

Klaus Oegg, Gert Goldenberg,
Thomas Stöllner & Mario Prast (Hg.)

**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**

Spezialforschungsbereich (SFB) HIMAT

Die Geschichte des Bergbaus in Tirol und seinen angrenzenden Gebieten – Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft

Universität Innsbruck

Der SFB HiMAT wird gefördert vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, der Autonomen Provinz Bozen Südtirol, der Kulturabteilungen des Landes Tirol, des Landes Salzburg und des Landes Vorarlberg, Stand Montafon, Gemeinde Bartholomäberg, Gemeinde Silbertal, Stadt Schwaz, Universität Innsbruck, transidee Transferzentrum Universität Innsbruck, Industriellenvereinigung Tirol und Wilhelm-Mommertz-Stiftung Bochum.



Der Wissenschaftsfonds.



© *innsbruck university press*, 2011

Universität Innsbruck, Vizerektorat für Forschung

1. Auflage

Alle Rechte vorbehalten.

Umschlagmotiv: Bergbau- und Heimatmuseumsverein, Mühlbach

Bearbeitung: Mag. Barbara Viehweider

Produktion: Sterndruck GmbH, Fügen

www.uibk.ac.at/iup

ISBN 978-3-902811-13-4

Das Nepal-Experiment – experimentelle Archäometallurgie mit ethnoarchäologischem Ansatz

Gert Goldenberg¹, Nils Anfinset², Elena Silvestri³, Enrico Belgrado⁴, Erica Hanning⁵, Michael Klaunzer¹, Philipp Schneider⁶, Markus Staudt¹, Ulrike Töchterle¹

¹Universität Innsbruck, Institut für Archäologien

²Universität Bergen, Department of Archaeology, History, Cultural and Religious Studies

³Soprintendenza per i beni archeologici, Trento

⁴Archaeolab, Massa Finalese (Modena)

⁵Deutsches Bergbaumuseum, Bochum

⁶Universität Innsbruck, Institut für Mineralogie und Petrographie

Im Rahmen des an der Universität Innsbruck angesiedelten SFB HiMAT (the History of Mining Activities in the Tyrol and Adjacent Areas, Impact on Environment and Human Societies) stehen unter anderem archäometallurgische Experimente zur prähistorischen Kupfergewinnung auf dem Programm. Diese werden an der Universität Innsbruck vom Institut für Archäologien in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mineralogie und Petrographie durchgeführt sowie vom Deutschen Bergbaumuseum in Bochum. Ein Schwerpunkt der Experimente liegt bei der Rekonstruktion bronzezeitlicher Verhüttungsverfahren zur Gewinnung von Kupfer aus seinen Erzen. Um die Effektivität der Arbeitsgruppe zu erhöhen, wurde 2010 eine Kooperation zwischen dem SFB HiMAT und der Universität Bergen sowie dem Denkmalamt in Trient begonnen. Ziel ist die Bündelung möglichst vielfältiger Kompetenzen und Erfahrungen, um im Team Experimente erfolgreich planen und realisieren zu können.

Im September 2010 fand auf Einladung des Denkmalamtes in Trient ein fünftägiger Workshop in Fivavè, Trentino, statt. Dort steht auf dem Gelände eines archäologischen Lehrpfades (bronzezeitliche Siedlung, Pfahlbausiedlung) ein geeignetes Versuchsfeld zur Verfügung. Der Schwerpunkt der Versuchsreihe wurde auf die Rekonstruktion eines traditionellen Kupfergewinnungsverfahrens gelegt, wie es in abgelegenen Gebirgsregionen Nepals vereinzelt noch heute praktiziert wird.

Ausgangspunkt für die Experimente lieferten eine ethnoarchäologische Studie über die traditionelle Kupfermetallurgie in Nepal (Anfinset, 2000) sowie zwei Berichte aus dem 19. Jahrhundert, in denen (*Abb. 1*) traditionelle Kupfergewinnung in Indien beschrieben wird (unbekannter Autor, 1831; Percy, 1861). Nach der ethnologischen Dokumentation eines seit dieser Zeit nahezu unveränderten Verfahrens kann davon ausgegangen werden, dass die in Nepal praktizierte Verhüttungstechnologie derjenigen der Kupfergewinnung in der europäischen Mittel- bis Spät-

bronzezeit (z.B. Goldenberg, 2004) sehr nahe kommt. Somit eignet sich die experimentelle Rekonstruktion des „Nepal-Prozesses“ dazu, die prähistorischen Verfahren und ihre praktische Umsetzung besser verstehen zu lernen und dem Ziel ihrer Rekonstruktion einen guten Schritt näher zu kommen.

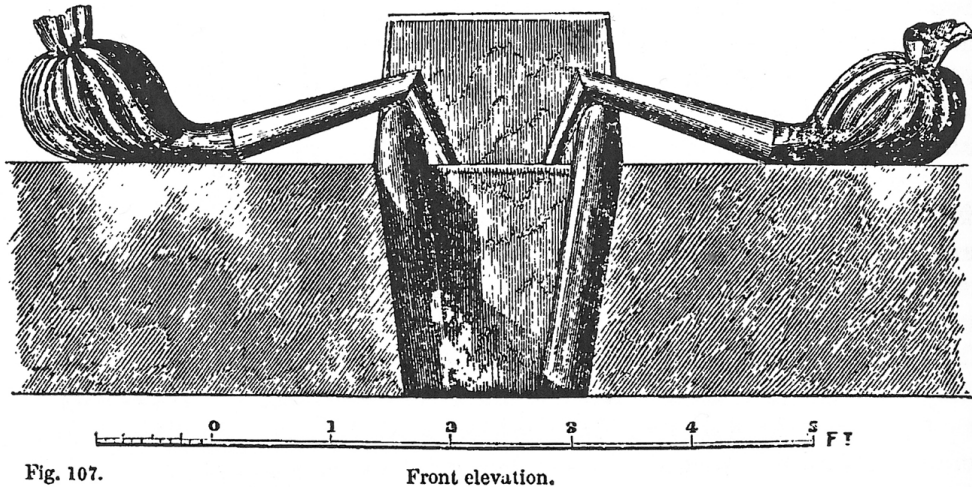


Abb. 1: Traditioneller Kupferschmelzofen in Sikkim Himalya, Indien (Percy 1861).

Im Rahmen des Workshops wurden erste Experimente zur Aufbereitung, Verhüttung und Röstung von sulfidischen Kupfererzen nach dem Vorbild des „Nepal-Prozesses“ durchgeführt. Ziel ist die Gewinnung von Kupfer aus Kupferkies (Chalkopyrit) unter Verwendung von Materialien (Erz, Holzkohle, Lehm u.a.), Gerätschaften (Blasebälge, Keramikdüsen, Steingeräte u.a.) und Reaktoren (Schmelzofen, Röstbett), wie sie in ähnlicher Form und nach den archäologischen Befunden auch den prähistorischen Kupferschmelzern im Ostalpenraum zur Verfügung gestanden haben dürften. Im vorliegenden Beitrag wird der methodische Ansatz vorgestellt. Die Experimente sollen in den kommenden Jahren fortgeführt werden.

Rohstoffe – das Kupfererz

Von den Kupfererzen, die in der nepalesischen Schmelzhütte verwendet wurden, liegen bislang keine mineralogischen Analysen vor. Aufgrund der vorliegenden Dokumentation von Erzabbau, Aufbereitung und Verhüttung (Anfinset, 2000) kann davon ausgegangen werden, dass es sich in erster Linie um Kupferkies (Chalkopyrit) mit Quarz als Gangart handelt. Damit ist in Hinblick auf den für die Kupfergewinnung eingesetzten Rohstoff eine gute Vergleichbarkeit mit den ostalpinen Kupferkies-Revieren z.B. am Mitterberg (Salzburg) sowie im Raum Kitzbühel-Jochberg-Kelchalm (Nordtirol) gegeben, die jeweils umfangreiche bronzezeitliche Bergbau- und Verhüttungsspuren hinterlassen haben.

Für Experimente zur Kupfererzverhüttung werden häufig eingekaufte Erze verwendet, die teilweise aus Übersee stammen, so auch für den Workshop in Fiaavè. Ein Grund hierfür ist, dass Originalerze aus den ostalpinen Lagerstätten heute nur schwer in ausreichender Menge zu bekommen und deshalb für Übungszwecke, die meist nicht gleich zu den gewünschten Erfolgen führen, zu „kostbar“ sind. Originalerze sollten nach Möglichkeit erst dann im Experiment eingesetzt werden, wenn die Technologie zu deren erfolgreicher Umsetzung tatsächlich beherrscht wird.

Aufgrund einer meist nicht definierten Zusammensetzung und einer nicht eindeutig zuordenbaren Herkunft (z.B. „Mexiko“) ist das eingekaufte Material mal mehr, mal weniger gut für Schmelzexperimente geeignet. Eine sorgfältige Auswahl mit Überprüfung des tatsächlichen Mineralbestandes durch eine mineralogische Analyse ist deshalb im Vorfeld von Experimenten zu empfehlen. So enthielt das für die Experimente eingesetzte Erz neben Kupferkies (CuFeS_2) auch größere Anteile an Pyrrhotin (FeS), Feldspat, Pyroxen und Flussspat und war aufgrund einer relativ komplexen Zusammensetzung des „Nebengesteins“ nicht besonders gut geeignet (Probleme bei der Mineraltrennung bzw. Aufbereitung).

Generell ist eine Homogenisierung des für eine Versuchsreihe zur Verfügung stehenden Erzmaterials mit repräsentativer Analyse vor Beginn der Versuche sinnvoll. Darüber hinaus sollten alle im Rahmen des Experimentes durchgeführten Prozessschritte bzw. deren Zwischenergebnisse nach Möglichkeit auch durch eine mineralogische Analyse überprüft bzw. Ausgangsstoffe, Zwischen- und Endprodukte systematisch beprobt, analysiert und dokumentiert werden. Nur so kann ein Fortschritt durch gezieltes Modifizieren und Verbessern der Prozessführung erreicht werden.



Abb. 2: Aufbau des Schmelzofens mit seitlich eingesetzten Düsen.

Abb. 3: Zerkleinerter „Kupferstein“, mit Kuhmist zu Ballen geformt, im Röstbett auf Lärchenrinde.



Abb. 5: Abheben einer tellerförmigen Plattenschlacke von der Restschmelze.



Abb. 4: Einsatz von Schlauchgebläsen beim Schmelzprozess.



Abb. 6: Nach dem Abheben von Plattenschlacke im Ofen erstarrte Kalotte aus Schlacke und Kupferstein.

Die Aufbereitung

Die Erfahrung mit den Fiavè Experimenten hat gezeigt, dass die sorgfältige Aufbereitung des Erzes sowie der pyrometallurgischen Zwischenprodukte eine entscheidende Rolle für den Erfolg der Versuche spielt. Im vorliegenden Fall wurde der Aufwand für die Aufbereitung im Vorfeld stark unterschätzt, was zu zeitlichen Engpässen der auf fünf Tage angesetzten Kampagne führte. In Folge des Zeitdrucks wurde die Aufbereitung zu Gunsten der pyrometallurgischen Versuche vernachlässigt, was sich negativ auf das Ergebnis auswirkte. Insbesondere die Trennung von „Kupferstein“ („Matte“) und Schlacke nach den jeweiligen Schmelzdurchgängen ließ zu wünschen übrig bzw. war aufgrund fehlender Erfahrung bei der makroskopischen Beurteilung der Schmelzprodukte auch sehr schwierig zu bewerkstelligen. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass der Aufbereitung von Erz und Hüttenprodukten wesentlich mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Die Rekonstruktion der Aufbereitungstechniken sollte deshalb ebenso zu den zentralen Aufgaben des Experimentes gehören wie die der Schmelz- und Röstprozesse.

Das Schmelzen

Der pyrometallurgische Teil des „Nepal-Prozesses“ beginnt mit einem ersten Schmelzen des zuvor zu Haselnuss- bis Erbsengröße zerkleinerten Erzes im Holzkohlefeuer. Diese Vorgehensweise steht im Gegensatz zu der unter Archäometallurgen verbreiteten Annahme, dass zuerst ein Röstprozess stattfinden muss, bevor mit dem Schmelzen begonnen werden kann. Im Prinzip sollte die Reihenfolge von Rösten und Schmelzen keine entscheidende Rolle spielen, da für die Kupfergewinnung aus sulfidischen Erzen in der Regel ohnehin ein mehrstufiger Prozess mit mehrfacher Wiederholung der einzelnen Prozessschritte (Schmelzen – Aufbereiten – Rösten) notwendig ist. So wird die Reihenfolge vermutlich vor allem von den Traditionen der Hüttenleute abhängen bzw. von individuellen Erfahrungswerten.

Mit einem Schmelzdurchgang zu beginnen kann insofern von Vorteil sein, als hierbei das sulfidische Erz aus dem Verbund mit Nebengestein in Form von Kupferstein ausgeschmolzen wird. Hierdurch findet eine erste Trennung der Kupfer/Eisen-Sulfide von Gangart und Nebengestein und damit eine Anreicherung des Metalls statt. Außerdem dürfte sich die Reaktionsfähigkeit des bereits einmal geschmolzenen Materials beim anschließenden Rösten verbessern. Neben dem Erz wurde im Experiment auch Schlacke als Zuschlag (Flussmittel) hinzugegeben, wie es für den Nepal-Prozess beschrieben wird. Hierzu wurde Material von einer bronzezeitlichen Schlackenhalde (Trentino) verwendet. Im Experiment sollte die Schlacke vor allem auch den Zweck erfüllen, den Erfolg der Prozessführung zu überprüfen. Denn erst wenn es gelingt,

die aufgegebene Schlacke in eine gut flüssige Schmelze zu überführen, dann sind auch die Voraussetzungen bzw. Bedingungen im Ofen gegeben, um die gewünschten Reaktionen bei der Umsetzung von Erz zu Kupferstein bzw. Kupfer zu ermöglichen. Das erfolgreiche Aufschmelzen von Retourschlacke und das „Spielen“ mit der Schmelze kann deshalb beim Experimentieren auch als eine gute Übung betrachtet werden.

Der rekonstruierte Schmelzofen wurde mit rechteckigem Querschnitt mit Steinquadern (Porphy) in einer flachen Erdgrube aufgesetzt. Die Maße des mit Lehm ausgekleideten Ofeninnenraumes betrugen gemäß der in Nepal dokumentierten Abmessungen ca. 32 * 32 cm in der Weite sowie ca. 40 cm in der Höhe. Das Vortrocknen des Lehmausstrichs erfolgte mit einer leichten Holzbefuerung. Auf der Ofensohle wurde eine Dezimeter mächtige Lage fein zerkleinerte Holzkohle eingebracht. Als Gebläse für den Schmelzprozess kamen zwei L-förmig gebogene Keramikdüsen zum Einsatz, die jeweils seitlich über den Ofenrand in den Innenraum ragten (*Abb. 2*). Der Betrieb der Düsen erfolgte alternierend mit Schlauchgebläsen (*Abb. 4*), wobei im Holzkohlefeuer Temperaturen von 1300 °C ohne Probleme zu erreichen waren. Die Befeuungszeit der Charge lag im Bereich von 45 bis 120 Minuten. Eine Messung der Temperatur mit einem Thermoelementfühler erfolgte sporadisch, um eine grobe Kontrolle der erreichten Temperaturen zu ermöglichen. Auf systematische Messungen von Temperatur und/oder Gasatmosphäre wurde bewusst verzichtet; diese erscheinen erst dann sinnvoll, wenn die Technologie beherrscht wird. Ansonsten bedeutet Messen meist eine Störung bzw. Ablenkung von der genauen Beobachtung der Vorgänge im Ofen und kann sich negativ auf das Ergebnis auswirken.

Als Ergebnis diverser Schmelzversuche mit Erz und Schlacke (es wurde auch jeweils eine kleinere Menge zerriebener Sandstein als potentieller Lieferant für SiO_2 zur Schlackenbildung zugesetzt) konnten pro Schmelzdurchgang bis zu zwei tellerförmige Plattenschlacken in kurzer Abfolge (im Abstand von 5 bis 10 Minuten) von einer Restschmelze abgehoben werden (*Abb. 5*). Die Restschmelze erstarrte schließlich auf dem Holzkohlebett der Ofensohle zu einem heterogenen kalottenförmigen Schlackenkuchen (*Abb. 6*), der sich aus Schlacke und Kupferstein zusammensetzte. Diese Schlackenkallotte wurde in einem bereitgestellten Wasserkübel abgeschreckt und nach Abkühlung und Trocknung dem nächsten Aufbereitungsschritt zugeführt.

Nach der ethnologischen Dokumentation genügen dem nepalesischen Schmelzmeister 3, manchmal 2 Durchgänge (Schmelzen – Rösten – Schmelzen – Rösten – Schmelzen ...), um metallisches Kupfer zu erzeugen. Diese hohe Effizienz zeigt den guten Wirkungsgrad eines etablierten, über viele Generationen tradierten Verfahrens. Erstaunlich ist dabei die nahezu unveränderte Vorgangsweise verglichen mit den im 19. Jahrhundert beschriebenen Beispielen aus Nordindien (Percy, 1861)! Entscheidend für den Erfolg des Prozesses ist die Erfahrung des

Schmelzmeisters, der sich genau an die weitergegebenen „Rezepte“ seiner Vorfahren hält. Analytische Kenntnisse über die Zusammensetzung der Rohstoffe und die Prozessbedingungen spielen dabei offenbar keine Rolle. Dies kommt auch dadurch zum Ausdruck, dass nach den ethnologischen Schilderungen im Durchschnitt jede 4. bis 5. Verhüttungskampagne misslingt – aus nicht näher erklärbaren Gründen.

Das Rösten

Wenige Meter neben dem Ofen wurde ein ovales, etwa 100 x 80 cm im Durchmesser betragendes Röstbett angelegt. Dieses bestand aus einer flachen, in den Boden eingetieften und mit Steinplatten ausgelegten Mulde (Tiefe ca. 20 cm). Auf die Steinplatten wurde ein Lehmaufstrich aufgetragen und mit einer leichten Holzbefuerung vorgetrocknet.

Als Röstgut kamen die fein aufbereiteten Schlacke/Kupferstein-Kuchen aus verschiedenen Schmelzdurchgängen zum Einsatz. Das Material wurde auf Unterlagssteinen gepocht und zerrieben, wobei zuvor nur eine sehr grobe, letztendlich aber unzureichende Trennung von Schlacke und Kupferstein erfolgte. Das fein aufbereitete Material wurde mit frischem Kuhmist vermischt und zu brotlaibförmigen Ballen geformt.

Die Röstung der vorbereiteten Ballen erfolgte in einem Bett aus Lärchenrinde (*Abb. 3*), unter das Reisig und Holzspäne zur besseren Anfeuerung gelegt wurden. Die Röstung dauerte aufgrund einer guten Durchlüftung des Standortes und eines relativ raschen Niederbrennens der Rinde etwa 90 Minuten. Als Ergebnis des Röstens konnten die aufgegebenen Ballen von der niedergebrannten Rinde mit einer Schaufel nahezu vollständig aufgenommen werden, wobei sie jedoch aufgrund ihrer Konsistenz rasch zerfielen. Das Röstprodukt wurde in einem zweiten Schmelzdurchgang analog zum ersten Durchgang weiterverarbeitet.

Ergebnis

Mit dem Versuch, das geröstete Material in einem zweiten Schmelzdurchgang weiter zu konzentrieren (Kupfersteinschmelzen) musste das Experiment aus Zeitgründen abgebrochen werden. Als Fazit lässt sich festhalten, dass die eng an das nepalesische Verfahren angelehnten Schmelzversuche im Ofen (das erste Schmelzen) sowie das Rösten mit Kuhmist auf Baumrinde aus verfahrenstechnischer Sicht überaus gut funktionierten, während die Umsetzung des Ausgangserzes zu reichem Kupferstein bzw. zu metallischem Kupfer vorerst noch nicht in befrie-

digender Form gelang. Als Gründe hierfür sind in erster Linie die mangelnde Qualität des Erzes sowie eine unzureichende mechanische Aufbereitung und Abtrennung des Kupfersteins von der Schlacke zu nennen. Mit den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe in Fiaivè im Sommer 2010 lassen sich weitere Experimente gezielt planen, so dass für die nächste Kampagne mit deutlichen Verbesserungen und Erfolgen gerechnet werden kann. Von großer Bedeutung wird dabei auch die begleitende mineralogische Untersuchung der Erze, Schlacken, Zwischen- und Endprodukte sein, die am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck durchgeführt werden.

Literatur

- Anfinset, N. (2000), Copper Technology in Contemporary Western Nepal. A Discussion of its Form, Function and Context. In: Olausson, D., Vankilde, H. (Eds.), Form, Function and Context. Material Culture Studies in Scandinavian Archeology. Lund 2000, pp. 203-212.
- Goldenberg, G. (2004), Ein Verhüttungsplatz der mittleren Bronzezeit bei Jochberg (Nordtirol). In: Weisgerber, G., Goldenberg, G. (eds.), Alpenkupfer – Rame delle Alpi. Der Anschnitt, Beiheft 17, Bochum 2004, pp. 165-176.
- Percy, J. (1861), Metallurgy. The Art of Extracting Metals from their Ores and Adapting them to Various Purposes of Manufacture. London 1861.
- Unbekannter Autor (1831), On the Copper Works at Singhána near Khetrí in the Shekháwatí Country. Gleanings in Science 1831, Vol. III. Calcutta 1831, pp. 380-384.