

CHEMISCHE UND MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN EINIGEN
FRÜHGESCHICHTLICHEN UND MITTELALTERLICHEN EISENSCHLACKEN BAYERNS

von

FRIEDRICH FRÖHLICH⁺⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Mehr als 100 frühgeschichtliche und mittelalterliche Eisenschlacken Bayerns wurden chemisch und mineralogisch untersucht unter besonderer Berücksichtigung der im Bereich von Kelheim vorkommenden Schlacken.

In älteren Schlacken herrschen Wüstit und Fayalit vor. Außerdem findet man Glas und in einigen Proben auch Magnetit, Goethit und gediegenes Eisen. In jüngeren Schlacken ist Fayalit das Hauptmineral. Man findet aber auch Glas sowie zuweilen Cristobalit, Tridymit und selten gediegenes Eisen in ihnen. In allen Schlackenproben wurden die Elemente Ni, Cr und Mn quantitativ bestimmt. Daneben wurden auch einige Vollanalysen durchgeführt, die den hohen Fe-Gehalt dieser Schlacken ausweisen. Die Ni- und Cr-Gehalte aller Schlacken sind ähnlich und liegen im allgemeinen unter 0,01 %. Die Mn-Gehalte verschiedener Fundpunkte variieren stark. Die Mittelwerte einzelner Fundpunkte des Kelheimer Raumes liegen zwischen etwa 3 % Mn und 7,5 % Mn. In den anderen hier untersuchten Proben ist der mittlere Mn-Gehalt unter 0,3 %.

Ebenfalls untersuchte Eisenstücke aus der Grabung Kelheim enthalten etwa 0,05 % Mn, 0,001 % Cr und 0,1 % Ni.

Die hohen Mn-Werte in den Kelheimer Schlacken entsprechen den hohen Mn-Gehalten in den kretazischen Alberzen, die in der Gegend von Kelheim gefunden werden.

ABSTRACT

More than 100 early-historical and medieval slags rich in iron of Bavaria were chemically and mineralogically examined, with special regard given to the slags, which were deposited in the region of Kelheim.

In older slags Wüstite and Fayalite prevail. Moreover glass is found and in a few samples Magnetite, Goethite and pure iron as well. In younger slags Fayalite is the primary mineral. Glass as well as occasionally Cristobalite, Tridymite, and seldom pure iron are also found in them. In all of the slag samples the elements Ni, Cr and Mn were quantitatively determined. At

⁺⁾ Dr. Friedrich Fröhlich, Staatliches Forschungsinstitut für angewandte Mineralogie, Kumpfmühler Straße 2, 8400 Regensburg

the same time a few complete analyses were also conducted, which prove the high Fe-content of these slags. The Ni- and Cr-content of all of the slags are similar and, in general, are under 0,01 %. The Mn-content at the various discovery points vary greatly. The average values of the individual points of discovery in the Kelheim district are between about 3 % Mn and 7,5 % Mn. In other samples, which were examined here, the average Mn-content is less than 0,3 %.

In any cases examined pieces of iron from the Kelheim trenching contain about 0,05 % Mn 0,001 % Cr and 0,1 % Ni.

The high Mn-values in the Kelheim slags correspond to the high Mn-content in the Cretaceous Alb-ores which are located near Kelheim.

Bei archäologischen Grabungen werden häufig Eisenschlacken gefunden, die auf keltische und frühmittelalterliche Eisengewinnung hinweisen. Außerdem findet man an der Erdoberfläche in Wäldern verstreut Schlackenhaufen einer jüngeren Verhüttung. Solche älteren und jüngeren Schlacken wurden auf ihren Mineralgehalt und auf einige chemische Elemente untersucht. Es stellte sich zunächst die Frage, ob aufgrund solcher Analysen Aussagen über Herkunft und Art des verarbeiteten Erzes gewonnen werden können.

Schlacken folgender Vorkommen wurden untersucht:

1. Bei den Ausgrabungen 1976-82 in der Trasse des Rhein-Main-Donau-Kanals im Stadtbereich von Kelheim wurde unter anderem eine ausgedehnte Siedlung des frühen Mittelalters freigelegt (Engelhardt 1980). Neben den zahlreich gefundenen konischen Tondüsen belegen große Mengen an Schlacke mit Fließstrukturen die Verhüttung von Eisenerz im Randbereich der Siedlung.

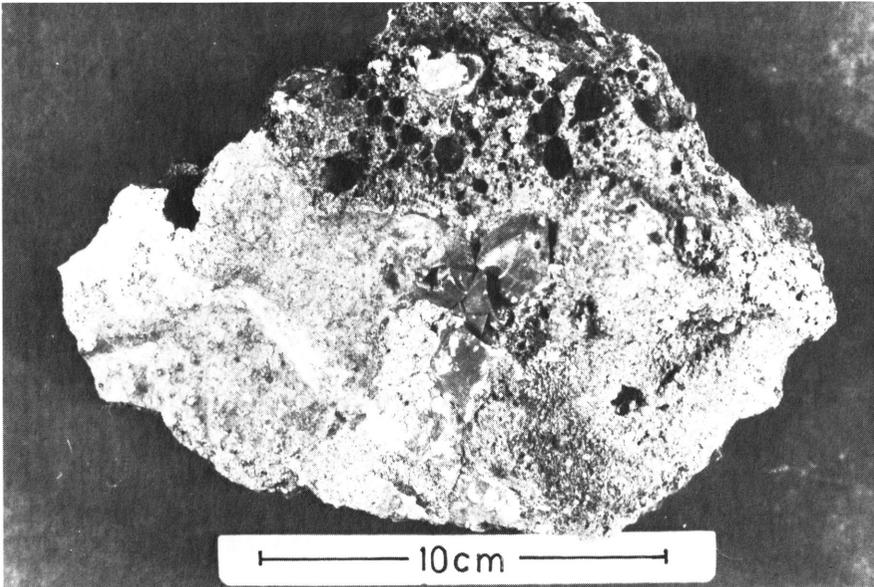


Abb. 1 Eisenschlacke: Kanalgrabung Kelheim

Daneben ist auch die Weiterverarbeitung des Roheisens durch zahlreiche Schlackebrocken mit typischer Kalottenform nachweisbar. Über 40 Proben der verschiedenen Typen dieses Fundkomplexes wurden untersucht und ihre Gehalte an Mangan, Chrom und Nickel bestimmt (Proben-Nr. KK1). Ebenso wurde eine Probe mit untersucht, die aus einem Rennofen stammt, der 1905 in Kelheim ausgegraben wurde (Proben-Nr. KVS). Der Ofen war in die Verfüllung des Grabens einer spätkeltischen Viereckschanze eingetieft, kann also aus stratigraphischen Gründen nur jünger als latènezeitlich sein. Nach seiner Lage gehört er zu dem Verhüttungsplatz der frühmittelalterlichen Siedlung in der Kanaltrasse.

Hinzugenommen wurde ein Probe aus einem latènezeitlichen Rennofen von Altessing-Unterau, Gde. Essing, Kr. Kelheim, der ebenfalls im Zuge des Kanalbaus im Altmühltal 1980 ausgegraben wurde (Burger & Geisler 1983, 47-53). Dieser Ofen wurde 200 m außerhalb des äußeren Walles des keltischen Oppidums Alkimoennis angetroffen und im Block geborgen. Die untersuchte Probe (Nr. EK2) stammt von dem Schlackenklotz, der wohl nach der letzten Ofenreise nicht ausgeräumt worden und im Ofen verblieben war, (Tab. 2).

2. Proben aus einem Schlackenhaufen von Painten, Krs. Kelheim der Lokalität Nonnenschlag, die wahrscheinlich aus der Zeit zwischen dem 15. und 17. Jahrhundert stammen, sowie zwei ähnlich alte Schlacken aus der Schottergrube an der Straße Viehhausen-Kelheim (Tab. 3).

3. Schlacken von Barbing-Kreuzhof, Stadt Regensburg (Proben-Nr. BAK). Grabung 1975 beim Bau der Großkläranlage für den Raum Regensburg (Tab. 4). Ländliche Siedlung des 6. - 8. Jahrhunderts mit Eisenverarbeitung und Schmiedeschlacke in mäßigem Umfang (Geisler 1983).

4. Schlacken von Kirchheim b. München (Proben-Nr. KIR). Grabungen 1970 und 1980. Frühmittelalterliche Siedlung mit Gräbern des späten 7. Jahrhunderts (Tab. 5). Eisenverarbeitung, möglicherweise auch Verhüttung für den örtlichen Bedarf (Dannheimer 1973; Geisler 1983).

5. Schlacken von Poikam, Gde. Bad Abbach, Kr. Kelheim (Proben-Nr. POI). Grabung auf dem Schloßbuckel 1974 (Tab. 6). Eisenproduktion vom 11. bis Anfang des 15. Jahrhunderts (Christlein 1974).

6. Schlacken von Berching-Pollanten, Kr. Neumarkt/Opf. (Proben-Nr. BER). Grabung seit 1981 (Tab. 7). Siedlung der späten Latènezeit, Eisenverarbeitung mit überörtlicher Bedeutung durch zahlreiche Schmiedeherde nachgewiesen, wahrscheinlich auch Verhüttung in größerem Umfang (Mitt. H. Th. Fischer).

7. Schlacken aus Rinkam, Gde. Atting, Kr. Straubing-Bogen (Proben-Nr. RIN) Grabung 1982 (Tab. 8). Grabhügel der späten Merowingerzeit, Schmiedeschlacke aus der Verfüllung des Kresigrabens, wohl von der zugehörigen Siedlung (unveröffentlicht, Ortsakten Landesamt für Denkmalpflege Landshut).

8. Schlacken aus Straubing, Krankenhaus Azlburg (Proben-Nr. STR der Tab. 9). Grabung 1981 im Westvicus des Kastells Sorviodurum, mittlere römische Kaiserzeit (unveröffentlicht, Grabungsdokumentation Museum Straubing).

Quantitative chemische Analysen der Hauptelemente wurden an 5 Schlacken vorgenommen. An den übrigen Schlacken wurden die Elemente Nickel, Chrom und Mangan bestimmt.

Chemische Zusammensetzung einiger Schlacken

Für die chemische Analyse wurde ein größerer Teil einer Schlacke und bei kleineren Stücken die gesamte Schlacke zerkleinert und mit der Scheibenschwingmühle gemahlen.

1.0 g der pulverisierten Probe wurde für die Siliziumbestimmung mit Soda-Pottasche aufgeschlossen. Das SiO_2 wurde gravimetrisch bestimmt. Zur Messung der anderen Elemente wurde ebenfalls 1 g Probe mit dem Flußsäure-Perchlorsäure-Aufschluß in Lösung gebracht. Eisen, Titan, Calcium, Magnesium, Aluminium und Mangan wurden mit Hilfe der Atomabsorption, Kalium und Natrium flammenphotometrisch bestimmt (Tab. 1). Das Eisen wird in der Tabelle als FeO angegeben, ohne daß die Wertigkeit des Eisens bestimmt wurde. Es kann in den einzelnen Schlacken jedoch sowohl zweiwertig, dreiwertig als auch gediegen vorliegen. Auch die Wertigkeit des Mangans wurde nicht geprüft.

Tab. 1

Der Chemismus einiger Schlacken

	I	II	III	IV	V
SiO_2	54.65	17.10	18.20	23.55	57.10
TiO_2	0.42	0.14	0.16	0.29	0.33
Al_2O_3	5.63	1.99	2.49	5.88	5.78
FeO	25.21	73.56	58.71	55.34	17.55
CaO	6.37	2.49	6.23	1.37	1.38
MgO	0.93	0.32	0.89	0.74	0.70
MnO	0.13	0.31	10.97	8.59	9.10
K_2O	3.07	0.98	0.50	1.22	1.13
Na_2O	0.53	0.09	0.04	0.07	0.08

- I Straubing Krankenhaus Azlburg Nr. 5 (STR-5)
 II Barbing Kreuzhof Nr. 21 (BAK-21)
 III Kelheim Kanal Nr. 1 (KK1-1)
 IV Paintener Forst, Kr. Kelheim Nr. 3 (Pa-3)
 V Schottergrube bei Viehhausen, Straße Viehhausen-Kelheim (Vi-1)

Auffallend an den Schlacken ist ihr hoher Eisengehalt, sowohl in den jüngeren von Painten und Viehhausen, als auch in den älteren von Straubing, Barbing und Kelheim, was darauf hinweist, daß die Verhüttungstechnik noch sehr unvollkommen war. Bemerkenswert sind die teilweise beachtlichen Kaliumgehalte, die

kaum von den Erzen abgeleitet werden können, wohl eher aus dem Kaliumgehalt der Holzkohle stammen. Deutliche Unterschiede zeigen sich in den Mangangehalten. Da sie möglicherweise auch Aufschlüsse über Herkunft der Erze zulassen, wurden sie in einer größeren Anzahl von Proben gesondert bestimmt, zusammen mit Chrom und Nickel.

Die Tatsache, daß die Analysen sich nicht zu 100 % addieren lassen, beruht einerseits auf die Unsicherheit der Wertigkeiten vor allem des Eisens sowie in der Tatsache, daß viele Schlacken Holzkohleneinschlüsse enthalten.

Mn-, Ni- und Cr-Gehalte in den Schlacken

Zur Bestimmung dieser Elemente wurden die Proben gemahlen, mit Höchstwachs C im Verhältnis 5 : 1 gemischt, zu Tabletten gepreßt und mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse bestimmt. Der relative Fehler liegt bei dieser Methode um ± 1 %. Eine Bestimmung des Fe-Gehaltes war in diesem Zusammenhang wegen seiner Höhe meßtechnisch nicht möglich. Ergänzend wurde die Dichte der gemahlten Proben mit dem Pyknometer bestimmt.

Die Chrom- und Nickelgehalte der Schlacken von Kelheim weisen keine Besonderheit auf. Dagegen sind die Mangangehalte sehr hoch. Im Durchschnitt enthalten diese Schlacken 3 % Mn. Die Werte variieren aber sehr stark (Tab. 2). Dabei ist zu berücksichtigen, daß es sich bei den Proben um ein sehr inhomogenes Material handelt, teils um Reduktions-, teils um Schmiedeschlacken. Eine Unterscheidung nach dem äußeren Erscheinungsbild ist aber nur dann möglich, wenn die jeweils charakteristischen Merkmale deutlich ausgeprägt sind (vgl. Sperl 1980), doch ist das sehr häufig eben nicht der Fall. Ob gerade der Mangangehalt hier als ein Indikator dienen kann, sollen weiterführende Untersuchungen klären, insbesondere eine Serie von Dünnschliff- und Anschliffproben. Immerhin weist der Mittelwert von 3 % Mn in den Schlacken auf ein relativ manganreiches Erz hin, das hier verhüttet wurde.

Eine ähnliche große Anzahl an Proben wurde aus einem Schlackenhaufen der Lokalität Nonnenschlag bei Painten Krs. Kelheim entnommen und mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse in gleicher Weise auf Cr, Ni und Mn untersucht, um so die chemische Variationsbreite in einem lokal eng begrenzten Vorkommen zu prüfen und dessen Erzbasis zu eruieren. Zudem wurde auch hier die Dichte der Schlackenstücke bestimmt (Tab. 3). Diese Schlacken stammen aus einer Verhüttung, die wahrscheinlich zwischen dem 15. und 17. Jahrhundert stattgefunden hat. Es handelt sich also ausschließlich - vielleicht mit Ausnahme von Pa-24 - um Reduktionsschlacken.

Die Schlackenproben der Lokalitäten Nonnenschlag und Schottergrube weisen einheitliche niedrige Ni-Gehalte auf und auch relativ einheitliche Cr-Gehalte, wobei die Ni-Gehalte der Kelheimer Proben etwas höher sind als die vom Nonnenschlag und beim Cr-Gehalt ist es gerade umgekehrt, aber in der Größenordnung sind keine Unterschiede vorhanden.

Tab. 2

Schlackenproben aus Kelheim und Altessing (KK1, KVS und EK2)

Probe-Nr.	Obj.-Nr. ¹⁾	Ni (ppm) ²⁾	Cr (ppm) ²⁾	Mn (%)	Dichte
KK1 - 1	CM 42/11	20	42	8.28	3.82
" - 2	CL 41/86a	17	113	5.27	2.03
" - 3	CK 43/10	20	114	4.40	3.53
" - 4	CU 47/34a	16	91	6.91	3.73
" - 5	CL 43/16	17	40	5.52	3.78
" - 6	BU 13/7c	31	47	0.81	3.51
" - 7	BP 11/17	50	40	0.99	3.03
" - 8	BP 11/17	57	26	0.19	3.75
" - 9	BT 12/36	38	51	1.85	3.45
" - 10	CL 43/16	19	72	4.10	3.68
" - 11	BW 11/11	17	47	3.64	3.79
" - 12	BX 11/1	43	48	0.92	3.87
" - 13	BX 13/13	57	50	1.16	3.79
" - 14	BX 14/35	49	35	0.60	3.48
" - 15	CL 46/76	18	74	6.27	3.64
" - 16	CK 44/8	17	74	10.92	3.07
" - 17	CK 43/8	17	96	4.72	3.45
" - 18	CL 42/24	18	94	0.23	3.82
" - 35	BM 17/5	27	37	0.79	3.47
" - 39	CK 45/14	66	35		
" - 44	CK 43/12-16	17	74	5.80	3.86
" - 45	BY 13/5	44	53	2.09	3.82
" - 47	BX 11/15	20	99	6.04	3.76
" - 48	BX 13/10	34	43	0.97	3.43
" - 49	BX 13/13	27	56	0.24	4.10
" - 51	BX 12/24	20	139	0.64	3.33
" - 52-					
56	BW 12/27	28	78	0.50	4.04
" - 58	CL 45/57	16	69	14.25	3.39
" - 66-					
72	CL 42/24	18	99	2.42	2.22
" - 81-					
85	BP 11/17	34	41	0.91	3.45
"86/87/88	BP 11/17	31	54	0.99	3.48
" - 94	CK 42/56	18	40	2.35	3.73
" - 99	BZ 15/21	27	101	0.20	3.66
" -104	BZ 14/30	37	29	0.12	3.66
" -106	BM 15/17	30	33	0.59	3.41
" -108	BN 11/10	30	47	0.66	3.67
"110-112	BZ 14/25	62	72	0.64	3.66
" -115	BT 14	18	226	0.80	3.61
" -116	BS 15/3	32	31	1.02	4.00
" -118	BQ 12/10	31	45	0.71	3.43
EK2		27	99	3.56	3.84
KVS 20		16	108	8.13	3.85

1) Die Objekt-Nummer entspricht der jeweiligen Fundstellenbezeichnung der Grabung

2) 10.000 ppm = 1 ‰

Tab. 3

Schlackenproben der Lokalität Nonnenschlag bei Painten (pa)
und der Schottergrube bei der Straße Viehhausen-Kelheim (Vi)

Probe-Nr.	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)	Dichte
Pa 1	17	92	17.74	3.84
" 2	18	111	8.06	3.10
" 3	16	120	6.82	2.92
" 4	21	104	4.96	3.12
" 5	17	113	5.27	3.11
" 6	15	90	3.56	3.83
" 7	17	116	7.67	2.84
" 8	16	93	4.42	3.78
" 9	15	72	5.34	3.44
" 10	17	95	6.12	3.56
" 11	18	102	7.75	3.14
" 12	18	85	17.20	3.28
" 13	18	105	7.75	3.36
" 14	17	98	4.49	2.90
" 15	16	86	5.03	3.48
" 16	18	105	17.35	2.99
" 17	15	57	5.50	3.59
" 18	17	86	6.04	3.35
" 19	17	102	7.75	2.86
" 20	18	206	5.58	2.84
" 21	19	107	7.82	3.07
" 22	17	67	4.65	3.56
" 23	17	104	4.50	3.05
" 24	33	61	0.93	2.42
" 25	18	78	6.20	3.06
" 26	17	103	17.35	3.35
VI 1	20	109	7.51	-
" 2	21	95	6.04	-

Die Mangengehalte dieser Schlacken sind im Mittel mit 7.5 % Mn noch höher als die der Kelheimer Kanalgrabung, variieren aber ebenfalls deutlich. Selbst, wenn man die Proben mit besonders extremen Mn-Gehalten wie Pa 1, 12, 16 u. 26 (Anreicherung durch nochmalige Verhüttung von Schlacke?) und Pa 24 (Schmiedeschlacke?) nicht berücksichtigt, ergibt sich ein Durchschnittswert von 6 % Mn. Sie lassen sich nur von Erzen mit einem hohen Mn-Gehalt herleiten. Zum Vergleich mit diesen Schlacken wurden noch Schlackenproben aus anderen Grabungen untersucht (Tab. 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Tab. 4

Schlacken von Barbing-Kreuzhof bei Regensburg

Probe-Nr.	Obj.-Nr.	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)
BAK 21	7	46	20	0.19
" 2	7	-	-	0.13
" 3	4	-	-	0.23
" 5	29	-	-	0.17
" 6	268	-	-	0.72

Die Schlacken von Barbing-Kreuzhof stammen aus Grabungen von 1975 an der neuen Kläranlage der Stadt Regensburg. Dort war eine Siedlung des 6. - 8. Jahrhunderts, mit Eisenverarbeitung und Schmiedeschlacke. Die Mangengehalte dieser Schlacken sind deutlich niedriger. Sie liegen bei etwa 0.3 %.

Tab. 5

Schlacken von Kirchheim bei München, Grabung "Kinaderweg" 1980

Probe-Nr.	Obj.-Nr.	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)	Dichte	
KIR	1	2151	28	65	0.10	2.73
"	2	2151	17	39	0.95	4.18
"	3	2147	21	42	0.08	3.52
"	4	2147	34	48	0.09	3.14
"	5	2147	60	94	0.16	4.04
"	6	2149	20	33	0.26	3.63
"	7	2162	19	48	0.79	3.50
"	8	2272	35	52	0.05	-
"	9	46	56	44	0.12	3.51
"	10	57	47	100	0.21	2.47
"	11	420	27	30	0.20	4.48
"	12	2153	39	71	0.12	3.42
"	13	2658	29	45	0.13	3.38
"	14	2704	20	63	0.33	3.37
"	15	2163	18	88	4.47	3.25

Die Schlackenproben der Tab. 5 entstammen einer frühmittelalterlichen Siedlung mit Gräbern des späten 7. Jahrhunderts. Es handelt sich bei ihnen überwiegend um Schmiedeschlacken, die Proben KIR 5, 8 und 10 sind Ofenwandschlacken. Im Chemismus ist zwischen diesen Schlackenarten bei den untersuchten Elementen kein deutlicher Unterschied erkennbar. Chrom- und Nickelgehalte sind ähnlich wie in den bisher beschriebenen Schlacken, die Mangengehalte mit Ausnahme der Probe KIR 15, sind im Vergleich mit denen der Kelheimer-Kanalgrabung und denen von Nonnenschlag-Painten sehr niedrig. Für eine Mittelwertbildung des Mn-Gehalts wurde die Probe KIR 15 nicht berücksichtigt, weil der Wert dann zu sehr von einer Probe beeinflusst würde. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich ein ähnlicher Mittelwert wie bei den Schlacken von Barbing-Kreuzhof, und zwar von 0,26 % Mn.

Tab. 6

Schlacke der Grabung "Schloßbuckel" (1974) von Poikam Gemeinde Bad Abbach

Probe-Nr.	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)
POI 23	21	82	0.15

Von dieser Schlacke (Tab. 6), die aus einem Herrensitz vom 11. - Anfang 15. Jahrhundert stammt, wurde nur eine Probe zum Vergleich analysiert. Ihr Mangangehalt ist sehr niedrig, jedoch kann man aus dieser einen Probe keine gültigen Rückschlüsse auf das gesamte Vorkommen ziehen, lediglich ein Vergleich mit einem Teil der Kelheimer Proben ist unter Vorbehalt möglich.

Tab. 7

Schlacken der Grabung Berching-Pollanten, Krs. Neumarkt/Opf. (1981/82)

Probe-Nr.	Fund-Nr.	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)	Dichte
BER 2	34287	79	45	0.06	2.55
" 3	"	28	31	0.05	3.71
" 4	"	55	24	0.05	4.04
" 5	34285	51	30	0.06	3.18
" 6	"	22	148	3.93	3.85
" 7	"	47	58	0.04	3.27
" 9	34284	47	18	0.14	3.26
" 10	"	39	12	0.12	2.59
" 13	34298	57	13	0.06	3.55
" 14	"	55	13	0.04	3.53
" 15	"	73	16	0.12	2.90

Die Schlacken der Tab. 7 entstammen einer Siedlung der späten Latene-Zeit mit reger handwerklicher Produktion, darunter Eisenverarbeitung und wohl auch Verhüttung. Diese Proben sind ihrer äußerem Typologie nach, soweit bestimmbar, Schmiedeschlacken. Die untersuchten Elementgehalte sind mit einer Ausnahme außerordentlich übereinstimmend. Lediglich die Probe BER-6 fällt vollständig aus dem Rahmen. Sie hat den niedrigsten Ni-Gehalt, einen deutlich höheren Cr-Gehalt u. einen überaus hohen Mn-Gehalt. Zur Mittelwertbildung wird diese Probe BER-6 deshalb nicht berücksichtigt. Danach erhalten wir einen mittleren Cr-Gehalt von 26 ppm und einen mittleren Mn-Gehalt von 0.07 %. Der Gegensatz zu den Mangangehalten in den Schlacken der Kelheimer Kanalgrabungen und denen von Nonnenschlag-Printen ist sehr deutlich, lediglich die Probe BER-6 würde sich dort sehr gut einfügen lassen.

Tab. 8

Schlacke der Grabung Rinkam, Gem. Atting, Krs. Straubing (1982)

Probe-Nr.	Fund-Nr.	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)
RIN 1	32803	-	-	0.25
" 3	32804	-	-	3.02
" 7	123797	-	-	0.26

Diese Schlacken stammen aus der humosen Verfüllung eines spätmehringischen Kreisgrabens. Die drei Mn-Werte sind so unterschiedlich, daß sie allein genommen keine weitere Aussage ermöglichen.

Tab. 9

Schlacken der Grabung am Krankenhaus Azlburg in Straubing (1981)

Probe-Nr.	Fund-Nr.	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)	Dichte
STR 1	409	-	-	0.08	2.40
" 2	409	-	-	0.19	2.60
" 5	419	48	39	0.11	2.60
" 6	419	-	-	0.09	3.20

Die Proben der Tab. 9 stammen aus Gruben, die durch Keramik etc. sicher in die flavische Zeit zu datieren sind. Es sind Schmiedeschlacken und Ofenwandschlacken. Ihre Mangangehalte sind sehr niedrig, im Mittelwert bei 0.12 % Mn,

Nickel-, Chrom- und Mangangehalte in Eisenteilen gefunden bei der Kanalgrabung Kelheim

Es könnte die Frage gestellt werden, in welchem Umfange die hier untersuchten Elemente bei der Verhüttung mit der Eisenphase von den Schlacken abgetrennt wurden und sich statt in den Schlacken im Eisen finden. Deshalb wurden auch einige Eisenstücke untersucht, die bei der Kanalgrabung Kelheim gefunden wurden. Mit Ausnahme der Pfeilspitze (Nr. 8), die sicher nicht aus der Kelheimer Gegend stammt, sind alle anderen Gegenstände mit größter Wahrscheinlichkeit in der Siedlung selbst und aus dem hier gewonnenen Eisen hergestellt.

Da nur kleine Probenmengen entnommen werden konnten, wurde diese Bestimmung mit der optischen Spektralanalyse durchgeführt. Die Fehlergrenze dieser Untersuchungen liegt sehr hoch, bei etwa + 30 %. Die Ergebnisse zeigen aber, daß Chrom und Mangan im Vergleich zu den Schlacken nur in geringem Umfang im Eisen vorhanden sind, das Nickel dagegen vergleichsweise angereichert ist. Der besseren Übersicht wegen wurden die Mangangehalte hier auch in Prozent angegeben.

Tab. 10

Eisenteile aus der Grabung Kelheim Kanal I

Probe-Nr.	Gegenstand	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)
2	Nagelkopf	300	10	0.06
3	Nagel	200	10	0.05
4	Messer	1000	10	0.01
5	Messer	4500	10	0.01
7	Halbfabrikat	1000	50	0.15
8	Dreikantpfeilspitze	2000	10	0.07

Vergleich mit einigen bayerischen Eisenerzen

Wenn man vor allem die Mangangehalte der untersuchten Schlackenproben ansieht, fällt neben der Unterschiedlichkeit dieser Gehalte in verschiedenen Vorkommen die erstaunliche Höhe in den Proben der Kanalgrabung Kelheim und vor allem der Vorkommen Painten und Viehhausen auf. Ihre Mittelwerte liegen in den Vorkommen von Kelheim bei 3 % Mn und in denen von Nonnenschlag/Painten bei 7,5 %. Wenn wir bei den anderen Vorkommen - soweit es möglich ist - Mittelwerte bilden, so liegen sie bei 0,3 % Mn und darunter.

Daraus läßt sich schließen, daß die Schlacken der Kelheimer Grabung, wie auch die jüngeren von Nonnenschlag/Painten von Eisenerzen stammen, die selbst einen hohen Mangangehalt aufweisen. Das zwingt nicht den Umkehrschluß auf, daß alle Schlacken, die geringe Mn-Gehalte aufweisen, von Mn-armen Erzen stammen müssen, da dazu zunächst die Frage beantwortet werden muß, welcher Art die Schlacken sind. Mn-reiche Schlacken jedoch weisen auf Mn-reiche Erze hin, wenn man den hohen, noch in den Schlacken vorhandenen Fe-Gehalt einbezieht, der auf eine nur geringe Ausbringung des Eisens bei der Verhüttung hinweist. Deshalb soll im folgenden der Chemismus einiger bayerischer Eisenerze angegeben werden.

Tab. 11

Vergleich einiger Bayerischer Eisenerze mit Alberzen des Kelheimer Raumes

Gew.-%	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	12.1	50.12	5.12	6.68	12.76	41.00	2.73
TiO ₂	2.3	0.78	0.02	0.002	0.17	0.18	0.08
Al ₂ O ₃	8.5	6.82	2.34	1.26	7.90	3.67	0.51
Fe ₂ O ₃	69.8	33.73	0.77	76.40	61.90	44.20	68.91
FeO	-	0,65	49.15	1.01	0.50	-	-
MnO	0.5	0.21	1.15	0.31	0.57	4.00	10.97
MgO	0.03	0.16	0.24	0.15	0.22	0.46	0.28
CaO	2.1	0.20	4.20	0.80	0.40	1.05	0.95
Na ₂ O	-	0.02	0.09	0.035	0.06	0.06	0.02
K ₂ O	-	0.46	0.07	0.03	0.055	0.66	0.06
H ₂ O	-	6.29	0.94	11.32	12.69	-	-
G.V.	-	-	-	-	-	3.22	11.82
Cr	0.009	0.009	-	-	-	0.004	0.006
Ni	0.008	-	0.001	0.002	0.005	0.004	0.005

- 1.) Hämatitisches Erz aus dem Lias δ v. Roding (Fröhlich 1964)
- 2.) Sandstein mit Goethitoiden aus dem Dogger β Hirschbach (Probe 186 Schneiderhöhn 1980)
- 3.) Derbes Weißerz der Kreide von Auerbach, Bohrung S 18 103,50 m (K. v. Gehlen u. H. Harder, 1956)
- 4.) Derbes Braunerz der Kreide von Auerbach, Bohrung S 15 - 99.10 - 102 m (K. v. Gehlen u. H. Harder 1956)

- 5.) Ockererz der Kreide v. Auerbach, Bohrung S 19 159 m (K. v. Gehlen u. H. Harder 1956)
- 6.) Goethitisches Eisenerz aus der Grabung Kelheim Kanal I Probe E 6 (Alberz)
- 7.) Goethitisches Eisenerz (Alberz) der Schottergrube 2 zwischen Kelheim und Viehhausen.

Von besonderem Interesse sind hier die Mangangehalte der einzelnen Erze, die wir aus dem MnO-Gehalt der Analysen umrechnen können (Tab. 11). Die Amberger Kreideerze enthalten in ihren Weißerzen recht hohe Mn-Gehalte, doch weitaus höhere Gehalte findet man in den sogenannten Alberzen, die von K. Schwarz, K. Tillmann und W. Treibs 1964 beschrieben wurden. Es existiert auch eine Landkarte, die 1616 von dem Bereich des Paintener Forstes aufgenommen wurde und die den Erzabbau dort zeigt, sowie die Verhüttungsstellen angibt. Diese Erze wurden also bis in die Neuzeit hinein abgebaut. Cr-, Ni- und Mn-Gehalte einiger solcher Alberze wurden bestimmt, die bei der Kelheimer Kanalgrabung gefunden wurden, sowie die Probe E 15 aus einem Schachtprofil von Viereichen im Frauenforst Kr. Kelheim, die direkt von der verkarsteten Kalkoberfläche im Bereich der Schachtsohle entnommen wurde (Tab. 12).

Tab. 12

Goethitische Eisenerze aus der Kelheimer Kanalgrabung

Probe-Nr.	Obj.-Nr.	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (%)
KK1	E 1 BR 14/1	29	45	1.28
"	E 2 BZ 14/18	53	10	1.32
"	E 3 BL 14/24	31	81	1.82
"	E 4 BS 12/51c	47	40	2.21
"	E 5 BT 13/21b	38	235	1.55
"	E 6 BM 13/73b	-	-	3.10
"	E 7 CL 45/31	49	178	1.85
"	E 8 CJ 28/1	23	25	3.55
"	E 15	129	86	7.78

Im Mittel ergibt das einen Mangangehalt von 2.70 % Mn.

Die Alberze, die hier als Grundlage der Eisenverhüttung im Raume Kelheim-Painten angenommen werden, sind von K. Schwarz, H. Tillmann und W. Treibs 1964 so beschrieben worden: "die Oberfläche des Massenkalks ist mit einer bis 20 cm starken Brauneisenerzschicht überzogen. Es handelt sich um schwarzbraunes, manganreiches derbes bis drusiges Brauneisenerz und mulmiges Ockererz. Die Erzbildung ist unter Wasserbedeckung erfolgt, welche sich unter großräumiger Senkung bei Eintritt der cenomanen Meeresingression einstellte, wahrscheinlich noch im Süßwasserbecken."

Da die Malmtafel zwischen Regensburg und Kelheim z. Zt. der Amberger Erzformation anscheinend hoch und abseits der untercenomanen Depressionszone lag, kann man für die Erze des Kelheimer Raumes auch eine etwas jüngere Entstehungszeit annehmen.

Es handelt sich somit um Erze der Kreidezeit, die wahrscheinlich etwas jünger sind als die Amberger Erze, und nur als dünne Schichten auf den Malmkalken vorkommen und zwar nur dort, wo sie durch jüngere Überdeckung von der Abtragung bewahrt blieben.

Mineralbestand der Schlacken

Untersuchungen mit der Röntgenstrukturanalyse

Von einem Teil der gemahlten Proben wurden Röntgenaufnahmen zur Bestimmung der Mineralphasen erstellt. Dabei wurden folgende Mineralien gefunden: Fayalit: Fe_2SiO_4 , Wüstit: FeO , Magnetit: Fe_2O_3 , Quarz: SiO_2 , Christobalit: SiO_2 und Tridymit: SiO_2 .

In den Schlacken der Kelheimer Kanalgrabung und in Altessing kommen Wüstit und Fayalit als röntgenographisch bestimmbare Hauptminerale vor. Daneben kann man in einzelnen Proben Quarz nachweisen. Die selbe Mineralverteilung existiert auch in den Schlacken von Poikam, Berching-Pollanten, Rinkam, Barbing und Straubing.

Die Proben von Kirchheim entsprechen weitgehend diesem Bild. Lediglich in den drei Ofenwandschlacken dieses Vorkommens (KIR 5, 8 und 10) läßt sich zusätzlich Cristobalit nachweisen. In der Probe KK1 - 119, ist zudem etwas Magnetit röntgenographisch feststellbar.

Die Schlacken von Nonnenschlag/Painten und der Schottergrube Viehhausen enthalten keinen röntgenographisch nachweisbaren Wüstit, jedoch vorherrschend Fayalit neben Quarz, Cristobalit, in zwei Proben auch Tridymit.

Schliffuntersuchungen

Von einigen Schlacken wurden Anschliffe und Dünnschliffe erstellt, um den Mineralbestand und das Gefüge detaillierter kennenzulernen. Denn nicht alle hier vorkommenden Bestandteile lassen sich mit der Röntgenstrukturanalyse erfassen, weil sie entweder prozentual in der Gesamtprobe zu niedrig liegen, oder wie das Glas durch Röntgenbeugung nicht nachweisbar sind.

So konnten in den Schliffen neben den röntgenographisch erfaßten Mineralien noch Glas, gediegenes Eisen, Hämatit: Fe_2O_3 und Goethit: FeOOH , festgestellt werden.

Beschreibung einiger Anschliffe

Schliff, Kelheimer Kanalgrabung (KK1 - 119 Abb. 2)

Erz-Mineralbestand: Magnetit, Wüstit, gediegen Eisen, Hämatit, Goethit.

Die Grundmasse besteht aus Fayalit und Glas. Die Fayalite sind ziemlich groß mit bräunlichen Innenreflexen, in der Nähe von Hohlräumen offenbar durch Oxydation rötlich. In dem zwickelfüllenden Glas befinden sich feine skelettförmige Leisten einer wahrscheinlich zweiten Fayalit-Generation mit hellen Innenreflexen.

Wüstit erscheint in mehreren Ausbildungsformen, die Hauptmenge in großen undeutlichen baumartigen Skeletten, deren Baumachse eine Länge bis zu 1 mm erreichen kann. Die Orientierung ist unabhängig von Fayalitkristallen und Glas. In der Nähe von Hohlräumen ist die Silikatmasse teilweise soweit reduziert, daß dichte Wüstitmassen vorgetäuscht werden.

Daneben gibt es wesentlich feinere und besser ausgebildete Skelette in Bereichen ehemaliger Blasen oder in der Nähe noch vorhandener. Die einheitliche Orientierung ist ebenfalls unabhängig von Fayalit und Glas.

Als weitere Ausbildungsform kommen feinste Wüstittröpfchen von einigen μm Größe im Glas vor.

Im Wüstit der groben und feinen Skelette befinden sich feine Lamellen gediegenen Eisens. Es könnte aus einer Wüstitzersetzung gemäß $4 \text{ FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{Fe}_3\text{O}_4$ während der Abkühlung der Schlacken stammen. Denn ehemalige Wüstite sind z. T. zu Magnetit oxidiert. Etwas gediegen Eisen steckt auch in den Silikaten. In der Nähe von Rissen beobachtet man auch Oxidationen zu Hämatit meist als schmalen Saum mit Umwandlungen zu Goethit.

Schliff: Kelheim, Kanalgrabung KK1 - 2 (Abb. 3 u. 4)

Erz-Mineralbestand: Wüstit, Magnetit.

Die Grundmasse besteht aus Fayalit und Glas, wobei die Fayalite eine erhebliche Größe von mehreren 100 μm erreichen können und auch die zwickelfüllende Glasmasse ausgedehnt erscheint. Darin befindet sich teilweise eine zweite Generation von Fayaliten mit hellen Innenreflexen, während die Innenreflexe der großen Fayalite bräunlich sind.

Der Wüstit ist in feinen, gut ausgebildeten Skeletten ganz überwiegend an Glas gebunden, sie greifen aber auch etwas in den Fayalit über. Dadurch ergibt es sich, daß wir keine größeren Bereiche einer einheitlichen Orientierung der Wüstite erleben. In der Nähe von Grenzflächen werden die Skelette noch feiner.

In einigen Schliffbereichen erscheint eine weitere Wüstitgeneration, die streng auf Fayalit-Leisten beschränkt und äußerst fein ausgebildet ist.

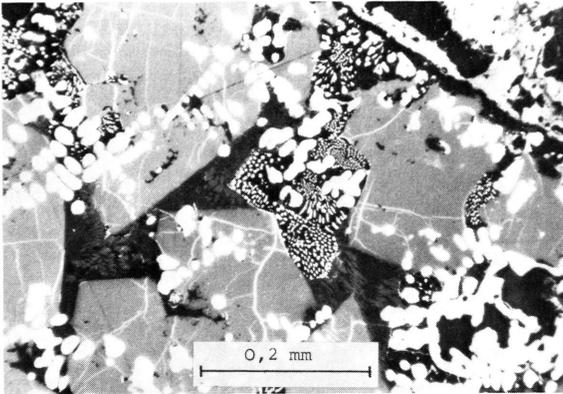


Abb. 2

Anschliff:
Schlacke KH1 119
Grundmasse:
Fayalit (grau) und
Glas (dunkel)
Wüstit (hell) in
groben Tropfen und
sehr fein ausgebildet

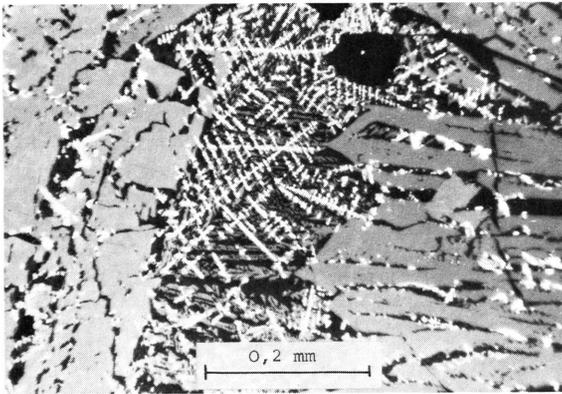


Abb. 3

Anschliff:
Schlacke KK1 - 2
Grundmasse aus groben
und feinen Fayalit-
kristallen (grau) und
Glas (dunkel), Wüstit
(hell) überwiegend im
Bereich der feinen
Fayalitkristalle

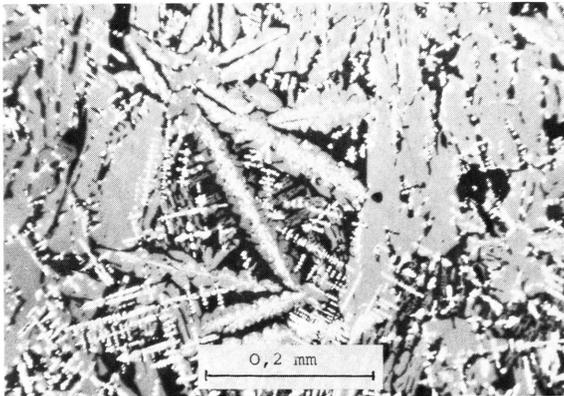


Abb. 4

Anschliff:
Schlacke KK1 - 2
Grundmasse aus grobem
Fayalit (grau) und Glas
(dunkel) Wüstit (hell)
fein skelettartig ausge-
bildet und im zentralen
Bereich einiger Fayalit-
kristalle

Im Bereich der Grenzflächen ist der Wüstit in geringem Maß zu Magnetit oxidiert. Hin und wieder ist ein wenig korrodierter Quarz in die Grundmasse eingebettet.

Schliff: Altessing EK - 2 (Abb. 5)

Erz-Mineralbestand: Magnetit, Wüstit

Die Grundmasse stellen Fayalit und Glas. Die Fayalite sind je nach Schnittlage langgestreckt skelettförmig bis körnig mit sehr hellen Innenreflexen. Die zwickelfüllende Glasmasse reflektiert niedriger: Einige korrodierte Quarzkörner sind von fayalitfreiem Saum umgeben. In stärker korrodierte Quarze ist Wüstit eingedrungen. Wüstit erscheint überwiegend in einfachen bis komplexen kreuzförmigen Skeletten, die durch Glas und Fayalit ausgefüllt sind.

Die Größe der Skelette in (100) Richtung variiert zwischen etwa 20 μm und 250 μm .

In der Glasmasse erscheinen zusätzlich ganz feine Wüstitröpfchen im Größenbereich von 1 - 3 μm und schmale Leisten von etwa 100 μm Länge.

Schliff Barbing-Kreuzhof BAK - 3 (Abb. 6)

Erz-Mineralbestand: Wüstit, Magnetit, Hämatit, Goethit, gediegenes Eisen

Die Grundmasse besteht aus Fayalit und Glas. Die Fayalite sind mittelgroß. In der Nähe gediegenen Eisens ist sie blasenreich, sonst dicht. In diese Grundmasse eingebettet finden sich Wüstit, Hämatit, Magnetit und gediegenes Eisen. Der Wüstit kommt in mehreren Ausbildungsarten vor.

- a) Die Hauptmenge erscheint in großen, undeutlichen, baumartigen Skeletten, wo der Wüstit gegenüber der Grundmasse dominiert. Diese Baumachsen können eine Länge bis zu 1 mm erreichen. Die Orientierung ist völlig unabhängig vom Fayalit.
- b) Wenige Bereiche zeigen feinere, gut ausgebildete Wüstitskelette, deren Orientierung ebenfalls unabhängig von Fayalit und Glas ist.
- c) Auf Fayalitleisten beschränkte sehr feine Wüstite sind selten, kommen aber vor.
- d) Extrem feine Wüstite sind auf Glas beschränkt.

Das gediegene Eisen ist ungleichmäßig im Schliff verteilt. Einzelne kleine Tröpfchen kommen ebenso vor wie Aggregate von mm-Größe, die dann Fayalit-, Glas- und Wüstit-Bereiche einschließen.

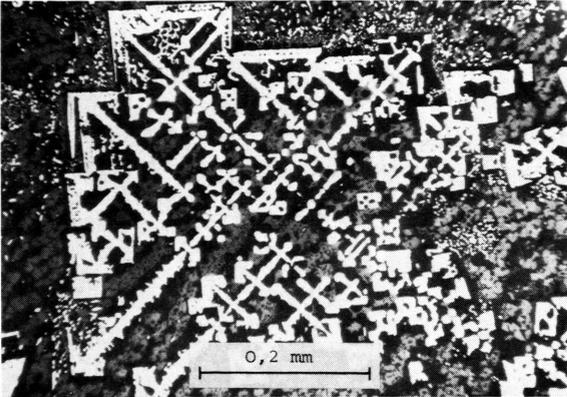


Abb. 5

Anschliff:
Schlacke EK - 2
Grundmasse aus Fayalit
(grau) und Glas (dunkel)
mit kreuzförmigen Ske-
letten von Wüstit (hell)

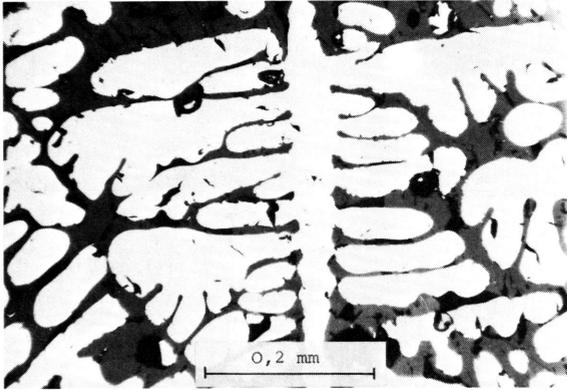


Abb. 6

Anschliff:
Schlacke BAK - 3
Groskskelettartig aus-
gebildeter Wüstit (hell)
in einer Grundmasse aus
viel Fayalit (hellgrau)
und wenig Glas (dunkel)

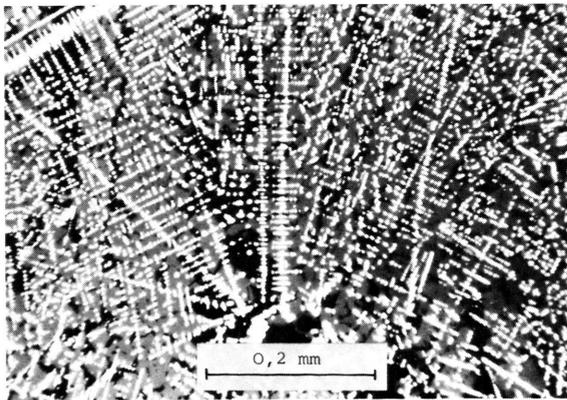


Abb. 7

Anschliff:
Schlacke POI - 4
Fein skelettartig aus-
gebildeter Wüstit (hell)
in einer Grundmasse aus
Fayalit (grau) und
Glas (dunkel)

Vom Rande des Schliffes her beginnen Oxidationen. Das gediegene Eisen geht schnell vom Rand der Tröpfchen aus direkt in Goethit über.

Wüstite am Schlifftrand (also an der Oberfläche der Schlacke) zeigen orientierte Umwandlungen in Magnetit. Am äußersten Rand beobachtet man eine Umwandlung über Magnetit und Hämatit zu Goethit.

In der rundlichen goethitischen Zone befinden sich Quarzkörner und gelegentlich Holzzellen-Strukturen.

Schliff: Poikam bei Bad Abbach POI - 4 (Abb. 7)

Erz-Mineralbestand: Wüstit, Magnetit, gediegenes Eisen.

Die Grundmasse besteht hauptsächlich aus den zwei Phasen Fayalit und Glas. Die Fayalite sind klein bis mittelgroß mit schmutzig-olivgrünen Innenreflexen. Einige ehemalige Blasen Hohlräume sind mit größerem Fayalit und auch Glas erfüllt. Darin befindet sich weniger Wüstit als in der Umgebung. Zuweilen sind die Grenzflächen zwischen Fayalit und Wüstit sehr scharf. An den Grenzen sind die Minerale zunächst klein bei einer deutlichen Kornvergrößerung mit der Entfernung von der Grenze.

In der Grundmasse befinden sich einige stark korrodierte Quarze. In weiten Bereichen des Schliffes verteilt sich der Wüstit in feinen gut ausgebildeten Skeletten über Fayalit und Glas. In der Nähe von Grenzflächen ist der Wüstit extrem fein und zuweilen zu Magnetit oxidiert. Ansonsten herrschen Bereiche einheitlicher Skelettorientierung mit erheblicher Ausdehnung vor.

Am Rande eines Blasen Hohlräume erkennt man Ilmenit mit beginnender Umwandlung zu Rutil.

Schliff: Berching-Pollanten bei Neumarkt (BER - 15)

Erz-Mineralbestand: gediegenes Eisen, Wüstit, Goethit

Die Grundmasse der blasenreichen Schlacke besteht vornehmlich aus Glas mit vielen angeschmolzenen Quarzen. Stellenweise erscheint eine fayalitische Entglasung mit hellen Innenreflexen. Das Glas hat tiefblaue Innenreflexe mit schönen Fließstrukturen um die Quarzkörner herum. In oxidierten Bereichen ändert sich die Farbe der Innenreflexe des Glases nach gelb bis bräunlich. Nur in Bereichen mit Fayalit-Ausscheidungen gibt es sehr wenig gediegenes Eisen neben Wüstitskeletten.

Dünnschliffe der Schlacken von Painten (Nonnenschlag)

Diese Schlacken wurden nur in Dünnschliffen betrachtet, denn sie enthalten praktisch keine reflektierenden Erzminerale. Ihr Mineralbestand weist immer Fayalit und Glas sowie gelegent-

lich Quarz auf. In einigen Fällen wurden auch Cristobalit und Tridymit, allerdings röntgenographisch, festgestellt.

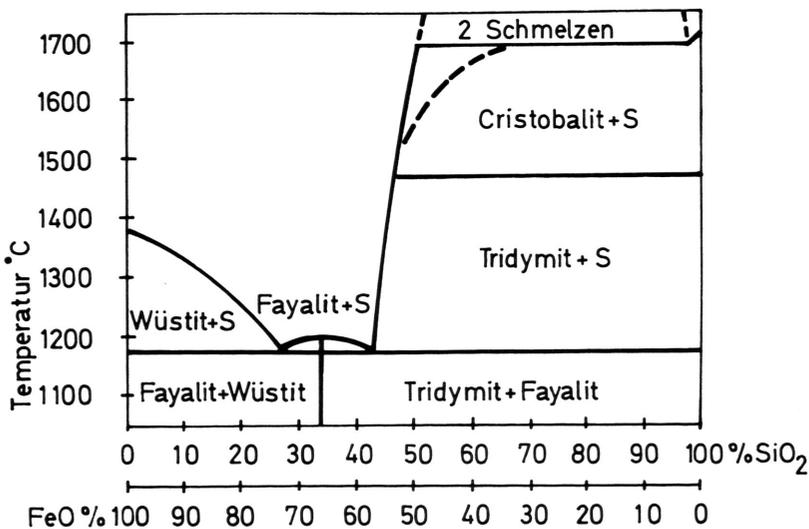
Die Fayalite sind häufig stengelig ausgebildet, die in einer farbigen Darstellung im polarisierten Licht sehr schön neben Glas erscheinen in einer schwarz-weiß Darstellung die Intensität der Auflichtbilder bei weitem nicht erreichen, weshalb auf eine Abbildung der Dünnschliffe verzichtet wird.

Gefundener Mineralbestand

Zusammenfassend ergibt sich folgende mineralische Zusammensetzung in den älteren Schlacken der Häufigkeit entsprechend: Fayalit, Wüstit, Glas und Quarz, seltener Magnetit und gediegenes Eisen sowie als Zersetzungsprodukt Hämatit und Goethit. Zusätzlich in den Ofenwandschlacken von Kirchheim noch Cristobalit. In den jüngeren Schlacken ebenfalls der Häufigkeit nach finden sich: Fayalit, Glas, Quarz, Cristobalit und Tridymit, daneben steckt auch zuweilen gediegenes Eisen in ihnen.

Wenn wir die Schlacken in ihrer chemischen Zusammensetzung auf das binäre System $\text{FeO} - \text{SiO}_2$ (Abb. 8) reduzieren, kann man die Temperaturen, bei denen verhüttet wurde, und auch die Ausbeute an Eisen beim Verhütten ermessen. Während die älteren Schlacken im Fayalit u. Wüstit-Bereich liegen, finden wir die jüngeren Schlacken im Gebiet des Fayalit-Tridymit. Auch hier ist noch keine hohe Ausbeute des Eisens erreicht, aber eine Verbesserung gegenüber älteren Verhüttungen, vorausgesetzt, daß der Fe-Gehalt der Erze ähnlich war.

Abb. 8 Binäres System $\text{FeO} - \text{SiO}_2$



DANKSAGUNG

Herrn Dr. Geisler danke ich für die Beschaffung vieler Proben. Herrn E. Sevilgen, Herrn Dr. Ackermann, Herrn Dr. Endlicher und Herrn Dr. Rose für Ihre Mithilfe bei der Durchführung der Untersuchungen.

LITERATURVERZEICHNIS

- BURGER, I.; GEISLER, H. (1983) Archäologisches zur Eisenverhüttung in und um Kelheim, in: Erwin-Rutte-Festschrift (1983), 41 - 56
- CHRISTLEIN, R. (1974) Die Burg von Poikam im Landkreis Kelheim - ein Denkmal mittelalterlicher Sozialgeschichte und seine Sozialgeschichte und seine Erforschung, in: Baubericht der Rhein-Main-Donau-AG 1974, 28 - 38
- DANNHEIMER, H. (1973) Die frühmittelalterliche Siedlung bei Kirchheim (Ldkr. München, Oberbayern). Vorbericht über die Untersuchungen im Jahre 1970, in: Germania 51, 1973, 152 - 169
- ENGELHARDT, B. (1980) Archäologisches zur früh- und hochmittelalterlichen Geschichte Kelheims. Ein Vorbericht, in: K. Spindler (ed.), Vorzeit zwischen Main und Donau (1980), 273 - 298 (Erlanger Forschungen A 26)
- FRÖHLICH, F. und TILLMANN (1964) Die Eisenerze des Lias zwischen Roding und Michelsneukirchen am Bayerischen Wald Geol. Bav. 53, 1964, S. 63 - 83
- GEHLEN, K. v. und HARDER, H. (1956) Zur Genese der kretazischen Eisenerze von Auerbach (Opf.) Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie 1956, S. 118 - 138
- GEISLER, H. (1983) Studien zur Archäologie frühmittelalterlicher Siedlungen in Altbayern. Dissertation München (ungedruckt)
- SCHNEIDERHÖHN, P. (1980) Zur Petrographie des eisenerzführenden Dogger & in Franken. Erlanger Geologische Abhandlungen, Heft 108, 1980, S. 3 - 61
- SCHWARZ, K.; TILLMANN, H. und TREIBS, W. (1964) Die Eisenerze der Oberkreide als Grundlage des kultischen Eisenerzbergbaues auf dem Michelsberg bei Kelheim. Geol. Bav. 53, 1964, S. 129 - 134
- SPERL, G. (1980) Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher Eisenhüttenschlacken (1980) (Studien zur Industrie-Archäologie 7)