

UNTERSUCHUNGEN AN SCHIFFCHENFÖRMIGEN
SCHMELZTIEGELN UND SCHLACKENRESTEN
AUS DER SPÄTEN HALLSTATTZEIT

ULRICH ZWICKER

Mit 20 Textabbildungen und 2 Tabellen

Tiegelfragmente, eine kleine Metallkugel mit hellgrünblauer Patina, weitere Gegenstände aus Bronze und Schlackenreste wurden bei einer Notgrabung im Bereich einer flachen Lößkuppe westlich von Schmiden südlich der neuen Straßenabzweigung Schmiden–Bad Cannstatt–Ludwigsburg in mehreren Gruben von W. JOACHIM gefunden und von der Abt. Bodendenkmalpflege des Landesdenkmalamtes Baden-Württemberg in Stuttgart mit Schreiben vom 16. 6. 1977 übersandt. Beiliegende Scherben und eine kleine Paukenfibel datieren die meisten Gruben in die späte Hallstattzeit. Da im Norden angrenzende Gruben aus der Urnenfelderzeit bekannt waren, wurde am 7. 8. 1977 aus dem Auswurf der Gruben 5 bis 8 und der noch offenen Grube 9 Holzkohle entnommen und im C-14-Laboratorium der Universität Heidelberg (Dipl.-Phys. M. MÜNNICH) datiert. Es ergab sich mit 423 ± 115 v. Chr. eine späthallstattzeitliche Zeitstellung der auch durch Scherben datierten Grube 9. Holzkohle aus dem Auswurf der zusätzlich einige urnenfelderzeitliche Scherben enthaltenden Gruben 5 bis 8 ergab eine Zeitstellung von 1013 ± 115 v. Chr. Der Fundplatz liegt etwa 2 km Luftlinie von den hallstattzeitlichen Fürstengräbern I¹ und II², die im Steinhaldenfeld von Bad Cannstatt mit verschiedenen Grabbeigaben 1934 und 1937 gefunden wurden. Im Gebiet des Steinhaldenfeldes wurden ebenfalls Spuren der vorhergegangenen Zeiten in der Nähe dieser Fürstengräber festgestellt. Eine systematische Untersuchung im Bereich dieser Siedlungen konnte jedoch nicht erfolgen. Auch die Fundplätze in Schmiden, in deren Gebiet Spuren der Steinzeit³, der Bronzezeit⁴, der Keltenzeit⁵, der römischen⁶ und alamannischen Zeit⁷ nachgewiesen wurden, sind bisher noch nicht systematisch untersucht worden. Demgegenüber konnte eine späthallstattzeitliche Siedlung aus dem Bereich des Kleinaspergles in Kornwestheim in einer Notgrabung genauer untersucht werden. Dort wurden zwar keine Schmelztiegel, jedoch eine Anzahl von Werkzeugen aus Eisen und Halbfabrikaten aus Bronze

¹ O. PARET, Das Fürstengrab der Hallstattzeit von Bad Cannstatt. Fundber. aus Schwaben N. F. 8, 1935 (Anhang) 1 ff.

² O. PARET, Ein zweites Fürstengrab der Hallstattzeit von Stuttgart–Bad Cannstatt. Fundber. aus Schwaben N. F. 9, 1938, 55 ff.

³ Fundber. aus Schwaben N. F. 4, 1928, 18; ebd. 7, 1932, 18; ebd. 12, 1952, 31; ebd. 14, 1957, 174; ebd. 15, 1959, 139 (Oeffingen). 149 (Schmiden); ebd. 16, 1962, 223.

⁴ Fundber. aus Schwaben N. F. 7, 1932, 25; ebd. 12, 1952, 31; ebd. 14, 1937, 182.

⁵ Fundber. aus Schwaben N. F. 12, 1952, 48; ebd. 14, 1957, 223; ebd. 15, 1959, 192; ebd. 16, 1962, 223. 304; ebd. 18/2, 1967, 68.

⁶ Fundber. aus Schwaben N. F. 15, 1959, 174.

⁷ Fundber. aus Schwaben N. F. 12, 1952, 128.

gefunden, die auf eine Metallverarbeitung hinweisen⁸. Für die keltische Zeit wird angenommen⁹, daß insbesondere die Fibelherstellung¹⁰ in kleinen Werkstätten im Lande selbst erfolgt ist. Sichere Hinweise dafür fehlen jedoch bisher. Die im folgenden beschriebenen Untersuchungen sollten deshalb für diesen Bereich erste Hinweise ermöglichen.

Insgesamt wurden Reste von etwa fünf Schmelztiegeln in den Gruben 6, 28, 29 und 30 gefunden. Da sie eine ungewöhnliche Form (Abb. 1) aufwiesen, etwa 8 cm lang, 3 cm an der dicksten Stelle breit und an der tiefsten Stelle ca. 3 cm hoch sind, von hinten (etwa 2 cm) nach vorne (etwa 0,7 cm) spitz zulaufen, entsprechen sie nicht der sonst üblichen konischen runden Form der Schmelztiegel. Auf einer Seite lassen starke Inkrustierungen auf eine hohe Temperatur (etwa 1200°C) schließen. Möglicherweise sind derartige Scherben schon in anderen Fundstellen gefunden, aber nicht als Schmelztiegel erkannt worden. Ein Fund mit ähnlichen Tiegeln wurde aus Holland¹¹ berichtet. In einem der Tiegel aus Schmiden (Grube 29) wurden kleine grüne Kügelchen beobachtet; eine rasterelektronenmikroskopische Vergrößerung¹² einer dieser kleinen Bronzekugeln ist wiedergegeben (Abb. 2). Sie zeigten in einer Energiedispersions- (EDAX = Energy Dispersive Analysis of X-Rays) Untersuchung je nach Analysenpunkt wechselnde Gehalte der Elemente Aluminium, Kupfer, Eisen, Blei, Silizium und Zinn. Aluminium und Silizium sind aus der angesinterten Erde vorhanden. Die Hauptlegierung besteht aus Kupfer, Zinn und Blei.

Ein Bruchstückchen des Tiegels und eines kleinen Schmelztröpfchens mit blauer Patina wurde mit Hilfe eines Quarzspektrographen Q 24 spektrographisch untersucht. Die Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse. Auch in der Tiegelwand wurden erhebliche Anteile der Bronze gefunden. Der Tiegel enthielt Ca-Mg-Silikat. Außer Spuren von Arsen wurden neben Eisen merkliche Anteile von Silber und Zink in dem Schmelztröpfchen festgestellt.

Bei dem Bronzeschmelztropfen aus Grab 29 handelt es sich um eine Kugel mit 3,5 mm Durchmesser und hellgrün-blauer Patina. Es darf angenommen werden, daß er beim Gießen verlorenging und rasch erstarrte. Eine Untersuchung mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskopes ergab an der Oberfläche in einem Bereich, der relativ grob kristallisiert war (Abb. 3), an einer runden Stelle neben dem Hauptanteil von Kupfer, Zinn und Blei einen höheren Anteil an Schwefel neben Silizium. An anderen Stellen konnten nur Kupfer, Zinn, Blei und Eisen mit Sicherheit nachgewiesen werden. Ein geringer Anteil an Phosphor in diesen Oberflächenschichten ist nicht auszuschließen.

Die Kugel wurde außerhalb der Mitte durchgesägt und der kleinere Teil geschliffen und poliert. Abb. 4 gibt die gesamte Schnittfläche in schwacher Vergrößerung wieder. Es ist deutlich starke Korrosion an der Oberfläche, entsprechend dem Rand der Schlißfläche, zu erkennen. Im Innern der Kugel werden zuweilen Lunker und Poren beobachtet, die

⁸ W. JOACHIM/J. BIEL, Untersuchung einer späthallstatt-frühlatènezeitlichen Siedlung in Kornwestheim, Kreis Ludwigsburg. Fundber. aus Bad.-Württ. 3, 1977, 173 ff.

⁹ K. BITTEL, Die Kelten in Württemberg (1934).

¹⁰ H. ZÜRN, Hallstattforschungen in Nordwürttemberg. Veröff. d. Staatl. Amtes für Bodendenkmalpflege Stuttgart A/16 (1970).

¹¹ A. OLDEBURG, Metalltechnik un der Förhistorisk Tid (1942) Bd. 2 Fig. 240 und 241. — Inzwischen noch ein Neufund aus Lahnstein: Bonner Jahrb. 177, 1977, 106 mit Abb. 23, 3; 54, 47.

¹² Diese Untersuchungen konnten am Lehrstuhl Glas und Keramik der Universität Erlangen-Nürnberg erfolgen, wofür an dieser Stelle gedankt sei.

Tabelle 1 Spektralanalyse.

| Probe | As | Fe | Si | Mn | Mg | Pb | Sn | | | |
|---|------|------|------|----|------|------|------|----|--|--|
| Bruchstück eines Gußtiegels aus Grube 29 | nn | + | +++ | nn | +++ | Sp | + | | | |
| Schmelztröpfchen aus der Innenseite eines Gußtiegels aus Grube 29 | Sp | + | + | nn | ++ | +++ | ++++ | | | |
| Schmelztropfen (3,5 mm ϕ) aus Grube 29 | Sp | nn | + | nn | nn | ++++ | ++++ | | | |
| Pauke der Paukenfibel aus Grube 5 bis 8 | + | ++++ | ++++ | nn | ++++ | ++++ | ++++ | | | |
| Nadel der Paukenfibel aus Grube 5 bis 8 | nn | + | ++ | nn | +++ | nn | ++++ | | | |
| Probe | Cu | Zn | Ag | Ti | Ca | Al | Ni | Co | | |
| Bruchstück eines Gußtiegels aus Grube 29 | ++++ | nn | nn | nn | +++ | Sp | nn | nn | | |
| Schmelztröpfchen aus der Innenseite eines Gußtiegels aus Grube 29 | HM | + | ++ | nn | +++ | nn | nn | nn | | |
| Schmelztropfen (3,5 mm ϕ) aus Grube 29 | HM | ++ | +++ | + | ++ | Sp | nn | nn | | |
| Pauke der Paukenfibel aus Grube 5 bis 8 | HM | nn | +++ | nn | ++++ | + | ++ | + | | |
| Nadel der Paukenfibel aus Grube 5 bis 8 | HM | nn | + | nn | ++++ | nn | nn | nn | | |

HM = Hauptmenge

++++ \rightarrow + abnehmende Linienstärke

Sp = Spur, Hauptlinien nur schwach nachweisbar

nn = nicht nachweisbar

auf eine starke Gasaufnahme während des flüssigen Zustandes hinweisen, ferner sind viele runde dunkle Einschlüsse vorhanden, die, wie die Elektronenstrahlmikroanalyse zeigt, aus kupferhaltigen Bleimischkristallen bestehen. Abb. 5 und 6 zeigen vergrößerte Ausschnitte aus Abb. 4, und Abb. 7 gibt einen stärker vergrößerten Ausschnitt aus Abb. 6 wieder. In diesen Abbildungen sind die Punkte der Elektronenstrahlmikroanalyse eingezeichnet, und Tabelle 2 gibt die Intensitäten der gemessenen Linien dieser 12 Punkte wieder. In P1, P3, P4 und P8 wurden metallische Anteile gefunden. P1 entspricht einem Kupfer-Zinn-Mischkristall, der etwa 5% Zinn enthält. Dieser Gehalt wurde durch Vergleichsanalysen mit Proben mit bekanntem Legierungsgehalt ermittelt. Da die Schmelze sich beim Erstarren in einen Kupfer-Zinn-Mischkristall und in flüssige Bleitropfchen mit geringem Kupfergehalt (P3, P4, P8) entmischt, werden die kupferhaltigen Bleitropfchen in der erstarrten Bronze fein verteilt meist in runder Form gefunden. In P9 wurde Kupfersulfid nachgewiesen, das wahrscheinlich aus der Verhüttung des Kupfererzes stammt. Bei den übrigen Punktanalysen P2, P5, P6, P7 und P10 bis P12 dürften oxidische Bestandteile vorhanden sein, da die metallischen Anteile vermindert sind und Schwefel fehlt. Sie sind entweder teilweise bereits in der Schmelze vorhanden gewesen oder haben sich erst beim Erstarren gebildet. Teilweise sind sie wahr-

Tabelle 2 Elektronenstrahlmikroanalyse der Schmelztropfenkugel aus Grube 29 (3,5 mm ϕ). Die Punkte P 1 bis P 12 sind in den Abb. 5 bis 7 wiedergegeben. Die Linien, deren Intensität ($\times 10^3$ Imp/min) eingetragen ist, werden bei den einzelnen Elementen mitgeteilt. Sind keine Angaben vorhanden, so war das Element nicht mit dieser Methode nachweisbar.

| Punkt- lage | Glimmer-Kristall | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Mg K α_{11} | Al K α_{11} | Si K α_{11} | P K α_{11} | S K α_{11} | Cl K α_{11} | K K α_{13} | Ca K α_{13} | Ti K α_{13} |
| P 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 7 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 9 | — | — | — | — | 11,0 | — | — | — | — |
| P 10 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 11 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P 12 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

| Punkt- lage | LiF-Kristall | | | | | | | | | Glimmer-Kristall | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| | Mn K α_{11} | Fe K α_{11} | Co K α_{11} | Ni K α_{11} | Cu K α_{11} | Zn K α_{11} | As K α_{11} | Pb L α_{11} | Mo L α_{11} | Ag L α_{13} | Sn L α_{12} | Sb L α_{13} | Ba L α_{13} | |
| P 1 | — | — | — | — | 89,5 | — | — | — | — | — | 0,85 | — | — | |
| P 2 | — | — | — | — | 68,1 | — | — | (0,20) | — | — | — | — | — | |
| P 3 | — | — | — | — | 2,78 | — | — | 17,9 | — | — | — | — | — | |
| P 4 | — | — | — | — | 4,19 | — | — | 17,9 | — | — | — | — | — | |
| P 5 | — | — | — | — | 17,5 | — | — | 0,84 | — | — | 1,78 | — | — | |
| P 6 | — | — | — | — | 64,1 | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| P 7 | — | — | — | — | 53,8 | — | — | (0,31) | — | — | 1,03 | — | — | |
| P 8 | — | — | — | — | 4,70 | — | — | 15,0 | — | — | — | — | — | |
| P 9 | — | — | — | — | 55,1 | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| P 10 | — | — | — | — | 35,8 | — | — | 6,39 | — | — | — | — | — | |
| P 11 | — | — | — | — | 35,9 | — | — | 3,25 | — | — | 1,50 | — | — | |
| P 12 | — | — | — | — | 46,5 | — | — | 3,26 | — | — | — | — | — | |

scheinlich erst bei der langen Lagerung im feuchten Boden entstanden. Bei P2 und P7 ist wegen des geringen Bleigehaltes die Linie mit nächstfolgender Intensität nicht mehr nachweisbar, so daß eine Unterscheidung zwischen Blei und Arsen nicht mehr möglich ist. Aufgrund des sicher nachgewiesenen Bleigehaltes ist jedoch anzunehmen, daß es sich um die Blei-Linie handelt. Die Werte sind in Klammer gesetzt.

Die spektralanalytische Untersuchung (Tabelle 1) der Metallkugel zeigte, daß die Legierung des Schmelztropfens (3,5 mm ϕ) mit den an der Tiegelwand haftenden Bronzekügelchen identisch ist. Wie dort wurden auch hier Spuren von Arsen sowie merkliche Anteile von Silber und Zink gefunden. Es dürfte sich demnach sicher um einen Schmelztropfen, der in einem der Schmelztiegel geschmolzen wurde, handeln. Eine Makroröntgenfluoreszenzanalyse der Schlißfläche ergab denselben Befund (Abb. 8). Es wurden die Linien der Elemente Kupfer, Blei und Zinn gefunden. Die Chrom-Linien sind durch die Chromröhre, die für die Erzeugung des Röntgenstrahles verwendet wurde, verursacht worden. Die Legierung des Schmelztropfens besteht somit aus einer bleihaltigen Zinnbronze, wie sie aus dieser Zeit häufig beobachtet wird.

So konnte an einer kleinen Paukenfibel, die von H. KIRSCHLER in Schmiden gefunden wurde¹³, und an einer gleichartigen Fibel, die dem Auswurf der Gruben 5 bis 8 von JOACHIM entnommen wurde (Abb. 9), durch Röntgenfluoreszenzanalyse diese hochbleihaltige Zinnlegierung festgestellt werden. Durch Spektralanalyse (Tabelle 1) an der Nadel der Paukenfibel und auf der Pauke der Paukenfibel konnte weiterhin festgestellt werden, daß das sicher gegossene Teil, das aus dem Nadelaufnehmer, der Pauke und dem Querträger für die Ringwicklung des Nadeldrahtes besteht, aus einer bleireichen wenig verformbaren Zinnbronzegußlegierung besteht, während der Draht kein Blei enthält und deshalb gut verformbar ist. Ein in Grube 20 gefundener, mit Ringkerben versehener, $3 \pm 0,2$ mm dicker Armreif besteht ebenfalls aus dieser gut verformbaren Zinnbronze. Abb. 10 zeigt das rekristallisierte Gefüge dieses Armeifs im Querschliff. Die Randzone ist oxidiert. Die kleinen hellgrauen Einschlüsse dürften aus der θ -CuSn-Phase bestehen. Ein in der gleichen Grube gefundenes, etwa 0,5 mm dickes Bronzeplättchen, zu dem wahrscheinlich eine abgebrochene Verdickung gehörte, bestand ebenfalls aus der bleireichen Zinnußlegierung. Ein Nadel- oder Fibel-Endstück (Abb. 11) aus der Grube 4 bestand ebenfalls aus dieser bleihaltigen Bronze. Die Röntgenfluoreszenzanalyse einer auf dem Staffelberg gefundenen Paukenfibel (Abb. 12) aus der ur- und frühgeschichtlichen Sammlung der Universität Erlangen-Nürnberg ergab ebenfalls einen hohen Bleigehalt in der Zinnbronze. Auch in Endstücken derartiger Fibeln (Abb. 13) und an einer kleinen Bogenfibel (Hallstatt D3-Latène) von demselben Fundort wurden bleihaltige Zinnlegierungen festgestellt¹⁴.

Ein größeres Schlackenstück aus Grube 9 (ca. 50 g) (Abb. 14) zeigt am Rande eine wulstförmige Ausbildung und ist etwa max. 2 cm dick. Es enthält Gasblasen und ist stark ferromagnetisch. Das Gefüge ist in unterschiedlicher Vergrößerung wiedergegeben (Abb. 15. 16). Es zeigen sich helle Kristallbereiche, meist aus Primärkristallen aus Magnetit in Fayalit, wie sie bei Eisenschlacken beobachtet werden. Da in P1 Bronze gefunden wurde, dürfte die Schlacke durch Auflösen von Eisen während der Schmelzarbeiten entstanden sein. P2 besteht aus Magnetit. Zur Bestimmung des Schmelzbereiches wurde ein Stück Schlacke in einem Pythagorastiegel aufgeschmolzen und im Ofen unter Holzkohle langsam abgekühlt. Eine angeschliffene Probe ergab einen ähnlichen Gefügebraufbau (Abb. 19) mit jedoch wegen der langsameren Abkühlung größeren Phasenbestandteilen, die denen der nicht umgeschmolzenen Schlacke entsprachen. Durch die Aufschmelzversuche konnte der Beginn des Schmelzens der Schlacke bei 1150°C festgestellt werden. Bei 1300°C war die Schlacke schmelzflüssig. Angeschmolzene Bereiche der Tiegel dürften deshalb ähnliche Temperaturen erreicht haben. Im kleinen Schlackenstück (ca. 0,3 g) aus dem Auswurf der Gruben 5 bis 8 wurden dieselben Kristallarten (Abb. 18) gefunden. Die Schlacke ist jedoch größtenteils glasig erstarrt, was möglicherweise durch höhere Silikatanteile und sicher durch eine gegenüber dem großen Schlackenstück raschere Abkühlung verursacht wurde.

An einer anderen porösen, nicht ferromagnetischen Schlacke aus dem Auswurf der Gruben 5 bis 8 sind aufgrund der Röntgenfluoreszenzanalyse hohe Anteile von Blei und neben Kupfer auch sehr geringe Zinn-Gehalte festgestellt worden. Der Anschliff zeigte neben einem größeren Bereich aus sehr zinnarmem Kupfer eine Schlacke mit Kupfer-Kugeln (Abb. 17). Bei der stärkeren Vergrößerung des Bereiches aus zinnarmem

¹³ Fundber. aus Schwaben N. F. 18/2, 1967, 68 f.

¹⁴ Frau Prof. Dr. G. FREUND und Herrn Dr. C. ZÜCHNER sei für die Überlassung der Proben für die Spektralanalyse herzlich gedankt.

Kupfer (Abb. 20) können hohe Anteile von Kupferoxydul mit Hilfe des polarisierten Lichtes beobachtet werden, da die blaue Farbe des Kupferoxides in Dunkelrot umschlägt. Offenbar sind an dieser Stelle durch die hohe Temperatur das Blei und das Zinn aus der Bronze größtenteils herausoxidiert worden. Oxydationsversuche mit einer Blei-Zinn-Bronze der Zusammensetzung CuSn8Pb10 ergaben eine ähnliche Verminderung des Blei- und des Zinngehaltes durch Oxydation bei Temperaturen zwischen 1000°C bis 1200°C .

Die Untersuchungen zeigen, daß in der Späthallstattzeit in der Siedlung bei Schmiden Bronze in für diese Zeit möglicherweise typischen schmalen schiffchenförmigen Tiegeln geschmolzen und vergossen wurde. Es ist anzunehmen, daß dabei relativ hohe Temperaturen ($1200\text{--}1300^{\circ}\text{C}$) erreicht wurden. Eine derartige heiße Schmelze aus bleihaltiger Zinnbronze mit niedriger Schmelztemperatur ist besonders gut geeignet für einen Überfangguß, der bereits für kleine¹⁵ und große¹⁶ Teile aus der Bronzezeit bekannt ist, oder für das Abgießen von komplizierten Fibelformen, die eine sehr unterschiedliche Wandstärke zeigen, wie das z. B. bei Paukenfibeln (Abb. 9.12) der Fall ist. Ein Metallstück einer derartigen bleihaltigen Kupfer-Zinn-Legierung wurde z. B. durch Ausgrabungen von K. BITTEL in Boghazköy bereits aus der Bauschicht II b (12. oder 11. Jahrh. v. Chr.) bekannt¹⁷. Der Bleizusatz von etwa 10% verbilligte die Zinn-Bronze und verbesserte die Ver gießbarkeit. Da die Verformbarkeit dieser Legierungen sehr gering ist, mußten die dazugehörigen Nadeln aus einem bleifreien und deshalb teureren Werkstoff angefertigt werden.

Die Gruben 5 bis 8, 9 und 29, in denen sich die Scherben der Tiegel befanden, dürften als Abfallgruben verwendet worden sein. Der eigentliche Schmelzplatz hat sich wohl an der Oberfläche in einer Hütte oder im Freien befunden, so daß seine Reste inzwischen verschleift sind. Mit weiteren Funden derartiger Scherben von Tiegeln auch an anderen Siedlungsplätzen aus der Späthallstattzeit ist zu rechnen.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. U. ZWICKER, Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft (Metalle)
Martensstraße 5
8520 Erlangen

¹⁵ B. URBON, Spätbronzezeitliche Gußformen aus Württemberg. Fundber. aus Schwaben N. F. 15, 1959, 116 ff.

¹⁶ H. DRESCHER, Der Überfangguß (1958).

¹⁷ K. BITTEL in: W. WITTER / H. OTTO, Handbuch der ältesten Metallurgie in Mitteleuropa (1952) Nr. 1352.

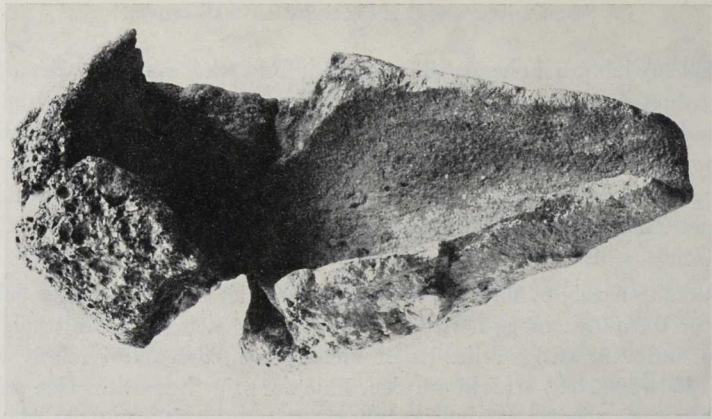


Abb. 1 Weitgehend erhaltener Schmelztiegel aus Grube 6. Maßstab 1:1.

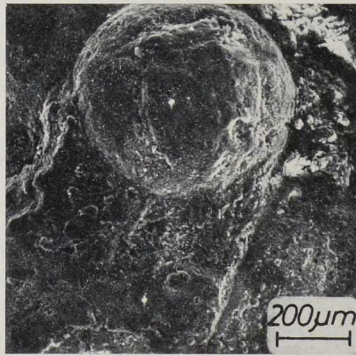


Abb. 2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme: Bronzeschmelztropfen eines Tiegels aus Grube 29.

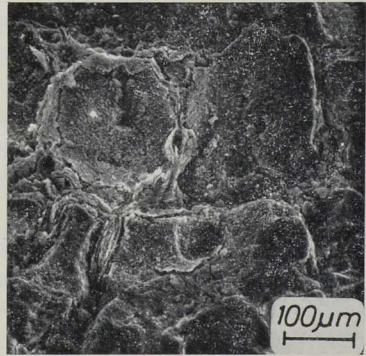


Abb. 3 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme: Oberfläche vom Bronzeschmelztropfen Abb. 2, Bereich mit höheren Schwefelanteilen.

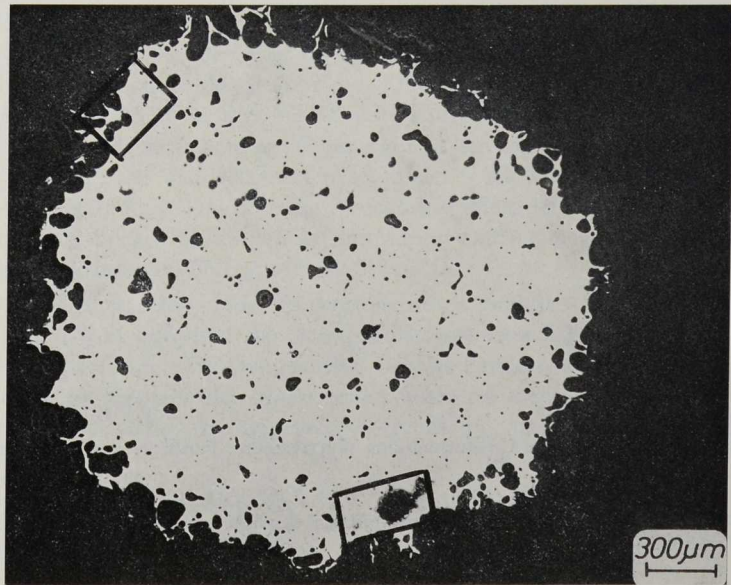


Abb. 4 Schnittfläche des Bronzeschmelztropfens.

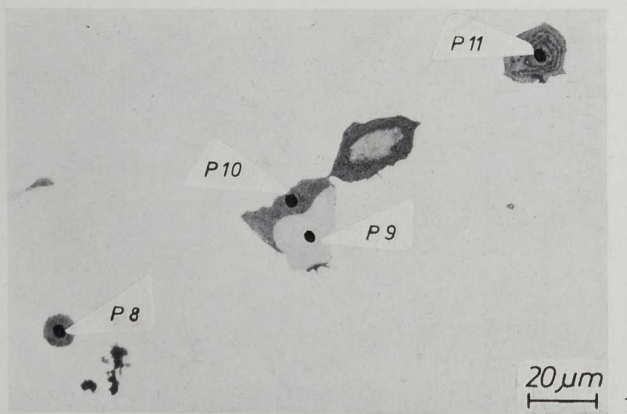
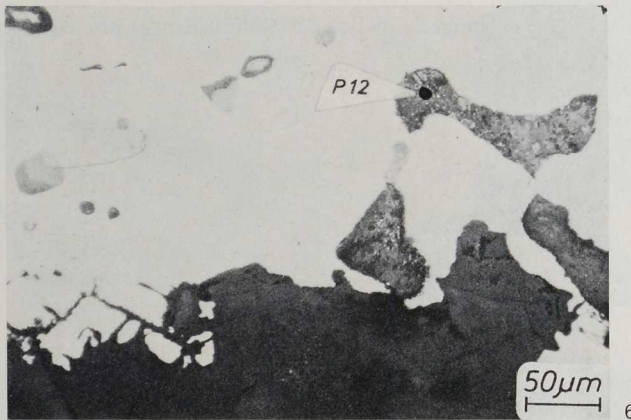
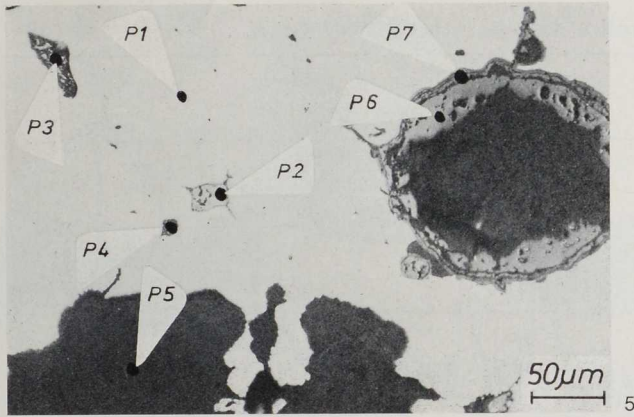


Abb. 5 bis 7 Gefügebilder aus dem Schmelztropfen der Abb. 4 mit Punktlagen der Elektronenstrahlmikroanalyse.

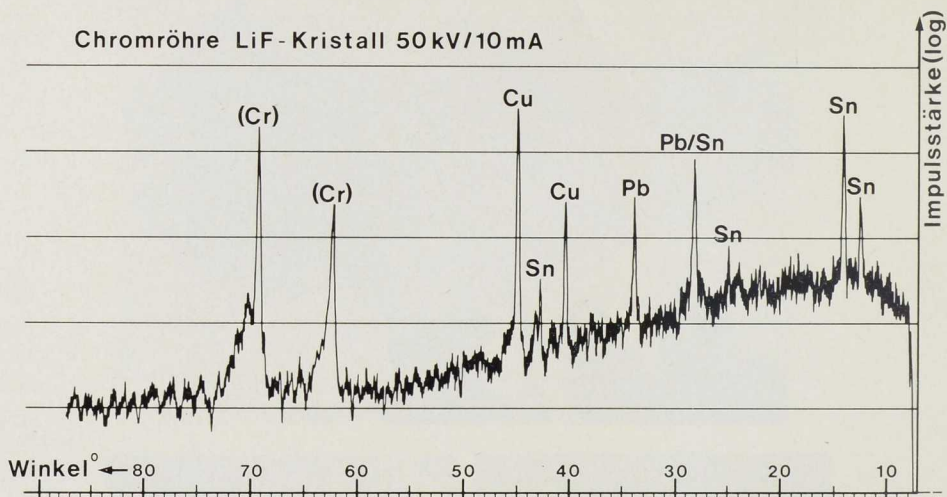


Abb. 8 Makroröntgenfluoreszenzanalyse der Schlißfläche des Bronzeschmelztropfens.



Abb. 9 Kleine Paukenfibel aus Gruben 5 bis 8; Abfunkstellen der Spektralanalyse an Pauke und Nadel. Maßstab 2:1.



Abb. 11 Aufsatz einer Fußzierfibel aus Grube 4; Abfunkstellen der Spektralanalyse am Rand und an der Spitze des Knopfes. Maßstab 2:1.



Abb. 10 Rekristallisiertes Gefüge der Zinnbronze des Armreifs aus Grube 20.

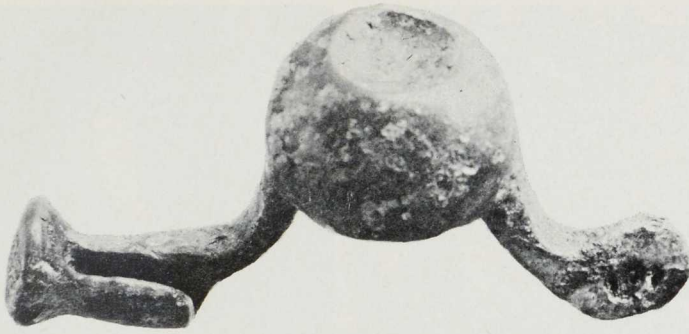


Abb. 12 Paukenfibel vom Staffelberg in Oberfranken. Maßstab 2:1.



Abb. 13 Fibelfragment vom Staffelberg in Oberfranken. Maßstab 2:1.



Abb. 14 Großes Schlackenstück aus Grube 9. Maßstab etwa 1:1.

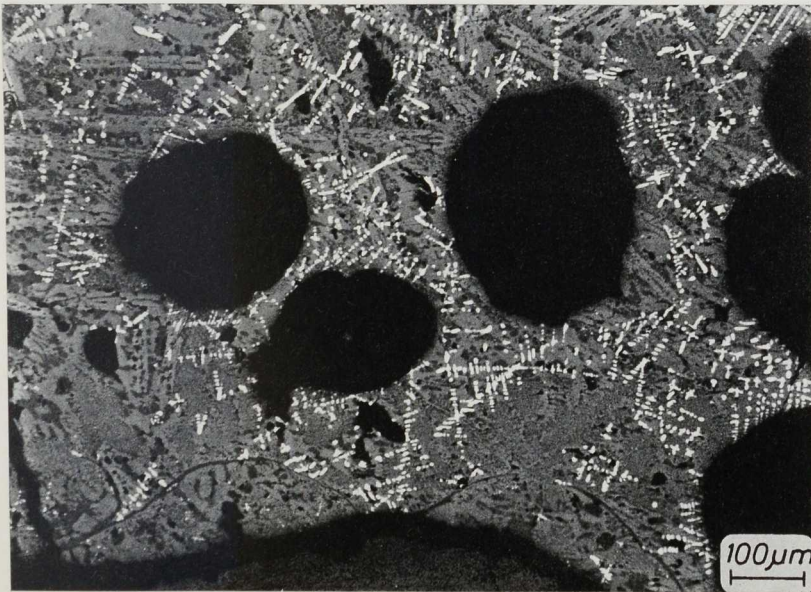


Abb. 15 Gefüge des Schlackenstückes aus Grube 9.

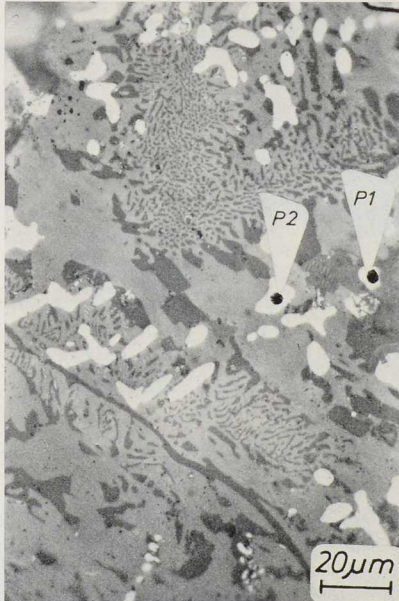


Abb. 16 Gefüge des Schlackenstücks aus Grube 9. Teilbereich aus Abb. 15 mit Punktlagen der Elektronenstrahlmikroanalyse.

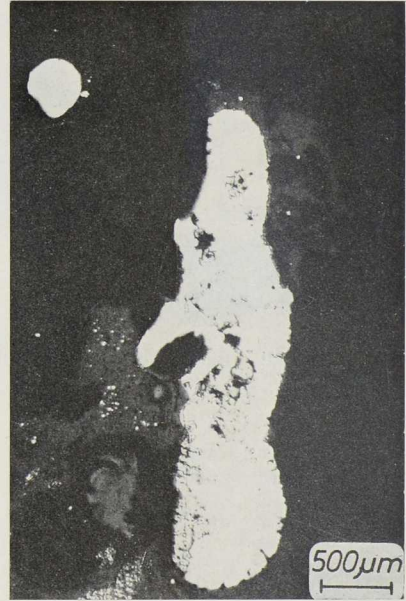


Abb. 17 Stark oxidierte, entzinnte und entbleite Metalltropfen im Gefüge einer porösen Schlacke aus dem Auswurf der Gruben 5 bis 8.

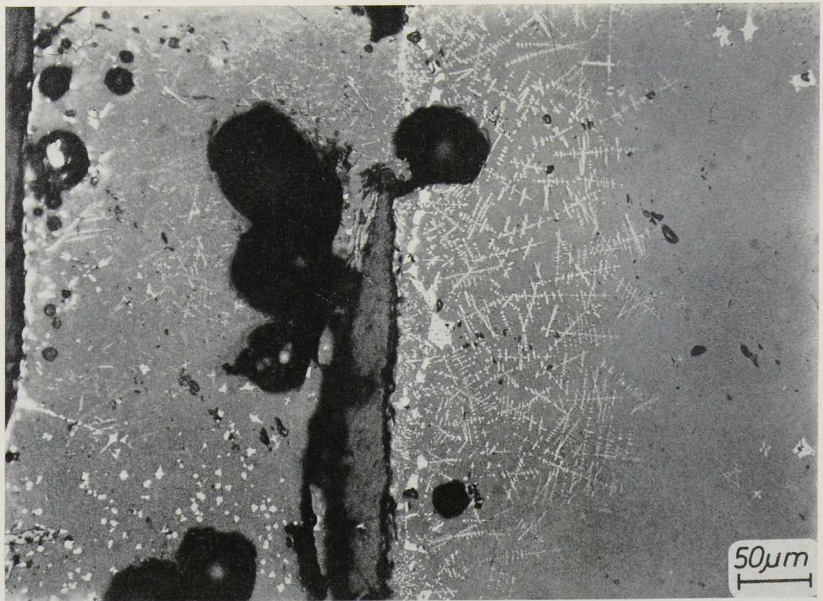


Abb. 18 Gefüge des kleinen Schlackenstückes aus dem Auswurf der Gruben 5 bis 8.



Abb. 19 Gefüge des unter Holzkohle umgeschmolzenen Schlackenstückes aus Grube 9.

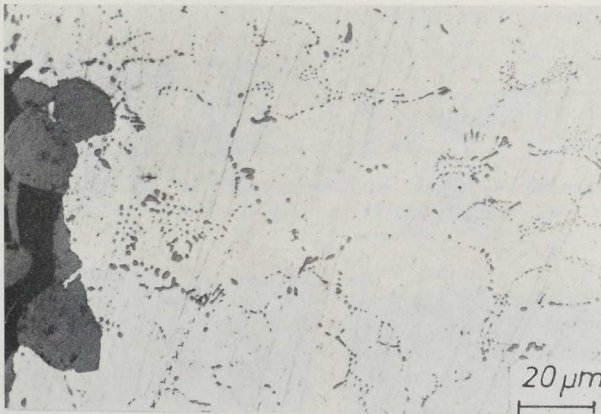


Abb. 20 Stärkere Vergrößerung im Grenzgebiet oxidierter Schmelztropfen/Schlacke des Stückes von Abb. 17.