BHM (2018) Vol. 163 (11): 451–455
<https://doi.org/10.1007/s00501-018-0782-0>
 © Der/die Autor(en) 2018

BHM Berg- und
Hüttenmännische
Monatshefte

Der Werkstoff des „Ötzi Beiles“

Die kupferzeitliche Beilklinge der Gletschermumie aus den Ötztaler Alpen

G. Sperl

Lehrstuhl für Materialphysik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

Eingegangen 25. September 2018; angenommen 29. Oktober 2018; online publiziert 13. November 2018

Zusammenfassung: „Ötzi“, der Eismann aus den Ötztaler Alpen, ist die gut erhaltene Leiche aus dem Gletscherfeld nahe dem Gipfel des Similaun, oft auch auf das Hauslabjoch oder das (nähere) Tisenjoch bezogen. Er starb vor etwa 5300 Jahren und ist mit seiner Ausrüstung guterhalten im September 1991 von Wanderern gefunden worden. Der Fundort liegt nahe der Staatsgrenze Italien/Südtirol und Österreich etwa 90 m auf italienischem Gebiet. Die Periode um 3300 v. Chr. wird Endneolithikum, auch Stein-Kupferzeit, genannt, also am Beginn der Verwendung geschmolzenen Kupfers, die um 7000 v. Chr. am Balkan (Vinca-Kultur) begann.

Die Klinge des Beiles ist mit Birkenteer im Holzgriff befestigt und mit Lederbändern gesichert. Sie besteht, nach den ersten Untersuchungen in Mainz, aus Kupfer mit 0,2 % Arsen und 0,1 % Silber, metallographisch fand man noch etwa 0,5 Gew.-% Sauerstoff. In neueren Untersuchungen konnte man neben mehreren Spurenelementen auch die Verteilung der Bleiisotope bestimmen. Die Herkunftsbestimmung dazu zeigte, dass das Metall höchstwahrscheinlich aus der mittleren Toskana (San Carlo) stammt. Da im Haar des Eismannes auch deutliche Gehalte von Kupfer und Arsen festgestellt wurden, kann man annehmen, dass die Beilklinge in „Ötzi“ Anwesenheit in Südtirol gegossen worden war.

Schlüsselwörter: Ötzi, Montangeschichte, Kupfer, Arsen

The Material of the „Ötzi Beil“ – The Copper-Age Ax of the Glacier Mummy from the Ötztaler Alps

Abstract: The Iceman, in Central Europe commonly called „Ötzi“ or nicknamed „Frozen Fritz“, is a well-preserved mummy from the Copper Age, 5300 years old. His equip-

ment, found in 1991 in the Ötztaler Alps in South Tyrol, Italy, close to the Austrian-Italian border, includes the copper blade of an axe, which is of great metallurgical interest. Some research has been done by international specialists to explain the provenance, the metallurgy of that time (Chalkolithicum), and the production of this object.

The axe blade consists of copper with a content of 0.2% arsenic, 0.1% silver, and some 0.5% oxygen. Analyses of the metal by the Plasma-MC-ICP-MS spectrometer of the University of Bern, Switzerland, showed the presence of some minor elements and the distribution of lead-isotopes for finding the copper-deposit used for producing the raw copper. The metal's origin was determined to be in Tuscany (San Carlo and surroundings), some 600 km away from where he was found at the Tisenjoch in the Tyrolian Alps. The copper had been cast in vertical standing moulds and was shaped through hammering. We conclude from analyses of Ötzi's hair, with some arsenic, that Ötzi was active in melting and casting the copper in the area of his homeland in South Tyrol.

Keywords: Iceman, Ötzi, Mining history, Copper, Arsenic

1. Die Gletschermumie „Ötzi“

Im September 1991 fanden zwei Wanderer in den Ötztaler Alpen eine halb im Eis steckende, gut erhaltene menschliche Mumie, die bald allgemein als „Ötzi“ bezeichnet wurde, oder: „Der Mann im Eis“, wie der Titel der ersten Publikation hieß. Die Teilnehmer des bald ins Leben gerufenen Forschungsprojektes „Der Mann vom Hauslabjoch“ stellten bei der ersten Tagung 1992 ihre Ergebnisse vor. Der Autor berichtet dort über die ersten Ergebnisse zum Fundobjekt „Das Beil vom Hauslabjoch“ und seiner kupfernen Beilklinge [1]. Die Bedingungen der Bergung der Gletscherleiche und ihrer Ausrüstung waren kaum der Bedeutung des Fundes angemessen, dessen Alter nach mehreren übereinstimmenden C14-Bestimmungen mit 5300 Jahren angegeben wird, also 3300 v. Chr., in der Stein-Kupferzeit, dem Chal-

G. Sperl (✉)
 Lehrstuhl für Materialphysik,
 Montanuniversität Leoben,
 Jahnstrasse 12/I,
 8700 Leoben, Österreich
 Gerhard.sperl@unileoben.ac.at

Abb. 1: Das Beil vom Hauslabjoch mit der Knieholzschaftung, Gesamtlänge 60 cm, die Kupferklinge (leicht herausgezogen) und deren Fixierung durch ein Lederband [4]

kolithikum. Bei der Ausrüstung befanden sich Pfeilspitzen aus Südtiroler/Trentiner Silex (Avio) und auch eine Messerklinge aus diesem Werkstoff. Die Kleidung und die anderen Fundgegenstände aus organischem Material (Leder, Eibenholzbogen usw.) waren relativ gut erhalten. Da die Fundstelle knapp auf italienisch-südtiroler Gebiet gefunden worden war, kam der ganze Fundbestand nach Zwischenlagerung in Innsbruck und Mainz schließlich nach Bozen, wo hierfür ein eigens ausgerüstetes Museumsdepot errichtet wurde, das die Bedingungen des Fundortes (Raumtemperatur -6°C , 98 % Luftfeuchtigkeit) weiterhin sicherstellen sollte, aber auch den Blick auf den unbekleideten Eismann ermöglicht.

Die heute gültige Bezeichnung des Fundes heißt nun „Endneolithische Gletscherleiche vom Tisenjoch, Gemeinde Schnals, Südtirol, Italien“. Die kupferne Klinge wurde 1995/96 in Leoben am Erich-Schmid-Institut der ÖAW im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht.

2. Schaft und Klinge des Beiles

Das Beil des Eismannes (Abb. 1) besteht aus einem Stab aus Eibenholz aus dem Stamm und zur Halterung der Beilklinge aus einem abgespaltenem Astansatz (Knieholzschaftung) [2]. Die kupferne Beilklinge war mit Birkenteer eingeklebt und die Halterung mit einem Lederband umwickelt. Eigentlich handelt es sich nicht um ein Beil, das mit kurzem Stiel einhändig geführt würde, sondern um eine zweihändig zu verwendende Axt [3], der Terminus Beil hat sich aber in der „Ötzi“-Literatur eingebürgert, im Englischen wird aber von „axe“ gesprochen.

Die Beilklinge wurde vom Autor am 15.12.1995 in Innsbruck abgeholt und etwa März 1996 wieder an Prof. Spindler in Innsbruck zurückgestellt. Zwei kleine Anschliffflächen (an der Schneide und einer Randleiste) sind heute noch durch ihre kupferne Färbung sichtbar, während die Beilklinge sonst durch eine dünne Schicht aus Kupferoxid dunkler gefärbt ist.

Die Beilklinge selbst hatte noch Spuren des Birkenteers. Die Oberfläche war nur dünn (etwa $50\text{--}100\mu\text{m}$) von einer Haut aus Cu_2O überzogen, wie sich bei der Röntgenbeugungsanalyse am ESI-Leoben zeigte [5]. Die im RGZ Mainz unter Dr. Markus Egg ausgeführte erste Röntgenfluoreszenz-Analyse ergab [4]: 0,22 Gew.% Arsen, 0,09 Gew.% Silber, weitere Spurenelemente (unter 0,1 %) sind nicht mit RFA messbar. Eine genauere Analyse durch Artioli et al. [6].

Die kupferne Klinge (Abb. 2a und b) ist sehr gut geglättet, man findet kaum Hammerspuren, obwohl die flachen Randleisten und die Verdichtung am Gusslunker im Nackenteil nur durch Hammerschläge erklärbar sind. Auch die Schneide ist glatt, im Röntgenbild zeigt sich ein Anriss von etwa 6 mm Länge senkrecht zur Schneide, der beim Dengeln, dem Nachschärfen und Härten der Schneide, entstanden sein wird. An der Schneide finden sich schwache Arbeitsspuren (Abb. 3), die allerdings kaum der Bearbeitung von Eibenholz des Bogens zuzuweisen sind, wenn auch die Schneide relativ scharf war.

Abb. 2: **a** Die Beilklinge, Länge 93 mm, Gewicht 174 g (Photo GS). **b** Umzeichnung der Beilklinge zu Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Beilklingen der Kupferzeit Europas [8]

Abb. 3: Ansicht der Schneide der Beilklinge: Leichte Verformungen der scharfen Schneide (Enddicke etwa 0,3 mm) (Bildbreite 30 mm) (Photo GS)

Abb. 4: Gefüge einer gleichartigen Beilklinge (SN9036 des IUHA), geätzt (Vergrößerung 200×): Kornstruktur mit Rekristallisationszwillingen und Cuprit-Einschlüssen (Photo GS)

3. Das Kupfer der Beilklinge

Im Bereich des Gusslunkers wurde eine metallographische Untersuchung eine chemische Analyse durchgeführt [6], die die Analyse von Mainz ergänzt; der Unterschied im As-Gehalt (0,22 auf 0,44%As) ist wohl auf die primäre Messung an der natürlichen Oberfläche (Cuprit) zurückzuführen.

574 Flachbeil, Bibbona, Museum Verona 576 Flachbeil, Borgo Panigale, Museum Bologna, dazu: 0 = unter der Nachweisgrenze.

Das allgemeine Gefüge war nur undeutlich darzustellen, zum Vergleich sei (Abb. 4) das Gefüge einer gleichwertigen Beilklinge aus der Sammlung des Institutes für Urgeschich-

te und Historische Archäologie (IUHA) der Universität Wien gezeigt (vgl. Tab. 1).

Die metallographische Untersuchung des Autors war 1995 nur durch Anschliffe am Objekt (im Bereich der Schneide und seitlich an den Randleisten) erlaubt; die anpolierten Stellen sind noch sichtbar und zeigten deutliche Einschlüsse von Cuprit (Cu_2O), die einen Sauerstoffgehalt von 0,5 Gew.-% O_2 vermuten ließen (Abb. 5). Das Schliffbild in [6] zeigt, dass sich der Cuprit dort in Schlieren anordnet, sodass der mittlere Sauerstoffgehalt niedriger liegen dürfte.

Der deutliche Nachweis von Sauerstoff zeigt aber auch, dass beim Guss wenig auf reduzierende Atmosphäre durch Bedeckung mit Holzkohle bei Aufschmelzen getan wurde; vermutlich war auch der Arsengehalt im angelieferten Rohkupfer wesentlich höher (2 bis 4%As). Anders liegt es für die Oberfläche der Beilklingen, die trotz der Lagerung von 5300 Jahren im Gletschereis nur eine Oxidschicht von 100µ aufweist (Abb. 6).

Für die Herkunftsbestimmung der Metalle, hier des Kupfers, ist zwar die chemische Analyse wichtig, man bestimmt aber mit den Isotopenverhältnissen des Bleis (hier mit 0,23% Pb enthalten) auch eine Zuweisung zu einer bestimmten geologischen Zone. Obwohl zahlreiche Kupfervorkommen im Bereich Südtirols nachgewiesen sind, hat die Pb-Isotopen-Analyse [6] die Herkunft des Metalles aus den toskanischen Colline Metallifere im Bereich von Campiglia Marittima wahrscheinlich gemacht.

4. Zur Herstellung der Beilklinge

4.1 Erzbasis

Das vollständige Fehlen von Schwefel zeigt an, dass oxidisches Erz, wohl Malachit $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ mit theoretisch 57 Gew.-% Kupfer, verwendet wurde, wie es sich als Ausblüher auf den Kupferkieslagerstätten der Colline Metallifere oft beobachten lässt. Diese meist dünne Schicht ist abzukratzen, um eine ausreichende Kupfermenge daraus herzustellen. Für das Ötzi-Beil mit 174g Kupfer würde bei 0,1 cm dicker Malachitschicht entsprechend 300g Malachit eine Fläche von $27 \times 27 \text{ cm}^2$ ausreichen, eine einfach zu gewinnende Menge.

4.2 Reduktions- und Gießprozess

Für die Reduktion des Kupfers aus dem oxydischen Erz war vielleicht ein Tiegel in einer Art Schmiedefeuher in Verwendung, sicher für eine größere Schmelzmenge als die oben

TABELLE 1

Die Analysenwerte der GMH-Beilklinge, ermittelt mit dem Multi-Collector ICP±MS an der Universität Bern [6], im Vergleich zu zwei gleichaltrigen Flachbeilen (Anal. Nr. 574,576) aus Mittelitalien in SAM I [7]

Lfd. Nr.	Sn	Pb	As	Sb	Ag	Ni	Bi	Au	Zn	Co	Fe
574	0	0	0	0	0,003	0	0	0	0	0	0
576	0	0	0,08	0	0,02	0,07	0	0	0	0	0,08
GMH	0	0	0,436	0,002	0,096	0,020	0,018	0	0	0	0,020

Abb. 5: Anschliff der Beilklinge nahe der Schneide (ungeätzt): Cuprit-Eutektikum, daneben grobe Korrosionspartikel (Bildbreite 1 mm)

erwähnten 300 g Erz. Leider gibt es dafür bisher aus dem 4. Jahrtausend Norditaliens keinerlei Funde.

Für den Guss kennen wir aber die Gießlöffel, wie aus der Mondseekultur der späten Jungsteinzeit, die von etwa 3800 bis 3300 v. Chr. im Salzkammergut und angrenzenden Gebieten existierte. Auch hier war wohl eine mit Blasbalg (oder durch Blasrohre) erhitzte heiße Zone von 1200°C notwendig, in der der Gusslöffel, möglichst vor Oxidation geschützt, lag.

Wie der Nachweis von Cuprit im Gefüge der Beilklinge zeigt, hat aber der Gießer hier nicht genügend Sorgfalt eingesetzt, sodass auch ein Teil des Arsens sich verflüchtigte, nicht ohne durch den Geruch von Knoblauch bemerkbar zu sein. Arsen- und Antimon waren aber in dieser frühen Zeit die wichtigsten Legierungselemente des Kupfers, diese Elemente senkten die Schmelztemperatur, bewirkten eine höhere Härte des Werkstoffes im Gusszustand und vor allem nach Kaltverformung und halfen auch den Sauerstoffgehalt

zu senken. Erst mit dem Beginn der Bronzezeit, in unserem Raum ab etwa 2300 v. Chr., setzte sich das Zinn als sicher wirkender Legierungszusatz allgemein durch.

Während also in der Kupferzeit dafür gesorgt wurde, dass ein gewisser, am Geruch beim Schmelzen erkennbarer Anteil (2–5% As bzw. Sb) aus lokalen Lagerstätten (mit gewissem Fahlerzanteil) im Kupfer blieb, mußte das Zinn in der Bronzezeit von weither (u. a. Cornwall) besorgt werden.

4.3 Die Gussform

Bei der Beilklinge zeigt der Gusslunker am hinteren Ende an, dass in eine stehende Form, wohl aus gebranntem Lehm, gegossen wurde. Dieses Ende der Klinge ist besonders stark durch Hämmern verdichtet, dort wurden auch Proben für die neueste chemische Analyse durch G. Artioli [6] entnommen. Vom Autor wurden auch Schmelz- und Gießversuche im Park des Österreichischen Gießerei-Institutes und für einen Filmbericht der BBC durchgeführt, die den Tiegelguss mit Blasbalg in eine gebrannte Lehmform erproben.

5. Äußere Typologie der Beilklinge vom Hauslabjoch

Es ist Routine der Archäologen, archäologische Funde nach ihrer Typologie der Form und Ausführung zu beurteilen. Für die Beilklinge gibt es Hunderte von gleichartigen Flachbeilen mit schwachen Randleisten im Alpenraum und vor allem in Italien. Für die Lebenszeit des Eismannes ist in Norditalien die Remedello-Kultur maßgeblich, benannt nach einem Fundort nahe von Brescia in Norditalien; in der Toskana, wo man die Herkunft des Rohstoffes annimmt, heißt die gleichzeitige Kulturstufe Rinaldone-Kultur. Ein Vergleich der Beiltypen beider Kulturen zeigt weitgehende Übereinstimmung, sodass man den Ort der Herstellung nicht entscheiden kann, wie Artioli [6] vorstellte und was auch die

Abb. 6: Die Röntgen-Beugungsanalyse zeigt auf der Struktur reinen Kupfers eine Schicht aus Cuprit Cu_2O für die eine Dicke von 100 µm geschätzt wurde [5]

Meinung maßgeblicher Prähistoriker wie Andreas Lippert in Wien und Annalisa Pedrotti in Trient ist.

Da der Werkstoff der Beilklinge mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der Toskana stammt, der Fundort aber im Bereich der Remedello-Kultur liegt, ist die Frage des Kulturkreises der Herstellung interessant. Im Haar des Eismannes hat man verschiedentlich Kupfer und Arsen nachgewiesen [9], sodass man annimmt, dass „Ötzi“ in einer Kupferwerkstatt zumindest beim Guss mitgewirkt hat. Da man auch nachweisen konnte, dass er im heutigen Südtirol beheimatet war, lässt sich daraus schließen, dass der Guss hier, vielleicht im Puster- oder Schnalstal erfolgt ist.

6. Zusammenfassung

Die 1991 in den Ötztaler Alpen gefundene Mumie eines etwa 40-jährigen Mannes aus der Kupferzeit, die Gletschermumie vom Hauslabjoch (GMH), meist aber „Ötzi“ genannt, starb vor etwa 5300 Jahren in etwa 3208 m Seehöhe nahe den Talübergängen Tisenjoch und Hauslabjoch an der Grenze Österreich/Italien, Südtirol gelegen. Die gut erhaltene Mumie hatte zahlreiche Ausrüstungsgegenstände und eine für die Lage passende Kleidung, Pfeilspitzen und ein Messer aus Silex fanden sich ebenso wie ein frisch bearbeiteter Bogen und eine Axt aus Eichenholz mit kupferner Klinge eingesetzt.

Der Werkstoff der Klinge des „Ötzi-Beiles“, die in Leoben 1995/96 erstmals untersucht wurde, besteht aus Kupfer mit geringen Verunreinigungen, die aus dem Erz, wohl Malachit als Verwitterungsprodukt primärer Kupfererze wie Kupferkies CuFeS_2 oder Fahlerzen, entstanden. Das Rohkupfer wurde in der Toskana (Colline metallifere = Toskanisches Erzgebirge) hergestellt, aber im heutigen Südtirol, wahrscheinlich in Anwesenheit des „Eismannes“, gegossen. Der Guss erfolgte in eine stehende Form, wie die Lage des Gusslunkers zeigt. Die abschließende Bearbeitung erfolgte durch Hämmern, zur Herstellung der Randleisten zur besseren Halterung, zur Schärfung und Verfestigung der Schneide und zur Schließung des Gusslunkers.

Funding. Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

1. Sperl, G.: Das Beil vom Hauslabjoch, in: Der Mann im Eis, Band 1 ; Bericht über das Internationale Symposium 1992 in Innsbruck, Veröffentlichungen der Universität Innsbruck, 187 (1992), S. 454–460
2. Spindler, K.: Das Beil vom Hauslabjoch mit seinem archäologischen Umfeld, in: Weisgerber, G.; Goldenberg, G. (Hrsg.): Alpenkupfer = Rame delle Alpi, Bochum : Dt. Bergbau-Museum, Der Anschnitt, Beiheft, 17 (2004), S. 228
3. Wesselkamp, G.: Neolithische Holzartefakte aus Schweizer Seeufersiedlungen Technik – Form – Gliederung, Freiburg i.Br.: Eigenverlag, 1992
4. Egg, M.: Die Ausrüstung des Toten, in: Die Gletschermumie vom Ende der Steinzeit aus den Ötztaler Alpen, Sonderdruck aus: Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, 39 (1992), Mainz, 1993, S. 35–100
5. Röntgenbeugungsanalyse an der unbehandelten Oberfläche durch Dr. Balder Ortner, Institut für Materialphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Leoben.
6. Artioli, G.; Angelini, I.; Kaufmann, G.; Canovaro, C.; Dal Sasso, G.; Villa I. M.: Long-distance connections in the Copper Age: New evidence from the Alpine Iceman's copper axe, 2017, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179263>
7. Junghans, S.; Sangmeister, E.; Schröder, M.: Studien zu den Anfängen der Metallurgie 1. Metallanalysen kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa, Berlin: Gebr. Mann, 1960
8. Egg, M.: Die Ausrüstung des Toten, in: Die Gletschermumie vom Ende der Steinzeit aus den Ötztaler Alpen, Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, 39 (1992), Sonderdruck Mainz 1993, S. 35–99
9. Brothwell, D.; Grime, G.: The analysis of the hair of the Neolithic Iceman, Proceedings of the 4th world congress on mummy studies, Nuuk, Greenland, Sep 4–10, 2002, S. 66–69