

Verhüttung.

Das aufbereitete Gut wurde nun verschmolzen.

Vor dem Schmelzprozesse nimmt MUCH⁴⁶⁾ eine Erzröstung an. Er sagt:

„In weiterer Verfolgung der Bergmannsarbeit der Alten gelangen wir auf die Röstplätze. Diese sind hauptsächlich durch den spärlichen Pflanzenwuchs auffallend; die Erde auf ihnen und alle in ihr eingeschlossenen Rückstände sind von dem zerfallenen Spateisenstein rotbraun gefärbt, und hier finden sich Kohlenreste häufiger als auf den Halden oder anderwärts. Man darf daher schließen, daß eben auf diesen Plätzen die Erze zum Teil durch Kohlenfeuer, zum Teil vielleicht auch durch den in den Mitterberger Erzen stark vertretenen Schwefel wahrscheinlich in frei liegenden oder nur von Steinen einfach umstellten Haufen geröstet worden sind, um sie weiter zu zerfallen und den Schwefel wenigstens teilweise schon vor dem Schmelzen zu entfernen.“

Diesen Prozeß halte ich für unwahrscheinlich. Bis jetzt ist kein sicher belegter Röstplatz aufgedeckt worden. Die „eingeschlossenen Rückstände und der zerfallene Spateisenstein“ liegen ebenso reichhaltig auf den Scheidplätzen. Eine Röstung des Schlichs in „nur von Steinen einfach umstellten Haufen“ wäre mit großen Verlusten verbunden gewesen, viel des fein zermahlene Erzes wäre auf den Boden verstreut worden und für den eigentlichen Schmelzprozeß verloren gegangen. Eine gewisse Röstung und mit ihr auch eine teilweise Verbrennung des Schwefels hat bereits durch die Feuersetzung in der Grube stattgefunden.

Wäre das Rösten vor dem Schmelzen üblich gewesen, so müßten viele einwandfreie Röstplätze zu finden sein. Endlich ist die Verbrennung des Schwefels für den Schmelzprozeß nur förderlich. Es ist daher wohl wahrscheinlich, daß das Erz nach der Aufbereitung ohne Zwischenbehandlung direkt dem Schmelzprozesse zugeführt wurde.

Der Ofen, welcher aus Schieferplatten bestand und mit Lehm verschmiert war, mag in der Weise beschickt worden sein, daß zuerst am Boden ein Feuer entzündet und nun abwechselnd eine Schicht Erz und eine Schicht Holzkohle aufgelegt wurde. Das ausgeschmolzene Metall sammelte sich im Sumpfe des Ofens, die Schlacke wurde teils durch ein Loch abgelassen — darauf deuten die gefundenen eiszapfenähnlichen Schlackenstücke — teils nach Herausschlagen der Ofenbrustwand in zähem Zustande mit einer gespitzen Holzstange vom Metalle abgeschoben. Ich halte dafür, daß die Öfen dem Prinzip nach alle gleich konstruiert waren, nämlich daß überall das reine Metall im Ofensumpfe gesammelt wurde. Damit erscheint mir auch der Vortiegelbetrieb, wie ihn KLOSE (KT, S 32) annimmt, als wenig wahrscheinlich. Abgesehen davon, daß diese Annahme durch Funde nicht belegt werden kann, scheinen mir die Gründe, die KLOSE gegen einen einfachen Sumpfofenbetrieb annimmt, nicht stichhältig.

Sämtliche erhaltenen Gußkuchen haben annähernd die gleiche tellerartige Form, eine leichte Senkung in der Mitte, durchschnittlich 30 cm im Durchmesser, an der Unterseite sind sie rau und zeigen deutlich die Negativabdrücke von kleinen Steinchen. Wie diese gemeinsamen Merkmale veranschaulichen, wurde das flüssige Metall in einer seichten Grube gesammelt. Eine solche Grube ist der Sumpf des von KLOSE aufgedeckten Ofens. Das Bedenken KLOSES (KT, S 33), „denn sonst hätte das erstarrte Metall aus dem Sumpfe herausgestemmt werden müssen“, teile ich nicht, weil die erhaltenen Gußkuchen einwandfrei zeigen, daß sie in erkaltetem Zustande aus ihrer Form ausgebracht wurden. Es liegt demnach kein Grund vor, einen Vortiegelbetrieb anzunehmen.

Das ganze Schmelzverfahren ist sicherlich ein verhältnismäßig einfaches und leichtes gewesen, eben deshalb, weil der Schwefelgehalt des Kupferkieses die Erreichung der erforderlichen Schmelztemperatur außerordentlich begünstigte. Ein anschauliches Beispiel dafür möge ein Vorfall, von dem MUCH⁴⁷⁾ berichtet, liefern. „Man hatte dort (am Mitterberge), um überschüssigen Schwefel aus den Erzen zu entfernen, im Freien einen größeren Haufen von groben, d. i. 60 mm messenden Erzstücken auf ein Röstbett zusammengebracht und denselben bei ziemlich kalter Temperatur (Winteranfang) in Brand gesetzt. Es kamen mehrere

⁴⁶⁾ MZK, 1879, S. XXVI.

⁴⁷⁾ Kupferzeit, S. 299.

Feiertage, die Leute waren nicht am Platze, das Feuer im Haufen erhielt mehr Zug als gut war, die Erze schmolzen in den unteren Lagen zu einer sogenannten Sohle, Kupferlech und Haarkupfer enthaltend, und siehe da, in einigen tieferen Grübchen lag auch das blinkende, helle Metall. Viel Schwefelgehalt im Erze, also natürlicher Brennstoff, scharfer Zug im Rösthaufen, allenfalls noch günstige Gangart und das Kupfer schmilzt von selbst aus, ohne Ofen, ohne sonstige künstliche Vorrichtungen, ohne stete Überwachung durch erfahrene Leute und doch in einer metallischen Reinheit, die in Erstaunen setzen muß.“ Dieser Vorfall zeigt deutlich, daß reines Kupfer bei günstigen Bedingungen auf relativ einfache Art ausgeschmolzen werden kann und daß deshalb keineswegs für prähistorische Verhältnisse komplizierte Raffinierverfahren angenommen werden müssen, wenn auch gerne zugegeben wird, daß nicht jeder Schmelzgang geglückt sein wird und verwendbares Kupfer geliefert hat.

Aufschluß über die Art der Verhüttung geben uns auch die Schlacken.

KLOSE (KT, S 30, 31) unterscheidet strengflüssige und leichtflüssige Rohschlacke und Konzentrations-
schlacke. Damit sind aber nicht alle Formen der Schlacken erschöpft; auch empfiehlt es sich, als Ein-
teilungsgrund die äußere Form, nicht die Entstehungsursachen zu wählen, da aus jenen auf diese
geschlossen werden kann.

1. **Schlackenklotze** (KLOSE, KT, Fig. 39). Es sind mehr oder weniger flach kegelförmige Gebilde bis 50 cm Grundflächendurchmesser und Höhe und bis 19·3 kg Gewicht. Die Mantelfläche ist meist grob-
blasig, die Grundfläche feinblasiger. Alle zeigen eine trichterförmige Vertiefung, die von gespitzten Stangen
herrührt. Diese Schlacken erkalteten im Ofen und wurden nach Herausschlagen der Brustwand mit Stangen
von dem noch zähen Metall abgeschoben.

2. **Rohe Plattenschlacken** (KLOSE, KT, Fig. 40, 4). Ihre flächige Ausdehnung ist verschieden
groß (ganze Stücke sind keine erhalten), die Höhe meist nur 2 cm, fast immer feinblasig. An der
Unterseite finden sich vielfach Negativabdrücke von kleineren und größeren Steinen, manchmal auch von
Holz. Sie entstanden beim Ablassen von Schlacke während des Schmelzprozesses.

3. **Röhrenförmige Schlacken**. Es sind eiszapfenähnliche Gebilde (oft hängen mehrere
vorhangähnlich zusammen), von einem Durchmesser bis 10 cm und von verschiedener Länge. In der
Mitte findet sich manchmal ein kleines Loch, an einer Seite sind sie meist abgeplattet. Häufig hängen
mit ihnen nierenförmige Schlackengebilde zusammen. Sie sind fein- oder grobblasig. Entstanden sind sie
beim Ablassen der Schlacke während des Schmelzbetriebes und erstarrten bereits an der Ofenbrustwand.⁴⁸⁾

Da nun nicht alle Schlackenplätze Röhren- und Plattenschlacken enthalten, scheint auch nicht überall
Schlacke abgelassen worden zu sein, während der Ofen in Betrieb stand.

Alle drei besprochenen Arten sind meist durch Schieferstücke, Sand u. dgl. mehr verunreinigt. Vielfach
finden sich auch kleine Stücke vom Ganggestein.

4. **Homogene Plattenschlacken** (KLOSE, KT, Fig. 40, 5—16). Sie sind zu einer einheit-
lichen, metallisch klingenden Masse verschmolzen, nur einige Millimeter dick. Sie sind auf dem Metalle
schwimmend erstarrt.

5. **Schlackensand** (KLOSE, KT, Fig. 40, 17). Es sind kleine Stücke bis zur Größe einer Haselnuß,
scharfkantig, die durch Zerschlagen und Zerkleinern der Schlacken der ersten drei Gruppen gewonnen wurden.
Möglicherweise fanden sie als Schmelzzuschläge Verwendung.

Homogene Plattenschlacken und Schlackensand sind nur von einigen Schmelzplätzen bekannt.

Alle Schlacken zeigen eine mehr oder weniger stark rostbraune Farbe. Die Schlacken dürften in
heißem Zustande mit kaltem Wasser begossen worden sein, wodurch sie leichter von ihrer Unterlage
abzuheben waren. Aus diesem Grunde liegen wohl alle Schmelzplätze, wie schon früher bemerkt, an
Wasserrinnsalen.

Was nun die chemische Zusammensetzung der Schlacken betrifft, seien nachfolgend die Analysen-
resultate von Proben verschiedener Schlackengattungen gegeben.

⁴⁸⁾ Solche Schlacken sind im MCA nicht enthalten.

Tabelle I.

Laufende Nummer	Schmelzplatz und Schlackenart	In Prozenten			Analysator
		Kupfer	Kieselsäure	Eisen (einschließlich der Verunreinigung mit Aluminium und Mangan)	
1	Schmelzplatz 13. Schlackenklotz	1·10	20·02	52·08	Hütte Außerfelden
2	Schmelzplatz 13. Rohe Plattenschlacke	—	32·52	38·88	„ „
3	Schmelzplatz 26. Röhrenschlacke	—	20·93	54·25	Dr. B. Schadler, Wien ⁴⁹⁾
4	Schmelzplatz 26. Röhrenschlacke mit nierenförmigem Schmelzgebilde . .	—	20·16	54·74	„ „
5	Schmelzplatz 10. Knollige Stücke mit großen Hohlräumen	—	60·56	24·50	„ „
6	Schmelzplatz 6. Homogene Plattenschlacke . .	—	42·69	37·82	„ „
7	Schmelzplatz 26. Schlackensand	—	40·21	39·62	„ „

Auffallend ist vorerst das Fehlen von Kupfer bei sämtlichen Analysen mit Ausnahme von 1. Es ist natürlich keineswegs anzunehmen, daß der Verhüttungsprozeß der Alten so vollkommen war, daß sich gar kein Kupfer in die Schlacke bildete; im Gegenteil ist es wahrscheinlich, daß sich durch starke Oxydation das Kupfer als Oxydul in die Schlacke bildete und jenes mit der Zeit ausgelaugt wurde. Bei Analyse 1 (Probe aus dem Inneren eines großen Schlackenklotzes) hat wahrscheinlich der Auslaugungsprozeß nicht so tief gegriffen, wodurch sich Kupfer erhielt. Der hohe Eisengehalt erklärt sich durch den Spateisenstein, der den Erzgang begleitet, und der Kieselsäuregehalt durch den Quarz, in welchem der Erzgang liegt.

Die starken Schwankungen, die die Proben im Eisen- und Kieselsäuregehalt aufweisen, sind nicht beunruhigend, wenn man bedenkt, daß die Aufbereitung der Erze doch vielfach verschiedenartig gut war

⁴⁹⁾ „Von jedem Schlackenstücke wurden von den verschiedensten Stellen kleine Stückchen abgesprengt, um ein möglichst einwandfreies Durchschnittsmuster als Analysenmaterial zu haben. Dieses wurde zuerst im Eisenmörser zerstoßen, dann in einer Achatreibschale aufs feinste gepulvert.

Sämtliche Schlacken erwiesen sich als durch Säuren nicht zersetzbar und mußten aufgeschlossen werden. Dies geschah

durch Schmelzen mit Kalium-Natriumkarbonat im Platintiegel. Die erkaltete Schmelze aller Schlacken war grün gefärbt, besonders stark bei 3 und 4; daraus ist auf nicht geringen Mangangehalt zu schließen.

Es wurde nun zunächst die Kieselsäure durch zweimaliges Eindampfen zur Staubtrockene abgeschieden; aus dem Filtrat wurde Fe, Al und Mn zusammen ausgefällt. Die Filtrate von der Fällung der letzteren waren vollkommen klar und farblos.“

und die Auslaugung im Laufe der fast 3000 Jahre in der chemischen Zusammensetzung der Schlacken sicherlich eine wichtige Rolle gespielt hat. Besonders ist hier auf den Eisengehalt Rücksicht zu nehmen, da die Eisen-Sauerstoff-Verbindungen sich im Wasser relativ leicht lösen und durch die Auslaugung von Eisen naturgemäß der Kieselsäuregehalt steigen muß. Es wird daher heute eine Schlacke, die an der Oberfläche stark den Regengüssen und den Einwirkungen der Atmosphärien ausgesetzt war, gegenüber ihrer ursprünglichen Zusammensetzung ein nicht unbedeutendes prozentuelles Minus an Eisenverbindungen und ein verhältnismäßiges Plus an Kieselsäuregehalt zeigen, während die jetzige Zusammensetzung einer geschützt gelegenen Schlacke sich mehr ihrer ursprünglichen nähern wird. Dies ist wichtig, da trotz der jetzigen, ziemlich stark verschiedenen Zusammensetzungen nicht sicher die Verwendung von Schmelzzuschlägen resultiert.

Tabelle II.⁵⁰⁾

Laufende Nummer	Gegenstand	Kupfer	Eisen	Nickel	Blei	Schwefel	Schlacke	Analy-sator	Literatur
		in Prozenten							
1	Gußfladen [1412]	94·18	2·53	0·74	} Quantitativ nicht berücksichtigt	1·74	0·23	} Verfasser	
2	Gußfladen [1720]	97·54	0·32	Spuren		0·99	0·94		
3	Gußfladen [1721]	97·91	0·57	Spuren		0·97	—		
4	Gußfladen [1408]	96·54	0·89	0·34		1·48	0·51		
5	Gußfladen [1414]	97·14	1·42	0·57		0·36	Spuren		
6	Reinkupfer, aus den Schlackentrümmern aufgelesen .	98·46	—	—	—	0·09	0·44	Soma-ruga	MUCH, Kupferzeit, S. 266
7	Kupfer, durch eigenen Brennstoff ausgeschmolzen . .	97·02	Spuren	1·55	Spuren	0·79	Spuren	Soma-ruga	MUCH, Kupferzeit, S. 299
8	Kupfer, modern gewonnen ⁵¹⁾	98·889	0·007	0·473	0·014	—	—	Bergw.-Ges.	MUCH, Kupferzeit, S. 266

Das ausgebrachte Schmelzprodukt ist, wie vorstehende Tabelle zeigt, nicht allzusehr mit Verunreinigungen behaftet. Auf dem Mitterberge waren bis 1860 Krummöfen im Betriebe, die nach Mitteilung J. PIRCHLS im ersten Schmelzgang einen Kupferstein mit 30—40% Kupfer, im zweiten einen solchen mit ungefähr 65% und im dritten Schwarzkupfer mit 95—96% Kupfer ergaben. Daraufhin müsste man wohl annehmen, daß auch in prähistorischer Zeit wenigstens drei Schmelzgänge nötig gewesen wären. Nun wissen wir aber, daß unter günstigen Verhältnissen schon der erste Schmelzgang durch eigenen Brennstoff ausgeschmolzenes Schmelzgut von 97·02% Kupfer liefern kann, daß nur die allerreichsten Mittel von den Alten abgebaut wurden und ihre Aufbereitungsarbeit eine recht gute war. Demnach war das aufgegebene

⁵⁰⁾ Nach KYRLE, MWAG, 1912, S. 202, Tabelle II.

⁵¹⁾ Ferner enthält dieses Kupfer noch: Antimon 0·057%, Arsen 0·404%, Silber 0·007%, Sauerstoff 0·143%.

Schmelzgang an und für sich schon viel mehr angereichert als heute, so daß sicherlich der erste Schmelzgang einen Kupferstein mit viel höherem Kupfergehalt geliefert hat als die Krummöfen. Auch das relativ spärliche Vorkommen von homogener Plattenschlacke — eine solche kann sich nur bei einem Rektifizierungsprozesse bilden — spricht gegen ein allgemein geübtes Raffinierverfahren.

Wenn auch nicht behauptet werden soll, der erste Schmelzgang habe stets zum Ziele geführt, so erscheint es nach unseren derzeitigen Kenntnissen an Funden doch höchstwahrscheinlich, daß nur in sehr beschränktem Maße ein Raffinierverfahren geübt wurde, offenbar dann, wenn infolge schlechter Gangart, schlechter Aufbereitung uam. das erhaltene Kupfer nicht rein genug ausgebracht wurde. Dieser Raffinierprozeß kann aber auch nur in einem abermaligen Schmelzen des Kupfersteines in primitiven Öfen bestanden haben, denn für eine Konzentrationsschmelze in Tiegeln sind weder durch Funde noch durch Fundverhältnisse Belege beizubringen.

Versuch einer Errechnung der ausgebrachten Kupfermengen.⁵²⁾

Wie schon die Überschrift dieses Absatzes besagt, kann es sich hier nur um einen rechnerischen Versuch handeln. Die Prämissen der Berechnung enthalten so große Fehlerquellen, daß die vorgebrachten Daten mehr als Zahlenordnungen, denn als eigentliche Zahlen aufzufassen sind. Bei diesem Versuche kommt ernstlich wohl nur das Abbaufeld vom Mitterberge in Betracht, da dieses gut studiert und durch den modernen Bergbau bereits vollständig durchfahren ist. Deshalb kann für die Gesamtausbringung von Kupfer aus allen Bergwerken im Kronlande nur das Resultat vom Mitterberge als Grundlage dienen.

Zur Errechnung der ausgebrachten Kupfermengen kann man auf zwei voneinander vollständig unabhängigen Wegen gelangen, nämlich durch Berechnung der Kubatur- und Substanzziffer und durch Errechnung des Kupfers aus den vorhandenen Schlacken.

a) Kubatur- und Substanzziffer.

Wir haben auf Seite 3 gesehen, daß die angefahrene Gangfläche rund $65.000 m^2$ beträgt. Es ist die Fläche, die einerseits von der Taglinie, andererseits von der unteren Grenze der Abbaue eingeschlossen wird. Davon wurden aber nur höchstens 10% wirklich abgebaut. Schätzungsweise 90% blieben stehen, da 1. wegen des Feuersetzens die Felder nicht zu hoch aufgebrochen werden durften, 2. die Grubenfelder infolge der Einsturzgefahr nicht allzu groß angelegt werden durften, 3. die tauben und unabbauwürdigen Mittel stehen blieben, 4. in der Verwitterungszone, bis auf eine Tiefe von mehr als 5 m, überhaupt der Gang nicht abgebaut wurde. Die Gangmächtigkeit ist durchschnittlich 1,5 m, woraus sich $9.750 m^3$ anstehendes Hauwerk ergibt. Das Volumen mit dem spezifischen Gewichte 2,7 multipliziert ergibt rund 26.000 t Hauwerk, das mit 3% Kupfergehalt angenommen werden kann; somit 780 t Kupfer.

Davon ist abzurechnen:

1. 25% Abbauverlust (20—25% modern). Er wird sich mit den modernen annähernd gleich hoch stehen, da im jetzigen Betriebe durch den Schuß viel verloren geht, während in prähistorischer Zeit infolge des schlechten Lichtes die Kuttung mangelhaft gewesen sein dürfte.

2. 30% Aufbereitungsverlust (15—20% modern). Dieser Verlust ist im modernen Betriebe sicherlich viel niedriger anzuschlagen, da die Alten infolge der primitiven Verhüttung viel stärker anreichern mußten; verringert wurde er teilweise wieder dadurch, daß nur sehr reiche Erze abgebaut wurden.

3. 20% Hüttenverlust (modern viel geringer). Dieser setzt sich vorwiegend aus dem Lösungsverluste in die Schlacke und aus dem Flugstaubverlust zusammen.

⁵²⁾ G. KYRLE, „Versuch einer Errechnung der ausgebrachten Metallmengen aus den prähistorischen Kupfergruben in Salzburg“. Vortrag, gehalten auf der Versammlung

Deutscher Naturforscher und Ärzte, Wien, 25. September 1913; Referat darüber Montanistische Rundschau, 1914, Nr. 3, S. 63/64.