

Conclusion

La caractérisation de ces structures est donc assez précise. Toutefois, leurs relations avec les faits techniques sont difficiles à définir. En effet, après réduction du minerai, l'élaboration peut comporter de nombreuses étapes simultanées ou successives, épuration du lingot, puis mise en forme de l'objet à partir du lingot. Suivant les températures de travail nécessaires à ces opérations, la structure que nous observons peut donc être issue d'une série de transformations, ce qui rend l'interprétation d'autant plus délicate. Il ne faut d'ailleurs pas exclure d'éventuelles réparations.

Face à ces incertitudes, nous avons choisi de confronter les hypothèses de fabrication déduites de la »lecture structurale« à la reconstitution expérimentale. Ceci permet également d'appréhender la difficulté technique de la mise en forme de l'objet en fonction de sa morphologie, de la quantité et de la qualité du métal. Notons qu'il est difficile aujourd'hui, de trouver des nuances industrielles de composition voisine de celles utilisées à la période considérée, ce qui complique considérablement les opérations de reconstitution expérimentale.

YVONNE ZIPPERT · GEORG MÜLLER

MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN SPÄTMITTELALTERLICHEN EISENSCHLACKEN AUS DER GRABUNG »BARKHOF« IN SCHIEDER, KREIS LIPPE

Einleitung

Bei der Anlegung des Erholungszentrums Schieder, Kreis Lippe, rund 20 km östlich von Detmold, stieß man im Frühjahr des Jahres 1980 unerwartet auf die spätmittelalterliche Handwerkersiedlung »Barkhof« (Abb. 1). Entdeckt wurde sie während großflächiger Ausbaggerungen in der Talaue des Flusses Emmer im Zuge eines Stauseebaus. Notgrabungen des Lippischen Landesmuseums von 1980-1982 unter Leitung von Herrn Dr. F. Hohenschwert führten zur Sicherstellung größerer Mengen von Probenmaterial.

Archäologische Funde in der Handwerkersiedlung »Barkhof«, Geschichte und Alter der Siedlung (nach Hohenschwert, 1983)

Neben Funden aus der ehemaligen Glashütte, von Töpfereien, von Fundamenten der Wohn- und Werkstattbauten fanden sich auch Reste einer Eisenverhüttung sowie Beweise für das Betreiben von Ackerbau innerhalb dieser großen mittelalterlichen Siedlung. Reste der Verhüttung zeigten sich in Gruben, gefüllt mit Holzkohle, Eisenschlacken sowie Lehmkuppelstücken. Schmelz- und Ausheizöfen wiesen einen runden oder rechteckigen Querschnitt auf. Die durchschnittliche Länge dieser Öfen, einschließlich der Arbeitsgruben, wird von Hohenschwert mit 3 m bis 3,5 m angegeben, ihre Breite mit 1,5 m bis 2 m. Daneben fanden sich in einem anderen Grabungsbereich kleinere birnenförmige Gruben, welche mit Holzkohle, Eisenluppe und -schlacke sowie Rotlehm gefüllt waren und als Reste von »Rennfeuer- oder Ausheizöfen« gedeutet werden. Messer, Scheren und Radnägeln, um nur einiges zu nennen, wurden als Produkte der Verschmiedung des Eisens freigelegt.

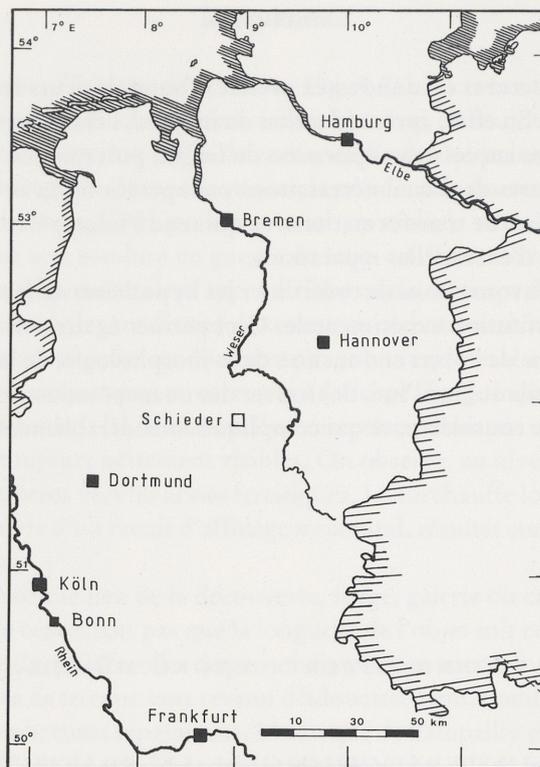


Abb. 1,1 Die Lage von Schieder, Kr. Lippe.

Die Grabung ergab, daß die Siedlung zweimal durch Territorialfehden in der Zeit des 14. bis zu Beginn des 15. Jahrhunderts zerstört wurde. Nur einmal wurde sie wieder aufgebaut. Nach der zweiten Zerstörung in den Jahren 1404-1407 wurde sie verlassen.

Die erste bisher bekannte Erwähnung des »Barkhofs« fällt in das Jahr 1230. 1328 wurde Edelherr Otto zur Lippe von Erzbischof Otto von Magdeburg mit diesem belehnt. Die wirtschaftlichen Aktivitäten, wie Glasherstellung und Eisenverarbeitung, werden in dieser Urkunde nicht erwähnt, jedoch ist anzunehmen, daß sie für die Erzbischöfe über fast zwei Jahrhunderte von Bedeutung waren.

Ziel der Untersuchungen

Die folgenden mineralogischen Untersuchungen von Eisenschlacken aus der Grabung Schieder sind auf Anregung des Lippischen Landesmuseums (Direktor Dr. Hohenschwert) vorgenommen worden. Sie sollten zur Klärung der damals eingesetzten Rohstoffe dienen und zu Vorstellungen über die Art des Verhüttungsprozesses führen.

Geographische Lage der Handwerkersiedlung »Barkhof« und Geologie des Raumes Schieder (Abb. 1)

Die Baugruppen der Siedlung »Barkhof« finden sich auf drei Lehm- und Schotterrücken des Emmertals. Zwischen diesen Rücken lagen während der Besiedlungszeit bereits verlandete Altarme der Emmer. Das Siedlungsgebiet befand sich auf einem hochwasserfreien Werder (Hohenschwert 1983). In unmittelbarer Nähe existierten bzw. existieren große Waldgebiete: nämlich der Schwalenberger und Blomberger Wald, die die Brennstoffe für das Handwerkerdorf lieferten.

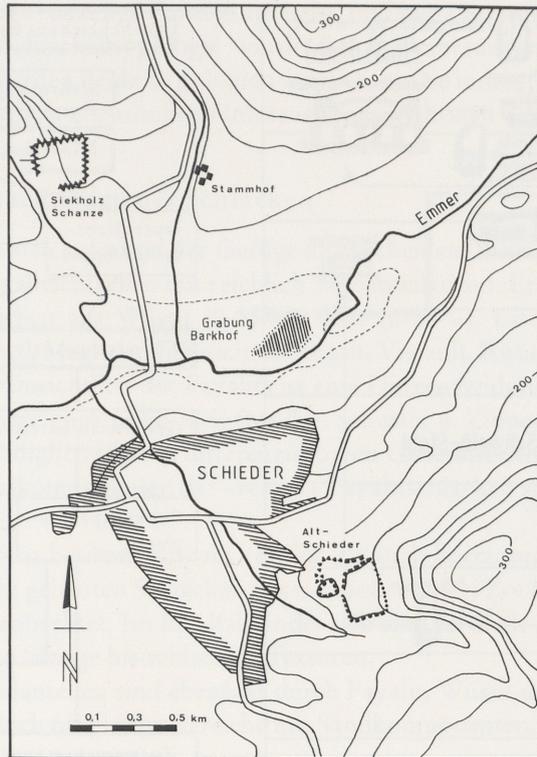


Abb. 1,2 Die Lage der Grabungsstätte (nach F. Hohenschwert 1983; erweitert).

Die Geologie des Raumes Schieder ist vorwiegend durch mesozoische Gesteinseinheiten gekennzeichnet. Daneben treten in den Tälern quartäre Ablagerungen auf. Dabei handelt es sich vor allem um von der Emmer aufgeschottertes Material. Während der Ausgrabungen fanden sich in den Altarmen der Emmer Reste von Seen und großflächige Mulden, die mit Eisenschlamm gefüllt waren, wobei es sich vermutlich um limonitische Sumpferze (Raseneisenerz) handelte.

Aus der Geologie und Fazieskunde ergibt sich, daß Eisenlagerstätten in den mesozoischen Schichten nicht zu erwarten sind. Lagerstätten für den Abbau von Eisenerz können demnach ausschließlich die oben genannten quartären Raseneisenerze, vielleicht auch im begrenzten Umfange der Eisenerze der Nessenbergquelle bei Schieder gewesen sein.

Geschichte der Eisenverhüttung

Mindestens seit Beginn des 2. Jahrhunderts v. Chr. bis Ende des 18. Jahrhunderts, wie auch heute noch in Teilen der dritten Welt, wurde in Europa schmiedfähiges Eisen durch den Rennfeuerprozeß gewonnen (Moesta 1983). Hierbei handelt es sich um ein Verfahren zur direkten Schmiedeeisen- bzw. Stahlerzeugung.

Während Rennfeuerprozesse anfangs nur auf hügeligen Erhebungen betrieben wurden, kam es im Mittelalter zu ihrer Verlegung in die Flußtäler, um die Kräfte des Wassers für die Betreibung von Blasebälgen mittels Wasserrädern zu nutzen. Dadurch konnte eine wesentliche Produktionssteigerung erzielt werden (Hillegeist 1974). Etwa gleichzeitig ging man zu Stücköfen (Schachtöfen) über, die Johannsen (1953) als Gebläseöfen beschreibt.

Im 14. Jahrhundert begann bereits die Entwicklung über den Floßofenbetrieb zum Hochofen (Verein Deutscher Eisenhüttenleute 1971). Mit dem Einsetzen von Hochöfen vollzog sich der Übergang von der direkten zur indirekten, d.h. zweistufigen Stahlerzeugung. Da hierbei nur kohlenstoffreiche, harte,

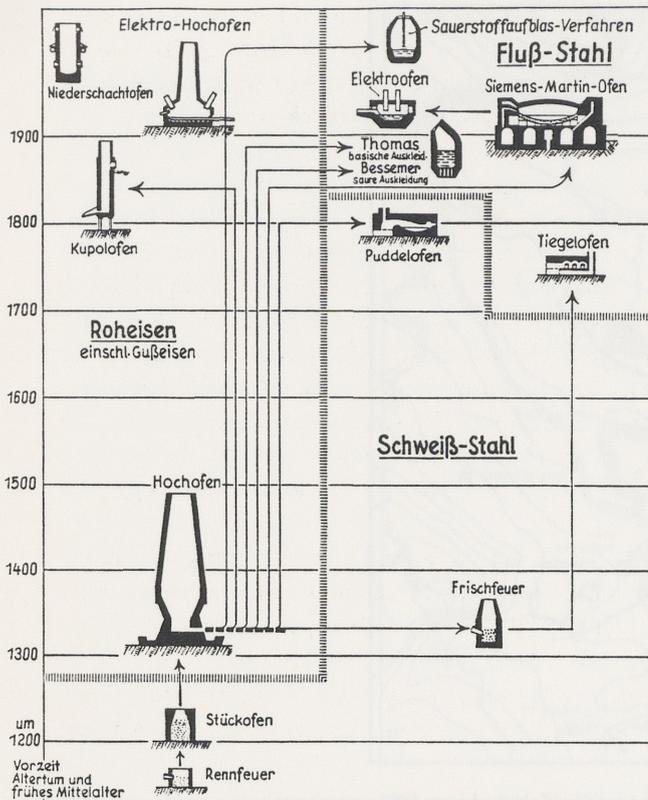


Abb. 2 Übersicht über die historische Entwicklung der Eisenhütten-Technologie (nach Verein deutscher Eisenhüttenleute [1971]).

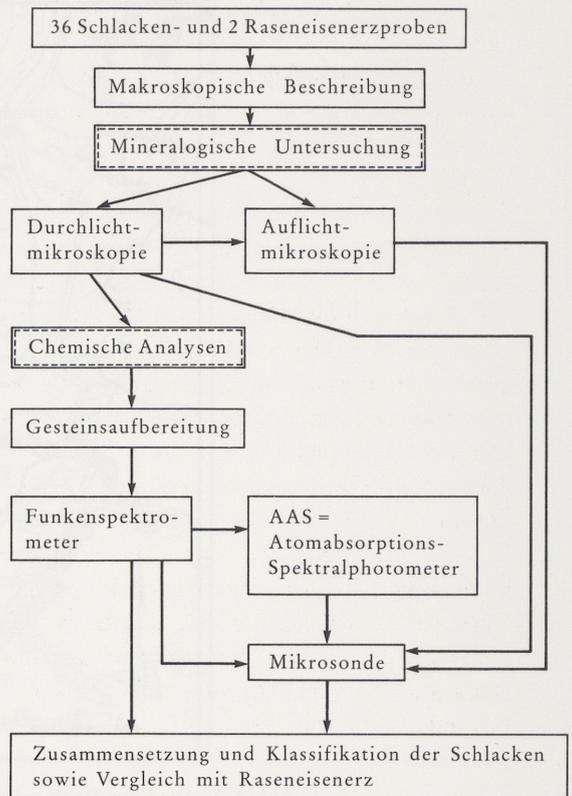


Abb. 3 Übersicht über den Untersuchungsablauf.

spröde und wenig schiedbare Stähle erzeugt wurden, mußten zusätzlich Frischfeuer in einem zweiten Schritt nachgeschaltet werden. Bei letzterem wird der im Roheisen gelöste Kohlenstoff zu CO_2 oxidiert und dem Eisen entzogen, wodurch schmiedfähiges Eisen gewonnen wird (vgl. Abb. 2).

Die Hochofen des späten Mittelalters bilden die Grundlage für unsere heutigen Stahlerzeugungsverfahren (vgl. Abb. 2).

Arbeitsmethoden

Insgesamt wurden an 36 Schlacken- und 2 Raseneisenerzproben mikroskopische Untersuchungen im Durch- und Auflicht sowie Analysen mit dem Funkenspektrometer, dem AAS (Atomabsorptions-Spektralphotometer) und der Mikrosonde durchgeführt. Abb. 3 zeigt schematisch den Ablauf der Untersuchungen.

Mineralogische Untersuchungen

Makroskopische Schlackentypenanalyse

Die Schlacken wurden makroskopisch beschrieben und verschiedenen Schlackentypen nach Sperl (1980) zugeordnet. Dabei ergab sich, daß etwa 72% der Schlacken den Typ D2 aufweisen, der eine unregelmäßige, noppige Ober- und eine kalottenförmige Unterseite besitzt. 6% der Schlacken gehören dem Typ

C2 an, welcher unregelmäßige runzelige Formen aufweist, und nur 7% entfallen auf den Typ A2 mit Fladenformen. Diese äußere Schlackentypologie wurde durch Untersuchungen der inneren Typologie ergänzt, und nachfolgend wurden beide Typologien verglichen. Die innere Typologie ergibt sich aus den mikroskopischen und analytisch-chemischen Untersuchungsmethoden der Schlacken.

Mikroskopische Untersuchungen der Schlacken

Zwei Schlackenarten lassen sich aufgrund der Gefüge unterscheiden. Zum einen treten »reine« Fayalitschlacken, zum anderen Fayalitschlacken mit reichlich Sandanteilen auf. Erstere bestehen hauptsächlich aus Fayalit (99-45%), daneben aus Wüstit (0-55%), Glas (0-50%), Eisenhydroxiden (bis 5%) und Nebengemengteilen wie Fe_{met} , Magnetit, Hämatit, Iddingsit, Vivianit, Rutil, Kupferkies, Pyrit und gelegentlich auch Holzkohle. Hinsichtlich des Fayalits ist eine Unterscheidung in sechs verschiedene Formen und vier Generationen möglich (Abb. 4-5) (Müller, Schuster u. Zippert 1988).

Der Wüstit hingegen liegt lediglich in zwei differenzierbaren Generationen vor.

An dritter Stelle der Mineralinkomponenten der »reinen« Fayalitschlacken steht Glas. Es zeigt Rekristallisationserscheinungen.

Die »reinen« Fayalitschlacken besitzen sowohl vertikal als auch horizontal zonierte Gefüge (Abb. 6). Übergänge zwischen einfach gebauten Schlacken mit mindestens zwei Zonen und komplizierten mit bis zu sieben Zonen wurden beobachtet. Im Idealfall findet sich eine vertikale Drei- bis Vierteilung.

Alle Fayalitschlacken zeigen blasige bis schlackige Texturen.

Schlacken mit reichlich Sandanteilen sind ebenfalls durch Fayalit, Wüstit und Glas gekennzeichnet. Als Besonderheit führen sie jedoch oft glasige Bereiche mit Sandkomponenten, die denen des Raseneisenerzes entsprechen.

Mikroskopischer Befund der Raseneisenerzuntersuchung

Der Mineralbestand des untersuchten Raseneisenerzes setzt sich im wesentlichen aus Eisenhydroxid und Quarz, daneben aus Plagioklas, Kalifeldspat, Muskowit, Hornblende, Mikroklin, Chlorit und Vivianit zusammen. Ferner konnten die Schwerminerale Epidot, Klinozoisit, Zirkon und Turmalin bestimmt werden. Eisenhydroxid, das mengenmäßig den Hauptanteil ausmacht, bindet in unterschiedlicher Dichte die fein- bis mittelkörnigen Sandkomponenten. Es besteht eine umgekehrte Proportionalität zwischen Eisenhydroxidmenge und Korngröße der Sandkomponenten.

Chemische Untersuchungen

Qualitative Funkenspektrometer-Analyse

Die funkenspektrometrischen Analysenergebnisse ergeben einen markanten Unterschied zwischen den Elementenspektren der Schlacken und denen der Raseneisenerze. Neben den Elementen Si, Ti, Al, Mn und Mg, die sowohl in den Schlacken als auch in den Raseneisenerzen vorkommen, treten daneben in den Fayalit-Glas-Schlacken noch Ag, As, Ba, Bi, Ca, Cd, Cu, Pb und Zn auf, wobei Cu, Pb, und Ca in allen untersuchten Proben vertreten sind, während die anderen in dieser oder jener Probe fehlen oder vorhanden sein können. Angesichts der recht empfindlichen spektrometrischen Analysenmethode muß davon ausgegangen werden, daß die Elemente Ag, As, Ba, Bi, Ca, Cd, Cu, Pb und Zn, die im eingesetzten Erz nicht nachweisbar sind, prozeß-spezifisch sind, wobei die Herkunft noch ungeklärt ist. Es stellt sich die Frage, ob Glasbruch aus der benachbarten Glashütte eingesetzt worden ist. Vielleicht sind aber beim Schmelzprozeß die betreffenden Elemente soweit in der Schlacke angereichert worden, daß sie – in den Erzen unterhalb der Nachweisgrenze liegend – in den Schlacken nachweisbar wurden.

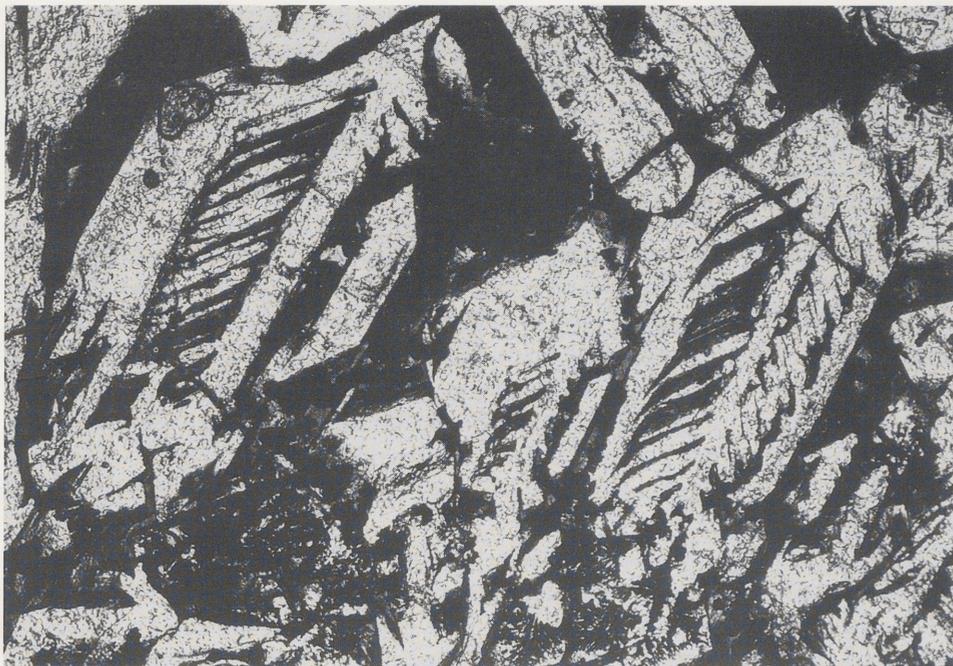


Abb. 4 Gleichseitige skelettartige Fayalitkristalle (1 cm entspricht 0,1 mm).



Abb. 5 »Briefcouvertartige« Fayalitkristalle (1 cm entspricht 0,25 mm).

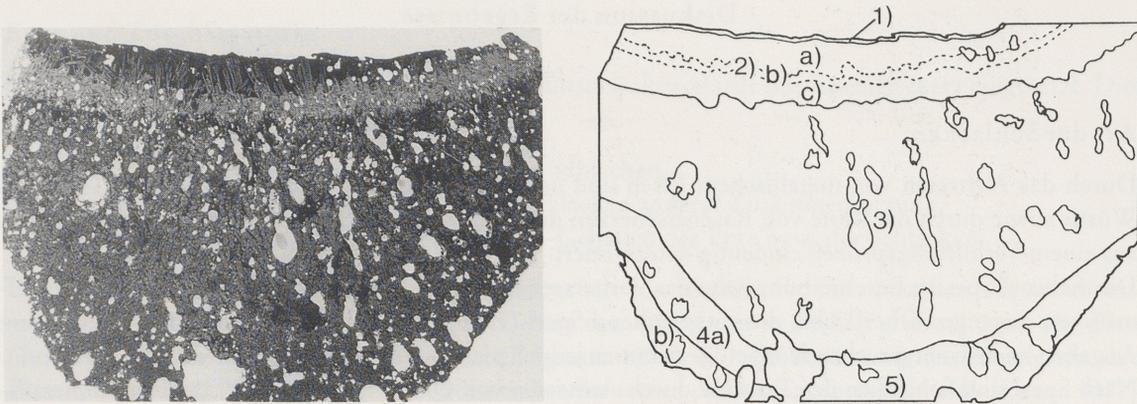


Abb. 6 Nahezu ideale Gefügezonierung im Querschnitt einer Schlacke mit fünf Zonen verschiedener Fayalitkristall-Kombinationen, Kristallgrößen und Kristallverwachsungsverhältnissen.

Quantitative Atomabsorptions-Spektralphotometer-Analyse

Gemessen wurden jene Hauptelemente, die bereits mit Hilfe der Funkenspektrometer-Analyse ermittelt worden waren.

Der durchschnittliche Eisenoxidgehalt der Schlackenproben wurde mit 59% bestimmt. Er liegt damit etwas unterhalb des FeO-Gehaltes des analysierten Erzes.

Bei einem weiteren Elementvergleich zwischen Erz und Schlacke ergeben sich höhere SiO₂-Gehalte der Schlacken. Die SiO₂-Gehalte der Schlacken liegen zwischen 20% und 53%; beim Raseneisenerz beträgt der SiO₂-Wert 16%. Dies ist, wie die Dünnschliffuntersuchungen zeigen, auf die Verwendung eines sehr inhomogenen, unterschiedlich sandhaltigen Raseneisenerzes zurückzuführen. Daneben treten manchmal höhere CaO-Gehalte der Schlacken auf. Hier liegen die durchschnittlichen Werte der Schlacken bei 0,9%, die des Erzes hingegen bei 0,5%. Die übrigen Oxide der Elemente wie Al, Mg, Mn und Ti sind nahezu konstant.

Mikrosondenanalyse

Die Bestimmungen der Hauptelemente des Fayalits führten zum Ergebnis, daß die Kristalle in den verschiedenen Schlacken unterschiedlich zusammengesetzt sind. So zeigte die Schlackenprobe Nr. 4 folgende Zusammensetzung: SiO₂=29,98; FeO=67,93; MnO=0,09; MgO=1,37; CaO=0,67; Al₂O₃=0,06 und TiO₂=0,04 Gew.-%. Probe 17 dagegen: SiO₂=29,48; FeO=69,59; MnO=0,25; MgO=0,14; CaO= 0,00; Al₂O₃=0,00 und TiO₂=0,02 Gew.-% (Müller, Schuster u. Zippert 1988).

Die Zusammensetzung der Gläser variiert erheblich. Die hell- beziehungsweise dunkelbraune oder auch grünliche Färbung des Glases beruht nicht auf unterschiedlichen Fe-Gehalten. Doch zeichnen sich die grünlich gefärbten Gläser durch erhöhtes CaO (18 Gew.-%), P₂O₅ (5%), Na₂O (3%) und durch leicht erniedrigtes SiO₂ (38%) gegenüber den braunfarbigen Gläsern (CaO=7%, P₂O₅=0,5%, Na₂O=1%, SiO₂=48%) aus. Hier spiegeln sich die inhomogenen Zusammensetzungen der Sandanteile in den Raseneisenerzen mit variierenden Plagioklas- und Vivianitanteilen wider.

Die durch die Funkenspektral-Analyse ermittelten Spurenelemente liegen unterhalb der Nachweisgrenze der Mikrosonde (< 0,0X%). Lediglich in der Holzkohle ließen sich geringe Konzentrationen von Pb nachweisen.

Art der Schlacken

Durch das Auftreten von metallischem Eisen und dessen Verwachsungen mit dem Fayalit, Glas und Wüstit sowie durch die Reste von Raseneisenerzen und Holzkohle ist die Abstammung der Schlacken aus einem Verhüttungsprozeß eindeutig determiniert.

Die makroskopische Beschreibung zeigt das Vorherrschen von kalottenförmigen Schlacken mit unregelmäßiger, noppiger Oberfläche, die entsprechend Sperl (1980) dem Typ D2 zuzuordnen wären. Seine Angaben zu dem entsprechenden Gefüge stimmen jedoch nicht mit den eigenen Beobachtungen überein. Nach Sperl sind Schlacken des Typs D2 durch Auftreten von Glas mit Quarzeinschlüssen und metallischem Eisen charakterisiert. Im Gegensatz zu dieser Aussage bilden in den hier untersuchten Schlacken Fayalit, Glas und Wüstit die Hauptkomponenten. Dabei macht Fayalit den weitaus größten Anteil aus. Andere Schlackentypen Sperls, die den Schlacken der Grabung Schieder von der Zusammensetzung her entsprechen, sind die Typen C1 und D1. Doch weichen ihre äußeren Formen infolge ihrer Fließstrukturen von den Schlacken aus Schieder ab.

Aufgrund der abweichenden internen Schlackengefüge ist es schwierig, die Schlacken von Schieder einem Schlackentyp in Sperls Typenkatalog zuzuordnen. Daher kann nicht gesagt werden, ob es sich bei den kalottenförmigen Schlacken von Schieder um einen bisher nicht erfaßten oder nur um einen bereits bekannten Schlackentyp von abweichender innerer Typologie handelt.

Berücksichtigt man die Schlackenformen des Typs C2, die als Schlackenkrätze bezeichnet werden und den Laufsclacken angehören, so müssen diese den Schlacken von Renn- und Stücköfen zugerechnet werden. Ein typisches Fehlen von Holzkohle bei Laufsclacken (Sperl 1980) kann nicht bestätigt werden. Selbst Schlackenproben, die von ihren Gefügen her Laufsclacken darstellen, sind nicht völlig holzkohlefrei. Daher muß es als fraglich angesehen werden, ob Einschlüsse von Holzkohle als Charakteristikum für Ofenschlacken angesehen werden können. Auch die deutlich vertikal zonierte Schlacken enthalten *kleine* Holzkohlepartikel, müssen vom Gefüge her aber den Laufsclacken zugeordnet werden. Dies spricht nach Sperl für das Vorhandensein von Renn- bzw. Stücköfen.

Zieht man allerdings das häufige Auftreten von *großen* Holzkohlestücken und Erz im Typ D2 in Betracht, so weist das auf Ofenschlacken hin (Sperl 1980). Dies stärkt die Annahme, daß Renn- bzw. Stücköfen in Schieder benutzt wurden.

Osann (1971) beschreibt kalottenförmige Ofenschlacken aus Gielde. Seine Meinung ist zu der Sperls konträr, der die Auffassung vertritt, daß Ofenschlacken nicht kalottenförmig ausgebildet sein können. Die untersuchten Ofenschlacken sind im Gegensatz zu den Laufsclacken durch sehr kompliziert verteilte Gefügezonen gekennzeichnet. Diese Beobachtung stimmt vermutlich mit der von Oelsen u. Schürmann (1954) überein, die vom Fehlen eines Lagenbaues bei Ofenschlacken sprechen.

Eine exakte Trennung zwischen Schlacken aus Rennofen- oder Stückofenprozessen ist mineralogisch nicht möglich. Argumente jedoch, die für Stücköfen sprechen können, sind:

- die Lage der Siedlung im Tal und nicht auf den umgebenden Bergrücken,
- die Lage am Fluß,
- die rechteckigen Ofenquerschnitte.

Aus den angeführten Argumenten kann sich überdies die Verwendung von Wasserrädern zum Betrieb von Gebläsen für eine bessere Belüftung ergeben, wodurch die Stücköfen den Rennöfen überlegen waren und höhere Reduktionsleistungen erreicht wurden.

Die andererseits vorhandenen Schlacken mit reichlich Sandanteilen weisen auf Ausheizprozesse der Luppen hin. Angaben über Ausheizschlacken und insbesondere über die für sie typischen Formen wurden in der Literatur nicht gefunden.

Erze und Zuschlagstoffe

Beim Verfahren zur Erzeugung der »reinen« Fayalitschlacken wurde nur Raseneisenerz eingesetzt. Dies ergibt sich aus:

- eingeschlossenen Raseneisenerzrelikten in den Schlacken,
- Fehlen von anderen Erzrelikten oder Fayalitschlacken anderer Zusammensetzung,
- konstant niedrigen Al-, Ca-, Mg-, Mn- und Ti-Gehalten der Erze bzw. der Schlacken.

Das Erz, das eingesetzt wurde, hatte einen Eisengehalt von rd. 50% Fe. Dies resultiert aus der chemischen Eisenerzanalyse. Hier wurde ein Fe-Gehalt von 46% (= 66% Fe₂O₃) ermittelt, was ein guter Durchschnittswert für Erze dieses Typs ist (Dagostar 1974). Für die Verhüttung am günstigsten sind Erze mit etwa 10% Kieselsäuregehalt. Höhere Gehalte setzen das Eisenausbringen herab (Osann 1971). Der hier bestimmte Kieselsäuregehalt von 16% war folglich für den Hüttenprozeß nicht ganz optimal. Es kann aber aufgrund der Dünnschliffuntersuchungen angenommen werden, daß auch SiO₂-ärmere und Fe-reichere Erze eingesetzt wurden. Dabei blieben die Al-, Ca-, Mg-, Mn- und Ti-Gehalte konstant niedrig, wie die Analysen der Schlacken beweisen.

In den funktenspektrometrisch untersuchten Raseneisenerzen fehlen alle Schwermetalle sowie Ba und Ca. Graupner (1982) gibt eine vergleichende Darstellung der Spurenelement-Vorkommen in Raseneisenstein-Erzen in Niedersachsen an. Hieraus ist zu entnehmen, daß Ba (121-2747 ppm), Cu (7-168 ppm), Pb (0-100 ppm) und Zn (2-100 ppm), welche häufige Spurenelemente in den hier bearbeiteten Schlacken sind, in Raseneisenerzen in ppm-Konzentrationen nachweisbar sind (Tab. 1a).

Er erwähnt auch, daß Schlacken von verhütteten Raseneisensteinen in Niedersachsen Schwermetalle aus den eingesetzten Erzen aufgenommen haben, nämlich Ba bis 1082 ppm, Cu bis 129 ppm, Pb bis 10 ppm und Zn bis 196 ppm (Tab. 1b).

Schlacken mit reichlich Sandanteilen sind Relikte von Ausheizprozessen, denn beim Ausheizen der Luppen waren Zuschläge von Sand notwendig (Gilles 1960). Hierfür wurden sicherlich die Sande, die in

Fundorte der Raseneisenerze	Barium (ppm)	Kupfer (ppm)	Blei (ppm)	Zink (ppm)
Hesepertwist	918	31	1	71
Groß Hesepe	2747	54	47	55
Alte Piccardie	121	12	0	2
Augustfehn-Apen	1450	168	0	63
Holdorf-Neuenkirchen	1008	76	0	15
Dotlingen	853	44	8	45
Schwarmstedt	1171	7	2	0
Gailhof-Mellendorf	732	45	12	22
Isernhagen	–	90	–	–
Lucie	–	52	100	100
Gartow	654	–	–	43

Tab. 1a Spurenelementgehalte niedersächsischer Raseneisenerze (Graupner 1982).

Fundorte der Schlacken	Barium (ppm)	Kupfer (ppm)	Blei (ppm)	Zink (ppm)
Ellbergen	1082	129	10	196
Essel	340	96	4	91
Isernhagen	–	50	–	–
Isernhagen	–	100	–	–

Tab. 1b Spurenelementgehalte in Schlacken (Graupner 1982).

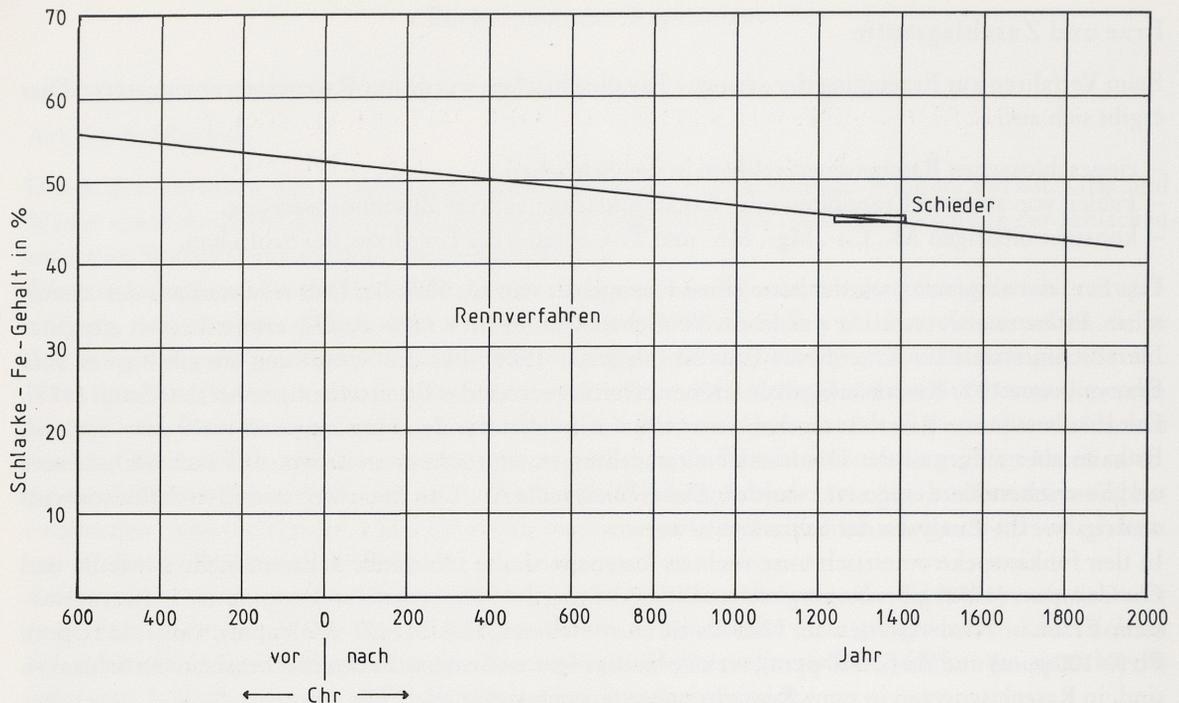


Abb. 7 Zeitliche Entwicklung der Fe-Gehalte in Schlacken (nach J. W. Gilles 1957; vereinfacht).

unmittelbarer Nähe der ehemaligen Siedlung in der Talaue vorkommen, eingesetzt. Nahe gelegene Raseneisenerz-Vorkommen werden durch unterschiedliche Eisenhydroxidverunreinigungen der Sande angezeigt, wie auch Eisenschlämme während der Notgrabung beobachtet wurden. Sie sind vermutlich mit limonitischen Sumpf- oder Raseneisenerzen identisch. Eine Klärung, ob solche nahegelegenen Erze zum Abbau kamen, könnte ein Vergleich des Schwermineralspektrums der hier untersuchten Erze mit dem der Sande der Emmertalaue erbringen.

Eisengehalt der Schlacken

Der durchschnittliche FeO-Gehalt der untersuchten Schlacken von rund 59% entspricht etwa 46% elementarem Eisen. Vergleicht man diesen Wert mit einer Darstellung von Gilles ([1957], vgl. Abb. 7), so erkennt man, daß dieser Wert einem für das späte Mittelalter typischen Durchschnittswert entspricht. Der höchste hier bestimmte FeO-Gehalt einer Schlacke von rund 66% läßt den Schluß zu, daß sie aus Düsenbereichen mit hohen Ofentemperaturen (über 1300°C) stammen könnte (Sperl 1978). Primärausscheidungen von Fayalit und Wüstit, wie sie für derartige Schlacken charakteristisch sind, wurden dementsprechend in dieser Probe auch nachgewiesen.

Sperl erwähnt ferner, daß für Renn- und Stücköfen hocheisenhaltige Schlacken mit z. T. sehr hohen Fe-Gehalten typisch sind. So führt er eine Schlacke mit rund 66% Eisen an, also einen Wert, der etwa dem Fe-Gehalt des eingesetzten Erzes entspricht. Die Analysen der Schlacken von Schieder ergeben teilweise auch recht hohe Eisengehalte, was mit den Angaben von Sperrl übereinstimmt.

Nach Schürmann (1958) ist aus den FeO-Gehalten der Erze und denen der Schlacken das Eisenausbringen ableitbar. Geht man von mindestens 60% FeO (=66% Fe₂O₃) in einer Erzprobe und ≤ 46% FeO der Schlacke aus, so resultiert ein Eisenausbringen von mindestens 45%. Die vorgenannten 46% FeO wurden in einer Schlackenprobe bestimmt. Schürmann (1958) gibt für Rennöfen einen häufig vorkommenden Ausbringwert von rund 50% an, was mit den hier gefundenen Relationen übereinstimmt.