

sehen, im Gegensatz zu dem Eisen am Rand des beobachteten Holzkohleeinschlusses. Zusätzlich zu den im Schnitt senkrecht zur Schlackenoberfläche rundlichen Wüstiten finden sich im oberen Teil der fayalitischen Zone zahlreiche Schnitte durch dichte Oxidkrusten, die entweder in die Schmelze abgetauchte, oxidierte Oberflächen der Schlacke oder Hammerschlag sein könnten, der in den Schmelzkuchen eingebracht wurde. Die Krusten enthalten kein Metall. Sowohl rundliche Kumulate als auch Oxidkrusten belegen ein sehr starkes Gefälle des Redoxpotentials in den doch relativ kleinen Schlacken Kuchen: Der Wüstit der Kumulate ist bereits in unmittelbarer Umgebung des eingeschlossenen metallischen Eisens heterogen und entwickelt idiomorphe Spitzen der Dendritenäste. Nach unserer Interpretation zeigt diese Heterogenität des Wüstits eine beginnende Entmischung von Magnetit an. Die idiomorphen Anteile wären demnach bereits als Magnetit anzusprechen (Abb. 4). In der fayalitischen Umgebung der Kumulate schließlich kristallisieren einzelne idiomorphe Magnetitdendriten. Die idiomorphe Ausbildung der Einzelkristalle der dichten Krusten legt nahe, daß es sich dabei praktisch ausschließlich um Magnetit handelt.

Obgleich randlich um eingeschlossene Holzkohle ein Teil des Eisens der Schlacke bis zum Metall reduziert wird, unterliegt die Hauptmasse des Schlacken kuchens doch deutlich stärker oxidierenden Bedingungen. Metallisches Eisen wird in der Schlacke aufgezehrt und – von lokalen Bedingungen im System abgesehen – somit nicht in der Schlacke selbst erzeugt, sondern ist Fremdmetall.

Die hohen Anteile an eisenarmen Zuschlagstoffen, die teilweise auch noch unaufgeschmolzen vorliegen, sind ein wichtiger Hinweis darauf, daß hier nicht Erz zu Metall reduziert wurde. Ebenso charakteristisch ist der vergleichsweise hohe Anteil von Holzkohlenasche in der Schlacke, wie er aus dem Gehalt an Kalium-Aluminium-Silikaten abgeleitet werden kann. Auch das Mengenverhältnis Ofenkeramik/metallurgische Schlacke spricht nicht für ein Eisengewinnungsverfahren, das im Vergleich zu dem ausgebrachten Metall relativ viel Schlacke ergibt. Außerdem würde man im Reduktionsprozeß, der zur Ansammlung einer Eisenluppe führen muß, eine wesentlich homogenere Schlacke erwarten.

Form, Paragenese und Einzelminerale der untersuchten Schlacken sind typisch für Schmelzprodukte der Verarbeitungsstufe von Eisen. Es handelt sich bei den untersuchten Schlacken aus Regensburg-Harting um Produkte des als Reduktions-Schmiedeverfahren definierten Verarbeitungsprozesses von metallischem Eisen (Keesmann 1985).

Es wird noch zu klären sein, woher das in Regensburg-Harting verarbeitete Eisen stammte und welche Unterschiede oder Parallelen sich im technischen know-how zu Berching-Pollanten und zu Manching erkennen lassen.

HANS GEISLER

UNTERSUCHUNGEN ZUR LATÈNEZEITLICHEN UND  
FRÜHMITTELALTERLICHEN EISENPRODUKTION IM RAUM KELHEIM  
(NIEDERBAYERN)

Ausgedehnte Pingfelder und mächtige Schlackenhalde auf den Höhen der südlichen Fränkischen Alb waren bereits für Matthias von Flurl Zeugnisse des Abbaus und der Verhüttung von Eisenerz in alter Zeit:

»In den Flötzen von Kellheim kommt auch der Raseneisenstein, und zwar gewöhnlich als Wiesenerz vor. Die Alten mußten von diesem Erz vieles gewonnen und gleich am Tage durch das so betitelte Bauernschmelzen (Luppenfeuer) zugute gemacht haben; Denn in dem Kellheimischen Kastenamtgehölze in dem Gemeinwalde, und zum Teil auch in dem Pfalz-Neuburgischen Paintner Forste trifft man heutzutage noch verschiedene große und kleine Gruben oder Bingen an, in deren Nähe sich noch ganze Haufen von Eisenschlacken finden lassen« (Flurl 1792, 564 f.).

Für die Archäologie gewannen die Abbauspuren und Schlackenfunde an Interesse, seit die Ringwallanlage auf dem Michelsberg oberhalb von Kelheim, im Mündungszwickel von Altmühl und Donau, als das latènezeitliche Oppidum Alkimoennis identifiziert wurde (Burger 1984 mit Lit.). In der Folge wurden die Relikte der Eisenproduktion dann fast ausschließlich den Kelten zugeschrieben (Reinecke 1937).

Die erste und bisher einzige Ausgrabung, die gezielt auf Verhüttungsanlagen angesetzt wurde, erbrachte allerdings neben einem latènezeitlichen Rennofen auch drei als mittelalterlich bezeichnete kleine Schachtöfen mit Düsenrohren (Behaghel 1940). – Der Deutung der Trichtergrubenfelder als Erzabbaustellen galt ein 1960 angesetzter Grabungsschnitt. Dabei ergaben sich wiederum zwei Phasen, die sich stratigraphisch unterscheiden ließen und durch <sup>14</sup>C-Datierungen der Latènezeit und dem frühen Mittelalter zugewiesen werden konnten. Schwarz hatte gegen die letztere Datierung aus »kulturgeschichtlichen Gründen« Bedenken und plädierte für eine Jüngerdatierung ins 9./10. Jahrhundert (Schwarz et al. 1967). Bei Gelegenheit dieses Grabungsschnittes wurde auch die Genese der Kelheimer Erze von geologischer Seite geklärt (Schwarz et al. 1964).

Den bis etwa 1977 erzielten Forschungsstand einschließlich einiger vereinzelter Erz- und Schlackenanalysen faßte U. Zahn (1979; 1981) zusammen. In den letzten Jahren allerdings erbrachten großflächige Ausgrabungen, vor allem durch den Bau des Rhein-Main-Donau-Kanals veranlaßt, eine erhebliche Erweiterung des verfügbaren Materials aus gesicherten Zusammenhängen (Engelhardt 1984. – Burger 1984). Der wichtigste Fundkomplex war dabei eine im 5. Jahrhundert mit elbgermanischen Funden beginnende, seit dem 6. Jahrhundert mit einem Reihengräberfeld, dann mit Baubefunden faßbare Siedlung, die bis ins 9./10. Jahrhundert hinein auf einem hochwasserfreien Kiesrücken im Mündungsbereich der Altmühl bestand. In ihr wurden Rennöfen und Ausheizschmieden betrieben (Engelhardt 1980. – Koch 1968, 154 ff. – Geisler 1983). Bei diesen Grabungen standen Probleme der Eisenproduktion zwar nicht im Vordergrund des Interesses, doch ließen sich auch dazu neue Aussagen gewinnen, die das bisherige Bild nicht unwesentlich ergänzen. Die archäologische Auswertung, die auch die Altbestände im Museum Kelheim einschloß (Burger u. Geisler 1983), wurde durch eine umfangreiche chemisch-mineralogische Analysenreihe ergänzt (Fröhlich 1984). Die Ergebnisse sollen im folgenden skizziert werden. Dabei werden zugleich die erheblichen Lücken deutlich, für die weiterführende Untersuchungen nötig sind.

## Erze

Grundlage für eine Eisenproduktion an der unteren Altmühl im Raum Kelheim waren bis zur frühen Neuzeit die bis zu 20 cm starken Schwarten von Brauneisenerz und Ockererz auf der zerklüfteten Oberfläche des Massenkalks, die sich unter der jüngeren Albüberdeckung erhalten hatten (Schwarz et al. 1964). Diese Alberze charakterisiert ein sehr hoher Mangengehalt mit Mittelwerten einzelner Vorkommen bis zu 7,5% Mn. Die Proben stammen aus angeschnittenen Schachtprofilen von der Karstoberfläche und aus der frühmittelalterlichen Siedlung als Rest- und Abfallstücke der Verhüttung (Fröhlich 1984).

## Erzabbau

Für die Latènezeit sind auf der Hochfläche des Michelsberges große offene Trichtergruben nachgewiesen. Die latènezeitliche Besiedlung war hauptsächlich auf die in den Ringwall einbezogenen Flächen im Talgrund konzentriert, während die vielfach größere Hochfläche weitgehend, wenn nicht vollkommen siedlungsleer blieb (Burger 1984). Es ist zu erwägen, ob die Umwallung außer als Refugium nicht auch der Sicherung der Rohstoffquelle Eisenerz gedient haben wird. Nach einer Unterbrechung während der

Römerzeit wurde der Abbau, wohl seit dem 6. Jahrhundert nachweisbar ( $^{14}\text{C}$ -Daten: Schwarz et al. 1964; 1968), mit senkrechten Schächten betrieben. Bei einem Durchmesser von 80-120 cm, wobei die späteren anscheinend eher größere Durchmesser aufweisen, waren sie dicht nebeneinander angelegt, auf der Sohle entsprechend der Standfestigkeit des durchfahrenen Materials allseits erweitert und mit dem Aushub benachbarter Schächte wieder verfüllt, so daß ein gewissermaßen flächendeckender Abbau stattfand. Die Tiefe war von der stark reliefierten Karstoberfläche abhängig, doch wurden die Schächte anscheinend meist aufgegeben, wenn in ca. 12 m Tiefe die erzführende Schicht noch nicht erreicht war (Schwarz et al. 1968. – Lippert o. J. – Zahn 1979).

## Verhüttung

Teilweise, wenn nicht überwiegend, wurde das Erz unmittelbar im Abbaugbiet, also auf den Hochflächen verhüttet. Der Wassermangel dort läßt eine aufwendige Aufbereitung des Erzes, insbesondere ein Waschen, ausgeschlossen erscheinen, so daß hohe Kalkgehalte in der Schlacke nicht mit intentionellen Zuschlägen im Reduktionsprozeß erklärt werden müssen, sondern als natürliche Verunreinigung (Gangart) gelten können.

In der Latènezeit wurde auch in schwach besiedelten Lagen im Talgrund der Altmühl verhüttet. Als Verhüttungsanlage wurde mehrfach der Rennofen vom Typ Burgenland nachgewiesen (Behaghel 1940. – Burger u. Geisler 1983), ein relativ großer eingetiefter Kuppelofen mit angesetzter Arbeitsgrube, der mehrmals verwendet werden konnte (Bielenin 1977, 52 ff. – Kaus 1981, 82 ff.). – Für die Römerzeit sind Erzabbau und Eisenproduktion im Kelheimer Gebiet nicht belegt. Die frühmittelalterliche Verhüttung wird spätestens seit dem 7. Jahrhundert in der Siedlung von Kelheim-Gmünd nachweisbar, indirekt über Abbauspuren sogar noch früher (s. o.). Dabei lagen die Rennofenplätze etwas außerhalb der Bebauung am Nordwestrand des Dorfes, während sich die Ausheizherde nach den Fundstellen des entsprechenden Schlackentyps innerhalb der Siedlungsfläche in ihrem östlichen Randbereich konzentrierten. Der Nachweis des verwendeten Ofentyps ist schwierig, doch dürfte es sich um einen kleinen freistehenden Schachtofen handeln, wie er auf dem Michelsberg bereits ausgegraben wurde (Behaghel 1940, 116 f.). Als charakteristische Zubehörteile für die frühmittelalterlichen und jüngeren Rennöfen im Raum Kelheim sind jedenfalls die zahlreichen konischen Tondüsen anzusprechen, die nirgendwo in latènezeitlichen Zusammenhängen vorkommen (Burger u. Geisler 1983): Sie können daher als eine Art Leitfossil für die Datierung der Produktionsphasen dienen. Sie sind im Querschnitt rund oder abgerundet drei- oder viereckig, bis ca. 30 cm lang, meist aus grobkiesig gemagertem Lehm unter Verwendung eines Formholzes hergestellt und von der Ofenhitze rot und mürbe gebrannt. Die Spitze ist meist glasig verschlackt, und zwar entsprechend dem Winkel, unter dem die Düse schräg in die Ofenwand eingesetzt war. Als Brennmaterial wurde im Frühmittelalter bei der Reduktion und beim Ausheizen ausschließlich Eichen- und Buchenholzkohle verwendet, wobei Eiche stark überwog. Für den Hausbrand und andere Zwecke nutzte man dagegen ein breites Spektrum verschiedener Holzarten (E. Graessle in Geisler 1983). Diese selektive Holznutzung läßt auf spezialisierte Köhlerei in größerem Umfang und organisierte Forstwirtschaft schließen. – Für das spätere Mittelalter fehlen Befunde von Hüttenplätzen bislang. Die Hammerwerke an Altmühl und Donau scheinen hauptsächlich Erze aus den wesentlich ergiebigeren Lagerstätten bei Amberg und Sulzbach (zuletzt Götschmann 1986 mit Lit.) verhüttet zu haben. Diese auf dem Wasserweg herangeschafften Erze sollten aufgrund ihrer wesentlich niedrigeren Mangangehalte in den Schlackenanalysen nachweisbar sein (Fröhlich 1984, 43. – Zahn 1979, 143). Allerdings erwähnt bereits Flurl (1792, 764 f.) die Wiederverhüttung der reichlich vorhandenen Rennfeuerschlacken aus dem örtlich anstehenden Erz, so daß das Mn sogar angereichert sein könnte.

In der Gesamtschau der Ergebnisse verschiedener Disziplinen, die jeweils mit ihren eigenen spezifischen Fragestellungen an das Material herantraten, wie Archäologie, Wirtschaftsgeografie, Geologie, Mineralogie, scheint sich nun die frühe Eisenproduktion im engeren Raum Kelheim in ihren Grundzügen einigermaßen gegliedert darzustellen: In der ersten, latènezeitlichen Phase wird mit der Anwendung des norischen Rennofens vom Typ Burgenland eine Produktionsstätte von lokaler oder regionaler Bedeu-

tung erkennbar, die mit ostkeltischer Technologie arbeitet. Nach einer Unterbrechung von mehreren Jahrhunderten besteht in der Merowingerzeit wiederum eine prosperierende Siedlungsgemeinschaft, die in beträchtlichem Umfang und über den örtlichen Bedarf hinaus Eisen produziert. Es läßt sich nicht unbegründet vermuten, daß der frühe Beginn dieser Siedlung mit elbgermanischen Funden im 5. Jahrhundert in einem kausalen Zusammenhang mit den günstigen Voraussetzungen für die Eisenerzeugung steht. Diese zweite Phase klingt mit der Erschöpfung der Erzlager aus. In einer dritten Phase, kontinuierlich anschließend oder nach längerer Unterbrechung von den Standortvorteilen nutzbarer Wasserkraft, direkten Flußtransportes und bedeutender Energievorräte angezogen, schafft man schließlich das Erz von auswärts heran und verwendet mit verbesserter Technik das Abfallprodukt Schlacke der vorhergehenden primitiveren Rennfeuer verhüttung wieder als Rohstoff.

Dieses Gerüst ist von einem geschlossenen Bild der Eisenproduktion im Altmühl-Donau-Gebiet von ihren Anfängen an noch weit entfernt. Doch wenn in den zahlreichen zuständigen Disziplinen an diesem Forschungsziel orientierte Fragestellungen entwickelt und angegangen werden, sollten sich aufgrund des vorhandenen Materials erkennbare Fortschritte erzielen lassen.

FRIEDRICH FRÖHLICH · DIETER ROSE · GERNOT ENDLICHER

#### EISENSCHLACKEN AUS DER UMGEBUNG VON NEU-ULM: MINERALOGISCHE UND CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Schlackenproben aus den römischen Kleinkastellen Burlafingen (Stadt Neu-Ulm) und Nersingen (Lkr. Neu-Ulm) stammen nach archäologischen Befunden (Mackensen u. Marx 1985) von Schmiedeherden, die um die Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr. zu datieren sind. Ziel der mineralogischen und chemischen Untersuchungen war es, festzustellen, ob es sich um Schmiedeschlacken handelt und ob Rückschlüsse auf Zuschlagstoffe und Roherze möglich sind.

Nach der chemischen Zusammensetzung, insbesondere den Gehalten an FeO, SiO<sub>2</sub> und CaO, ist der größte Teil des Schlackenmaterials als typisches Produkt des Rennofenprozesses (Sperl 1979) aufzufassen. Einige Proben weisen erhöhte SiO<sub>2</sub>- und CaO-Gehalte auf, was auf eine verstärkte Beimengung von Zuschlagstoffen oder eine Kontamination durch Material der Ofenwand schließen läßt.

Aufgrund der Korrelationen einzelner Elemente zueinander lassen sich drei Elementgruppierungen unterscheiden, innerhalb derer jeweils gute positive Korrelationen bestehen:

- Fe, Ni: Diese Beziehung ist durch den Einsatz eines sehr reinen Eisenerzes mit geringen Nickelgehalten zu erklären; deshalb kommen oberflächennahe Eisenerze aus der näheren Umgebung kaum in Frage.
- Si, Al, Na, Zr, Y, Ba, Ti, Pb, Mn, Rb: Diese Elementassoziation muß durch SiO<sub>2</sub>-reiche Stoffe bedingt sein. Das Elementspektrum weist auf einen Quarzsand mit geringen Gehalten an Feldspat, Glimmer und Schwermineralen hin. Dies wird durch die mikroskopische Untersuchung bestätigt.
- Ca, Mg, Sr: Die Korrelation dieser Elemente ist typisch für Karbonatgesteine. Hieraus kann auf kalkreiche Zuschlagstoffe geschlossen werden.