

Montanarchäologie

Grundzüge einer systematischen Bergbaukunde für Vor- und Frühgeschichte und Antike Teil II

Der zweite Teil dieses Beitrags setzt den erstmaligen Versuch fort, sowohl den vor- und frühgeschichtlichen als auch den antiken Bergbau systematisch zu gliedern. Auch hier sollen nicht schriftliche Quellen der Antike, sondern die archäologischen Quellen mit ihrer Aussagekraft im Mittelpunkt stehen.

Nachdem in Heft 6/1989 die ersten vier Hauptpunkte der systematischen Gliederung vom Aufsuchen der Lagerstätte bis zu ihrem Abbau behandelt worden sind, werden nunmehr die Punkte 5–10¹²¹, Grubenausbau, Förderung, Fahrweg, Wasserhaltung, Wetterführung und Beleuchtung der Grubenbaue, dargestellt.

5. Grubenausbau

Ausbau in Holz (Zimmerung)

Einfach

Zusammengesetzt

Ausbau in Stein (Mauerung)

Berghöhlen

Einfache Steinsetzung

Mauerung mit Hausteinen

Unter Ausbau versteht man die Hilfsmittel, mit denen Grubenbaue offengehalten und gesichert werden¹²². Um die erstrebte Sicherheit zu erreichen, wurden im frühen Bergbau Ausbauelemente aus Holz oder Stein in die Gruben verbracht.

Im steinzeitlichen Flintbergbau konnte Holz ausbau nirgends nachgewiesen werden. Bei der relativ ausreichenden Standfestigkeit von Kreide und Kalk war er wohl auch weitgehend unnötig. Nur in einem einzigen Fall wurde eine Stütze aus organischem Material beobachtet. In Grimes Graves (GB 13) hatte ein Bergmann mit seiner Hirschgeweihhacke das Hangende gestützt, sein Ausbau hielt mehr als 4000 Jahre.

Anders liegen die Verhältnisse im jüngeren Metallbergbau. Die Abbauverfahren in den bronzezeitlichen Kupfergruben des Mitterbergs benötigten eine Vielzahl verschiedener Abbauhölzer, die hier nur aufgezählt werden sollen: Stempel, mit Ösen für den Transport versehen, Kappen, Sohlbretter, Spreizen, Verzug-, Bühn- und Quetschhöl-

zer¹²³. Auch der Bergbau in den übrigen gleichzeitigen Kupfergruben des Salzburger Raumes benötigte viel Holz. Im prähistorischen Gangerzbergbau des Arthurstollens halten noch heute die vermodernden Bühnhölzer und Sohlbretter den Versatz des ehemaligen Strossenbaus und damit den alten Grubenhohlraum frei. Es liegen Radiokarbon daten aus der Mittelbronzezeit vor¹²⁴.

Besser als in den Kupfergruben im Salzburgerischen haben sich Ausbauhölzer in Zypern und Portugal erhalten. Im Wasser der ersoffenen Gruben Zyperns lösten sich Kupfersulfate, die in das Holz eindrangen und es vor bakterieller Verrottung bewahrten¹²⁵. Fotografisch dokumentiert wurde Ausbau in tonnlägigen Schächten (Abb. 17) und Schachtausbau. Im 5. Jahrhundert v. Chr. wurden Stempel und Kappen durch Einschnitte und Abplattungen sorgfältig einander angepaßt. Rahmenhölzer des Schachtausbaus wurden an den Ecken miteinander verblattet. Die gleiche Verbindung verwendeten später noch die römischen Brunnenbauer in den nördlichen Provinzen.

Wahrscheinlich wesentlich mehr Hölzer als im Kupferbergbau mit seinen relativ engen Gängen wurden im prähistorischen Salzbergbau Österreichs benötigt, weil im Salz große Hohlräume entstanden und die Stollen bis zum festen Kernsalz zuerst eine weite Strecke durch wenig standfesten Hangschutt und ausgelaugtes Haselgebirge geführt werden mußten. Die Hölzer haben sich im Salz bestens erhalten, immer wieder wurden große Mengen prähistorischer Hölzer in den abgelassenen rezenten Sinkwerken entdeckt¹²⁶. Belegexemplare befinden sich heute im Museum Hallstatt, im Carolino Augusteum in Salzburg und im Naturhistorischen Museum in Wien. Sie weisen Bearbeitungsspuren und Schleppösen auf¹²⁷. Einige der Hölzer konnten jahrringdatiert werden, ein Tannenstamm wurde 682 v. Chr. gefällt¹²⁸.

Es gehört zur Eigenheit des Salzbergbaus und seines relativ plastischen Gebirges, daß auch ausgebaute Grubenhohlräume auf Dauer dem Gebirgsdruck nicht widerstehen können. Grubenausbau wurde deshalb nur in den Zugangsstollen des Salzbergs von Hallstatt in situ angetroffen. Das am besten erhaltene Beispiel stellt offenbar der spätlatènezeitliche Stollen auf der Dammwiese dar¹²⁹.



Abb. 17: Apliki. Im modernen Tagebau angeschnittener tonnlägiger Schacht mit noch 129 Stempelreihen, ca. 5. Jh. v. Chr. (Aufnahme vor 1969)

Jünger ist der hölzerne Ausbau in den germanischen Eisenerzgruben von Rudki, Grube Staszic, im Heilig-Kreuz-Gebirge in Polen. Hier war der rechteckige Schachtausbau aus miteinander verblatteten Spaltbohlen gezimmert. Kräftige Stempel trugen abgeblattete und etwas überstehende vollrunde Kappen¹³⁰.

Da die Ergebnisse auf groß angelegte bergbauarchäologische Untersuchungen zurückgehen, sollen die unerwarteten Befunde des hölzernen Ausbaus in den Gruben des hochmittelalterlichen Silberbergbaus auf dem Altenberg bei Hilchenbach/Müsen im Siegerland hier wenigstens erwähnt werden¹³¹.

In vor- und frühgeschichtlichen Bergwerken spielte die natürliche Unterstützung des Hangenden durch stehengelassene Bergfesten (Gebirgspfeiler) eine große Rolle. Es war eine klassische Methode, die besonders in horizontalen und schwach geneigten Lagerstätten ihren Platz hatte. Als Bergfesten müssen auch die in steilstehenden Gängen brückenartig übriggelassenen Erzmittel bezeichnet werden. Da die Gänge meist sehr unregelmäßig ausgebildet sind und Hangendes und Liegendes von Natur aus oft zu-

sammenkommen, konnte im vorgeschichtlichen Gangerzbergbau meistens auf bewußt stehengelassene Pfeiler verzichtet werden.

Die jungsteinzeitlichen Feuersteinbergwerke von England im Westen über die Niederlande und Polen bis zur Ukraine im Osten¹³² benutzten die Methode der Bergfesten zur Sicherung der Grubenhohlräume, die nur dann angewendet würde, wenn erstens das Gebirge genügend Standfestigkeit aufwies und zweitens der Abbauverlust durch den Verzicht auf den Teil der Lagerstätte, der im Pfeiler verblieb, hingenommen werden konnte.

Im Kupferbergbau von Veshnoveh (Iran) war dies gelegentlich der Fall, im bronzezeitlichen Timna ebenso.

Aus der griechischen und römischen Antike gibt es literarische Quellen, die das Verfahren der Hohlraumabsicherung durch Bergfesten vorschreiben. In Griechenland ließ Lykurg den Unternehmer Diphilos zum Tode verurteilen, weil er aus Habgier die Restpfeiler hatte abbauen lassen und dadurch sowohl die Grube als auch Menschenleben hätten verlorengehen können (Plut. mor. 843d)¹³³. In den gewaltigen Tagebauen auf Gold in Iberien, z. B. in Las Me-



Abb. 18: Umm el-Amad bei Fenan, römischer Kammer-Pfeiler-Bau. Feine Schlägel- und Eisenspuren an den Bergfesten

dulas, gehörte es zum Abbauverfahren, beim Unterhöhlen des Berges zunächst Pfeiler stehenzulassen, die dann später bewußt eingerissen wurden, um den Berg zum Einsturz zu bringen (ruina montium nach Plinius, Hist. Nat. 33, 70–78).

Die systematische Anwendung des Stehenlassens von Bergfesten führt zum Kammer-Pfeiler-Bau, bei dem Kammern, Örter und Pfeiler regelmäßig über das Bau Feld verteilt sind. Dies war besonders im antiken römischen Bergbau ein übliches Verfahren. Die besten, heute noch zugänglichen Beispiele finden sich in Jordanien in Abu Kusheiba¹³⁴ bei Petra und in Umm el-Amad bei Fenan¹³⁵ (Abb. 18). Die Entscheidung zum Kammerpfeilerbau wurde von den Römern nur bei entsprechender Regelmäßigkeit der Lagerstätte getroffen, so wie sie bei den Imprägnationserzen der beiden erwähnten Beispiele gegeben war.

Bei weniger kalkulierbaren Lagerstätten mußten auch die römischen Bergleute der Mineralisation folgen. Großflächige Vorkommen führten zu entsprechend großen Weitungen, die gegebenenfalls einer Stützung bedurften. Man half sich dann, indem man Pfeiler aus den durch Herein-

Abb. 19: Fenan, Qalb Ratiye, Grube 51. Aus den bei der Hereintreibearbeit angefallenen Platten stützt ein gemauerter Pfeiler das Hangende

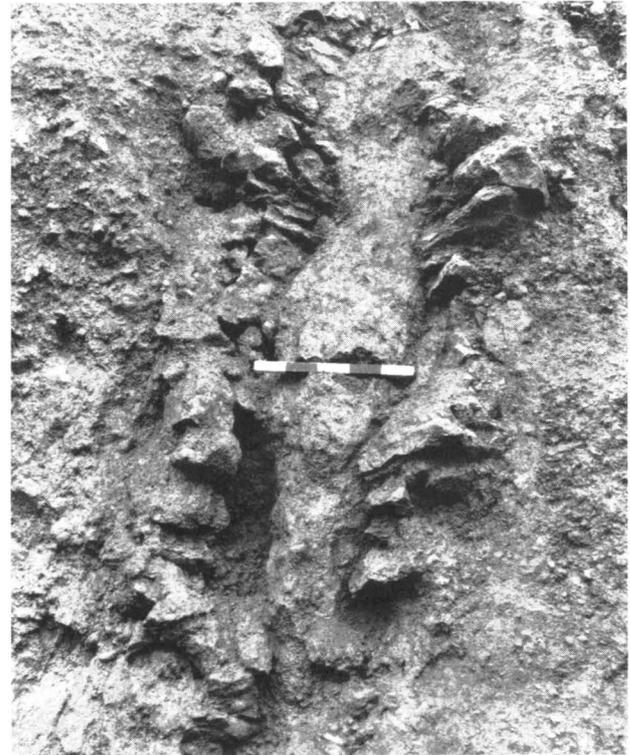
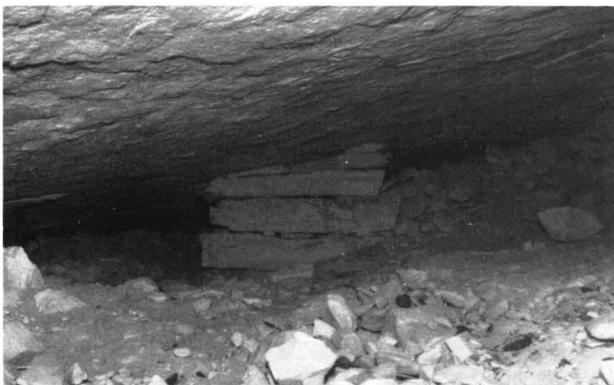


Abb. 20: Tharsis, Filou Sur. In der Wand des rezenten Tagebaus wurde ein Schachtausbau aus Trockenmauerwerk zur Hälfte gekappt

treibearbeit gewonnenen Gesteinsblöcken errichtete. In der Grube 51 in Qalb Ratiye bei Fenan konnte ein derartiger Pfeiler noch in situ dokumentiert werden (Abb. 19). Das Verfahren, Ausbau aus Steinen zu errichten, ist aber älter. In die frühbronzezeitlichen Gruben (ca. 2700 v. Chr.) des Wadi Khalid bei Fenan hat man schwere Wadigerölle in die Grube verbracht und zu Pfeilern aufeinandergesetzt. Für die spätbronzezeitliche Grube S 28/1 in Timna konnte ein ähnliches Beispiel beschrieben werden¹³⁶.

In den Lagerstätten des südiberischen Pyritgürtels sind manche Eisernen Hüte wenig standfest. In Tharsis wurden deshalb die zahlreich abgeteuften runden Schächte in Trockenmauerwerk ausgebaut (Abb. 20).

In allen diesen Fällen wurde zufällig angefallenes oder natürlich entstandenes Steinmaterial verwendet. Zu Ausbauzwecken besonders gefertigte Hausteine sind offenbar nur aus dem antiken Tunnelbau bekannt. Der Eupalinos-Stollen von Samos wurde beispielsweise an einer gebrächen Stelle mit gutem Mauerwerk unterstützt¹³⁷.

Ein eher kurioses Beispiel steht in dem römischen Wasserlösungsstollen von Covas I bei Vila Puca in Nordportugal. Hier war ein Stützpfiler aus großen Granitquadern errichtet worden (Abb. 21), nachdem dieselben als Pochwannen verbraucht waren¹³⁸; die Quader waren einer Zweitverwendung zugeführt und nicht besonders hergestellt worden.

6. Fahrung

In horizontalen oder leicht geneigten (streckenartigen) Grubenbauen

Zu Fuß

In seigeren oder stark geneigten (schachtartigen) Grubenbauen

Ohne Maschinen, zu Fuß

Steigbäume

Fahrten

Treppen

Rampen

Wendelrampen

Mit Maschinen

Seilfahrt am Haspel

Unter Fahrung versteht man die Fortbewegung der Bergleute unter Tage. Die Fahrung kann zu Fuß erfolgen oder mit Hilfe von Einrichtungen, die der Fortbewegung dienen. Anfahren und Ausfahren bezeichnen Beginn und Ende einer Schicht, Einfahren die Bewegung nach unter Tage.

Im vor- und frühgeschichtlichen Bergbau kamen zur Bewegung unter Tage nur Robben, Kriechen, gebücktes und

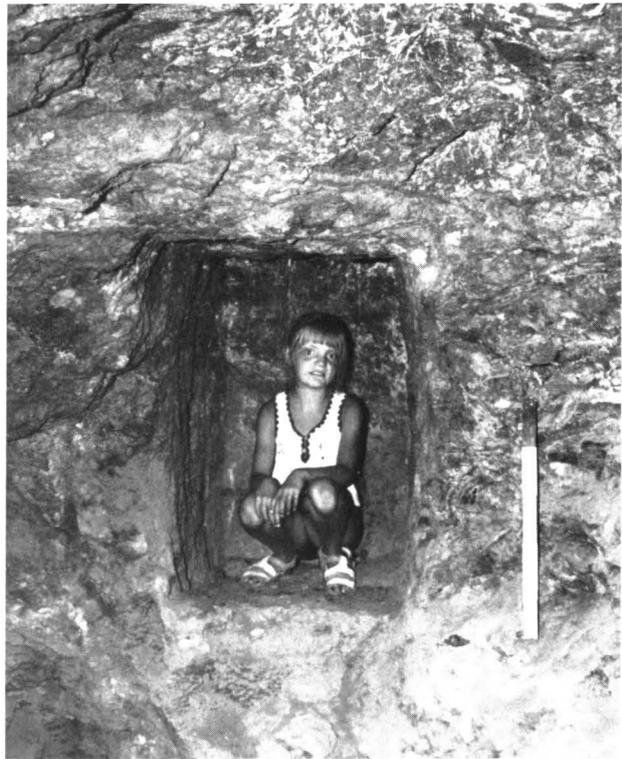


Abb. 22: Laurion. Rest eines aufgegebenen, engen Prospektionsortes, im vorderen Teil rezent weggesprengt

Abb. 21: Covas I, oberer Nordstollen. Der Schutt des ersten Lichtloches wird von einem Pfeiler aus verbrauchten Granit-Pochwannen abgefangen. Rechts die mit Schutt gefüllte Wasserseige. Blick von innen in Richtung Mundloch



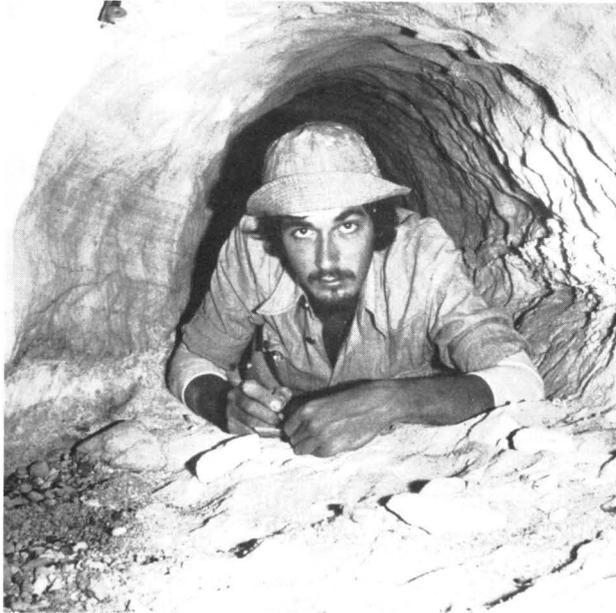


Abb. 23: Timna, Grube S 28. Enge Prospektionsstrecke

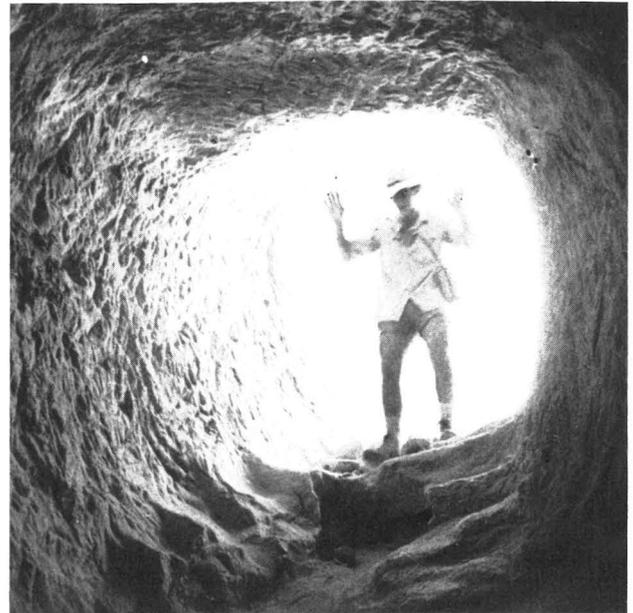
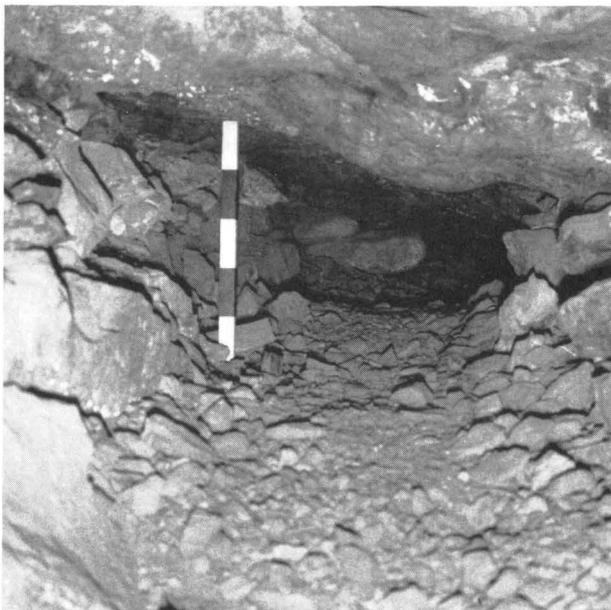


Abb. 25: Wadi Amram zwischen Eilat und Timna. Mäßig geneigter Schacht mit Treppenstufen auf der Sohle. An den Stößen Spuren der Keilhauenarbeit, die bei diesem mannshohen Querschnitt ohne besondere Schwierigkeiten ausgeführt werden konnte

mehr oder weniger aufrechtes Gehen in Frage. Dabei kann man heute nur erstaunt sein, in welchen engen Strecken damals gearbeitet wurde. Sie sind vielfach so schmal, daß sie heute selbst von Kleinwüchsigen nur auf der Seite liegend durchkrochen werden können. Besonders Prospektionsstrecken waren oft kaum mehr als körperweit (Abb. 22). Es kann sein, daß man zu derartigen Arbeiten früher besonders kleine Menschen, z. B. Kinder, ausgewählt hat. Es sind nicht zuletzt diese niedrigen und oft nassen Baue, die

Abb. 24: Fenan, Wadi Khalid, Grube 42. Die schichtgebundene Kupfererzlagerstätte wurde vollständig abgebaut und normalerweise bis zur Firse versetzt. Ein niedriger Kriechweg wurde in der Weitung freigehalten



heute Vermessung, Fotodokumentation und bergbauarchäologische Untersuchungen für Mann und Gerät zur Strapaze werden lassen (Abb. 23).

Normalerweise gibt der Sohlenverlauf von Stollen und Strecken die Richtung des Fahrens wieder. In manchen Fällen konnten auch in Weitungen dazu Beobachtungen gemacht werden, wenn – wie z. B. in den neolithischen Feuersteinbergwerken in Krzemionki (PL 6) – zwischen den Versatzmauern Wege freigehalten wurden. Deutlicher sind die Beispiele der frühbronzezeitlichen Grube 42 des Wadi Khalid bei Fenan (Abb. 24) oder der antiken Grube TG 80 E 1 im Klisidi auf Thasos, wo ein Kriechweg zwischen Versatzdeponierungen in extrem niedrigen Weitungen freigehalten worden war¹³⁹.

Es versteht sich von selbst, daß derartige, vorausschauende Maßnahmen nur in flachen Lagerstätten sinnvoll waren. Eine römische Grube im Wadi Amram zwischen Eilat und Timna zeigt, daß man selbst in mäßig geneigten Stollen Treppenstufen einer rampenartigen Schräge vorzog (Abb. 25).

Mehr läßt sich zur Fahrung in seigeren oder stark geneigten, schachtartigen Grubenbauen sagen. Das naheliegende Verfahren, sich mit bloßen Füßen, nur die Unebenheiten der Schachtstöße nutzend, ohne besondere Einrichtungen im Schacht zu bewegen, scheint nicht häufig angewendet worden zu sein, da mit einem Schacht nicht nur das Problem der Fahrung, sondern auch das der Förderung verbunden ist: Zwar kann man Schächte mit unebenen Stößen einigermaßen leicht durchsteigen, aber es ist kaum möglich, darin längere Zeit zu stehen oder gar Erz zu transportieren.

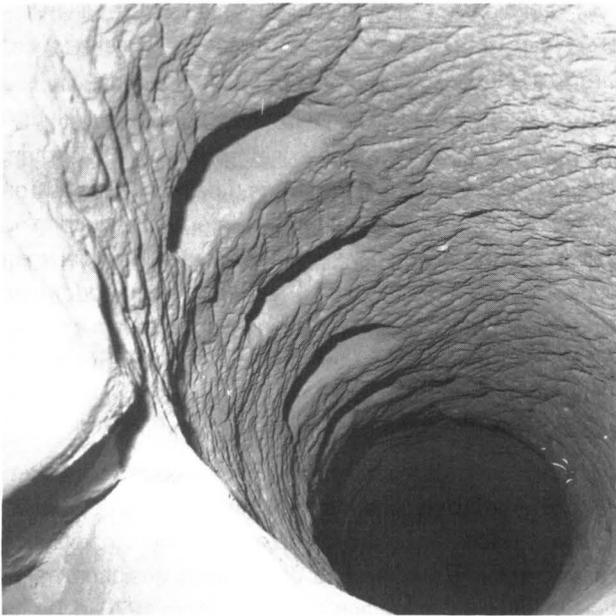


Abb. 26: Timna, spätbronzezeitlicher Schacht. Trittlöcher als Fahrhilfe, Spuren der Schlägel- und Eisenarbeit an den Stößen

Schächte ohne besondere Fahrinrichtungen wurden deshalb selten befahren, wie das z. B. für Wetter- oder nicht bergmännische Qanat- oder Brunnenschächte gilt. Die eisenzeitlichen Wetterschächte von Fenan erreichten oft beträchtliche Teufen (ca. 50 m) und weisen keine Fahrhilfen auf. Hier muß das Seil als Hilfsmittel für die Fahrung benutzt worden sein¹⁴⁰.

Bei den Fahrhilfen hat man solche aus anstehendem Gestein von denen zu unterscheiden, die aus Fremdmaterialien gefertigt wurden.

Fahrhilfen in Form von Trittstufen und Trittlöchern stellen vor allem im Sandstein ein schnell hergestelltes, kostengünstiges Konstruktionselement dar (Abb. 26), und im Wadi Arabah¹⁴¹ kommen sie in großer Zahl vor. Es gibt sie auch z. B. in Spanien¹⁴². Bei tieferen Schächten hat man offensichtlich Trittlöcher den vorstehenden Trittstufen, die in den Schacht ragten, vorgezogen, da sie gelegentlich die Seilförderung behindern konnten.

Wo das Gestein geeignet war, begegnet man gelegentlich stufenartigen Ausnehmungen oder Aufschichtungen (Abb. 27), in seltenen Fällen sogar Treppen. Dafür gibt es ein gutes Beispiel in der antiken Akropolisgrube von Thasos¹⁴³. Sie kommen auch in Schächten vor, wie der römische Treppenschacht von Grube 51 in Qalb Ratiye bei Fenan zeigt (Abb. 28).

Als Fahrhilfen unter Zuhilfenahme von Fremdmaterial tauchen zuerst die Steigbäume auf. In einem Pingenbau der schwedischen Feuersteinbergwerke von Kvarnby (S 1) wird ein Befund als möglicher Steigbaum gedeutet¹⁴⁴. Es wäre der älteste, denn Steigbäume wurden vor allen Din-

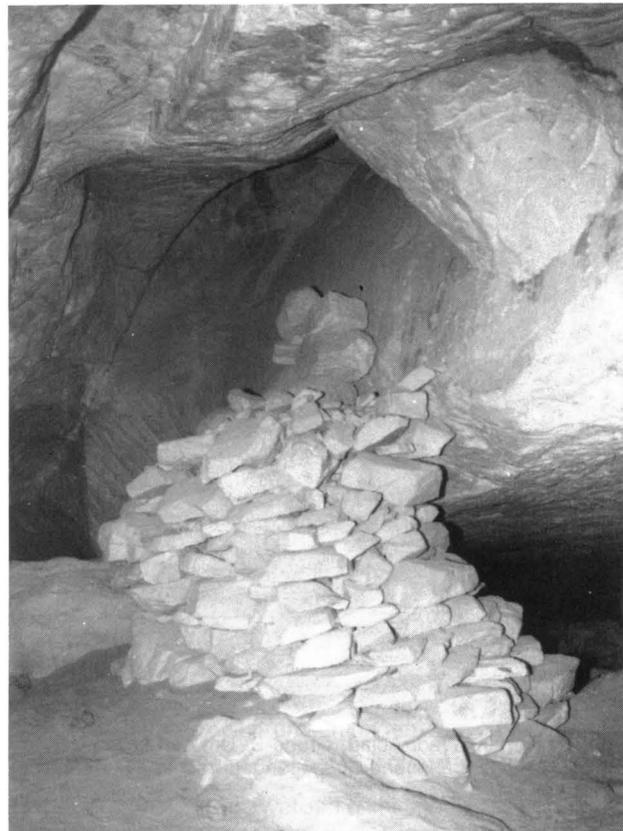


Abb. 27: Fenan, Wadi Abiad, Grube 17. Am Fuß einer Kluft wurde aus dem Bergematerial der Hereintreibearbeit eine Art Rampe aufgeschichtet, um das Erz möglichst weit oben hereingewinnen zu können

gen im Erzbergbau üblich, da in den steilstehenden Gängen der Erzlagerstätten größere Höhenunterschiede zu bewältigen waren als in den flach gelagerten Feuersteinvorkommen. Es gibt sie deshalb im bronzezeitlichen Mittelberg und im eisenzeitlichen Salzbergbau in Hallstatt.

Abb. 28: Fenan, Qalb Ratiye, Grube 51. Treppenschacht zwischen erster und zweiter Sohle, rechts Treppenstufen



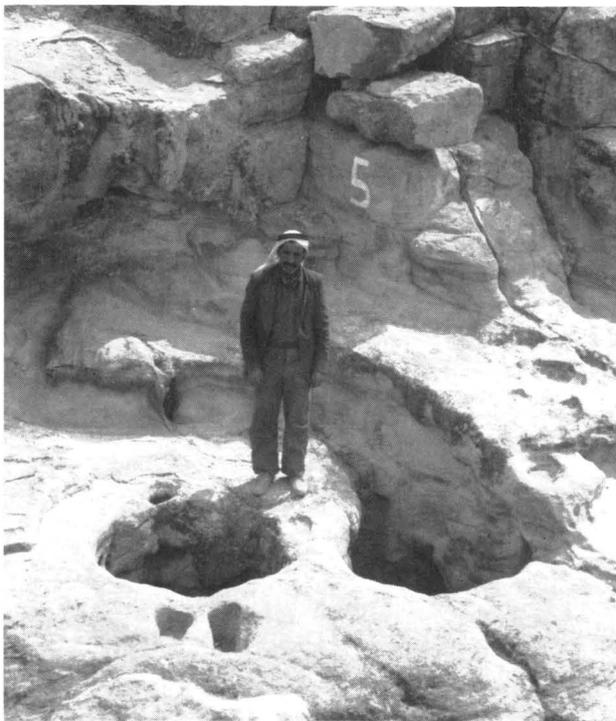


Abb. 29: Fenan, Wadi Abiad, Grube 5. Um den linken Schacht fünf in den Fels gehauene Aushebungen, rechts der Rest eines Pfostenloches

Steigbäume können heute noch in völkerkundlichen Zusammenhängen allenthalben beobachtet werden, entweder als Kerbstämme (Afrika) oder als Stamm mit stehengelassenen Aststummeln (Griechenland). Sie waren auch im europäischen Bergbau des Mittelalters und der frühen Neuzeit noch üblich. Die älteste Darstellung eines bergmännischen Steigbaumes befindet sich auf dem am besten erhaltenen Tontäfelchen von Korinth¹⁴⁵.

Im Schacht 1 von Ajos Sostis auf Sifnos konnten Reste eines anderen Einbaus zur Schachtfahrung und Förderung beobachtet werden. Hier waren an einer Schachtseite, wie bei einer Leiter, sprossenartig lange Spreize in die Schachtstöße eingelassen¹⁴⁶. Das besonders bei römischen Brunnenbauern beliebte Verfahren, in die hölzerne Brunnenverzimmerung Sprossen übereck einzusetzen, konnte im vor- und frühgeschichtlichen Bergbau noch nicht beobachtet werden.

Spätestens seit der Eisenzeit kam ein Verfahren in Gebrauch, bei dem die Bewegung im Schacht unabhängig von der Geschicklichkeit und Muskelkraft des Ein- und Ausfahrenden wurde, die Seilfahrt. Darunter versteht man das Befördern von Personen in Tages- und Blindschächten mit Hilfe der Schachtfördereinrichtungen. Als derartige Maschinen kommen für den vor- und frühgeschichtlichen Bergbau nur Seilumlenkrolle und Handhaspel (Rundbaum) in Frage.

In Spiennes (B 1) geben fehlende Trittlöcher in den Schachtstößen und Seilrillen in der Kreide eindeutige Hin-

weise auf die Verwendung von Förderseilen. Die Rillen befinden sich am Übergang vom Schacht zur Strecke an der Streckenfirste, also unter Tage am Füllort.

Wenn – wie es für Ryckholt (NL 1) nachgewiesen ist – Sillexknollen von 50 und mehr kg gefördert werden konnten, ist auch an Personenbeförderung zu denken. Große Kreidblöcke mit einer umlaufenden, tiefen Rille werden in Spiennes (B 1) als Gegengewicht gedeutet. Dies setzt ein Umlenken des Seiles, sei es über einen Stamm oder eine wirkliche Rolle, voraus. Der Befund kann deshalb mit Vorsicht als erster Hinweis auf eine maschinelle Fördereinrichtung gedeutet werden. Seilfahrt im neolithischen Feuersteinbergbau erscheint deshalb nicht unmöglich.

Da bereits im bronzezeitlichen Kupferbergbau vom Mitterberg ein Förderhaspel vorkommt, nimmt es nicht wunder, daß sich Häspel im spätbronzezeitlich/früheisenzeitlichen Zusammenhang im Bergbau des Orients gesichert nachweisen lassen. Das gelang zuerst im Jahre 1976 in Timna am Schacht I 5, wo sich vor einem Schachtmundloch die Pfostenlöcher des orientalischen Drehkreuzhaspels erhalten haben. Auch im eisenzeitlichen Fenan muß es ähnliche Konstruktionen gegeben haben, wie die Löcher vor dem Doppelschacht von Grube 5 im Wadi Abiad belegen (Abb. 29). Fehlende Trittvorrichtungen legen auch hier Seilfahrt nahe. Daß es sie damals gegeben hat, beschreibt der Prophet Hiob (28, 1–11): „Stollen gräbt ein fremdes Volk, vergessen, ohne Halt für den Fuß, hängt es, schwebt es, den Menschen fern.“¹⁴⁷

Der griechische Blei-Silberbergbau von Laurion mit seinen mehr als 100 m tiefen Schächten konnte kaum ohne Seilfahrt auskommen. Es wird allerdings auch an den Einbau von Bühnen gedacht, zwischen denen man über hölzerne Fahrten verkehrte. Da aber kein bedeutender Bergbau so schlecht dokumentiert ist wie der von Laurion, kann Genaueres nicht gesagt werden.

In den römischen Schächten in Fenan kommen immer Trittstufen oder -löcher vor, aus Wallerfangen/Saar werden

Abb. 30: Hallstatt. Funktionsweise des eisenzeitlichen Tragekorbes für Salz



derartige nicht belegt. Für die dortigen spätmittelalterlichen Schächte muß, wegen des Fehlens von Fahrleinrichtungen an den Schachtstößen, auf Seilfahrt geschlossen werden. Dabei wird der Knebelhaspel dominiert haben.

Zu dieser Zeit sind Abbildungen von Kurbelhäspeln im kirchlichen Bereich zwar seit längerem bekannt¹⁴⁸, im bergbaulichen Zusammenhang tauchen sie jedoch erst nach 1500 n. Chr. vermehrt auf. Erst nach dieser Zeit ist die Konstruktion mit eisernen Haspelachsen und -kurbeln so sicher, daß sich die Seilfahrt über Häspel durchsetzen kann.

7. Förderung

Streckenförderung in horizontalen oder leicht geneigten Grubenbauen

Tragend

Mensch

Tier

Schleifend

Rollend

Schachtförderung in seigeren oder stark geneigten Grubenbauen

Reichende

Tragende

Maschinenartige

Seilrolle

Haspel

Förderung ist der Transport des gewonnenen Minerals und des Nebengesteins sowie aller übrigen für den Betrieb benötigten Hilfsmittel im Bergwerksbetrieb. Man unterscheidet söhlige und seigere Förderung.

Im gesamten vor- und frühgeschichtlichen sowie fast stets im mittelalterlichen Bergbau hat man sich das Fördergut als vom Menschen getragen vorzustellen. Wo die Grubenhohlräume hoch genug waren, konnte dies mit Trögen auf den Schultern geschehen. Belege dazu gibt es aus dem bronzezeitlichen Mitterberg. Es bleibt bemerkenswert, daß sich an der Form dieser Tröge bis weit in die Neuzeit nichts geändert hat.

War die Streckenhöhe nicht ausreichend – und niedrige Grubenbaue waren vorherrschend –, so mußten Mineralien, Nebengestein und Ausrüstung geschleppt werden. Den ältesten Beleg dafür gibt es – abgesehen von den Seilrillen am Füllort von Spiennes (B 1) – in einem französischen Feuersteinbergwerk: In Mur-de-Barrez (F 8) fanden sich in einer Kurve einer nur 0,80 m hohen und etwa gleich breiten Strecke am Stoß der Innenkurve zwei deutliche Einschnitte, wie sie durch das Vorbeischieben von Zugseilen entstanden sein können, mit denen man die gewonnenen Flintknollen hinter sich her zum Schacht schleifte.

Die Schleppösen in den Ausbauhölzern des Mitterbergs sowie der Salzberge von Hallstatt und Hallein sind ein bededtes Zeugnis dafür, wie sie unter Tage transportiert wur-

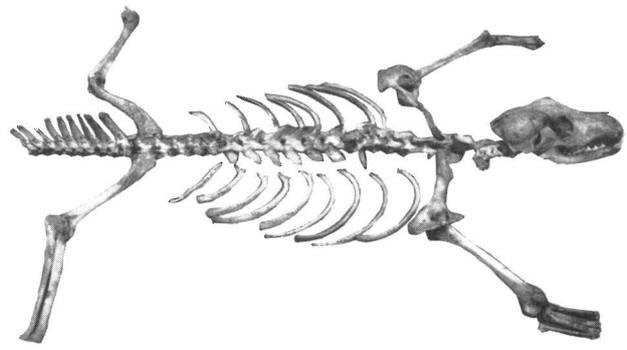


Abb. 31: Oberzeiring. Skelett eines Grubenhundes im mittelalterlichen Versatz

den. Ebenso anschaulich zeigen dies die Schleiftröge von Viehofen und Mitterberg, wo kein Unterschied zu den Gefäßen der Schlepper auf dem Titelblatt des Kuttenberger Kanzionale von 1490 n. Chr. besteht. Gleichwohl muß man sich vorstellen, daß das Trag- oder Schleifgut oft entweder nur direkt mit dem Seil umschlungen war oder in einem Sack aus Leder oder Textilmaterial steckte.

Trag- oder Schleiftröge werden nicht immer zur Verfügung gestanden haben. Als Spezialentwicklung haben die sinnreich konstruierten Tragkörbe aus dem Salzberg von Hallstatt zu gelten (Abb. 30), von denen allerjüngst ein weiteres Exemplar entdeckt wurde¹⁴⁹.

Aus der Vorzeit und dem Altertum sind keine eindeutigen Belege für den Einsatz von Tragtieren bzw. von Wagen zur rollenden Förderung bekannt. Dagegen läßt das Ausmaß mancher Stollen und Strecken die Verwendung tierischer Tragkraft als möglich erscheinen¹⁵⁰. Aber selbst aus dem Mittelalter ist archäologisch gesehen nur ein Beispiel beizubringen.

Wenig bekannt dürfte sein, daß in dem im 14. Jahrhundert n. Chr. durch Wassereinbruch untergegangenen Silberbergwerk von Oberzeiring in Österreich offensichtlich Hunde zur Förderung in den engen Strecken eingesetzt worden waren: Wie sollte man sich anders die große Zahl von Hundeskeletten erklären, die im Versatz bei der Herrichtung des oberen Teils der Grube als Besucherbergwerk entdeckt worden waren (Abb. 31)¹⁵¹?

Komplizierter war die seigere Förderung, also der Transport aus Pingenbauen und den Schächten. Hier nimmt die reichende Förderung einen großen Raum ein. In weniger als mannstiefen Löchern liegt dieses Verfahren auf der Hand. Es wurde auch in tieferen Schächten praktiziert. In solchen Fällen war es nötig, daß in oder an den Schachtstößen eine gute Standmöglichkeit (Trittstufen, -löcher) gegeben war.

Bei den weiten Schächten etwa des Feuersteinbergbaus von Grimes Graves (GB 13) werden zur Fahrung und Förderung aufgrund guter Indizien Einbauten von Bühnen in verschiedenen Niveaus der größeren Schachtquerschnitte

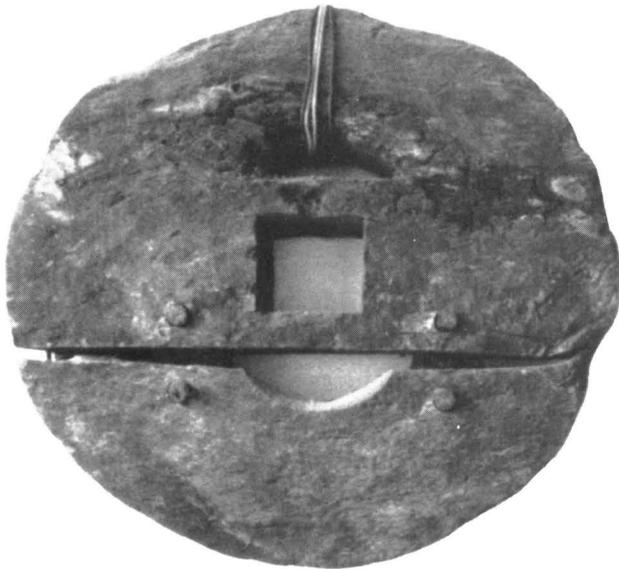


Abb. 32: Tharsis. Einfache Rolle aus einem römischen Bergwerk in der Sammlung des Grubenmuseums, Durchmesser ca. 0,50 m

rekonstruiert. Sie fanden sich auch in den weißrussischen Flintminen¹⁵². Darauf konnten Bergleute übereinander stehen und sich das Fördergut in Gefäßen zureichen. Ein Beispiel einer solchen reichenden Förderung konnte noch 1975 im Eisenerzbergbau in Koni/Elfenbeinküste dokumentiert werden¹⁵³.

Reichende Förderung mittels eines Korbes ist auf der bereits genannten korinthischen Tontafel dargestellt¹⁵⁴.

Merkwürdigerweise konnten bislang keine Beobachtungen über die Fördereinrichtungen im antiken Laurion gemacht werden. Mit seinen großen Teufen sollte man eine maschinelle Förderung voraussetzen dürfen.

Besser informiert sind wir über die Maschinen, welche aus römischen Bergwerken zur Förderung bekannt geworden sind (Abb. 32). Häspel und Rollen wurden in Portugal gefunden, manchmal in komplizierter vierfacher Anordnung¹⁵⁵. In römischem Zusammenhang handelt es sich dabei immer entweder um den orientalischen Drehkreuz- oder um den Knebelhaspel, nie um einen Kurbelhaspel.

Zu maschineller Seilförderung gehören auch dazu geeignete Fördergefäße. Aus Spanien sind solche aus Metall und Geflecht überliefert¹⁵⁶. Ob gelegentlich die aus dem römischen Bauwesen bekannten Treträder oder Schwerlastkräne zum Einsatz kamen, bleibt offen. Einmalig scheint bislang der Beleg eines dreibeinigen Gerüsts (Dreibein) über einem Schacht zu sein, das durch Pfostenlöcher neben dem römischen Schacht 12/2 der Grube 12 in Qalb Ratiye bei Fenan/Jordanien nachgewiesen wurde¹⁵⁷. Für manche anderen Pfostenlöcher, Einschnitte oder Gruben im Gestein neben vor- und frühgeschichtlichen Schächten existieren nur Rekonstruktionsvorschläge¹⁵⁸.

Belege für die Förderung durch Schwerkraft, wenn etwa das Fördergut aus einem höheren Niveau durch sog. Rolllöcher in ein tieferes geworfen wurde, konnten nur für die römische Antike zusammengestellt werden¹⁵⁹.

8. Wasserhaltung

Natürliche Befreiung von Grubenwässern

Wasserlösung

Wasserlösungsstollen

Künstliche Befreiung von Grubenwässern

Wasserhebung ohne Maschinen

Von Hand

Schöpfend

Reichend

Wasserhebung mit Maschinen

Schöpfrad

Eimerschöpfmaschine

Kastenschöpfrad

Schneckenrad (Archimedische Schraube)

Saug- und Druckpumpe

Als Wasserhaltung bezeichnet man alle Vorkehrungen zur Fernhaltung des Wassers vom Grubengebäude und zu seiner planmäßigen Ableitung aus den Grubenbauen.

Dabei gilt als Grundvoraussetzung, daß alle Tagesöffnungen hochwasserfrei angelegt werden. Dazu gibt es ein Beispiel bereits aus der Frühbronzezeit. Im Mittellauf des Wadi Khalid bei Fenan beißt das Flöz der kupfererzführenden Dolomit-Kalk-Tonsteinsfolge an der Talflanke aus, etwa 2 m über der heutigen (!) Wadisohle. Es wurde aber nicht von der Wadiseite her erschlossen, sondern durch Schächte in der Niederterrasse (Abb. 1). Im Unterlauf des Tals, wo der Abstand zur Wadisohle größer geworden war, geschah der Aufschluß von der Wadiflanke aus.

Es könnte sein, daß das Prinzip, die Tagesöffnungen hochwasserfrei zu legen, bei den prähistorischen Salzbergwerken in Hallstatt nicht genügend beobachtet worden war. Jedenfalls wurden mehrere Grubenhohlräume entdeckt, in die Wasser, Steine und Schlamm, die sog. Muren, gewaltig eingebrochen waren und zwangsläufig zur Aufgabe großer Grubenbereiche führten.

Aus dem Feuersteinbergbau sind keine Einrichtungen zur Wasserlösung bekannt. Sie waren wohl wegen der gebräuchlichen Gebirgszustände nicht nötig. Die meisten frühen Kupferbergwerke, wie etwa Aibunar oder Rudna Glava, konnten das Erz nur bis zur Grundwassergrenze gewinnen. Anzeichen von Wasserlösung werden nicht berichtet.

Aber bereits in den bronzezeitlichen Bergwerken am Mittelberg wurden zahlreiche Funde gemacht, die vom Kampf gegen das einsickernde Wasser zeugen. Vor den Arbeitsstößen wurden mit Holz und Lehm gebaute Dämme beobachtet, hinter denen sich das Wasser sammeln und dadurch vom Arbeitsplatz und seinen Feuern ferngehalten werden konnte¹⁶⁰. An diesem Sammelplatz wurde es dann

mit hölzernen Kellen ausgeschöpft¹⁶¹ und mittels aus Rinde und Brettern verfertigter Eimer¹⁶² zureichend nach über Tage gefördert, d. h. gehoben.

Aus eisenzeitlichen Zusammenhängen ist ersichtlich, daß große Teile des Salzbergs von Hallstatt wiederholt durch Wassereinbruch verloren gingen. Man besaß keine Handhabe gegen Muren und mußte jeweils neu beginnen. Auch die Etrusker scheinen nichts gegen zusitzende Wässer unternommen zu haben¹⁶³.

Der bedeutendste antike griechische Bergbau, der von Laurion, konnte Wasserprobleme unberücksichtigt lassen, da der Grundwasserspiegel sehr tief lag und der Meeresspiegel nicht unterfahren wurde. Nur aus dem Goldbergbau unter der Akropolis von Thasos sind Maßnahmen zur Ableitung von Sickerwässern bekannt. Sie waren offenbar wegen des steilen Einfallens der Grube nötig, wo das Wasser sonst in den tiefsten Bereich geflossen wäre. Man sammelte es in Rinnen, die in den Fels geschlagen oder in Tonziegeln teilweise unter der Firse verlegt wurden¹⁶⁴ und leitete es in aufgebogene Grubenbereiche.

Schon im Altertum berühmt war das Beispiel der ersoffenen Grube von Agios Sostis auf Sifnos¹⁶⁵. Dieses Bergwerk liegt so wenig über dem Meeresspiegel, daß, bei der Klüftigkeit des Gebirges, irgendwann der Seewassereinbruch unvermeidlich war. Das Altertum kannte keine Möglichkeit, etwas gegen derartige Wassermengen zu unternehmen.

Erst im römischen Altertum war man gezwungen, unterhalb des Grundwasserspiegels zu arbeiten, da die Erze oberhalb nach drei- bis viertausendjähriger Ausbeutung erschöpft waren. Man verfügte auch über die nötige Technologie bzw. entwickelte sie für Wasserlösungszwecke im Bergbau weiter.

Konsequent wurden zur natürlichen Entwässerung leicht ansteigende Wasserlösungsstollen (Erbstollen) angelegt (Abb. 33). Mit Hilfe von wasserhebenden Maschinen bekam die Wasserhaltung eine völlig neue Qualität. Die zusitzenden Wässer wurden in Etappen jeweils um einige Meter gehoben und schließlich nach über Tage abgeleitet.

Abb. 33: Rio Tinto, Corto Lago, Grube 52. In der Sohle der fast mannshohen Strecke (rechts) eine mit Steinplatten abgedeckte Wasserlösungsstollen



Daß dazu ausgeklügelte Einsatzpläne der Tag und Nacht arbeitenden Sklaven benötigt wurden, sei hier nur am Rande erwähnt.

Für die Wasserhebung¹⁶⁶ wurden sowohl Räder¹⁶⁷ und Endlosketten mit Metall-, Holz- oder Espartograsgefäßen als auch Archimedische Schrauben in Bergwerken von Portugal bis Rumänien oft kettenförmig hintereinander angeordnet. Gelegentlich kommen auch Druckpumpen aus Bronze und Holz als singuläre Stücke vor. Leider wurden sie alle im vorigen Jahrhundert entdeckt, als die Archäologie sich noch wenig um derartige Funde kümmerte. Die meisten Originale gingen verloren. Rosumek hat die entsprechenden Funde zusammengestellt¹⁶⁸.

Trotz der Maschinen kann man davon ausgehen, daß auch im römischen Bergbau geringfügige Sickerwässer durch Ausschöpfen und reichende Förderung beseitigt wurden. Nach der Römerzeit waren bis weit ins hohe Mittelalter hinein Schöpfen und Zureichen die einzigen verwendeten Wasserlösungstechniken. Ein Heer von sog. Wässernern besorgte diese Arbeit ununterbrochen in Tag- und Nachtschichten. Ihre zwangsläufig große Zahl übertraf die der Bergleute um ein Vielfaches und machte mit zunehmender Teufe so manches Bergwerk unrentabel. Erst seit dem 15. Jahrhundert nimmt der Einsatz von Saug- und Druckpumpen zu.

9. Wetterführung

Natürliche Wetterversorgung

Diffusion

Austausch durch Gewichtsunterschiede der Luft infolge von Temperaturunterschieden unter und über Tage

Künstliche Wetterversorgung

Wetterfeuer

Wetterschacht

Wetterstrecken

Durchhiebe

„Wetter“ ist der bergmännische Ausdruck für die in einer Grube vorhandenen Gasgemische. Je nach ihrer Zusammensetzung und Eignung für die Atmung werden folgende Arten von Wetter unterschieden: frische oder gute, matte oder stickende, böse oder giftige und schlagende Wetter.

Letztere dürften in der Vor- und Frühgeschichte keine Rolle gespielt haben, da Tiefbau auf fossile Brennstoffe für diese Zeiten nicht belegt ist, Methan, als explosives Sumpfgas, nur in größeren Teufen anfällt. Strabon berichtet von giftigen Wettern in den Arsenikgruben von Sandarakurgion bei Pompeiopolis in Kleinasien: Wegen der aus den Gruben aufsteigenden bösen Wetter seien die Arbeiter reihenweise gestorben¹⁶⁹.

Normalerweise reicht im vorderen Bereich von Stollengruben oder in der Umgebung von Schachtsohlen die natürliche Bewetterung durch Diffusion aus, um mittelfristig die durch Atmung und Geleucht verbrauchte Luft gegen frische Wetter auszutauschen.

Dieser Austausch ist abhängig von der Länge und Verzweigung des Streckennetzes oder der Teufe der Schächte und der Querschnitte der Grubenbaue. Als Erfahrungswert kann gelten, daß nach 20–30 m Länge in einer durch Kriechen zu befahrenden engen Strecke die Wetter deutlich schlechter werden, bei einer aufrecht zu begehenden Strecke tritt dies erst wesentlich später ein. Zum Glück ist das Gebirge oft von Natur aus klüftig, so daß ohne Zutun des Menschen der Luftaustausch, wenn auch schwach, zusätzlich begünstigt wird. Auch das Begehen der Baue durch den Menschen wirkt sich vorteilhaft auf die Luftbewegung aus.

In Gruben mit mehreren in verschiedenen Niveaus liegenden Tagesöffnungen bewirken die Temperaturunterschiede der Luft in- und außerhalb der Grube und damit die unterschiedliche Wichte (Luftgewicht) eine Luftbewegung in den Grubenbauen. Die schwerere, kalte Winterluft über Tage drückt durch eine tiefer gelegene Tagesöffnung in die Grube und verdrängt deren leichtere, wärmere Luft über eine höher liegende Öffnung nach außen. Im Sommer fließt die kältere und schwerere Luft aus der Grube über die tiefer gelegene Öffnung nach außen und zieht die wärmere, frische Luft über die obere Öffnung von außen in die Grube nach. Dieser Prozeß setzt sich sowohl im Winter als auch im Sommer kontinuierlich, allerdings mit veränderten Strömungsrichtungen, fort. Der Bergmann war bestrebt, die Wetterströme dort hinzulenken, wo sie gebraucht wurden.

Dem natürlich wirkenden Prinzip half der Bergmann in der Vor- und Frühgeschichte durch verschiedene Maßnahmen nach. Auf der Sohle des weiten Schachtes von Cissbury (GB 3) befand sich eine große Feuerstelle, die manchmal als Wetterfeuer gedeutet wurde. Andere Beispiele künstlicher Bewetterung aus dem Feuersteinbergbau sind nicht bekannt.

Bei den ausgedehnten Tiefbauen wie Harrow Hill (GB 4), Grimes Graves (GB 13), Spiennes (B 1), Ryckholt (NL 1), St. Mihiel (F 46) oder Krzemionki (PL 6) war ein guter Wetteraustausch dadurch gewährleistet, daß die zu den einzelnen Schächten gehörenden Grubengebäude an vielen Stellen miteinander durchschlägig waren, so daß Wetterbewegungen möglich wurden, auch dann, wenn die Strecken durch Verfüllen mit Bergeversatz nicht mehr befahren werden konnten. Zweifellos hat man beim Verfüllen von Schächten darauf geachtet, nur solche Schächte zu schließen, die zur Bewetterung nicht mehr benötigt wurden.

Die oft weniger regelmäßigen Lagerstätten des vor- und frühgeschichtlichen Kupferbergbaus bereiteten dem natürlichen Wetteraustausch größere Schwierigkeiten. Besonders die oft entstehenden sackgassenartigen Abbauräume hatten unter matten Wettern zu leiden. Es mußten deshalb besondere Maßnahmen zur Wetterverbesserung getroffen werden. Für Timna wurden sie gesondert untersucht: Es gab Wetterdurchhiebe und Wetterschächte¹⁷⁰.

Auch im eisenzeitlichen Kupferbergbau Fenans in Jordanien waren große Anstrengungen zur Bewetterung von Gruben nötig. Dies wird besonders in den am Fuß der Kliffs liegenden Bergwerke im Wadi Khalid augenfällig. Wetter-schächte lassen sich dort von Förderschächten dadurch unterscheiden, daß sie nur über geringmächtige Halden schwarzen Bergmaterials verfügen. Diese Wetter-schächte hatten oft erstaunliche Teufen. Wadi Khalid Schacht 17/1 steht noch 29 m offen; unter Berücksichtigung des Schichteinfallens kann seine ursprüngliche Teufe auf 50–60 m berechnet werden (Abb. 34).

Ein weiterer sehr tiefer Wetterschacht wurde auf dem Plateau von Khirbet en-Nehas bei Fenan/Jordanien identifiziert. Schächte dieses Ausmaßes bedeuteten einen großen Aufwand. Er war nur dann zu vertreten, wenn eine Erzlagerstätte anders nicht günstiger abzubauen war. Diese Verhältnisse waren offenbar in den Jahrhunderten vor bzw. nach 1000 v. Chr. in Ägypten und Palästina der Fall.

Die Anlage von gesonderten Wettereinrichtungen wird für die Gruben von Laurion in Attika berichtet, vor allem nachdem der Bergbau in der Mitte des 4. Jahrhunderts v. Chr. durch die Entdeckung eines tieferen Erzlagers neu belebt wurde. Grubenbaue von bis zu 111 m Teufe waren ohne besondere Wetterschächte nicht zu betreiben¹⁷¹. Diese hatten einen Durchmesser von nur $0,50 \times 0,80$ m, während Förderschächte normalerweise $1,25 \times 1,50$ bis $1,40 \times 1,90$ m weite Querschnitte aufwiesen¹⁷².

Als spezielle Wettereinrichtung im römischen Bergbau werden die sog. Zwillingschächte von Cabezo de Los Pastos im Revier von Huelva angesehen. Man stellt sich vor, daß auf der Sohle eines der Schächte ein Wetterfeuer gebrannt hatte¹⁷³. Zweifellos wäre dadurch ein guter Wetter-austausch zwischen den beiden Schächten möglich gewesen, doch bleibt fraglich, inwieweit sich dies positiv auf das restliche Grubengebäude ausgewirkt hätte. Eine sinnvolle Erklärung für die Zwillingschächte steht deshalb noch aus.

10. Beleuchtung der Grubenbaue

Natürliche Beleuchtung

Einfallendes Tageslicht

Künstliche Beleuchtung

Tragbares Geleucht

Kienlampen

Fett-, Unschlitt-, Öllampen

Stationäre Beleuchtung

Feuer

Unter Geleucht versteht man die bergmännische Lampe. Bis zum Aufkommen der Elektrizität konnte Licht nur durch Feuer erzeugt werden.

So gab jedes Feuer, das zum Feuersetzen angezündet worden war, gleichzeitig Licht. Aber der dabei entstehende Rauch vertrieb die Bergleute schnell. Es galt einen Mittel-

weg zu finden zwischen der Erzeugung von Licht und der Vermeidung unangenehmer Nebenwirkungen wie Rauch und Verbrauch von Sauerstoff.

Man half sich mit Kleinstfeuern, die in der Form von Lampen durch Verbrennen von Holz, Fett, Öl, Wachs u. a. betrieben wurden. Holz konnte ohne besondere Behältnisse als Zweige oder, zugerichtet, als Kienspäne benutzt werden. Öle und Fette brauchten Behältnisse und die den Brennstoff zur Flamme transportierenden Dochte. Kerzen aus Wachs oder Unschlitt kamen wiederum ohne besondere Gefäße aus. Man kann sich heute kaum vorstellen, daß unter Tage nicht immer Geleucht vorhanden gewesen sein soll. Aber aus völkerkundlichen Berichten ist bekannt, daß ganz primitiver Bergbau ohne Geleucht, nur mit Erta-sten des Minerals durchgeführt wurde. Ähnliches kann man für viele Feuersteinbergbaue annehmen.

Zwar sind bereits aus dem Paläolithikum aus Stein gefertigte Lampen bekannt, wie hätten sonst etwa die Höhlenmalereien von Lascaux entstehen können? Im neolithischen Feuersteinbergbau aber haben sie fast keine Nachfolger gefunden.

Ein aus Kreide geschnittener kleiner Topf aus Grimes Graves (GB 13) könnte als Lampe vorgesehen gewesen sein, er zeigt jedoch keine Rußspuren. In den Gruben von Krzemionki (PL 6) gibt es mehrfach Holzkohlezeichnungen an den Stößen. Man wird daher annehmen dürfen, daß zu ihrer Anbringung abgebrannte Kienlichter benutzt wurden. Auch in den westrussischen Flintgruben von Karpovcy wurden Ruß, Holzkohle und Reste von Kienspänen festgestellt¹⁷⁴. Das gleiche gilt für die Quarzitbergwerke von Tsumice/Böhmen¹⁷⁵.

Aber bei fast allen anderen Gruben gibt es keinen Hinweis auf irgendeine Art von Geleucht. Deshalb nimmt man gemeinhin an, daß zumindest im unmittelbaren Bereich der Schächte so viel Licht in die Strecken und Örter reflektiert wurde, daß man arbeiten konnte. Erst neuerdings wurden Reste von Geleucht in dem französischen Silexbergwerk von Vertus/Grand Val (F 54)¹⁷⁶ entdeckt. Der Frage des Geleuchts gilt es bei zukünftigen Untersuchungen in Flintbergwerken erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen.

In den Bergwerken der Bronzezeit des Nahen Ostens, etwa in Fenan¹⁷⁷, benutzte man gewölbte Scherben als Behälter, in denen zur Lichterzeugung Fett verbrannt wurde. Rußspuren an einer oder mehreren Stellen zeigen, wo sich am Behälterrind die Dochte befunden hatten. Aus den Kupfergruben der Insel Masirah/Oman aus dem beginnenden 2. Jahrtausend v. Chr. stammen große Muscheln, die als Geleucht dienten. Wieder zeigen deutliche Rußspuren, daß in ihnen z. B. Fett von Tieren oder Öl von Fischen verbrannt wurde¹⁷⁸. In den Bleibergwerken des Neuen Reiches auf dem Gebel Zeit am Roten Meer¹⁷⁹ scheinen die Ägypter Zweige als Geleucht benutzt zu haben. Jedenfalls finden sich in den zahlreichen Gruben viele noch fingerlange Zweigstummel mit einem angebrannten



Abb. 34: Fenan, Wadi Khalid. Wetterschacht 17/1 weit oberhalb des Förderschachtes der Grube 17. Er war ca. 60 m tief und steht heute noch 30 m offen

Ende. In den etwa zeitgleichen Türkisgruben in Serabit el-Khadim brannten Leuchtfeuer in kleinen Schalen¹⁸⁰.

In der Bronzezeit Mitteleuropas scheinen Leuchtspäne leichter verfügbar oder aus anderen Gründen, vielleicht wegen einer helleren Flamme, bevorzugt worden zu sein. In den Kupfergruben des Mitterbergs bei Bischofshofen waren jedenfalls Kienspäne als Geleucht im Einsatz¹⁸¹.

In den eisenzeitlichen Salzbergwerken der österreichischen Alpen wurden Kienfackeln benutzt. Davon zeugen nicht etwa nur die wenigen ganz erhaltenen Exemplare derartiger Kienspannbündel aus harzreichem Nadelholz¹⁸², sondern auch die zu Tausenden im Werkslaist gefundenen abgebrannten Reste der Leuchtspäne. Sie stammen entweder aus dem sog. Heidengebirge, also den auf der Sohle deponierten bzw. festgetretenen Abfällen¹⁸³, oder aus den daraus bei der Sohlebereitung übriggebliebenen unlöslichen Rückständen¹⁸⁴.

In der Eisenzeit des Nahen Ostens begann eine Entwicklung, die sich in der griechischen und römischen Antike fortsetzte. Auf eisenzeitlichen Halden des Wadi Khalid bei Fenan wurden mehrfach aus Tonscheiben gefertigte Lampenfragmente mit zusammengekniffener Schnauze gefunden¹⁸⁵. Diese Lampen entsprechen völlig denjenigen, die damals in Tempeln und Häusern verwendet wurden.

Die in den antiken Haushalten üblichen Öllämpchen mit Röhrenschnauze wurden auch in den Gruben genutzt. Da sie sehr zerbrechlich waren, finden sich ihre Fragmente zahlreich auf den Bergehalden. In griechischen und römischen Gruben wurden zu ihrer Aufstellung manchmal in Abständen von 0,50 m in den Stößen gewölbte, kleine Nischen ausgehauen, in welche die Lämpchen abgestellt wurden. Diese Nischen liefern oft den ersten Hinweis zu ei-

ner Datierung von Bergbauaktivitäten. Rußspuren über der Mitte der Nischen zeigen oft an, daß die Flamme zur Erzielung der größten Lichtausbeute in die Strecke gedreht war¹⁸⁶. Die Lämpchen waren in den Nischen vom Durchgangsverkehr geschützt. Nur an Stellen mit wenig Personenbewegung, etwa an Ortsbrüsten, sparte man sich gelegentlich zumindest vorläufig die Mühe des Aushauens von Nischen und klatschte einen Lehmklumpen als Lampenständer an den Stoß. Beispiele dafür fand man in einer Silbergrube von Agios Sostis auf Sifnos¹⁸⁷ und in der Goldgrube unter der Akropolis von Thasos¹⁸⁸.

Die den antiken im Prinzip gleichen Tonlämpchen des orientalischen Mittelalters wurden ebenfalls im anatolischen, iranischen, marokkanischen und iberischen islamischen Bergbau eingesetzt. Im europäischen Mittelalter benutzte man im Bergbau vielfach offene Brennstoffgefäße – etwa kleine Tröge aus Stein im Trientiner Silberbergbau. Im allgemeinen bevorzugte man aber flache Tongefäße für Unschlitt oder sogar wieder Scherben für Öl, wie sie in Hilchenbach/Müsen oder in der Grube Bliesenbach¹⁸⁹ bei Ehreshofen im Bergischen Land zahlreich gefunden wurden. Unschlittkerzen und Kienspäne waren häufig. Noch zu Beginn unseres Jahrhunderts klebten sich die Bergleute im Kupferbergbau Cornwalls Kerzen auf den Rand ihrer Kopfbedeckung. Offenes Geleucht war und ist im Erz- und Salzbergbau bis in unsere Tage im Gebrauch, vorwiegend etwa in der Dritten Welt, vielfach hat Azetylengeleucht Kerzen und Öllampen abgelöst.

Anders verlief die Entwicklung im schlagwettergefährdeten Steinkohlenbergbau. Dort hatten schwerste Explosionskatastrophen zu Anfang des 19. Jahrhunderts seit 1815 zum Bau von immer besserem Sicherheitsgeleucht geführt¹⁹⁰. Heute sind dort nur noch elektrische Akkuleuchten erlaubt.

ANMERKUNGEN

- 121 Auch für diesen Teil des Aufsatzes seien aus Kommunikationsgründen mit der Forschung im englischsprachigen Raum die in der Gliederung benutzten bergtechnisch-systematischen Fachausdrücke in englischer Sprache angegeben:
 5 = Supporting – Timbering (simple, composite) – Support with/in stone: rock pillars – Simple putting stones (on top of each other, walling and stone work)
 6 = Man-riding – In horizontally driven or slightly inclined roadways/drift like by feet – In vertical or strongly inclined roadways/shaft like (without machines): climbing trunks, ladder, stair, ramp, spiral ramp; (with machines): winding of persons
 7 = Hauling – Haulage on horizontal or slightly inclined roadways (carrying by man/by animal, dragging without wheels, rolling on wheels) – Vertical or inclined shaft hoisting (passing, carrying, devices as pulley or windlass)
 8 = Drainage – Natural draining (drainage, drainage gallery) – Artificial draining (water lifting without machines) by hand, bailing, passing; (with machines): water lifting wheel by pot wheel or compartment wheel; Archimedian screw, sucking and forcing pump
 9 = Ventilation – Natural ventilation (diffusion, air flow due to the different weight because of different temperatures) – Artificial air supply (fire causing draught, ventilation shaft, airway, dug hole)
 10 = Illumination – Natural light (daylight) – Artificial light (portable light: wooden spill, fattalow- or oil-lamp; unportable light: fire)
- 122 Deshalb handelt es sich bei den in der Altsteinzeit zum Bemalen der höher gelegenen Höhlenwandflächen eingebrachten hölzernen Arbeitsbühnen, deren Bühnlöcher in Lascaux noch erhalten sind, um Einbauten und nicht um Ausbau.
- 123 Kyrle 1918, S. 18–23.
 124 Eibner 1984, S. 47f.; Gstrein 1988; ders./Lippert 1987.
 125 Mehrfach wurde belegt, daß in den zyprischen Grubenhölzern Kupfer metallisch ausgefällt wurde. Ein solches Belegstück verdankt das Deutsche Bergbau-Museum Herrn W. Wiebecke, Sprockhövel. Ein anderes befindet sich bei Herrn Prof. Dr. U. Zwicker, Universität Erlangen.
- 126 Vgl. z. B. Morton 1953, Taf. XVI.
 127 Kyrle 1918.
 128 Hollstein 1974.
 129 Morton 1953, S. 100f.
 130 Bielenin 1978.
 131 Vgl. Weisgerber 1987a, S. 198f. mit älterer Literatur.
 132 Gurina 1976.
 133 Nach Kalcyk 1982, S. 136.
 134 Kind 1965, Abb. 6, Taf. 2.
 135 Hauptmann/Weisgerber/Knauf 1985, S. 173, Abb. 14, 15.
 136 Conrad/Rothenberg 1980, S. 144ff., Abb. 166.
 137 Grewe 1985b; Kienast 1977, Abb. 7–10.
 138 Heckes/Mauelshagen/Weisgerber 1987, S. 280, Abb. 9; Wahl 1988.
 139 Vgl. Abb. 201 in Wagner/Weisgerber 1988.
 140 Geerlings 1985.
 141 Conrad/Rothenberg 1980, S. 77, Abb. 58–60; Hauptmann/Weisgerber/Knauf 1985, Abb. 11, 13.
 142 Quiring 1935, Abb. 11.
 143 Muller 1988.
 144 Olausson/Rudebeck/Säfvestad 1980, Abb. 181.
 145 Weisgerber 1976b.
 146 Ders. 1985, S. 87 mit Abb. 73, S. 115f. mit Abb. 106.
 147 Nach Geerlings 1985, S. 158.
 148 Weisgerber 1981c.
 149 Vgl. die vorzüglichen Abbildungen 26 und 28 bei Lessing 1980.
 150 So z. B. Rosumek 1982, S. 68f; Wahl 1988.
 151 Ein Hundeskelett ist im Museum des Besucherbergwerks ausgestellt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach der Herkunft des bergmännischen Ausdrucks „Hunt“ für Förderwagen vielleicht neu.
- 152 Gurina 1976, Abb. 43, 44.
 153 Eckert 1978, S. 54.
 154 Weisgerber 1976b.
 155 Almeida 1970, Abb. 4–7; Luzon 1970, Abb. 9; zusammengestellt bei Rosumek 1982, S. 76.
 156 Luzon 1970, Abb. 11.
 157 Beim Freiziehen dieses Schachtes 1987 wurde, anlässlich seiner bergbauarchäologischen Untersuchung, der moderne Dreibaum in den antiken Pfostenlöchern verankert.
- 158 Conrad/Rothenberg 1980, S. 97, Abb. 67, 99. Zu nennen wäre hier auch der eisenzeitliche Doppelschacht Grube 5 von Wadi Abiad bei Fenan.
 159 Rosumeks „Werfende Förderung“, 1982, S. 80.
 160 Andree 1922a, Abb. 107.
 161 Ebd., Abb. 91.
 162 Ebd., Abb. 87–89.
 163 Vgl. ebd. 1982, S. 102.
 164 Muller 1988, S. 190f., Abb. 231–233.
 165 Weisgerber 1985, S. 118ff.
 166 Vgl. dazu das umfangreiche Werk von Oleson 1984.
 167 Weisgerber 1979.
 168 Rosumek 1982, S. 109ff.
 169 Strabon XII, S. 841, nach Orth 1924, Sp. 133.
 170 Conrad/Rothenberg 1980, S. 88–91.
 171 Wilsdorf 1952, S. 109, 115, 117.
 172 Zum Thema vgl. Ardaillon 1897, S. 50.
 173 Luzon 1970, S. 226, Abb. 4.
 174 Gurina 1976, S. 86.
 175 Ebd., S. 87.
 176 Coutier/Benoist/Brisson 1962.
 177 Hauptmann/Weisgerber/Knauf 1985, Abb. 9.
 178 Die Muscheln wurden 1977 in der Lagerstätte Masirah 31 bei geologischen Untersuchungen durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, entdeckt. Vgl. Andritzky/Burgath 1977, S. 10f., Abb. 3, 4.
 179 Zu diesen Bergwerken vgl. Castel/Gout/Soukiassian 1985.
 180 Eigene Beobachtung.
 181 Andree 1922a, Taf. 9, Abb. 128.
 182 Morton 1953, Taf. 17 oben.
 183 Ebd., Taf. 16 unten.
 184 Weisgerber 1981a, S. 122.
 185 Vgl. Hauptmann/Weisgerber/Knauf 1985, Abb. 9.2, 3.
 186 Bei dem von Rosumek 1982, S. 42f., Abb. 24, 25, angeführten und diskutierten Beispiel handelt es sich um eine Ausnahme. Kubische Lampennischen konnten vom Verfasser an anderer Stelle bislang nicht entdeckt werden.
 187 Weisgerber 1985, S. 103, Abb. 96.
 188 Muller 1988, S. 190, Abb. 239; Weisgerber 1988, S. 209.
 189 Sammlung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum.
 190 Fober 1980.

BIBLIOGRAPHIE

- AGNER, August:
 1911 Hallstatt. Ein Kulturbild aus prähistorischer Zeit, München 1911.
- ALMEIDA, Fernando de:
 1970 Mineração Romana em Portugal, in: VI. Congresso Internacional de Mineria. La Minería Hispana e Iberoamerica, León 1970, S. 195–220.
- AMBORN, Hermann:
 1976 Die Bedeutung der Kulturen des Niltals für die Eisenproduktion im subsaharischen Afrika, Wiesbaden 1976 (= Studien zur Kulturkunde. 39).
- ANDREE, Julius:
 1922 a Vorgeschichtlicher Bergbau auf Kupfer und Salz in Europa, in: Hahne, Hans (Hrsg.): 25 Jahre Siedlungsarchäologie, Leipzig 1922 (= Mannus-Bibliothek. 22), S. 30–50.
 1922 b Bergbau in der Vorzeit, Bd. 1: Bergbau auf Feuerstein, Kupfer, Zinn und Salz in Europa, Leipzig 1922.
- ANDRITZKY, G./BURGARTH, K. P.:
 1977 Results of a Survey for Copper Ore on Masirah Island, Oman and for Chromite and Copper Ore in Northern Oman 1976/77, Hannover 1977.
- ARDAILLON, Edouard:
 1897 Les mines du Laurion dans l'antiquité, Paris 1897.
- BARTH, Fritz Eckart:
 1976 Abbauversuche im Salzbergwerk Hallstatt. Simulierung mit Nachbildungen prähistorischer Gezähe, in: Der Anschnitt 28, 1976, S. 25–29.
 1982 Das Stügerwerk im Salzbergwerk Hallstatt, in: Fundberichte Österreich, Reihe B, H. 1, 1982, S. 5–12.
 1986 Der urzeitliche Bergbau im Grüner Werk des Salzbergwerkes Hallstatt, Hallstatt 1986.

- BEAUMONT, Peter B.:
1973 The Ancient Pigment Mines of Southern Africa, in: South African Journal of Science 69, 1973, S. 140–146.
- BERG, Björn Ivar:
1985 Norwegische Bauern im Dienste des Bergbaus. Transportleistungen beim Kongsberger Silberwerk in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts, in: Der Anschnitt 37, 1985, S. 22–32.
- BIELEININ, Kazimierz:
1978 Der frühgeschichtliche Eisenerzbergbau in Rudki im Świętokrzyskie-(Heilig-Kreuz-)Gebirge, in: Eisen und Archäologie, Bochum 1978 (= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. 14), S. 9–24.
- BINSTEINER, Alexander/ENGELHARDT, Bernd:
1987 Das neolithische Silexbergwerk von Arnhofen, Gde. Abensberg, Lkr. Kelheim, in: Rind 1987, S. 9–16.
- BORN, Hermann (Hrsg.):
1985 Archäologische Bronzen. Antike Kunst. Moderne Technik, Berlin 1985.
- BRUN, Eduard:
1983 3500 Jahre Bergbau und Verhüttung im Oberhalbstein, in: Bergknappe 4, H. 26, 1983, S. 8–13.
1987 Geschichte des Bergbaus im Oberhalbstein, Davos 1987.
- BUCHWALD, Vagn Fabritius/MOSDAL, Gert:
1985 Meteoric Iron, Telluric Iron and Wrought Iron in Greenland, in: Meddelelser om Gronland, Man & Society 9, 1985.
- CASTEL, G./GOUT, J.-F./SOUKIASIAN, G.:
1985 Gebel Zeit: Pharaonische Bergwerke an den Ufern des Roten Meeres, in: Antike Welt 16, H. 3, S. 15–28.
- ČERNYCH, E. N.:
1978 Aibunar, a Balkan copper mine of the 4th millenium BC. (Investigations of the years 1971, 1972 and 1974), in: Proceedings of the Prehistoric Society 44, 1978, S. 203–218.
- COLLINS, A. L.:
1892/93 Fire-Setting: the art of mining by fire, in: Transactions of the Institute of Mining Engineers 5, 1892/93, S. 82–92.
- CONOPHAGOS, Constantin E.:
1980 Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent, Athen 1980.
- CONRAD, Hans-Günther/ROTHENBERG, Beno (Bearb.):
1980 Antikes Kupfer im Timna-Tal. 4000 Jahre Bergbau und Verhüttung in der Arabah (Israel), Bochum 1980 (= Der Anschnitt. Beih. 1 = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum. 20).
- COUTIER, L./BENOIST, E./BRISSON, A.:
1962 Découverte d'un squelette néolithique dans un puit de silex en Champagne, in: Bulletin de la Société Préhistorique Française 59, 1962, S. 491–493.
- CRADDOCK, Paul T. (Hrsg.):
1980 Scientific Studies in Early Mining and Extractive Metallurgy, London 1980 (= British Museum, Occasional Paper. 20).
- DART, R. A./BEAUMONT, P.:
1969 Evidence of Iron Ore Mining in Southern Africa in the Middle Stone Age, in: Current Anthropology 10, 1969, S. 127f.
- DAVIES, Oliver:
1935 Roman Mines in Europe, Oxford 1935.
- DOMERGUE, Claude/HERAIL, G.:
1978 Mines d'or romaines d'Espagne, Toulouse 1978 (= Publications de l'Université de Toulouse-Le Mirail, Ser. B. 4).
- ECKERT, Hans-Ekkehard:
1978 Eisengewinnung bei den Senufa in Westafrika, in: Eisen und Archäologie, Bochum 1978 (= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. 14), S. 95–107.
- EIBNER, Clemens:
1982 Kupfererzbergbau in Österreichs Alpen, in: Hänsel 1982, S. 399–407.
1984 Der Bergbau im Herzen des Pongaus, in: Bischofshofen – 5000 Jahre Geschichte und Kultur, hrsg. v. d. Sparkasse Bischofshofen. Bischofshofen 1984.
- ENGELHARDT, Bernd/BINNSTEINER, Alexander:
1988 Vorbericht über die Ausgrabungen 1984–1986 im neolithischen Feuersteinabbaurevier von Arnhofen, Ldkr. Kelheim, in: Germania 66, 1988, S. 1–28.
- ERICSON, Jonathon E./PURDY, Barbara A.:
1984 Prehistoric Quarries and Lithic Production, Cambridge 1984 (= New Directions in Archaeology).
- FOBER, Leonhard:
1980 Das Öl- und Benzinsicherheitsgeleucht – Eine systematisch-kritische Betrachtung der Grubenlampen unter dem Aspekt der Sicherheit, in: Der Anschnitt 32, 1980, S. 177–186.
- FOBER, Leonhard/WEISGERBER, Gerd:
1980 Feuersteinbergbau – Typen und Techniken, in: Weisgerber/Slotta/Weiner 1980, S. 32–47.
- FOL, Alexander/LICHARDUS, Jan (Hrsg.):
1988 Macht, Herrschaft und Gold. Das Gräberfeld von Varna (Bulgarien) und die Anfänge einer neuen europäischen Zivilisation, Saarbrücken 1988.
- FORBES, Robert J.:
1966 Studies in Ancient Technology, Bd. 7: Ancient Geology; Ancient Mining and Quarrying; Ancient Mining Techniques, Leiden 1966.
- FREISE, F.:
1908 Geschichte der Bergbau- und Hüttentechnik, Berlin 1908.
- GÄTZSCHMANN, Moritz Ferdinand:
1846 Vollständige Anleitung zur Bergbaukunde, Teil 3: Die Lehre von den bergmännischen Gewinnungsarbeiten, Freiberg 1846.
1856 Vollständige Anleitung zur Bergbaukunde, Teil 1: Die Aufsuchung und Untersuchung von Lagerstätten nutzbarer Mineralien, Freiberg 1856 (2. Aufl. 1866).
1864 Die Aufbereitung, Bd. 1, Leipzig 1864.
1872 Die Aufbereitung, Bd. 2, Leipzig 1872.
- GEERLINGS, Wilhelm:
1985 Zum biblischen und historischen Hintergrund der Bergwerke von Fenan in Jordanien, in: Der Anschnitt 37, 1985, S. 188–206.
- GREWE, Klaus:
1985 a Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen, Wiesbaden 1985 (= Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft, Suppl. 1).
1985 b Von Eupalinos bis Fulbert. Zur Geschichte des Wasserleitungstunnels, in: Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft 8, 1985, S. 4–19.
- GROTHE, H. (Hrsg.):
1972 Bergbau, Hamburg 1972 (= Lueger Lexikon der Technik).
- GSTREIN, Peter:
1988 Neuaufnahme eines vorgeschichtlichen Abbaus im Arthur-Stollen (Bergbau Mitterberg), in: Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde 128, 1988, S. 425–438.
- GSTREIN, Peter/LIPPERT, Andreas:
1987 Untersuchung bronzezeitlicher Pinggen am Hochmoos bei Bischofshofen, Salzburg, in: Archaeologia Austriaca 71, 1987, S. 89–98.
- GURINA, N. N.:
1976 Drevnija kremnedobyvajuschtschije schachty, Leningrad 1976.
- HÄNSEL, Bernhard (Hrsg.):
1982 Südosteuropa zwischen 1600 und 1000 v. Chr., Berlin 1982 (= Prähistorische Archäologie in Südosteuropa. 1).
- HAUPTMANN, Andreas/WEISGERBER, Gerd:
1985 Vom Kupfer zur Bronze: Beiträge zum frühesten Berg- und Hüttenwesen, in: Born 1985, S. 16–36.
- HAUPTMANN, Andreas/WEISGERBER, Gerd/KNAUF, Ernst Axel:
1985 Archäometallurgische und bergbauarchäologische Untersuchungen im Gebiet von Fenan, Wadi Arabah (Jordanien), in: Der Anschnitt 37, 1985, S. 163–195.
- HECKES, Jürgen/MAUELSHAGEN, Landolf/WEISGERBER, Gerd:
1987 Photogrammetrie beim Deutschen Bergbau-Museum. Ziele, Ausrüstung und Anwendungen, in: Der Anschnitt 39, 1987, S. 272–282.
- HENNICKE, H. W. (Hrsg.):
1978 Mineralische Rohstoffe als kulturhistorische Informationsquelle, Heidelberg 1978.

- HOLLSTEIN, Ernst:
1974 Jahrringkurven aus dem prähistorischen Salzbergwerk in Hallstatt, in: Archäologisches Korrespondenzblatt 4, 1974, S. 49–51.
- HOLZER, F. H./MOMENZADEH, M./GROOP, G.:
1971 Ancient Copper Mines in the Veshnovah Area, Kuhestan-E-Qom, West-Central-Iran, in: Archaeologia Austriaca 49, 1971, S. 1–22.
- HUBERT, François:
1980 Zum Silifbergbau von Spiennes, in: Weisgerber/Slotta/Weiner 1980, S. 124–140.
- JODŁOWSKI, Antoni:
1976 Technika produkcji soli na terenie Europy w pradziejach i we wczesnym żelaznym wieku, Wieliczka 1976 (= Studia i materiały do dziejów żup solnych w Polsce. 5).
- JOVANOVIĆ, Borislav:
1976 Rudna Glava, ein Kupferbergwerk des frühen Eneolithikums in Ostserbien, in: Der Anschnitt 28, 1976, S. 150–157.
1982 Rudna Glava. Der älteste Kupferbergbau im Zentralbalkan, Bor/Beograd 1982.
1983 Mali Šturac – ein neues prähistorisches Kupferbergwerk in Zentralserbien, in: Der Anschnitt 34, 1983, S. 177–179.
- JUNGHANS, S./SANGMEISTER, E./SCHRÖDER, M.:
1968/74 Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit. Studien zu den Anfängen der Metallurgie, 2 Bde., Berlin 1968/74.
- KALCYK, Hansjörg:
1982 Untersuchungen zum attischen Silberbergbau. Gebietsstruktur, Geschichte und Technik, Frankfurt/Bern 1982.
- KERL, Bruno:
1853 Der Communion-Unterharz, Freiberg 1853.
- KIENAST, Hermann J.:
1977 Der Tunnel des Eupalinos auf Samos, in: Architectura 7, 1977, S. 97–116.
- KIND, Hans Dieter:
1965 Antike Kupfergewinnung zwischen Rotem und Totem Meer, in: Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins 81, 1965, S. 56–73.
- KLOSE, Oliver:
1918 Die prähistorischen Funde vom Mitterberge bei Bischofs- hofen im städtischen Museum Carolino-Augusteam zu Salzburg und zwei prähistorische Schmelzöfen auf dem Mitterberg, in: Österreichische Kunsttopographie 17, Wien 1918.
- KOCH, Manfred:
1963 Geschichte und Entwicklung des bergmännischen Schrifttums, Goslar 1963.
- KÖHLER, Gustav:
1887 Lehrbuch der Bergbaukunde, Leipzig 1887.
1898 Katechismus der Bergbaukunde, 2. Aufl., Leipzig 1898.
- KOUKOULI-CHRYSANTHAKI, Chaido/WEISGERBER, Gerd/ GIALOGLOU, Georgios:
1988 Prähistorischer und junger Bergbau auf Eisenpigmente auf Thasos, in: Wagner/Weisgerber 1988, S. 241–244.
- KROKER, Werner (Bearb.):
1978 SICCIM. II. Internationaler Kongreß für die Erhaltung technischer Denkmäler, Verhandlungen/Transactions, Bochum 1978 (= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. 13).
- KROMER, Karl:
1963 Hallstatt, die Salzhandelsmetropole des ersten Jahrtausends v. Chr. in den Alpen, Wien 1963.
- KYRLE, Georg:
1913 Der prähistorische Salzbergbau am Dürrnberg bei Hallein, in: Jahrbuch für Altertumskunde 7, 1913, S. 1–58.
1918 Der prähistorische Bergbaubetrieb in den Salzburger Alpen, in: Österreichische Kunsttopographie 17, Wien 1918.
- LAUFER, Siegfried:
1955 Die Bergwerkssklaven von Laurion, Wiesbaden 1955, 2. Aufl. 1979 (= Forschungen zur antiken Sklaverei. 11).
- LECH, Jacek:
1981 Flint Mining among the Early Farming Communities of Central Europe, in: Przeglad Archeologiczny 28, 1981, S. 5–55.
- 1983 Flint Mining among the Early Farming Communities of Central Europe, Part II – The Basis of Research into Flint Workshops, in: ebd. 30, 1983, S. 47–80.
- LESSING, Erich:
1980 Hallstatt. Bilder aus der Frühzeit Europas, Wien/München 1980.
- LIPTAKOVÁ, Z.:
1973 Steinhämmer aus Špania Dolina, Bezirk Banská Bystrica, in: Archeologické Rozhledy 25, 1973, S. 72–75.
- LUZON, J. M.:
1970 Instrumentos mineros de la España antigua, in: VI. Congreso Internacional de Minería, in: La Minería Hispana e Iberoamericana, León 1970, S. 221–258.
- MADDIN, Robert (Hrsg.):
1988 The Beginning of the Use of Metals and Alloys. Papers from the Second International Conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys, Zhengzhou, China, 21–26 Oct. 1986, Cambridge, Mass/London 1988.
- MALAISSÉ, F./GREGOIRE, J.:
1978 Aeolanthus biformifolius De Wild: A Hyperaccumulator of Copper from Zaire, in: Science 199, 1978, S. 887–888.
- MERCER, R. J.:
1981 Grimes Graves, Bd. 1: Excavations 1971–1972, London 1981.
- MESZÁROS, G./VERTÉS, L.:
1955 A Paint Mine from the Early Upper Palaeolithic Age near Lovas (Hungary, County Veszprém), in: Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae 5, 1955, S. 1–34.
- MITSCHA-MÄRHEIM, Herbert/FRIESINGER, Herwig/KERCHLER, Helga (Hrsg.):
1976 Festschrift für Richard Pittioni zum siebzigsten Geburtstag, Bd. 1: Urgeschichte, Wien 1976 (= Archaeologia Austriaca. Beih. 13).
- MORTON, Friedrich:
1953 Hallstatt und die Hallstattzeit, Hallstatt 1953.
- MUCH, Matthäus:
1878/79 Das vorgeschichtliche Kupferbergwerk auf dem Mitterberg (Salzburg), in: Mitteilungen der K. K. Central-Commission zur Erforschung und Erhaltung der kunst- und historischen Denkmale, N.F. 4, 1878, S. CXLVI-CLII; N.F. 5, 1879, S. XVIII-XXXVI.
- MUHLY, James D./MADDIN, Robert/KARAGEORGHIS, Vasos (Hrsg.):
1982 Early Metallurgy in Cyprus, 4000–5000 BC. Acta of the International Archaeological Symposium, Larnaca 1981, Nicosia 1982.
- MULLER, Arthur:
1988 La mine d'or de l'acropole de Thasos, in: Wagner/Weisgerber 1988, S. 180–197.
- OLAUSSON, Deborah/RUDEBECK, Elisabeth/SÄFVESTAD, Ulf:
1980 Die südschwedischen Feuersteingruben – Ergebnisse und Probleme, in: Weisgerber/Slotta/Weiner 1980, S. 183–204.
- OLESON, J. P.:
1984 Greek and Roman Mechanical Water-Lifting Devices, Toronto 1984 (= Phoenix. Suppl. 16).
- OTTO, Helmut/WITTER, Wilhelm:
1952 Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa, Leipzig 1952.
- PENNINGER, E.:
1971/73 Der Dürrnberg bei Hallein, Land Salzburg, in: Mitteilungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte 4, 1971/73, S. 18–27.
- PETRIKOVITS, Harald v.:
1959 Anregungen zur Zusammenarbeit von Archäologen mit Berg- und Hüttenleuten, in: Der Anschnitt 11, 1959, H. 2, S. 3–8.
- PITTIONI, Richard:
1947 Untersuchungen im Bergbaugebiete Kelchalpe bei Kitzbühel, Tirol, Wien 1947 (= Mitteilungen der Prähistorischen Kommission der Akademie der Wissenschaften. 5, 2–3).
- PÖRTNER, Rudolf/NIEMEYER, Hans Georg (Hrsg.):
1987 Die großen Abenteuer der Archäologie, Bd. 9, Salzburg 1987.
- PREUSCHEN, Ernst:
1962 Der urzeitliche Kupfererzbergbau von Vetriolo (Trentino), in: Der Anschnitt 14, 1962, H. 2, S. 3–7.

- 1968 Bronzezeitlicher Kupfererzbergbau im Trentino, in: ebd. 20, 1968, H. 1, S. 3–17.
- QUIRING, Heinrich:
1935 Vorgeschichtliche Studien in Bergwerken Südspaniens, in: Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen 83, 1935, S. 492–499.
- RIND, Michael M.:
1987 Feuerstein: Rohstoff der Steinzeit – Bergbau und Bearbeitungstechnik, Kelheim 1987 (= Archäologisches Museum der Stadt Kelheim, Museumsh. 3).
- RÖDER, Josef:
1969 Der Kriemhildenstuhl, in: Mitteilungen des Historischen Vereins der Pfalz 67, 1969, S. 110–132.
- ROSUMEK, Peter:
1982 Technischer Fortschritt und Rationalisierung im antiken Bergbau, Bonn 1982 (= Habelts Dissertationsdrucke, Reihe Alte Geschichte. 15).
- ROTHENBERG, Beno:
1973 Timna. Das Tal der biblischen Kupferminen, Bergisch Gladbach 1973.
- ROTHENBERG, Beno/BLANCO-FREIJEIRO, Antonio:
1980 Ancient Copper Mining and Smelting at Chinflon (Huelva, S.W. Spain), in: Craddock 1980, S. 41–62.
1981 Studies in Ancient Mining and Metallurgy in South West Spain, London 1981 (= Metals in History. 1).
- SCHAUBERGER, Othmar:
1960 Ein Rekonstruktionsversuch der prähistorischen Grubenbaue im Hallstätter Salzberg, Wien 1960 (= Prähistorische Forschungen. 5).
1968 Die vorgeschichtlichen Grubenbaue im Salzberg Dürrnberg/Hallein, Horn/Wien 1968 (= Prähistorische Forschungen. 6).
1976 Neue Aufschlüsse im „Heidengebirge“ von Hallstatt und Dürrnberg/Hallein, in: Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft Wien 106, 1976, S. 154–160.
- SCHINDLER, Reinhard:
1968 Studien zum vorgeschichtlichen Siedlungs- und Befestigungswesen des Saarlandes, Trier 1968.
- SCHMID, Elisabeth:
1980 a Der jungsteinzeitliche Abbau auf Silex bei Kleinkems (Baden-Württemberg) (D1), in: Weisgerber/Slotta/Weiner 1980, S. 141–165.
- SERLO, Albert:
1878 Leitfaden zur Bergbaukunde, 3. Aufl., Berlin 1878.
- SHEPHERD, Robert:
1980 Prehistoric Mining and Allied Industries, London/New York/Toronto 1980.
- SPERL, Gerhard:
1984 Montanarchäometrie, in: Wiener Berichte über Naturwissenschaft in der Kunst 1, 1984, S. 175–185.
- SPITAELS, P.:
1984 The Early Helladic Period in Mine No. 3 (Theatre Sector), in: Thorikos 8, 1972/76 (1984), S. 151–174.
- SPRATER, Friedrich:
1916 Römische Kupfergruben bei Gölheim, in: Pfälzisches Museum 33, 1916, S. 47–49.
- STOCKER, T. L./COBEAN, R. H.:
1984 Preliminary Report on the Obsidian Mines at Pico de Orizaba, Veracruz, in: Ericson/Purdy 1984, S. 83–95.
- WAGENBRETH, Otfried:
1987 Technisches Wissen im Montanwesen vom 12. Jahrhundert an und die Herausbildung der Montanwissenschaft im 16. Jahrhundert, in: Beiträge zur Wissenschaftsgeschichte, Wissenschaft in Mittelalter und Renaissance, Berlin 1987, S. 175–204.
- WAGNER, Günther A./WEISGERBER, Gerd (Bearb.):
1985 Silber, Blei und Gold auf Sifnos. Prähistorische und antike Metallproduktion, Bochum 1985 (= Der Anschnitt. Beih. 3 = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum. 31).
- WAGNER, Günther A./WEISGERBER, Gerd (Hrsg.):
1988 Antike Edel- und Buntmetallgewinnung auf Thasos, Bochum 1988 (= Der Anschnitt. Beih. 6 = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum. 42).
- WAHL, Jürgen:
1988 Três Minas, in: Madrider Mitteilungen 29, 1988, S. 221–244.
- WEISGERBER, Gerd:
1976 a Altägyptischer Bergbau auf der Sinaihalbinsel, in: Die Technikgeschichte als Vorbild moderner Technik, Schriften der Agricola-Gesellschaft, 1976, H. 2, S. 27–43.
1976 b Zu den Bergbau-Darstellungen der korinthischen Tontäfelchen, in: Der Anschnitt 28, 1976, S. 38–49.
1977 Beobachtungen zum alten Kupferbergbau im Sultanat Oman, in: ebd. 29, 1977, S. 190–211.
1978 a Bergbauarchäologie als Industriearchäologie, in: Kroker 1978, S. 176–184.
1978 b Beispiele zu Problemen und Möglichkeiten bergbauarchäologischer Forschungen, in: Henricke 1978, S. 19–43.
1979 Das römische Wasserheberad aus Rio Tinto in Spanien im British Museum London, in: Der Anschnitt 31, 1979, S. 62–80.
1981 a Noch einmal zu den Blockwandbauten am Hallstätter Salzberg, in: Archäologisches Korrespondenzblatt 11, 1981, S. 119–125.
1981 b Mehr als Kupfer in Oman – Ergebnisse der Expedition 1981, in: Der Anschnitt 33, 1981, S. 174–263.
1981 c Mittelalterliche Darstellungen von Kurbelhäspeln in ungewöhnlichem Zusammenhang, in: ebd. 33, 1981, S. 165–166.
1982 a Ältestes Bergeisen bei den Urartäern gefunden, in: ebd. 34, 1982, S. 177.
1982 b Towards a History of Copper Mining in Cyprus and the Near East: Possibilities of Mining Archaeology, in: Muhly/Maddin/Karageorghis 1982, S. 25–30.
1985 Bemerkungen zur prähistorischen und antiken Bergbautechnik, in: Wagner/Weisgerber 1985, S. 86–112.
1987 a Vier Jahrzehnte Montanarchäologie am Deutschen Bergbau-Museum, in: Der Anschnitt 39, 1987, S. 192–208.
1987 b Comparison of sophisticated mining techniques in flint and copper exploitations, in: Proceedings of the 1st International Conference on Prehistoric Flint Mining and Lithic Raw Material Identification in the Carpathian Basin, Budapest-Sümeg, 20–22 Mai, 1986, Budapest 1987, S. 163–165.
1987 c Montanarchäologie – ein Weg zum Verständnis früher Rohstoffversorgung, in: Pörtner/Niemeyer 1987, S. 3503–3540.
1988 Bemerkungen zur antiken Bergbautechnik auf Thasos, in: Wagner/Weisgerber 1988, S. 198–211.
- WEISGERBER, Gerd/HAUPTMANN, Andreas:
1988 Early Copper Mining and Smelting in Palestine, in: Maddin 1988, S. 52–61.
- WEISGERBER, Gerd/HEINRICH, Gerhard:
1983 Laurion – und kein Ende?, in: Der Anschnitt 35, 1983, S. 190–200.
- WEISGERBER, Gerd/SLOTTA, Rainer/WEINER, Jürgen (Bearb.):
1980 5000 Jahre Feuersteinbergbau – Die Suche nach dem Stahl der Steinzeit, Bochum 1980 (= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. 22).
- WILLIES, Lynn/CRADDOCK, Paul T./GURJAR, L. J./HEDGE, K. T. M.:
1984 Ancient Lead and Zinc Mining in Rajasthan, India, in: World Archaeology 16, 1984, Nr. 2, S. 222–233.
- WILSDORF, Helmut:
1952 Bergleute und Hüttenmänner im Altertum bis zum Ausgang der Römischen Republik, Berlin 1952 (= Freiburger Forschungshefte. D 1).
- WITTER, Wilhelm:
1938 a Die älteste Erzgewinnung im nordisch-germanischen Lebenskreis, Bd. 1: Die Ausbeutung der mitteldeutschen Erzlagerstätten in der frühen Metallzeit, Leipzig 1938 (= Mannus-Bibliothek. 60).
1938 b Die älteste Erzgewinnung im nordisch-germanischen Lebenskreis, Bd. 2: Die Kenntnis von Kupfer und Bronze in der Alten Welt, Leipzig 1938 (= Mannus-Bibliothek. 63).
- ZSCHOCKE, Karl/PREUSCHEN, Ernst:
1932 Das urzeitliche Bergbaugebiet von Mühlbach-Bischofshofen, Wien 1932.

Anschrift des Verfassers:
Dr. Gerd Weisgerber
Deutsches Bergbau-Museum Bochum
Am Bergbaumuseum 28
D-4630 Bochum 1