

rai et neuf de scories. De même, pour un groupe de haldes de la région de Ferreyres très proches les unes des autres, nous disposons de quatre minerais et sept scories. Cet échantillonnage étant fort restreint, les résultats restent difficiles à interpréter. Dans les deux cas, nous avons comparé les teneurs en éléments traces des minerais et des scories: quelques remarques concernant le comportement des éléments chimiques peuvent être formulées sur cette base.

On constate un fort appauvrissement en nickel (Fig. 7A.B), des scories par rapport aux minerais. Ceci montre que cet élément a un comportement sidérophile et donc une tendance à se concentrer dans le métal extrait. Le cas de l'arsenic (Fig. 7C.D) est peut-être plus compliqué: cet élément ayant un comportement volatil, il peut s'échapper sous forme de gaz lors du traitement métallurgique. L'appauvrissement des scories que l'on constate pourrait donc s'expliquer également de cette manière. Si l'on cherche à mettre en relation des scories et des minerais, il faut exclure ces deux éléments des procédures de comparaison puisque le traitement métallurgique influence de manière évidente leur comportement.

Pour les autres éléments, les données sont moins concluantes: en apparence, Cr (Fig. 7E.F), Ag, Ba, Th, Bi et U, restent stables, mais pour les trois derniers, les teneurs mesurées sont généralement trop proches des limites de détection de l'appareil pour être vraiment fiables. Le soufre se comporte sans doute comme l'arsenic, mais nos résultats ne sont pas concluants sur ce point. Pour les autres traces, Mo, Pb, Zn, Cu, Sn, Sb et Co, les écarts entre scories et minerais ne sont pas assez marqués pour en tirer des conclusions, mais il est probable que ces éléments aient des comportements plus ou moins sidérophiles, il nous semble donc nécessaire de les utiliser avec prudence.

## Conclusion

Ces premiers résultats montrent que les analyses de scories sont un moyen d'étudier à l'échelle régionale, la structure de l'industrie du fer dans l'Antiquité. Cette démarche doit absolument s'appuyer sur une bonne connaissance de sites archéologiques où l'on trouve des scories et sur des analyses en nombre suffisant. Seules des études expérimentales pourraient apporter les données qui nous manquent pour connaître en détail le comportement des éléments chimiques pendant le processus métallurgique. Ces connaissances sont nécessaires pour pouvoir élaborer une démarche adaptée aux minerais et surtout, aux objets en fer.

WOLFRAM BIRKE · MICHEL MANGIN · INGO KEESMANN

## GALLO-RÖMISCHE EISENGEWINNUNG IM MORVAN, FRANKREICH

Im nördlichen Morvan und dessen Randgebiet (Auxois) finden sich zwischen Semur-en-Auxois, Saulieu und Ste. Magnance eine Vielzahl von Schlackenplätzen (Abb. 1). Sie lassen auf eine frühere Eisenmetallurgie schließen. Die bisher ausgegrabenen Verhüttungsplätze belegen mit ihren Öfen und Halden die Gewinnung von Eisen durch Reduktion aus Erz (Mangin u. Keesmann 1984). Daneben sind zusätzlich weiterverarbeitende Stufen der Eisentechnologie nachzuweisen. Der Zeitraum der Metallgewinnung und Verarbeitung umfaßt die gallo-römische bis merowingische Periode. Die Altersstellung der einzelnen Schlackenplätze ist noch fraglich. Einzelne C<sup>14</sup>-Datierungen weisen darauf hin, daß die Verhüttung im Bereich der Lagerstätten bis ins hohe Mittelalter reicht und sich erst später in die Täler verlagerte. Für

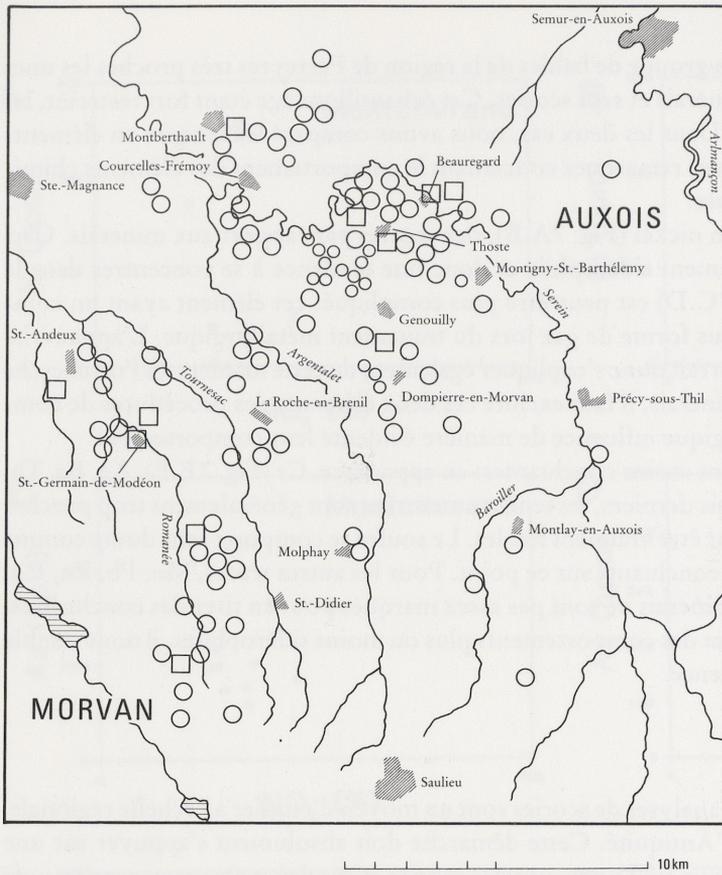


Abb. 1 Nachgewiesene Schlackenplätze (○) bzw. Ofenplätze, durch Ofenmaterial belegt (□).

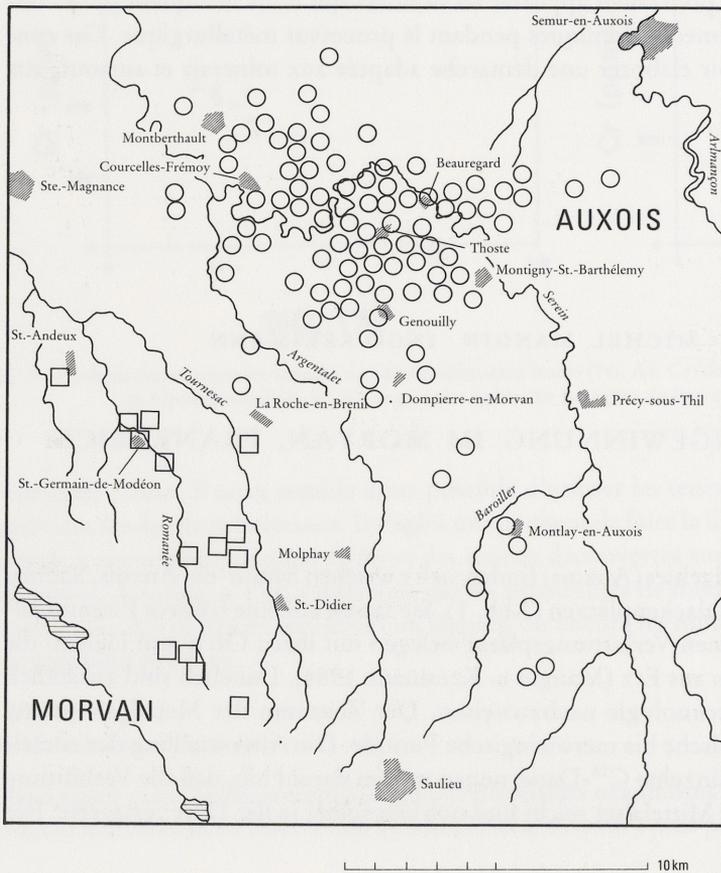
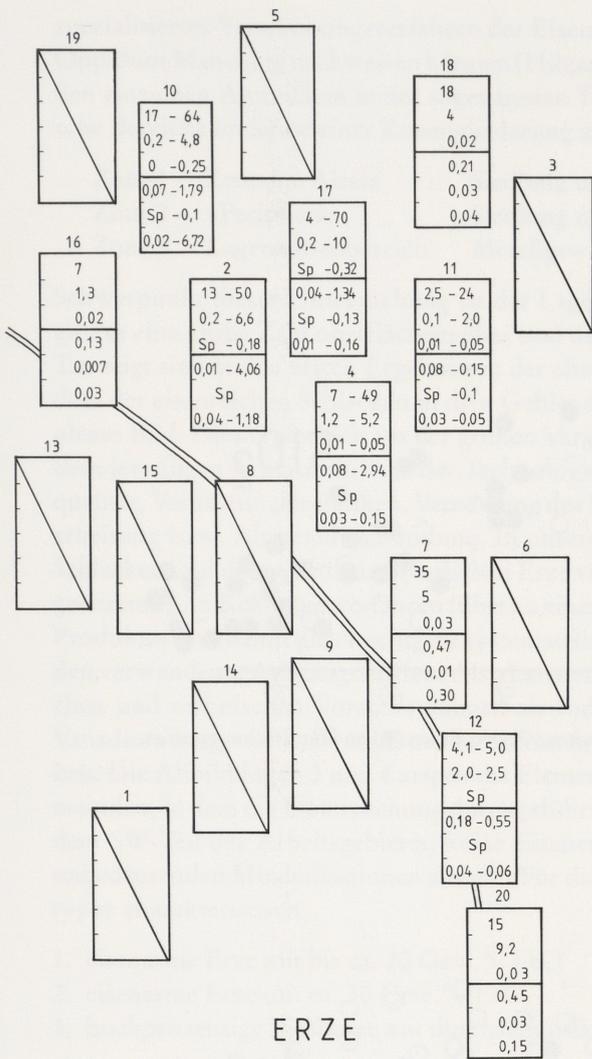
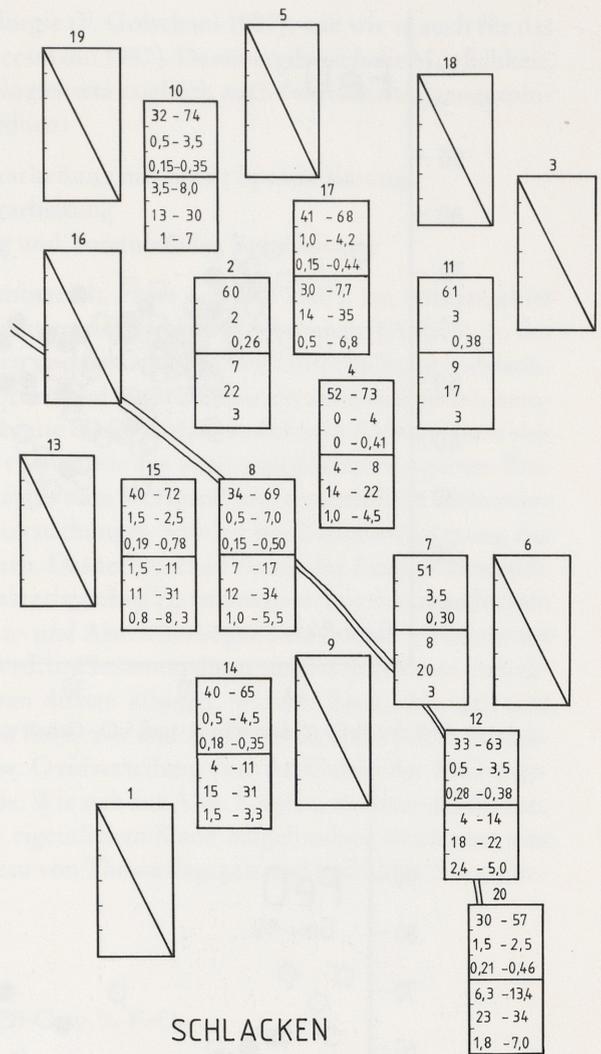


Abb. 2 Vorkommen von sedimentären Eisenerzen (○) bzw. »metamorphen Eisenerzen«/Vererzungen (□).



ERZE



SCHLACKEN

Legende: Gemeinde-Nr.

FeO MnO V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
BaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
ZnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

für Erze für Schlacken

Angaben in Gewichtsprozent. Sp = Spuren.

- |               |                         |                            |
|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Gemeinde-Nr.: | 01 Champeau             | 11 Montigny-St. Barthélémy |
|               | 02 Courcelles-Fré moy   | 12 Montlay-en-Auxois       |
|               | 03 Courcelles-lès-Semur | 13 St. Andeux              |
|               | 04 Dompierre-en-Morvan  | 14 St. Didier              |
|               | 05 Forléans             | 15 St. Germain-de-Modéon   |
|               | 06 Juillenay            | 16 Sincey-lès-Rouvray      |
|               | 07 Lacour-d'Arcenay     | 17 Thoste-en-Auxois        |
|               | 08 La-Roche-en-Brenil   | 18 Vic-de-Chassenay        |
|               | 09 Molphey              | 19 Vieux-Château           |
|               | 10 Montberthault        | 20 Villargoix              |

Abb. 3 u. 4 Verteilung von »kritischen Elementen« in Eisenerz- und Schlackenproben, aufgeschlüsselt auf die einzelnen Gemeinden.

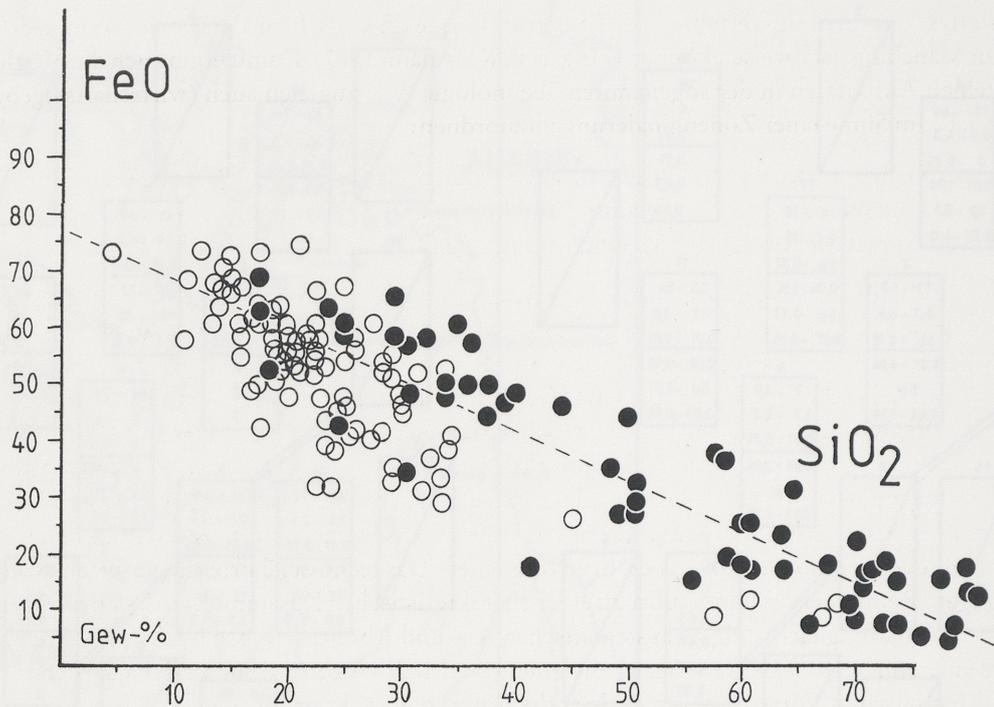


Abb. 5 FeO- (Gesamteisen)- und SiO<sub>2</sub>-Gehalt von Schlacken (○) und Erzen (●) im Untersuchungsgebiet.

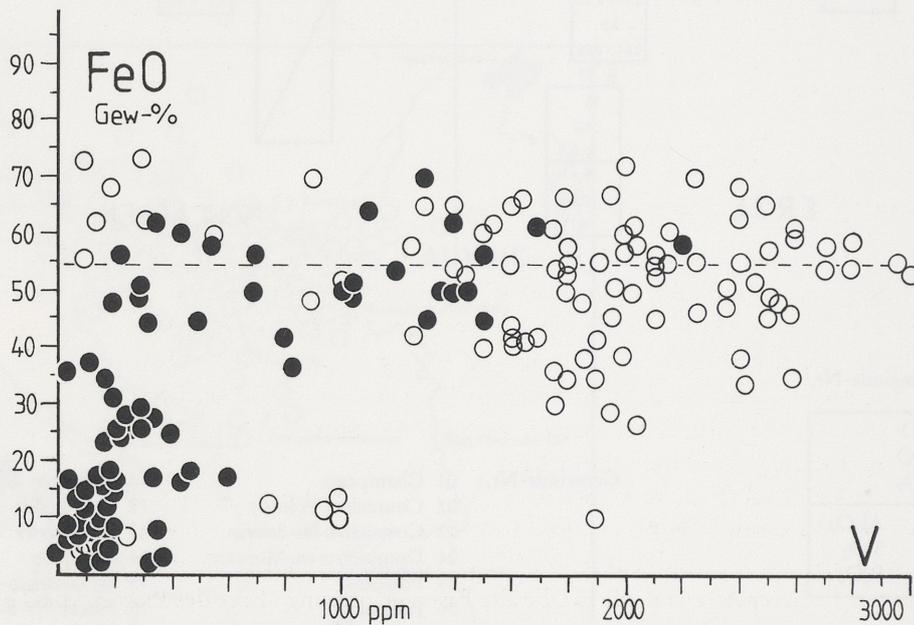


Abb. 6 Korrelation von FeO (Gesamteisen) zum Vanadiumgehalt: ● Erze. – ○ Schlacken.

die gallo-römische Periode kommt ein unmittelbarer Bezug der Roheisengewinnung auf Alesia (Alise-St. Reine, Entfernung ca. 20 km) als wirtschaftlichem Zentrum in Betracht. Nach Mangin (1983) hat speziell die Eisentechnologie für die Siedlung Alesia eine besonders große Bedeutung. Die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse an metallurgischen Schlacken aus dem Oppidum Alesia belegen ein hoch-

spezialisiertes Verarbeitungsverfahren der Eisenmetallurgie (F. Golschani 1987), wie wir es auch für das Oppidum Manching nachweisen können (Hilgart u. Keesmann 1987). Damit ergibt sich die Möglichkeit, den einzelnen Aktivitäten in der sogenannten Technologiekette zugleich auch (wirtschafts-)geographische Bereiche im Sinne einer Zonengliederung zuzuordnen:

Zone 1	Zentrum Alesia	Siedlung und Verarbeitung mit hoher Spezialisierung
Zone 2	»Peripherie«	Siedlung und Verarbeitung
Zone 3	Lagerstättenbereich	Metallgewinnung und Vorstufen der Verarbeitung

Schwerpunkt dieser Untersuchung ist der Lagerstättenbereich, Zone 3 (Birke 1987). Im Arbeitsgebiet gibt es eine große Zahl oberflächennaher und daher leicht erreichbarer Erzvorkommen (Abb. 2). In der Tat zeigt sich in den ersten Ergebnissen der chemischen und mineralogischen Untersuchung insbesondere der eisenreichen Schlacken in dem Gebiet des Morvan und Haut Auxois ein außerordentlich komplexes Bild. Dies ergibt sich aus der großen Variationsbreite dieser Abfallprodukte in Abhängigkeit von dem jeweiligen Arbeitsschritt in der Technologiekette ebenso wie aus unterschiedlichen Vorgaben: Erzqualität, Verhüttungstechniken, Veredelung des Rohmetalls zum Werkstoff und spezialisierte Weiterverarbeitung bzw. Altmetallverwendung. In unseren Untersuchungen wurden die Zusammensetzung der Schlacken und der gefundenen fraglichen Erze verglichen. Das technische Prinzip der Eisen-Rohmetallgewinnung im Rennfeuerverfahren führt zu einer charakteristischen Zusammensetzung des metallischen Produktes und damit gleichzeitig zu systematischen An- und Abreicherungen bestimmter Elemente aus den verwendeten Ausgangsstoffen. Als »Leitelemente«, d. h. Elemente, die unter den gegebenen natürlichen und technischen Voraussetzungen als Indikatoren dienen können, wurden Eisen, Mangan und Vanadium ausgewählt, ferner Barium, Zirkon und Zink bei Erzen und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$  in Schlacken. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Element- bzw. Oxidverteilung über das Gebiet der 20 Ortsgemeinden, in dem die Untersuchung durchgeführt wurde. Wie sich aus Abb. 3 ergibt, wurden im Morvan, dem SW-Teil des Arbeitsgebietes, keine Eisenerze im eigentlichen Sinne aufgefunden, wenn man von unbedeutenden Mineralisationen absieht. Für das Plateau von Thoste dagegen sind nach Abb. 5 drei Erztypen charakteristisch:

1. eisenarme Erze mit bis ca. 20 Gew.% FeO
2. eisenarme Erze mit ca. 30 Gew.% FeO
3. hochprozentige Eisenerze mit durchschnittlich ca. 55 Gew.% FeO

Dieses Plateau umfaßt das Gebiet der Gemeinden Thoste, Montberthault und Courcelles-Frémyoy. Die meisten untersuchten Schlacken entsprechen in ihrem Eisengehalt den Erzen der Gruppe 3. Neben einem ausreichend hohen FeO-Gehalt der Erze in Beziehung zu dem daraus gewonnenen Abfallprodukt ist besonders der Vanadiumgehalt der Schlacken im Untersuchungsgebiet ein wichtiges Kriterium. Der  $\text{V}_2\text{O}_3$ -Gehalt dieser Schlacken erreicht Werte von 0,30-0,80 Gew.%. Er ist damit im Vergleich zu anderen bisher von uns untersuchten Schlacken, die nach der Art des technischen Verfahrens und nach ihrem Alter vergleichbar wären, überdurchschnittlich hoch. FeO und Vanadium der Erze des Plateau von Thoste sind zueinander deutlich positiv korreliert (Abb. 6). Berücksichtigt man die verfahrensbedingte Anreicherung des Vanadiums der Erze in den Schlacken, dann kommen in der Tat als Ausgangsmaterial der Eisengewinnung die Erze des Plateau von Thoste in Betracht. Dieses Ergebnis deckt sich mit allgemeinen Aussagen früherer Autoren, die für die alte Eisengewinnung »Erze des Plateau von Thoste« bzw. Erze des »Typus Plateau von Thoste« annehmen (L. Collin 1929. – J. Joly zuletzt 1950).