n.n.	1,2	n.n.	1,7
MA-101419_4	FNr. 5267	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	39,3	n.n.	5,1	19,5	9,3	0,6	24,0	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	1,2
MA-092856_5	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	45,7	n.n.	1,5	26,3	3,8	n.n.	22,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092856_6	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	43,3	0,2	2,0	29,7	1,6	n.n.	23,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092856_7	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	44,6	0,2	1,8	29,4	1,9	n.n.	22,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092859_5	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	43,0	n.n.	3,3	23,6	5,1	0,7	24,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092859_6	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	41,8	n.n.	3,6	26,4	3,6	0,6	24,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092859_7	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	44,1	n.n.	2,8	21,9	5,8	0,5	24,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092860_5	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	47,1	n.n.	1,0	21,6	6,3	0,7	23,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092860_6	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	47,1	n.n.	1,3	20,1	6,8	0,6	24,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092860_7	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	46,8	n.n.	1,3	21,8	5,9	0,7	23,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092862_4	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	43,6	n.n.	2,9	27,1	2,7	n.n.	23,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092862_5	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	43,7	n.n.	2,7	26,4	3,0	n.n.	24,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113467_5	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	43,5	n.n.	2,4	24,9	4,6	0,6	23,6	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.
MA-113467_6	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	42,4	n.n.	2,5	27,1	3,4	0,6	23,5	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	n.n.
MA-113467_7	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	43,7	n.n.	2,3	24,3	4,9	0,6	23,8	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.
MA-113472_5	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	43,9	n.n.	2,5	25,0	4,0	0,6	23,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113472_6	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	44,3	n.n.	2,5	24,0	4,5	0,6	24,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113472_7	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	44,4	n.n.	2,4	24,2	4,4	0,6	24,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113470_5	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	44,9	n.n.	1,6	25,7	5,9	0,8	21,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113470_6	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	45,6	n.n.	1,5	25,0	6,0	0,9	20,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu
MA-113470_7	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	44,9	n.n.	1,9	25,9	5,6	0,7	21,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091450_9	FNr. 1332	Halde 1	5	42,4	n.n.	2,0	31,5	0,9	n.n.	21,8	0,4	n.n.	1,0	n.n.	n.n.
MA-091455_5	FNr. 650	Halde 1	6	40,5	n.n.	3,0	31,3	2,2	n.n.	22,5	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.
MA-091455_6	FNr. 650	Halde 1	6	39,9	0,5	3,6	29,7	1,6	n.n.	23,1	n.n.	0,9	0,6	n.n.	n.n.
MA-091455_7	FNr. 650	Halde 1	6	46,5	0,6	6,8	23,0	1,3	n.n.	17,4	n.n.	3,7	0,6	n.n.	n.n.
MA-091455_8	FNr. 650	Halde 1	6	45,2	n.n.	1,9	24,1	4,8	n.n.	23,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091455_9	FNr. 650	Halde 1	6	48,2	n.n.	2,9	32,6	2,2	0,8	11,4	n.n.	1,8	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091455_10	FNr. 650	Halde 1	6	46,4	n.n.	1,8	24,9	6,0	n.n.	20,0	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091455_11	FNr. 650	Halde 1	6	42,2	n.n.	5,5	28,6	2,8	n.n.	15,0	1,3	1,6	1,4	n.n.	1,6
MA-091455_12	FNr. 650	Halde 1	6	46,7	n.n.	1,3	23,3	6,5	n.n.	21,7	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091461_5	FNr. 1029	Halde 1	7	49,1	n.n.	1,6	17,3	6,6	n.n.	25,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091461_6	FNr. 1029	Halde 1	7	49,8	n.n.	1,4	17,0	7,0	n.n.	24,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091461_7	FNr. 1029	Halde 1	7	46,9	n.n.	2,9	21,3	3,7	n.n.	25,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_10	FNr. 2267	Halde 2	17	46,2	n.n.	1,2	25,3	4,9	n.n.	22,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_11	FNr. 2267	Halde 2	17	49,7	0,7	6,0	21,7	0,8	n.n.	15,3	n.n.	0,9	0,6	0,4	3,9
MA-091511_12	FNr. 2267	Halde 2	17	47,4	n.n.	1,2	20,8	6,4	n.n.	24,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_13	FNr. 2267	Halde 2	17	47,0	n.n.	1,3	22,4	6,4	n.n.	22,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_14	FNr. 2267	Halde 2	17	47,2	n.n.	1,4	21,5	6,5	n.n.	23,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_15	FNr. 2267	Halde 2	17	48,3	n.n.	1,1	18,8	7,3	n.n.	24,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_16	FNr. 2267	Halde 2	17	42,2	0,7	3,5	29,6	0,7	n.n.	21,3	0,8	n.n.	1,2	n.n.	n.n.
MA-092825_4	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	40,4	n.n.	3,3	31,7	1,4	0,6	22,0	n.n.	n.n.	0,5	0,1	n.n.
MA-091493_6	FNr. 5053	Halde 3	22	47,2	n.n.	1,5	21,5	6,1	n.n.	23,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_7	FNr. 5053	Halde 3	22	45,9	n.n.	2,1	23,4	5,1	n.n.	23,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_8	FNr. 5053	Halde 3	22	46,3	n.n.	1,9	22,8	5,7	n.n.	23,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_9	FNr. 5053	Halde 3	22	46,5	n.n.	1,9	22,3	5,0	n.n.	24,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091494_5	FNr. 4500	Halde 3	23	41,6	n.n.	2,0	29,3	4,9	0,8	20,6	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091494_6	FNr. 4500	Halde 3	23	42,0	n.n.	2,2	29,8	3,9	0,7	20,6	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091494_7	FNr. 4500	Halde 3	23	41,5	n.n.	2,1	30,1	4,0	0,7	20,7	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091473_5	FNr. 4558	Halde 3	2	47,6	n.n.	1,8	16,1	9,3	n.n.	25,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091473_6	FNr. 4558	Halde 3	2	47,2	n.n.	1,9	17,0	8,6	n.n.	25,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091473_7	FNr. 4558	Halde 3	2	49,6	n.n.	1,8	14,4	11,4	n.n.	22,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Tab. A.7: EDX-Punktanalysen von Gläsern in ausgewählten Schlacken vom Kupferschmelzplatz Sl. Angaben in Gewichtsprozent (n.n. = nicht nachgewiesen).  
 Tab. A.7. EDX spot analyses of glass in selected slags from the Copper Smelting Site Sl. Values are given in weight percent (n.n. = not detected).

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu	Sb
MA-092831_8	FNr. 1219	Röstoff 2	21 Pl. 210	37,4	n.n.	17,0	31,4	0,6	0,5	3,0	1,2	7,5	0,9	0,1	0,4	n.n.
MA-092835_8	FNr. 1144	Röstoff 3	48	32,8	n.n.	14,6	42,7	1,0	n.n.	3,5	0,7	0,6	1,7	0,2	2,5	n.n.
MA-092836_8	FNr. 4162	Röstoff 4	16 (=9?) Pl. 291	54,0	n.n.	20,7	2,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	22,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092838_6	FNr. 641	Röstoff 5	2 Pl. 89	38,1	0,3	3,9	32,9	3,8	0,8	19,3	n.n.	0,3	0,6	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_12	FNr. 4409	Röstoff 7	44	34,7	0,2	10,5	44,8	1,2	n.n.	1,9	1,3	2,0	1,6	0,6	1,3	n.n.
MA-092843_6	FNr. 1200	Röstoff 7	58	47,9	0,1	22,1	9,9	n.n.	n.n.	0,3	0,6	18,6	n.n.	0,5	n.n.	n.n.
MA-092850_8	FNr. 3589	Röstoff 9	26 Pl. 691	53,0	n.n.	21,1	5,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	20,6	n.n.	n.n.	0,4	n.n.
MA-092854_4	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	36,4	0,4	4,5	36,3	2,1	n.n.	17,6	0,4	1,3	0,5	0,5	n.n.	n.n.
MA-092853_14	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	53,2	0,4	21,3	4,2	0,3	n.n.	n.n.	0,2	19,9	n.n.	n.n.	0,4	n.n.
MA-113463_4	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	39,2	0,6	7,8	28,4	0,8	0,7	19,2	0,4	0,7	0,8	0,5	1,0	n.n.
MA-113468_6	FNr. 706	Ofen 3	Nordwand, abgebr.	50,2	0,6	10,3	10,9	1,9	0,8	15,5	n.n.	4,7	1,0	n.n.	4,2	n.n.
MA-113469_2	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	47,8	0,6	14,1	14,5	2,8	1,1	12,2	1,1	4,5	0,9	n.n.	0,5	n.n.
MA-113471_8	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	53,8	0,5	11,2	12,0	1,8	0,6	12,3	0,6	5,1	1,1	n.n.	1,0	n.n.
MA-101402_4	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	45,5	n.n.	6,9	23,7	3,8	0,9	17,0	n.n.	1,3	0,9	n.n.	n.n.	n.n.
MA-101419_5	FNr. 5267	Ofen 5	ältere Phase, Nordwand	42,4	n.n.	5,9	11,4	4,4	0,9	26,3	0,4	2,8	1,0	0,2	4,4	n.n.
MA-101406_2	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	52,5	n.n.	6,9	18,7	2,6	0,7	11,3	0,8	5,1	0,8	n.n.	0,6	n.n.
MA-101407_2	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	56,0	n.n.	4,6	6,9	4,1	1,1	19,4	0,8	4,2	0,9	0,1	1,9	n.n.
MA-092856_8	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	50,6	0,4	24,8	10,4	0,8	n.n.	1,7	0,4	10,2	0,1	0,1	0,5	n.n.
MA-092859_8	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	49,9	n.n.	21,8	9,1	n.n.	n.n.	3,7	0,4	14,3	0,2	n.n.	0,6	n.n.
MA-092860_8	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	15,0	1,1	14,7	61,5	n.n.	n.n.	3,1	n.n.	n.n.	1,5	1,0	2,1	n.n.
MA-092862_6	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	24,1	n.n.	9,6	51,4	0,2	n.n.	2,0	0,3	2,9	0,5	2,0	6,8	0,3
MA-113472_8	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	41,3	0,5	6,6	32,3	0,7	0,7	13,2	0,7	3,0	1,0	0,1	n.n.	n.n.
MA-113473_6	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	41,0	n.n.	3,5	29,7	1,4	0,6	22,2	0,2	1,1	0,4	0,0	n.n.	n.n.
MA-091447_5	FNr. 595	Halde 1	5	41,2	0,5	3,5	29,4	1,1	0,5	22,6	n.n.	0,7	0,5	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091450_10	FNr. 1332	Halde 1	5	53,1	n.n.	16,1	17,5	0,4	n.n.	10,8	1,5	0,4	0,3	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091452_6	FNr. 558	Halde 1	6	44,9	0,2	3,7	24,2	3,5	0,8	20,9	0,4	0,8	0,4	0,2	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu	Sb
MA-091455_13	FNr. 650	Halde 1	6	54,6	n.n.	19,6	3,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	21,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091461_8	FNr. 1029	Halde 1	7	51,9	n.n.	19,0	7,0	1,6	n.n.	5,6	1,6	13,0	0,3	0,1	n.n.	n.n.
MA-091462_6	FNr. 1179	Halde 1	7	47,7	n.n.	8,5	18,3	2,4	n.n.	17,3	1,8	2,6	1,0	0,3	n.n.	n.n.
MA-092821_4	FNr. 2976	Halde 2	7	40,6	0,3	13,2	25,4	n.n.	n.n.	4,0	1,6	13,1	1,3	0,5	n.n.	n.n.
MA-091511_17	FNr. 2267	Halde 2	17	48,6	0,4	7,8	24,0	1,1	0,1	10,7	0,2	3,0	0,4	0,3	3,4	n.n.
MA-091493_10	FNr. 5053	Halde 3	22	63,3	n.n.	18,2	6,1	1,7	n.n.	n.n.	0,9	9,7	0,2	0,1	n.n.	n.n.
MA-091494_8	FNr. 4500	Halde 3	23	45,5	n.n.	14,4	18,5	1,0	0,5	5,7	n.n.	13,9	n.n.	0,2	0,2	n.n.
MA-091471_5	FNr. 3042	Halde 3	2	41,9	n.n.	5,0	29,4	1,7	0,5	17,7	0,4	2,0	0,3	0,3	0,8	n.n.
MA-091479_6	FNr. 4433	Halde 3	9	47,6	n.n.	19,0	15,2	0,4	0,3	1,1	0,2	16,0	n.n.	0,0	0,3	n.n.
MA-091441_6	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	44,4	n.n.	6,6	24,9	1,5	0,3	17,0	0,8	3,0	0,8	0,1	0,7	n.n.

Tab. A.8: EDX-Analysen von Spinellen aus gewählter Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1. Angaben in Gewichtsprozent (n.n. = nicht nachgewiesen).  
 Tab. A.8. EDX analyses of spinel in selected slags from the Copper Smelting Site S1. Values are given in weight percent (n.n. = not detected).

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu	Ni	Sb	As
MA-092830_11	FNr. 981	Rösbett 1	RBI-3	3,7	n.n.	0,6	93,8	0,5	n.n.	0,5	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_12	FNr. 981	Rösbett 1	RBI-3	0,4	n.n.	0,2	94,8	0,3	0,6	0,3	n.n.	0,3	1,3	0,2	1,7	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092830_13	FNr. 981	Rösbett 1	RBI-3	0,2	n.n.	0,7	85,2	12,7	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_9	FNr. 1219	Rösbett 2	21 Pl. 210	1,6	0,8	1,5	94,7	0,1	0,7	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_10	FNr. 1219	Rösbett 2	21 Pl. 210	5,3	n.n.	4,7	85,9	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	0,5	2,1	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092831_11	FNr. 1219	Rösbett 2	21 Pl. 210	0,7	n.n.	0,6	98,3	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-110606_2	FNr. 1609	Unterbau Rösbett 3	42	2,2	0,9	2,5	90,1	0,9	1,2	0,4	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	1,6	n.n.	n.n.	n.n.
MA-110606_3	FNr. 1609	Unterbau Rösbett 3	42	0,5	0,7	0,9	66,3	1,1	4,6	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	25,4	n.n.	n.n.	n.n.
MA-110606_4	FNr. 1609	Unterbau Rösbett 3	42	0,3	n.n.	1,2	85,3	8,2	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,6	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092835_9	FNr. 1144	Rösbett 3	48	0,2	n.n.	0,5	97,3	1,6	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092835_10	FNr. 1144	Rösbett 3	48	0,3	n.n.	0,7	97,0	1,1	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092836_9	FNr. 4162	Rösbett 4	16 (=9?) Pl. 291	0,7	1,5	1,4	95,1	0,1	0,6	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092836_10	FNr. 4162	Rösbett 4	16 (=9?) Pl. 291	0,1	n.n.	0,1	59,8	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	0,0	39,6	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092838_7	FNr. 641	Rösbett 5	2 Pl. 89	0,5	n.n.	1,0	95,1	2,3	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.
MA-092838_8	FNr. 641	Rösbett 5	2 Pl. 89	0,4	0,5	3,3	92,9	2,1	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092838_9	FNr. 641	Rösbett 5	2 Pl. 89	0,1	n.n.	0,0	79,6	19,0	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092838_10	FNr. 641	Rösbett 5	2 Pl. 89	0,3	n.n.	0,9	74,2	3,9	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,1	16,1	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092841_13	FNr. 4409	Rösbett 7	44	0,6	0,8	1,9	95,1	1,0	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092843_7	FNr. 1200	Rösbett 7	58	0,5	0,8	0,9	97,5	0,2	n.n.	0,1	n.n.	0,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092843_8	FNr. 1200	Rösbett 7	58	0,5	0,7	1,4	96,6	0,3	0,4	0,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_8	FNr. 1795	Rösbett 8	15 Pl. 136	4,6	1,3	1,6	90,1	0,6	0,4	1,0	n.n.	0,4	0,0	0,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_9	FNr. 1795	Rösbett 8	15 Pl. 136	0,5	n.n.	0,9	95,5	2,0	0,9	0,1	n.n.	n.n.	n.n.	0,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_10	FNr. 1795	Rösbett 8	15 Pl. 136	0,4	n.n.	0,4	96,5	2,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092845_11	FNr. 1795	Rösbett 8	15 Pl. 136	0,2	n.n.	0,0	77,2	21,2	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092850_9	FNr. 3589	Rösbett 9	26 Pl. 691	5,8	0,2	1,1	88,4	0,3	0,5	0,3	n.n.	n.n.	0,4	0,8	2,2	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092850_10	FNr. 3589	Rösbett 9	26 Pl. 691	0,4	n.n.	0,6	94,9	2,0	0,9	0,2	n.n.	n.n.	0,6	0,1	0,5	n.n.	n.n.	n.n.
MA-101384_2	FNr. 4958	Ofen 1	Westwand	0,9	0,7	1,2	84,8	2,0	2,5	0,6	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	6,5	0,7	n.n.	n.n.
MA-101384_3	FNr. 4958	Ofen 1	Westwand	2,1	0,6	3,4	60,5	3,9	4,5	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	24,2	n.n.	n.n.	n.n.





Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cu	Ni	Sb	As
MA-091511_18	FNr. 2267	Halde 2	17	0,5	0,6	2,2	96,2	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_19	FNr. 2267	Halde 2	17	13,5	n.n.	n.n.	61,3	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	23,0	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_20	FNr. 2267	Halde 2	17	0,0	n.n.	0,2	87,7	11,1	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_21	FNr. 2267	Halde 2	17	0,1	n.n.	0,3	74,5	23,7	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_22	FNr. 2267	Halde 2	17	0,3	n.n.	0,1	87,8	9,6	2,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091511_23	FNr. 2267	Halde 2	17	0,6	n.n.	0,2	98,9	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091513_7	FNr. 1936	Halde 2	22	2,0	0,8	1,4	91,6	2,5	0,9	0,8	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091513_8	FNr. 1936	Halde 2	22	0,4	0,9	2,0	94,6	0,9	0,6	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091513_9	FNr. 1936	Halde 2	22	0,3	n.n.	0,3	89,6	8,5	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091513_10	FNr. 1936	Halde 2	22	0,2	n.n.	0,3	94,6	3,9	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091513_11	FNr. 1936	Halde 2	22	1,4	n.n.	0,2	79,8	16,5	1,4	0,4	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092825_5	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	0,2	n.n.	0,1	84,3	14,3	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092825_6	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	0,3	n.n.	1,1	92,5	5,2	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092825_7	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	0,5	0,5	1,6	96,1	0,7	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-092825_8	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	0,3	n.n.	0,1	98,8	0,2	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_11	FNr. 5053	Halde 3	22	0,3	n.n.	0,9	93,7	4,0	0,8	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091493_12	FNr. 5053	Halde 3	22	0,6	n.n.	0,4	96,9	0,8	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	0,1	0,2	0,9	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091494_9	FNr. 4500	Halde 3	23	2,3	n.n.	0,9	88,9	5,0	0,8	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	0,9	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091494_10	FNr. 4500	Halde 3	23	1,7	n.n.	0,3	82,0	14,3	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	0,6	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091473_8	FNr. 4558	Halde 3	2	0,8	n.n.	0,3	83,5	13,9	1,0	0,5	n.n.	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091479_7	FNr. 4433	Halde 3	9	2,4	0,5	0,7	94,4	0,3	0,4	1,1	n.n.	0,2	0,0	0,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091479_8	FNr. 4433	Halde 3	9	1,7	2,4	3,0	91,1	0,3	0,5	0,7	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091441_7	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	0,3	n.n.	2,0	95,4	1,3	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	n.n.
MA-091441_8	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	0,2	0,8	1,9	92,0	2,2	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	1,9	n.n.	n.n.	n.n.

Tab. A.9: EDX-Analysen von Cu/Fe-Sulfiden und metallischen Kupfereinschlüssen ausgewählter Schlacken und Ofenwandverschlackungen vom Kupferschmelzplatz S1. Angaben in Gewichtsprozent (n.n. = nicht nachgewiesen).

Tab. A.9. EDX analyses of Cu/Fe sulphides and metallic Cu in selected slags and slag lining samples from the Copper Smelting Site S1. Values are given in weight percent (n.n. = not detected).

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	S	Fe	Cu	Sb	O
MA-092830_14	FNr. 981	Röstoffbett 1	RB1-3	22,4	11,9	65,7	n.n.	n.n.
MA-092830_15	FNr. 981	Röstoffbett 1	RB1-3	25,2	14,1	60,7	n.n.	n.n.
MA-092830_16	FNr. 981	Röstoffbett 1	RB1-3	18,3	1,9	79,8	n.n.	n.n.
MA-092830_17	FNr. 981	Röstoffbett 1	RB1-3	18,6	2,8	78,6	n.n.	n.n.
MA-092831_12	FNr. 1219	Röstoffbett 2	21 Pl. 210	18,9	6,5	74,6	n.n.	n.n.
MA-092835_11	FNr. 1144	Röstoffbett 3	48	0,2	5,0	94,9	n.n.	n.n.
MA-092835_12	FNr. 1144	Röstoffbett 3	48	0,2	5,3	94,6	n.n.	n.n.
MA-092835_13	FNr. 1144	Röstoffbett 3	48	19,8	6,2	74,0	n.n.	n.n.
MA-092836_11	FNr. 4162	Röstoffbett 4	16 (=9?) Pl. 291	25,4	1,3	73,2	n.n.	n.n.
MA-092836_12	FNr. 4162	Röstoffbett 4	16 (=9?) Pl. 291	26,6	n.n.	73,4	n.n.	n.n.
MA-092836_13	FNr. 4162	Röstoffbett 4	16 (=9?) Pl. 291	24,1	0,7	75,3	n.n.	n.n.
MA-092836_14	FNr. 4162	Röstoffbett 4	16 (=9?) Pl. 291	n.n.	2,4	94,8	n.n.	2,8
MA-092841_14	FNr. 4409	Röstoffbett 7	44	26,9	17,6	55,5	n.n.	n.n.
MA-092841_15	FNr. 4409	Röstoffbett 7	44	28,2	19,3	52,5	n.n.	n.n.
MA-092841_16	FNr. 4409	Röstoffbett 7	44	28,1	19,0	52,9	n.n.	n.n.
MA-092841_17	FNr. 4409	Röstoffbett 7	44	23,6	6,2	70,2	n.n.	n.n.
MA-092843_9	FNr. 1200	Röstoffbett 7	58	31,7	33,8	34,5	n.n.	n.n.
MA-092843_10	FNr. 1200	Röstoffbett 7	58	31,3	50,1	18,6	n.n.	n.n.
MA-092843_11	FNr. 1200	Röstoffbett 7	58	26,2	55,4	18,4	n.n.	n.n.
MA-092843_12	FNr. 1200	Röstoffbett 7	58	34,9	51,0	14,1	n.n.	n.n.
MA-092843_13	FNr. 1200	Röstoffbett 7	58	26,6	17,8	55,6	n.n.	n.n.
MA-092843_14	FNr. 1200	Röstoffbett 7	58	25,2	14,1	60,6	n.n.	n.n.
MA-092843_15	FNr. 1200	Röstoffbett 7	58	29,5	7,2	63,4	n.n.	n.n.
MA-092845_12	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	25,2	20,4	54,4	n.n.	n.n.
MA-092845_13	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	22,1	16,3	61,6	n.n.	n.n.
MA-092845_14	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	22,2	25,6	52,2	n.n.	n.n.
MA-092845_15	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	n.n.	5,8	90,7	n.n.	3,5
MA-092845_16	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	0,3	4,9	90,8	n.n.	4,0
MA-092845_17	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	n.n.	4,4	92,5	n.n.	3,1
MA-092845_18	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	n.n.	5,1	90,2	n.n.	4,7
MA-092845_19	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	0,4	4,7	91,8	n.n.	3,2
MA-092845_20	FNr. 1795	Röstoffbett 8	15 Pl. 136	n.n.	4,9	92,0	n.n.	3,1
MA-092850_11	FNr. 3589	Röstoffbett 9	26 Pl. 691	31,3	18,0	50,7	n.n.	n.n.
MA-101398_4	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	30,4	n.n.	69,7	n.n.	n.n.
MA-101398_5	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	n.n.	n.n.	100,0	n.n.	n.n.
MA-101398_6	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	n.n.	1,7	96,6	1,7	n.n.
MA-101398_7	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	n.n.	2,2	94,7	3,2	n.n.
MA-101398_8	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	n.n.	2,0	98,0	n.n.	n.n.
MA-101398_9	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	n.n.	2,8	93,6	3,7	n.n.
MA-101398_10	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	n.n.	2,4	94,3	3,3	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	S	Fe	Cu	Sb	O
MA-101398_11	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	n.n.	2,0	95,8	2,1	n.n.
MA-101398_12	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	n.n.	1,6	96,4	2,0	n.n.
MA-101398_13	FNr. 5475	Ofen 2	ältere Phase, Ostwand	25,5	1,9	72,6	n.n.	n.n.
MA-092854_6	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	33,4	36,0	30,6	n.n.	n.n.
MA-092854_7	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	32,2	35,9	31,9	n.n.	n.n.
MA-092854_8	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	29,5	27,8	42,7	n.n.	n.n.
MA-092854_9	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	29,6	25,3	45,1	n.n.	n.n.
MA-092854_10	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	28,8	19,3	51,9	n.n.	n.n.
MA-092854_11	FNr. 1772	Vorplatz Ofen 1/2	12 Pl. 68	29,2	16,5	54,3	n.n.	n.n.
MA-092853_18	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	26,3	17,1	56,6	n.n.	n.n.
MA-092853_19	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	23,8	12,9	63,3	n.n.	n.n.
MA-092853_20	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	25,9	19,3	54,8	n.n.	n.n.
MA-092853_21	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	24,5	17,2	58,3	n.n.	n.n.
MA-092853_22	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	23,8	1,3	74,9	n.n.	n.n.
MA-092853_23	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	23,6	10,3	66,1	n.n.	n.n.
MA-092853_24	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	23,6	10,5	65,9	n.n.	n.n.
MA-092853_25	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	28,3	17,9	53,8	n.n.	n.n.
MA-092853_26	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	0,1	1,8	98,1	n.n.	n.n.
MA-092853_27	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	0,1	1,7	98,2	n.n.	n.n.
MA-113463_6	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	24,2	15,7	60,1	n.n.	n.n.
MA-113463_7	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	30,3	1,4	68,3	n.n.	n.n.
MA-113463_8	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	26,2	10,3	63,6	n.n.	n.n.
MA-113463_9	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	21,1	4,8	74,1	n.n.	n.n.
MA-113463_10	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	20,8	5,6	73,6	n.n.	n.n.
MA-113463_11	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	27,8	4,2	68,0	n.n.	n.n.
MA-113463_12	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	27,7	3,6	68,6	n.n.	n.n.
MA-113463_13	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	30,5	1,9	67,7	n.n.	n.n.
MA-113463_14	FNr. 207	Vorplatz Ofen 1/2	Füllmaterial, Ofen 2	21,7	6,0	72,3	n.n.	n.n.
MA-113469_5	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	n.n.	2,3	94,4	n.n.	3,3
MA-113469_6	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	0,3	2,0	97,7	n.n.	n.n.
MA-113469_7	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	n.n.	2,5	94,5	n.n.	3,1
MA-113469_8	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	n.n.	4,1	89,6	n.n.	6,3
MA-113469_9	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	0,3	1,8	97,9	n.n.	n.n.
MA-113469_10	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	0,2	2,9	97,0	n.n.	n.n.
MA-113469_11	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	0,4	1,7	97,9	n.n.	n.n.
MA-113469_12	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	0,2	1,3	98,5	n.n.	n.n.
MA-113469_13	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	0,2	1,4	98,3	n.n.	n.n.
MA-113469_14	FNr. 1895	Ofen 3	Ostwand	0,2	1,3	98,5	n.n.	n.n.
MA-113471_11	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	18,9	0,5	80,6	n.n.	n.n.
MA-113471_12	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	18,6	2,0	79,3	n.n.	n.n.
MA-113471_13	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	n.n.	2,0	94,7	n.n.	3,3
MA-113471_14	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	n.n.	2,5	93,1	n.n.	4,4
MA-113471_15	FNr. 1792	Ofen 3	Westwand	0,1	2,2	97,7	n.n.	n.n.
MA-101402_8	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	21,7	4,9	73,3	n.n.	n.n.
MA-101402_9	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	20,1	2,3	77,6	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	S	Fe	Cu	Sb	O
MA-101402_10	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	20,9	2,7	76,4	n.n.	n.n.
MA-101402_11	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	21,8	2,7	75,5	n.n.	n.n.
MA-101402_12	FNr. 5064	Ofen 4	Westwand	28,6	10,8	60,7	n.n.	n.n.
MA-101406_5	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	n.n.	100,0	n.n.	n.n.
MA-101406_6	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	3,7	94,1	n.n.	2,2
MA-101406_7	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,0	95,5	n.n.	2,6
MA-101406_8	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	1,6	96,2	n.n.	2,2
MA-101406_9	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,1	95,5	n.n.	2,5
MA-101406_10	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,5	93,5	n.n.	4,0
MA-101406_11	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,8	94,5	n.n.	2,8
MA-101406_12	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	1,6	96,6	n.n.	1,8
MA-101406_13	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,1	95,7	n.n.	2,2
MA-101406_14	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	n.n.	3,5	94,0	n.n.	2,5
MA-101407_7	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,9	92,1	n.n.	5,0
MA-101407_8	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,0	95,2	n.n.	2,8
MA-101407_9	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,6	95,1	n.n.	2,4
MA-101407_10	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,4	95,4	n.n.	2,2
MA-101407_11	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,8	94,5	n.n.	2,8
MA-101407_12	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	3,1	94,6	n.n.	2,3
MA-101407_13	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	3,3	94,0	n.n.	2,7
MA-101407_14	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	2,3	95,4	n.n.	2,2
MA-101407_15	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	3,1	94,6	n.n.	2,3
MA-101407_16	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	n.n.	n.n.	100,0	n.n.	n.n.
MA-092856_9	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	22,9	11,6	65,5	n.n.	n.n.
MA-092856_10a	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	0,1	1,1	96,9	n.n.	n.n.
MA-092856_10b	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	21,4	8,0	70,7	n.n.	n.n.
MA-092856_11	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	25,9	12,5	61,6	n.n.	n.n.
MA-092856_12	FNr. 2965	Vorplatz Ofen 4/5	3 Pl. 358	26,6	18,6	54,8	n.n.	n.n.
MA-092859_12	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	26,1	22,2	51,7	n.n.	n.n.
MA-092859_13	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	27,5	5,3	67,2	n.n.	n.n.
MA-092859_14	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	21,9	10,6	67,4	n.n.	n.n.
MA-092859_15	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	25,4	14,9	59,8	n.n.	n.n.
MA-092859_16	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	28,3	27,1	44,7	n.n.	n.n.
MA-092859_17	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	29,8	34,6	35,6	n.n.	n.n.
MA-092859_18	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	26,7	20,9	52,4	n.n.	n.n.
MA-092859_19	FNr. 4389	Vorplatz Ofen 7/8	28 Pl. 909	25,0	21,8	53,2	n.n.	n.n.
MA-092860_12	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	29,4	23,2	47,4	n.n.	n.n.
MA-092860_13	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	28,8	20,5	50,7	n.n.	n.n.
MA-092860_14	FNr. 3242	Vorplatz Ofen 9/10	16 Pl. 652	28,3	19,2	52,5	n.n.	n.n.
MA-092862_10	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	30,0	18,6	51,5	n.n.	n.n.
MA-092862_11	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	25,0	28,7	46,4	n.n.	n.n.
MA-113467_9	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	23,7	24,8	51,5	n.n.	n.n.
MA-113467_10	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	22,8	16,5	60,6	n.n.	n.n.
MA-113467_11	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	27,6	29,3	43,1	n.n.	n.n.
MA-113472_11	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	24,2	53,5	22,3	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	S	Fe	Cu	Sb	O
MA-113472_12	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	22,3	21,2	56,5	n.n.	n.n.
MA-113472_13	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	24,5	15,1	60,4	n.n.	n.n.
MA-113472_14	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	n.n.	1,9	95,4	n.n.	2,7
MA-113473_9	FNr. 4160	Vorplatz Ofen 11	17	26,9	16,3	56,8	n.n.	n.n.
MA-113470_9	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	18,7	6,6	74,8	n.n.	n.n.
MA-113470_10	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	19,5	6,0	74,5	n.n.	n.n.
MA-113470_11	FNr. 4106	Vorplatz Ofen 11	53	18,9	5,9	75,3	n.n.	n.n.
MA-091447_6	FNr. 595	Halde 1	5	22,9	20,8	56,4	n.n.	n.n.
MA-091447_7	FNr. 595	Halde 1	5	29,3	38,1	32,6	n.n.	n.n.
MA-091447_8	FNr. 595	Halde 1	5	29,5	52,7	17,8	n.n.	n.n.
MA-091452_9	FNr. 558	Halde 1	6	28,6	22,8	48,6	n.n.	n.n.
MA-091452_10	FNr. 558	Halde 1	6	22,3	13,1	64,6	n.n.	n.n.
MA-091452_11	FNr. 558	Halde 1	6	31,4	22,1	46,6	n.n.	n.n.
MA-091455_16	FNr. 650	Halde 1	6	22,1	11,2	65,5	n.n.	n.n.
MA-091455_17	FNr. 650	Halde 1	6	27,4	16,4	56,2	n.n.	n.n.
MA-091462_10	FNr. 1179	Halde 1	7	35,5	16,5	48,1	n.n.	n.n.
MA-091462_11	FNr. 1179	Halde 1	7	36,6	12,3	51,1	n.n.	n.n.
MA-091462_12	FNr. 1179	Halde 1	7	34,5	13,2	52,3	n.n.	n.n.
MA-091462_13	FNr. 1179	Halde 1	7	34,8	12,0	53,3	n.n.	n.n.
MA-091462_14	FNr. 1179	Halde 1	7	33,0	10,3	56,7	n.n.	n.n.
MA-091462_15	FNr. 1179	Halde 1	7	35,9	12,7	51,4	n.n.	n.n.
MA-092821_10	FNr. 2976	Halde 2	7	0,2	1,7	98,1	n.n.	n.n.
MA-092821_11	FNr. 2976	Halde 2	7	20,1	2,6	77,3	n.n.	n.n.
MA-092821_12	FNr. 2976	Halde 2	7	0,1	0,9	99,0	n.n.	n.n.
MA-092821_13	FNr. 2976	Halde 2	7	0,1	0,8	99,1	n.n.	n.n.
MA-092821_14	FNr. 2976	Halde 2	7	0,5	0,9	98,5	n.n.	n.n.
MA-092821_15	FNr. 2976	Halde 2	7	0,1	0,9	99,0	n.n.	n.n.
MA-092821_16	FNr. 2976	Halde 2	7	0,1	3,4	96,5	n.n.	n.n.
MA-092821_17	FNr. 2976	Halde 2	7	19,1	1,9	79,1	n.n.	n.n.
MA-092821_18	FNr. 2976	Halde 2	7	20,9	6,7	72,4	n.n.	n.n.
MA-092821_19	FNr. 2976	Halde 2	7	21,5	10,7	67,7	n.n.	n.n.
MA-092821_20	FNr. 2976	Halde 2	7	0,1	2,6	97,3	n.n.	n.n.
MA-092821_21	FNr. 2976	Halde 2	7	25,3	23,6	51,1	n.n.	n.n.
MA-092821_22	FNr. 2976	Halde 2	7	20,9	6,5	72,7	n.n.	n.n.
MA-091511_24	FNr. 2267	Halde 2	17	28,3	23,5	48,3	n.n.	n.n.
MA-091511_25	FNr. 2267	Halde 2	17	28,8	19,6	51,7	n.n.	n.n.
MA-091511_26	FNr. 2267	Halde 2	17	27,9	19,0	53,1	n.n.	n.n.
MA-091511_27	FNr. 2267	Halde 2	17	21,8	12,7	65,5	n.n.	n.n.
MA-091511_28	FNr. 2267	Halde 2	17	23,1	6,6	70,3	n.n.	n.n.
MA-091513_12	FNr. 1936	Halde 2	22	22,0	8,6	69,5	n.n.	n.n.
MA-091513_13	FNr. 1936	Halde 2	22	24,4	9,8	65,9	n.n.	n.n.
MA-091513_14	FNr. 1936	Halde 2	22	25,0	19,5	55,5	n.n.	n.n.
MA-091513_15	FNr. 1936	Halde 2	22	24,3	12,6	63,1	n.n.	n.n.
MA-091513_16	FNr. 1936	Halde 2	22	24,3	14,1	61,7	n.n.	n.n.
MA-091513_17	FNr. 1936	Halde 2	22	21,3	13,2	65,5	n.n.	n.n.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	S	Fe	Cu	Sb	O
MA-091513_18	FNr. 1936	Halde 2	22	26,4	4,5	69,1	n.n.	n.n.
MA-092825_9	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	24,8	20,4	54,8	n.n.	n.n.
MA-092825_10	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	22,3	18,6	59,1	n.n.	n.n.
MA-092825_11	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	24,9	19,3	55,8	n.n.	n.n.
MA-092825_12	FNr. 3293	Halde 2	21b Pl. 648	28,1	28,4	43,5	n.n.	n.n.
MA-091493_13	FNr. 5053	Halde 3	22	29,2	21,7	49,2	n.n.	n.n.
MA-091493_14	FNr. 5053	Halde 3	22	23,5	9,3	67,2	n.n.	n.n.
MA-091493_15	FNr. 5053	Halde 3	22	31,8	8,2	60,1	n.n.	n.n.
MA-091493_16	FNr. 5053	Halde 3	22	36,2	19,5	44,3	n.n.	n.n.
MA-091496_2	FNr. 4543	Halde 3	24	23,0	3,7	73,4	n.n.	n.n.
MA-091496_3	FNr. 4543	Halde 3	24	23,6	6,4	70,0	n.n.	n.n.
MA-091496_4	FNr. 4543	Halde 3	24	24,7	8,6	66,7	n.n.	n.n.
MA-091496_5	FNr. 4543	Halde 3	24	21,3	4,5	74,3	n.n.	n.n.
MA-091496_6	FNr. 4543	Halde 3	24	23,3	5,4	71,3	n.n.	n.n.
MA-091496_7	FNr. 4543	Halde 3	24	25,3	21,7	53,0	n.n.	n.n.
MA-091496_8	FNr. 4543	Halde 3	24	24,2	24,1	51,8	n.n.	n.n.
MA-091496_9	FNr. 4543	Halde 3	24	28,4	31,3	40,3	n.n.	n.n.
MA-091496_10	FNr. 4543	Halde 3	24	28,8	31,8	39,4	n.n.	n.n.
MA-091471_6	FNr. 3042	Halde 3	2	25,4	4,9	69,7	n.n.	n.n.
MA-091471_7	FNr. 3042	Halde 3	2	19,5	3,6	76,9	n.n.	n.n.
MA-091471_8	FNr. 3042	Halde 3	2	21,1	4,0	74,9	n.n.	n.n.
MA-091471_9	FNr. 3042	Halde 3	2	25,6	2,9	71,5	n.n.	n.n.
MA-091471_10	FNr. 3042	Halde 3	2	28,9	2,6	68,5	n.n.	n.n.
MA-091471_11	FNr. 3042	Halde 3	2	20,0	3,1	77,0	n.n.	n.n.
MA-091471_12	FNr. 3042	Halde 3	2	30,4	6,4	63,2	n.n.	n.n.
MA-091473_9	FNr. 4558	Halde 3	2	22,2	16,0	61,8	n.n.	n.n.
MA-091479_9	FNr. 4433	Halde 3	9	22,1	7,3	70,7	n.n.	n.n.
MA-091479_10	FNr. 4433	Halde 3	9	20,7	6,7	72,6	n.n.	n.n.
MA-091479_11	FNr. 4433	Halde 3	9	22,7	5,3	72,1	n.n.	n.n.
MA-091479_12	FNr. 4433	Halde 3	9	23,7	13,3	63,0	n.n.	n.n.
MA-091441_9	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	29,3	18,5	52,2	n.n.	n.n.
MA-091441_10	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	28,8	19,5	51,7	n.n.	n.n.
MA-091441_11	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	0,7	6,1	93,2	n.n.	n.n.
MA-091441_12	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	0,1	3,3	96,6	n.n.	n.n.
MA-091441_13	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	0,1	2,2	97,7	n.n.	n.n.
MA-091441_14	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	28,6	25,4	46,0	n.n.	n.n.
MA-091441_15	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	27,5	23,2	49,2	n.n.	n.n.
MA-091441_16	FNr. 535	Allgemein	1, Halde 1	31,3	34,0	34,7	n.n.	n.n.

Tab. A.10: EDX-Analysen an ausgewählten Erzproben vom Kupferschmelzplatz S1. Angaben in Gewichtsprozent.

Tab. A.10. EDX analyses of selected ore samples. Values are given in weight percent.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Mineral	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>203</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	BaO	S	Cu	Fe	O
MA-092834_1	FNr. 1335	Unterbau Röstbett 3	42	Erz_pauschal	34,2	0,5	55,6		7,7	2,0			
MA-092834_2	FNr. 1335	Unterbau Röstbett 3	42	Baryt	2,6				79,3	18,2			
MA-092834_3	FNr. 1335	Unterbau Röstbett 3	42	Hämatit								68,8	31,2
MA-092834_4	FNr. 1335	Unterbau Röstbett 3	42	Hämatit								65,8	34,2
MA-092834_5	FNr. 1335	Unterbau Röstbett 3	42	Hämatit								64,8	35,2
MA-091472_1	FNr. 2994	Halde 3	2	Erz_pauschal	53,5	1,3	22,3	0,5		8,5	13,8		
MA-091472_2	FNr. 2994	Halde 3	2	Pyrit						49,7		50,3	
MA-091472_3	FNr. 2994	Halde 3	2	Pyrit						49,4		50,6	
MA-091472_4	FNr. 2994	Halde 3	2	Chalkopyrit						33,3	34,1	32,6	
MA-091472_5	FNr. 2994	Halde 3	2	Chalkopyrit						32,2	35,9	32,0	
MA-091472_6	FNr. 2994	Halde 3	2	Chalkopyrit						33,0	35,5	31,5	
MA-091472_7	FNr. 2994	Halde 3	2	Chalkopyrit						32,5	34,0	33,5	
MA-091467_1	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Erz_pauschal	5,9	0,7	74,1	0,1	15,6	3,5			
MA-091467_2	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Baryt	2,4	1,5			78,7	17,4			
MA-091467_3	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Magnetit								76,0	24,1
MA-091467_4	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Magnetit								76,3	23,8
MA-091467_5	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Magnetit								75,0	25,0
MA-091467_6	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Magnetit								75,0	25,0

Tab. A.11: Chemische Pauschalanalysen mittels ED-RFA der Metallfunde vom Kupferschmelzplatz S1. Angaben in Gewichtsprozent.

Tab. A.11. Bulk composition of metals from the Copper Smelting Site S1. Analysis was performed using ED-XRF. Values are given in weight percent.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Fe	Cu	Co	Zn	Ni	Sb	As	Ag	Sn	Se	Te	Pb	Bi
MA-113458	FNr. 3075	Röstbett 9	1 Pl. 465	3,2	95	0,021	< 0,2	0,299	0,190	0,86	0,006	0,006	< 0,005	< 0,005	< 0,01	< 0,01
MA-113461	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	9,8	89	0,055	< 0,2	0,162	0,246	0,289	0,003	0,013	< 0,005	< 0,005	< 0,01	< 0,01

Tab. A.12: EDX-Analysen an den Metallfunden vom Kupferschmelzplatz S1. Angaben in Gewichtsprozent (n.n. = nicht nachgewiesen).

Tab. A.12. EDX analyses of metals from the Copper Smelting Site S1. Values are given in weight percent (n.n. = not detected).

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Stelle	S	Fe	Cu	Ni	Sb	As	O
MA-113458_1	FNr. 3075	Röstbett 9	1 Pl. 465	Metall	2,0	1,5	90,6	n.n.	n.n.	n.n.	5,8
MA-113458_2	FNr. 3075	Röstbett 9	1 Pl. 465	Metall	n.n.	2,4	95,2	n.n.	1,2	1,1	n.n.
MA-113458_3	FNr. 3075	Röstbett 9	1 Pl. 465	Sulfideinschluss	25,9	18,3	55,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113458_4	FNr. 3075	Röstbett 9	1 Pl. 465	Sulfideinschluss	20,7	4,8	74,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113458_5	FNr. 3075	Röstbett 9	1 Pl. 465	Sulfideinschluss	24,7	14,3	61,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113461_1	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Metall	1,1	2,7	91,4	0,3	1,7	0,7	2,2
MA-113461_2	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Metall	n.n.	2,9	92,2	0,1	0,2	0,2	4,3
MA-113461_3	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Sulfideinschluss	18,5	n.n.	81,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113461_4	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Sulfideinschluss	18,9	0,5	80,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113461_5	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Sulfideinschluss	18,7	n.n.	81,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
MA-113461_6	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Sulfideinschluss	18,0	9,2	72,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Tab. A.13: Spurenelementanalysen mittels NAA an Lehmproben vom Kupferschmelzplatz S1. Angaben in mg/kg (Fe, Na und K in Gewichtsprozent, n.n. = nicht nachgewiesen).

Tab. A.13. Trace element analyses of clay samples from the Copper Smelting Site S1. Values are given in mg/kg (Fe, Na, K in weight percent, n.n. = not detected).

	MA-110598 FNr. 4830 Röstoffbett 7 Schicht 2 Pl. 984	MA-110597 FNr. 4474 Röstoffbett 9 Schicht 1 Pl. 749	MA-110592 FNr. 3656 Röstoffbett 9 Schicht 27 Pl. 691	MA-110596 FNr. 3946 Röstoffbett 9 Schicht 27 Pl. 749	MA-110594 FNr. 3819 Röstoffbett 9 Schicht 27 Pl. 771	MA-110595 FNr. 3847 Röstoffbett 9 Schicht 27 Pl. 771	MA-110593 FNr. 3675 Röstoffbett 9 Schicht 28 Pl. 749	MA-110590 FNr. 3235 Röstoffbett 9 Schicht 34 Pl. 691
Fe	5,8	4,8	5,7	5,9	5,3	5,1	8,0	4,6
Na	0,350	0,320	0,370	0,239	0,314	0,294	0,208	0,156
K	3,9	3,6	4,8	4,3	4,8	4,0	3,0	5,2
Sc	15,0	15,3	12,1	11,7	10,6	11,6	9,9	19,0
Cr	84	81	79	80	81	76	55	109
Co	20,0	14,1	5,6	4,1	5,6	3,3	15,4	2,9
Zn	49	34	20	16	20	15	310	27
As	176	62	241	340	180	212	226	75
Rb	177	172	153	154	140	156	162	198
Zr	130	120	130	130	150	170	118	120
Sb	79	19	27	32	20	40	97	13
Cs	18,6	17,0	17,1	16,0	15,6	14,9	31,0	18,3
Ba	640	520	370	600	1000	470	360	1400
La	50,5	48,9	44,5	44,3	45,7	48,5	19,7	29,5
Ce	101	95	93	86	92	100	53	48
Nd	44	41	45	33	41	50	40	22
Sm	7,4	7,4	7,8	6,6	6,6	7,9	5,9	3,7
Eu	1,35	1,32	1,43	1,21	1,13	1,40	1,32	0,88
Tb	0,88	0,84	0,96	0,76	0,74	0,88	0,68	0,71
Yb	2,9	3,2	2,5	2,7	2,2	2,7	1,9	2,6
Lu	0,41	0,43	0,39	0,36	0,37	0,39	0,30	0,36
Hf	6,3	6,1	5,8	5,5	5,6	6,2	2,7	5,0
Ta	1,6	1,6	1,5	1,5	1,3	1,5	0,9	2,0
Th	16,5	14,5	13,1	13,0	12,8	12,6	7,7	11,0
U	4,7	4,7	3,8	3,2	3,5	3,5	4,3	2,9

		MA-110601 FNr. 4960 Ofen 1 Ofenbrust	MA-110602 FNr. 1583 Ofen 1 Ofenversturz	MA-110603 FNr. 5426 Ofen 2 Ostwand	MA-110604 FNr. 5429 Ofen 2 Ostwand	MA-110605 FNr. 5587 Ofen 2 Ostwand	MA-110600 FNr. 4858 Ofen 4 Westwand	MA-110599 FNr. 4845 Vorplatz Ofen 4/5 Schicht 3 Pl. 320	MA-110591 FNr. 3633 Ofen 10 Schicht 49 Pl. 758
Fe	[Gew.-%]	10,7	3,4	3,3	3,7	3,7	5,2	1,4	4,5
Na		0,191	0,332	0,348	0,105	0,232	0,138	0,345	0,125
K		2,5	5,1	5,1	5,7	4,3	5,1	3,7	3,7
Sc	[mg/kg]	12,7	24,8	23,5	25,7	22,5	24,7	12,7	16,4
Cr		70	122	123	131	112	118	77	84
Co		77,0	18,5	18,2	8,4	25,6	27,1	2,3	18,5
Zn		820	61	56	45	47	100	25	310
As		1200	89	138	128	114	202	39	182
Rb		85	237	231	260	223	220	191	128
Zr		112	160	190	190	220	200	140	150
Sb		1600	53	41	45	18	75	13	20
Cs		9,6	22,5	21,3	28,4	23,1	21,2	15,7	9,6
Ba		900	870	910	1100	1110	850	440	320
La		42,1	67,0	65,0	49,9	72,0	50,6	53,6	46,8
Ce		78	123	121	87	131	107	102	93
Nd		70	60	56	40	60	46	40	50
Sm		10,4	10,4	10,5	9,2	10,5	9,7	7,6	8,1
Eu		2,20	2,18	2,15	2,03	2,24	2,22	1,25	1,50
Tb		1,10	0,69	1,00	0,80	0,84	0,80	0,85	0,93
Yb		2,1	4,2	4,0	3,9	4,0	4,1	3,5	3,4
Lu		0,50	0,61	0,51	0,59	0,55	0,54	0,44	0,49
Hf		4,0	4,9	5,0	5,4	4,9	5,0	7,3	7,0
Ta		1,4	2,0	2,1	2,1	1,9	1,9	1,9	1,5
Th		9,9	18,9	18,9	19,8	17,3	18,1	14,2	15,4
U		4,5	4,0	4,4	4,1	3,9	4,1	4,4	5,0

Tab. A.14: Bleiisotopenverhältnisse von Schlacken, Ofenwandverschickungen, Erzen und Metallen vom Kupferschmelzplatz S1.  
 Tab. A.14. Lead isotope ratios from slags, slag lining samples, ore and metals from the Copper Smelting Site S1.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	Material	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
MA-092831	FNr. 1219	Röstbett 2	21 Pl. 210	Schlackentyp A	2,0295	0,80150	39,825	15,728	19,623
MA-092834	FNr. 1335	Unterbau Röstbett 3	42	Erz	2,0342	0,83071	38,436	15,696	18,895
MA-101431	FNr. 1593	Röstbett 4	11 Pl. 136	Schlackentyp B	2,0761	0,83514	38,989	15,684	18,780
MA-101427	FNr. 1340	Röstbett 7	44	Schlackentyp B	2,0373	0,80334	39,880	15,725	19,575
MA-113458	FNr. 3075	Röstbett 9	1 Pl. 465	Metallfragment	2,0217	0,79937	39,773	15,726	19,673
MA-101396	FNr. 5451	Ofen 2	Ostwand	Schlackenhaut	2,0544	0,81819	39,442	15,708	19,199
MA-092853	FNr. 1570	Vorplatz Ofen 1/2	5 Pl. 281	Schlackentyp A+B	2,0411	0,80796	39,710	15,719	19,455
MA-101406	FNr. 5155	Ofen 5	Westwand	Schlackenhaut	2,0656	0,82385	39,343	15,692	19,047
MA-101407	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	Schlackenhaut	2,0527	0,81759	39,416	15,699	19,202
MA-092862	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp A	2,0423	0,80695	39,800	15,726	19,488
MA-092863	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	Schlackentyp B	2,0509	0,81749	39,412	15,710	19,217
MA-091450	FNr. 1332	Halde 1	5	Schlackentyp A+B	1,9857	0,78151	40,034	15,756	20,161
MA-091501	FNr. 2078	Halde 2	2	Schlackentyp B	2,0410	0,80586	39,834	15,728	19,517
MA-113459	FNr. 2090	Halde 2	5 Pl. 410	Metallnadelfragment	2,0698	0,82930	39,161	15,690	18,920
MA-091472	FNr. 2994	Halde 3	2	Erz	2,0318	0,80553	39,651	15,720	19,515
MA-091473	FNr. 4558	Halde 3	2	Schlackentyp A	2,0603	0,81978	39,473	15,706	19,159
MA-113461	FNr. 3423	Halde 3	2 Pl. 678	Metallfragment	2,0280	0,80272	39,720	15,722	19,586
MA-091467	FNr. 2968	Allgemein	1, Halde 3	Erz	2,0888	0,85150	38,440	15,670	18,403

Tab. A.15: Mößbauer Parameter, Eisenoxidationsstufen und Identifikation der Mineralphasen der untersuchten Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 (<sup>1</sup>Isomerieverschiebung relativ zu  $\alpha$ -Fe bei Raumtemperatur, <sup>2</sup>Quadrupolspaltung ( $\Delta EQ$ ; Dublett Unterspektren) oder Quadrupolverschiebung ( $\epsilon$ ; Sextett Unterspektren), <sup>3</sup>internes Magnetfeld, <sup>4</sup>Linienbreite (in mm/s (Dublett Unterspektren) oder T (Sextette)), <sup>5</sup>Flächenverhältnis (proportional zum Eisengehalt der Mineralphase)).

Tab. A.15. Mößbauer model parameters, Fe oxidation state and mineral phase identification for samples MA-092862 and MA-101407 (<sup>1</sup>isomer shift relative to  $\alpha$ -Fe at room temperature, <sup>2</sup>quadrupole splitting ( $\Delta EQ$ ; doublet subspectra) or quadrupole shift ( $\epsilon$ ; sextet subspectra), <sup>3</sup>internal magnetic field, <sup>4</sup>Gaussian distribution of Voigt-based lineshapes; in mm/s (doublet subspectra) or T (sextets), <sup>5</sup>area ratio; proportional to Fe content in mineral phase).

$\delta 1$ [mm/s]	$\Delta EQ$ or $\epsilon^2$ [mm/s]	$Bhf^3$ [T]	$\sigma^4$ [mm/s or T]	$A^5$ [%]	Fe ox.	Mineral
MA-092830 (FNr. 981, Röstbett 1, Schicht RB1-3)						
0,37	1,05	–	0,3	7,67	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,15	2,81	–	0,1	16,62	Fe <sup>2+</sup>	Olivin
1,17	2,29	–	0,5	54,80	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,26	0,00	49,2	1,0	2,55	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,67	0,00	46,1	1,0	1,49	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
0,40	0,00	22,0	16,6	16,87	Fe <sup>3+</sup>	Eisen-(III)-Oxid
MA-092831 (FNr. 1219, Röstbett 2, Schicht 21 Pl. 210)						
0,48	0,72	–	0,3	20,73	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,16	2,85	–	0,1	6,61	Fe <sup>2+</sup>	Olivin
1,09	2,50	–	0,5	39,26	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,37	-0,10	51,8	0,8	8,12	Fe <sup>3+</sup>	Hämatit
0,26	-0,01	49,0	2,0	6,91	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,67	0,00	46,0	2,0	1,88	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
0,40	0,00	18,3	13,8	16,48	Fe <sup>3+</sup>	Eisen-(III)-Oxid
MA-092836 (FNr. 4162, Röstbett 4, Schicht 16 (=9?) Pl. 291)						
0,48	0,65	–	0,4	19,99	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,17	2,85	–	0,2	12,82	Fe <sup>2+</sup>	Olivin
1,11	2,46	–	0,4	33,29	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,37	-0,10	51,8	0,6	5,69	Fe <sup>3+</sup>	Hämatit
0,26	-0,01	42,8	8,7	13,80	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,67	0,00	46,0	2,4	4,73	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
0,40	0,00	11,1	3,2	9,68	Fe <sup>3+</sup>	Eisen-(III)-Oxid
MA-092843 (FNr. 1200, Röstbett 7, Schicht 58)						
0,32	0,96	–	0,4	11,15	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,17	2,81	–	0,2	23,70	Fe <sup>2+</sup>	Olivin
1,17	2,37	–	0,4	25,60	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,26	-0,01	49,0	0,7	7,85	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,67	0,00	46,0	1,8	12,13	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
0,98	-0,20	17,0	12,9	19,57	Fe <sup>3+</sup>	Eisen-(III)-Oxid

$\delta I$ [mm/s]	$\Delta EQ$ or $\epsilon^2$ [mm/s]	Bhf <sup>3</sup> [T]	$\sigma^4$ [mm/s or T]	A <sup>5</sup> [%]	Fe ox.	Mineral
MA-101393 (FNr. 5509, Ofen 2, Nordwand)						
0,39	1,00	–	0,2	15,16	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,15	2,80	–	0,2	0,53	Fe <sup>2+</sup>	Olivin
1,15	2,00	–	0,2	0,25	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,37	–0,08	51,8	0,8	30,04	Fe <sup>3+</sup>	Hämatit
0,26	0,00	32,2	17,4	35,07	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,56	0,00	45,9	4,4	14,41	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
0,40	0,34	–	0,2	4,54	Fe <sup>3+</sup>	Delafossit
MA-101395 (FNr. 5555, Ofen 2, Nordwand)						
0,38	1,07	–	0,5	23,50	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,20	2,12	–	0,5	28,55	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,37	–0,10	51,8	1,4	9,38	Fe <sup>3+</sup>	Hämatit
0,26	–0,01	48,8	0,9	15,70	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,67	0,00	44,9	3,8	22,96	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
MA-101407 (FNr. 5169, Ofen 5, Westwand)						
0,40	0,80	–	0,3	11,40	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,04	2,75	–	0,2	5,02	Fe <sup>2+</sup>	Olivin
1,14	1,93	–	0,2	7,43	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,37	–0,10	51,8	1,0	5,64	Fe <sup>3+</sup>	Hämatit
0,32	0,01	48,9	0,9	28,00	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,62	0,01	45,1	2,1	42,26	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
0,40	0,33	–	0,2	0,25	Fe <sup>3+</sup>	Delafossit
MA-092862 (FNr. 2863, Vorplatz Ofen 9/10, Schicht 2 Pl. 633)						
0,29	1,14	–	0,4	10,30	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,18	2,82	–	0,1	8,95	Fe <sup>2+</sup>	Olivin
1,18	2,28	–	0,5	57,50	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,37	–0,10	51,8	1,0	3,27	Fe <sup>3+</sup>	Hämatit
0,26	–0,01	49,0	1,0	4,35	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,67	0,00	46,0	1,0	3,56	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
0,40	0,00	13,9	6,5	12,10	Fe <sup>3+</sup>	Eisen-(III)-Oxid
MA-092863 (FNr. 2863, Vorplatz Ofen 9/10, Schicht 2 Pl. 633)						
0,40	0,89	–	0,4	17,34	Fe <sup>3+</sup>	paramagnet. Fe <sup>3+</sup>
1,14	2,75	–	0,3	31,80	Fe <sup>2+</sup>	Olivin
1,20	2,13	–	0,6	33,90	Fe <sup>2+</sup>	Pyroxen
0,26	0,00	49,2	1,0	2,56	Fe <sup>3+</sup>	Magnetit
0,67	0,00	46,1	1,0	0,73	Fe <sup>2,5+</sup>	Magnetit
0,40	0,00	23,6	17,5	13,70	Fe <sup>3+</sup>	Eisen-(III)-Oxid

Tab. A.16:  $Fe^{2+}/Fe_{total}$ -Verhältnisse der untersuchten Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1.Tab. A.16.  $Fe^{2+}/Fe_{total}$  ratios of analysed slags from the Copper Smelting Site S1.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	$Fe^{2+}/Fe_{total}$
MA-092830	FNr. 981	Röstbett 1	RB1-3	0,72
MA-092831	FNr. 1219	Röstbett 2	21 Pl. 210	0,47
MA-092836	FNr. 4162	Röstbett 4	16 (=9?) Pl. 291	0,48
MA-092843	FNr. 1200	Röstbett 7	58	0,55
MA-101393	FNr. 5509	Ofen 2	Nordwand	0,08
MA-101395	FNr. 5555	Ofen 2	Nordwand	0,40
MA-101407	FNr. 5169	Ofen 5	Westwand	0,34
MA-092862	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	0,68
MA-092863	FNr. 2863	Vorplatz Ofen 9/10	2 Pl. 633	0,66

Tab. A.17: Ergebnisse der RFA-Untersuchungen von Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 entsprechend dem Analysenbericht von THALHAMMER/THALHAMMER (2006). Haupt- und Nebenkomponten in Gewichtsprozent, Spuren in mg/kg.

Tab. A.17. Results of XRF analyses of slags from the Copper Smelting Site S1 according to the analytical report of THALHAMMER/THALHAMMER (2006). Major and minor elements are given in weight percent, trace elements are given in mg/kg.

		FNr. 657 Halde 1 Schicht 5	FNr. 694 Halde 1 Schicht 5	FNr. 558 Halde 1 Schicht 6	FNr. 558-A Halde 1 Schicht 6	FNr. 634 Halde 1 Schicht 6	FNr. 650 Halde 1 Schicht 6
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	36,00	42,33	38,37	39,56	33,62	39,99
TiO <sub>2</sub>		0,21	0,20	0,20	0,19	0,22	0,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4,13	3,96	3,85	3,94	3,61	5,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		43,37	39,06	40,92	39,42	45,57	37,92
MgO		2,89	2,70	2,55	2,34	2,43	2,54
MnO		0,58	0,52	0,57	0,52	0,51	0,50
CaO		9,18	7,82	10,23	10,12	10,53	9,55
Na <sub>2</sub> O		0,06	0,10	0,13	0,13	0,07	0,15
K <sub>2</sub> O		0,99	1,16	1,06	1,16	1,11	1,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,66	0,69	0,70	0,65	0,68	0,89
S		0,23	0,27	0,25	0,24	0,38	0,28
Cu		1,08	0,72	0,71	0,79	0,88	0,90
Co	[mg/kg]	203	185	200	222	248	180
Zn		323	284	148	135	135	133
Ni		168	152	108	148	118	112
Sb		825	375	912	889	289	314
Ba		476	390	391	387	402	304
As		520	461	265	282	176	283
V		0	0	0	0	0	63
Y		0	0	0	0	0	0
W		0	0	0	0	0	0
Summe	[Gew.-%]	99,40	99,72	99,80	99,25	99,65	99,72
Glühverlust	[Gew.-%]	1,33	1,18	1,22	1,22	1,30	1,34

		<b>FNr. 650-A Halde 1 Schicht 6</b>	<b>FNr. 696 Halde 1 Schicht 6</b>	<b>FNr. 696-A Halde 1 Schicht 6</b>	<b>FNr. 676 Halde 1 Schicht 7</b>	<b>FNr. 695 Halde 1 Schicht 7</b>	<b>FNr. 863 Halde 1 Schicht 7</b>
SiO <sub>2</sub>	[Gew.-%]	40,05	52,06	48,26	32,85	37,43	41,60
TiO <sub>2</sub>		0,21	0,53	0,54	0,16	0,19	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4,96	6,63	6,12	3,57	3,69	3,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		38,06	26,79	29,99	45,98	41,58	38,16
MgO		2,73	1,71	2,71	2,40	2,43	2,58
MnO		0,50	0,42	0,42	0,47	0,44	0,41
CaO		9,64	7,55	7,51	10,79	11,38	10,86
Na <sub>2</sub> O		0,15	0,18	0,17	0,08	0,11	0,09
K <sub>2</sub> O		1,22	1,85	1,45	1,24	1,09	1,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,76	0,71	0,61	0,67	0,67	0,66
S		0,26	0,16	0,19	0,39	0,25	0,24
Cu		0,44	0,90	0,84	0,97	0,43	0,31
Co	[mg/kg]	195	170	179	256	221	230
Zn		210	206	225	98	138	116
Ni		124	132	139	126	138	128
Sb		386	413	431	123	150	407
Ba		344	411	409	326	341	356
As		288	467	489	161	148	189
V		0	65	67	0	0	0
Y		97	0	0	0	113	0
W		111	120	118	0	100	0
Summe	[Gew.-%]	99,72	99,75	99,06	99,46	99,53	100,20
Glühverlust	[Gew.-%]	1,44	1,32	1,28	1,25	2,00	0,98

Tab. A.18: EMS-Analysen von Olivinen ausgewählter Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 entsprechend dem Analysenbericht von THALHAMMER/THALHAMMER (2006). Angaben in Gewichtsprozent.

Tab. A.18. EMS analyses of olivine in selected slags from the Copper Smelting Site S1 according to the analytical report of THALHAMMER/THALHAMMER (2006). Values are given in weight percent.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Summe
Ol 8/5	FNr. 657	Halde 1	5	35,08	0,03	0,16	45,55	18,30	0,98	1,16	0	101,26
Ol 8/5a	FNr. 657	Halde 1	5	32,19	0,03	0,12	59,20	4,15	1,34	3,71	0	100,74
Ol 8/9	FNr. 657	Halde 1	5	32,23	0,03	0	56,21	9,10	1,29	2,20	0	101,06
Ol 8/4b	FNr. 657	Halde 1	5	32,24	0,03	0	56,98	7,54	1,12	2,79	0	100,70
Ol 12/4a	FNr. 657	Halde 1	5	30,43	0,03	0,20	53,59	12,69	1,05	1,98	0	99,99
Ol 12/4b	FNr. 657	Halde 1	5	31,04	0	0,12	61,08	3,42	1,28	3,34	0,13	100,41
Ol 12/5	FNr. 657	Halde 1	5	32,72	0,06	0	52,01	12,51	1,04	2,81	0	101,15
Ol 6/1a	FNr. 657	Halde 1	5	32,56	0	0	52,42	12,52	0,98	2,19	0	100,67
Ol 6/1b	FNr. 657	Halde 1	5	32,90	0,03	0,08	54,85	9,25	1,10	2,35	0	100,58
Ol 10/1a	FNr. 657	Halde 1	5	30,29	0	0,12	64,18	4,09	0,69	1,08	0,13	100,58
Ol 19/1b	FNr. 657	Halde 1	5	32,37	0,06	0	53,03	11,95	1,02	2,53	0	100,96
Ol 10/4	FNr. 657	Halde 1	5	32,94	0	0	52,58	10,84	1,02	2,58	0,12	100,08
10/4	FNr. 694	Halde 1	5	31,65	0,03	0	52,26	12,15	0,98	2,78	0	99,85
10/6	FNr. 694	Halde 1	5	32,53	0	0	49,18	6,83	0,90	11,15	0,12	100,71
7/1a	FNr. 694	Halde 1	5	33,04	0,03	0,04	53,31	9,57	0,96	3,63	0	100,58
7/1b	FNr. 694	Halde 1	5	31,46	0	0,08	57,71	6,69	1,06	3,24	0	100,24
7/2a	FNr. 694	Halde 1	5	31,56	0,06	0	53,63	11,29	0,98	2,57	0,12	100,21
7/2b	FNr. 694	Halde 1	5	31,27	0,03	0,04	58,87	5,70	1,20	3,35	0	100,46
7/4	FNr. 694	Halde 1	5	32,71	0	0,12	52,11	11,88	0,96	2,29	0	100,07
2/1a	FNr. 694	Halde 1	5	32,92	0	0,08	51,75	12,32	0,91	2,11	0	100,09
2/1b	FNr. 694	Halde 1	5	33,31	0	0	52,64	10,57	1,02	3,05	0	100,59
2/5	FNr. 694	Halde 1	5	31,93	0,06	0,08	55,27	9,67	0,96	2,23	0,25	100,45
5/10	FNr. 694	Halde 1	5	30,89	0	0,08	52,25	7,37	0,77	8,85	0,12	100,33
5/11	FNr. 694	Halde 1	5	31,82	0,03	0,76	53,81	8,17	0,88	4,33	0,12	99,92
5/12	FNr. 694	Halde 1	5	33,90	0,06	0,62	51,18	5,91	0,76	8,03	0	100,46
1/1	FNr. 558	Halde 1	6	33,40	0,03	0,07	43,76	19,66	0,86	2,91	0	100,69
1/2	FNr. 558	Halde 1	6	31,05	0	0,11	60,67	3,83	1,18	3,51	0	100,35

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Summe
1/16	FNr. 558	Halde 1	6	34,77	0	0,11	46,79	16,10	0,90	2,12	0,19	100,98
1/17	FNr. 558	Halde 1	6	31,15	0,03	0	60,82	2,95	1,25	4,54	0	100,77
2/2	FNr. 558	Halde 1	6	33,38	0,03	0,11	47,17	15,37	0,95	2,17	0,86	100,04
2/10	FNr. 558	Halde 1	6	34,64	0	1,21	30,17	31,27	0,65	2,28	0	100,22
2/11	FNr. 558	Halde 1	6	32,72	0,03	0	51,59	13,20	99,00	2,05	0,10	100,68
2/12	FNr. 558	Halde 1	6	33,28	0,05	0,07	51,51	13,05	0,78	1,94	0	100,68
2/3	FNr. 558	Halde 1	6	32,82	0,05	0,07	48,61	15,05	1,05	2,52	0	100,17
4/2	FNr. 558	Halde 1	6	35,11	0	0,07	43,72	18,08	0,92	2,23	0,37	100,50
4/2a	FNr. 558	Halde 1	6	31,86	0,03	0,07	58,90	3,64	1,21	4,94	0,11	100,76
4/5a	FNr. 558	Halde 1	6	34,71	0,03	0,14	46,26	15,69	0,98	2,30	0,10	100,18
4/5b	FNr. 558	Halde 1	6	34,35	0	0	48,59	13,94	1,06	2,52	0,10	100,56
4/5	FNr. 558	Halde 1	6	34,83	0	0,04	46,36	16,06	0,92	2,44	0	100,65
6/1	FNr. 558	Halde 1	6	35,60	0	0	40,58	20,91	0,94	2,60	0	100,63
6/1a	FNr. 558	Halde 1	6	32,94	0	0,14	52,53	9,93	1,06	3,09	0	99,69
7/1	FNr. 558	Halde 1	6	31,25	0	0	63,50	4,96	0,41	0,69	0	100,81
7/2	FNr. 558	Halde 1	6	32,71	0,03	0	50,02	14,55	0,83	2,74	0	100,88
7/7	FNr. 558	Halde 1	6	36,06	0,08	1,28	46,43	9,50	0,84	5,60	0,93	100,72
2/3a	FNr. 634	Halde 1	6	31,85	0	0	52,15	12,97	0,87	2,48	0	100,32
2/3b	FNr. 634	Halde 1	6	31,93	0,05	0,11	55,18	9,93	0,97	2,64	0	100,81
4/4a	FNr. 634	Halde 1	6	31,86	0,08	0	54,22	11,32	0,76	2,28	0	100,52
4/4b	FNr. 634	Halde 1	6	31,82	0	0,04	56,17	7,46	0,85	2,88	0,21	99,43
2/4a	FNr. 634	Halde 1	6	32,46	0	0,04	52,78	12,34	0,85	2,51	0	100,98
2/4b	FNr. 634	Halde 1	6	31,78	0	0	56,10	9,08	0,87	2,41	0	100,24
4/2a	FNr. 634	Halde 1	6	32,37	0	0,04	54,26	10,99	0,91	2,27	0	100,84
4/2b	FNr. 634	Halde 1	6	30,86	0,03	0	60,68	5,86	0,72	1,24	0	99,43
Ol 1/4	FNr. 650	Halde 1	6	35,61	0,03	0	41,96	8,67	0,68	13,11	0,13	100,19
Ol 2/2	FNr. 650	Halde 1	6	35,24	0	0,20	42,30	11,75	0,20	9,80	0	99,49
Ol 2/3	FNr. 650	Halde 1	6	35,28	0,03	0,03	40,80	8,18	0,82	15,55	0	100,69
Ol 3/2	FNr. 650	Halde 1	6	34,30	0,03	0,28	47,60	4,38	0,98	13,11	0	100,68
Ol 7/3	FNr. 650	Halde 1	6	33,66	0,06	0,50	49,24	9,33	0,89	6,06	0	99,77
Ol 5/3a	FNr. 650	Halde 1	6	33,58	0,03	0,25	59,84	0,09	0,35	5,79	0	99,93

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Summe
Ol 5/3b	FNr. 650	Halde 1	6	34,61	0,03	0,07	47,45	2,95	0,84	14,62	0	100,57
Ol 5/4	FNr. 650	Halde 1	6	34,96	0,03	0	44,45	5,15	0,90	14,10	0,13	99,72
Ol 6/3	FNr. 650	Halde 1	6	33,79	0,09	0,23	60,83	0,28	0,83	3,84	0	99,89
7/1	FNr. 696	Halde 1	6	33,22	0	0,28	49,78	8,87	0,88	7,51	0,10	100,64
7/8	FNr. 696	Halde 1	6	31,74	0	0	45,39	2,90	0,80	19,88	0	100,71
3/6	FNr. 696	Halde 1	6	32,80	0	0	47,83	14,45	0,80	4,62	0,10	100,60
9/2	FNr. 696	Halde 1	6	30,29	0,05	0	53,22	11,57	0,86	4,89	0	100,88
9/3	FNr. 696	Halde 1	6	30,84	0	0,17	50,27	1,15	0,96	15,64	0	99,03
4/8	FNr. 696	Halde 1	6	32,26	0	0,04	50,80	12,67	0,78	3,61	0	100,16
4/9	FNr. 696	Halde 1	6	30,45	0	0,17	58,18	2,12	0,95	8,13	0,11	100,11
4/19	FNr. 696	Halde 1	6	30,17	0	0,07	57,60	3,82	1,00	7,78	0,21	100,65
5/7a	FNr. 696	Halde 1	6	33,70	0,03	0	46,38	15,94	0,80	4,03	0	100,88
5/7	FNr. 696	Halde 1	6	32,54	0,03	0,14	53,18	6,87	0,94	6,56	0,10	100,36
10/4	FNr. 696	Halde 1	6	31,17	0	0	61,11	3,78	0,93	3,36	0,11	100,46
1/5a	FNr. 676	Halde 1	7	31,88	0	0	52,16	12,92	1,04	2,82	0	100,82
1/5b	FNr. 676	Halde 1	7	31,93	0,05	0,11	55,18	9,93	0,97	2,64	0	100,81
1/4a	FNr. 676	Halde 1	7	31,86	0,08	0	54,22	11,32	0,76	2,28	0	100,52
1/4b	FNr. 676	Halde 1	7	31,66	0	0,04	56,05	7,56	0,84	2,89	0,21	99,25
2/4a	FNr. 676	Halde 1	7	32,46	0	0,04	52,78	12,34	0,85	2,51	0	100,98
2/4b	FNr. 676	Halde 1	7	31,78	0	0	56,10	9,08	0,87	2,41	0	100,24
3/1b	FNr. 676	Halde 1	7	32,37	0	0,04	54,26	10,99	0,91	2,27	0	100,84
3/1c	FNr. 676	Halde 1	7	30,75	0,03	0	60,79	5,97	0,73	1,18	0	99,45
Ol11/1	FNr. 676	Halde 1	7	30,60	0,06	0	62,36	5,23	0,63	0,56	0	99,44
11/1a	FNr. 676	Halde 1	7	33,19	0	0	55,06	10,80	0,70	1,22	0	100,97
6/2a	FNr. 695	Halde 1	7	31,10	0,03	0,04	56,84	8,88	0,98	2,29	0	100,16
6/2b	FNr. 695	Halde 1	7	32,51	0	0,12	56,12	8,97	1,03	2,21	0	100,96
6/5a	FNr. 695	Halde 1	7	31,87	0,03	0,16	56,49	8,96	0,89	1,94	0	100,34
6/5b	FNr. 695	Halde 1	7	32,08	0,12	0	56,25	8,71	0,99	2,24	0	100,39
6/4	FNr. 695	Halde 1	7	32,08	0,12	0	56,25	8,71	0,99	2,22	0	100,39
5/5	FNr. 695	Halde 1	7	31,75	0,06	0	57,92	8,65	0,89	1,53	0	100,80
5/2a	FNr. 695	Halde 1	7	31,14	0,06	0	57,79	8,92	0,96	1,38	0	100,25

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Summe
5/2b	FNr. 695	Halde 1	7	31,73	0	0,12	56,98	8,47	1,03	2,00	0	100,33
5/3	FNr. 695	Halde 1	7	30,79	0	0	58,43	8,50	1,06	1,50	0	100,28
5/7	FNr. 695	Halde 1	7	30,96	0,03	0,08	58,40	7,84	1,09	1,76	0	100,16
3/2a	FNr. 695	Halde 1	7	32,15	0	0,04	54,02	10,92	1,17	2,10	0	100,40
3/2b	FNr. 695	Halde 1	7	31,72	0	0	55,17	10,41	1,08	1,71	0	100,09
1/1a	FNr. 695	Halde 1	7	31,55	0	0,08	52,26	12,13	0,96	3,18	0	100,16
1/1b	FNr. 695	Halde 1	7	31,89	0	0,04	53,72	12,06	1,05	1,45	0	100,21
1/3	FNr. 695	Halde 1	7	30,95	0	0	59,33	7,77	0,90	1,32	0	100,27
1/4	FNr. 695	Halde 1	7	32,51	0,09	0,64	57,21	5,81	0,92	2,76	0	99,94
1/2	FNr. 863	Halde 1	7	33,95	0	0	54,73	9,41	1,15	1,17	0	100,14
1/4	FNr. 863	Halde 1	7	33,12	0,06	2,19	56,89	4,89	1,13	2,66	0	100,94
3/1	FNr. 863	Halde 1	7	33,33	0,06	0	54,81	9,37	1,12	1,17	0	99,86
3/4a	FNr. 863	Halde 1	7	35,53	0,03	0,14	35,98	26,06	1,01	1,35	0	100,10
3/4b	FNr. 863	Halde 1	7	33,12	0	0,07	50,21	14,46	1,11	1,35	0	100,32
3/2	FNr. 863	Halde 1	7	32,40	0,06	0,73	54,10	8,00	0,73	3,47	0	99,49
6/3	FNr. 863	Halde 1	7	33,32	0,06	2,10	55,00	4,84	1,07	1,57	0	98,90
6/4	FNr. 863	Halde 1	7	35,21	0,06	3,09	51,61	5,99	0,94	2,92	0,13	99,95

Tab. A.19: EDX-Analysen von Pyroxenen ausgewählter Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1 entsprechend dem Analysenbericht von THALHAMMER/THALHAMMER (2006). Angaben in Gewichtsprozent.

Tab. A.19. EDX analyses of pyroxene in selected slags from the Copper Smelting Site S1 according to the analytical report of THALHAMMER/THALHAMMER (2006). Values are given in weight percent.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Summe
CPX 8/2	FNr. 657	Halde 1	5	50,42	0,10	1,34	20,95	7,09	0,31	20,01	0	0,01	100,23
CPX 8/3	FNr. 657	Halde 1	5	50,23	0,03	1,72	22,73	5,45	0,42	19,68	0	0,02	100,28
CPX 8/6a	FNr. 657	Halde 1	5	50,19	0,07	1,83	13,78	9,68	0,35	21,78	0,67	0,02	98,37
CPX 8/6b	FNr. 657	Halde 1	5	50,10	0,10	2,29	12,79	10,8	0,34	22,11	0	0	98,53
CPX 12/3a	FNr. 657	Halde 1	5	49,70	0,07	1,73	20,49	7,26	0,29	20,63	0	0,02	100,19
CPX 12/3b	FNr. 657	Halde 1	5	43,23	0,20	3,42	30,57	0	0,24	21,57	0,10	0,01	99,34
CPX 12/2	FNr. 657	Halde 1	5	49,13	0,13	1,95	21,08	6,41	0,31	21,81	0	0,01	100,83
CPX 6/3	FNr. 657	Halde 1	5	50,11	0,07	1,53	19,42	7,81	0,37	20,14	0	0,01	99,46
CPX 10/3	FNr. 657	Halde 1	5	50,68	0,10	0,97	19,58	7,01	0,35	21,84	0	0,03	100,56
CPX 10/5	FNr. 657	Halde 1	5	49,64	0,07	0,83	20,21	6,90	0,43	20,94	0	0	99,02
10/1	FNr. 694	Halde 1	5	47,62	0,24	3,56	23,17	4,62	0,28	20,68	0,18	0,02	100,37
10/5	FNr. 694	Halde 1	5	47,57	0,20	3,44	25,21	3,27	0,20	20,06	0,09	0,03	100,07
10/3	FNr. 694	Halde 1	5	46,76	0,24	3,67	23,70	4,29	0,31	20,94	0,19	0	100,10
7/3	FNr. 694	Halde 1	5	48,04	0,26	3,10	25,88	3,73	0,26	19,26	0,09	0,01	100,60
7/3a	FNr. 694	Halde 1	5	50,19	0,13	1,77	21,31	6,56	0,37	19,81	0	0,01	100,15
2/3	FNr. 694	Halde 1	5	50,11	0,10	1,53	21,57	6,02	0,28	20,16	0	0,02	99,79
2/4	FNr. 694	Halde 1	5	49,56	0,17	1,49	20,07	7,36	0,35	20,89	0	0,04	99,93
5/13	FNr. 694	Halde 1	5	44,04	0,36	5,14	31,87	1,09	0,26	17,32	0	0,67	100,75
1/3	FNr. 558	Halde 1	6	46,85	0,09	2,41	23,44	3,83	0,33	22,15	0,08	0,02	99,20
1/3a	FNr. 558	Halde 1	6	46,07	0,12	2,17	25,31	3,38	0,38	22,08	0	0,02	99,53
1/4	FNr. 558	Halde 1	6	47,90	0,09	2,33	22,41	4,96	0,33	22,03	0	0	100,05
1/7	FNr. 558	Halde 1	6	50,05	0,12	0,08	22,72	6,73	0,38	19,20	0,15	0,02	100,14
1/6	FNr. 558	Halde 1	6	50,15	0	1,12	22,23	7,06	0,38	19,99	0	0,05	100,98
2/1	FNr. 558	Halde 1	6	49,71	0,06	0,72	12,07	12,34	0,50	21,83	1,53	0,18	98,94
2/1a	FNr. 558	Halde 1	6	52,94	0,03	0,84	12,91	12,64	0,26	19,54	0,13	0,03	99,32
2/5	FNr. 558	Halde 1	6	48,58	0,06	2,51	23,92	4,19	0,26	21,06	0,15	0	100,73
4/1a	FNr. 558	Halde 1	6	47,07	0,09	2,71	22,93	4,17	0,36	23,50	0	0,01	100,84

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Summe
4/6	FNr. 558	Halde 1	6	47,93	0,12	2,42	22,02	3,94	0,31	23,36	0	0	100,10
6/2	FNr. 558	Halde 1	6	45,71	0,15	3,13	26,51	1,72	0,32	21,67	0	0,01	99,22
6/2a	FNr. 558	Halde 1	6	45,35	0,21	3,16	27,12	1,67	0,31	23,10	0	0	100,92
7/3	FNr. 558	Halde 1	6	44,61	0,15	2,93	27,59	1,39	0,36	23,16	0	0,02	100,21
CPX 2/2	FNr. 634	Halde 1	6	49,53	0,22	3,25	20,13	6,68	0,26	20,24	0	0	100,31
CPX 2/3	FNr. 634	Halde 1	6	50,01	0,15	3,65	19,01	7,49	0,27	20,18	0	0	100,76
CPX 4/1	FNr. 634	Halde 1	6	49,75	0,16	3,35	19,78	6,36	0,20	20,68	0,10	0	100,36
CPX 4/3	FNr. 634	Halde 1	6	50,38	0,10	3,21	17,43	7,61	0,20	21,32	0	0,01	100,26
CPX 4/4	FNr. 634	Halde 1	6	51,82	0,14	3,00	16,96	7,97	0,26	20,75	0	0,01	100,91
CPX 4/5	FNr. 634	Halde 1	6	51,19	0,14	2,86	17,47	8,28	0,24	19,95	0,20	0,02	100,35
CPX 4/6	FNr. 634	Halde 1	6	49,22	0,10	3,22	23,84	3,06	0,31	20,17	0	0,01	99,93
CPX 1/2	FNr. 650	Halde 1	6	49,03	0,24	3,75	20,43	6,57	0,26	20,15	0	0	100,43
CPX 1/3	FNr. 650	Halde 1	6	50,11	0,14	3,56	18,81	7,71	0,28	20,10	0	0	100,71
CPX 2/1	FNr. 650	Halde 1	6	49,75	0,16	3,35	19,78	6,36	0,20	20,68	0,10	0	100,36
CPX 3/3	FNr. 650	Halde 1	6	50,33	0,10	3,25	17,52	7,59	0,20	21,35	0,10	0,02	100,46
CPX 3/4	FNr. 650	Halde 1	6	51,82	0,14	3,00	16,96	7,97	0,26	20,75	0	0,01	100,91
CPX 3/5	FNr. 650	Halde 1	6	51,28	0,14	2,83	17,52	8,16	0,24	19,98	0,20	0,02	100,37
CPX 3/5a	FNr. 650	Halde 1	6	49,15	0,1	3,04	23,90	2,94	0,31	20,18	0	0,01	99,63
1/4	FNr. 696	Halde 1	6	48,34	0,12	2,16	20,18	7,04	0,31	22,28	0	0,01	100,44
1/1	FNr. 696	Halde 1	6	49,73	0,12	1,24	17,02	7,62	0,24	24,23	0	0,03	100,23
7/9	FNr. 696	Halde 1	6	48,26	0,09	1,13	199,48	6,66	0,29	23,12	0	0,01	99,04
7/2	FNr. 696	Halde 1	6	48,21	0,24	2,08	20,17	5,50	0,31	23,23	0	0	99,74
7/2a	FNr. 696	Halde 1	6	45,87	0,24	3,09	20,53	6,31	0,33	23,59	0	0,02	99,98
7/3	FNr. 696	Halde 1	6	48,96	0,09	1,88	18,41	6,88	0,28	24,50	0	0,04	101,04
3/5	FNr. 696	Halde 1	6	45,21	0,18	2,88	25,46	2,05	0,22	23,20	0,08	0	99,28
3/8	FNr. 696	Halde 1	6	48,76	0,12	1,33	17,07	8,48	0,23	23,13	0,14	0,02	99,28
3/9	FNr. 696	Halde 1	6	43,59	0,24	3,40	29,14	0	0,27	22,85	0	0,06	99,55
9/6	FNr. 696	Halde 1	6	47,27	0,18	2,13	20,79	5,52	0,26	23,42	0	0,02	99,59
4/1	FNr. 696	Halde 1	6	48,73	0,15	1,76	20,97	6,59	0,28	21,50	0,15	0,01	100,14
4/10	FNr. 696	Halde 1	6	47,54	0,15	2,05	21,72	5,98	0,31	23,09	0	0	100,84
5/8	FNr. 696	Halde 1	6	49,49	0,09	1,21	21,49	7,03	0,31	20,70	0,15	0,01	100,48

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Summe
5/6	FNr. 696	Halde 1	6	47,57	0,24	2,27	21,27	5,38	0,33	23,87	0	0	100,93
10/1	FNr. 696	Halde 1	6	49,30	0,03	1,45	18,44	7,62	0,26	23,55	0	0,02	100,67
10/2	FNr. 696	Halde 1	6	48,47	0,18	1,83	21,06	7,33	0,26	21,21	0	0,002	100,35
CPX1/6	FNr. 676	Halde 1	7	48,45	0,06	1,10	22,48	5,62	0,28	21,44	0	0,02	99,45
CPX2/2	FNr. 676	Halde 1	7	51,16	0	1,35	11,05	11,84	0,30	23,29	0	0,01	99,00
CPX2/3	FNr. 676	Halde 1	7	52,15	0,06	1,40	10,40	12,13	0,28	24,06	0,07	0	100,55
CPX11/2	FNr. 676	Halde 1	7	44,65	0,25	3,10	29,93	1,21	0,38	20,45	0	0,04	100,01
CPX11/3	FNr. 676	Halde 1	7	44,96	0,26	3,28	29,01	0,97	0,29	20,62	0	0,02	99,41
CPX11/4	FNr. 676	Halde 1	7	46,56	0,23	4,21	29,20	0	0,24	18,69	0	0,46	99,59
CPX 7/2a	FNr. 676	Halde 1	7	51,39	0,17	2,19	15,77	8,14	0,15	21,27	0	0,03	99,11
CPX 7/2b	FNr. 676	Halde 1	7	46,62	0,30	3,66	29,19	0,56	0,48	20,10	0	0,05	100,96
CPX 5/2	FNr. 676	Halde 1	7	52,86	0,07	2,15	15,29	8,89	0,22	20,94	0	0,02	100,44
CPX 5/1a	FNr. 676	Halde 1	7	51,63	0,13	1,38	16,78	6,93	0,22	21,98	0	0	99,05
CPX 5/1b	FNr. 676	Halde 1	7	51,69	0,03	1,34	14,72	9,42	0,26	21,16	0	0	98,62
CPX 5/1c	FNr. 676	Halde 1	7	46,77	0,30	4,38	27,34	2,03	0,24	19,09	0	0,02	100,17
CPX 6/2	FNr. 676	Halde 1	7	51,01	0,10	1,86	22,60	5,85	0,24	19,40	0	0,01	101,07
6/2c	FNr. 695	Halde 1	7	39,88	0,13	4,45	34,37	0	0,35	16,93	0,21	2,16	98,48
6/2d	FNr. 695	Halde 1	7	46,39	0,33	5,58	27,71	0	0,29	16,72	0,19	1,17	98,08
6/6	FNr. 695	Halde 1	7	44,68	0,30	5,29	27,76	0	0,29	18,59	0	1,17	98,08
5/4	FNr. 695	Halde 1	7	46,37	0,30	4,54	29,75	0,03	0,29	17,95	0	1,08	100,31
3/3	FNr. 695	Halde 1	7	45,31	0,30	4,13	29,64	0,20	0,29	19,13	0	1,11	100,11
3/4	FNr. 695	Halde 1	7	45,68	0,30	4,16	29,60	0	0,29	19,74	0	0,96	100,73
1/1c	FNr. 695	Halde 1	7	40,85	0	0,85	48,04	3,10	0,89	5,57	0	0,03	99,33
1/2	FNr. 695	Halde 1	7	45,40	0,20	3,27	31,13	1,11	0,46	18,72	0	0,40	100,69
1/5	FNr. 695	Halde 1	7	45,95	0,20	4,85	29,87	0	0,33	18,03	0	1,16	100,39

Tab. A.20: EDX-Analysen von Cu/Fe-Sulfiden und metallischen Kupfereinschlüssen ausgewählter Schlacken und Ofenwandverschlackungen vom Kupferschmelzplatz S1 entsprechend dem Analysenbericht von THALHAMMER/THALHAMMER (2006). Angaben in Gewichtsprozent.

Tab. A.20. EDX analyses of Cu/Fe sulphides and metallic Cu in selected slags and slag lining samples from the Copper Smelting Site S1 according to the analytical report of THALHAMMER/THALHAMMER (2006). Values are given in weight percent.

Probennr.	Fundnr.	Objekt	Schicht	S	Fe	Cu	Ni	Summe
694-9-12	FNr. 694	Halde 1	5	28,56	20,11	51,29	0,12	100,08
694-9-13	FNr. 694	Halde 1	5	33,34	40,83	25,99	0,76	100,92
558-7-10	FNr. 558	Halde 1	6	33,23	24,65	41,66	0,12	99,66
558-7-11	FNr. 558	Halde 1	6	30,85	16,87	51,80	0,18	99,70
558-6-12	FNr. 558	Halde 1	6	31,59	15,97	50,89	0,06	98,51
863-4-10	FNr. 863	Halde 1	7	24,81	25,70	48,49	0	99,00
863-4-11	FNr. 863	Halde 1	7	25,62	25,88	48,21	0,18	99,89
863-4-12	FNr. 863	Halde 1	7	32,04	63,30	5,04	0	100,38
863-4-13	FNr. 863	Halde 1	7	30,98	54,68	15,09	0,13	100,88
863-20	FNr. 863	Halde 1	7	27,43	28,15	43,21	0,41	99,20
863-22	FNr. 863	Halde 1	7	29,25	24,43	42,33	2,30	98,31
676-12-10	FNr. 676	Halde 1	7	29,30	18,20	53,21	0,17	100,88
676-12-11	FNr. 676	Halde 1	7	35,43	63,65	0,70	0,62	100,40
676-12-12	FNr. 676	Halde 1	7	34,25	62,63	2,97	0,65	100,50
676-12-13	FNr. 676	Halde 1	7	29,57	18,52	51,87	0,12	100,08
676-6-10	FNr. 676	Halde 1	7	22,21	2,94	75,14	0	100,29
676-6-11	FNr. 676	Halde 1	7	28,81	15,39	55,68	0,49	100,37
676-6-12	FNr. 676	Halde 1	7	29,59	16,47	54,22	0,18	100,46
676-6-12	FNr. 676	Halde 1	7	27,69	15,18	56,43	0,24	99,54
676-6-13	FNr. 676	Halde 1	7	28,62	13,86	55,78	1,21	99,47
676-6-14	FNr. 676	Halde 1	7	34,77	63,10	2,07	0,72	100,66
676-6-15	FNr. 676	Halde 1	7	27,80	15,20	56,56	0,37	99,93
676-4-11	FNr. 676	Halde 1	7	32,77	0,75	65,70	0,24	99,46
676-4-12	FNr. 676	Halde 1	7	32,49	1,75	64,84	0	99,08
676-4-13	FNr. 676	Halde 1	7	32,28	3,66	64,02	0,85	100,81

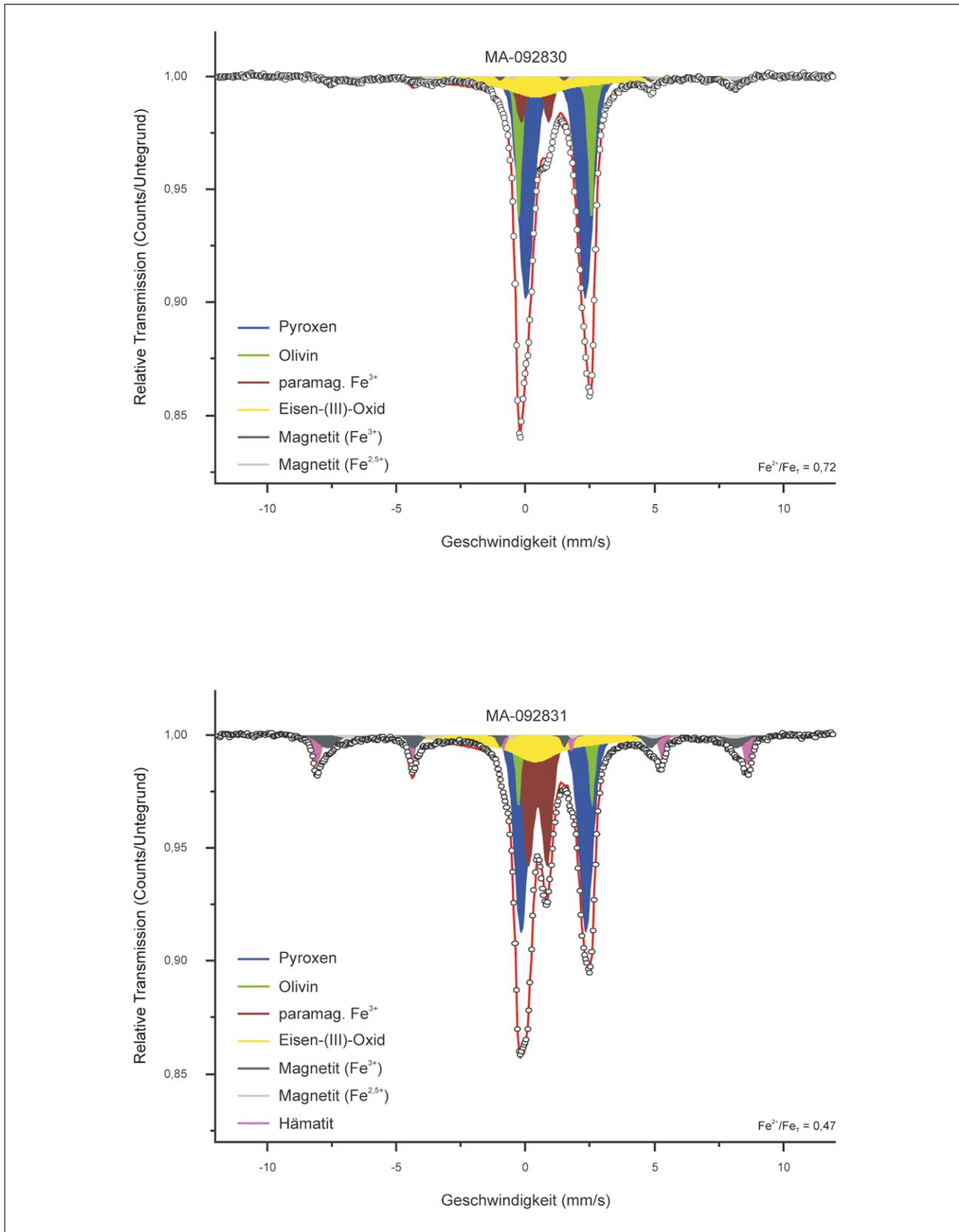


Abb. A.1: Mößbauer-Spektren der untersuchten Schlacken aus Röstbett 1 (oben) und 2 (unten) vom Kupfer-schmelzplatz S1.

Grafiken: Steffen Kraus

Fig. A.1. Mößbauer-spectra of slags from roasting hearth 1 (top) and 2 (bottom) from the Copper Smelting Site S1.

Graphics: Steffen Kraus

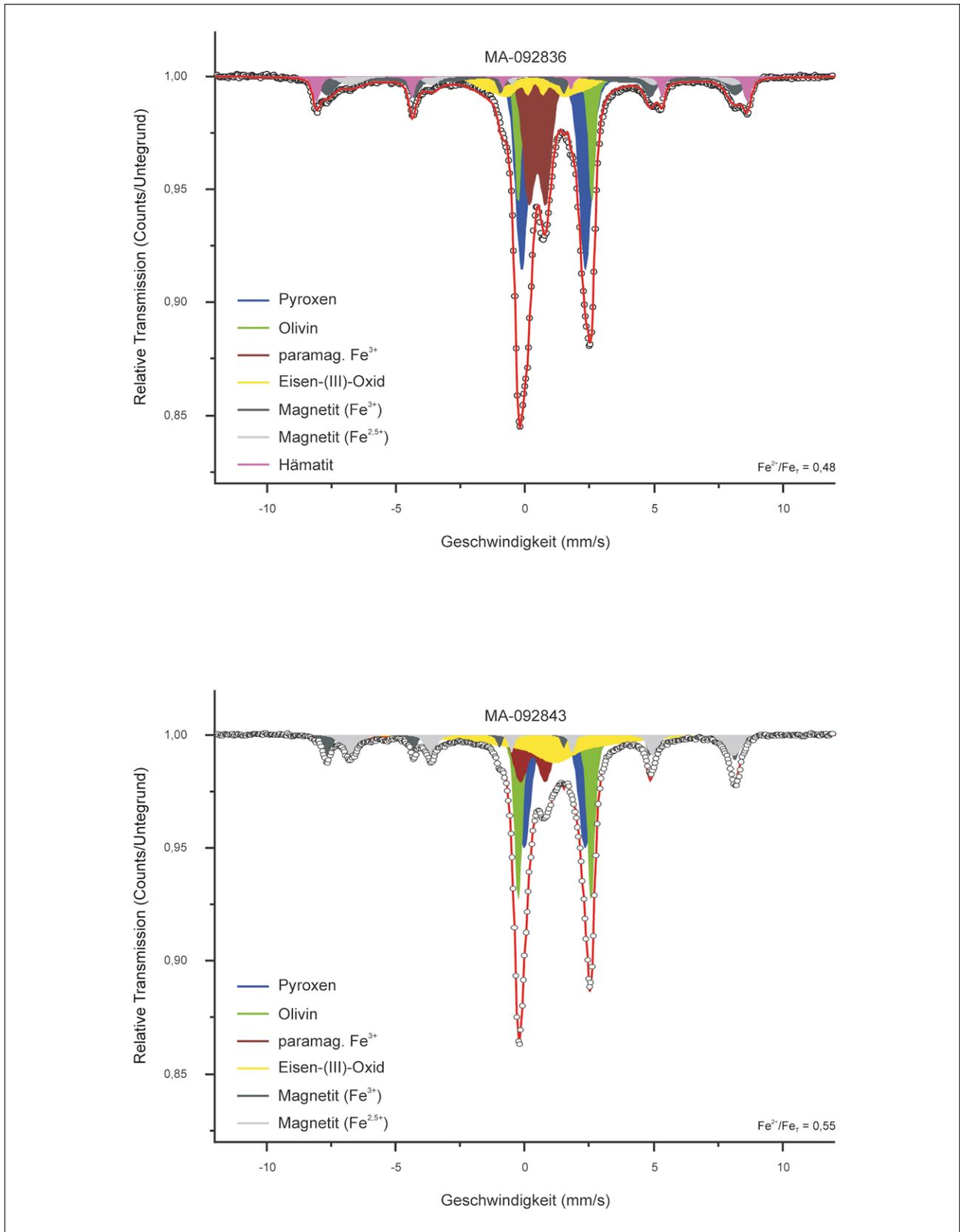


Abb. A.2: Mößbauer-Spektren der untersuchten Schlacken aus Röstbett 4 (oben) und 7 (unten) vom Kupferschmelzplatz S1.

Grafiken: Steffen Kraus

Fig. A.2. Mößbauer-spectra of slags from roasting hearth 4 (top) and 7 (bottom) from the Copper Smelting Site S1.

Graphics: Steffen Kraus

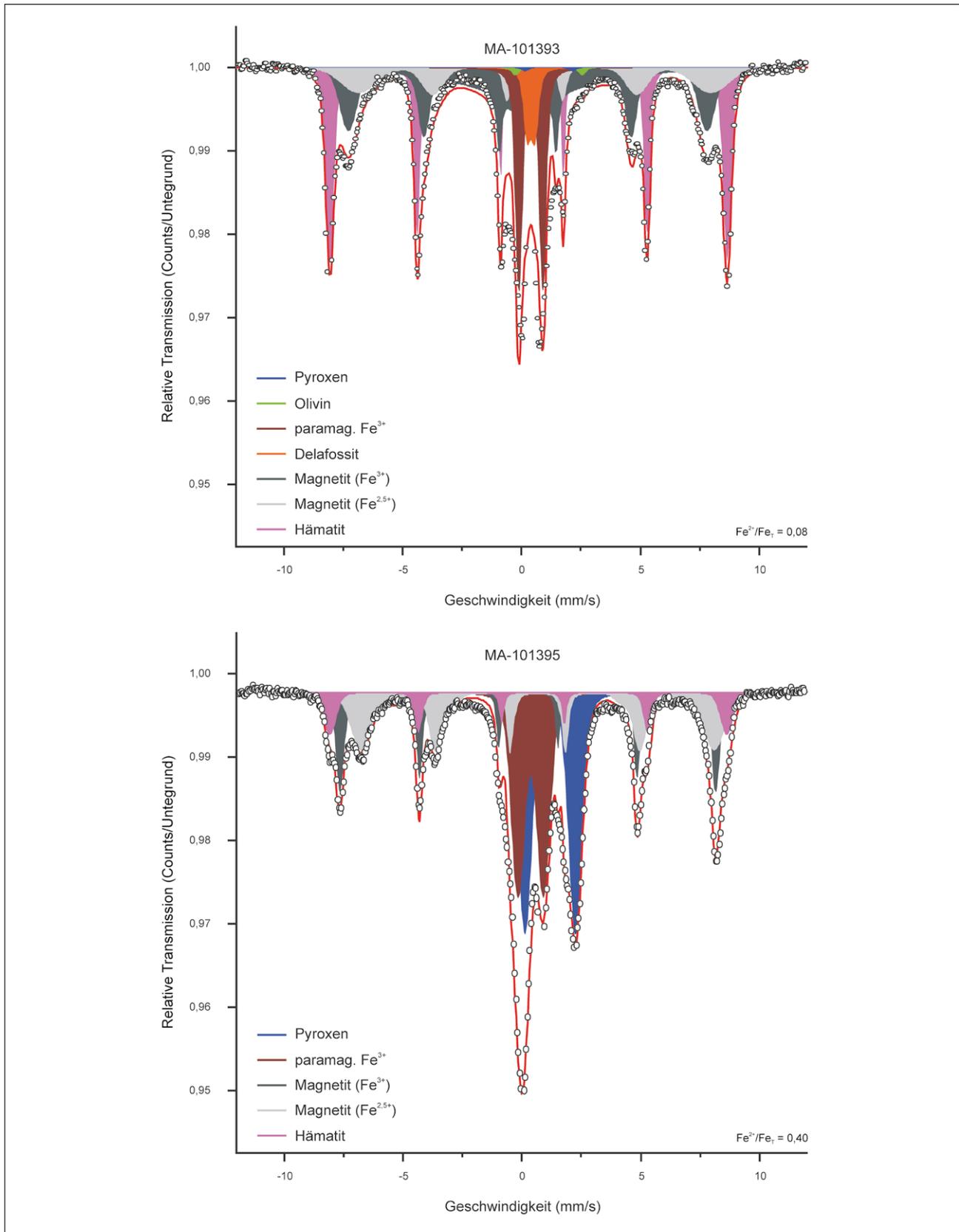


Abb. A.3: Mößbauer-Spektren der untersuchten Ofenwandverschlackungen aus Schmelzofen 2 vom Kupfer-schmelzplatz S1.

Grafiken: Steffen Kraus

Fig. A.3. Mößbauer-spectra of slag lining samples from furnace 2 from the Copper Smelting Site S1.

Graphics: Steffen Kraus

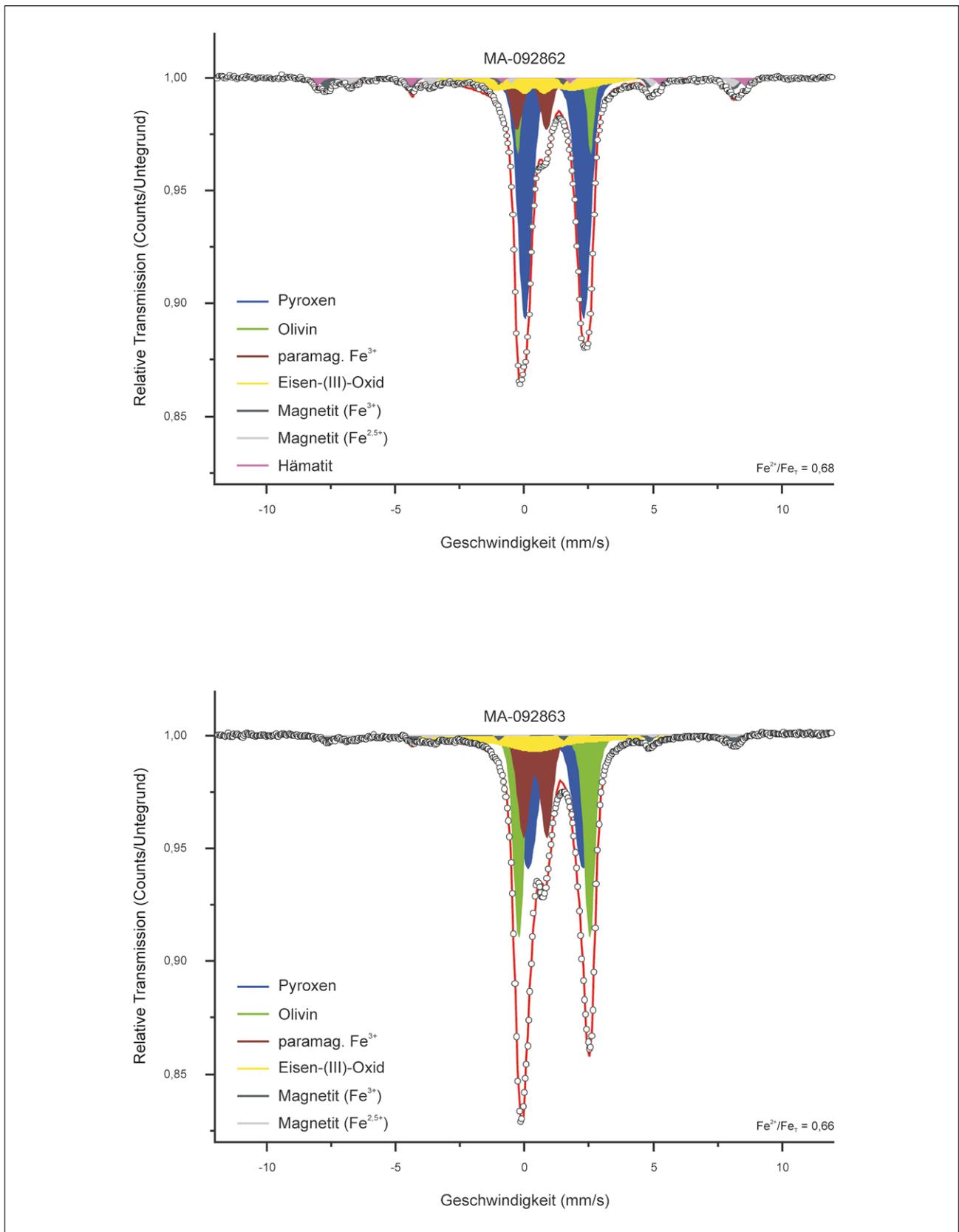


Abb. A.4: Mößbauer-Spektren der untersuchten Schlacken vom Vorplatz der Doppelofenanlage 9/10 vom Kupferschmelzplatz S1.

Grafiken: Steffen Kraus

Fig. A.4. Mößbauer-spectra of slags from the area in front of the double furnace 9/10 from the Copper Smelting Site. S1

Graphics: Steffen Kraus

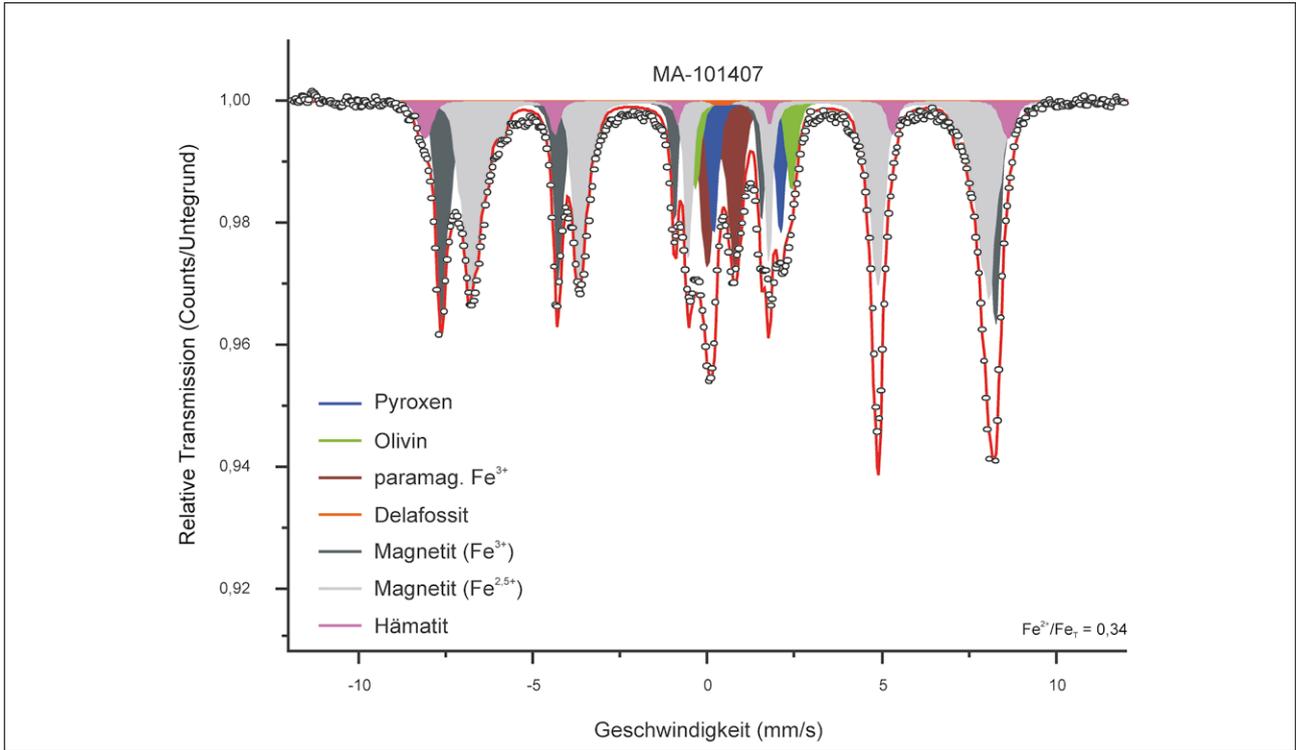


Abb. A.5: Mößbauer-Spektrum der untersuchten Ofenwandverschlackung aus Schmelzofen 5 vom Kupfer-schmelzplatz S1.

Grafiken: Steffen Kraus

Fig. A.5. Mößbauer-spectrum of a slag lining sample from furnace 5 from the Copper Smelting Site S1.

Graphics: Steffen Kraus

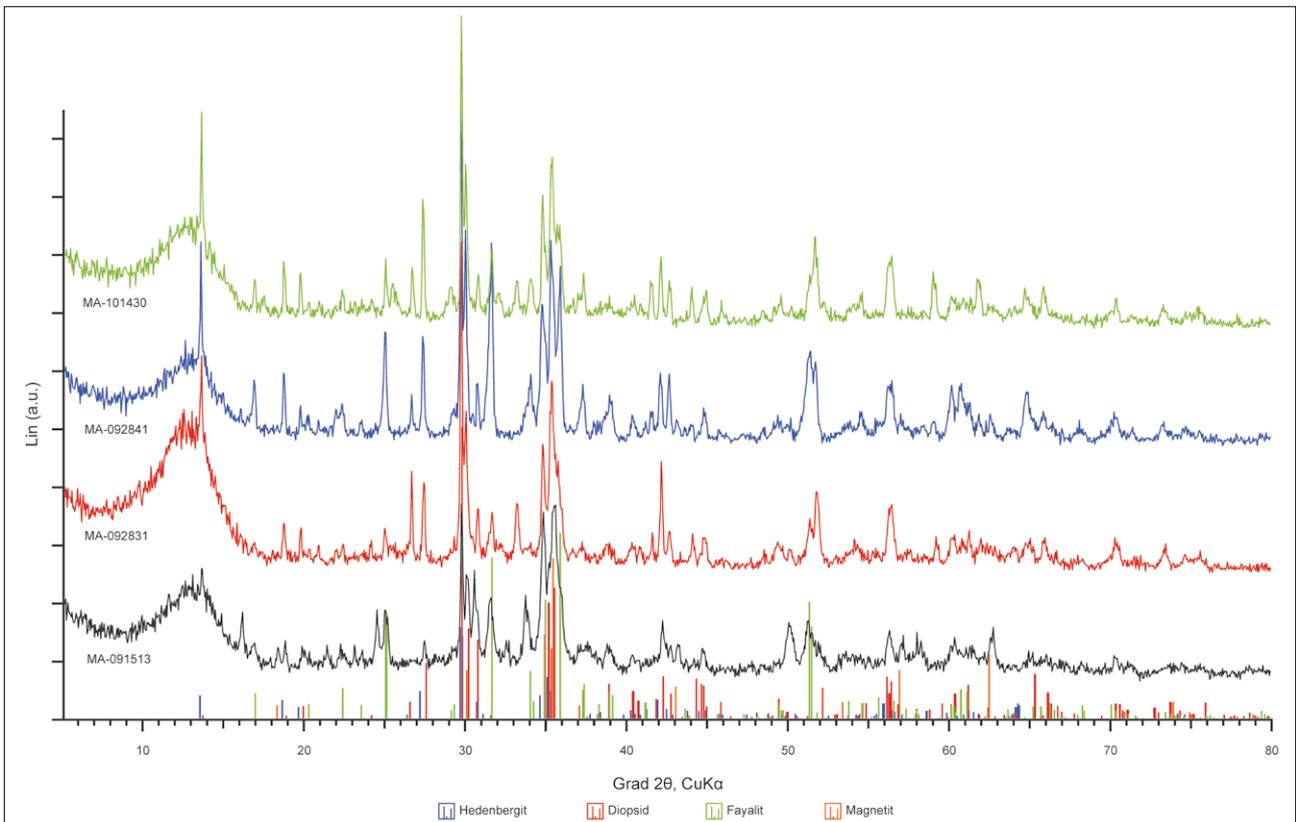


Abb. A.6: Röntgendiffraktogramme der untersuchten Schlacken vom Kupferschmelzplatz S1.

Grafiken: Steffen Kraus

Fig. A.6. X-ray diffractograms of the analysed slags from the Copper Smelting Site S1.

Graphics: Steffen Kraus

Mona ABD EL KAREM und Erich PUCHER

## 7 Die Tierknochen vom Kupferschmelzplatz S1

### 7.1 Einleitung

In den Jahren von 1992 bis 2006 fanden unter der Leitung von Frau Dr. Susanne Klemm, Prähistorische Kommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, montanarchäologische Ausgrabungen in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark) statt. Im Rahmen des FWF-Projektes P21242-G19 zur Konstruktion der bronzezeitlichen Kupferhütte im ostalpinen Raum wurde der am Talschluss gelegene Kupferschmelzplatz S1, FP 60104.001<sup>1</sup>, interdisziplinär untersucht. Dieser war während der mittleren Bronzezeit in Verwendung und zählt mit

seinen sechs Doppelofenanlagen, zehn Röstbetten, drei Halden und mehreren Gruben zu den größten und komplexesten Verhüttungsplätzen in den Ostalpen.

Die Freilegung der Fundstelle brachte auch eine überschaubare Menge an Tierknochen hervor, die die Grabungs- und Projektleiterin 2009 zur Untersuchung an die Archäologisch-Zoologische Sammlung des Naturhistorischen Museums Wien übergab und Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist.

### 7.2 Das archäozoologische Fundmaterial und seine Beschaffenheit

Ungeachtet geringfügiger Störungen durch eine im Mittelalter angelegte Meilergrube im Südosten des Areals, sind sämtliche Proben an tierischen Überresten vom Kupferschmelzplatz S1 zweifelsohne in die Bronzezeit zu datieren. Zwar liegt der chronologische Schwerpunkt der Fundstelle in der Mittelbronzezeit (Bz C), doch ist aufgrund einzelner Datierungsergebnisse auch eine Nutzung während Bz B und Bz D nicht auszuschließen.

Die Probennahme erfolgte von 1992 bis 1996 durch Trockensiebung mit einer Maschenweite von 4 mm. Dies betrifft insbesondere Halde 1 und die oberflächlichen Schichten im nordwestlichsten Teil des Fundplatzes, nämlich die Röstbetten 1 bis 3 sowie die Gruben und teilweise auch die Öfen 1 und 2. Erst ab 1997 wurde das Material durch konsequentes Schlämmen gewonnen. Ab 2003 kamen schließlich Siebe mit einer Maschenweite von 2 mm zum Einsatz. Trotz der akribischen Vorgehensweise bei der Freilegung des Schmelzplatzes S1, konnte nur ein verhältnismäßig kleines Knochenkonvolut der archäozoologischen Begutachtung zugeführt werden. Über die diversen archäologischen Strukturen verteilt, lieferten die Grabungen auf dem Ver-

hüttungsplatz 654 g an verbrannten und calcinierten Tierknochen und -zähnen. Dem Fundgewicht nach zu urteilen traten diese besonders gehäuft in Halde 2 (237 g), in geringerem Ausmaß auch in Grube 1 (101 g), Grube 17 (83 g) und Ofen 9/10 (50 g) auf (Tab. 7.1). Aufgrund der Anwendung unterschiedlicher Methoden in der Gewinnung der Proben während der Ausgrabung können jedoch keine uneingeschränkten Vergleiche zwischen den verschiedenen Objekten hinsichtlich der Quantität und Zusammensetzung des Tierknochenmaterials angestellt werden.

Die tierischen Überreste liegen allesamt in höchstfragmentiertem Zustand vor, wie das geringe Fundgewicht im Verhältnis zu der großen Zahl an Funden erkennen lässt. So beträgt das durchschnittliche Fragmentgewicht der etwas mehr als 200 anatomisch bestimmbareren Knochen und Zähne nur etwa 0,5 g. Nicht nur der bruchstückhafte Charakter des Fundkomplexes, sondern auch die Oberflächenbeschaffenheit und die Struktur der Knochen selbst unterstreichen den äußerst schlechten Erhaltungszustand der tierischen Überreste aus dem Schmelzplatz S1.

<sup>1</sup> KLEMM 2003, 96f.

Tab. 7.1: Fundverteilung der Tierknochen, Kupferschmelzplatz S1.

Tab. 7.1. Distribution of animal bones, Copper Smelting Site S1.

Objekt / Schicht	Fundgewicht (in g) unbestimmter Knochen	Fundgewicht (in g) bestimmter Knochen	Gesamtgewicht (in g)
Sonstiges	28,15	1,00	29,15
HK-Schicht nördlich Röstbett 9	5,05	1,90	6,95
Aufschüttung über Röstbett 7	2,15	2,10	4,25
Steinlage zwischen RB 1 und Grube 1	1,80	0,05	1,85
Röstbett 1	7,85	0,45	8,30
Röstbett 3	1,70		1,70
Röstbett 7	2,10	10,20	12,30
Röstbett 9	1,65	0,70	2,35
Ofen 1, Füllmaterial Ofeninneres	4,00	0,90	4,90
Ofen 1	7,75	2,75	10,50
Ofen 2	0,20		0,20
Ofen 1/2, Ofenvorplatz	0,45	0,70	1,15
Ofen 1/2, Hinterfüllung	2,30		2,30
Ofen 4, Füllmaterial Ofeninneres	0,05		0,05
Ofen 4/5, Ofenvorplatz	0,70	0,50	1,20
Ofen 5, Füllmaterial Ofeninneres	5,50		5,50
Ofen 5	1,30		1,30
Ofen 7, Ofenvorplatz	0,65		0,65
Ofen 9/10, Ofenvorplatz	47,85	2,60	<b>50,45</b>
Ofen 9/10, Planierungsschicht über Öfen	1,80	0,05	1,85
Ofen 11, Füllmaterial Ofeninneres	0,10		0,10
Ofen 11	0,20		0,20
Ofen 11, Ofenvorplatz	0,20		0,20
Areal zwischen Röstbett 4 und Ofen 4/5	0,60		0,60
Halde 1	6,35	0,05	6,40
Halde 2	192,20	44,45	<b>236,65</b>
Halde 3, ältere Phase	2,50	1,20	3,70
Halde 3, jüngere Phase	3,05	0,80	3,85
Grube 1	82,00	18,60	<b>100,60</b>
Grube 2	1,50	0,60	2,10
Grube 3	0,05		0,05
Grube 4	0,05		0,05
Grube 5	1,25	4,70	5,95
Grube 8	0,05		0,05
Grube 9	1,65		1,65
Grube 10	0,05		0,05
Grube vor Ofen 5	0,05		0,05
Grube 17	79,80	3,20	<b>83,00</b>
Bereich V3	57,65	4,10	<b>61,75</b>
<b>Summen (in g)</b>	<b>552,30</b>	<b>101,60</b>	<b>653,90</b>

Von einzelnen Ausnahmen abgesehen, zeigen nämlich alle Funde unterschiedlich stark vorangeschrittene Veränderungen in der Knochenfarbe und -konsistenz, was auf das Einwirken von hohen Temperaturen zurückzuführen ist. Durch einen Vergleich mit den Beobachtungen an kremierten, menschlichen Leichnamen<sup>2</sup> lässt sich daraus die jeweils vorherrschende Verbrennungstemperatur ableiten. Zwar ist hier eine starke Streuung über die unterschiedlichen Verbrennungsgrade erkenn-

bar, dennoch kann ein markantes Überwiegen der Stufen III (blau-grau) und IV/V (weißlich, krei-dig) festgestellt werden. Diese Zustände deuten auf Temperaturen um 550° C und 650° C aufwärts hin. Die überaus aggressiven Bedingungen führten nicht zuletzt auch zu hitzebedingten Rissbildungen und zum völligen Zerbersten wie auch zu häufig auftretenden, starken Deformierungen und einem massiven Größen- und Gewichtsverlust der Knochen.

### 7.3 Die Zusammensetzung des Fundmaterials

Der Fundkomplex aus dem Kupferschmelzplatz S1 setzt sich, wie bereits beschrieben, aus ausschließlich kleinteilig zersprungenen Knochenresten zusammen (Abb. 7.1). Dieser Umstand bereitet naturgemäß größte Mühe und Schwierigkeiten bei der Bestimmung, ohne sehr viele auswertbare Resultate zu liefern. Aufgrund mangelnder morphologischer Anhaltspunkte konnten – beurteilt nach dem Fundgewicht – deshalb nur ungefähr 15 % der tierischen

Überreste (circa 100 g) einem Skelettelement zugeordnet werden. Nur in seltenen Fällen ist auch eine taxonomische Determinierung bis auf das Artniveau durchführbar gewesen, weshalb übergeordnete Tiergruppen zur Klassifizierung der Funde gebildet werden mussten.

Sieht man von zwei unbestimmbaren Knochenfragmenten größerer Tiere ab, so besteht das Material aus der Eisenerzer Ramsau allem Anschein

*Abb. 7.1: Stark fragmentierte und verbrannte Tierknochen (Fundnummer 410) aus Grube 1.* Foto: M. Abd El Karem

*Fig. 7.1. Highly fragmentary and burnt animal bones (find number 410) from pit 1.*

Photo: M. Abd El Karem



<sup>2</sup> WAHL 1981.

Tab. 7.2: Quantitative Zusammensetzung der bestimmbareren Knochenbruchstücke, Kupferschmelzplatz S1.

Tab. 7.2. Composition of identified bone fragments, Copper Smelting Site S1.

Element	große Wiederkäuer	kleine Wiederkäuer	Suidae	kleine Paarhufer	unbestimmbar
Calvaria	–	–	10	–	2
Maxilla	–	1	–	–	–
Mandibula	–	1	1	–	–
Dens	–	1	6	–	8
Vertebrae	–	1	–	–	5
Costae	–	–	–	–	7
Scapula	–	–	–	–	3?
Humerus	–	1	–	1	–
Radius	–	2	1	–	–
Ulna	–	1	3	–	–
Carpalia	–	6	–	–	–
Metacarpus	–	15	3	–	–
Tibia	–	1	2	–	–
Tarsalia	–	8	2	–	–
Metatarsus	–	16	4	–	–
Metapodium	1?	21	8	3	–
Phalanx 1	–	15	6	3	1
Phalanx 2	–	7	13	1	1
Phalanx 3	–	6	7	–	–
Phalanx	–	–	–	–	4
Sesamoidea	1	8	–	–	1
<b>Gesamt</b>	<b>2</b>	<b>111</b>	<b>66</b>	<b>8</b>	<b>32</b>

nach ausschließlich aus den Überresten von Tieren mittelgroßer Statur. Anhand morphologischer Differenzierungskriterien können hierbei sowohl Schweine als auch kleine Wiederkäuer voneinander abgegrenzt werden (Tab. 7.2). Da in unseren Breiten nur zwischen Haus- und Wildschweinen zu unterscheiden ist, und die Funde, unter Berücksichtigung des hitzebedingten Größenverlustes, stets auf kleine Individuen hindeuten, können die als Suidae bestimmten Skelettelemente mit ruhigem Gewissen als Hausschweine angesprochen werden. Mit 66 bestimmbareren Zahn- und Knochenfragmenten ist das Schwein aber deutlich seltener im Fundkomplex vertreten als die kleinen Ruminantia. Zwar darf eine Zugehörigkeit zu Wildtieren nicht völlig ausgeschlossen werden, doch geben Erfahrungswerte genug Anlass, hinter den 111 Funden mehr oder weniger sichere Belege für Schaf und Ziege zu sehen.

Bei den Schweinen wie auch bei den Schafen und Ziegen dominieren die Skelettelemente fleischarmer Körperteile, allen voran die Knochen der Autopodien. Nur selten ließen sich Elemente des Stylo- und Zeugopodiums nachweisen. Unter den artunbestimmten Überresten fanden sich aber auch mehrere Belege für Wirbel und Rippen. Gleichmaßen lassen sich auch bezüglich der Schlachtersverteilung nur beschränkt Aussagen treffen. So scheint es, dass Schafe und Ziegen vornehmlich im zweiten und dritten Lebensjahr (Tab. 7.3), Schweine fast ausschließlich vor dem Ende des zweiten Lebensjahres geschlachtet worden sind (Tab. 7.4), wie dies auch in anderen Bergbaukomplexen häufig der Fall ist.

Zur Entstehung dieser Knochenvergesellschaftung lassen sich aufgrund des einzigartigen Befundes im Moment leider keine klaren Aussagen treffen. Zwar liegen einige Untersuchungen zu den Tierknochen

Tab. 7.3: Altersverteilung bei den kleinen Wiederkäuern, Kupferschmelzplatz S1. (Altersangaben nach HABERMEHL 1975)

Tab. 7.3. Kill-off pattern of the small ruminants identified in the material, Copper Smelting Site S1. (Age categories after HABERMEHL 1975)

Anzahl	beurteilt anhand von	Alter
1	Humerus distal	> 3-4 Monate
4	Phalanx 2 proximal	> 5-7 Monate
8	Phalanx 1 proximal	> 7-10 Monate
1	Metapodium distal	< 20-24 Monate
5	Metapodium distal	> 20-24 Monate
1	Ulna proximal	< 3,5 Jahre

aus anderen alpinen Kupferschmelzplätzen vor, doch handelte es sich hierbei stets um unverbranntes Material, das sich nicht, wie auf dem Kupferschmelzplatz S1, in den verschiedenen Strukturen der Erzverhüttung befand. Besonders auffällig scheint in diesem Zusammenhang vor allem die Anhäufung von Fußknochen zu sein. Es könnte beim Verbrennungsvorgang zwar eine Begünstigung der kleineren, kompakten Skelettelemente stattgefunden haben, doch scheinen die Resultate eines erst kürzlich durchgeführten Scheiterhaufenexperiments Zweifel an einer derartigen Vermutung aufkommen lassen.<sup>3</sup> Es ist aber zu betonen, dass die Fundsituation auf dem Kupferschmelzplatz S1 nicht unmittelbar mit den Befunden des verbrannten Schweinekadavers vergleichbar ist. So wurde bei dem Kremationsexperiment nicht nur das ausgelöste Skelett, sondern der Tierkörper samt Muskeln und Fett verbrannt. Darüber hinaus fand im Zuge des Versuches nur ein einmaliger Verbrennungsdurchgang statt, während die Tierknochen vom Schmelzplatz S1 durchaus mehrfach verbrannt worden sein könnten. Diese Faktoren dürfen keinesfalls unterschätzt werden, da sie einen beachtlichen Einfluss auf die Zusammensetzung der übriggebliebenen Knochenreste haben können. Aus diesen Überlegungen heraus kann also vorerst weder eine bewusste Selektion, noch eine taphonomisch

Tab. 7.4: Altersverteilung bei den Schweinen, Kupferschmelzplatz S1. (Altersangaben nach HABERMEHL 1975)

Tab. 7.4. Kill-off pattern of the suids identified in the material, Copper Smelting Site S1. (Age categories after HABERMEHL 1975)

Anzahl	beurteilt anhand von	Alter
5	Metapodium distal	< 2 Jahre
1	Phalanx 1 proximal	< 2 Jahre
1	Metapodium distal	> 2 Jahre
1	Phalanx 1 proximal	> 2 Jahre
1	Radius distal	< 3,5 Jahre

begünstigte Anhäufung von minderwertigen Körperteilen als wahrscheinlicher angenommen werden.

Ungeachtet der noch unbekanntem Entstehung der Knochenvergesellschaftung am Kupferschmelzplatz S1, zeigt das Material Anklänge an andere Fundkomplexe der Bronze- und Eisenzeit. Das Überwiegen von Schädelresten und distalen Extremitäten, die gleichermaßen einen Verbrennungsvorgang ausgesetzt waren, charakterisieren nämlich die Knochenvergesellschaftungen von alpinen Brandopferplätzen.<sup>4</sup> Ob in den Funden aus dem Kupferschmelzplatz S1 nun eine Verbindung zu rituellen Handlungen besteht, soll aufgrund der spärlichen Befundlage dahingestellt bleiben. Ebenso wenig lässt sich feststellen, ob das Verbrennen der Tierknochen ein wichtiger Bestandteil des Verhüttungsverfahrens war<sup>5</sup>, oder es sich dabei lediglich um eine Form der Abfallentsorgung handelte. Mit Klarheit kann nur gesagt werden, dass die Knochen während des Verhüttungsprozesses in die Schmelzöfen eingebracht wurden. Dem archäologischen Befund nach zu schließen, fanden sich die meisten tierischen Überreste in den holzkohlereichen Schichten des Verhüttungsplatzes, so insbesondere in den Öfen, auf den Ofenvorplätzen, in einigen Gruben bzw. in den Halden vom Kupferschmelzplatz S1.<sup>6</sup>

<sup>3</sup> PANY-KUCERA u. a. 2013.

<sup>4</sup> VON DEN DRIESCH 1999; CHRISTANDL 2000; KOKABI/WAHL 2002; SCHMITZBERGER 1999a, 1999b, 2007.

<sup>5</sup> PRESSLINGER/EIBNER 2009, 536.

<sup>6</sup> Vgl. Beitrag KLEMM, Kap. 4, in diesem Band.

## 7.4 Archäozoologischer Kenntnisstand zum ostalpinen Bergbau der Bronzezeit

Waren die Umstände der Lebensmittelversorgung in den oftmals entlegenen ostalpinen Bergbaustätten bis vor wenigen Jahrzehnten noch weitgehend unbekannt, so hat sich unser diesbezüglicher Kenntnisstand in den letzten Jahren dank einer Anzahl neuer Tierknochenanalysen aus zum Teil sehr umfangreichen Bergbaukomplexen erheblich verbessert. Jahrzehnte hindurch lagen in den Untersuchungen Johann Wolfgang Amschlers die einzigen archäozoologischen Befunde zu diesem Themenkreis vor.<sup>7</sup> Die damaligen, pionierhaften Interpretationen müssen heute selbstverständlich in vieler Hinsicht als überholt bzw. ergänzungsbedürftig angesehen werden. Weitere Tierknochenfundkomplexe aus bronzezeitlichen Siedlungen mit mehr oder weniger enger Verbindung zu Bergbauaktivitäten wurden dann erst wieder in den 1980er-Jahren bearbeitet<sup>8</sup>, doch zum Teil wegen misslicher Begleitumstände bis heute nicht publiziert. Grundlegend neue Impulse gingen dann in den 1990er-Jahren von der Aufarbeitung der umfangreichen Tierknochenfundkomplexe vom Hallstätter Salzberg<sup>9</sup> und vom eisenzeitlichen Material des Halleiner Dürrnbergs aus.<sup>10</sup> Die Versorgungslogistik der bronze- und eisenzeitlichen Bergbauunternehmen stellte sich dadurch als höchst komplex und überraschend weitläufig organisiert dar. Weitere Befunde aus ostalpinen Bergbauzusammenhängen vertieften den Kenntnisstand.<sup>11</sup>

Die bisher untersuchten Knochenfundkomplexe aus dem Bergbaumilieu lassen einerseits lokale Unterschiede, andererseits auch übergreifende Gemeinsamkeiten erkennen. Lage und Zugänglichkeit der Fundstelle spielen offenbar eine wichtige Rolle. Von Bedeutung ist jedenfalls auch, ob es sich bloß um Siedlungen mit Beziehung zu Bergbauaktivitäten handelte, oder um die mehr oder weniger entlegenen und schwer zugänglichen Bergbaue und Schmelzplätze selbst. Der allen Komplexen gemeinsame Grundzug besteht in ausgeprägten Anzeichen

der fortschreitenden, mehr oder weniger hoch spezialisierten Arbeitsteilung. Die Bergleute treten nun als Spezialisten und Konsumenten, mitunter auch als Weiterverarbeiter der Lebensmittel auf. Dies setzt aber voraus, dass die bäuerliche Produktion weit über die bloße Deckung des Eigenbedarfs hinaus gewachsen ist, um den Bedarf der nicht Landwirtschaft betreibenden Bergleute an Lebensmitteln und selbst für den Handel decken zu können. In vielen Fällen befand sich auch die Stätte des Bergbaus weit ab der landwirtschaftlich ertragreichen Flächen, oftmals in schwer zugänglichen Höhenlagen, die eine ausreichende Land- und Viehwirtschaft direkt am Ort des Abbaus oder des Schmelzplatzes undenkbar erscheinen lassen. Zwischen dem Produzenten der Lebensmittel und den an anderen Orten schaffenden Bergmännern bzw. der Verhüttung wurde nun ein Warentransport nötig, der eventuell sogar ein eigenes Schlacht- und Transportgewerbe erforderlich machte.

In den Blickwinkel der Archäologie gelangten bisher vorwiegend Bergbausiedlungen, seltener hingegen landwirtschaftliche Produktionsstätten<sup>12</sup>, die aber selbstverständlich als Versorgungsbasis anspruchsvoller Bergbaubetriebe in großer Zahl vorhanden gewesen sein müssen. Das umfangreiche früh- bis mittelbronzezeitliche Material aus Brixlegg-Hochkapelle<sup>13</sup> im Unterinntal ergab viele Hinweise darauf, dass sich die Einwohner der Bergbausiedlung höchstens in beschränktem Umfang selbst um die Viehzucht kümmerten und stattdessen Schlachtvieh von den Bauern erwarben. Ähnliches wurde auch für den benachbarten urnenfelderzeitlichen Verhüttungsplatz Mauken A angenommen.<sup>14</sup> In Bischofshofen-Bachsfall<sup>15</sup> scheint die Verflechtung von bronzezeitlichen Bauern und Bergleuten noch etwas enger gewesen zu sein. Besonders tiefe Einblicke in die komplexe Versorgungslogistik des bronzezeitlichen Bergbaus ergaben die Auswertungen der Tierknochenfunde aus Hallstatt und Umge-

<sup>7</sup> AMSCHLER 1939, 1949.

<sup>8</sup> PUCHER 1986, 1987/2004.

<sup>9</sup> PUCHER 1999b, 2008, 2009a, 2009b, 2010; PUCHER u. a. 2013.

<sup>10</sup> PUCHER 1999a, 1999b, 2002, 2010; ABD EL KAREM 2009; SCHMITZBERGER 2012.

<sup>11</sup> RIEDEL 2003; SCHIBLER u. a. 2009, 2011; BOSCHIN/RIEDEL 2011; PUCHER 2013; TREBSCHKE/PUCHER 2013.

<sup>12</sup> PUCHER 1986; TECCHIATI 2012.

<sup>13</sup> RIEDEL 2003; BOSCHIN/RIEDEL 2011.

<sup>14</sup> SCHIBLER u. a. 2009, 2011.

<sup>15</sup> PUCHER 1987/2004.

bung.<sup>16</sup> In diesen Komplexen wird die zentrale Bedeutung des Schweinefleisches für die Versorgung der ostalpinen Bergbaubetriebe der Bronzezeit besonders deutlich. Tatsächlich vermehrt sich das Schwein ja ebenso rasch wie es heranwächst und kann daher als geradezu idealer Fleischlieferant betrachtet werden, der imstande ist, steigenden Fleischbedarf ohne entsprechende Erweiterung der landwirtschaftlich genutzten Flächen abzudecken, vorausgesetzt, dass örtlich eine ausreichende natürliche Ernährungsgrundlage und erträgliche klimatische Bedingungen gegeben sind. Schweine finden von Natur aus in Laubwäldern genügend Futter in Form von Eicheln, Buchecker, Wildfrüchte, Pilzen, Trieben, Blättern, Kleintieren und Aas. Eine intensivere Schweinehaltung erfordert jedoch Zufütterung in Form landwirtschaftlicher Abfälle, die wieder erst bei einem etwas fortgeschrittenen Niveau der Landwirtschaft in größerer Menge anfallen. So ist die Intensität der Schweinehaltung unter bestimmten Voraussetzungen auch ein Anzeiger des jeweiligen Niveaus der Landwirtschaft. Ein Mangel an geeigneten Futterpflanzen, wie etwa Eichen- und Buchenbestände, sowie zu raues Klima, etwa in zu großen Höhenlagen, steht der Schweinezucht jedoch grundsätzlich entgegen. Dies mögen die Hauptgründe dafür sein, dass die Schweinezucht in manchen inneralpinen Lagen nicht zur tragenden Säule der Fleischproduktion und Verpflegung werden konnte. Auch mag der Klimasturz am Ende der Urnenfelderzeit zur Umstellung auf die Versorgung der Bergbauunternehmen mit Rindfleisch beigetragen habe.

Zwar zeichnete sich die wichtige Rolle des Schweines bereits im früh- und mittelbronzezeitlichen Bergbaumaterial ab, doch spielte Schweinefleisch für die Versorgung der urnenfelderzeitlichen Bergbausiedlungen offenbar eine ganz dominante Rolle. In manchen Bergbaukomplexen werden trotz der Schweinehaltung ganz abträglichen lokalökologischen Bedingungen weit überwiegend Schweineknochen angetroffen. So zeichnen sich etwa die Kelchalpe (Tirol) in rund 1700 m Höhe und der Hallstätter

Salzberg auf beinahe 1000 m Höhe durch fast zwei Drittel Schweineknochen aus. In beiden Fällen muss davon ausgegangen werden, dass die Bergleute von außen mit Schweinefleisch beliefert wurden. Für Hallstatt ist dieser Umstand durch zahlreiche übereinstimmende Daten aus der Populationsstruktur gesichert. Auch für den urnenfelderzeitlichen Komplex aus Brixlegg in Tirol<sup>17</sup> und jüngst auch für Prigglitz in Niederösterreich<sup>18</sup> ergaben sich ähnliche Hinweise. Einen ersten Einblick in die Transportroute gewährten die Fundkomplexe von Pichl<sup>19</sup>.

Die meist eher wenigen, schlecht erhaltenen oder, wie nun in der Eisenerzer Ramsau, gar ausgeglühten Tierknochenfunde von alpinen Schmelzplätzen reichen zurzeit noch nicht aus, um die Versorgungslage dieser Fundstellen im zeitgenössischen Rahmen ausreichend beurteilen zu können. Am ehesten lässt sich noch Mauken A in Tirol<sup>20</sup> den schon bekannten Tendenzen in urnenfelderzeitlichen Bergbaumaterialien anschließen. Die Funde von Flitzen II in der Gemeinde Gaishorn in der Steiermark<sup>21</sup> sind jedoch dermaßen wenige, dass daraus kaum Schlüsse gezogen werden können.

Besonders für den Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau wird man außerdem nicht annehmen können, dass die vorliegenden Funde die Versorgung einer ganzen Bergbausiedlung widerspiegeln. Es handelt sich offensichtlich um eine besondere Auslese von Knochen, deren Zustandekommen zurzeit noch völlig unklar ist. Im Schmelzplatz S1 stammen die Knochenreste überwiegend von kleinen Wiederkäuern, worunter wohl hauptsächlich das Schaf zu verstehen sein wird. Eine Unterscheidung der Knochen von Schaf und Ziege ist leider nur teilweise möglich, doch überwiegen Schafe in aller Regel. Auch wenn diese Funde schon wegen ihrer sehr beschränkten Zahl statistisch kaum auswertbar sind, muss aber doch eingeworfen werden, dass die kleinen Hauswiederkäuer in manchen Fundkomplexen der Bronze- und Eisenzeit deutlich stärker belegt sind als Schweine.

Verhältnisse dieser Art sind besonders in Teilen Südtirols<sup>22</sup> und andeutungsweise auch im nord-

<sup>16</sup> PUCHER 1999b, 2008, 2009a, 2010, 2013; PUCHER u. a. 2013.

<sup>17</sup> BOSCHIN/RIEDEL 2011.

<sup>18</sup> TREBSCHKE/PUCHER 2013.

<sup>19</sup> PUCHER 2013.

<sup>20</sup> SCHIBLER u. a. 2009, 2011.

<sup>21</sup> PRESSLINGER u. a. 2009.

<sup>22</sup> SCHMITZBERGER 2007.

östlichen Flachland Österreichs<sup>23</sup> angetroffen worden. In der Eisenzeit deuten auch einige Fundkomplexe Kärntens<sup>24</sup> in dieselbe Richtung. Zwar sind die näheren Hintergründe dieser Ausnahmen aus dem großen Trend noch ungeklärt, doch könnten hier doch lokalökologische Bedingungen zum Tragen kommen. In Südtirol mag es vorwiegend der Mangel an Eichen und Buchenbeständen sein, der sich hemmend auf die Schweinehaltung auswirkt. Bei den ostösterreichischen Komplexen

bilden wohl die pannonischen Einflüsse mit ihren niederschlagsarmen Trockenrasen den Hintergrund für die Bevorzugung der Schafhaltung. Doch auch dort, wo sich ein umfangreicher Fleischtransport in abgeschiedene Lagen nicht lohnt, kann der Haltung der anspruchslosen Schafe gegenüber der Haltung der anspruchsvolleren und kälteempfindlichen Schweine der Vorzug gegeben werden. Letzteres trifft wohl auch auf manche Schmelzplätze zu.

## 7.5 Zusammenfassung

Ausgrabungen auf dem vorwiegend mittelbronzezeitlichen Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark) erbrachten ein kleines Konvolut an verbrannten Tierknochen. Diese verteilen sich über die diversen archäologischen Objekte, treten aber am stärksten in Halde 2, Grube 1, Grube 17 und Ofen 9/10 auf (Tab. 7.1). Entsprechend der hitzebedingten Veränderungen in Farbe, Form, Größe und Gewicht der Knochenfragmente ist mit Verbrennungstemperaturen um 550° C bzw. ab 650° C zu rechnen. Zwar liegen bereits einige archäozoologische Untersuchungen zu anderen alpinen Schmelzplätzen vor, doch zeichnen die Fundumstände und die Calcinierung der Knochen den hier vorgestellten Fundkomplex besonders aus.

Aufgrund der starken Fragmentierung und des schlechten Erhaltungszustandes konnten nur 219 Fundstücke anatomisch bestimmt werden (Abb. 7.1, Tab. 7.2). Dabei dominieren vor allem die Knochen der Fußregion, wobei einzelne Wirbel, Rippen, Stylo- und Zeugopodien nachgewiesen werden konnten. Obwohl die taxonomische Bestimmung aufgrund der Materialbeschaffenheit deutlich erschwert wurde, können die meisten Überreste als Schwein bzw. Schaf und Ziege klassifiziert werden. Die Schlachtung der Ovicapriden erfolgte während des zweiten und dritten Lebensjahres, die Schweine waren zumeist jünger als 24 Monate (Tab. 7.3, 7.4).

Leider kann im Moment aus Mangel an vergleichbaren Befunden nicht geklärt werden, ob die Tierknochen als Reste einer Abfallentsorgung oder ritueller Aktivitäten anzusprechen sind bzw. gar ein wichtiger Bestandteil des Schmelzprozesses waren. Die Funde vom Kupferschmelzplatz S1 reichen aufgrund des geringen Materialumfanges und des möglicherweise selektiven Zustandekommens des Knochenkomplexes momentan auch nicht aus, um die Versorgungslage vor Ort beurteilen und mit anderen, zeitgleichen Fundstellen des Bergbaus und der Erzverhüttung vergleichen zu können. Prinzipiell erfolgte, wie die Funde aus Brixlegg-Hochkapelle beispielsweise zeigen, die Versorgung der Bergbausiedlungen durch eine Zulieferung von Schlachtvieh aus bäuerlichen Produktionsstätten. Dabei zeichnete sich bereits seit der Frühbronzezeit die Bedeutung des Schweines als wesentlicher Fleischlieferant ab, der besonders in der Urnenfelderzeit die maßgebliche Grundlage der Ernährung bildete. Ob das Überwiegen von Schafen und Ziegen auf dem Kupferschmelzplatz S1 auf eine Ausnahmerecheinung hindeutet, wie sie ab und an bei Fundkomplexen der Bronze- und Eisenzeit anzutreffen sind und auf lokalökologische Anpassungen zurückgeführt werden, oder nicht doch eher als Zufallsbefund zu werten ist, bleibt zu überdenken.

## 7.6 Animal Bone Finds of the Copper Smelting Site S1 (Summary)

Excavations at the mainly Middle Bronze Age Copper Smelting Site S1 in the Eisenerzer Ramsau (Styria) produced a small amount of burnt animal bo-

nes. The remains appeared in all types of archaeological features but mainly accumulated in slag dump 2, pit 1, pit 17, and furnaces 9/10 (Tab. 7.1).

<sup>23</sup> PUCHER 2004.

<sup>24</sup> GALIK 1998.

Taking changes in colour, shape, size and weight of the bone fragments into account, it is possible to say that most of them were burnt at temperatures around 550° C and at least 650° C. Some faunal site analyses from smelting sites in the Alps have already been conducted, but none of them can be compared to the material from smelting site S1 which is exceptional in regard to the archaeological record and the burnt state of the bones.

Due to the high fragmentation and the bad preservation of the material, only 219 specimens could be identified anatomically (Fig. 7.1, Tab. 7.2). Bones of the autopods were predominant, but individual ribs, vertebrae, stylopods and zeugopods were also attested. Although the taxonomical identification was quite difficult due to the bad preservation and the small fragment sizes, it can be assumed that most of the bones belong to sheep and goat and, to a lesser extent, to domestic pigs. Ovicaprids were slaughtered during their 2nd and 3rd year of life, pigs mainly before the end of their 2nd year (Tab. 7.3, 7.4).

Unfortunately, due to a lack of similar faunal assemblages it is unclear whether the remains from

smelting site S1 have to be regarded as the remnants of waste disposal, ritual activities or as an important component of the copper smelting process. The small sample size and the possibly selective accumulation of the faunal remains do not allow us either to reconstruct the composition of the meat consumption on site or to compare the situation with other mining sites. In general, the settlements in mining areas did not keep their own stock but were instead supplied with meat by purchasing animals for slaughter from peasant production sites. As far back as the Early Bronze Age, pigs formed an important part of the human diet but became the main meat supply during the Late Bronze Age. In contrast to this, at the Copper Smelting Site S1 there is a preponderance of sheep and goat, which does not fit the picture drawn by other archaeological sites. It is still debatable whether this is one of the few nonpareils appearing during the Bronze and Iron Age as a result of adapting to the local ecology or if the faunal material from Copper Smelting Site S1 is just a non-representative sample.

## 7.7 Danksagung

Die Autoren dieser Arbeit möchten sich an dieser Stelle beim „Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung“ bedanken, der diese Untersuchung im Rahmen des Wissenschaftsprojekts P21242-G19 „Die Konstruktion der ostalpinen

Kupferhütte in der Bronzezeit“ mit finanziellen Mitteln unterstützt hat. Darüber hinaus ist auch der Leiterin Dr. Susanne Klemm für das Einbinden der Autoren in das Projekt und die gute Zusammenarbeit zu danken.

## 7.8 Literatur / Publications

ABD EL KAREM 2009

ABD EL KAREM M., Die spätlatènezeitlichen Tierknochenfunde des Simonbauerfeldes auf dem Dürrnberg, Salzburg. In: *Annalen des Naturhistorischen Museums Wien* 110A (2009), 133–154.

AMSCHLER 1939

AMSCHLER J. W., Die Haustierreste von der Kelchalpe bei Kitzbühel, Tirol. In: *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission der Akademie der Wissenschaften* III (1-3) (1939), 96–121.

AMSCHLER 1949

AMSCHLER J. W., Ur- und frühgeschichtliche Haustierfunde aus Österreich. In: *Archaeologia Austriaca* 3 (1949), 1–100.

BOSCHIN/RIEDEL 2011

BOSCHIN F./RIEDEL A., Ein spätbronzezeitlicher Tierknochenfundkomplex aus der Kupferbergbausiedlung Brixlegg-Mariahilferbergl (Tirol). In: *Annalen des Naturhistorischen Museums Wien* 113A (2011), 591–618.

CHRISTANDL 2000

CHRISTANDL G., Die Tierknochenreste der Grabung Sölkpass 1999. In: *Mitteilungen der ANISA* 21/1-2 (2000), 72f.

GALIK 1998

GALIK A., Tierknochenfunde der eisen- bis römischerzeitlichen Siedlungen auf der Gracarca bei St. Kanzian und der Gurina bei Dellach. In: *Carinthia II* 188/108 (1998), 363–375.

HABERMEHL 1975

HABERMEHL K.-H., Die Altersbestimmung bei Haus- und Labortieren (Hamburg–Berlin 1975).

KLEMM 2003

KLEMM S., Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau (= *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission* 50, Wien 2003).

KOKABI, WAHL 2002

KOKABI M./WAHL J., Die Knochenreste aus dem jungeneolithischen Brandopferplatz von Ulten-St. Walburg. In: L. ZEMMER-PLANK (Hg.), *Kult der Vorzeit in den Alpen – Opfertagen, Opferplätze, Opferbauchtum*, Bd. 2 (= *Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Alpenländer* 10, Bozen 2002), 945–955.

PANY-KUCERA u. a. 2013

PANY-KUCERA D./BERNER M./BINDER M./KUCERA M./MARSCHLER M./PENKER A./RESCHREITER H./SCHMITZBERGER M., Experimentelle Kremationen – ein Beitrag zum besseren Verständnis anthropologischer und archäologischer Funde und Befunde. In: *Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie* 9 (2013), 203–216.

PRESSLINGER/EIBNER 2009

PRESSLINGER H./EIBNER C., Phosphorlegierter keltischer Stahl – hart, zäh und korrosionsbeständig. In: *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* 154 (2009), 534–536.

PRESSLINGER u. a. 2009

PRESSLINGER H./EIBNER C./PRESSLINGER B., Das bronzezeitliche Kupferindustriengebiet Flitzen Alm in der Gemeinde Gaishorn. In: *Da schau her* (3/2009), 24–27.

PUCHER 1986

PUCHER E., Bronzezeitliche Tierknochen vom Buchberg, OG Wiesing, Tirol. In: *Fundberichte aus Österreich* 23 (1986), 209–220.

PUCHER 1987/2004

PUCHER E., Eine Analyse bronzezeitlicher Tierknochenfunde von der Burgruine Bachsfall bei Bischofshofen (Land Salzburg) [Ursprüngliches und 2004 für die Drucklegung aktualisiertes Manuskript].

PUCHER 1999a

PUCHER E., Archäozoologische Untersuchungen am Tierknochenmaterial der keltischen Gewerbesiedlung im Ramsautal auf dem Dürrnberg (Salzburg) (= *Dürrnberg-Forschungen* 2, Rahden/Westf. 1999).

PUCHER 1999b

PUCHER E., Archäozoologische Ergebnisse aus zwei norischen Salzbergbausiedlungen. In: *Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie* 2 (1999), 121–128.

PUCHER 2002

PUCHER E., Archäozoologische Ergebnisse vom Dürrnberg. In: C. DOBIAT/S. SIEVERS/STÖLLNER T. (Hgg.), *Dürrnberg und Manching. Wirtschaftsarchäologie im ostkeltischen Raum. Akten des internationalen Kolloquiums in Hallein/Bad Dürrnberg vom 7. bis 11. Oktober 1998* (= *Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte* 7, Bonn 2002), 133–146.

PUCHER 2004

PUCHER E., Hallstattzeitliche Tierknochen aus Göttlesbrunn, p. B. Bruck an der Leitha, Niederösterreich. In: M. GRIEBL, Die Siedlung der Hallstattkultur von Göttlesbrunn, Niederösterreich (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 54, Wien 2004), 309–328.

PUCHER 2008

PUCHER E., Knochen verraten prähistorische Schinkenproduktion. In: A. KERN/K. KOWARIK/A. W. RAUSCH/H. RESCHREITER (Hgg.), Salz-Reich. 7000 Jahre Hallstatt (= Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 2, Wien 2008), 74–77.

PUCHER 2009a

PUCHER E., The remains of prehistoric ham production. In: A. KERN/K. KOWARIK/A. W. RAUSCH/H. RESCHREITER (Hgg.), Kingdom of Salt. 7000 years of Hallstatt (= Veröffentlichungen der Prähistorischen Abteilung 3, Vienna 2009), 74–77.

PUCHER 2009b

PUCHER E., Ältereisenzeitliche Tierknochenfunde aus dem Hallstätter Salzberg. In: Festschrift Fritz Eckart Barth zum 70. Geburtstag (= Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft in Wien 139, Horn–Wien 2009), 123–132.

PUCHER 2010

PUCHER E., Hallstatt and Dürrnberg – Two Salt-Mining Sites, Two Different Meat Supply Strategies. In: Mining in European History and its Impact on Environmental and Human Societies. Proceedings of the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HiMAT, 12.–15. November 2009 (Innsbruck 2010), 193–197.

PUCHER 2013

PUCHER E., Neue Aspekte zur Versorgungslogistik Hallstatts: Tierknochenfundkomplexe aus Pichl, OG Pichl-Kainisch, VB Liezen, Steiermark. In: Fundberichte aus Österreich 52 (2013), 65–93.

PUCHER u. a. 2013

PUCHER E./BARTH F. E./SEEMANN R./BRANDSTÄTTER F., Bronzezeitliche Fleischverarbeitung im Salzbergtal bei Hallstatt (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission 80, Wien 2013).

RIEDEL 2003

RIEDEL A., Die frühbronzezeitliche Fauna von Brixlegg in Tirol. In: Atti dell'Accademia Roveretana degli Agiati ser. VIII, III B (2003), 197–281.

SCHIBLER 2009

SCHIBLER J./DESCHLER-Erb S./HÜSTER PLOGMANN H./PÖLLATH N./STOPP B., Fleischversorgung in Fundstellen des bronzezeitlichen Bergbaus: Beispiele aus dem HiMAT-Projekt. In: K. OEGGL/M. PRAST (Hgg.), Die Geschichte des Bergbaus in Tirol und seinen angrenzenden Gebieten. Proceedings zum 3. Milestone-Meeting des SFB HiMAT vom 23.–26. 10. 2008 in Silbertal (Innsbruck 2009), 74–90.

SCHIBLER 2011

SCHIBLER J./BREITENLECHNER E./DESCHLER-ERB S./GOLDENBERG G./HANKE K./HIEBEL G./HÜSTER-PLOGMANN H./NICOLUSSI K./MARTI-GRÄDEL E./PICHLER S./SCHMIDL A./SCHWARZ S./STOPP B./OEGGL K., Miners and mining in the Late Bronze Age: a multidisciplinary study from Austria. In: Antiquity 85 (2011), 1259–1278.

SCHMITZBERGER 1999a

SCHMITZBERGER M., Bestimmung der verbrannten Tierknochen vom bronzezeitlichen Kultplatz Saalfelden-Taxau (Salzburg) (Manuskript 1999).

SCHMITZBERGER 1999b

SCHMITZBERGER M., Bemerkungen zu den Brandknochen des bronzezeitlichen Kultplatzes von Aurach bei Kitzbühel (Tirol) (Manuskript 1999).

## SCHMITZBERGER 2007

SCHMITZBERGER M., Archäozoologische Untersuchungen an den bronze-, eisen- und römerzeitlichen Tierknochen vom Ganglegg bei Schluderns und vom Tartscher Bichl. In: H. STEINER (Hg.), Die befestigte Siedlung am Ganglegg im Vinschgau – Südtirol (= Forschungen zur Denkmalpflege in Südtirol 3, Trento 2007), 617–742.

## SCHMITZBERGER 2012

SCHMITZBERGER M., Die Tierknochen vom Ramsaukopf, Putzenkopf und Putzenfeld – neue Funde vom keltischen Dürrenberg bei Hallein. In: Annalen des Naturhistorischen Museums Wien 114A (2012), 79–138.

## TECCHIATI 2012

TECCHIATI U., Die Tierknochen aus der bronze- und eisenzeitlichen Siedlung auf dem Kiabichl bei Faggen (Tirol, Österreich). In: Annalen des Naturhistorischen Museums Wien 114A (2012), 21–78.

## TREBSCHKE/PUCHER 2013

TREBSCHKE P./PUCHER E., Die fehlenden Teile des Hallstatt-Puzzles: Erste Befunde aus der Grabung 2010 in der urnenfelderzeitlichen Bergbausiedlung von Priggwitz-Gasteil (Niederösterreich). In: Prähistorische Zeitschrift 88/1 (2013), 114–151.

## VON DEN DRIESCH 1999

VON DEN DRIESCH A., Tierknochenfunde vom Brandopferplatz im Forggensee, Gemeinde Schwangau. In: W. Zanier, Der spätlatène- und römerzeitliche Brandopferplatz im Forggensee (Gde. Schwangau) (= Münchner Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte 52, München 1999), 153–157.

## WAHL 1981

WAHL J., Beobachtungen zur Verbrennung menschlicher Leichname – Über die Vergleichbarkeit moderner Kremationen mit prähistorischen Leichenbränden. In: Archäologisches Korrespondenzblatt 11 (1981), 271–279.

Susanne KLEMM

## **8 Bibliographie zu den interdisziplinären Untersuchungen auf dem Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark / Bibliography on the Interdisciplinary Research at the Bronze Age Copper Smelting Site S1, Eisenerzer Ramsau**

**2018**

KLEMM S., Der bronzezeitliche Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau. In: B. HEBERT (Hg.), *Urgeschichte und Römerzeit in der Steiermark* (= Geschichte der Steiermark 1, Wien–Köln–Weimar <sup>2</sup>2018), 327–330.

**2017**

KLEMM S./SMIDT E./TINTNER J./GRABNER M./JEITLER M./ARNEITZ P./LEONHARDT R., Möglichkeiten zur zeitlichen Einordnung von historischen Holzkohlenmeilern – eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. In: S. EICHERT/T. KÜHTREIBER/M. LEHNER/C. THEUNE (Hgg.), *Laufzeit/Zeitlauf. Zeitkonzepte – Datierung – Chronologie in Mittelalter- und Neuzeitarchäologie. Beiträge zur internationalen Tagung in Graz, 20. bis 23. September 2016* (= Beiträge zur Mittelalterarchäologie in Österreich 33/2017, Wien 2018), 67–82.

SMIDT E./TINTNER J./KLEMM S./SCHOLZ U., FT-IR spectral and thermal characterization of ancient charcoals – A tool to support archeological and historical data interpretation. In: *Quaternary International* 457 (2017), 43–49 [URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint-2016.11.031>].

**2015**

KLEMM S., Bronzezeitliche Kupfergewinnung in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. In: T. STÖLLNER/P. THOMAS (Hgg.), *Bergauf Bergab. 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen. Wissenschaftlicher Beiband zur Ausstellung im Deutschen Bergbaumuseum Bochum vom 30.10.2015–24.4.2016, im vorarlberg museum Bregenz vom 10.6.2016–26.10.2016* (= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 206, Rahden 2015), 195–200.

KRAUS S./KLEMM S./PERNICKA E., Archaeometallurgical studies on slags of the Middle Bronze Age Copper Smelting Site S1, Styria, Austria. In: A. HAUPTMANN/D. MODARRESSI-TEHRANI (Hgg.), *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference, Deutsches Bergbaumuseum Bochum, June 29 – July 1, 2011 Archaeometallurgy in Europe III* (Bochum 2015), 301–308.

**2012**

KLEMM S., Montanarchäologische Forschung in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Bronzezeit bis Neuzeit. In: C. REINHOLDT/W. WOHLMAYR (Hgg.), *Akten des 13. Österreichischen Archäologentages, Klassische und Frühägäische Archäologie Paris-Lodron-Universität Salzburg, 25.–27. Feb. 2010* (Wien 2012), 429–436.

KLEMM S., Die Bergbaufolgelandschaft in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark (Österreich): Methoden und Ergebnisse montanarchäologischer Forschung. In: P. ANREITER/E. BÁNFFY/L. BARTOSIEWICZ/W. MEID/C. METZNER-NEBELSICK (Hgg.), *Archaeological, Cultural and Linguistic Heritage. Festschrift for Erzsébet Jerem in Honour of her 70<sup>th</sup> Birthday* (= *Archaeolingua* 25, Budapest 2012), 337–348.

KRAUS S., Archäometallurgische Studien zur bronzezeitlichen Kupferverhüttungstechnologie am Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark, Österreich) (Diss. Tübingen 2012).

**2011**

KRAUS S./KLEMM S./PERNICKA E., Archaeometallurgical studies on slags of the Middle Bronze Age Copper Smelting Site S1, Styria, Austria. In: A. HAUPTMANN/D. MODARASSI-TEHRANI/M. PRANGE (Hgg.), *Archaeometallurgy in Europe III. Abstracts, International Conference Deutsches Bergbau-Museum Bochum, June 29th–July 1st 2011* (= *Metalla, Sonderheft 4, Bochum 2011*), 189.

KRAUS S./KLEMM S./PERNICKA E., Untersuchungen zur bronzezeitlichen Kupfergewinnung in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark. Erste schlackenkundliche Ergebnisse. In: J. CEMPER-KIESSLICH/F. LANG/K. SCHALLER/C. UHLIR/M. UNTERWURZACHER (Hgg.), *Secundus Conventus Austriacus Archaeometriae. Tagungsband zum Zweiten Österreichischen Archäometrikongress MMX, 13.–14. Mai 2010* (= *Schriften zur Archäologie und Archäometrie der Paris Lodron-Universität Salzburg 2, Salzburg 2011*), 115–118.

KLEMM S., Teaching Archaeology in Archaeological Museums, Archaeological Parks and at Archaeological Sites in Austria. In: *Archaeologia Austriaca 92, 2008* (2011), 7–18.

**2010**

KRAUS S./KLEMM S./PERNICKA E., Schlackenkundliche Untersuchungen zur bronzezeitlichen Kupferverhüttung am Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau, Steiermark. In: O. HAHN/A. HAUPTMANN/D. MODARASSI-TEHRANI/M. PRANGE (Hgg.), *Archäometrie und Denkmalpflege 2010. Jahrestagung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum, 15.–18. September 2010* (= *Metalla, Sonderheft 3, Bochum 2010*), 76–78.

KLEMM S., Montanarchäologische Forschung in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Bronzezeit bis Neuzeit. In: *Forum Archaeologiae – Zeitschrift für klassische Archäologie 54/III/2010* [URL: <http://farch.net>].

KLEMM S., Bronze Age Copper Mining. Landscape Conditions and Land-Use in the Eisenerzer Alps, Styria (Austria). In: P. ANREITER/G. GOLDENBERG/K. HANKE/R. KRAUSE/W. LEITNER/F. MATHIS/K. NICOLUSSI/K. OEGGL/E. PERNICKA/M. PRAST/J. SCHIBLER/I. SCHNEIDER/H. STADLER/T. STÖLLNER/G. TOMEDI/P. TROPPER (Hgg.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HiMAT, Innsbruck, 12.–15. Nov. 2009* (Innsbruck 2010), 271–276.

NELLE O./KLEMM S., Wood and Charcoal Supplies for Prehistoric and Mediaeval Mining Activities in the Eisenerzer Ramsau, Styria, Austria. In: P. ANREITER/G. GOLDENBERG/K. HANKE/R. KRAUSE/W. LEITNER/F. MATHIS/K. NICOLUSSI/K. OEGGL/E. PERNICKA/M. PRAST/J. SCHIBLER/I. SCHNEIDER/H. STADLER/T. STÖLLNER/G. TOMEDI/P. TROPPER (Hgg.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HiMAT, Innsbruck, 12.–15. Nov. 2009* (Innsbruck 2010), 177–182.

**2008**

KLEMM S./NELLE O., Historische Kohlstätten in den Eisenerzer Alpen. Archäologische Bodendenkmale und Waldgeschichte. In: *Da schau her 29/3* (2008), 18–22.

TRAPANESE A./BATT C. M./SCHNEPP E., Sampling methods in archaeomagnetic dating: A comparison using case studies from Wörterberg, Eisenerz and Gams Valley (Austria). In: *Physics and Chemistry of the Earth 33* (2008), 414–426.

**2006**

KLEMM S., Die Erforschung der prähistorischen Kupfergewinnung in den Eisenerzer Alpen 1955–2005. In: *res montanarum 38* (2006), 26–36.

AIDONA E./SCHOLGER R./MAURITSCH H. J./SCHNEPP E./KLEMM S., Spatial distribution of archaeomagnetic vectors within archaeological samples from Eisenerz (Austria). In: *Geophysical Journal International 166* (2006), 46–58.

SCHNEPP E./LANOS P., A preliminary secular variation reference curve for archaeomagnetic dating in Austria. In: *Geophysical Journal International 166* (2006), 91–96.

**2005**

KLEMM S./NELLE O./GRABNER M./GEIHOFFER D./SCHNEPP E., Interdisziplinäre Untersuchungen von Kohlstätten aus Mittelalter und Neuzeit in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark. In: *Archaeologia Austriaca* 89 (2005), 269–329.

SCHNEPP E./SCHOLGER R./MAURITSCH H. J./LANOS P./CECH B./KLEMM S., Archaeomagnetic Dating in Austria. In: T. Cernajsek/C. Hauser/W. Vettters (Hgg.), 8. „Erbe“-Symposium, Schwaz, 3.–7. Okt. 2005 (= *Berichte der Geologischen Bundesanstalt* 65, Wien–Schwaz 2005), 155f.

**2004**

DRESCHER A., Vegetationskundliche Untersuchungen an prähistorischen Kupferschmelzplätzen in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark). Erste Ergebnisse. In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), *Alpenkupfer – Rame delle Alpi* (= *Der Anschnitt, Beiheft* 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 347–354.

DRESCHER-SCHNEIDER R., Pollenanalytische Untersuchungen an prähistorischen Kupferschmelzplätzen in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark). Erste Ergebnisse. In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), *Alpenkupfer – Rame delle Alpi* (= *Der Anschnitt, Beiheft* 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 355–360.

KLEMM S., Der prähistorische Kupferschmelzplatz S 1 in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark). Ein Vorbericht. In: G. WEISGERBER/G. GOLDENBERG (Hgg.), *Alpenkupfer – Rame delle Alpi* (= *Der Anschnitt, Beiheft* 17, = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 122, Bochum 2004), 189–198.

**2003**

DRESCHER-SCHNEIDER R., Die Vegetations- und Besiedlungsgeschichte der Region Eisenerz auf der Basis pollenanalytischer Untersuchungen im Leopoldsteiner See und in der Eisenerzer Ramsau. In: S. KLEMM, *Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau* (= *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission* 50, Wien 2003), 174–197.

KLEMM S., *Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau. Mit Beiträgen von J. RESCH †, H. WEINEK, H. PROSKE, B. EMMERER, E. STEINLECHNER, P. TRINKAUS, W. GÖSSLER, R. DRESCHER-SCHNEIDER* (= *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission* 50, Wien 2003).

**2002**

KLEMM S., Prähistorische Kupfergewinnung in den Eisenerzer Alpen. Ein Kurzbericht. In: Robert F. HAUSMANN (Hg.), *Mitteilungsblatt der Korrespondenten der Historischen Landeskommision für Steiermark* 8 (Graz 2002), 114–119.

**2001**

MAURITSCH H. J./SCHOLGER R., Preliminary results from the Bronze Age smelting place in Eisenerz. In: *Archaeomagnetic Applications of the Rescue of Cultural Heritage 2001. Unpublished report on 2<sup>nd</sup> European Archaeomagnetic Meeting, Leoben 23.–27. Sept. 2001* (Leoben 2001), 78.

**1999**

MARSHALL P. D./O'HARA S. L./OTTAWAY B. S., Early copper metallurgy in Austria and methods of assessing its impact on the environment. In: A. HAUPTMANN/E. PERNICKA/T. REHREN/Ü. YALÇIN (Hgg.), *The Beginnings of Metallurgy. Proceedings of the International Conference 'The Beginnings of Metallurgy', Bochum, 24.–26. April 1995* (= *Der Anschnitt, Beiheft* 9, Bochum 1999), 255–264.

**1996**

ADETUNJI J./WILLIAMS J. M./DOONAN R. C. P., Mössbauer spectroscopic studies of ancient bronze slags. In: I. ORTALLI (Hg.), *International Conference on the Applications of the Mössbauer Effect, ICAME-95, Rimini (Italy)*, 10.–16. Sept. 1995 (= Conference proceedings 50, Bologna 1996), 769–771.

DOONAN R. C. P., *Old flames, slags, and society. Copper smelting technology in The Ramsau valley, Austria during the Bronze Age* (Diss. Sheffield 1996).

DOONAN R. C. P./KLEMM S./OTTAWAY B. S./SPERL G./WEINEK H., The East Alpine Bronze Age copper smelting process: evidence from the Ramsau Valley, Eisenerz, Austria. In: Ş. DEMIRCI/A. M. ÖZER/G. D. SUMMERS (Hgg.), *Archaeometry 94. The Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry, Ankara, 9.–14. May 1994* (Ankara 1996), 17–22.

KLEMM S., *Archäologische Ausgrabungen des Landesmuseums Joanneum in der Eisenerzer Ramsau. Eine Verhüttungsanlage in der Eisenerzer Ramsau*. In: *Joanneum aktuell* (4/1996), 8f.

**1995**

KLEMM S., *Zur Ausgrabung des bronzezeitlichen Kupferschmelzplatzes S 1 in der Eisenerzer Ramsau, KG Krumpenthal, Gem. Eisenerz, VB Leoben, Steiermark, 10. Juli bis 16. September 1995, unpublizierter Bericht an das Österreichische Archäologische Institut in Wien* (Eisenerz 1995).

**1994**

KLEMM S., *Ausgrabungen in der Eisenerzer Ramsau*. In: *Archäologie Österreichs* 5/2 (1994), 28f.

MARSHALL P. D., *The environmental impact of mining and metalworking activities in Steiermark, Austria* (Diss. Sheffield 1994).

**1992**

SPERL G., *Archäologische Untersuchungen zur bronzezeitlichen Kupfererzeugung im Nordalpenraum: Ausgrabungen in der Eisenerzer Ramsau 1992*. In: *Archäologie Österreichs* 3/2 (1992), 32.

WEINEK H., *Funde von Kupferschmelzplätzen und Kupferbergbauen im Raume Eisenerz*. In: *res montanarum* 4 (1992), 63f.

**Fundberichte**

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 31, 1992, 445.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 32, 1993, 703f.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 33, 1994, 523.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 34, 1995, 660.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 35, 1996, 444.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 36, 1997, 796.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 38, 1999, 772f.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 39, 2000, 588–590.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 42, 2003, 662, 798

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 43, 2004, 843, 1009f.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 44, 2005, 483.

KLEMM S., KG Krumpenthal, SG Eisenerz, VB Leoben. In: *Fundberichte aus Österreich* 45, 2006, 654.

**Presseberichte S1**

- KLEMM S./WEINEK H., Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau. Bericht zur 2. Grabungskampagne. In: Eisenerz heute (März 1994), 20.
- NIEDERHOFER G./KLEMM S./Strohschneider-Laué S., Schulprojekt „Erlebte Urgeschichte in der Eisenerzer Ramsau“. In: Eisenerz heute (März 1994), 21.
- GÜNTHER S., Ein Jahr Innerberger Forum. In: Innerberger Blätter (Februar 1994), 2f.
- KLEMM S./WEINEK H., Kupferschmelzplatz S1, Eisenerzer Ramsau. Bericht zur 2. Grabungskampagne. In: Eisenerz heute (März 1994), 20.
- NIEDERHOFER G./KLEMM S./STROHSCHNEIDER-LAUÉ S., Schulprojekt „Erlebte Urgeschichte in der Eisenerzer Ramsau“. In: Eisenerz heute (März 1994), 21.
- WEINEK H./KLEMM S., Ergebnisbericht über die montanarchäologische Ausgrabung in der Eisenerzer Ramsau – Ausblick. In: Eisenerz heute (Dezember 1994), 16.
- NIEDERHOFER G., Schulprojekt „Erlebte Urgeschichte in der Eisenerzer Ramsau“. In: Innerberger Blätter (März 1995), 2.
- KLEMM S./WEINEK H., Archäologische Ausgrabung. Sommer 1994 in der Eisenerzer Ramsau. In: Innerberger Blätter (März 1995), 3.
- N. N., Gesucht, gegraben, gefunden. Archäologische Pfade zur steirischen Bergbaugeschichte. In: Die Steirische Wochenpost (10. 8. 1995).
- ROUCKA Ch., Fortschritte bei Grabungen in der Eisenerzer Ramsau. In: Kleine Zeitung, Bezirk Leoben (14. 9. 1997).
- N. N., Projekt: Erlebte Urgeschichte. In: Eisenerz heute (Oktober 1997), 12.
- N. N., Urgeschichte im Freien. In: NÖN, Woche 43 (1997), 26.
- N. N., Neues Büro in Eisenerz für Archäologie & Communication. In: Obersteirische Zeitung (31. 1. 1998).
- N. N., Die Wissenschaft unters Volk bringen. In: Neue Zeit, Bezirk Leoben (3. 2. 1998), 28.
- BERGER R. K., Ein archäologisches Zentrum in Eisenerz. In: Der Obersteirer (13. 2. 1998), 36f.
- BIRNBAUM J., Wie lebten „Eisenerzer“ vor mehr als 3000 Jahren? In: Kleine Zeitung, Bezirk Leoben (18. 7. 1998).
- KLEMM S., Lehrgrabung mit amerikanischen Studenten in der Eisenerzer Ramsau. Die montanarchäologische Grabung des bronzezeitlichen Kupferschmelzplatzes erfolgreich fortgesetzt. In: Eisenerz heute (Oktober 1999), 23.
- KLEMM S., Bronzezeitlicher Kupferschmelzplatz in der Eisenerzer Ramsau. Lehrgrabung mit amerikanischen Studenten. In: Eisenerzer Pfarrblatt (November 1999), 14.
- N. N., Bronzezeitliche Kupferschmelze in der Ramsau. In: A. BICHL/B. REISINGER, Archäologie erleben in der Steiermark (Graz 2004), 180f.
- KLEMM S., Archäologische Ausgrabungen fortgesetzt. In: Eisenerz heute (Oktober 2004), 18.
- WEINEK H., Die Bergbaugeschichte von Eisenerz begann vor ca. 4000 Jahren. In: Eisenerz heute (März 2010), 10.

## Verzeichnis der Autorinnen und Autoren / List of Authors

**Susanne Klemm**, Jahrgang 1957, 1977 Lehramt für Volksschulen, Studium der Ur- und Frühgeschichte und Geschichte an der Universität Wien, 1992 Promotion, freischaffende Archäologin in Österreich, Forschungsschwerpunkte Montanarchäologie und interdisziplinäre Forschung zu Themen der prähistorischen und historischen Archäologie, Leitung von und Mitarbeit an interdisziplinären Forschungsprojekten. Vielfältiges Engagement im Bereich der Museums- und Öffentlichkeitsarbeit für Archäologie. 2001 Ernennung zur Korrespondentin der Historischen Landeskommision für Steiermark für den Bereich Montanarchäologie.

Dr. Susanne Klemm

E-Mail: susanne.klemm@gmx.at

Homepage: <https://www.hlk.steiermark.at/cms/ziel/97168202/DE/>

**Karin Gruber**, Jahrgang 1983, 2010 Abschluss Masterstudium Rohstoff- u. Umweltgeologie, Montanuniversität Leoben. 2011 Geomagnetikerin, Zentralanstalt für Meteorologie u. Geodynamik (ZAMG). 2012 Explorationistin, OMV AG, Aufenthalte in Nord Afrika, Iran und Norwegen. 2014–2015 internationale Entsendung nach Tunesien. Fachgebiete umfassen Play Fairway Analysis, Petroleum Systems Analysis, seismischen Daten und Bohrlochmessungen. Seit 2019 Vorstandsmitglied der Österreichischen Geologischen Gesellschaft (ÖGG) und Österreichischen Geophysikalischen Gesellschaft (AGS).

Dipl.-Ing. Karin Gruber, BSc.

E-Mail: kgruber13@gmail.com

Homepage: [www.linkedin.com/in/karingruber](http://www.linkedin.com/in/karingruber); <https://www.geologie.or.at/>; <https://www.geophysik.at/>

**Hassan Neinavaie**, Jahrgang 1942, Studium der Mineralogie, Geochemie, Lagerstättenlehre an der Universität Innsbruck, 1980 Promotion, 1980–1993 tätig in der Forschung bei der VOEST Alpine Erzberg GmbH, 1980 in Leoben, ab 1981 in Eisenerz, 1993–2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Fa. Geoöko, Eisenerz, 2001–2006 Angestellter und bis 2019 freier Mitarbeiter der Geologischen Bundesanstalt (TRF), Wien. Rohstoffprospektion, geologische und lagerstättenkundliche Kartierungen, Erzmikroskopie, mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen komplexer Probenmedien, Umweltmineralogie.

Dr. Hassan Neinavaie

E-Mail: hassanneinavaie5@gmail.com

**Anton Drescher**, Jahrgang, 1948, Studium der Naturwissenschaften und Geographie, 1974 Abschluss des Lehramtsstudiums (Naturgeschichte), 1973–1974 Lehrer in Wien, 1974–1984 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Standort der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (heute: Bundesforschungszentrum für Wald), 1985–2012 staff scientist und Leiter des Herbariums am Institut für Botanik (heute: Institut für Biologie) der Universität Graz. Forschungsschwerpunkte: Vegetation der Steiermark, Vegetationsökologie von Wäldern, speziell von Auenwälder Mitteleuropas und der Alpen sowie der Balkanhalbinsel.

Mag. Dr. Anton Drescher

E-Mail: anton.drescher@uni-graz.at

Homepage: [https://www.researchgate.net/profile/Anton\\_Drescher](https://www.researchgate.net/profile/Anton_Drescher)

**Christina Maierhofer-Reisch**, Jahrgang 1984, ab 2002 Bachelorstudium der Angewandten Geowissenschaften der Montanuniversität Leoben, 2009 Wechsel an die Karl-Franzens-Universität Graz, Abschluss mit BSc. 2010. Von 2010–2016 Masterstudium der Geobiologie und der Paläökologie in Graz sowie Angestellte als studentische Mitarbeiterin in geotechnischen Büros und Vermessungsbüros, seit Oktober 2016 Referentin der Paris-Lodron-Universität Salzburg, derzeit im Fachbereich Erziehungswissenschaft.

BSc. Christina Maierhofer-Reisch

E-Mail: tina.reisch@gmx.at

**Ernst Pernicka**, Jahrgang 1950, Studium der Chemie und Physik an der Universität Wien, emeritierter Professor für Archäometrie und Archäometallurgie am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg, Seniorprofessor an der Universität Tübingen und wissenschaftlicher Direktor des Curt-Engelhorn-Zentrums Archäometrie in Mannheim. Er befasst sich mit der Entwicklung und Anwendung naturwissenschaftlicher Methoden, besonders der Isotopenanalyse, zur Lösung kulturhistorischer Fragen. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Entstehung und Ausbreitung der Metallurgie in der Alten Welt.

Prof. Dr. Ernst Pernicka

Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH, Mannheim

E-Mail: ernst.pernicka@ceza.de

Homepage: <http://www.ceza.de>

**Steffen Kraus**, Jahrgang 1980, studierte Archäometrie an der TU Bergakademie Freiberg und promovierte über „Archäometallurgische Studien zur bronzezeitlichen Kupferverhüttungstechnologie am Kupferschmelzplatz S1 in der Eisenerzer Ramsau (Steiermark, Österreich)“ an der Universität Tübingen. Er arbeitet als Wissenschaftler am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie in Mannheim mit dem Schwerpunkt über den Beginn der Metallurgie Zentralasiens.

Dr. rer. nat. Steffen Kraus

E-Mail: steffen.kraus@ceza.de

Homepage: [www.ceza.de](http://www.ceza.de)

**Mona Abd El Karem**, Jahrgang 1986, 2004–2013 Diplomstudium der Zoologie und Ägyptologie an der Universität Wien, seit 2007 freischaffende Archäozoologin, seit 2011 Doktoratsstudium der Biologie an der Universität Wien; Forschungsschwerpunkte: Entwicklung der Haustiere und Versorgungsstrategien in Österreich und Ägypten.

Mag. Mona Abd El Karem

E-Mail: mona\_maek@yahoo.de

**Erich Pucher**, Jahrgang 1953, 1971–1978 Studium der Biologie, Zoologie und Anthropologie, Universität Wien, 1971–1981 AHS-Lehrer, 1982 Wissenschaftlicher Bediensteter an der Archäologisch-Zoologischen Sammlung des Naturhistorischen Museums Wien, seit 1992–2018 Sammlungsleiter, 1991–2006 Lektor an der Universität für Bodenkultur in Wien; Forschungsschwerpunkt: Entwicklung der Haustierfauna.

Mag. Dr. Erich Pucher

E-Mail: erich.pucher@nhm-wien.ac.at

