

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Minaria Helvetica : Zeitschrift der Schweizerischen Gesellschaft für historische Bergbauforschung = bulletin de la Société suisse des mines = bollettino della Società svizzera di storia delle miniere |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerische Gesellschaft für Historische Bergbauforschung  |
| <b>Band:</b>        | - (1988)  |
| <b>Heft:</b>        | 8b  |
| <b>Artikel:</b>     | Erkenntnisse aus Schlacken- und Metalluntersuchungen von frühen Hüttenplätzen   |
| <b>Autor:</b>       | Geiger, Thomas  |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-1089587">https://doi.org/10.5169/seals-1089587</a>   |

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Thomas Geiger (Wiesendangen)  
**ERKENNTNISSE AUS SCHLACKEN- UND METALLUNTERSUCHUNGEN VON  
FRÜHEN HÜTTENPÄLZEN**

Der Weg vom Erz zum metallischen Gebrauchsgegenstand ist auf frühen Hüttenplätzen oft nur sehr lückenhaft durch Artefakte belegt. Aus archäologischer Sicht erscheint es daher sinnvoll, die spärlichen Zeugen aus Verhüttung und Weiterverarbeitung so genau wie möglich unter die Lupe zu nehmen, um daraus Erkenntnisse über Material-Aufbau -Herkunft und Verarbeitungstechniken zu gewinnen. Beispiele von Mikro-Untersuchungen an Schlacken und Metallen von Hüttenplätzen im Oberhalbstein sollen die Möglichkeiten materialkundlicher Arbeitsmethoden aufzeigen. Das Material, sowie die Anregung zu dessen Untersuchung verdanke ich Herrn Eduard Brun, Regionalgruppenleiter "Oberhalbstein" vom Verein der Freunde des Bergbaues in Graubünden.

**1. Schlackenhalden des Oberhalbsteins**

Im Oberhalbstein sind an zahlreichen Stellen Relikte prähistorischer Erzverhüttung in Form von Schlackenhalden vorhanden (1) (7). Im offenen Gelände fallen die Halden durch ihre weitgehend fehlende Bewachsung auf (Bild 1). Verdeckte Schlackenhaufen wurden beim Wegbau oder beim Ausheben von Gräben zufällig angeschnitten. Aus der Übersichtsskizze ist ersichtlich, dass vor allem im Gebiet westlich und nordöstlich des Marmorerassees eine örtliche Beziehung der Schlackenhalden zu den sulfidischen Vererzungen in den Serpentiniten der oberpenninischen Platta-Decke besteht. Bei einer zweiten Häufung von Schlackenhalden im Raum Savognin-Cunter-Riom fehlt ein solcher Zusammenhang mit heute noch auffindbaren Erzvorkommen. C14-Bestimmungen an Holzkohlenresten lassen die Schlackenhalden auf etwa 800-500 v.Chr. datieren (7). Die Schlacken wurden anfänglich wegen ihres hohen Eisengehaltes als Relikte einer Eisenverhüttung gedeutet. Laut E.Brun (7) äusserte 1978 G.Sperl(Leoben) die Ansicht, dass es sich um Schlacken aus der Kupferverhüttung handeln könnte. Diese Vermutung wurde durch eine neuere Untersuchung bestätigt (2). Dabei gelangten die folgenden chemisch-physikalischen Methoden zum Einsatz: Nasschemische Analyse, Emissions-Spektralanalyse (halbquantitativ), Lichtmikroskopie an Anschliffen, Rasterelektronenmikroskopie, Elektronenstrahlmikroanalyse und Röntgenfeinstrukturanalyse.

Zusammenfassung der wichtigsten Untersuchungsergebnisse:

**1.1 Makroskopische Schlackenkennzeichen**

Es handelt sich vorwiegend um dünne, wenige Millimeter bis gut 1 cm dicke Plattschlacken von dichter bis leicht blasiger Beschaffenheit. Sie sind offensichtlich als leichtflüssige Fliesschlacken nach dem Abstich in Schlakengruben erstarrt und später häufig kleinstückig zerschlagen worden (Bild 2). Neben dem guten Erhaltungszustand fallen die gelegentlichen grünen Ausblühungen von sekundären Kupfermineralien Malachit und Brochantit auf.

**1.2 Chemische Zusammensetzung**

In Tabelle 1 sind die auf Oxidanteile und eine Summe von 100% umgerechneten Analysen von 5 Schlackenproben aus 4 verschiedenen Fundstellen zusammengestellt (Lage siehe Übersichtsskizze).

Alles Eisen wurde als FeO umgerechnet, da der Anteil an dreiwertigem Eisen nicht gross ins Gewicht fällt. FeO+SiO<sub>2</sub> bilden den Hauptanteil (74-88%), dazu kommen wechselnde Gehalte an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O. Für die spätere Interpretation der Analysen ist neben MgO auch der geringe Gehalt an Schwefel und Kupfer von Bedeutung.

### 1.3 Mikroskopische Kennzeichen

Hauptbestandteil der Schlacken ist das Eisensilikat Fayalit, das wechselnde Mengen Magnesium enthält, d.h. es liegen zwischen den Endgliedern Fayalit Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> und Forsterit Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> Mischkristalle (Fe,Mg)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> vor. In relativ schnell abgekühlten Schmelzen bildet Fayalit dünne leistenförmige Skelettkristalle (Bild 3), während sich bei langsamerer Abkühlung eher isometrische Kristalle mit Zonaraufbau (Mg-reicher Kern, Fe-reicher Rand) bilden (Bild 4). Die vorwiegend glasig erstarrte Restschmelze von anorthitischer Zusammensetzung (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) ist oft entmischt und bildet die Matrix oder füllt die Zwickel zwischen den Fayalitkristallen. Mengenmässig untergeordnet (Ausnahme Fundstelle 3) erscheinen die Eisenoxide Wüstit (FeO) und Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) hell reflektierend im Anschliff. In den Schlacken der Fundstellen 2 und 4 fallen siebartig strukturierter Einschlüsse von Chromit auf (Bild 4). Es handelt sich offenbar um nur teiweise aufgelöste Spinell-Relikte aus dem verhütteten Erz (Schmelzpunkt Chromit ca. 1800°). In den Schlacken anschliffen aller 4 Fundstellen sind feinverwachsene Gemenge von verschiedenen Kupfer-Eisen-Sulfiden als lokale Zwickelfüllungen zwischen Fayalitkristallen nicht zu übersehen (Bild 5). Auf Grund der verschiedenen Reflexfarben gelb-braun-grau-blau und von Mikrosondenanalysen dürften mindestens die folgenden Sulfidphasen vorhanden sein: Chalkopyrit (CuFeS<sub>2</sub>), Bornit (Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub>), Covellin (CuS), Digenit (Cu<sub>1,76</sub>S), Pyrit (FeS<sub>2</sub>), Pyrrhotin (FeS). Der im Anschliff blau reflektierende Covellin bildet z.T. auch kugelige Einschlüsse (Bild 6).

### 1.4 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Lassen sich auf Grund der Schlackenuntersuchungen die folgenden Fragen beantworten :

- Welches Metall wurde gewonnen ?
- mit welcher Verhüttungstechnik ?
- aus welchen Erzen ?

Die drei Fragen sind eng miteinander verknüpft und müssen einerseits vor dem Hintergrund des geologisch-bergbaulichen Umfeldes und anderseits im Licht des damaligen Standes der Verhüttungs-Praxis betrachtet werden.

Der hohe Eisengehalt allein ist nicht aussagekräftig für eine Eisenerzeugung, vielmehr sprechen die folgenden Fakten für eine Kupfererzeugung aus sulfidischen Cu-Fe-Erzen mit dem Hauptmineral Kupferkies (Chalkopyrit CuFeS<sub>2</sub>) :

Menge und Ausbildung der Plattschlacken mit ihren lokalen Ausblühungen von Malachit und Brochantit entsprechen gut den frügeschichtlichen Schlacken einer Kupfererzeugung, z.B. beschrieben von H. Moesta (9).

Sowohl die analytisch festgestellten geringen Gehalte an Kupfer und Schwefel, als auch die mikroskopisch erkennbaren Einschlüsse verschiedener Cu-Fe-Sulfide sind typisch für diese Schlacken.

Die bronzezeitliche Gewinnung von Kupfer aus Kupferkies, wie sie z.B. am Mitterberg bei Bischofshofen (A) in grossem Umfang betrieben wurde, ist gekennzeichnet durch anspruchsvolle mehrstufige Schmelzverfahren, die erstaunlicherweise sogar heute noch in prinzipiell ähnlicher Art angewendet werden. Erste Schritte dienen der Abtrennung von Eisen, wobei die höhere Affinität des Eisens zum Sauerstoff und geringere Affinität zum Schwefel im Vergleich zum Kupfer das Vorgehen bestimmt :

- Teirlösten zur Überführung von Fe in Oxidform
- Verschlacken des Eisens mit  $\text{SiO}_2$  unter reduzierenden Bedingungen zu Fayalit
- Angereichert wird dabei der sog. "Kupferstein", eine Masse aus Fe-armem Kupfersulfid
- Aus dem Kupferstein wird in weiteren Schmelzschritten -z.T. im Tiegel- das Rohkupfer durch Entmischung aus  $\text{Cu}_2\text{S}$  als Bodensatz angereichert.

Offensichtlich stammen die untersuchten Schlacken des Oberhalbsteins aus den ersten Prozessschritten der Eisenabscheidung in Form von Fayalit. Die Tatsache, dass die Schlacken nur geringe Kupferanteile enthalten, deuten auf eine fortgeschrittene Röst- und Schmelzpraxis. Höhere Kupfergehalte in der Schlacke würden z.B. auf ein zu starkes vorgängiges Rösten hinweisen (Oxidation der Kupfersulfide). Leider fehlen bis heute in der näheren Umgebung der Schlackenhalden des Oberhalbsteins Relikte der vorbereitenden Stufen wie Erzaufbereitung und Rösten, sowie der letzten Prozessschritte in Form von Kupferstein und Rohkupfer.

Die auffallende Nachbarschaft der Schlackenhalden mit den Cu-Fe Vererzungen in den Serpentiniten lässt eine Verwendung dieser Erze zur Kupfergewinnung als plausibel erscheinen. Obschon die heute an früheren Abbaustellen noch vorhandenen Erzkonzentrationen als eher mager einzustufen sind, ist ein wenigstens zeitweiser Abbau reicherer Erze nicht auszuschließen. Zwei Befunde an den Schlacken sprechen besonders deutlich für eine Verarbeitung der Serpentinit-Erze. Der immer vorhandene Magnesium-Gehalt und die Chromit Relikte. Letztere entsprechen in ihrer qualitativen Zusammensetzung den in den Serpentiniten und deren Erze (3) festgestellten Chromiteinschlüssen (Cr-Al-Fe-Mg-Spinelle). Für gesicherte Zuordnungen einzelner Schlackenplätze zu bestimmten Erzvorkommen wären zahlreichere Analysen, auch von Spurenelementen notwendig. Zwei qualitative Befunde mögen solche Zusammenhänge andeuten:

#### Schlackenvorkommen

Fundstelle 3 mit ca. 1% Zn

#### Erzvorkommen

Cotschens, Nr.9 nach (3)  
Nur hier enthält das Erz deutliche Anteile an Zinkblende

Fundstelle 2 mit Nickel-anreicherungen in Sulfideinschlüssen

Cotschens, Nr.10 nach (3)  
Das Ni-haltige Mineral Bravoit hat hier mit ca. 13% Anteil am Erzinhalt

## **2. Metallobjekte von der historischen Eisenschmelze Flecs bei Salouf im Oberhalbstein (1828-1847)**

Die metallkundliche Untersuchung an vier bei den Sanierungsarbeiten (7) aufgefundenen Eisenobjekten führte zu den folgenden Erkenntnissen (teilweise in(4)).

2.1 Ein unregelmässig geformter Eisenfladen (ca. 28 x 15 x 5cm) aus dem Bach neben dem Frischofen besteht aus meliert erstarrtem Roheisen mit C= 3,25%, P= 0,59% und S=0,09%. Das Mikrogefüge ist charakterisiert durch eine Grundmasse aus Perlit (feinlamellare Verwachsung von Fe und  $Fe_3C$ ), in die Nester mit lamellarem Graphit eingelagert sind (Bild 7). Zwischen den Graphitnestern erscheinen unregelmässig geformte Platten von hartem Zementit ( $Fe_3C$ ) und Eisenphosphid ( $Fe_3P$ ). Gefüge und chemische Zusammensetzung lassen auf ein Produkt aus dem Flossofen schliessen. Der relativ hohe Phosphorgehalt gibt einen Hinweis auf die Verwendung des Apatit-haltigen Hämatiterzes vom Schmorrasgrat als Einsatzmaterial, was auch urkundlich belegt ist (10). Das beschriebene Roheisenobjekt befindet sich heute im Bergbaumuseum in Davos.

2.2 Ein eher ungewöhnliches Mikrogefüge ist an einem kleinen Barren (ca. 21 x 17 x 7cm) aus dem Frischofen festzustellen. Makroskopisch weist der stark mit Blasen durchsetzte Barren noch das strahlige Gussgefüge von weissem Roheisen auf. Unter dem Mikroskop erscheint jedoch ein Glühgefüge mit körnig koaguliertem Zementit in ferritischer Grundmasse (Bild 8). Das ursprüngliche Gussgefüge wird noch durch grobstrahlige Zementitplatten angedeutet. Der 2,5% Kohlenstoff enthaltende Barren dürfte nach der Erstarrung als weisses Roheisen aus dem Flossofen eine längere oder vielfach wiederholte Temperaturbeanspruchung im Bereich von  $700^{\circ}C$  erfahren haben. Das ungewöhnliche Gefüge lässt verschiedene Deutungen offen :

- Bildung beim längeren Verweilen im Vorherd zum Frischofen als Vorstufe für ein späteres Schmelzfrischen oder auch als Konstruktionsteil.
- Resultat eines Versuches zur Erzeugung von schmiedbarem Stahl aus weissem Roheisen durch "Glühfrischen". Dieser Prozess bedingt jedoch unwirtschaftlich lange Glühzeiten und war beim vorliegenden Objekt noch keineswegs abgeschlossen (C-Gehalt noch 2,5%).

2.3 Ein Barren mit dem respektablen Gewicht von 62 kg lässt überraschend das Gefüge eines übereutektoiden Werkzeugstahls mit 1,2% C erkennen. Nach dem Erschmelzen im Flossofen hat dieses Material den Frischprozess durchgemacht. Ungewöhnlich am Mikrogefüge sind Korngrenzen-Ausscheidungen von Eisensulfid und Kupfersulfid (Bild 9), sowie Spuren metallischen Kupfers. Der hohe Schwefelgehalt von 0,65% und der praktisch fehlende Mangangehalt machen den Stahl rotbrüchig, d.h. ein Verschmieden im Temperaturbereich von  $800-1000^{\circ}C$  ist nicht möglich. Ein kleiner Abschnitt des Stahlbarrens wurde versuchsweise geschmiedet, wobei zahlreiche Korngrenzenrisse entstanden (Bild 10). Dies könnte erklären warum der Barren ohne Weiterverarbeitung zurückblieb. Die Untersuchungsergebnisse erlauben auch

interessante Rückschlüsse auf die verwendeten Erze. Der ungewöhnliche Gehalt an Schwefel (0,65%) und Kupfer (1,52%), sowie merkliche Anteile an Nickel (0,56%) weisen auf eine mindestens teilweise Verwendung der sulfidischen Fe-Cu-Erze aus den Serpentiniten auch als Rohstoff für die Eisenerzeugung. Dabei ist aber infolge der ungenügenden Eliminierung des Schwefels der Erfolg wenigstens beim untersuchten Barren ausgeblieben. Auf Grund der Konzessionsverhältnisse dürften vor allem die sulfidischen Erze von Gruba nach Flecs gebracht worden sein (7, 10). Reste von schwach vererzten Serpentiniten sind heute noch auf Flecs vorhanden. Zur Zeit der Herstellung des Barrens war den Betreibern der Eisenschmelze Flecs die Bedeutung des Mangans zur Schwefel-Abbindung offensichtlich nicht bekannt. Manganerz wäre ja im Oberhalbstein (Val d'Err und Falotta) greifbar nahe gewesen (vergl. Übersichtsskizze). Die wahre Natur dieser Erze wurde jedoch erst etwa in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erkannt, nachdem vorher vergeblich eine Eisenerzeugung versucht worden war.

2.4 Als besonders interessantes Fundobjekt entpuppte sich ein ca. 30cm langer, an einem Ende keilförmig auslaufender Eisenstab mit rechteckigem Querschnitt (ca. 3 x 1cm). Der ziemlich stark angerostete Gegenstand fällt im polierten und geätzten Querschliff durch sein heterogenes Gefüge auf (Bild 11). In einer lokal stark von nichtmetallischen Einschlüssen durchsetzten ferritischen Matrix ( $C < 0,1\%$ ) erscheinen fleckenartige Bereiche mit eutektoidem Perlitgefüge ( $C = 0,8\%$ ). Die Übergänge mit ferritisch-perlitischem Gefüge lassen ausgeprägte Widmannstättensche Ausbildung erkennen (Bild 12). Die in mikroskopischen Bereichen stark schwankenden C-Gehalte gleichen auffallend dem Gefüge von im Rennfeuer erzeugten und nachträglich verschmiedeten Luppen. Die Gefügeausbildung weist darauf hin, dass der Eisenstab nicht aus der Flusstahl-Periode zu Beginn des 19. Jahrhunderts, sondern aus einer viel früheren Zeit stammt. Die grosse Ähnlichkeit mit Eisenprodukten aus römischer Zeit, wie z.B. von Augst und Vindonissa (5,6), lässt ein solches Alter als sehr wahrscheinlich erscheinen. Dieser Befund ordnet sich gut ein in die Beobachtung älterer Geländestrukturen bei Flecs (7), sowie die in der nahen römischen Siedlung bei Riom nachgewiesenen Schmiedegruben (8).

Der Verfasser dankt der Firma Gebr. Sulzer AG. in Winterthur für die Erlaubnis zur Benützung der Geräte im Labor für Werkstoffkunde.

## Literaturverzeichnis

- (1) Brun E. (1984) Die Schlackenhalden des Oberhalbsteins  
Bergknappe 27-1
- (2) Geiger T. (1984) Zusammensetzung und Mikrogefüge von  
Schlackenfunden aus dem Oberhalbstein. Bergknappe 27-2
- (3) Dietrich V. (1972) Die sulfidischen Vererzungen in den  
Oberhalbsteiner Serpentiniten  
Beitr.z.Geol.d.Schw., Geotechn.Serie Lief.49
- (4) Brun E. und Geiger T. (1987) Die Eisen- und Stahlherstel-  
lung im "Eisenwerk am Stein" auf Flecs bei Salouf,  
Oberhalbstein Bergknappe 41-3
- (5) Solenthaler Ch. und Mutz A. (1976) Ein "einfacher"  
römischer Eisenhaken Mitteilungsblatt der Schweiz.  
Ges. für Ur- und Frühgeschichte 28 (1976)
- (6) Epprecht W. und Schaller E. (1981) Eisen und Stahl aus  
Vindonissa Jahresbericht 1981 der Gesellschaft  
pro Vindonissa
- (7) Brun E. (1986) Geschichte des Bergbaus im Oberhalbstein  
Verlag Bergbaumuseum Graubünden
- (8) Rageth J. (1982) Die römischen Schmiedegruben von Riom  
Archäologie der Schweiz No.5
- (9) Moesta H. (1983) Erze und Metalle - ihre Kulturgeschichte  
im Experiment Springer Verlag
- (10) Brun E. (1988) Die Eisenerzvorkommen des Schmorrasgrates  
und ihre Verhüttung im Oberhalbstein  
Minaria Helvetica Nr. 8a

**Tabelle 1** : Chemische Zusammensetzung der Schlacken (Gew.%)  
Ohne Elemente in geringer Konzentration

| Nr | FeO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | CuO | SO <sub>3</sub> | ZnO |
|----|------|------------------|--------------------------------|-----|------|-------------------|------------------|-----|-----------------|-----|
| -- | --   | --               | --                             | --  | --   | --                | --               | --  | --              | --  |
| 1A | 40,7 | 33               | 12,5                           | 3,8 | 6,8  | 0,3               | 1,3              | 0,3 | 0,7             | -   |
| 1B | 32,4 | 41,8             | 13,6                           | 2,9 | 6,1  | 0,3               | 1,5              | 0,6 | 0,8             | -   |
| 2  | 58,5 | 29,8             | 1,4                            | 1,2 | 5,3  | 0,1               | 0,3              | 1,3 | 2,2             | -   |
| 3  | 63,8 | 17,2             | 0,4                            | 2,7 | 7,0  | 0,2               | n.b.             | 6,5 | 1,1             | 1,0 |
| 4  | 38,8 | 37,0             | 3,1                            | 1,5 | 17,3 | 0,2               | n.b.             | 0,5 | 1,2             | -   |



Bild 1 Offene Schlackenhalde südlich Gruba (Fundstelle 4)  
Foto E.Brun



Bild 2 Detail von Bild 1 mit klein zerschlagenen Schlacken  
Foto E.Brun

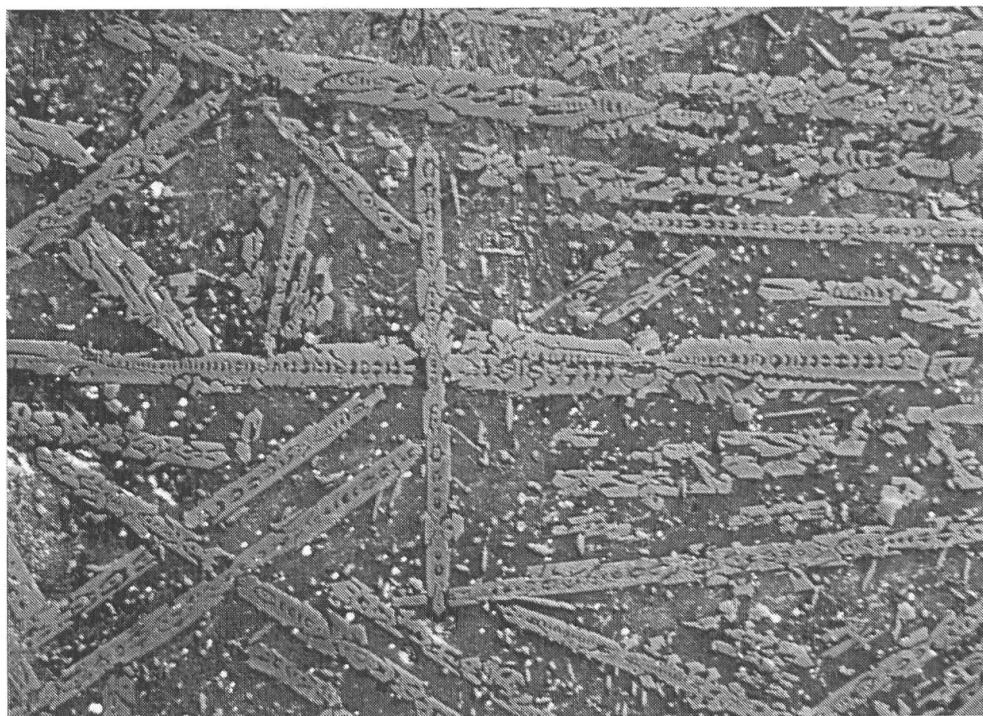


Bild 3 Fayalit-Skelettkristalle in glasiger Grundmasse  
(entmischt), Fundstelle 1, ungeätzt Hellfeld 500:1

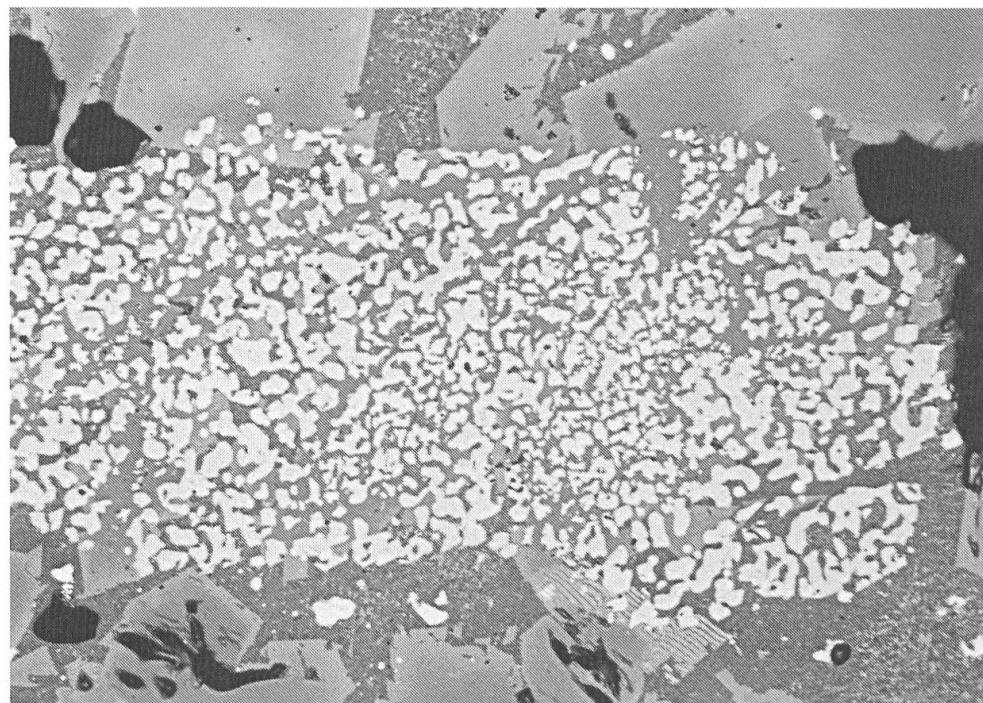


Bild 4 Blockige Fayalitkristalle (Bildrand), Chromiteinschluss  
(Bildmitte) teilweise verdrängt durch Fayalit  
Fundstelle 4, ungeätzt Hellfeld 500:1

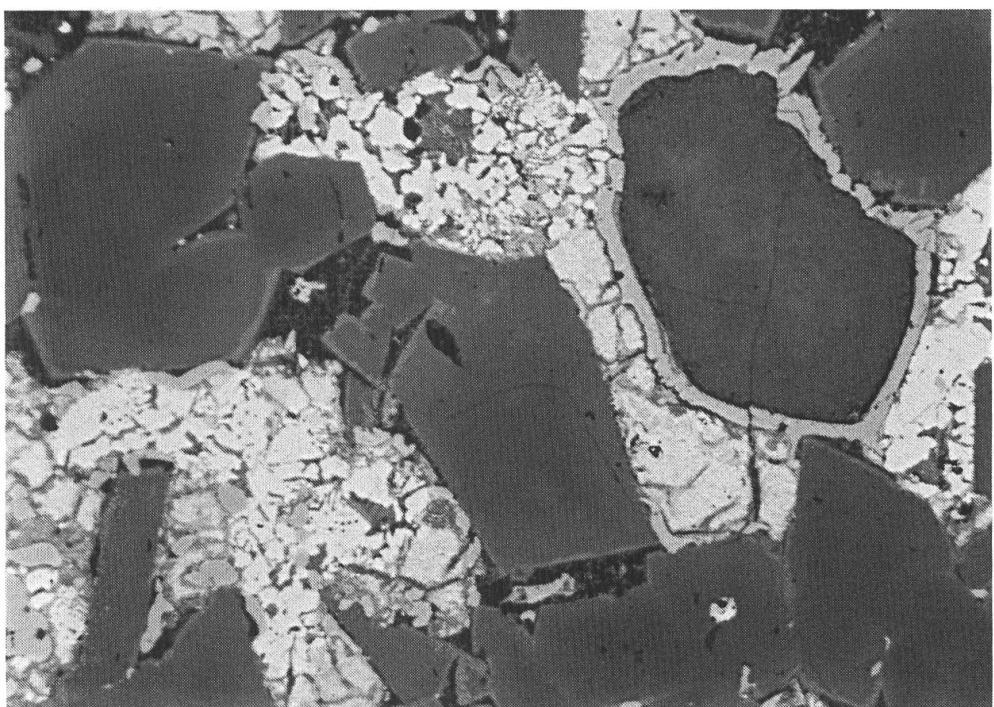


Bild 5 Mischsulfide Cu-Fe-S als Zwickelfüllung zwischen Fayalitkristallen, Fundstelle 2, ungeätzt Hellfeld 500:1

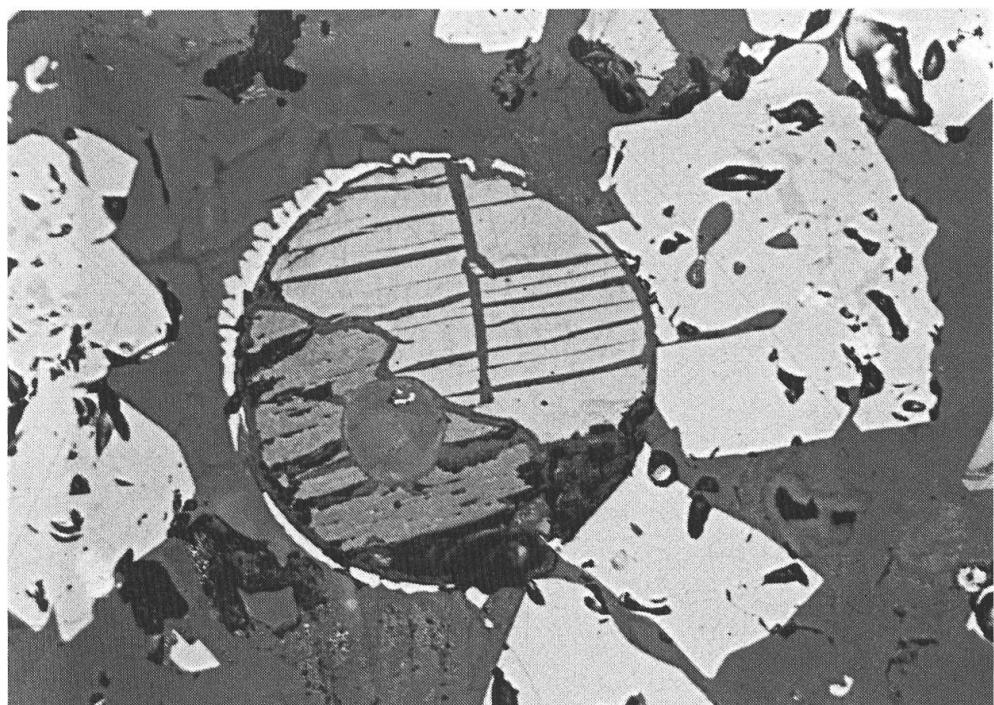


Bild 6 Kugeliger CuS- Einschluss in Fayalit-Matrix (grau) und Eisenoxid  $FeO+Fe_3O_4$  (hell), Fundstelle 3, 500:1

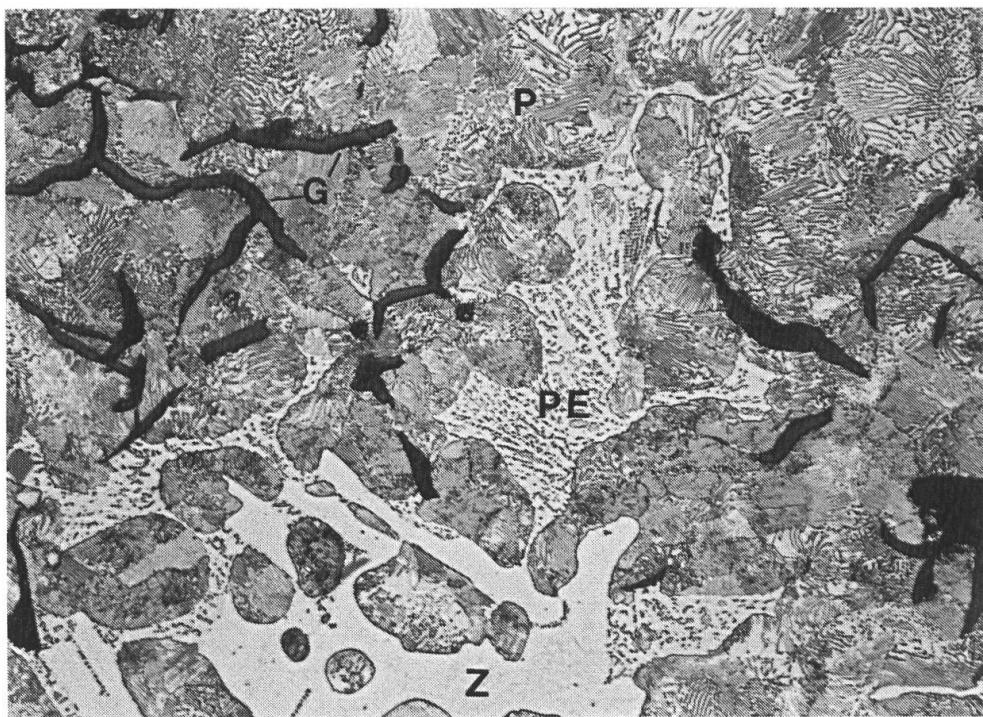


Bild 7 Meliertes Roheisen von Flecs, G=Graphit, P=Perlit,  
Z=Zementit, PE=Phosphideutektikum, geätzt Hellfeld  
500:1

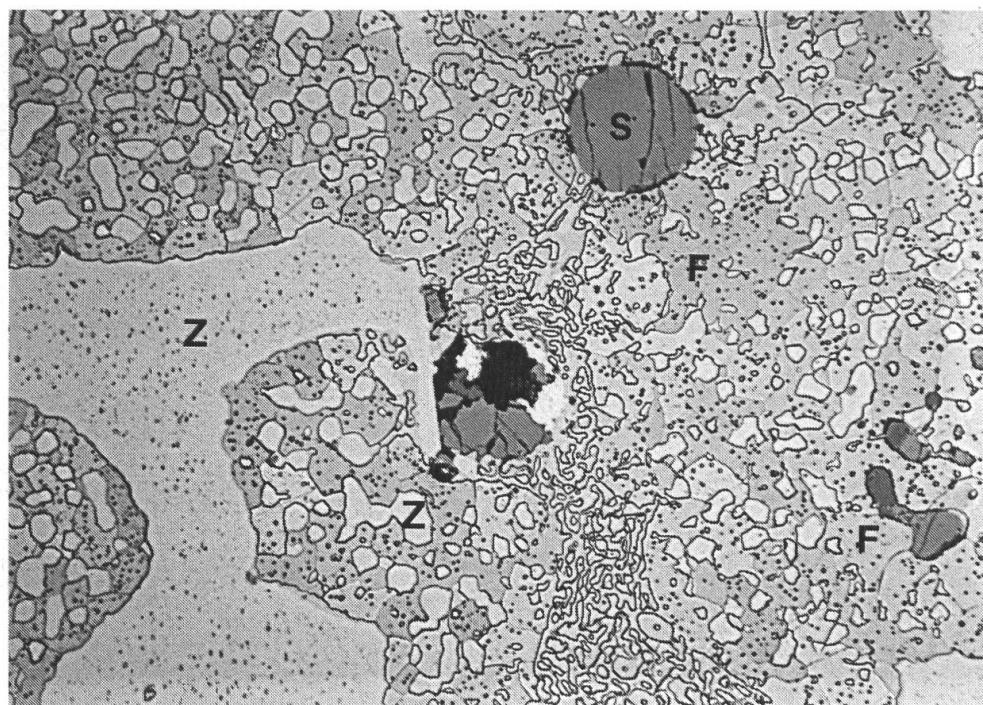


Bild 8 Glühgefüge von weiss erstarrtem Roheisen von Flecs  
Z=Zementit, F=Ferrit, S=Schlackeneinschluss  
geätzt Hellfeld 500:1

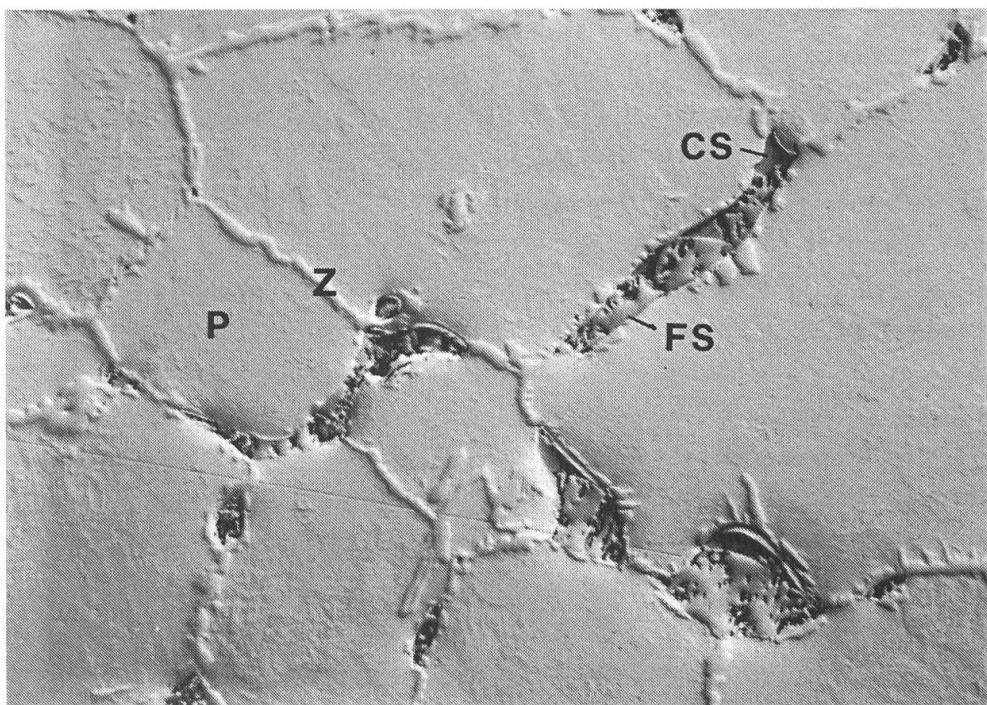


Bild 9 Eisen- und Kupfersulfide auf den Korngrenzen eines übereutektoiden Werkzeugstahles von Flecs.  
Z=Zementit, P=Perlitz, FS=Eisensulfid, CS=Kupfersulfid  
ungeätzt Interferenzkontrast 500:1

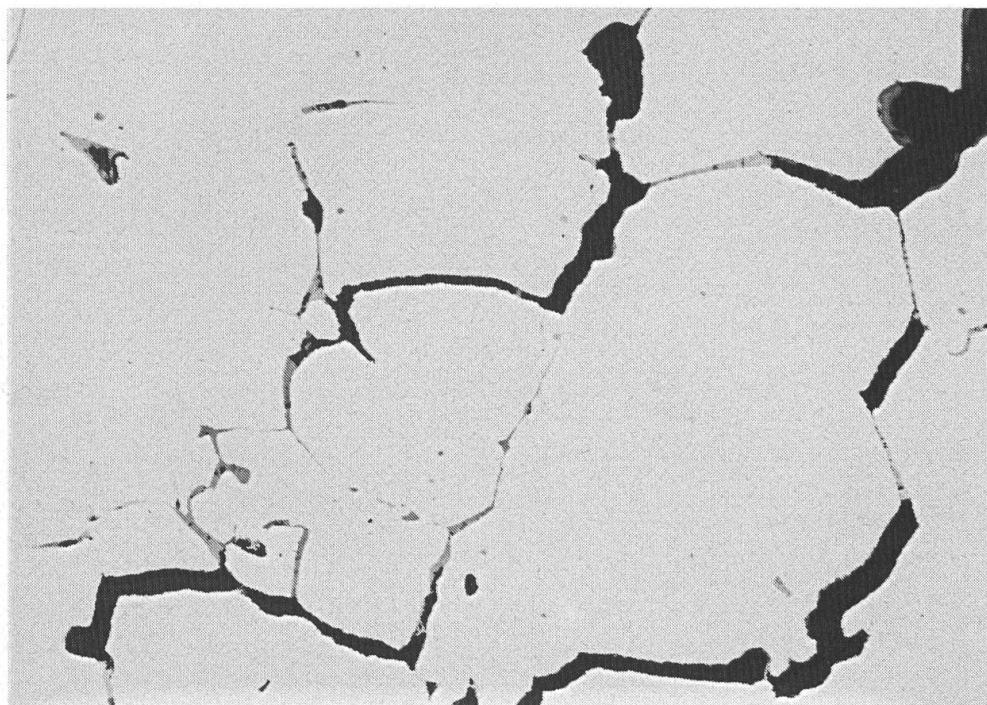


Bild 10 Korngrenzenrisse auf Stahl von Bild 9 nach Schmiedeversuch, ungeätzt Hellfeld 200:1

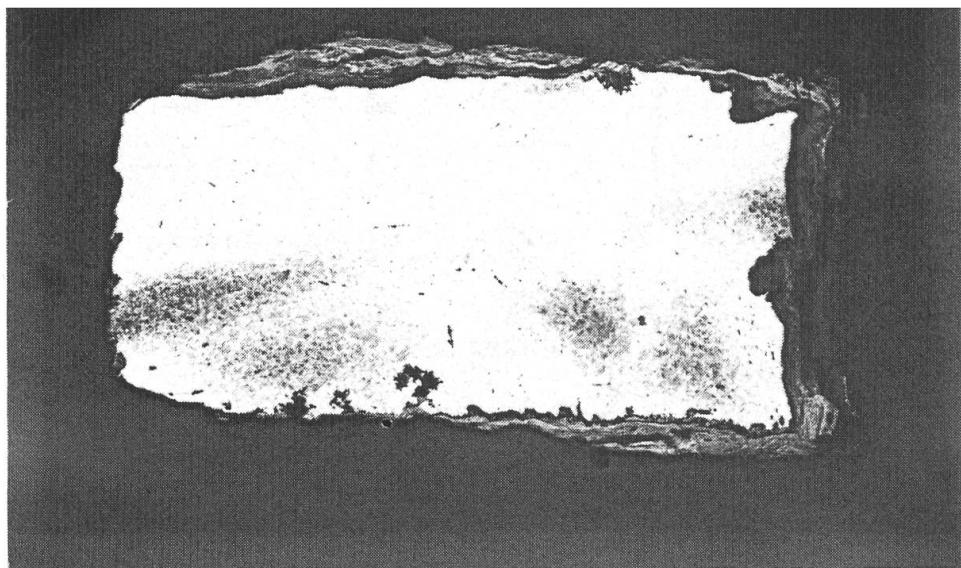


Bild 11 Querschliff durch Eisenstab von Flecs, Bereiche mit hohem C-Gehalt (dunkel) in C-armere Grundmasse (hell) geätzt Hellfeld 4:1

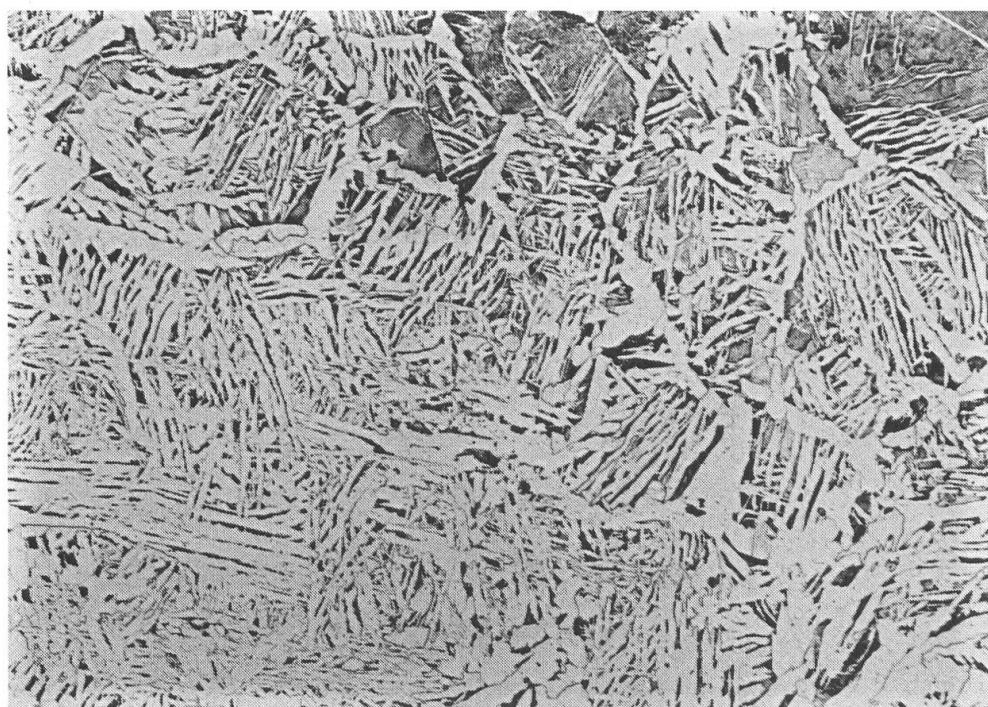
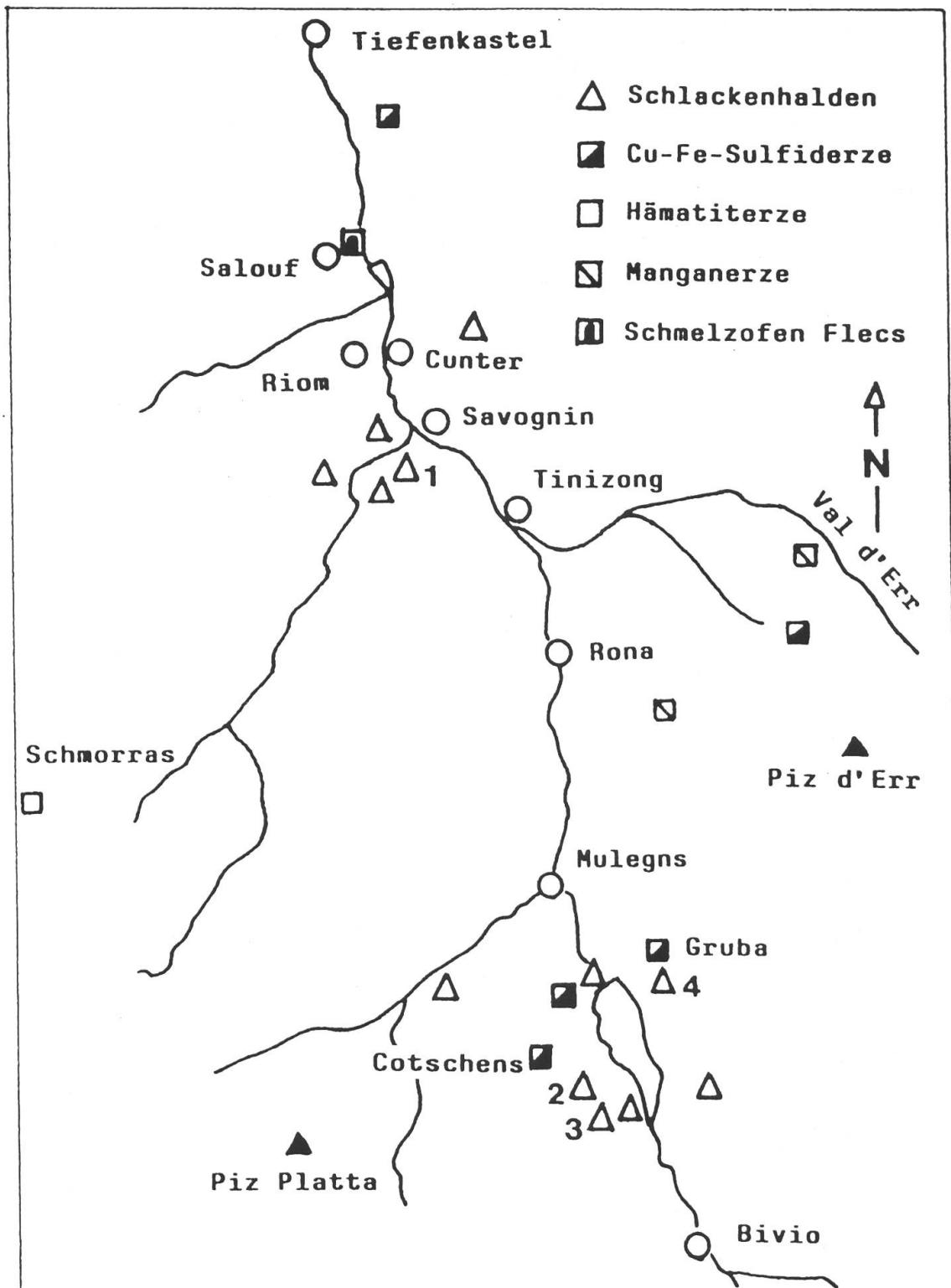


Bild 12 Eisenstab von Flecs. Übergang eines perlitischen Bereiches (dunkel) in C-ärzmere Bereiche mit Widmannstättenscher Gefügeausbildung geätzt Hellfeld 100:1



Übersicht der Schlackenhalden und Erzvorkommen im  
 Oberhalbstein (unvollständige Auswahl). Nach Lit.(3)(7)  
 1-4 Untersuchte Schlackenfundstellen