

# Stoffkundliche Beurteilung des Ofenmöllers römischer Schachtöfen in Hüttenberg/Kärnten

Hubert Preßlinger, Trieben; Brigitte Cech, Wien, und Georg Walach, Leoben

## Einleitung

Bei den archäologischen Grabungen im Jahre 2005 wurden im römischen Industriegelände „Eisner/Hüttenberg“ von den Montanarchäologen vier Schachtöfen freigelegt. Die vier Schachtöfen (Ofen Nr. 2–5) entsprechen in ihrer Bauausführung dem im Jahre 2004 im selben Gelände (1) freigelegten Schachtöfen Nr. 1.

Die fünf in die 1. Hälfte/Mitte des 4. Jahrhunderts n. Chr. zu datierenden Öfen haben eine einheitliche Bauausführung. Es handelt sich um in den anstehenden Boden eingetiefte Schachtöfen, wobei nur der eingetiefte Teil jeweils erhalten ist (**Abb. 1** und **2**). Vom Aufbau sind lediglich in den Ofenschacht gestürzte Teile verglaste Ofenwand erhalten. Direkt an die Ofenbrust anschließende Arbeitsgruben dienten dem Schlackenabstich und der Entnahme der Luppe. Die Öfen sind 80 bis 90 cm in den anstehenden Boden eingetieft, der Sohlendurchmesser beträgt 1 bis 1,20 m, der Schachtdurchmesser 70 bis 75 cm. Die Öfen 3 und 5 wurden mehrmals zugestellt (**Abb. 2**). Mehrere aneinander anschließende verglaste Ofenwände sind deutlich zu erkennen. Die Schachtöfen dienten der Verhüttung von Eisenerzen, die vermutlich in unmittelbarer Nähe der Industrieanlage Eisner abgebaut wurden.

Die Windführung erfolgte über vier Winddüsen. Die Winddüsen liegen im Ofeninneren 40 bis 60 cm über der Ofensohle. Ihre äußere Öffnung befindet sich auf der Höhe des anstehenden Bodens.



**Abb. 2:** Mehrmals zugestellter Schachtöfen auf dem römischen Industriegelände Eisner/Hüttenberg. Aufnahme: H. Preßlinger.

## Probennahme

In Ofen 2 befanden sich im Bereich der Ofenbrust, direkt auf der Ofensohle aufliegend, die Reste der Möllering (Ofeneinsatz) der letzten Schmelze (Fund Nr. 1417). Der Ofeneinsatz hat eine unregelmäßige Form und ist stark porös.

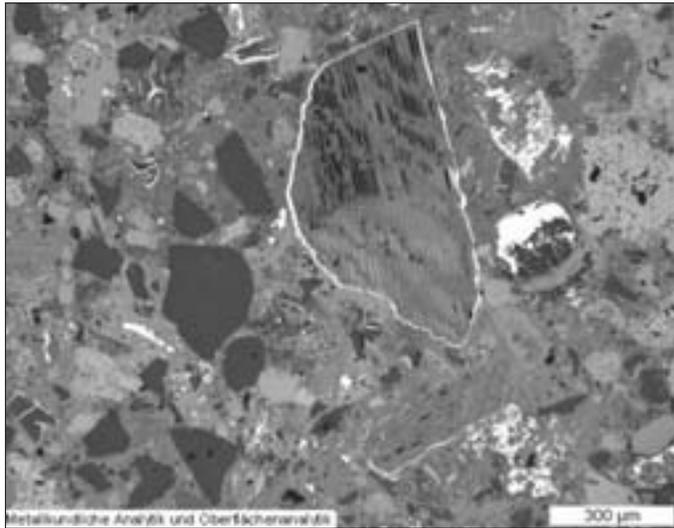


**Abb. 1:** Schachtöfen auf dem römischen Industriegelände Eisner/Hüttenberg. Aufnahme: H. Preßlinger.

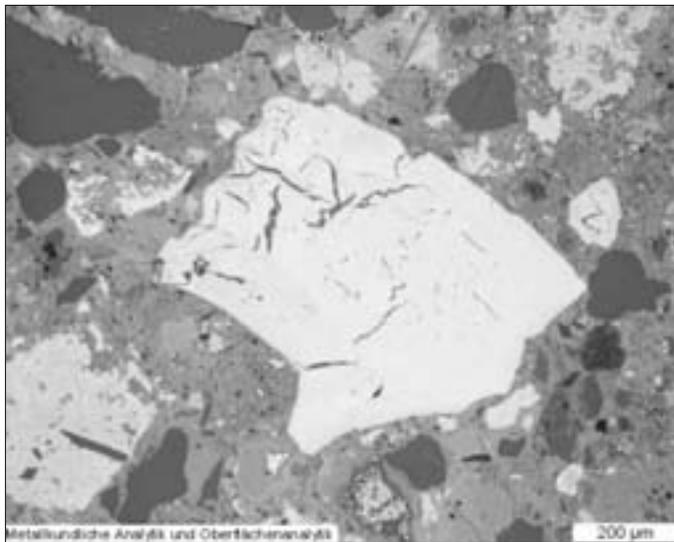
Fund Nr. 1410 ist ein unregelmäßig geformter, rund 60 x 50 cm großer und rund 30 bis 40 cm mächtiger kompakter Kuchen – ähnlich einer Ofensau –, der in der Geomagnetik als deutliche Anomalie zu erkennen war. Diese Ofensau befand sich nicht mehr in situ in einem Ofen, sondern wurde von den römischen Schmelzern aus dem Ofen entfernt. Ein kleines Stück wurde abgetrennt und dem Metallurgen zusammen mit dem Ofeneinsatz aus Ofen 2 zur stoffkundlichen Bestimmung übergeben.

## Untersuchungsergebnisse

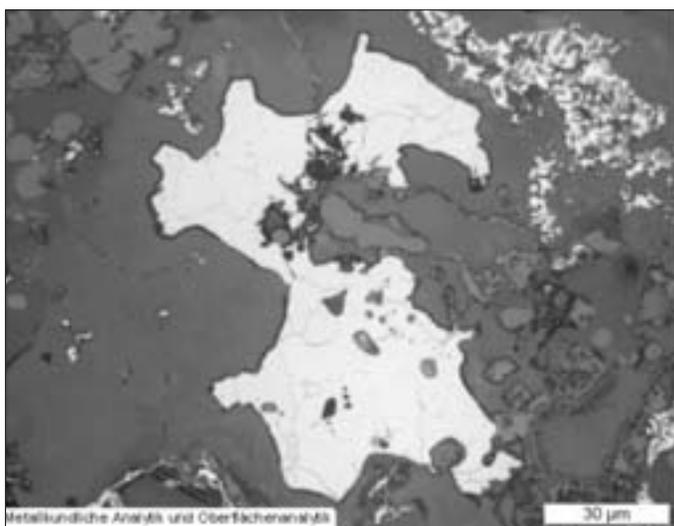
Aus den Kuchen (Fund Nr. 1410 und 1417) wurden Proben mechanisch abgetrennt, metallisch eingebettet und für eine lichtoptische Beurteilung präpariert.



**Abb. 3:** Schliffbild des Ofeneinsatzes mit den Resten von Holzkohle in der Bildmitte; Matrix: grau – Erzkörner, dunkelgrau – Schlacke, schwarzgrau – Quarzkörner; ungeätzt. Fund Nr. 1417.



**Abb. 4:** Schliffbild des Ofeneinsatzes mit zu Fe reduziertem Erzkorn in der Bildmitte; Matrix: hellgrau – reduzierte Erzkörner, grau – Erzkörner, dunkelgrau – Schlacke, schwarzgrau – Quarzkörner; ungeätzt. Fund Nr. 1410.



**Abb. 5:** Schliffbild des Ofeneinsatzes mit Ferrit; ungeätzt. Fund Nr. 1410.

Makroskopisch erkennt man an den Bruchflächen, dass die Kuchen aus vielen heterogenen, körnigen Komponenten zusammengesetzt sind (**Abb. 3 bis 5**). Man erkennt z. T. haselnussgroße, kantige Erz-, Schlacken- und Quarzkörner (Großkorn bis 20 mm), die in einer Matrix aus Erz-, Quarz-Schlackenkörner eingebettet sind. Die Probe kann man als polyminerale Breccie bezeichnen. Durch die Lagerung hat eine starke Korrosion der Breccie stattgefunden. Wüstit, Magnetit und Hämatit werden durch OH-haltige Komponenten zusammengehalten.

Im Mikroskop findet man den heterogenen Aufbau des Ofeneinsatzes wieder (**Abb. 3 und 4**). Neben den Körnern von Erz und Zuschlägen sind auch Holzkohlestücke und zum Teil zu metallischem Eisen reduzierte Erzkörner zu finden. Weiters erkennt man Granalien von Ferrit mit Schlackeneinschlüssen und Granalien von Ferrit/Perlit (**Abb. 5**). In der Probe Fund Nr. 1417 ist ein größerer Anteil an Schlackenbestandteilen festzustellen (**Abb. 6**).

Die Halbkugeltemperatur (2) liegt bei 1.490°C, die Fließtemperatur bei 1.510°C.

### Diskussion der Ergebnisse

Der Schachtofen ist ein metallurgisches Aggregat, in dem die Beschickung von Fe-Trägern und den Schlackenbildnern (= Möller) sowie von Holzkohle von oben erfolgt. Der Möller wandert im Ofen nach unten und wird durch die heißen Ofengase erwärmt. Das Ofengas (CO/CO<sub>2</sub>-Gemisch) entsteht durch Verbrennung des Windsauerstoffs mit Holzkohle vor den Winddüsen und durchströmt den Schacht nach oben zur Gicht hin. Dabei gibt das Ofengas Wärme im Oberofen an die Beschickung ab und reduziert die Erzkörner. Im unteren Bereich des Oberofens werden die flüssigen Eisenoxide der Schlacke durch das Gasgemisch reduziert.

Die Reduktion der festen Erzkörner und die Reduktion des flüssigen Wüstits durch das CO/CO<sub>2</sub>-Gasgemisch wird indirekte Reduktion genannt. Sie ist abhängig von der CO-Konzentration des Ofengasgemisches, der Temperatur im Schacht (Oberofen), der Reduktionszeit, der Vorbehandlung des Erzes, der Korngröße, der Porosität der Körner, der mineralogischen Struktur der Erzkörner, dem Mengenverhältnis von Erz zur Holzkohle, Durchsatzzeit, Zeitpunkt und Menge der Möllierung, Windzufuhr usw. Je höher und gleichmäßiger die Ofentemperatur im Oberofen, je größer der CO-Anteil im Ofengasgemisch, je poröser die Erzkörner und je länger die Verweilzeit der Erzkörner im Oberofen sind, umso höher wird der Anteil der zu Stahl reduzierten Erzkörner sein. Das zu Stahl reduzierte Erzkorn behält dabei seine Kornform bei. Porosität der Erzkörner sowie deren Korngeometrie (je kleiner umso besser) sind die Haupteinflussfaktoren für den metallurgischen Erfolg. Im unteren Teil des Schachtes (= Oberofen) kommt es zum Auf-

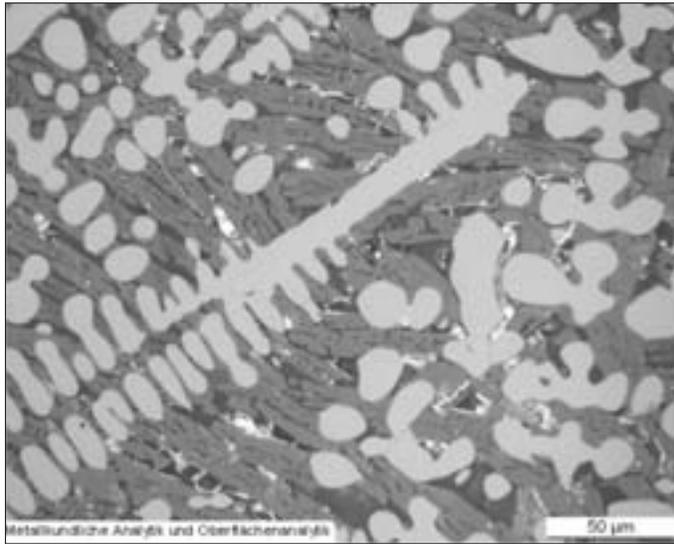


Abb. 6: Schliffbild von Schlackenbestandteilen in Fund Nr. 1417; Wüstit – hellgrau; Olivin – grau; erstarrte Restschmelze – dunkelgrau.

schmelzen der Beschickung. Dabei kann der flüssige Wüstit sowohl durch die indirekte Reduktion der Ofengase (runde Stahlgranalien) als auch durch die direkte Reduktion der Holzkohle zu Stahl reduziert werden. Bei Temperaturen über 1.000°C und Anwesenheit von Holzkohle besteht das Ofengas nach dem Baur-Glässner-Diagramm aus beinahe reinem CO. Die Produkte der Gasreduktion sind Stahlgranalien, die einen bestimmten Anteil an Eisenoxiden besitzen.

Bei der direkten Reduktion umhüllt der flüssige Wüstit die Holzkohlekörner (3), erstarrt danach und wird dann vom Kohlenstoff in einer fest/fest Reaktion reduziert. Daher findet man in den Schachtofeneinsätzen Holzkohlekörner mit einem dünnen Stahlmantel (dünne Stahlfolien).

Beim Absinken der Beschickung in den Unterofen werden die gesamten Schlackenbildner verflüssigt. Aufgrund des großen Dichteunterschiedes kommt es zur Trennung der flüssigen Schlacke von den festen Stahlbildnern. Die festen Stahlbildner – reduzierte Stahlkörner, Stahlgranalien, Stahlfolien – sintern im Unterofen zu einer stark heterogenen Stahlluppe zusammen. Abhängig von der Temperatur im Unterofen, von der Korngröße der Stahlkörner, der Viskosität der Laufschlacke usw. ist die Stahlluppe unterschiedlich stark porös und mit Schlacke und Holzkohle verunreinigt.

Die sorgfältige Abstimmung der einzelnen metallurgischen Parameter aufeinander war das einzigartige „Know-how“ der römischen Hüttenleute um Hüttenberg.

Bei gutem Fe-Ausbringen, d. h. niedrigen  $\text{FeO}_n$ -Gehalten der Laufschlacken, bei langer Verweilzeit der Stahlkörner im Oberofen (= Schacht) sowie hohen Temperaturen (über 900°C) kann es durch CO-reiche Ofengase zur Aufkohlung der Stahlkörner sowie der Stahlgranalien kommen. Dies kann ebenso im Unterofen in der Stahlluppe erfolgen. Die Aufkohlung kann bei Temperaturen über 1.450°C bis hin zur Bildung von Roheisen führen.

Eine Teilmenge des Roheisens beteiligt sich an der Bildung der Stahlluppe, die andere Teilmenge lief mit der Laufschlacke beim Schlackenabstich aus dem Schachtofen aus. Das Vorhandensein von Roheisen war ein Hinweis auf eine Fe-Ausbringen-optimierte Schmelzenführung (4).

Die stark verunreinigte Stahlluppe musste außerhalb des Schachtofens in einer eigenen Ausheizbehandlung von Schlacken und Holzkohlestücken gereinigt werden. Dieser metallurgische Arbeitsschritt erfolgte in Ausheizherden, die direkt neben den Schachtofen standen.

Die in dem Kapitel niedergeschriebenen Erkenntnisse werden durch die Untersuchungsergebnisse des Ofeneinsatzes untermauert. Sie sind wertvolle Erkenntnisse über die römische Schmelzmetallurgie zur direkten Stahlherstellung (Stahlluppe) bzw. auch zur indirekten Stahlherstellung (Roheisenstangen). Offen bleibt nach wie vor, wie das Roheisen gefrischt wurde. Vielleicht können die neben den Schachtofen freigelegten Herde unser Wissen diesbezüglich erweitern. Eine andere Möglichkeit ist das Frischen mit Eisenoxiden im Schachtofen am Ende des Schmelzvorganges (3) – (5).

Treffend hat dies bereits Harald Straube formuliert (6): „Erstmals konnte im Gegensatz zu der vordem bestehenden allgemein akzeptierten Ansicht nachgewiesen werden, dass kohlenstofffreies weiches Eisen nicht das ausschließliche Produkt dieses Verhüttungsprozesses ist, sondern dass bei entsprechender Bedingung eine sehr weitgehende Aufkohlung mit nachfolgender Abnahme des Kohlenstoffgehaltes auf sehr unterschiedliche Werte durch einen Frischvorgang möglich ist und dass bei diesem Ablauf eine zeitweilige Verflüssigung eintritt.“

## Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes P16070/G02 – Ferrum Noricum Hüttenberg, archäometallurgie, durchgeführt.

## Anmerkungen

- (1) CECH, Brigitte; PRESSLINGER, Hubert; WALACH, Georg Karl: Interdisziplinäre Untersuchungen zum Ferrum Noricum am Hüttenberger Erzberg – ein Vorbericht. – In: res montanarum 35/2005, S. 72-78.
- (2) Bestimmungen des Schmelzverhaltens nach DIN 51730; Probenträger – Sintertonerde; Heizrate 10 K/min.
- (3) PRESSLINGER, Hubert; GAHM, Hans; EIBNER, Clemens: Die Eisenerzverhüttung im steirischen Ennstal zu Beginn des 12. Jahrhunderts. – In: BHM 128 (1983), S. 163-168.
- (4) SPERL, Gerhard: Die Entwicklung des steirischen Eisenhüttenwesens vor der Einführung des Hochofens. – In: Erz und Eisen in der Grünen Mark, Hrsg: Roth, Paul; Beitragsband zur steirischen Landesausstellung 1984; S. 83-94.
- (5) ESPELUND, Arne: Luppenstudien in Norwegen. – In: Archaeologia Austriaca 82/83 (1998/1999), S. 528-536.
- (6) STRAUBE, Harald: Ferrum Noricum und die Stadt auf dem Magdalensberg; Springer-Verlag Wien-New York; 1996.