

Ulrich Zimmermann unter Mitarbeit der Museumsgruppe Elmshorn\*

**Raseneisenerz - Rennöfen - Roheisen**  
- Ablauf und Ergebnisse eines Experiments -

**1. Vorbemerkungen**

Noch lange nicht scheinen alle chemisch-physikalischen und arbeitstechnischen Aspekte der Aufbereitung von oxydischem Eisenerz zu reduziertem und damit schmiedbarem Roheisen in prähistorischer Zeit geklärt. Dies gilt v.a. für den **technologischen** weniger für den **chemisch-physikalischen Bereich**, da letzterer bei entsprechendem Untersuchungsmaterial quantitative Vergleiche und nach archäologischer Auswertung auch Rückblicke in die Prähistorie ermöglichen kann. Technologisches Wissen ist dagegen in prähistorischer Zeit mündlich tradiert worden, dann jedoch - spätestens im Verlauf der industriellen "Revolution" des letzten Jahrhunderts - geriet Ursprüngliches vielfach in Vergessenheit.

Archäologie als historische Wissenschaft muß bemüht sein, Arbeitstechniken zu erforschen, weil so weitere Einblicke in soziale, ökonomische und ökologische Probleme ermöglicht werden. Trotz der oftmals sehr reduzierten Befundlage an prähistorischen Eisenverhüttungsplätzen sind somit immer chemisch-physikalische Analysen und Folgerungen möglich. Dagegen bleibt meist ein nur kleiner Raum für die Lösung technologischer Fragestellungen offen (1). Hier können Experimente, die möglichst eng an archäologische Befunde angelehnt sein sollten, weiterhelfen.

Experimente sind darüber hinaus hervorragend geeignet, archäologische Forschungsmethodik in der Öffentlichkeit verständlich zu machen. An den hier vorzustellenden Versuchen zur Verhüttung von Raseneisenerz war die Öffentlichkeit in zweifacher Hinsicht beteiligt:

1. Es ist Werbung betrieben worden in Form von Plakaten, Handzetteln, Pressemitteilungen usw., um eine möglichst große Öffentlichkeit anzusprechen.

2. In der Vorbereitungsgruppe waren neben Fachstudenten auch Hobbyarchäologen und interessierte Metallfachleute tätig, die sich während langer Diskussionen mit dem Thema und der archäologischen Forschungsmethodik und -systematik beschäftigten (2).

## 2. Vorbereitung und Versuchsaufbau

### 2.1. Das Erz

Das im Sommer 1983 in Elmshorn verhüttete Raseneisenerz stammt aus Abro bei Medelby, Kr. Schleswig-Flensburg. Am Rande eines Niedermoores steht es dort in 20 - 30 cm mächtigen Bänken als Eisenhydroxyd  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  bzw.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  an. Sie befinden sich, in oberflächlich sichtbaren Vertiefungen auf dem grauen Sand des C-Horizonts liegend, direkt unter der Humusdecke (vgl. hierzu H. Werner 1951: 139). Einzelne Linsen sind sehr leicht mittels einer Peilstange zu lokalisieren. Durch Pollenanalyse der Torfe wurde die Entstehung dieses Erzes in die 2. Hälfte des Subboreals datiert (H. Werner 1951: 140).

In Gew.-% enthält das Abro-Erz: (3)

Fe	35,95	=	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	51,45	=	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	68,65
Mn	0,42	=	MnO	0,66			
Si	18,90	=	Si O <sub>2</sub>	21,30			
Ca	0,17	=	CaO	0,43			
P	-						

Aufgrund des relativ hohen Eisengehaltes und des hohen Anteils an Si O<sub>2</sub> (Flußmittel und Schlackenbildner) schien dieses Erz als zur Verhüttung geeignet und wurde gewaschen, getrocknet, handverlesen sowie in etwa walnußgroße Stücke zerschlagen. Auf eine Röstung des Erzes wurde verzichtet, da poröses Raseneisenerz im Gegensatz zu z.B. dichtem Brauneisenerz bereits durch Trocknung in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  übergeht (F.J. Ernst 1966: 36).

### 2.2. Die Holzkohle

Als Brennstoff für die Verhüttung wurde handelsübliche Laubholzkohle (90 % Buche, 10 % Esche) verwendet. Gegenüber harter Laubholzkohle besitzt weiche Nadelholzkohle keinen befriedigenden Wärmewert und ergibt große Asche- und Schlackemengen (F.-J. Ernst 1966: 37). Um im Ofen eine möglichst dichte Kohlepackung über und unter dem Erz zu erzielen, wurde die Holzkohle in Stücke von 2 - 4 cm Dm zerschlagen.

### 2.3. Die Rennfeueröfen

Der Bau der Öfen gestaltete sich äußerst arbeits- und zeitintensiv; als Baustoff fand Marschenton Anwendung, der zunächst mit Magerungsmaterial (10 % scharfkantiger Quarzsand, 15 % Haferspelze) durchmischt und dann mittels eines Schlagholzes in Wulstform getrieben wurde. Dieses Verfahren schont die Handgelenke, die bei der Bearbeitung des zähen Materials stark beansprucht werden, erheblich. Der Bau erfolgte dann in Ringwulsttechnik, wobei auf eine möglichst feste Verbindung der einzelnen Werkstücke miteinander zu achten war. Mangelnde Sorgfalt hätte bereits während der 2 - 4 wöchigen Lufttrocknung und erst recht bei der späteren Feuerverziegelung horizontale Risse nach sich gezogen, die eine Reduktion des Erzes beeinträchtigen und verhindern können. Die Vorbereitung des Materials und der Bau eines Ofens nahmen 5 Mann/Tage in Anspruch.

Die Form der 3 Versuchsofen wurde angepaßt an die des Fundes von Scharmbeck, Kr. Harburg (4). Sie sind 90 - 100 cm hoch, zur Gichtöffnung hin leicht konisch geformt und haben 4 Düsenlöcher in etwa 8 cm Höhe über der Standfläche (vgl. Abb. 1). Diese Öffnungen sind leicht nach unten geneigt, um die Reduktionszonen in den Öfen zu verlängern (5).

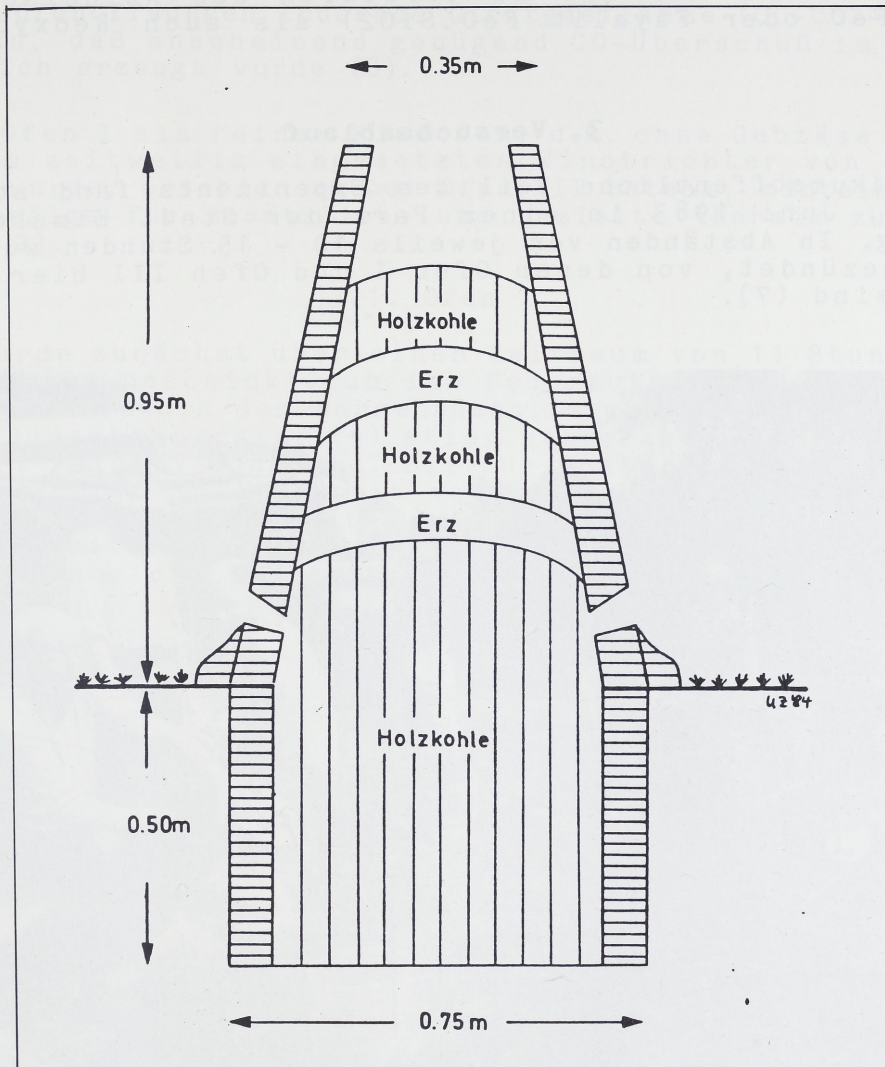
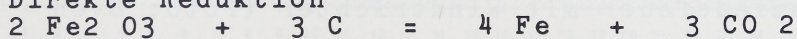


Abb. 1 Querschnitt durch Ofen III

#### 2.4. Die Reduktion

Bei der Reduktion in Rennfeueröfen gilt es, dem oxydischen Erz Sauerstoff zu entziehen. Ist das Raseneisenerz  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  durch Trocknung bzw. durch Röstung in Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) umgewandelt, ist dies auf 2 Wegen möglich: (6)

##### A. Direkte Reduktion

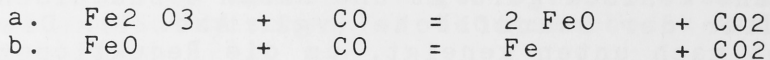


Dieser Prozeß findet statt ab etwa 950 °C bei direktem Kontakt zwischen Erz und Holzkohle.

##### B. Indirekte Reduktion

Diese Reduktionsform (ab etwa 600 °C) basiert auf der Verbrennung von Holzkohle (C) zu Kohlenmonoxyd (CO), das aufsteigt und im oberen Ofenbereich zu Kohlendioxyd (CO<sub>2</sub>)

aufoxydiert. Bei Luftabschluß stammt der Sauerstoff für die Verbrennung von CO zu CO<sub>2</sub> aus dem oxydischen Erz.



Leider ist dieser Vorgang - wie hier vereinfacht dargestellt - eher theoretischer als praktischer Natur; in praxi sind sowohl Teilreduktionen nur bis zu Vorstufen des Reineisens (z.B. Wüstit FeO oder Fayalit FeO.SiO<sub>2</sub>) als auch Reoxydationen möglich.

### 3. Versuchsablauf

Der publikumsöffentliche Teil des Experiments fand statt vom 16. - 19. Juni 1983 in einem Park der Stadt Elmshorn, Kr. Pinneberg. In Abständen von jeweils 10 - 15 Stunden wurden die 3 Öfen gezündet, von denen Ofen I und Ofen III hier von Interesse sind (7).



Abb. 2 Blasebalgtätigkeit an Ofen III; im Hintergrund das Schmiedefeuer mit Windtrichter (Foto: Sven Rohr)

Zur Aufnahme der Schlacken wurden 50 cm tiefe Herdgruben ausgehoben, die zur horizontalen Wärmeisolierung und aus statischen Gründen mit luftgetrockneten Rohziegeln ausgekleidet waren. Auf dieses Fundament gesetzt und mit Tonschlamm abgedichtet wurden

die Ofen gezündet. Als schwierig erwies es sich, das Feuer bzw. die Holzkohlenglut bis in Düsenhöhe aufzubauen, weil unterhalb der Düsen kein Luftzug herrscht. War dies erreicht, sorgten der leichte West-Wind, die frühsummerlichen Lufttemperaturen und die geöffneten Düsen für eine ausreichende Thermik, so daß sehr schnell Temperaturen von 1100 bis 1200 oC in den Ofen erreicht waren. Ab diesem Zeitpunkt mußten fortwährend kleinere Trockenrisse in den Ofenwänden mit Tonschlamm abgedichtet werden, um unkontrollierten Sauerstoffeintritt zu verhindern. Die ständig über den Ofenöffnungen lodernde Gichtgasflamme (CO-CO<sub>2</sub>-Gemisch) zeigte an, daß anscheinend genügend CO-Überschuß im unteren Ofenbereich erzeugt wurde (8).

Während Ofen I als reiner Windofen, d.h. ohne Gebläse und nur mit einem zeitweilig eingesetzten Windtrichter von 45 cmDm gefahren wurde, erschien es bei Ofen III ratsam, mittels zweier Handblasebälge für zusätzliche und gezielte Thermik zu sorgen (S. Abb. 2).

### 3.1. Ofen I

Ofen I wurde zunächst über einen Zeitraum von 11 Stunden nur mit Holzkohle beschickt, um ihn feuerzutrocknen (s. Abb. 3). Dies ist aus Gründen des Wärmehaushalts und der Statik notwendig. Die Düsentemperatur (9) stieg sehr rasch auf 1100 oC und blieb dort relativ konstant. Bis zur ersten Erzgicht von 3 kg waren bereits 70 kg Holzkohle verbraucht. Die Temperaturkurve zeigt für den gesamten Zeitraum der Erzgichten starke Schwankungen. Nur mittels aller geöffneten Düsen und durch den Windtrichter konnte die Temperatur auf + 1000 oC gehalten werden.

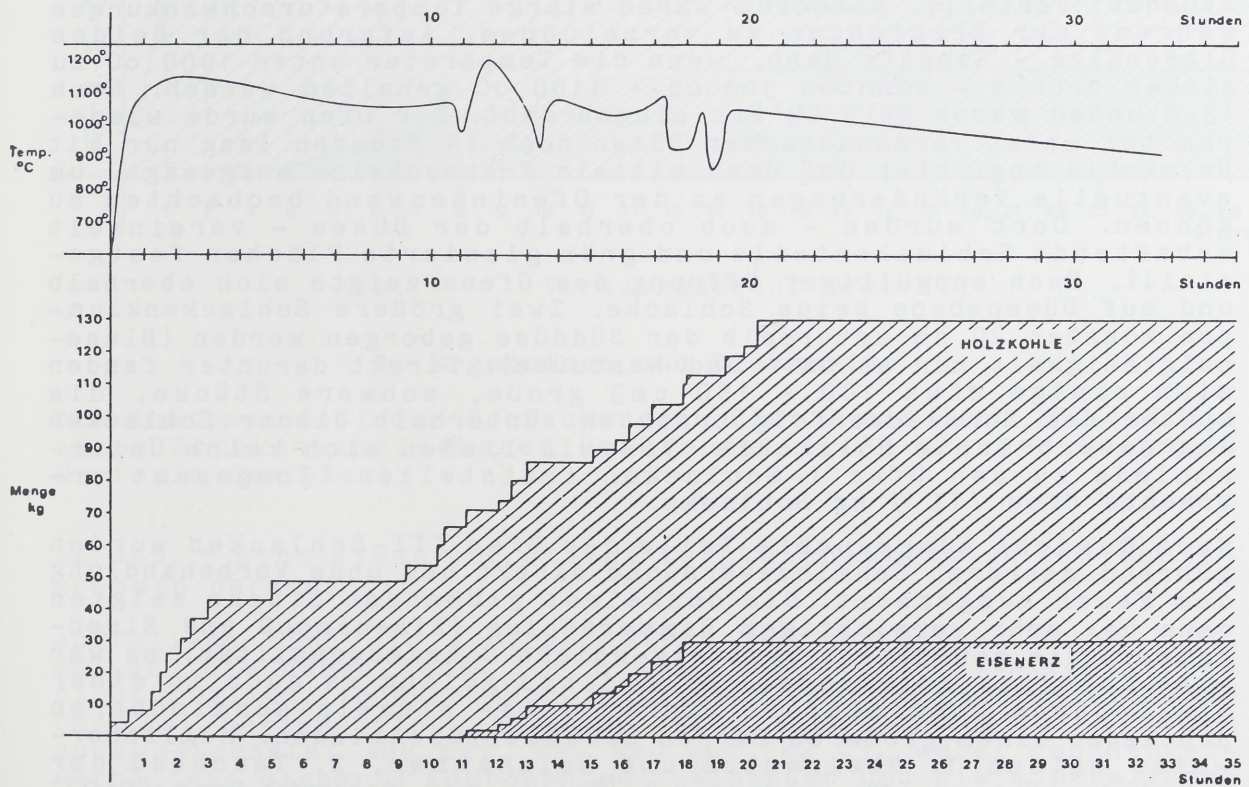


Abb. 3 Versuchsablauf Ofen I

---

Nach 18 Stunden waren insgesamt 30 kg Erz, das stets und sofort mit 5 - 7 kg Holzkohle abgedeckt wurde, eingebracht. Während des folgenden Abschnitts waren die Düsen meist verschlossen, um möglichst viel CO zu erzeugen und so nicht - wie befürchtet wurde - teilreduziertes Erz durch Sauerstoff zu reoxydieren. Im Nachhinein würden wir hier eine Fehlerquelle sehen; um möglichst viel CO zu erzeugen, müßte wohl eher Sauerstoff zugegeben werden. Nach 35 Stunden wurde der Versuch beendet und der Ofen von der Herdgrube gehoben (10).

In Düsenhöhe und bis 20 cm unterhalb der Düsen fanden sich mehrere größere und viele kleine Schlackenklumpen von insgesamt 10 kg Gewicht. Im oberen Bereich der größeren Stücke wurden Laufschlackenmerkmale beobachtet. Die Schlacke ist stark zerklüftet und v.a. im oberen Bereich mit zahlreichen Holzkohleteilen durchsetzt. Im Bruch zeigt sie porösen, dunkelblauen Metallglanz; Kompaßnadel und Magnet zeigen Metallreaktion. Eisengranalien und visuell erkennbare eisenhaltigere Stücke konnten auch von erfahrenen Schmieden nicht festgestellt werden. Möglich schien eine Differenzierung nach dem spezifischen Gewicht. Für direkt anschließende Schmiedeversuche wurden Schlackenstücke nach Gewicht ausgesucht. Diese Versuche (1. im Tonmantel, 2. direkt im Schmiedefeuer) verliefen negativ; die Schlacken zersprangen unter dem Hammerschlag.

### 3.2. Ofen III

Bei Ofen III (s. Abb. 4) entfiel die Verziegelungsphase, da dieser Ofen bereits während eines Vorversuchs einem Hitzetest unterzogen worden war. Die Erzbegichtung erfolgte hier in kleineren Teilmengen und über einen längeren Zeitraum (insgesamt 11 Stunden) verteilt. Wiederum waren starke Temperaturschwankungen während der Erzgichten zu verzeichnen. Aufgrund der beiden Blasebälge - Einsatz dann, wenn die Temperatur unter 1000 oC zu sinken drohte - konnten jedoch + 1100 oC gehalten werden. Nach 13 Stunden waren 24,5 kg Erz eingebracht. Der Ofen wurde wiederum bei meist verschlossenen Düsen noch 14 Stunden lang nur mit Holzkohle begichtet und dann mittels Trennscheibe aufgesägt, um eventuelle Veränderungen an der Ofeninnenwand beobachten zu können. Dort wurden - auch oberhalb der Düsen - vereinzelt anhaftende Schlackenteile und grün glasierte Flächen festgestellt. Nach endgültiger Öffnung des Ofens zeigte sich oberhalb und auf Düsenhöhe keine Schlacke. Zwei größere Schlackenklumpen konnten 20 cm unterhalb der Süddüse geborgen werden (Blasebalgtätigkeit nur an Ost- und Westdüse). Direkt darunter fanden sich einige etwa 100 - 150 cm<sup>3</sup> große, schwere Stücke, die später den Schmiedeerfolg brachten. Unterhalb dieser Schlacken lag unverbrannte Holzkohle. Visuell ließen sich keine Unterschiede zu den Ofen I-Schlacken feststellen. Insgesamt erbrachte Ofen III 9 kg Schlacke.

Nach Gewicht ausgesuchte Teile der Ofen III-Schlacken wurden während mehrerer Schmiedeversuche direkt und ohne Vorbehandlung dem Feuer ausgesetzt. Die dunkelrot glühenden Stücke zeigten dann bei sehr vorsichtigem Hammerschlag (Eisenamboß und Eisenhammer) die gewünschte, buttrig-weiche Schmiedequalität; es war also Roheisen entstanden. Allerdings gelang es auch in einer stationären Schmiedeesse nicht, diese einzeln schmiedbaren Stücke zu einem größeren Barren zusammenzuschmieden. Möglicherweise hätten 1. Steinamboß und Holzhammer, 2. Tauchbad der Schmiedestücke in Tonschlamm, 3. Zugabe von Schweiß-Sand (SiO<sub>2</sub>) bessere Ergebnisse geliefert (vgl. R. Thomsen 1971: 108).

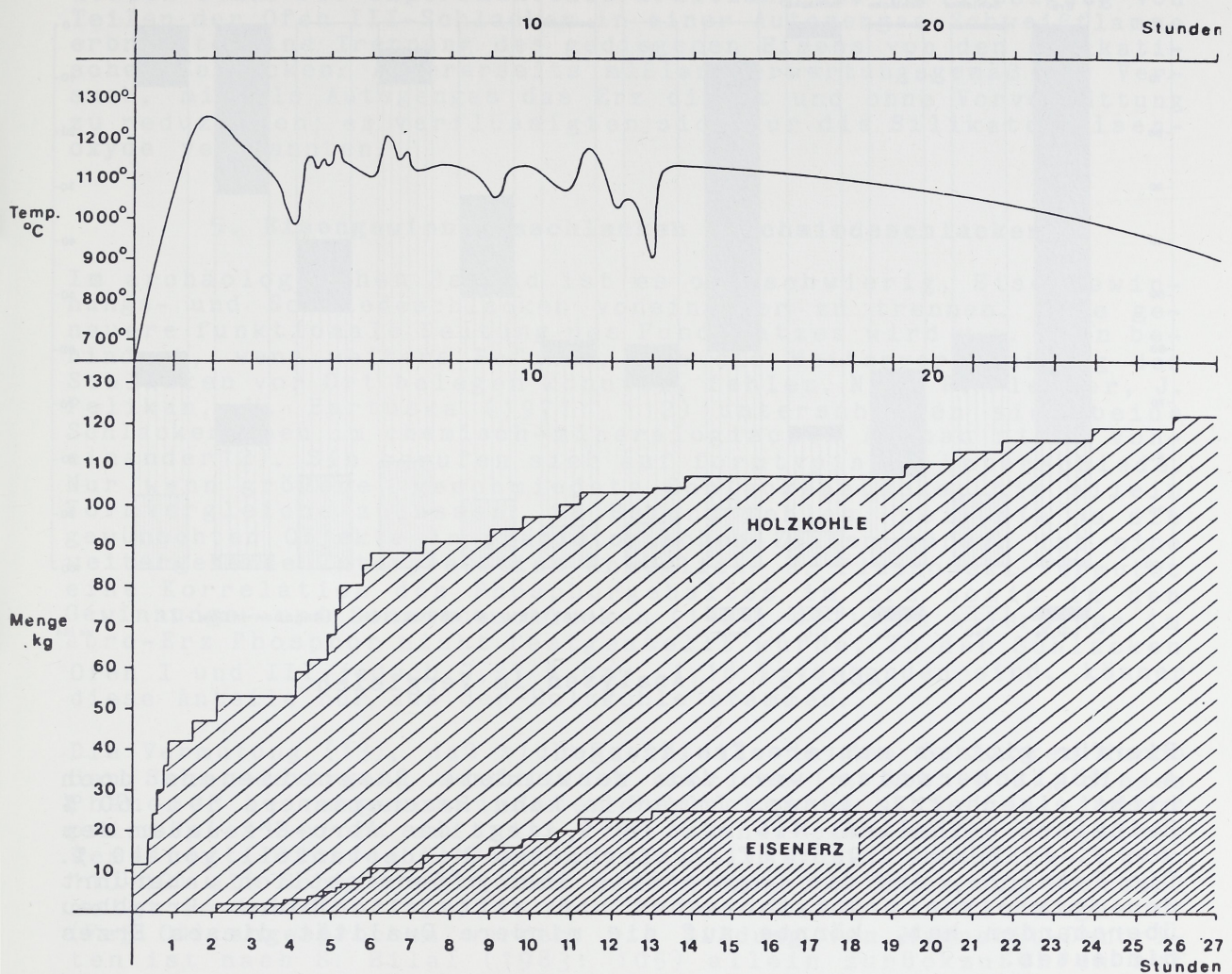


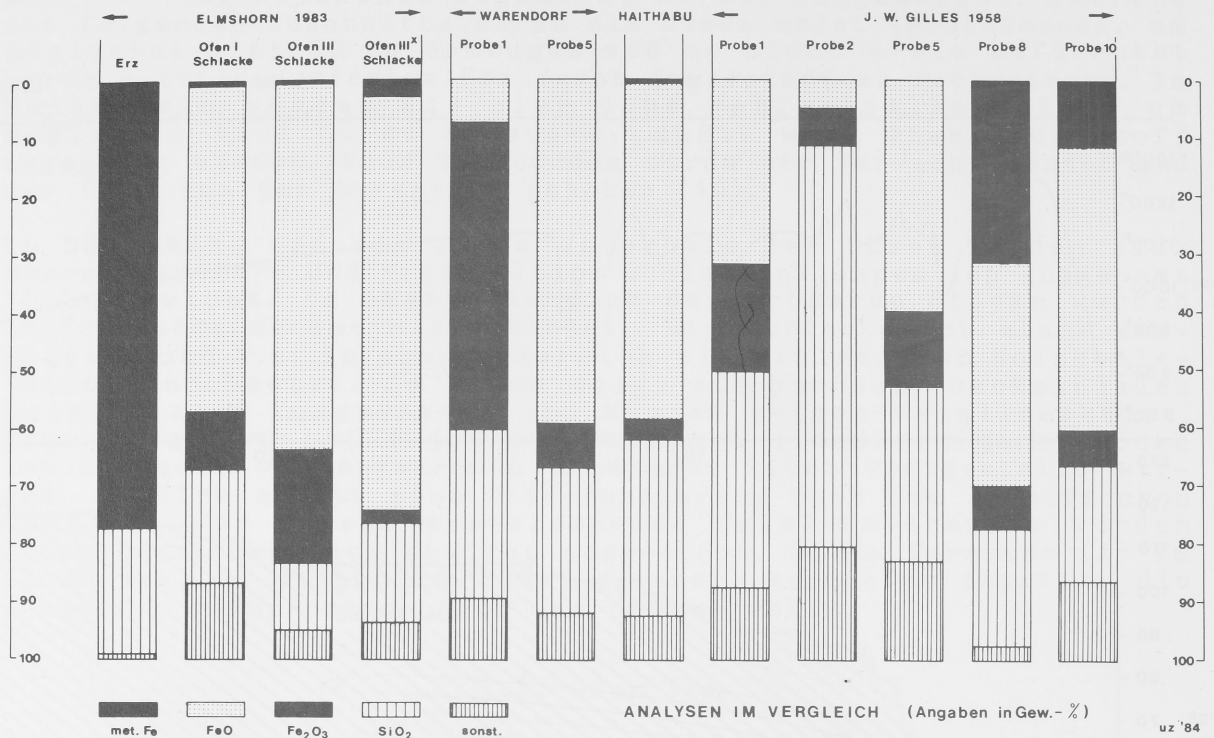
Abb. 4 Versuchsablauf Ofen III

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

Die Analysen (11) der Schlacken aus Ofen I und Ofen III und die eines Stückes schiedbaren Roheisens (III\*) ergaben folgende Werte in Gew.-%:

In Abb. 5 sind diese und einige Vergleichswerte in Säulendiagrammen dargestellt.

Auffallend sind die geringen Werte für gediegenes Eisen (met. Fe) und die hohen Werte für Wüstit ( $\text{FeO}$ ). Grundsätzlich ist es nicht möglich, in Rennfeueröfen ausschließlich gediegenes Eisen (met. Fe) herzustellen. Vielmehr sind Rennofen-Schlacken immer zusammengesetzt aus met. Fe,  $\text{FeO}$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , wobei das Mengenverhältnis dieser 3 Komponenten zueinander und die mineralische Zusammensetzung letztendlich über die Schmelzbarkeit der Schlacken entscheiden. Wüstit ( $\text{FeO}$ ) bzw. die silikatische Verbindung Fayalit ( $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ) sind für sich allein im Schmiedefeuer oder durch Hammerschlag nicht in met. Fe umzuwandeln. Die Elmshorner Versuche haben daher zwar eindeutig schiedbares Roheisen erbracht, jedoch offensichtlich in kleinen Mengen.



uz '84

Abb. 5 Analysen im Vergleich

Hierfür gibt es mehrere Erklärungen:

A. Möglicherweise war das verwendete Raseneisenerz doch nicht eisenhaltig genug. Immerhin kann Raseneisenerz 50 - 60 % Reineisen enthalten. Mit rund 36 % liegt das Abro-Erz unter dem von F.-J. Ernst (1966: 6f.) geforderten Mindestanteil von 40 %. Die Tatsache, daß die Lagerstätte Abro offensichtlich unberührt den intensiven prähistorischen und mittelalterlichen Erzabbau überstanden hat, könnte auf die mindere Qualität dieses Erzes hindeuten.

B. Bei 130 kg Holzkohle (Ofen I) bzw. 120 kg (Ofen III) sind 30 kg Erz (Ofen I) bzw. 24,5 kg (Ofen III) eingebracht worden. Diese Erzmengen erbrachten 10 kg bzw. 9 kg Schlacken. Nach J.W. Gilles (1958: 1692, Taf. 3) hätten bei diesen Holzkohlemengen bis zu 95 kg Erz (Verhältnis 1,3 : 1) verhüttet werden können. Größere Erzmengen hätten größere Schlackemengen und damit auch mehr schmiedbares Eisen erbracht.

C. Der Vergleich der Temperaturkurven von Ofen I (Windofen) und Ofen III (Gebläseofen) zeigt eine im Mittel höhere Temperatur bei Ofen III. Der höhere FeO-Anteil und die Schmiedbarkeit dieser Schlacken könnten als Indizien dafür gewertet werden, daß Rennfeueröfen prinzipiell als Gebläseöfen verwendet wurden. Wäre ununterbrochen Sauerstoff per Blasebalg zugeführt worden, wären wahrscheinlich auch größere Mengen oxydischen Erzes bis zum gediegenen Eisen (met.Fe) reduziert worden.

D. Die Rennfeuerofen-Versuche von J.W. Gilles (1958 und 1960) erbrachten für die Schlacken nach dem 1. Durchgang Werte, die mit denen der Elmshorner Versuche vergleichbar sind (vgl. Abb. 5, Proben 1, 2 und 5). Gilles hat diese Schlacken mit hohem FeO-Anteil ein zweites Mal verhüttet und dadurch große Mengen gediegenes Eisen erhalten. Da Schlacke, wenn sie unterhalb der Düsen zu liegen kommt, nicht weiter reduziert werden kann, weil dort das CO fehlt, erscheint es folgerichtig, die Restoxydan-



---

teile durch eine erneute Verhüttung zu reduzieren. Zumindest Raseneisenerze der Abro-Qualität könnten in prähistorischer Zeit, wenn sie überhaupt Verwendung fanden, zweimal verhüttet worden sein. Die experimentelle Erhitzung und Verflüssigung von Teilen der Ofen III-Schlacken in einer Autogengas-Schweißflamme erbrachte eine Trennung des gediegenen Eisens von den silikatischen Schlacken. Andererseits mißlang erwartungsgemäß der Versuch, mittels Autogengas das Erz direkt und ohne Vorverhüttung zu reduzieren; es verflüssigten sich nur die Silikate, Eisenoxyde verbrannten.

## 5. Eisengewinnungsschlacken - Schmiedeschlacken

Im archäologischen Befund ist es oft schwierig, Eisengewinnungs- und Schmiedeschlacken voneinander zu trennen. Eine genauere funktionale Deutung des Fundplatzes wird v.a. dann behindert, wenn weitere Befunde, die die Weiterverarbeitung der Schlacken vor Ort belegen könnten, fehlen. Nach R. Pleiner, J. Pelikan, M. Bartuska (1971: 112) unterscheiden sich beide Schlackentypen im chemisch-mineralogischen Aufbau nicht voneinander<sup>12</sup>). Sie berufen sich auf formtypische Unterschiede. Nur wenn größere, geschmiedete Schlackenstücke, die allein Formvergleiche zulassen, im Befund fehlen, weil sie ja die gewünschten Objekte in prähistorischen Zeiten waren, ist eine weitergehende Interpretation unmöglich. J. Piaskowski vermutet eine Korrelation des Phosphorgehaltes im Erz sowie in den Gewinnungs- und Schmiedeschlacken (1983: 157). Da allerdings im Abro-Erz Phosphor nicht festgestellt wurde, in den Schlacken Ofen I und III jedoch 2,33 % bzw. 1,18 % vorhanden sind, können diese Anteile nur aus der Holzkohle stammen.

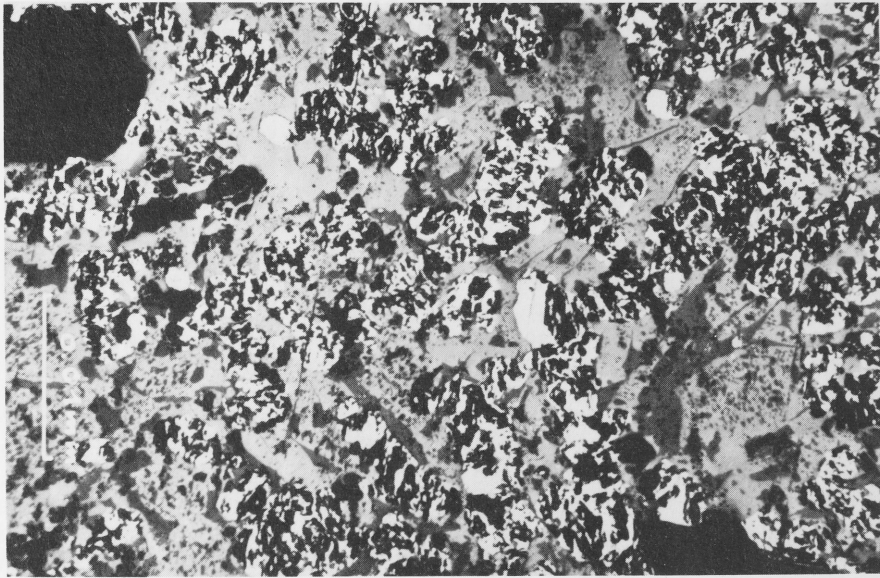
Die Vermutung (13), daß sich Fe-Anteile in den Schlacken durch den Schmiedevorgang dendritisch anordnen (s. Abb. 6 b), dieses Phänomen bei ungeschmiedeten Schlacken (s. Abb. 6 a) jedoch prinzipiell nicht auftritt, ist bisher noch nicht endgültig bestätigt. Ein von R. Pleiner, J. Pelikan, M. Bartuska (1971: 110-12) als Schmiedeschlacke interpretiertes Stück aus Haithabu zeigt im Anschliff (1971: Abb. 2) Dendriten, die als Magnetit ( $Fe_3O_4$ ) angesprochen wurden. Die Bildung von Magnetit-Dendriten ist nach S. Bilal (1983: 105) allein zurückzuführen auf eine langsame Erstarrungsgeschwindigkeit der Schlacken. Ein schnelles Erstarren hat dagegeneine breite, regellose Streuung der Magnetite zur Folge. Leider ist eine Entscheidung, ob es sich bei den Dendriten in den Elmshorner Ofen III-Schmiedeschlacken um Magnetite, um  $FeO$ - oder met.Fe-Anteile handelt, so nicht zu treffen; hierzu sind die Original-Anschliffe selbst und die Analyse-Protokolle der Thyssen-Schalcker GmbH notwendig (14). Die endgültige mineralogische Untersuchung anhand von neu erstellten Anschliffen der Elmshorner Schlacken ist derzeit in Vorbereitung (15) und wird dann hoffentlich Kriterien zur Unterscheidung von Eisengewinnungs- und Schmiedeschlacken liefern.

## 6. Schluß

Es konnten einige technologische Aspekte der prähistorischen Eisenverhüttung beleuchtet und geklärt werden, wobei sich herausstellte, daß es weniger schwierig ist, einzelne schmiedbare Roheisenstücke - wenn auch mit erheblichem Material- und Arbeitsaufwand - herzustellen. Die Hauptschwierigkeit lag vielmehr im Bereich der Weiterverarbeitung dieser Stücke zu einem größeren Barren bzw. zu einem benutzbaren Eisengerät. Hierzu sind erneute Schmiedeversuche notwendig und geplant.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit während Vorbereitung und Durchführung hat sich als sehr nutzbringend und ausschlaggebend für den Erfolg der Versuche erwiesen.

Von den rund 2000 Besuchern waren durchgehend sehr positive und begeisterte Kommentare zu hören, so daß die Wirksamkeit derartiger Versuche in der Öffentlichkeit nicht überschätzt werden kann.



a



b

Abb. 6 Lichtmikroskopische Anschliffaufnahmen von Ofen III-Schlacken; oben: ungeschmiedet, unten: geschmiedet; unterschiedliche Grautöne zeigen Fe-Oxydationsstufen, schwarz = Poren, im unteren Bild weiß: dendritisch angeordnete Fe-Anteile

#### Anmerkungen

\*Organisatoren und Durchführende der Versuche waren folgende Mitglieder der Museumsgruppe Elmshorn: E. Curilla, P. Curilla, H. Jacobi, W. Junker, K.H. Kuhlemann, S. Rohr, P.H. Schneider, W. Schweim, B. Wohlenberg, H.-J. Wohlenberg, B. Wriedt, C. Wriedt, U.Zimmermann.

---

Für finanzielle, fachliche und tatkräftige Unterstützung des Projekts dankt die Museumsgruppe Herrn Prof. Dr. H. Ziegert, Archäologisches Institut, Universität Hamburg, Herrn Prof. Dr. M. Tarkian, Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Hamburg, der Stadt Elmshorn, den Stadtwerken Elmshorn, dem Geologischen Landesamt Schleswig-Holstein, Kiel, der Thyssen-Schalcker GmbH, Gelsenkirchen, der Firma Dörr, Elmshorn, und der Ziegelei Holsten-Klinker, Glückstadt.

1. Ethnographische Beobachtungen könnten als aktualistische Vergleiche prinzipiell weiterhelfen, doch wird oftmals der technologische Bereich vernachlässigt.
2. Zum Zwecke einer möglichst umfassenden Dokumentation wurden während Vorbereitung und Durchführung alle Arbeitsgänge, Beobachtungen und Messungen per Protokoll, Foto und Video-Film festgehalten.
3. Die Erzanalysen wurden angefertigt vom Geologischen Landesamt Schleswig-Holstein, Kiel.
4. vgl. hierzu W. Wegewitz 1957: 3 - 25
5. Als Reduktionszone wird der Bereich von der Düsenebene bis zur Gichtöffnung bezeichnet.
6. Der Chemismus der Reduktion wird hier nur in groben Zügen erörtert. Verwiesen sei auf E. Schürmann 1958.
7. Ofen II wurde beschickt mit Hämatit, der bei der Aufbereitung des Grundwassers zu Trinkwasser bei den Stadtwerken Elmshorn als Filterungsrückstand in großen Mengen anfällt und deponiert werden muß. Der "Recycling-Versuch", das über 90 % eisenhaltige, pulverisierte Oxyd zu Roheisen zu reduzieren, führte trotz Zugabe von Soda als Flußmittel zu keinem Ergebnis.
8. Leider waren CO-Messungen nicht möglich, da Geräte, die 30 - 50 % CO-Gehalt messen können, nicht zur Verfügung standen.
9. Die Temperaturmessungen wurden durchgeführt 1. per Meßblanze an 4 vertikal unterschiedlich hohen Punkten durch die Ofenwände und 2. mit einem optischen Meßgerät durch die Düsenöffnungen. Die hier dargestellten Temperaturkurven zeigen die optischen Meßwerte im Düsenbereich.
10. Der Ofen zerbrach nicht und hätte wiederverwendet werden können. Auch die Düsen waren nicht verschlackt.
11. Die Schlackenanalysen wurden durch Vermittlung von Herrn G. Seger, Stadtwerke Elmshorn, von der Thyssen-Schalcker GmbH, Gelsenkirchen, durchgeführt.
12. R. Thomsen (1971: 108) kommt dagegen zu dem Ergebnis, "daß die Schmiedeschlacken im Verhältnis zu den Eisengewinnungsschlacken hohen Quarzgehalt und geringen Gehalt an MnO und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> haben". Dieses Ergebnis kann aus unseren Versuchen heraus nicht bestätigt werden.
13. In Münster während des Vortragsteils der DGUF-Jahrestagung am 20.4.85 mündlich vorgetragen.
14. Mündliche Auskunft Herr Prof. Dr. M. Tarkian, Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Hamburg.

---

15. Da die Forschungsabteilung der Thyssen-Schalker GmbH mittlerweile auf gelöst wurde, sind die Originalunterlagen nicht mehr zugänglich.

#### Literatur

- Bilal, Suphi: Oxyd-, Silikat- und Metallphasen in Schachtofen-Kupferschlacken. Dissertation Hamburg 1983.
- Ernst, Franz-Joachim Die vorgeschichtliche Eisenerzeugung. Waren 1966.
- Gilles, Josef Wilhelm Versuchsschmelze in einem vorgeschichtlichen Rennofen. In: Stahl und Eisen 1958, Nr. 23, S. 1690-95.
- Gilles, Josef Wilhelm Rennversuch im Gebläseofen und Ausschmieden der Luppen. In: Stahl und Eisen 1960, Nr. 19, S. 943-48.
- Piaskowski, Jerzy Hypothetische Eigenschaften des in Schleswig-Holstein geschmolzenen Rennfeuereisens. In: Offa 40, 1983, S.157-62
- Pleiner, Radomir  
Pelikan, Jiri  
Bartuska, Miloslav Untersuchung einer Eisenschlacke aus Haithabu. In: Untersuchungen zur Technologie des Eisens. 1971, S. 110-112 (5. Bericht über die Ausgrabungen in Haithabu).
- Schürmann, Eberhard Die Reduktion des Eisens im Rennfeuer. In: Stahl und Eisen 1958, Nr.19, S. 1297-1308.
- Thomsen, Robert Essestein und Ausheizschlacken aus Haithabu. In: Untersuchungen zur Technologie des Eisens. 1971, S. 100-110. (5. Bericht über die Ausgrabungen in Haithabu)
- Wegewitz, Willy Ein Rennfeuerofen aus einer Siedlung der älteren Römerzeit in Scharmbeck, Kr. Harburg. In: NNU 26, 1957, S. 3-25
- Werner, Hans Zur Entstehung der Schleswig-Holsteinischen Raseneisenerze. In: Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein. Bd. XXV, 1951, S. 138-41.
- Winkelmann, Wilhelm Schmelzofen und Eisenverarbeitung in der sächsischen Siedlung bei Warendorf (Kr. Warendorf). In: Eisen und Archäologie. Bochum 1978, S. 79-83.
- Zimmermann, Ulrich Raseneisenerz und seine Aufbereitung zu schmiedbarem Eisen. In: Jahrbuch für den Kreis Pinneberg 1985. 1984, S. 13-25.

---

Ulrich Zimmermann  
Archäologisches Institut, Arbeitsber. I, Universität Hamburg  
Johnsallee 35, 2 Hamburg 13