

Der Rezensent vermißt bei letzteren Vergleichen allerdings die Einbeziehung verwandter balkanischer Schwerttypen; der Blick scheint doch stark auf Italien verengt. – Hingewiesen sei in diesem Zusammenhang auf R. Jungs oben genannte Monographie sowie auf den von E. BORGNA und P. CASSOLA GUIDA herausgegebenen Kongressbericht „Dall’Egeo all’Adriatico“ (Rom 2009), Ergebnis eines Kongresses in Udine zu den hier zur Diskussion stehenden Fragen.

Ein von J. B. Rutter erstellter Bericht über die Schlußdiskussion des Kolloquiums, in der durchaus einige Details näher beleuchtet und ergänzt werden, rundet den Band ab, einen Band, der nicht nur neue Grabungsergebnisse vorlegt, sondern in der Systematisierung des Fundstoffes, in der Definition seiner chronologischen Abfolge und in seinen regionalstilistischen Beobachtungen einen erheblichen Fortschritt darstellt.

D-91054 Erlangen
Kochstraße 4 / 19
E-Mail: hartmut.matthaeus@arch.phil.uni-erlangen.de

Hartmut Matthäus
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Institut für Klassische Archäologie

TOBIAS L. KIENLIN, Frühes Metall im nordalpinen Raum. Eine Untersuchung zu technologischen und kognitiven Aspekten früher Metallurgie anhand der Gefüge frühbronzezeitlicher Beile. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie, Band 162 (2 Teile). Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn 2008. € 145,-. ISBN 978-3-7749-3410-8. Teil 1: 352 Seiten, 58 Abbildungen, 19 Tabellen; Teil 2: 442 Seiten, 3 Abbildungen, 159 Tafeln.

Vom Autor wurden 159 Beile des Sächsischen Typs (25), der Typen Salez (29), Neyruz (21) und Langquaid (29) neben einer geringeren Anzahl ähnlicher sowie älterer und jüngerer Formen (Abb. 6) metallographisch durch eine am Schneidenende entnommene kleine Probe untersucht (Taf. 1–159). Eine wohl manchen Museen nicht genehme zerstörende Prüfung war unumgänglich, da eine chemische Analyse nicht ausreicht, wenn auf Eigenschaften und Verwendung geschlossen werden soll. So kann eine solche Analyse nicht entscheiden, ob die Bronze im gegossenen, geschmiedeten oder geglühten Zustand vorliegt. Auch der für die Standfestigkeit mitbestimmende Grad der Kaltverfestigung und die Korrosion können nicht durch eine chemische Analyse erfasst werden.

In der einschlägigen Literatur stehen den zahlreichen bisherigen Analysen von Bronzebeilen verhältnismäßig wenig Gefügebilder und Härtewerte gegenüber, so dass die Arbeit des Autors eine wertvolle Ergänzung der bisherigen Untersuchungen darstellt.

Im Teil I der Arbeit mit 16 Kapiteln behandelt der Autor den Datenbestand, die Grundlagen der Gruppierung und die Ergebnisse der Untersuchung der Beiltypen, woran sich die Ergebnisse experimenteller Arbeiten und Folgerungen aus dem technologischen Wandel vom Kupfer zur Zinnbronze anschließen. In 813 Anmerkungen, die sich auf 600 Literaturstellen beziehen, setzt sich der Autor sehr intensiv und kritisch mit dem Thema auseinander.

Der Datenbestand mit Herkunft und Fundumständen der einzelnen Beiltypen wird anschaulich in Verbreitungskarten und Tabellen dargelegt (Kap. 2). Die für die Beurteilung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften möglichen Gefügestände zeigt der Autor schematisch in einer Übersicht (Kap. 3 S. 46, Abb. 12) auf. Daran schließen sich metallographische Aufnahmen der wichtigsten Gefügetypen der metallischen Matrix (S. 47–68, Abb. 13–24) an, die eine fundierte Arbeitsmethode für die weitere Beurteilung der Beile darstellen. Es werden unverformte dendritische Gussgefüge, verformtes Gussgefüge mit teilweiser Rekristallisation, vollständig rekristallisierte und schwach bis stark verformte Gefüge mit Gleitlinien auf jeweils mehreren Bildern gezeigt. Dabei dienen Aufnah-

men aus der Literatur (J. P. NORTHOVER, *Metal Analysis and Metallography of Early Metal Objects from Denmark*. In: H. Vandkilde, *From Stone to Bronze: The Metalwork of the Late Neolithic and Earliest Bronze Age in Denmark*. *Jutland Arch. Soc. Publ.* 33 [Århus 1996] 321–358 und V. F. BUCHWALD/P. LEISNER, *A Metallurgical Study of 12 Prehistoric Bronze Objects from Denmark*. *Journal of Danish Arch.* 9, 1990, 64–102.) für Vergleiche.

Das unverformte Gussgefüge zeichnet sich durch deutliche Dendritenausbildung ohne Verformung, Rekristallisation und Homogenisierungen aus. Aus der Größe und Ausbildungsform der Dendriten kann auf die Art des Gusses geschlossen werden. Werden Gussgefüge verformt, so sind die deformierten dendritischen Gefüge noch zu erkennen, auch auf eine Kaltverformung hinweisende Gleitlinien treten auf.

Die Mehrheit der untersuchten Beile zeigte rekristallisierte durch Glühprozesse verursachte Gefüge mit gleichmäßiger Kornneubildung. Auftretende Gleitlinien und Verformung der Körner weisen auf den Grad einer Kaltverformung hin, der graduell erfasst wird (Tab. 2) und steigender Härte entspricht. Partiiell rekristallisierte Gefüge sind bezogen auf den gesamten Datenbestand gering.

Bei rekristallisiertem Gefüge mit Zwillingsbildung ist nicht zu entscheiden, ob kalt oder heiß geschmiedet wurde (also unter oder über der Rekristallisationstemperatur), denn Zwillinge treten im rekristallisierten Gefüge sowohl bei Kaltverformung und Entfestigungsglühung als auch bei einer Warmverformung auf. Der Verfasser entscheidet sich gegen eine Warmverformung, weil die schwierigere Handhabung und der Temperaturabfall beim Schmiedeprozess dagegen sprechen und die Tatsache, dass ein Sn-Gehalt über 8 % sowieso keine Warmumformung mehr zulässt.

Die Höhe der Rekristallisationstemperatur ist im Wesentlichen direkt abhängig vom Schmelzpunkt und ist umso niedriger, je höher der vorangehende Verformungsgrad war. Als Temperaturbereich wird für archäologische Belange für Arsenkupfer und Zinnlegierungen 300–500 °C angegeben. Die für eine Homogenisierung notwendigen Diffusionsvorgänge laufen dagegen erst bei 600–700 °C unter Glühzeiten bis zu einigen Stunden ab.

Durch Rekristallisation wird eine vorherige Verformung im Gefüge unkenntlich. Um die Gesamtumformung beurteilen zu können, wurde die Streckung von eingelagerten Kupfersulfiden beurteilt, die nicht rekristallisieren. Meist gingen der abschließenden feststellbaren Kaltverformung weitere Verformungsvorgänge voraus.

Für die Schneidfähigkeit bei hoher Standzeit als wichtigste Eigenschaft eines Beiles ist bei gleicher Schneidenausbildung die Härte der Matrix entscheidend. Diese wird durch die Grundhärte je nach Menge und Art der Legierungsbestandteile und durch die Kaltverfestigung bestimmt. Als Abschluss des Herstellungsprozesses wurde Abschleifen und Polieren gewählt, so dass keine Hammerspuren erkennbar waren. Die glatte Oberfläche war nicht nur dem Aussehen förderlich, sondern diente auch einer Erhöhung der Schnittkraft durch Reduzierung der Reibung.

Den Spuren des Herstellungsprozesses stehen die Spuren des Gebrauchs und des Nachschärfens im Gefüge (Kap. 4) gegenüber. Bei rekristallisiertem und bei Gussgefüge ist der betroffene Bereich des Gebrauchs von nur 60 bis 200 Mikrometer von der Klinge ausgehend gut zu erkennen. Bei einem stark kaltverformten Beil werden diese Gebrauchsspuren überlagert und sind nicht unterscheidbar.

Materialinhomogenitäten (Kap. 5) im metallischen Gefüge stellen einen wichtigen Faktor zur Beurteilung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften dar. Durch Ausbleiben einer Gleichgewichtseinstellung beim Gieß- und Erstarrungsvorgang treten starke Mischkristallseigerungen auf, z. B. beim Beil des Typs Langquaid Proben-Nr. 401401 2,23–13,84 % bei einem Matrix-Mittelwert von 8,22 % Zinn. In den Tafeln im Teil 2 sind der Mittelwert von drei Punktanalysen und der repräsentativere Wert der Bereichsanalyse angegeben. In einigen Zinnbronzen findet sich die harte

und spröde und die mechanischen Eigenschaften stark beeinflussende Phase des alpha / delta-Eutektoids, das in der Punktanalyse um 33 % Sn aufweist. Als weitere Phase tritt das plastisch verformbare Kupfersulfid Cu_2S auf, bei Probe 404202 mit 21,36 % Schwefel, das als Beurteilung der Gesamtumformung dient.

Verschiedenste Phasen in den frühbronzezeitlichen Fahlerzmetallen (unlegiert) werden durch die Neben- und Spurenelemente As, Sb, Ni und Ag gebildet. Die Punktanalysen (Tab. 4 und 5) weisen Arsenide und Antimonide auf, die durch Linescans ermittelt, eine relativ gleichmäßige Verteilung zeigen. Während eine gleichmäßige Verteilung zur Erhöhung der Härte (101201 und 101202) und damit zu einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Matrix beiträgt, ist eine ungleichmäßige Verteilung die Ursache für die Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften und für Rissgefahr.

Dem Autor gelang es, markante Herstellungs- und verarbeitungstechnische Unterschiede der einzelnen Beiltypen (Kap. 6–12) herauszuarbeiten.

Bei dem Typ Altheim handelt es sich um ein gering arsenhaltiges Kupfer mit 0,3–0,9 % As, wobei keine gezielte Auswahl besonders arsenreichen Kupfers stattfand. Die Beile zeigen häufig oxidische Einschlüsse. Ein systematischer Zusammenhang zwischen Arsengehalt und Häufigkeit der Einschlüsse wurde nicht gefunden. Gleitlinien, verformte Körner und Weichglühgefüge im metallographischen Schliff zeigen, dass die Kenntnisse der Verfestigung beim Kaltschmieden und die damit abhängige abnehmende Verformbarkeit und die Wiederherstellung der Schmiedbarkeit durch Glühen bekannt waren und genutzt wurden. Die Härte war mit 95 bis 111 HV gering.

Der Typ Salez ist ein klassischer Vertreter des frühbronzezeitlichen Fahlerzkupfers. Die Beile zeichnen sich durch große Streuungen und z. T. hohe Konzentrationen der Elemente Antimon (bis 9 %), Arsen (bis 5 %), Silber (bis 2 %) und Nickel (bis 5 %) aus. Schwefel und Blei treten in separaten Phasen auf. Zinn ist in dieser Gruppe praktisch abwesend, so dass man von einer bewussten Legierung mit Zinn absehen kann. Röntgenaufnahmen belegen den Guss in stehende geschlossene Formen (Abb. 38). Ein formnaher Guss vermied die stärkere Umformung der nicht mechanisch beanspruchten Teile des Beiles. Bei großer Streuung der Härte treten Werte bis 230 HV bei hohem Legierungsgehalt (Nebenelemente bis 14 %) und hoher Kaltverformung, ersichtlich durch Gleitlinien, auf.

Bei den Beilen des Sächsischen Typs stellt der Autor unlegierte (bis 0,72 % Sn) und legierte (ab 1,93 % Sn) Proben gegenüber (Tab. 12). Zinnlegierte Stücke enthalten tendenziell weniger andere Nebenelemente. Das gemeinsame Bestehen beider Varianten zeigt die Übergangsphase an, in der sich die Zinnbronze allmählich durchsetzte. Es werden maximale Härtewerte von 260 HV bei hohem Legierungsgehalt und hoher Umformung erreicht (Abb. 42).

Auch bei den Beilen des Typs Neyruz stellt der Verfasser unlegierte (bis 0,41 % Sn) und legierte (1,45–12,92 % Sn) Proben gegenüber (Tab. 14). Ein Beil (Proben-Nr. 301203) enthält sogar fast 100 % Cu mit vollständig rekristallisiertem Gefüge. Die Tendenz besteht wie bei dem Sächsischen Typ, dass die legierten weniger Nebenelemente als die unlegierten enthalten, jedoch auch „unlegierte“ (Proben-Nr. 301203, 301207 und 301204) keine Nebenelemente enthalten können. Aus Abb. 47 rechts oben wird die allgemeine Tendenz deutlich, dass die Härte (bis 270 HV_{0,1}) mit dem Zinngehalt (bis 14 %) ansteigt. Jedoch hat die Verformung einen weiteren entscheidenden Einfluss auf die Härte. Hoher Zinngehalt (11 %) und geringe Verformung im Klingensbereich (< 50 %) ergaben bei Beil Nr. 304502 eine Härte von nur 151 HV_{0,1}, bei Beil Nr. 311301 ergab der hohe Zinngehalt (10 %) und die starke Verformung im Klingensbereich (70–80 %) eine Härte von 294 HV_{0,1}.

Der Typ Langquaid ist ausnahmslos hoch mit Zinn legiert (7,13–13,97 %; Tab. 15). Bei Verformungen von > 40 % im Klingebereich werden Härtewerte von 200 bis 300 HV_{0,1} (Abb. 50) erreicht, die nur Teilgruppen des Salezer, des Neyruzer Typs und der Sächsischen Beile erreichten. In Einzelfällen werden niedrige Härtewerte von 124 HV_{0,1} (Beil Nr. 402001) und 96,7 HV_{0,1} (Beil Nr. 402401) bei hohen Zinngehalten (12,17 und 10,51 %) infolge fehlender Endkaltverformung gemessen. Der Beiltyp zeichnet sich durch eine Stabilisierung der mechanischen Eigenschaften auf hohem Niveau durch Stabilisierung der Legierungs-, Schmelz- und Schmiedetechnik aus.

Die Vergesellschaftung legierter und unlegierter Beile des Sächsischen Typs und des Typs Neyruz zeigt, dass ein längeres Nebeneinander älterer Fahlerztypen und neuerer Bronzen bestand. Es fand keine rasche Ausbreitung der moderneren zinnlegierten Bronze statt. Diese „Übergangsphase“ einzuzeigen, sieht der Autor als weitere Aufgabenstellung.

Experimentelle Arbeiten mit elf an den Typ Neyruz angelehnten Beilen (Kap. 13 Tab. 18) lieferten aussagekräftige Ergebnisse ihrer Gebrauchseigenschaften beim Bearbeiten von Holz. Das Ende der Gebrauchsfähigkeit wurde bei unlegierten Beilen nach 40–80 Minuten, bei mit 6 % Zinn legierten nach 330–400 Minuten erreicht. Ein leichtes Überschmieden führte zu einer gesteigerten Haltbarkeit. Da bereits der geringe Zinngehalt und das leichte Überschmieden zu dieser Verbesserung führte, sind die noch höher mit Zinn legierten und stärker kaltverfestigten Beile des Typs Langquaid als vollwertige Werkzeuge anzusehen.

Aus den Untersuchungsergebnissen der frühbronzezeitlichen Beile der unterschiedlichen Kupfersorten, vom Arsenkupfer bis hin zur Zinnbronze, leitet der Autor verallgemeinernde technologische und chronologische Aspekte ab (Kap. 14). Die Aussage des Autors, dass der Blick sich nicht auf den Einfluss der Zusammensetzung verengen sollte (S. 278 Z. 6), wird vom Rezensenten als sehr entscheidend angesehen.

Das Gießen der Beile erfolgte in Sand-, Ton- oder Lehmformen. Die Schmelztemperatur des Kupfers wird durch die Legierungselemente herabgesetzt, bei 10 % Zinn von 1083 auf 1000 °C. Das ist zwar temperaturmäßig nicht bedeutend, wie der Autor meint, jedoch ist die Fließeigenschaft der Bronze entscheidend besser als die des Kupfers. Die flüssige Bronze ist dünnflüssiger als die Kupferschmelze, die schädliche Oxidationsneigung ist geringer, und die Form wird besser und schneller gefüllt. Etwas gewagt scheint daher die Aussage, es sei zweifelhaft, dass sich aus dem Bereich der Gießtechnik wesentliche Impulse für die Verwendung unterschiedlicher Kupfersorten und schließlich der Zinnbronze ergeben (S. 262).

Ein ausführlicher vom Verfasser durchgeführter Literaturvergleich zu der Kaltverfestigung der verschiedenen Kupfersorten (S. 263 und 264 Abb. 54 und 55) ergibt, dass zwar unterschiedliche Ergebnisse der Abhängigkeit der Härte vom Verformungsgrad für Arsen- und Zinnbronzen bestehen, jedoch ein signifikanter Unterschied nicht herausgearbeitet werden konnte und daher auch kein entscheidender Unterschied der Gebrauchseigenschaften besteht.

Entscheidend für den letztlich Sieg der Zinnbronzen dürfte nach Meinung des Autors deren verlässlichere Eigenschaft und die bessere Verfügbarkeit des Legierungselementes Zinn gewesen sein.

Anhand der metallographischen Untersuchungen konnten nicht zuletzt die Deutungen zu Waffe-Werkzeug-Barren gefestigt werden (Kap. 15). Der Gefügebefund aller untersuchten Typen zeigt, dass man größten Wert auf die mechanischen Eigenschaften legte, was auf die Dominanz als Werkzeug hindeutet.

Der zweite Teil der Arbeit umfasst die Beschreibung der Grundlagen und Methodik der metallographischen Untersuchung, den Katalog der beprobten Beile, die Analysetabellen sowie 159 Tafeln aller untersuchten Beile.

Bei der Behandlung der Grundlagen für die metallographische Untersuchung bezieht sich der Verfasser auf die Systeme Cu–As, Cu–Sn und Cu–Sb, deren Erstarrung, Rekristallisation, Verformung und Verfestigung. In den metallographischen Untersuchungen berücksichtigt er eine systematische und optimale Probenentnahme und Probenpräparation für die optische Beurteilung, Mikrohärtprüfung und Analyse. Der Schneide des Beiles wurde nur eine einige Millimeter große Probe, jeweils im Katalogteil angegeben, durch Feinschnitt mit einer Goldschmiedesäge entnommen, eingebettet, geschliffen, poliert und geätzt. Die Größe wird für die Gesamtbeurteilung als optimal hinsichtlich der Aussage und des Zerstörungsgrades eingeschätzt.

Für die Analyse kam die energiedispersive Röntgenspektrometrie (EDXS) zur Anwendung, wobei die Elemente, Kupfer, Schwefel, Zinn, Blei, Arsen, Antimon, Silber, Nickel, Cobalt und Eisen auf den frisch polierten Schlißflächen bestimmt wurden. Schwefel, Cobalt, Blei und Eisen wurden zur Charakterisierung von auftretenden Phasen herangezogen.

Die Härte HV 0,1 wurde als Mikrohärt mit einer Prüfkraft von 0,1 kp bestimmt, wobei in den Tafeln 1–159 für jedes Beil jeweils fünf nach einem einheitlichen Prüfschema (S. 389 Abb. AII-3) bestimmte Werte angegeben sind. Der Wert in der äußersten Spitze der Schneide, meist der höchste, ist mit „1“ bezeichnet.

Auf die Messung der elektrischen Leitfähigkeit wurde leider verzichtet. Damit gab man sich die Möglichkeit aus der Hand, mit diesem einfachen zerstörungsfreien Verfahren, bei dem nur ein Taster auf die Oberfläche aufgesetzt wird (P. HAMMER, Metallkundlich-analytische und verfahrenstechnische Untersuchungen. Ber. RGK 79, 1998, 158–168), eine eventuelle Charakterisierung der Beiltypen nach einem modernen zerstörungsfreien Verfahren vorzunehmen.

Im Katalog der beprobten Beile (Anhang III S. 393), in den Analysentabellen und den Tafeln sind die Beile übersichtlich mit der sechsstelligen Proben-Nr. aufgeführt, aus der Beiltyp, Variante, Region und Fundumstände ersichtlich sind (Tab. 1). Für die Analysen (Anhang IV) wird die Beprobungsstelle verzeichnet.

Sehr übersichtlich können auf den fast 350 Tafeln (Anhang V) die Analysen mit den Gefügebildern direkt verglichen werden. Dazu erfolgen die Oberflächenbeurteilung des Beiles, die Härtewerte HV0,1 an fünf definierten Stellen sowie die Beurteilung der Matrix und die Festlegung des Bearbeitungszustandes. Vergleiche mit Ergebnissen anderer Proben und Literaturergebnissen runden das Ergebnis für das jeweilige Beil ab.

Die übersichtliche und klare Dokumentation der Schlißbilder lässt in Verbindung mit den analytischen und Härtewerten des Kataloges zu, sie als Grundlage für Vergleiche und für weitere Untersuchungen zu nutzen. Die Farbaufnahmen der metallographischen Schliße und der Beile auf einer beiliegenden CD-Rom stellen eine wertvolle Ergänzung der Schwarz-Weiß-Abbildungen dar.

D-09405 Zschopau
Gresslerweg 4
E-Mail: up.hammer@googlemail.com

Peter Hammer

DIRK PAUL MIELKE, Die Keramik vom Westhang. Mit einem Beitrag von Hannelore Kapmeyer. Kuşaklı-Sarissa 2. Verlag Maria Leidorf GmbH, Rahden / Westf. 2006. € 74,80. ISBN 3-89646-602-X. 238 Seiten, 154 Abbildungen, 18 Tabellen, 2 Diagramme, 3 Karten, 24 Pläne, 89 Tafeln.

Die zu besprechende Studie stellt die Dissertation von D. P. Mielke dar, die 2003 an der Philipps-Universität Marburg eingereicht, aber zum Druck geringfügig überarbeitet und um Literatur bis