

cela vient du minerai, ou de la paroi, d'une part, et si cette dernière participe au milieu propre de la réduction d'autre part.

C'est, je pense, le débat actuel et donc le sujet de mes dernières expérimentations de cette année. Je n'ai pas insisté dessus parce que ceci est une présentation générale. Vous avez sans doute remarqué que sur mes derniers fourneaux, les 60 premiers cm semblaient blanchâtres, et je dois vous avouer que là, j'ai introduit un corps moderne dans ma composition. Il s'agit d'un dioxyde de Titane, qui ne se décompose qu'au-dessus de 1850°. Il a été introduit à 2 cm à l'intérieur des parois.

J'avais en effet remarqué depuis longtemps que mes parois perdaient en moyenne, au niveau de la tuyère et dans les 25 cm au-dessus, entre 4 à 8 cm d'épaisseur. Vous avez pu voir les agressions différentielles sur des coupes que je vous ai montré et je ne peux pas croire qu'un matériau en fusion n'aille pas se mêler avec la scorie produit par le minerai, car j'ai des colorations caractéristiques venant du minerai et de l'atmosphère de four qui apparaissent sur mes bords de four. On a beaucoup ri, à un moment en France, parce que j'utilisais pour les parois calcaires, l'expression »vert céladon«, souvent utilisée en céramique orientale, mais elle décrit parfaitement le »vert« des vitrifications de mes parois calcaires, et signale des conditions très précises d'élaboration.

Si, dans les analyses, on retrouve maintenant dans les échantillons de cette année un énorme pic de Titane, il faudra bien admettre que les parois de four jouent un rôle extrêmement important dans la réduction, ce qui ne pouvait pas être démontré dans des fourneaux théoriques construits en réfractaire.

MARIE-LUISE HILLEBRECHT

HOLZKOHLEN ALS INFORMATIONSQUELLE DER ARCHÄOMETALLURGIE ERGEBNISSE AUS UNTERSUCHUNGEN IM BEREICH DER HARZREGION

Bis ins 19. Jahrhundert hinein war das Holz für den wirtschaftenden Menschen der Hauptenergieträger. Holzkohlen waren für Schmelzprozesse und die Metallverarbeitung (z. B. Schmiede) wegen der damit zu erzielenden hohen Temperaturen in Verbindung mit einem gleichmäßigen und gut regulierbaren Brand unverzichtbar. So sind Holzkohlen in einer großen Anzahl archäologischer Fundkomplexe, insbesondere den industriearchäologischen, enthalten. Im Bereich ehemaliger Metallproduktions- und Verarbeitungsstätten, von Glas- und Töpferöfen ist immer auch mit dem Fund von Holzkohlen zu rechnen. Die enge Verbindung legt nahe, die Holzkohlen als Informationsquelle für die Archäometallurgie zu nutzen, um weitere Hinweise auf den wirtschaftlichen und ökologischen Rahmen eines Fundkomplexes zu erhalten.

Zur Beurteilung der Stärken und Schwächen von Holzkohleuntersuchungen ist die Kenntnis der Methodik wichtig. Deshalb soll im folgenden zuerst ein kurzer Abriss der Methodik gegeben werden. Beispiele für eine abgeschlossene und eine noch laufende Untersuchung aus der Harzregion schließen sich an. Es folgen Ergebnisse, die am Beispiel des Harzes bisher gewonnen werden konnten. Den Abschluß der Betrachtungen bildet die Frage des Informationsinhaltes der Holzkohlen für den Archäometallurgen

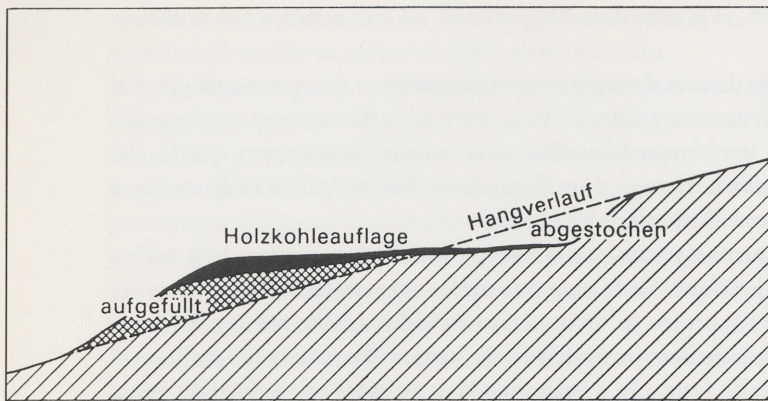


Abb. 1 Schematische Darstellung eines gut ausgeprägten Platzmeilers im Hang.



Abb. 2 Perspektivische Darstellung eines gut ausgeprägten Platzmeilers im Hang.

sowie die damit im Zusammenhang stehenden weiteren Ziele und Möglichkeiten der Holzkohleuntersuchungen¹.

Die Methodik der Holzkohleuntersuchungen

Voraussetzung der Untersuchungen ist die Erfassung von Holzkohlen in primärer oder sekundärer Lagerung. Die primäre Lagerung umfaßt die Herstellungsorte, d. h. Gruben- und Platzmeiler, die sekundäre Schlackenplätze und weitere Relikte von Hüttenstätten. Günstigste Voraussetzung für Grundlagenuntersuchungen bildet die Vergesellschaftung von beiden in einem Gebiet, weil hier direkte Rückschlüsse möglich bzw. ein Bedingungsgefüge zwischen bergmännischer Tätigkeit im weitesten Sinne und nachwachsenden Rohstoffen deutlich wird. Der Nachweis, welche Verbrauchsstätte aus welcher Produktionsstätte den Energieträger bezog, kann hierdurch erbracht werden.

Ergänzende Untersuchungen in diesem Zusammenhang bietet die Analyse von Holzkohlen aus dem häuslichen Brand sowie von in feuchter Lagerung erhaltenen Hölzern. Die laufenden Untersuchungen im Rahmen der Grabung Düna bei Osterode/Harz belegen die gute gegenseitige Ergänzung zwischen der Bestimmung anderer makroskopischer Reste (Früchte, Samen, Grasreste) und der Holzkohle.

Herstellung und Verbrauch von Holzkohle haben Spuren im Gelände hinterlassen, die untersucht und ausgewertet werden können. Als Relikte der Holzkohleherstellung lassen sich die Standorte von Gruben und Platzmeilern als Eintiefungen bzw. Verebnungen im Gelände mit unterschiedlicher Holzkohleauflage und Schwarzfärbung des Bodens durch Holzkohlepartikel und Holzteer nachweisen (Abb. 1 u. 2). Überlagerungen einzelner Meiler unterschiedlicher Konfiguration ergeben Hinweise zur relativen Chronologie: Eine Grube wird beispielsweise von einem kleinen Meiler überlagert, ein kleiner Meiler von einem großen. Das Netz von Vergleichsfunden, bei denen die Überlagerungsabfolge immer gleich ist, gibt Ansatzpunkte zur relativen Chronologie, die durch weitere Datierungen wie z. B. ¹⁴C, Keramikbegleitfunde, ggf. Archivalien und die Abfolge von Waldbildern absolute Zeitangaben erlaubt.

Die Dichte der Meiler in einem Areal läßt Rückschlüsse auf die wirtschaftliche Bedeutung der örtlichen Verkohlung zu (Abb. 3). Dazu gehört auch die Feststellung, ob es sich um eine zeitlich kurze oder um

¹ Zu diesen Fragen: Baumgarten 1933. – Bornhardt 1943. – Brown 1945. – Couvert 1968. – Dick 1948. – Ellenberg 1974. – Geisler 1986. – Greguss 1959. – Grosser 1977. – Hartmann 1953. – Hartmann u. Schnelle 1970. – Higounet 1965. – Hillebrecht 1982; 1986. – Laurop 1810. – Lohr-

mann 1979. – Möller 1986. – Müller-Stoll 1936. – Pelet 1973; 1978. – Ritter 1982. – Rubner 1960. – Schmidt 1941. – Schubert 1986. – Schweingruber 1976; 1978. – Vernet 1973. – Willutzki 1962. – Wilsdorf, Herrmann u. Löffler 1960.

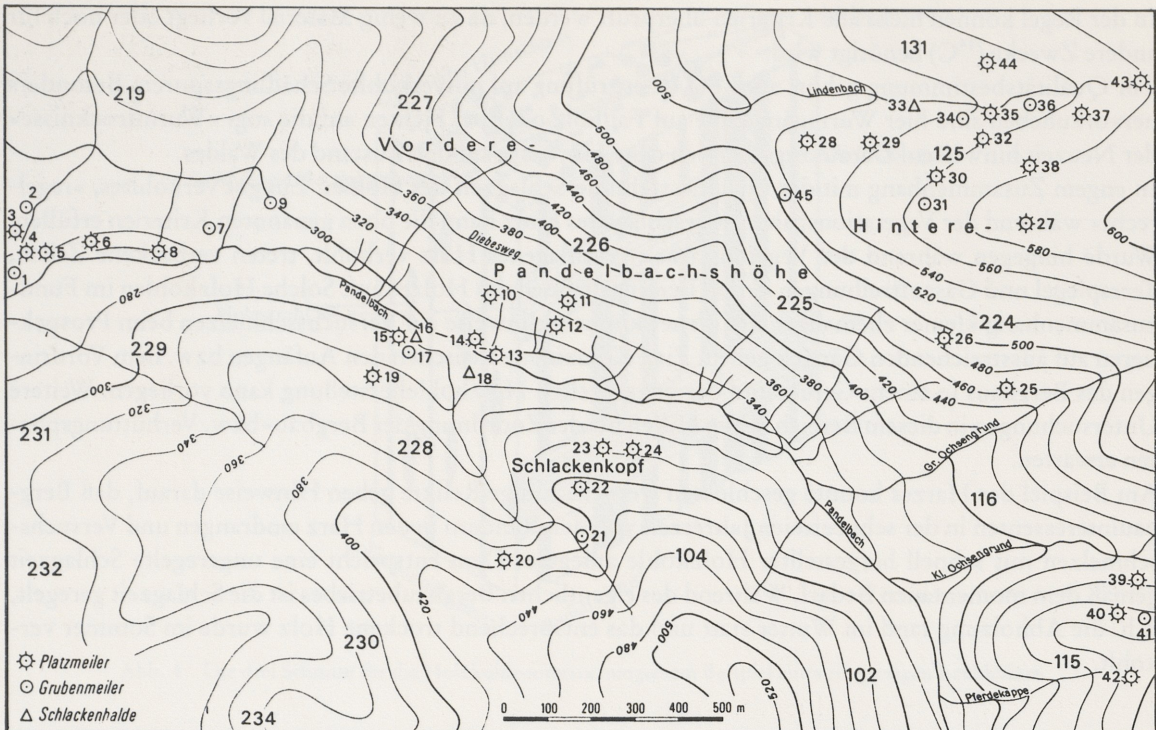


Abb. 3 Vergesellschaftung von Schlackenhalde, Gruben- und Platzmeilern in einem Untersuchungsgebiet (Pandelbachgebiet am Harzrand zwischen Seesen und Münchehof). Die Dichte der Fundplätze weist auf größere Bedeutung hin.

eine Jahrhunderte währende Bedeutung handelt. Beides konnte für den Bereich Harz/Vorharz belegt werden.

Folgende Untersuchungen werden an den Holzkohlen selbst vorgenommen:

- a) Qualitätsbestimmung und Ermittlung der Schlagzeit des Holzes,
- b) Bestimmung der Dicke des Ausgangsholzes und als wichtigste Analyse
- c) die mikroskopische Bestimmung der Hölzer nach anatomischen Merkmalen.

a) Qualitätsbestimmung und Ermittlung der Schlagzeit des Holzes

Die Qualität der Holzkohle gibt Aufschluß darüber, in welcher Weise der Wald genutzt wurde. Eine gute Verkohlung gibt Anhaltspunkte für die sorgsame Verwendung des zur Verfügung stehenden Holzes, eine schlechte für die holzintensive, nicht auf Schonung des Rohmaterials Wald bedachte Verkohlung. Ferner ermöglicht die Qualitätsbestimmung der Verkohlung Hinweise auf den Stand der betreffenden Technologie.

Diese Analyse kann nach Kriterien der alten forstwirtschaftlichen Literatur erfolgen. Nach Laurop² ist sie so zu fassen: »Wenn die Holzkohle nicht leicht zerbricht, die Hand nur wenig färbt und auf dem Bruch stark glänzt, so ist dies ein Beweis von einer guten Kohle. Eine gut gebrannte Kohle muß auch beim Aufschlagen hell klingen, keine zu weiten Risse haben und von beachtlicher Schwere seyn. Gut gebrannte Kohlen müssen ferner die Textur des Holzes, woraus sie entstanden, deutlich erkennen lassen, ohne jedoch unverkohlte Stellen zu haben; sie müssen sich nach jeder Richtung leicht brechen lassen und stumpfkantige Bruchstücke liefern. Sie müssen im offenen Feuer verglühen, ohne Rauch und starke Flammen zu geben, aber auch gleichmäßig und stark heizen.«

² Laurop 1810, 261.

In der Regel können nicht alle Kriterien überprüft werden, da zu wenig Material vorliegt oder noch für andere Zwecke (^{14}C) benötigt wird.

Zur Qualitätsbestimmung gehört auch die Überprüfung auf mitverkohlte Schädlingsspuren. Besonders hervorzuheben sind hier Wurmgänge, die auf Fallholz oder bei Fichten auf die sog. »Wurmtröcknisse« der Neuzeit hinweisen. Daraus ergeben sich erste Hinweise auf den Zustand des Waldes.

In engem Zusammenhang mit der Qualität steht die Schlagzeit des Holzes. Ein gut verkohltes, »regelrecht« während der Vegetationsruhezeit geschlagenes Holz kann die oben genannten Kriterien erfüllen. Wurde hingegen während der Vegetationszeit geschlagenes Holz verkohlt, treten verbackene Zellen, Teerspiegel und Gasauftreibungen in den Leitungsbahnen des Holzes auf. Solche Holzkohlen im Fundzusammenhang kleiner ehemaliger Rennfeuer können Hinweise auf Versuchsschmelzen beim Prospektieren auf austreichenden Gängen geben. Eine Koinzidenz zwischen den Anfängen bzw. dem Vordringen des Bergbaus in einem Gebiet und der unregelmäßigen Holzkohleherstellung kann vorliegen. Weitere Untersuchungen in diesem Bereich lassen Hilfen bei der Zuordnung der Bergbau- bzw. Verhüttungsphasen erwarten.

Am Beispiel des Harzes konnte geschlossen werden: Einige Relikte geben Hinweise darauf, daß Bergbauinteressenten in der schneefreien Jahreszeit von den Rändern in den Harz eindringen und Versuchsschmelzen mit schnell hergestellter Holzkohle anlegten. Dem entspricht eine unregelmäßige Schlagzeit gemäß dem momentanen Bedarf. Während des eigentlichen Bergbaubetriebes ist die Schlagzeit geregelt, d.h. die Abholzung fand im Winter statt und das entsprechend trockene Holz wurde im Sommer verkohlt.

b) Bestimmung der Dicke des Ausgangsholzes

Mit Hilfe einer Kreisschablone lassen sich anhand der Jahresringe die (Mindest-)Durchmesser der Ausgangshölzer bestimmen. Die Zusammensetzung der Proben ergibt Hinweise auf schwache oder geringmächtige (Knüppelholz) und starke (z.B. dicke Äste, Stammholz) Sortimenten. In Verbindung mit der Holzartenbestimmung erlaubt das Rückschlüsse auf die Waldbetriebsform, nämlich Nieder-, Mittel- oder Hochwald. Charakteristische Abweichungen sind ersichtlich. So konnte z.B. die Abholzung eines ehemaligen Hutewaldes im Vorharz unter dem Einfluß des Energiemangels im Harz wahrscheinlich gemacht werden³. Wirtschaftliche Verflechtungen benachbarter Gebiete werden deutlich.

c) Mikroskopische Bestimmung

Die wichtigste unter den genannten Methoden ist die mikroskopische Bestimmung der Holzkohlen. Sie erfolgt mit der Auflichtmethode bei 40-120facher Vergrößerung nach anatomischen Merkmalen⁴.

Pro Holzkohle werden drei Schnitte (Hirn- oder Querschnitt, Tangentialschnitt, Radialschnitt) oder besser Brüche hergestellt (Abb. 4). Die Brüche sind zwar selten eben, was die Betrachtung erschwert, erhalten aber die Struktur der Zelle besser als ein Schnitt. Das erspart das Einbetten in Kunstharz, was zur Erhaltung der Zellstruktur vor dem Schneiden notwendig wäre.

Aufgrund charakteristischer Unterschiede zwischen den Hölzern können Bestimmungen bis Eiche (*Quercus sp.*), Ahorn (*Acer sp.*), Birke (*Betula sp.*) etc. gemacht werden. Eine nähere Bestimmung ist in der Regel nicht möglich. Nur wenn aufgrund vegetationsgeschichtlicher Erwägungen das Vorkommen anderer Arten der gleichen Gattung ausgeschlossen werden darf, können Angaben wie z.B. Hasel (*Corylus avellana L.*) oder Gemeine Buche/Rotbuche (*Fagus sylvatica L.*) gemacht werden. Da Farbmerkmale und z.T. Zellinhalte fehlen, können bei anatomisch nahezu gleichen Hölzern, wie beispielsweise Apfel

³ Hillebrecht 1982, 100-109.

⁴ Müller-Stoll 1936. – Schmidt 1941. – Greguss 1959. – Ver-

net 1973. – Schweingruber 1976. – Grosser 1977. – Hillebrecht 1982.

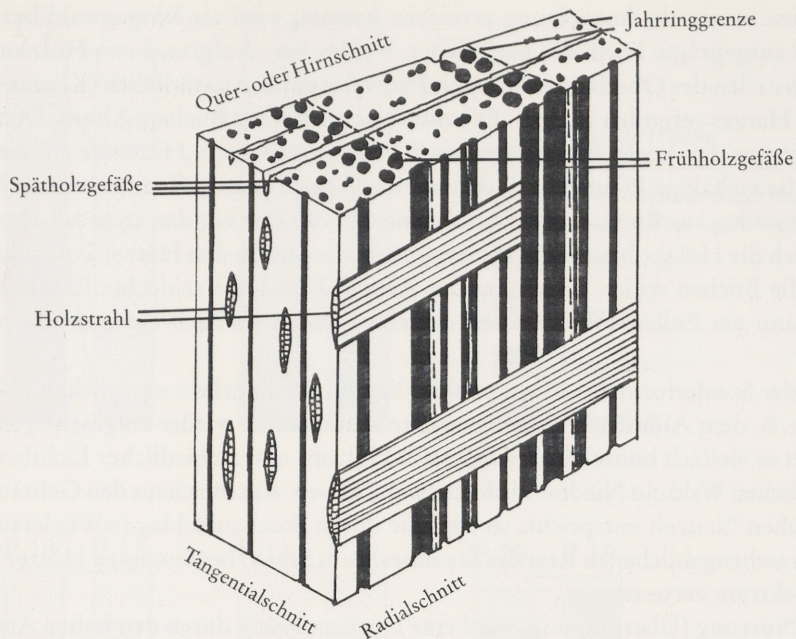


Abb. 4 Die drei Schnitte für die Holzkohleuntersuchungen am Beispiel eines ringporigen Laubholzes.

und Birne, nur Bestimmungen bis »cf. *Malus sylvestris* (Apfel) oder *Pyrus communis* (Birne)« gemacht werden. Als schwierig sind in diesem Zusammenhang besonders die Rosaceen einzustufen.

Wenden wir uns nun der Auswertung zu. Nach der Bestimmung aller Holzkohlen eines Fundzusammenhangs erfolgt die Auswertung unter folgenden Fragestellungen:

Wurde pro Meiler jeweils gleichwertiges Holz, d. h. ausschließlich Hartholz (z. B. Eiche, Buche) oder Weichholz (z. B. Fichte, Pappel) verkohlt? Wurde beides gemeinsam verarbeitet? Letzteres stellt bei einer Holzkohleproduktion in Platzmeilern erhebliche höhere Anforderungen an den Köhler bei der Beschickung des Meilers, um zu verhindern, daß das Weichholz verkohlt, während das Hartholz nur kohlt (mdl. Auskunft von Herrn Köhler Hildebrandt, Reliehausen 1978).

Wie ist in diesem Zusammenhang die Verkohlungs-technik einzuschätzen? War das Ausgangsholz hoch- oder minderwertig? Gibt es Hinweise auf Fallholz, Holz aus Waldschäden (Borkenkäferbefall)? Was für ein Waldbild kann aus der Verbindung von Dicke und Zusammensetzung der Hölzer erschlossen werden? Wird aus dem Holzkohlespektrum eine Auswahl oder Zuweisung von Hölzern wahrscheinlich? Deutet es auf eine regellose Entnahme hin? Die sich durch alle Auswertungen ziehende Standardfrage lautet: Wurde das Holz ausgewählt oder stand es in genau dieser Dicke, Zusammensetzung und Wertigkeit natürlich zur Verfügung? Kam die Holzkohle aus der unmittelbaren Umgebung oder wurde sie aus entfernten Gebieten antransportiert?

Weitere Aufschlüsse zu diesen Fragen ergibt zum einen eine Zuordnung der Hölzer zu bestimmten Pflanzengesellschaften aus botanischer Sicht⁵, zum anderen ihre Klassifikation aus forstlicher Sicht⁶. Aus der Verbindung von Holzart und -stärke läßt sich im Idealfall das Waldbild rekonstruieren. Festzustellen ist, ob es sich um einen Hoch-, Mittel- oder Niederwald handelte. Mischformen wie z. B. ein Niederwald mit einigen ausgewachsenen Oberbäumen können unter günstigen Bedingungen erfaßt werden. Geht man der Frage des menschlichen Eingriffs in den Wald nach, so ergeben sich folgende Klassifikationen:

Ein vom Menschen seit Jahrhunderten unberührter Wald, der unter den gegebenen Boden- und Klima-

⁵ Ellenberg 1974.

⁶ Rubner 1960.

bedingungen seine maximale Ausprägung erreichen konnte, wird als Klimaxwald bezeichnet. In ihm liegt die optimal ausgeprägte Form des natürlichen Waldes vor. Aufgrund von Holzkohleanalysen aus frühen Schlackenstellen des Oberharzes konnten Hinweise auf den natürlichen (Klimax-)Wald der inneren Bereiche des Harzes gefunden werden. Es handelt sich um einen Buchen-Ahorn-Dunkelwald, der im krassen Gegensatz zu den heute überwiegenden Fichtenforsten steht. Hinweise auf diesen ehemaligen Wald gibt auch die vielfältige Pflanzenwelt der vereinzelt noch anzutreffenden bunten Bergwiesen. Die Waldzusammensetzung aus Buche und Ahorn konnte für die Zeit vor den archivalischen Überlieferungen erstmals durch die Holzkohleanalyse nachgewiesen werden. In den Harzer Pollendiagrammen spiegeln sich zwar die Buchen wider, nicht aber der Ahorn. Durch die schlechte Erhaltungsfähigkeit des Ahornpollens kann ein Pollen sowohl einen einzelnen Baum als auch einen größeren Baumbestand repräsentieren.

Abgesehen von der Sonderform des Klimaxwaldes liegt in der Regel ein natürlicher Wald vor, der nach Eingriffen, wie z. B. dem Abholzen, ohne besondere Maßnahmen wieder aufgeschlagen ist. Im Bereich des Harzes bildet er vielfach bunte Mischwälder mit Hölzern unterschiedlicher Lichtbedürftigkeit.

Erfolgt im natürlichen Wald ein Nieder- bis Mittelwaldbetrieb, was durchaus den Gebräuchen im Mittelalter und der frühen Neuzeit entspricht, so sind die durch Stockausschlag (=Wiederausschlagen eines Baumes aus dem stehengebliebenen Rest des Stammes, dem Stock) begünstigten Hölzer besonders stark im Holzkohlespektrum vertreten.

Bei sehr starker Nutzung (Übernutzung) wird eine Degenerierung durch den hohen Anteil an Destruktionsanzeigern wie Birke, Eberesche, Hasel, Weide und Pappel sichtbar. Auch heute sind auf Kahlschlägen und nach Windwürfen besonders Birken und Ebereschen als Pionierbäume zu finden. Diese Arten bilden zwar einen natürlichen Folgebestand, zeigen aber vorherige Eingriffe an. Dabei sind für das Mittelalter und die frühe Neuzeit menschliche Eingriffe wahrscheinlicher als große Windwürfe, da diese oft in Zusammenhang mit unangepaßten standortfremden Hölzern stehen, die erst seit der jüngeren Neuzeit große Bestände bilden.

Ein großer Anteil an Destruktionsanzeigern im Zusammenhang mit bestimmten Schlackenhaldden zeigt an, daß schon vor dem erfaßten Zeithorizont Eingriffe stattgefunden haben müssen. Hier ist jeweils zu klären, ob es sich um vorangehende Veränderungen im Zusammenhang mit dem Bergbau, der Glasherstellung oder einer Töpferei handelt – also noch eine ältere als die erfaßte Phase vorliegt – oder ob eine andere Nutzungsart, wie z. B. die Hute oder Bauholzgewinnung anzunehmen ist.

Interessante Hinweise ergibt das Holzkohlespektrum auch auf lokale Gegebenheiten. Flußauen oder Bruchwaldgebiete mit Erlenbeständen können sich ausprägen. Besonders interessant in Bergbaugebieten kann die Frage sein, ob aufgrund technischer Eingriffe (Wasserleitungssysteme, »Wasserkünste«) Entwässerungen stattgefunden haben, die zu einer Biotopveränderung führten.

Zwei Untersuchungsbeispiele aus dem Harzbereich

Am Beispiel des Pandelbachgebietes sollen einige Aussagemöglichkeiten erhellt werden⁷. Das Gebiet des Pandelbaches bei Münchhof im Westharz liegt im Dreieck zwischen Seesen und Gittelde am Harz und Wildemann im Harz. Es ist heute zu ca. 70% mit Fichten bewachsen. Daneben gibt es einige Buchen-(rein)bestände, an Bachläufen auch Erlen; an Wegeeinschnitten treten Buchen und Vogelbeeren auf. Ganz vereinzelt finden sich Weide, Pappel und Ahorn.

In diesem Gebiet liegt eine Vergesellschaftung von Holzkohleproduktion (Grubenmeiler, kleine und große Platzmeiler) und Verhüttung vor (Abb. 3).

Die räumliche Dichte der erfaßten Meiler weist auf eine wirtschaftliche Bedeutung hin, die weit über den örtlichen Bedarf der angrenzenden Siedlungen (z. B. als Schmiedekohle) hinausgeht. Weitere Meiler sind in den wegen zu dichten Bewuchses (Dickungen) nicht erfaßten Arealen zu vermuten.

⁷ Vgl. Hillebrecht 1982, 27 ff.

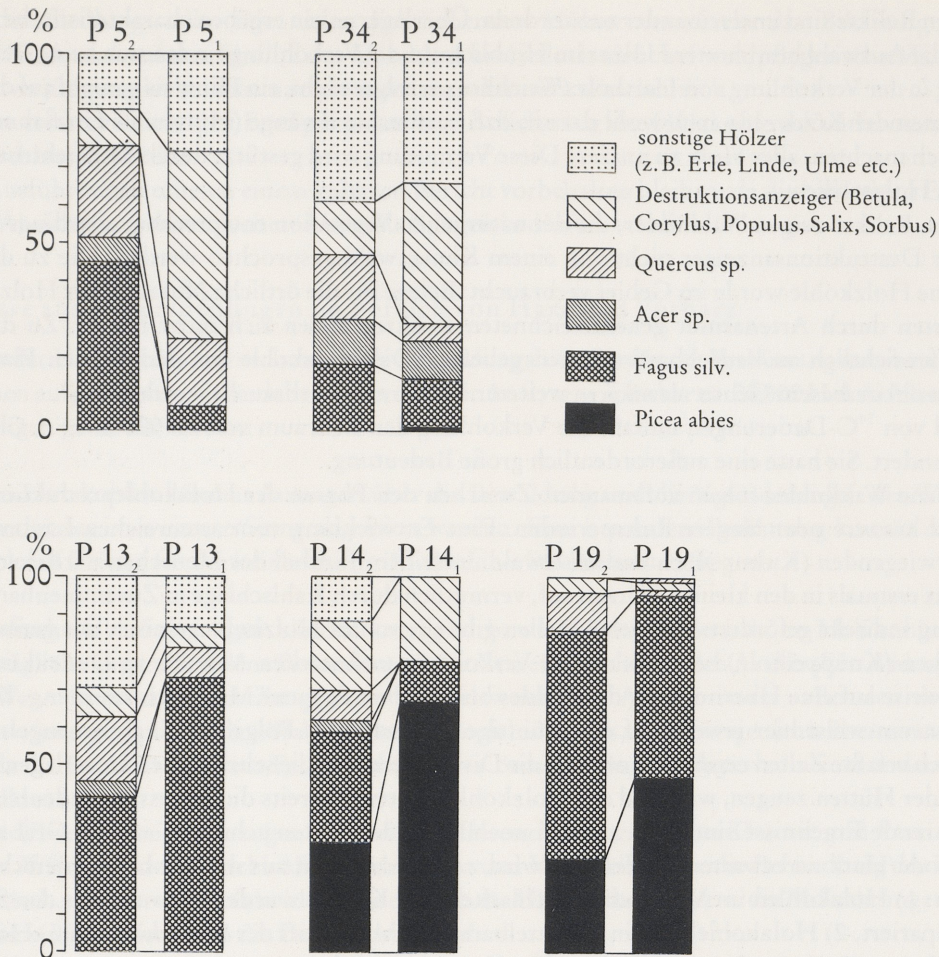


Abb. 5 Pandelbachgebiet zwischen Seesen und Münchhof am Harzrand: Anteilsveränderung der einzelnen Hölzer bei sich überlagernden Meilern. Fundangaben: P 5₂: Grube unter kleinem Platz P 5₁. – P 34₂: Grube unter kleinem Platz P 34₁. – P 13₂: kleiner Platz unter großem Platz P 13₁. – P 14₂: kleiner Platz unter großem Platz P 14₁. – P 19₂: kleiner Platz unter großem Platz P 19₁.

Die Überlagerung von Meilern zeigt ein zeitliches Nacheinander von verschiedenen Verkohlungsperioden an (Abb. 5). Die sich überlagernden unterschiedlichen Formen lassen eine relative Chronologie in der Abfolge zu: Gruben = älteste Horizonte (Mittelalter), kleine Meiler = Mittelstellung (spätes Mittelalter/frühe Neuzeit) und große Meiler = jüngste Periode (bis 19./20. Jahrhundert).

Eine Ausnahme in diesem Zusammenhang bilden zwei benachbarte junge Gruben mit Fichteninhalt. Nach einem Hinweis von A. Kurzweil, Berlin, sind sie wohl als Teerschwellen anzusehen.

Die lokalisierten Schlackenplätze zeigen »bunte« Holzkohlezusammensetzungen von Buche, Eiche, Erle, Ahorn, Pappel, Birke, Weide, Hasel und Eberesche. Ihnen entsprechen die ebenfalls »bunten« Holzkohlen aus den Gruben und kleinen Plätzen. Ein Unterschied zeigt sich jedoch: Während in den Schlackenstellen und Gruben die Fichte noch nicht auftritt, ist sie in einigen kleinen Plätzen schon vorhanden und macht dann in den artenarmen großen Plätzen bis zu 100% aus. In den Gruben und kleinen Plätzen ist nahezu überall Ahorn vorhanden, in den großen fehlt er. Interessant ist auch die Beobachtung der Destruktionsanzeiger. Bei den die Gruben überlagernden kleinen Plätzen sind sie vergleichsweise angestiegen, ergeben also Hinweise auf die vorangegangene Periode. Ebenso sind schon in den Gruben Destruktionsanzeiger in unterschiedlichen Anteilen enthalten. Das läßt die Frage offen, ob dies aus dörflicher Nutzung (Bauholz, Hute, Brennholz) resultiert oder ob ein bergmännischer Eingriff vorausging. Kurz zusammengefaßt ergaben die Untersuchungen:

Die älteren Relikte sind untereinander zuzuordnen. Überlagerungen ergeben charakteristische Differenzen. Für die Auswahl bestimmter Hölzer im Hinblick auf die Verkohlung finden sich keine Belege. Eine Trennung in der Verkohlung von Hartholz/Weichholz erfolgte nicht, ein Hinweis sowohl auf das technische Können der Köhler als auch wohl darauf, daß bestimmte Zwänge (Hütten als Großabnehmer) es erforderlich machten, alles Holz zu nutzen. Diese Vermutung wird gestützt durch das Spektrum der verwendeten Holzstärken.

Die älteren Relikte zeigen Waldbilder, die der natürlichen Vegetation entsprechen; allerdings kann aufgrund der Destruktionsanzeiger nicht von einem Klimaxwald gesprochen werden. Die zu dieser Zeit gewonnene Holzkohle wurde im Gebiet verbraucht. Belege für die örtliche Nutzung der Holzkohle aus den jüngsten durch Artenarmut gekennzeichneten Relikten lassen sich nicht finden. Zu dieser Zeit wurde offensichtlich an benachbarte Hütten geliefert. Die Holzkohle aus den kleinen Platzmeilern dürfte sowohl in diesem Gebiet als auch in weiterer Entfernung verbraucht worden sein.

Aufgrund von ^{14}C -Datierungen umfaßt die Verkohlung den Zeitraum von ca. 900 ± 55 n. Chr. bis ins 19. Jahrhundert. Sie hatte eine außerordentlich große Bedeutung.

Verschiedene Waldbilder folgen aufeinander. Zwischen den Phasen der Holzkohleproduktion blieben dem Wald kürzere oder längere Ruheperioden. Eine Entwicklung vom artenreichen Laubmischwald zum überwiegenden (Kultur-)Fichtendunkelwald unter dem Einfluß des Menschen wird deutlich. Die Fichte tritt erstmals in den kleinen Plätzen auf, vermutlich durch Kahlschläge in Zusammenhang mit der Verhüttung indirekt gefördert. An vielen Stellen gibt ein buntes Holzkohlegemisch mit geringen Ausgangsstärken (Knüppelholz) bei erstklassiger Verkohlung und starken Anteilen an Destruktionsanzeigern Hinweise auf eine Übernutzung des Waldes bei gleichzeitig guter Materialausnutzung. Das Holzkohlespektrum weist hier jeweils auf eine künftige Rezession als Folge des Energiemangels hin. Für archivalisch erfaßte Zeiten ergibt sich oftmals die Diskrepanz, daß die schriftlichen Unterlagen von einer Blütezeit der Hütten zeugen, während das Holzkohlespektrum bereits die Rezession andeutet.

Weiterführende Ergebnisse sind auch aus den noch laufenden Untersuchungen aus der Grabung Düna bei Osterode/Harz zu erwarten. Holzkohle wird z. Zt. untersucht aus drei grob zu unterscheidenden Bereichen: 1) Holzkohlen im Verbund mit Schlacken; die Kohlen wurden teilweise aus den Schlacken herauspräpariert, 2) Holzkohlelagen in unmittelbarer Nachbarschaft der Schlacken und 3) Holzkohlen aus dem übrigen Grabungsbereich (Bachprofile, Kastenkonstruktion usw.).

Die Untersuchung der ältesten Relikte (ca. 300-800 n. Chr.) ergab bisher wesentliche Unterschiede zwischen Holzkohlen aus dem Verhüttungsbereich und den übrigen Fundstellen. Im Zusammenhang mit der Verhüttung konnten folgende Hölzer bestimmt werden: überwiegend Eichen und in geringem Umfang Buchen, Eschen, Erlen und Birken, also mit Ausnahme von nur zwei Birkenproben hochwertige Ausgangshölzer. Es treten sowohl Hölzer mit großen als auch mit kleinen Durchmessern auf; mittlere überwiegen. Soweit noch feststellbar, ist die Holzkohle qualitativ gut. Vereinzelt auftretende Gasauftreibungen in den Leitgefäßen ohne weitere Teerspiegel und Zellverbackungen deuten zwar auf Feuchtigkeit im Holz hin, legen jedoch keine Schlagzeit während der Vegetationsperiode nahe.

Die Holzkohlen aus den der Verhüttung entsprechenden untersten Horizonten zweier Bachprofile zeigen ein ganz anderes Bild. Ein buntes Laubholzgemisch aus (die Reihenfolge entspricht der Repräsentanz beim jetzigen Untersuchungsstand): Buche, Esche, Erle, Birke, Ahorn, Pappel, Apfel oder Birne, Eberesche, Weide und Hasel. Hinzu kommen Einzelbelege (je 1-3 Ex.) von Hainbuche, Linde, Weißdorn, Seidelbast und Eiche. Eine ähnliche Zusammensetzung weisen unverkohlte Hölzer aus der Kastenkonstruktion auf. Hinzu kommen hier noch Einzelbelege von Faulbaum und Hartriegel sowie einige nicht näher bestimmte Rosaceen. Bemerkenswert sind auch Fraßlöcher in einigen Hölzern.

Die Durchmesser der Ausgangshölzer sind mit ca. 0,3 cm bis ca. 2,5 cm sehr gering. Zur Qualität dieser Holzkohlen können noch keine Aussagen gemacht werden.

Nach dem jetzigen Stand kann festgestellt werden, daß eine Auswahl von Hölzern zum Verkohlungs- und Verhüttungszweck stattgefunden hat. Die ausgewählten Hölzer entsprechen einem natürlichen Vorkommen in der Umgebung, repräsentieren – wie die Vergleichsproben zeigen – aber nicht das gesamte Artenspektrum, das vielfältiger ist. Alle Hölzer entsprechen der potentiellen natürlichen Vegetation im

Umfeld der Siedlungsstelle. Die vielen lichtliebenden Hölzer vermitteln das Bild aufgelockerter Bestände. Sie deuten auf den Einfluß des Menschen hin, jedoch nicht auf waldpflegerische Maßnahmen. Die Naturverjüngung ist bei einem solchen Artenspektrum wahrscheinlich.

Nach einer ersten vorsichtigen Erwägung darf eine Anlieferung der Holzkohle aus entfernteren Gebieten ausgeschlossen werden.

Nähere Ausführungen müssen einem späteren Bericht vorbehalten bleiben, da die bisherigen Ergebnisse noch der Absicherung durch weitere Untersuchungen bedürfen.

Ergebnisse aus Untersuchungen im Bereich von Harz und Vorharz

Bezüglich der Holzkohleuntersuchungen als Erkundungshilfe der für die Verhüttung nutzbaren Vegetation können aufgrund von Geländebefunden und der Analyse von bisher ca. 28 000 Holzkohlen folgende Feststellungen gemacht werden:

- Aus den Holzkohlen können Aussagen über die Bewaldung und die Veränderungen des Wald- bzw. Baumbestandes im weiteren Sinne abgeleitet werden. Eine besondere Bedeutung kommt dem zu im Hinblick auf Zeiten, für die keinerlei schriftliche Überlieferungen vorliegen.
- Archivalische Überlieferungen können korrigiert bzw. ergänzt werden, da im Holzkohlespektrum das Alltägliche gegenüber dem Besonderen oder Bemerkenswerten der Archivalien widergespiegelt wird. Wenn in schriftlichen Zeugnissen beispielsweise eine Angabe lautet: »Bei den drei dicken Buchen«, so sagt das über den Wald insgesamt noch nichts aus, geschweige denn über einen Buchenwald, da die Buchen in diesem Fall offenbar etwas Bemerkenswertes innerhalb einer anderen Umgebung bilden.
Auf die Überlieferungen bezogen kann eine Differenzierung zwischen Theorie und Praxis gemacht werden. Während in den Archivalien Ordnungen und Vorschriften für die Behandlung des Waldes zu finden sind, spiegeln die Holzkohlespektren auch die Übertretungen bzw. die Mißachtungen der Vorschriften wider, weisen also die Diskrepanzen auf.
- Die Pollenanalyse kann für Zeiten menschlichen Einwirkens ergänzt werden. Für die Pollenanalyse müssen einerseits pollenerhaltende Schichten (z. B. Moore) und andererseits fruchttragende Bäume vorhanden sein. Bei dem im Mittelalter und der frühen Neuzeit vielerorts gebräuchlichen Nieder- bis Mittelwaldumtrieb erreichten die Bäume aber oft keine Fruktifikation, konnten deshalb auch keinen Pollenniederschlag geben. Desgleichen ergibt sich eine gute Ergänzung im Hinblick auf schlecht erhaltungsfähige Pollen. So konnte im Harz ein hoher Ahornanteil nachgewiesen werden, wie es dem natürlichen Potential entspricht. Eine entsprechende Repräsentanz im Pollendiagramm fehlt dagegen. Auch werden kleinräumige Veränderungen in den Holzkohlespektren eher als im Pollendiagramm erfaßt, da die Pollen einerseits zum Teil durch den Schirm des Altbestandes an Hölzern in die pollenerhaltenden Moore nicht eingehen konnten, andererseits sie dort erst verzögert nachweisbar sind, wenn nämlich pollenausschüttende Nachfolge- oder Pionierhölzer den menschlichen Eingriff anzeigen.
- Die Holzkohlenanalyse erfaßt direkt die ganz wichtigen kleinräumigen Veränderungen des Waldes durch den Menschen. Die Anfänge des Bergbaus im Harz vor der Jahrtausendwende konnten so aufgezeigt werden. Ebenso war es möglich, der wichtigen Frage der Fichtenausbreitung nachzugehen. Nach den vorliegenden Untersuchungen bildeten die durch den Bergbau treibenden Menschen verursachten großen Auflichtungen das Sprungbrett für die Fichte, aus den höchsten Lagen des Harzes in immer weitere Bereiche vorzudringen und so den Buchen-Ahorn-Wald mit zu verdrängen.
- Zuordnungen von Holzkohleproduktion und -verbrauch lassen die Beeinflussung von Landschaften und Wirtschaftsräumen durch die Verhüttung und Holzkohlegewinnung deutlich werden. An vielen

Stellen wird eine Überordnung der wirtschaftlichen Interessen im Zuge der Verhüttung über alle anderen deutlich. Dabei werden sogar vorher dörflich genutzte Wälder des Vorharzes voll in die Holzkohleproduktion einbezogen und bilden ein wirtschaftliches Geflecht. Aus der Überordnung dieser Interessen – man kann von einer regelrechten Ausbeutung der Ressourcen und damit der Natur sprechen – ergaben sich sowohl Probleme ökonomischer als auch ökologischer Art.

- Die ökonomischen Probleme lagen in der immer wieder feststellbaren Erschöpfung der Energieresourcen infolge einer rigorosen Übernutzung. Phasen des wirtschaftlichen Niedergangs hängen damit zusammen. Zur Einleitung dieses Niedergangs gehört auch die Notwendigkeit, Energieträger – d. h. Holzkohle – aus dem Vorharz anzutransportieren, was einen erheblichen Kostenfaktor bildete und damit eine unter Umständen nicht marktgerechte Verteuerung des Endproduktes nach sich zog. Abwanderungsbewegungen der Bevölkerung waren die Folge der Rezessionen.
- Die ökologischen Probleme sind vielfach noch heute sichtbar. Das ökologische Gleichgewicht, das durch die am Standort beheimateten Bäume wesentlich mitbestimmt wird, wurde durch die Veränderungen des Baumbewuchses empfindlich gestört. Der fehlende Schirm des Altbestandes machte es z. B. den jungen Buchen schwer, aufzuwachsen, so daß andere Arten eine bessere Konkurrenzsituation vorfanden. Durch die erst indirekte, seit dem 18. Jahrhundert direkte Förderung der Fichte kam es vielerorts zu Bodenveränderungen (Versauerung), die es den ursprünglich beheimateten Bäumen schwer oder unmöglich machte, wieder Fuß zu fassen.
- Für den Harz sind aus den Holzkohlespektren zyklische Bewegungen ablesbar: Zu Anfang einer Bergbauperiode steht hochwertiges Holz auch in größeren Dicken zur Verfügung. Während der Blütezeit mehren sich die Destruktionsanzeiger bis hin zu ihrem Überwiegen, was den Niedergang andeutet, worauf dann die totale Destruktion folgt, angezeigt durch die entsprechenden Holzarten in Verbindung mit geringen Holzstärken bei ausgezeichneter Verkohlung. Aus Profitsucht – nur das gewonnene Metall ließ sich im wahrsten Sinne des Wortes in »klingende Münze« umwandeln – wurden Schutzvorschriften nicht beachtet, die Ressourcen schlecht bewirtschaftet und die Krisen somit vorprogrammiert. Selbstverständlich soll damit nicht behauptet werden, daß der Energiemangel die alleinige Krisenursache war. Er ist jedoch ein wesentlicher Faktor in dem größeren Gefüge.
- Durch das Ausmaß der Verkohlung wird ihre große wirtschaftliche Bedeutung deutlich. Die Relikte in der Landschaft und ihre Untersuchung stützen Hinweise aus Archivalien, daß die Klosterunternehmen speziell der Zisterzienser mit ihrem lokalen Hauptsitz in Walkenried wie ein Konzern oder ein Hüttenkombinat mit landwirtschaftlichen Lieferbetrieben geführt wurden. Dabei ist eine Energiebedarfsdeckung in der Form vorausschauend betrieben worden, daß zu den Harzwäldern weitere im Vorharz angekauft wurden. Zwei Faktoren waren von Bedeutung: einerseits die zu starke Ausnutzung des Waldpotentials, andererseits die Bedarfsdeckung durch Einbeziehung weiter entfernter Gebiete in die »Industrie«-Bereiche.

Der Informationsinhalt der Holzkohlen für den Archäometallurgen

Die Holzkohle ist in der Regel der Energieträger, mit dessen wesentlicher Hilfe das Produkt oder Relikt hergestellt wurde, mit dem sich der archäometrisch und archäometallurgisch Tätige beschäftigt. Sein Vorhandensein oder auch Fehlen hat immer auch Wechselwirkungen auf Verhüttung, Glasherstellung, Töpferei und die nachfolgenden Handwerke gehabt. Von der Vorgeschichte bis weit in die Neuzeit hinein bestand hier ein untrennbarer Verbund. So können Informationen aus den Holzkohlen einen weiteren Hintergrund für den Forscher skizzieren, der hilft, die Untersuchungen in einen Rahmen zu stellen. Besonders ist hier, wie aus den vorangegangenen Ausführungen deutlich wurde, an den ökologischen Rahmen und die wirtschaftlichen Verflechtungen zu denken.

Im engeren Sinn kann der Gebrauch eines bestimmten Holzes von den Inhaltsstoffen des Holzes bzw. der Holzkohle her Auswirkungen auf Prozesse gehabt haben. Hier ist noch ein weites Feld zur Erforschung offen. Ein Ansatzpunkt in dieser Richtung wäre z. B. die Frage der Verwendung von Erlenholz in der vor- und frühgeschichtlichen Kupferverhüttung⁸, also die Frage, ob und warum Erlenholz gerade hierfür ausgewählt wurde. Diesen Punkt zu beachten und aus entsprechenden Fundkomplexen Holzkohle zur Untersuchung zu entnehmen, ist ein Anliegen an diejenigen, die sich mit Kupferfundkomplexen befassen.

Die geregelte oder unregelmäßige Waldnutzung gibt Auskünfte über das Stadium einer Hütte; d. h. die Schlagzeit des Holzes, seine Zusammensetzung und Qualität erlauben Hinweise auf Stadien der Prospektion, des regulären Betriebes und der möglichen Krisen. Die wirtschaftliche Bedeutung wird durch das Ausmaß der Verkohlung deutlich.

Möglichkeiten und Ziele weiterer Holzkohleuntersuchungen

Da die Untersuchungen nur in Gebieten mit Holzverkohlung möglich sind, ergeben sich die Grenzen der Holzkohleanalyse zwangsläufig. Auch läßt sich die Kraut- und teilweise die Strauchschicht des Waldes nicht direkt erfassen. Rückschlüsse im Zusammenhang pflanzensoziologischer Erwägungen sind aber möglich. Speziell für die Holzkohleanalyse als Hilfsmittel der Archäometallurgie ist das jedoch im Hinblick auf die Untersuchung von Verhüttungsplätzen und deren Produkte kein Problem, da Holzkohle in der Regel in den Hüttenrelikten anzutreffen ist.

Ein Netz von Untersuchungspunkten und -daten, wie es z. B. der Dendrochronologie zur Verfügung steht, fehlt bisher noch. Die Zielvorstellung geht dahin, über ein Datennetz einzelner Fundstellen den unberührten Wald in seiner unterschiedlichen zeitlichen Stellung zu erfassen. Die Veränderungen der Vegetation (z. B. Artenzusammensetzung) durch die menschlichen Eingriffe ist noch genauer zu analysieren. Wieweit klimatische Veränderungen speziell in der Buchen-Fichten-Kampfbzone des Harzes (600-800m über NN) an der Ausbreitung der Fichte mitgewirkt haben und die Einschnitte in der Waldentwicklung nur auf menschlichen Einfluß zurückgehen, ist noch offen.

Ebenso ist die Frage der Auswahl spezifischer Hölzer zu Verhüttungszwecken bisher noch nicht ausreichend geklärt, da die bisherigen Untersuchungen ein heterogenes Bild bieten. Dazu gehört auch die Einstufung der Verkohlung gleich- oder verschiedenwertigen Holzes.

⁸ Frdl. Hinweis von Prof. C. Eibner (Heidelberg).

JEAN-PAUL JACOB · MICHEL MANGIN

PROGRAMME MINES ET METALLURGIE EN FRANCHE-COMTE, FRANCE PRESENTATION ET PREMIERS RESULTATS

Située dans l'Est de la France, la Franche-Comté est constituée de quatre grandes zones géographiques qui se différencient selon des critères structuraux et lithologiques. Du Nord au Sud, on rencontre successivement: