

Montanarchäologie

Grundzüge einer systematischen Bergbaukunde für Vor- und Frühgeschichte und Antike

Teil I

Mit dem vorliegenden Beitrag¹ wird erstmals der Versuch unternommen, den vor- und frühgeschichtlichen zusammen mit dem antiken Bergbau systematisch zu ordnen. Eine Auswahl von Beispielen erläutert das Konzept, bei dem bewußt darauf verzichtet wird, schriftliche Quellen der Antike hinzuzuziehen, um die Aussagekraft der archäologischen Quellen allein zu demonstrieren.

Ziel des Aufsatzes ist es, einen Überblick über eine mögliche Systematik der vor- und frühgeschichtlichen wie der antiken Bergbaukunde zu vermitteln, und mit den vorgelegten Schemata sowie den zur Veranschaulichung gegebenen Erläuterungen soll eine Handhabe zur Gliederung des bislang angehäuften Wissens zum Berg- und Hüttenwesen der Vor- und Frühgeschichte – im Sinne einer systematischen Bergbaukunde – gereicht werden. Es geht weniger darum, eine leicht diffus geratene Geschichte des Bergbaus für nur eine Epoche, ein Territorium oder ein Revier zu verfassen, als vielmehr darum zu zeigen, wie die angefallenen Beobachtungen, Erkenntnisse und Nachrichten in einer systematischen Bergbaukunde darzustellen sind. Dabei stellen sich – gewissermaßen als Nebeneffekt – auch Lücken im Kenntnisstand heraus, über die bislang keine gesicherten Informationen vorliegen.

So können die einzelnen Punkte dieser Gliederung bei einer Untersuchung im Idealfall auch dazu dienen, die Gesichtspunkte, zu denen Beobachtungen nötig sind, am Untersuchungsobjekt Punkt für Punkt abzufragen.

Über die Geschichte des Begriffs und das Verständnis der beim Deutschen Bergbau-Museum betriebenen Forschungen zur Montanarchäologie/Bergbauarchäologie ist bereits an anderer Stelle publiziert worden². Montanarchäologie will aus Spuren und Denkmälern montanistischer Tätigkeiten des Menschen – Gewinnung mineralischer Rohstoffe durch Bergbau oder Steinbrucharbeiten, Aufbereitung, Verarbeitung oder Verhüttung – einen spezifischen Beitrag zur Geschichte liefern. Sie fühlt sich nicht an bestimmte Zeitabschnitte gebunden, sondern an die Anwendung archäologischer Methoden, etwa der von Ausgrabungen über und unter Tage. Sie sucht und deutet Spuren von Tätigkeiten im Bereich der Rohstoffgewinnung

bzw. -verarbeitung. Dabei gehört es zu den Besonderheiten ihrer Quellen, daß sie diese vielfach nicht selbst vollständig auswerten kann, sondern von Anfang an auf interdisziplinäre Zusammenarbeit angewiesen ist.

Dies gilt insbesondere für Erze, Ofenkeramik und Schlacken, zu deren Deutung und Verständnis die Naturwissenschaften im Rahmen der Montanarchäometrie beitragen³. Ebenso wenig kann und soll im Rahmen dieses Aufsatzes auf die Bereiche Aufbereitung und Verhüttung eingegangen werden, und auch nicht die Lagerstätten, ihre Gestalt und möglichen Störungen – wie sie bis in die heutige Zeit zu Recht am Beginn aller umfassenden Abhandlungen über die Bergbaukunde dargestellt werden –, sie fallen nicht in die Zuständigkeit des Archäologen.

Die montanarchäologischen Belange des Bergbaus lassen sich insgesamt vielmehr in vierzehn Bereiche untergliedern. Davon gehören elf zur Technik, zwei zum sozialen, ökonomischen und politischen Umfeld sowie einer zum weltanschaulichen Rahmen, der den Bergbau bedingte oder in dem die bergbaulichen Aktivitäten ausgeübt wurden. Es sind dies im einzelnen:

1. Aufsuchen der Lagerstätte
2. Aufschließen der Lagerstätte
3. Abbau der Lagerstätte
4. Gewinnung
5. Grubenausbau
6. Fahrung
7. Förderung
8. Wasserhaltung
9. Wetterführung
10. Beleuchtung
11. Markscheidekunst
12. Betriebswesen/Organisation
13. Bergrecht
14. Ideologie/Religion

Dieser Teil des Beitrages behandelt die vier erstgenannten Bereiche. Die Bereiche Grubenausbau – Beleuchtung (Punkte 5–10 der Gliederung) werden im kommenden Heft des ANSCHNITT dargestellt. Eine Abhandlung zu den Bereichen Markscheidekunst – Ideologie/Religion befindet sich in Vorbereitung.

Einleitende Bemerkungen

Die prähistorische Archäologie widmet den Rohstoffen starke Aufmerksamkeit und ist die Wissenschaft von der Stellung der Rohstoffe in der Zeit. Das jedenfalls könnte man meinen, wenn man einseitig die Namengebung der Periodisierung vorgeschichtlicher Zeiträume in Stein-, Kupfer-, Bronze- und Eisenzeit zugrunde legt. Den Rohmaterialien scheint also im Fach eine überragende Bedeutung beigemessen zu werden. Daß dem nicht so ist, sondern daß sich hier vielmehr forschungsgeschichtliche Entwicklungen einer zunächst an Funden orientierten Altertumskunde widerspiegeln – die teilweise auf antiken Periodisierungen beruhen –, das lernt der Student im Proseminar.

Über die Rohstoffe selbst, ihre überragende Bedeutung, Herkunft und Gewinnung lernt er in der Regel wenig, sieht man davon ab, daß er von den bedeutenden prähistorischen Bergbauzentren hört, die im vorigen Jahrhundert nicht von Archäologen, sondern von Ingenieuren entdeckt worden sind. Ihre Auffindung geht meist auf einen sich im Zuge der Industrialisierung immer stärker entwickelnden Rohstoffbedarf zurück, der zur erneuten Inbetriebnahme oder Erweiterung alter Bergwerke, Sandgruben und Steinbrüche oder zum Bau von großen Verkehrsverbindungen führte, bei denen die vorgeschichtlichen Bergwerke angeschnitten wurden. Verständige Ingenieure bewahrten die Funde, dokumentierten manchen Befund⁴ oder führten selbst Ausgrabungen⁵ durch.

Zu den klassisch zu nennenden, jedem Prähistoriker bekannten Bergbaurevierern gehören die Feuersteingruben von Spiennes⁶, die Salzbergwerke von Hallstatt⁷ und Hallein⁸ und die Kupfergruben auf dem Mitterberg bei Bischofshofen⁹. Im vorigen Jahrhundert wurden zwar noch viele kleinere urgeschichtliche Bergwerke entdeckt, vor allem Silexgruben, zu größeren Untersuchungen ist es aber nicht gekommen.

Als der Bergbau schließlich in diesem Jahrhundert in immer größere Teufen vorstieß, führte dies nicht mehr zu wichtigen Entdeckungen. Bis zum Zweiten Weltkrieg gab es vereinzelt Forscher, die sich mit den alten Funden befaßten¹⁰ oder den prähistorischen¹¹ wie auch den römischen Bergbau¹² zusammenfassend darstellten; nach dem Kriege wurde dieser Rahmen erweitert¹³, bedeutende Feldforschungen aber höchst selten durchgeführt¹⁴. Zwar hatte man die Frage nach der Herkunft von Gesteinen und Metallen nicht vergessen, doch als man begann, sie etwa für die Metalle zu stellen, stand, von Ausnahmen abgesehen¹⁵, das Ende der Reihe Erz–Metall–Fertigprodukt im Vordergrund: die dem Prähistoriker vertrauteren Artefakte¹⁶. Zu der bereits in den 50er Jahren geforderten Zusammenarbeit zwischen Bergleuten, Metallurgen und Archäologen¹⁷ ist es in nennenswertem Umfang erst allmählich gekommen.

Der vor- und frühgeschichtliche und antike Bergbau haben in den letzten beiden Jahrzehnten, wenn man die ständig

wachsende Zahl der Veröffentlichungen betrachtet¹⁸, zunehmend an Interesse gewonnen. Leider ist es sehr bedauerlich, daß dabei Berichte über Ergebnisse neuer montanarchäologischer Untersuchungen nur selten sind. In der Zahl herrschen noch Literaturarbeiten vor, die sich allerdings zuweilen als Bestandsaufnahme verstehen¹⁹. Der unbefriedigende Zustand des Forschungsbereichs Montanarchäologie wird am besten daran verdeutlicht, daß man es für notwendig hielt, 50, ja 60 Jahre alte Publikationen als unveränderte Nachdrucke zu verlegen²⁰.

Vielmehr ist es notwendig, zunächst einmal in Form von Dokumentationen für neue Fragestellungen neue Quellen bereitzustellen. Durch Sichtung und Dokumentation bislang vernachlässigter vor- und frühgeschichtlicher Bergwerke und durch die Entwicklung dazu geeigneter Methoden müssen Grundlagen und Voraussetzungen geschaffen werden, über weitergehende Fragen, etwa der Technikgeschichte, der Organisation, der Wege des Handels oder des Technologietransfers, nachdenken zu können. Es kann nicht weiterführen, immer wieder nur alte Daten zu verwenden²¹. Eine Geschichte des vor- und frühgeschichtlichen Bergbaus bedarf dringend moderner montanarchäologischer Untersuchungen. Um diesen Forderungen zu entsprechen, sollen hier vorwiegend neue oder unveröffentlichte Bilder zur Illustration des übergreifenden Themas herangezogen werden.

Wenn sich Laien mit dem Themenkreis „Bergbau“ befassen, läßt sich ein merkwürdiges Phänomen beobachten: Es ist erstaunlich, wie wenig man sich um die richtige Verwendung der Begriffe der Bergbaukunde bemüht. Dabei gilt für den Bergbau, was für jede Ingenieurwissenschaft selbstverständlich ist: Ohne die richtige Verwendung der zahlreich vorhandenen Termini ist es nicht möglich, detailliert Inhalte zu vermitteln oder aufzunehmen. Niemand käme z. B. auf die Idee, beim vor- und frühgeschichtlichen Schiffbau von der „Spitze“ oder dem „Ende“ des Schiffes, von „links“ oder „rechts“, von der großen „Stange“ mit dem Tuch, an der breite „Strickleitern“ hinaufführen, zu sprechen. Begriffe des Schiffbaus scheinen demnach allgemein geläufiger zu sein und besser verstanden zu werden als die des Bergbaus. Doch muß auch derjenige, der sich mit dem Bereich der Montanarchäologie beschäftigen will, die Termini der Lagerstätten-, Bergbau- und Hüttenkunden benutzen und richtig verwenden. Nur so wird er sich einerseits eindeutig mitteilen können und andererseits selbst korrekt verstanden werden.

Systematik der Bergbaukunde und Montanarchäologie

Es ist ein interessantes Thema, die Entwicklung der systematischen Bergbaukunde von ihren Anfängen bei Georg Agricola (1556), über Balthasar Röbber (1655) bis etwa zu Heise-Herbst (1908) zu verfolgen. Doch kann dieses vorwiegend technikhistorische Thema hier nicht im Mittelpunkt stehen. Eine Untersuchung zur Entstehung einer sy-

stematischen Bergbaukunde liegt offensichtlich nicht in einer Weise vor²², die für unsere Zwecke hilfreich oder zu übernehmen wäre²³.

Es kommt daher darauf an, das für Vor- und Frühgeschichte, Antike und letztlich auch für das Mittelalter erkennbare bergbaukundliche Wissen systematisch zu gliedern²⁴. Dazu sind Bergbaukunden aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts als Vorbild relativ gut geeignet, behandeln sie doch eine Bergbautechnik, die sich von der der ältesten und älteren Perioden noch nicht zu weit entfernt hatte: Hauptenergie war immer noch die menschliche Muskelkraft. Jüngere und heutige Bergbaukunden befassen sich dagegen weitgehend mit anderen Energien und modernster Technik, sie können deshalb für unser Thema kaum noch von Nutzen sein. Ältere Werke hingegen berücksichtigen oft genug noch die historische Entwicklung oder zumindest das, was dem Autor aus früheren Zeiten bekannt geworden war.

Für eine Gliederung des montanarchäologischen Wissensstoffes dient als Vorbild hier folglich ein Aufbau der Bergbaukunde, wie er seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts kanonisch und weiter entwickelt wurde. Dabei ist an erster Stelle das umfangreiche Werk von Moritz Ferdinand Gätzschnmann (1846, 1864, 1872) zu nennen, der über Jahrzehnte versuchte, den Bergbau im weiteren Sinne darzustellen und systematisch in Sachbereiche zu gliedern²⁵. Zwar verwendet er den Begriff Bergbauarchäologie nicht, doch ist es ihm ein großes Anliegen, aus der Untersuchung alter Grubenbaue Schlüsse für die mögliche Wiedereröffnung einer Grube zu ziehen. Er berichtet ausführlich über ihm bekannte bergbauarchäologische Fakten²⁶.

Das 1878 in zwei Bänden von Albert Serlo vorgelegte System ist straffer gegliedert²⁷. Im Gegensatz zu Gätzschnmann erlaubt er sich keine Ausflüge in die Geschichte der Bergbautechnik mehr: Zu seiner Zeit spielte alter Bergbau als Explorationsmittel keine Rolle mehr. Mit geringfügigen Verbesserungen wurde Serlos Gliederung auch von Gustav Köhler am Ende des 19. Jahrhunderts vertreten²⁸.

1. Aufsuchen der Lagerstätte

Natürliche Anzeichen

Geologie

Hydrologie

Botanik

Anthropogene Anzeichen

Überreste alten Bergbaus

über Tage

unter Tage

Mündliche und schriftliche Überlieferungen

Zu Zeiten, als moderne geophysikalische Prospektionsmethoden noch nicht zur Verfügung standen, besaßen Erzprospektoren bereits genügend Erfahrungswissen, um in den von ihnen zu untersuchenden Gebieten nahezu alle

für sie zugänglichen Lagerstätten gesuchter Mineralien zu entdecken²⁹. Bereits die Eröffnung der alt- und jungsteinzeitlichen Feuersteinbergwerke setzte geologisches Denken und die Auseinandersetzung mit den Befunden an der Tagesoberfläche voraus. So basierte die Anlage der tiefen Schächte von Spiennes (B 1) allein auf der Fähigkeit, die Beobachtung der an den Talflanken der Trouille ausbeißenden Feuersteinlagen auf das sich anschließende Plaqueau zu übertragen³⁰.

Erschwerend trat hinzu, daß sich das Spektrum der benötigten Rohstoffe kontinuierlich änderte, nicht zuletzt dann, wenn wegen der Erschöpfung eines Minerals nach Ersatzmineralien gesucht werden mußte. Dies läßt sich gut am Beispiel des Kupfers verdeutlichen³¹, wo es ohne Erschöpfung der Vorkommen gediegenen Kupfers nicht zu einer Entwicklung der Hüttentechnologie, zur Darstellung des Metalls aus oxidischer Erzen und – nach deren Erschöpfung – zur Nutzung sulfidischer Erze, gekommen wäre³². Entdeckungen von gediegenen Metallen, etwa von Gold und Kupfer (Naturkupfer), waren zu Beginn der Metallnutzung ohne weiteres möglich, waren sie doch in den unberührten primären oder sekundären Lagerstätten noch reichlich vorhanden³³. Die Nutzung gediegenen Eisens durch Eskimos in Grönland wurde erst jüngst nachgewiesen³⁴. Hinzu kommt, daß damals zumindest im Nahen Osten aufgrund umfangreicher Viehwirtschaft weite Landstriche begangen wurden und demzufolge Mineralisationen, etwa die von Malachit, wenn man nach ihnen Ausschau hielt, nicht übersehen werden konnten. Daß dieses Suchen von Mineralien in verschiedenen Gegenden zu verschiedenen Zeiten stattfand, ändert nichts am Prinzip und an der Tatsache, daß viele Teile der Welt damals noch im Hinblick auf die Lagerstätten unverritz waren und eine „Bonanza“ darstellten, wie man sie sich heute höchstens noch aus der Kenntnis historischer Goldentdeckungen vorzustellen vermag³⁵.

Der vor- und frühgeschichtliche Bergbau in den entlegensten Gegenden des Nahen Ostens bezeugt zum einen die systematische Suche nach verwertbaren Mineralien³⁶, zum anderen gute Kenntnis und Verständnis der geologischen Voraussetzungen sowie die richtige Deutung dieser Beobachtungen. Dies wird besonders anschaulich durch die altägyptischen Türkis-, Gold- und Bleigruben im Sinai bzw. in der Östlichen Wüste, die ohne eine vorangegangene systematische Prospektion nicht entstanden wären.

Zweifelloos war die Erzsuche im bewaldeten Europa schwieriger. Wenn die Forschung hier noch nicht viele prähistorische Bergwerke identifizieren konnte, die zahlreichen frühen Metallfunde legen auch hier beredtes Zeugnis für den Erfolg der frühen Prospektoren ab. Dabei könnten sie gelegentlich durch den Geschmack, die Färbung oder durch Ausfällungen der aus dem Boden sickenden Wässer auf die Mineralien aufmerksam geworden sein. Vorwiegend durch den Geschmack wurden die

zahlreichen salzhaltigen Quellen identifiziert. Zahlreiche prähistorische Solesiedereien vom Seilletal in Lothringen bis Wieliczka bei Krakau (Polen) belegen ihre frühe Entdeckung und Ausbeutung, die bis in die Jungsteinzeit zurückreichen können³⁷. In der Vor-Bergbauzeit muß das Austreten von farbigen Wässern angesichts der zahlreichen am Tage austretenden, verwitterten Erzkörper häufig gewesen sein, zumindest in den gemäßigten Klimabereichen Europas. Ein gutes Beispiel dafür bieten noch heute die blauen Ablagerungen eines Baches in Vetriolo Vecchio in den Trentiner Alpen, die vor dreißig Jahren zur Wiederentdeckung des dortigen bronzezeitlichen Bergbaus führten³⁸.

Sicher hatte man früh erkannt, daß fehlender Bewuchs oder die Konzentration einer bestimmten Pflanze Hinweise auf Mineralvorkommen liefern konnten. Das Vorkommen derartiger Weiser- oder Zeigerpflanzen springt deshalb so besonders ins Auge, weil die durch Metallerzverbindungen vergifteten und oft sehr armen Böden für die meisten anderen Pflanzen absolut unverträglich sind. Selbst Schlackenhalde mit ihren doch relativ geringen Metallgehalten zeigen oft noch nach Jahrtausenden keinen Bewuchs, wie an den früheisenzeitlichen Kupferverhüttungsschlacken in Graubünden³⁹ oder im Trentino allenthalben beobachtet werden kann.

Nicht nur in unseren Breiten ist das Kupferveilchen (Silene) ein gutes Beispiel einer solchen Zeigerpflanze⁴⁰. Die

violette *Aeolanthus bi formifolius* auf den Halden des modernen Kupferbergwerks von Tonglūshan in der VR China oder in Katanga/Zaire machte zweifellos auch die frühgeschichtlichen Bergleute der dortigen Reviere auf die Lagerstätte aufmerksam⁴¹.

Das Galmeiveilchen (*Viola lutea* var. *calaminaria*)⁴² kann für die frühe Metallurgie nur im Zusammenhang mit Blei Bedeutung besessen haben. Das häufige gemeinsame Auftreten von Blei- und Zinkmineralien macht eine Nutzung dieser Zeigerpflanze wahrscheinlich. Durch Blei oder Kupfer verseuchte Böden werden sich zudem vielfach auch durch fehlenden Bewuchs verraten und so einen Hinweis auf die Mineralien gegeben haben.

2. Aufschließen der Lagerstätte

Tagebau

Mineral freiliegend

Mineral unter Deckgebirge

Stollenbau

Auffahrung von Stollen

Auffahrung von Strecken

im Nebengestein

in der Lagerstätte

Tiefbau

Auffahrung von Schächten

in der Lagerstätte

im Nebengestein

Abb. 1: Fenan, Wadi Khalid, Mittellauf. Die bronzezeitlichen Schächte 6–9 liegen auf der Niederterrasse, während die eisenzeitlichen Schächte 2–4 bereits zum Kliff auf der Hochterrasse ausweichen mußten, um dort noch unverritzte Erzlager anzutreffen



Auffahrung von Strecken
in der Lagerstätte
im Nebengestein

Unter dem Erschließen einer Lagerstätte versteht man deren Zugänglichmachung, nachdem sie erkannt worden ist. Lag das Mineral auf oder an der Oberfläche, so waren vor der Gewinnung keine weiteren Erschließungsarbeiten nötig. Dies war jedoch nur selten der Fall. Als Beispiele kommen die sekundären Lagerstätten etwa des baltischen oder auch des Maas-Feuersteins in Frage oder der Feuerstein in den Strandwällen der dänischen Inseln und alle am Tage anstehenden Gesteine, die zur Geräteherstellung genutzt wurden (Obsidian, Quarzit). Das Gewinnungsverfahren war hier das Klauben. Letztlich gehören auch diejenigen Steinbruchbetriebe, bei denen das zu gewinnende Steinmaterial offen zugänglich war, zur Gruppe der Lagerstätten mit freiliegendem Mineral. Einige der großen römischen Tagebaue auf Gold in Spanien und Portugal können hier eingeordnet werden.

Vielfach ist das zu gewinnende Mineral jedoch von einer Deckschicht oder vom Deckgebirge überlagert. Zum Erschließen der Lagerstätte mußten diese vor einer Gewinnung entfernt und abgetragen werden. Die dabei zu bewegendenden großen Erd- oder Gesteinsmassen gingen weit über das hinaus, was in der Vor- und Frühgeschichte wirtschaftlich zu leisten war. Es gibt deshalb keine größeren Tagebaue, bei denen Deckgebirge von bemerkenswerter Mächtigkeit vor der Mineralgewinnung entfernt worden wäre⁴³. Dampf- oder elektrogetriebene Großmaschinen (Eimerketten- und Löffelbagger) hielten erst kurz vor 1900 Einzug⁴⁴. Geringmächtige Überlagerungen können beim Feuerstein von Grand Pressigny (F 12) angenommen werden.

Da in der Vor- und Frühzeit keine Möglichkeit bestand, die Deckschichten abzuräumen, gab es nur zwei Möglichkeiten, an die mineralführenden Schichten unter dem Deckgebirge zu gelangen: Man konnte diese horizontal oder vertikal aufschließen, indem man von einer geologisch günstigen Situation aus die Lagerstätte von der Seite her durch einen Stollen oder von oben mit einem Schacht erschloß. Stollenbau erlaubte in gebirgigen Gegenden oft einen sofortigen Abbau der Lagerstätte; außerdem konnten zusitzende Wässer bequem abgeführt werden. Schachtbau bedeutete in jedem Falle mehr Aufwand und höheres Risiko. Beide Verfahren waren bereits im Neolithikum üblich. Wo, wie etwa in Spiennes (B 1), beides vorkommt, könnte man sich eine technologische Entwicklung vorstellen, bei welcher der Stollenbau dem Schachtbau vorausging. Man hätte dann so lange Stollenbau betrieben, wie dies Wetterverhältnisse und rationeller Transport unter Tage zuließen. Erst danach hätte man zu dem aufwendigeren Schachtbau mit seinen erstaunlichen Teufen von bis zu 16 m übergehen müssen⁴⁵.

Eine ähnliche Entwicklung konnte auch im Kupfererzbergbau von Fenan (Jordanien) festgestellt werden. Dort er-

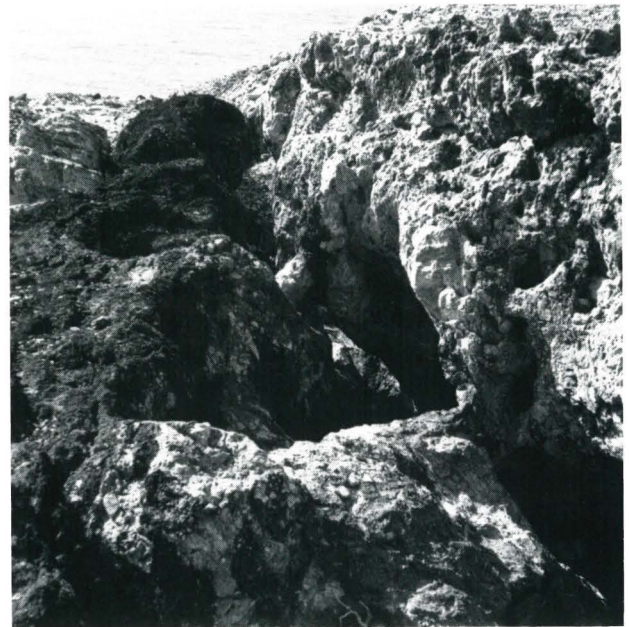


Abb. 2: Sifnos, Agios Sostis, Grube 1. Die frühkykladischen Schächte folgten in ihrer Neigung dem Einfallen des nicht ganz senkrecht stehenden Erzganges. Abgebaut wurde im Hangenden des Erzkörpers

schloß man während der Bronzezeit ein kupfererzführendes Flöz von der Talseite her, während unverritzte Bereiche des gleichen Flözes in der Eisenzeit (Abb. 1) durch teilweise recht tiefe Schächte erschlossen werden mußten⁴⁶.

Dabei ist wichtig festzuhalten, daß man sich in der Vorzeit immer in den Lagerstätten selbst bewegte. Dort, wo das Flintlager etwa an einer Talflanke ausbiß, setzte man den Stollen an; alle vom Stollen ausgehenden Strecken wurden gleichfalls in der Lagerstätte aufgefahren. Das gleiche galt für Strecken, die von Schächten ausgingen, sei es nun im jungsteinzeitlichen Feuersteinbergbau von Grimes Graves (GB 13) oder im Blei-/Silberbergbau von Laurion. Für die Ausbeutung steilstehender Erzgänge bedeutet dies, daß man Strecken nur in Streichrichtung des Ganges auffuhr, daß die Neigung von Schächten, Blindschächten und Gesenken dem Einfallen des Erzganges entsprach, daß man sich also immer in der Lagerstätte selbst bewegte. Ein frühes Beispiel dafür sind die Schächte der frühkykladischen Gruben von Agios Sostis (Abb. 2) auf Sifnos⁴⁷. Ein überwältigendes Exempel liefern die bronzezeitlichen Aktivitäten im Mitterberg bei Bischofshofen⁴⁸. Noch ist unbekannt, wann das Prinzip der ausschließlichen Arbeit im Erz aufgegeben wurde. Aus der Antike ist wohl nur ein Beispiel bekannt, wo Förderschächte außerhalb des Erzganges abgeteuft wurden, um diesen vollständig hereingewinnen zu können. Es handelt sich dabei um das Revier von Aljustrel in Südportugal⁴⁹. Heute jedenfalls legt man Schächte immer außerhalb der Lagerstätte an, um die größere Härte und Standfestigkeit des Nebengesteins zu nutzen und um Erzverluste zu vermeiden.

Einige der verschiedenen Verfahren zum Auffahren und Vortrieb von Stollen und Strecken bzw. zum Teufen von Schächten wurden bereits an anderer Stelle beschrieben⁵⁰.

3. Gewinnungsarbeiten

Wegfüllarbeit

Zermalmende Gewinnung

Keilhauenarbeit

Schlägel- und Eisenarbeit

Hereintreibarbeit

Sprengarbeit (Feuersetzen)

War die Lagerstätte erkannt, aus- und vorgerichtet, so konnte mit der Gewinnung des Minerals begonnen werden. Dabei mußten auch große Teile des Nebengesteins abgebaut werden. Für die Gewinnung des Minerals und des Gesteins wurden verschiedene Gezähe (Werkzeuge) entwickelt. Die Art des benutzten Werkzeugs und die Arbeitsweise wurden den örtlichen Gegebenheiten angepaßt. Sie standen in direkter Abhängigkeit von der Härte und Textur des Gesteins. Bemerkenswert ist, daß fast alle zu unterscheidenden Arbeitsweisen bereits im Feuersteinbergbau des Neolithikums bekannt waren, da man sich hervorragend an die jeweiligen geologisch-tektonischen Gegebenheiten anzupassen verstand.

Die Wegfüllarbeit stellt die leichteste Gewinnungsarbeit dar. Hierbei ist das Mineral entweder locker oder so weich, daß es etwa mit der Hand oder einer Schaufel in das Transportgefäß gefüllt werden kann. Für den vorzeitlichen Bergbau darf ihre Rolle nicht unterschätzt werden, da viel Räumarbeit mit der bloßen Hand durchgeführt worden sein wird, wie dies zahlreiche ethnographische Parallelen verdeutlichen. Die Wegfüllarbeit fand über und unter Tage statt. Vielleicht entsprach der paläolithische Rötbergbau von Lovas in Ungarn⁵¹ oder der neolithische Feuerstein-

bergbau von Grand Pressigny (F 12) diesen Kriterien; die ehemals entstandenen Pingen sind längst eingeebnet.

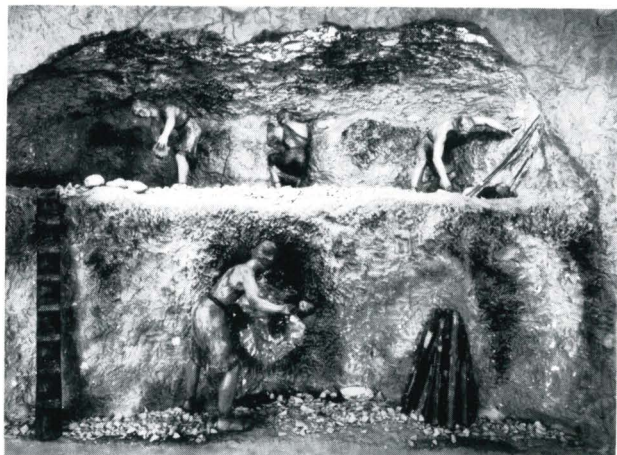
Mehr montanarchäologische Spuren hat die zermalmende Gewinnung hinterlassen, die großen körperlichen Einsatz erforderte und sehr zeitaufwendig war (Abb. 3). Dabei wurde mit einem schweren Schlägel mit großer Kraft so lange auf das Gestein eingeschlagen, bis es zersplitterte und hereingewonnen werden konnte bzw. das erstrebte Mineral freigab. Als Gezähe kamen mit der bloßen Hand geführte oder geschäftete Steingerölle zur Anwendung. Zur Schäftung der meist eiförmigen Gerölle waren diese umlaufend (oder nur an den Seiten) entweder mit Kerben, Aufrauungen oder Rillen versehen. Ganz besonders wichtig ist, daß diese stumpfen Gezähe spezifische Werkzeugspuren und Schlagmarken am Gestein hinterließen. In dieser Hinsicht besonders aufschlußreich waren Spuren am Gestein (Sandstein) in Timna (Abb. 4). Nur von lokaler Bedeutung scheinen Steinschlägel zu sein, die zur Schäftung durchbohrt wurden (Timna und Fenan).

Sicher wurde bei den mit der bloßen Hand geführten Geröllsteinen des paläolithischen Rötbergbaus von Tzines auf der griechischen Insel Thasos auch zermalmend auf das harte Hämatitgestein geschlagen. Das neolithische Jaspisbergwerk bei Kleinkems (D 1) und die Hornsteinbergwerke im südlichen Frankreich (F 1–5) sind in Europa Beispiele par excellence für die frühe Gewinnung mittels geschäfteter Rillenschlägel. Aus dem Orient lassen sich zahlreiche Belege für die Gewinnung von Kupfererzen mittels Rillenschlägeln beibringen. Das bekannteste ist das Bergwerk von Veshnoveh bei Qom in Mittelpersien (Nähe Tepe Sialk)⁵². Ein weiteres wurde vom Deutschen Bergbau-Museum 1978 in Mazraeh entdeckt⁵³. Aber auch der frühe Kupferbergbau Europas konnte auf dieses Gezähe nicht verzichten, wie dies die zahlreichen Beispiele von Rudna Glava⁵⁴ und Rudnik⁵⁵ in Jugoslawien oder Aibunar in Bulgarien⁵⁶, Chiflon⁵⁷ auf der Iberischen Halbinsel und Špania Dolina in der Slowakei⁵⁸ belegen.

Als Sonderfall müssen die Verhältnisse des chalkolithischen Bergbaus von Fenan in SüdJordanien angesehen werden. Zwar kommen hier, wie vereinzelt auch im benachbarten Wadi Meneiyeh/Timna⁵⁹, Rillenschlägel in großer Zahl vor, interessanter ist aber die durch eine Mittelbohrung geschäftete Variante von Basaltgezähen, unter ihnen drei- oder viereckige bis runde Hämmer⁶⁰, doppelseitige Picken und Hammerpicken⁶¹. Sie belegen, daß bereits im Chalkolithikum aus dem Vielzweckgezähe Rillenschlägel ein ganzer Satz steinerner Spezialgezähe für unterschiedliche Zwecke entwickelt worden war.

Daraus ergab sich zwangsläufig eine spezialisierte Anwendung, wobei die der Keilhauenarbeit eine der wichtigsten ist. Ohne im weiteren auf die verschiedenen Gezähe dieser Arbeit (einfache Keilhau [Abb. 5], Doppelkeilhau, Spitzhammer, Schrämhammer, Breithau/Rodehau, Schrämspieß, Axt) und die damit ausgeführten Arbeiten wie Schrämen, Schlitzten und Gewinnen mit der Keilhau

Abb. 3: Kleinkems (D 1), Modell der zermalmenden Gewinnung. In der unteren Sohle werden Feuersetzen und Einsatz der Rillenschlägel dargestellt. Ein Steigbaum führt auf das höhere Niveau, wo Jaspisknollen vorsichtig aus dem Muttergestein gelöst werden



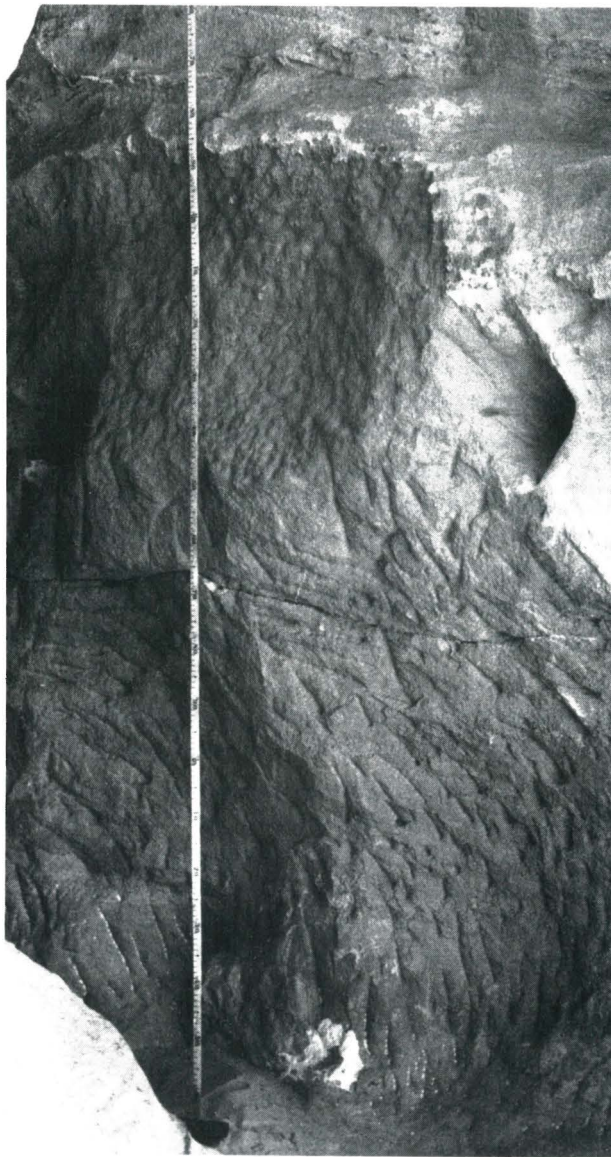


Abb. 4: Timna, Grube S 28/2 und S 28/3. Ursprünglich handelte es sich um zwei voneinander unabhängig entstandene, übereinanderliegende Strecken. Nach dem Nachreißen der Schwebelast entstand eine doppelt hohe Strecke. Durch die spätere Erosion des Wadis freigelegt, präsentiert sie sich heute als ungewöhnlich hoher Stollen. Der Stoß der oberen Strecke (S 28/3) zeigt deutlich die Spuren eines stumpfen (Stein-)Werkzeugs, während in der unteren die eines schneidenden Metallwerkzeugs, vermutlich Keilhauenarbeit, deutlich zu erkennen sind. An der Basis, wo weiße Punkte in den Brunnen die einzelnen Schläge markieren, finden sich Spuren der Schlägel- und Eisenarbeit

eingehen zu können, bleibt festzuhalten, daß das Gerät bereits im neolithischen Feuerstein- und im chalkolithischen Kupfererzbergbau benutzt wurde. Es wurde immer dann eingesetzt, wenn mit beidhändigem Hacken und Reißen am nicht zu festen Gestein etwas auszurichten war.

Die zahlreichen Feuersteinpicken von Spiennes (B 1) verfügten bei dreieckigem Querschnitt über zwei Arbeitsspitzen. Sie waren offensichtlich so geschäftet, daß sie bei der Arbeit unter Tage leicht gewendet werden konnten. Auch wurden sie unter Tage nachgeschärft, wie Absplisse und Schlagsteine in den Gruben zeigen. An den Kreidestößen von Spiennes zeichnen sich zahlreiche Spuren der Arbeit mit diesen Gezähnen ab.

Etwas anders sieht es mit den sog. Hirschhornhacken aus, die vorwiegend aus den neolithischen Silexbergwerken Englands stammen. Da sie einerseits beim Hacken zu sehr federn und sich andererseits keine Spuren einer derartigen Nutzung am Gestein erhalten haben, nimmt man an, daß sie zum Einreißen von gebräuchten Kreidestößen und -pfeilern benutzt wurden. Dennoch wurde auch in Grimes Graves (GB 13) die Keilhauenarbeit angewendet. Man benutzte dazu geschäftete Steinbeile, die vielgestaltige Schnittspuren an den Kreidestößen hinterlassen haben.

Aber erst als Folge der Nutzung von Metallgezähnen kam die große Zeit der Keilhauenarbeit. Wenn man annimmt, daß mit den bronzzeitlichen Tüllenpickeln des alpinen Kupfererzbergbaus und mit den Lappenpickeln aus den eisenzeitlichen Salzbergwerken Österreichs gelegentlich auch gehackt wurde, kann man darin einen Beleg für die Keilhauenarbeit sehen, ihre eigentliche Nutzung aber geschah in der Schlägel- und Eisenarbeit. Hierhin gehören jedenfalls die beiden Tüllenpickeln aus Timna⁶². Weitergehende Verbreitung fand das Gerät erst in der Eisenzeit. Zwar sind nur wenige vorrömische Geräte dieses Typs erhalten⁶³, aber wir kennen sie gut von den altgriechischen Darstellungen vom Tonbergbau auf den korinthischen Tontäfelchen⁶⁴. Eine römische Darstellung (Stein von Linnares) einer geschulterten Keilhaue identifiziert ihren Träger als Bergmann; gleiches gilt auch für das gesamte Mittelalter von England (Abb. 6) bis Sachsen (Nappian und Neuke) und bis weit in die frühe Neuzeit. Erst danach treten die gekreuzten Schlägel und Eisen als Bergbausymbol immer mehr in den Vordergrund.

Abb. 5: Laurion, Kamareza. Eiserne Keilhaue mit Spitze und Hammerkopfe, Gewicht 2780 g (Original in der Bergakademie Freiberg, Zeichnung nach einer Abformung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum)

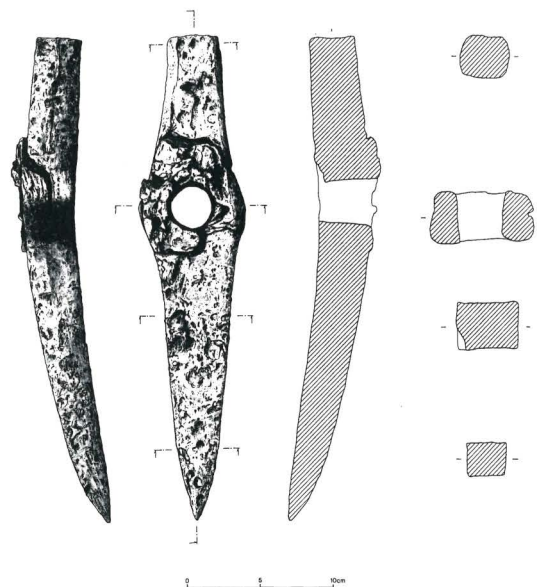




Abb. 6: Wirksworth/Derbyshire. T'owd Man of Bonsall, vermutlich 14. Jh. Die geschulterte Keilhau identifiziert ihren Träger als Bergmann



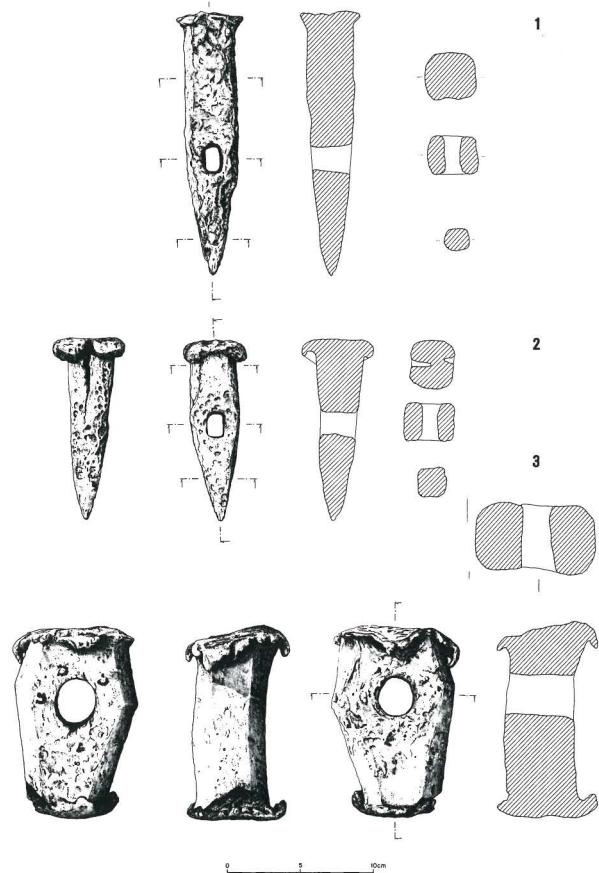
Abb. 7: Schlägel- und Eisenarbeit im Feldort. Schwazer Bergbuch, um 1550

Knieholzschäftung ins Salz getrieben wurden⁶⁵. In diesen Bereich gehören wahrscheinlich auch die beiden erwähnten Tüllenspitzen vom Wadi Meneyieh/Timna⁶⁶. Eindeutig identifizierbare Spuren der Schlägel- und Eisenarbeit prägen die Stöße aller Gruben des 2. und 1. Jahrtausends v. Chr. (Abb. 10). Es handelt sich in der Regel um die Brunnen (Spuren) der Glättarbeit an den Sandsteinstößen. Deutlich sind die Ansatzstellen des Eisens und sein Vordringen im Gestein nach jedem Aufschlag des Schlägels als eine Reihe weißer Punkte erkennbar. Länge und Neigung der Aufschlagspuren am Stoß sind abhängig von

Die Schlägel- und Eisenarbeit ist definiert als die Arbeit am Gestein, bei der ein spitzes Werkzeug aus Metall, das Eisen, nach Art eines Meißels mittels harter Schläge eines schweren Hammers, des Schlägels, so ins Gestein getrieben wird, daß von diesem Stücke abgekeilt werden (Abb. 7). Das Eisen wird geführt, sei es mit der Hand oder – wie bei der klassischen Schlägel- und Eisenarbeit – mit einem Helm (Stiel). Ein Rechtshänder wird also mit der Linken den Helm des Eisens fassen und dessen Spitze am Gestein ansetzen, während er mit dem Schlägel in der Rechten auf das hintere Ende des Eisens schlägt. Der Helm war in der Bronzezeit als Knieholzschäftung in den Werkzeugen befestigt, seit dem 1. Jahrtausend v. Chr. dann vorwiegend in einem Auge (Loch) des Eisens. Es ist typisch, daß das hintere Ende entweder auf der Knieholzschäftung oder später am Eisen einen sog. Bart (Schlagspuren) aufweist, während die Spitze immer wieder nachgeschliffen bzw. überschmiedet wurde (Abb. 8). Aus dem vormetallzeitlichen Bergbau lassen sich m. W. keine Beispiele für Schlägel- und Eisenarbeit beibringen.

Bei den bronzezeitlichen Tüllenspicken des Mitterbergs bei Bischofshofen kann man davon ausgehen, daß sie ähnlich gebraucht wurden wie die Lappenpicken des Hallstätter Salzbergs. Hier konnte E. Barth erstmals nachweisen, daß diese weniger als Pickel/Hacke verwendet wurden, sondern daß sie nach Art eines Eisens geführt und mit Schlägen eines schweren Holzhammers auf den Knick der

Abb. 8: Thasos. Schlägel und Eisen aus antiken Gruben



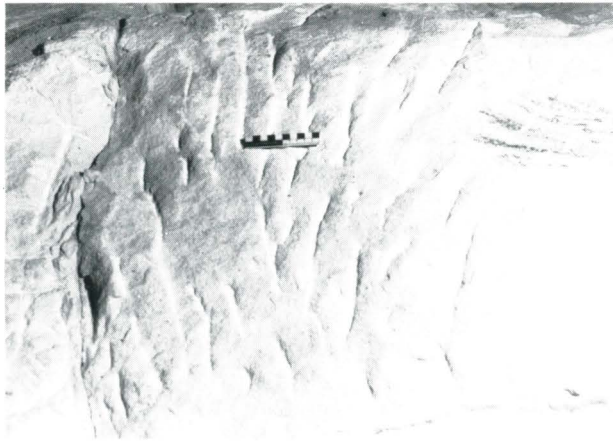


Abb. 9: Fenan, Wadi Abiad, Grube 17. In den Brunnen der Schlägel- und Eisenarbeit markieren noch heute weiße Punkte die einzelnen Schläge



Abb. 10: Serabit el-Khadim. Sorgfältige Schlägel und Eisenarbeit im Sandstein. Die Breite der Werkzeugspur verrät den mit der Hand geführten Metallmeißel, der sich hier auch durch Funde nachweisen ließ

der Geräumigkeit des Grubenbaues, vornehmlich von der Streckenhöhe. Die Richtung der Spuren – fast ausschließlich von rechts oben nach links unten – beweist, daß es sich bei den Bergleuten fast ausschließlich um Rechtshänder handelte.

Die Frage des Schlägels blieb in Timna offen. Zahlreich sind auch die Spuren der Schlägel- und Eisenarbeit in den altägyptischen Türkisbergwerken des Sinai, seien sie nun aus dem 3. oder dem 2. Jahrtausend v. Chr.⁶⁷. Aus Ägypten selbst sind zahlreiche hölzerne Schlägel bekannt.

Schlägel- und Eisenarbeit setzte sich besonders nach dem Aufkommen des Eisens durch. Das älteste Bergeisen stammt aus der Mitte des 7. Jahrhunderts v. Chr. und wurde in Bastam bei den Urartäern gefunden, die nicht nur im Bergbau, sondern auch beim Bau ihrer Wasserversorgungsanlagen hervorragende bergmännische Arbeit zu leisten vermochten⁶⁸. Zahlreiche Spuren der Schlägel- und Eisenarbeit blieben auch an den Marmorstößen der antiken griechischen Gruben, etwa von Laurion⁶⁹, Sifnos⁷⁰ und Thasos⁷¹, erhalten. Aus Thasos stammen sowohl ein Schlägel als auch mehrere Eisen (Abb. 8), weitere Originale fanden sich in geringerer Zahl in Laurion⁷².

Aus dem viel umfangreicheren römischen Bergbau sind bei weitem nicht so viele Gezähearten bekannt geworden. Zwar war die Schlägel- und Eisenarbeit auch hier vorherrschend, wie Spuren etwa im Emilianus-Stollen von Wallerfangen/St. Barbara (Saarland) zeigen. Neuerdings in Fenan gefundenes Gezähe scheint darauf hinzuweisen, daß das mit dem Helm geführte Eisen zumindest regional zugunsten händisch zu führender kleiner Meißel aufgegeben worden war⁷³. Doch mag dies an der Zufälligkeit der Fundüberlieferung liegen, da bislang kein größeres römisches Bergwerk systematisch untersucht worden ist. Aus Spanien wurden ebenfalls typische, offensichtlich römische Schlägel und Eisen abgebildet⁷⁴.

Später, im hohen Mittelalter, wie etwa im Silberbergbau des 13. Jahrhunderts in Trient, waren Schlägel und Eisen

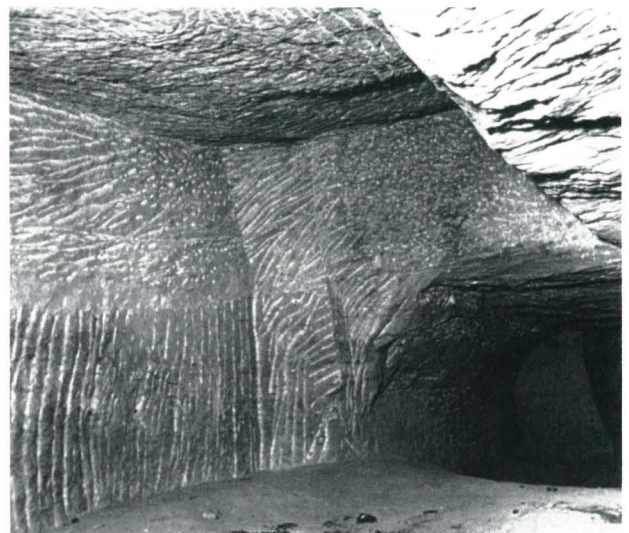


Abb. 11: Wallerfangen. Höherbrechen einer Strecke bei Verspringen des Erzes. Sehr sorgfältige frühneuzeitliche Schlägel- und Eisenarbeit. Bemerkenswert sind die horizontale und vertikale Führung des Eisens

Abb. 12: Fenan, Wadi Khalid, bei Grube 5. Block mit wahrscheinlich eisenzeitlichen Schleifriden



gang und gäbe⁷⁵. Die Gerätekombination war bis ins 19. Jahrhundert kontinuierlich in Gebrauch (Abb. 11). Erste Abbildungen zeigen das Schwazer Bergbuch und Georg Agricola.

Wegen des direkten Angriffs auf das Gestein wurden die Eisen, waren sie aus Bronze oder Eisen, relativ schnell stumpf. Sowohl im Salzbergbau am Dürrnberg bei Hallein⁷⁶, im römischen Bergbau Spaniens⁷⁷ und im ägyptischen Bergbau in Timna⁷⁸ wurden Schleifsteine gefunden, die man mit nach unter Tage genommen hatte, um das Gezähe immer wieder nachschleifen zu können. Schleiffrillen an Felsen außerhalb der Gruben gehören in Fenan (Jordanien) in die vorrömische und römische Eisenzeit (Abb. 12). Zum römischen Bergbau in Fenan gehörten allerdings auch Schmieden, in denen das Gezähe nachgeschmiedet werden konnte. Dies belegen typische Schmiedeschlacken neben den Stollenmundlöchern.

Die Hereintreibearbeit benutzt als Gezähe das Treibfäustel und Keile. Während die Schlägel- und Eisenarbeit mehr für kleinere Vortriebe eingesetzt wird, vor allem zum Glätten der Stöße, und dabei das sog. Hauklein produziert, werden mit der Hereintreibearbeit größere Gesteinsbrocken gelöst. Natürlich fallen bei der Schlägel- und Eisenarbeit bei entsprechender Klüftigkeit gelegentlich auch größere Steine an, aber kleinstückiges Haufwerk ist die Regel. Zur Veranschaulichung des Unterschiedes gilt, daß die Steine in der Front einer Versatzmauer von der Hereintreibearbeit und das Hauklein dahinter von der Schlägel- und Eisenarbeit stammen. Zum Lösen des Gesteins treibt man kleinere oder größere Fimmel (Keile) mittels eines Fäustels oder Schlägels ins Gestein, etwa in der Art, wie im Schwazer Bergbuch dargestellt. Im weiteren Verlauf konnten Brechstange und Schrämmspieß eingesetzt werden. Diese Arbeit wurde bereits in der Urgeschichte angewandt.

Das älteste bekannte Beispiel stellt der paläolithische Rotockerbergbau von Tzines auf Thasos dar. Dort wurden vor ca. 15 000 Jahren Hirschgeweihsprossen als Keile benutzt und mit Geröllsteinen in die Klüfte des eisenharten Hämatits getrieben, um höffige Röteltaschen freizulegen. Dem ungeheuren Verschleiß des relativ weichen Gezähes wird ein ungewöhnlicher Fundreichtum im Versatz dieses Bergwerks verdankt.

Ein weiteres gutes Beispiel lieferte der neolithische Feuersteinbergbau von Harrow Hill (GB 4). Im Unterschied zu den Bergwerken in Sussex, deren Kreide sehr gebräich ist und deshalb leicht gelöst werden konnte, war die Kreide von Harrow Hill bei weitem nicht so kleinstückig geklüftet. Sie mußte in Blöcken losgekeilt werden. Wieder benutzte man dazu Hirschgeweihsprossen als Keile. Bei den Ausgrabungen wurde zwar kaum derartiges Gezähe gefunden, aber an zahllosen Kreideblöcken konnten die Brunnen dieses Gezähes festgestellt werden (Abb. 13). Harrow Hill ist ein gutes Beispiel für die Beobachtung, daß bereits

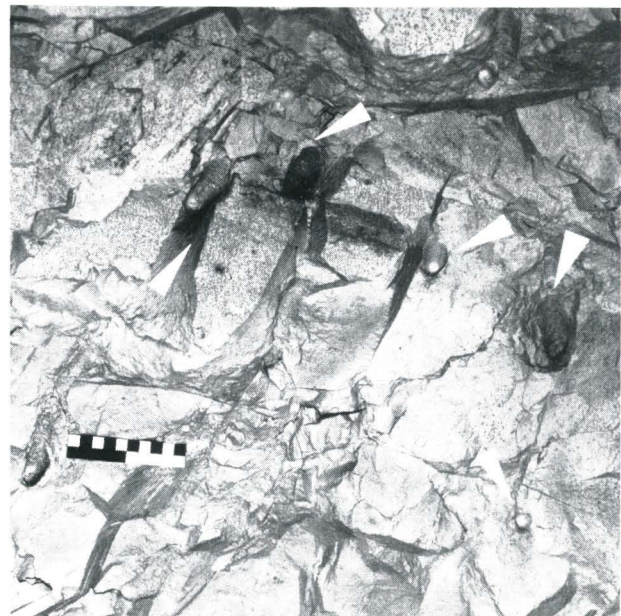
der prähistorische Bergmann auf die jeweiligen geologischen Gegebenheiten mit spezifischen Gewinnungsmethoden zu reagieren verstand.

Im fortgeschrittenen bronzezeitlichen Bergbau war die Hereintreibearbeit vermutlich in Verbindung mit dem Feuerersetzen üblich. Die Versatzbrocken belegen dies etwa am Mitterberg in Österreich. In Timna konnten Überreste der Hereintreibearbeit beobachtet werden, wenn das Nachreißen der Sohlen von Strecken oder Schächten vorzeitig aufgegeben worden war⁷⁹. Im gleichen Zusammenhang wurden sie auch im antiken Bergbau von Sifnos festgestellt⁸⁰.

Ein klassisches Beispiel für die Art dieser Arbeit liefert der Salzbergbau in Hallstatt. Wie die zahlreichen herzförmigen Abbaufiguren etwa im Grüger- oder Katharina von Edlersberg-Werk zeigen, war man bemüht, das Salz in großen Portionen herauszuberechnen. Dazu wurde ein herzförmiger Schram um eine gute Salzpartie herum eingebracht. Der freigelegte Salzblock wurde dann, vermutlich in zwei Teilen, mit der Hereintreibearbeit ausgebrochen. Salzbarren belegen dieses Gewinnungsziel⁸¹.

Versatzmauern im römischen und mittelalterlichen Bergbau verraten dieselbe Technik. Im frühneuzeitlichen Kupfererzbergbau von Wallerfangen/Saar wurde die Hereintreibearbeit geradezu kunstvoll betrieben. An der Ortsbrust wurde ein Gesteinsblock auf den beiden Seiten und unten freigeschrämt, um dann mit mehreren Keilen in breiten Keillöchern abgetrieben zu werden (Abb. 14). Voraussetzung für das Gelingen dieser Arbeit war der homogene Sandstein.

Abb. 13: Harrow Hill/Sussex, neolithisches Feuersteinbergwerk, Schacht 13. Arbeitsspuren von Hirschhornkeilen in der Kreide belegen Hereintreibearbeit



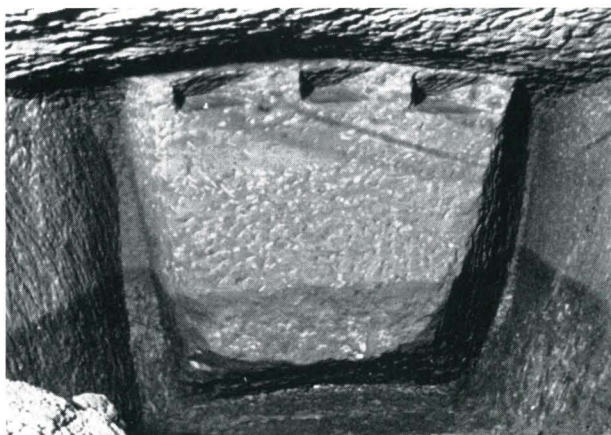
Im übrigen ist die Arbeit mit Keilen besonders in Steinbrüchen gut belegbar, da hier die eine Hälfte der Keillöcher oft am Fels erhalten blieb. Keillöcher sind geradezu ein Indiz für antike Steingewinnung. Ihre morphologischen Unterschiede erlauben zuweilen einen Datierungsansatz⁸².

Die Sprengarbeit wurde bereits in der Vorzeit angewendet. Dabei machte man sich die Ausdehnungsspannungen erwärmter Gesteinspartien oder die Querkraft von Holz zunutze.

Die Verwendung wassergetränkter hölzerner Keile zum Absprengen großer Gesteinspartien ist allgemein bekannt. Da hier Keile das arbeitende Gerät sind, schließt diese Art der Sprengarbeit nahtlos an die Hereintreibarbeit mit Fimmeln an. Verständlicherweise lassen sich keine hölzernen Keile als archäologische Funde beibringen. Dagegen stehen für das zweite Verfahren der Sprengarbeit, das Feuersetzen⁸³, zahlreiche archäologische Belege zur Verfügung. Unter Feuersetzen versteht man das Erhitzen von Fels durch ein großes, über längere Zeit einwirkendes Feuer, wobei das Gestein aufgrund seiner verschiedenen Erwärmung und Ausdehnungskoeffizienten innere Spannungen erfährt und mürbe wird (Abb. 3). Wenn es abgebrannt ist, kann durch Aufgießen von kaltem Wasser die Sprengwirkung verstärkt werden; dies ist aber nicht unbedingt notwendig.

Am Rammelsberg bei Goslar ist Feuersetzen z. B. seit 1359 erwähnt. Das Verfahren blieb auch nach der Einführung des Schwarzpulver-Sprengens in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts im Bergbau das Sprengverfahren schlechthin (bis 1879). Im Oberharzer Gangerzbergbau wurde noch im 18. Jahrhundert gesagt: „Das Gestein ist so fest, daß es nur mit Feuer bezwungen werden kann“⁸⁴. Dies blieb so, weil das Feuersetzen bis zum Aufkommen des Dynamits als Sprengmittel und bis zu einer Steigerung der Holzpreise kostengünstiger war⁸⁵.

Abb. 14: Wallerfangen. Streckenquerschnitt mit Keillöchern in der vorgeschrägten Ortsbrust zum Hereintreiben der vollen Partie, vermutlich Spätmittelalter



Außer dem Erhitzen des Gesteins hatte das Feuersetzen zumindest im Harz noch die Nebenwirkung, daß die ausziehende warme Luft den „Alten Mann“ trocken hielt und einem Herunterbrechen des Versatzes entgegengewirkt wurde⁸⁶.

Feuersetzen hinterläßt eindeutige Spuren am Gestein und am Haufwerk. Wegen der mehr oder weniger punktförmig wirkenden Hitzeeinwirkung bricht das Gestein zwiebel-schalenartig aus, so daß in Verbindung mit der Zertrümmerung durch Rillenschlägel rundliche, gewölbte Abbaufronten entstehen.

Das Feuersetzen läßt sich bereits sehr früh im prähistorischen Bergbau nachweisen. Für den neolithischen Silexbergbau in relativ weicher Kreide war Feuersetzen nicht nötig, aber im harten Kalk des mittleren Malm von Kleinkems (D 1) konnte auf die thermotechnische Zerrüttung des Gesteins nicht verzichtet werden⁸⁷. Viel Holzkohle im Versatz, dessen Steine oft vom Feuer gerötet waren, zeugen von dieser Arbeit, die der zermalmenden Hereingewinnung mit Rillenschlägeln vorausging. In Kleinkems hatte das Deutsche Bergbau-Museum bereits 1953 in einem Versuch die Effizienz des Feuersetzens am dortigen Gestein nachgewiesen, ein frühes Beispiel der experimentellen Archäologie! Mit Sicherheit kann man davon ausgehen, daß auch in den südfranzösischen Gruben (F 1–5), in denen Silex gleichfalls in extrem hartem Kalk anstand, das Feuersetzverfahren angewandt wurde.

Im frühesten Kupferbergbau Europas sind die Nachweise für die Anwendung des Verfahrens noch strittig. Zwar hat man auch in den Gruben von Rudna Glava Holzkohle auf der Sohle gefunden⁸⁸, doch könnte sie auch von Leuchtspänen stammen. Hier kann nur eine Autopsie der Grubenstöße und des Versatzes zu neuen Erkenntnissen führen. In den Gruben von Veshnovoh/Iran zeigen die Stöße an vielen Stellen die muschelartig gerundeten Ausbrüche, so daß dort auch ohne Ausgrabungen Feuersetzen angenommen werden kann. Der bronzezeitliche Bergbau am Mitterberg bei Bischofshofen (Österreich) lieferte viele Belege für die Gewinnung durch Feuersetzen, ja, das gesamte Gewinnungssystem basiert auf diesem Verfahren, bei dem man Gestein und Erz in den Berg hinein losbrannte⁸⁹.

Für die übrigen Beispiele vor- und frühgeschichtlichen Bergbaus ist Feuersetzen entweder nicht beobachtet, wie etwa in Laurion (Griechenland)⁹⁰, zuweilen möglich, wie etwa in Sifnos⁹¹, oder aber es war, wie in den Sandsteinen von Timna und Fenan, nicht notwendig. Ein imposantes Beispiel für das Feuersetzen im altägyptischen Bergbau liefern einige der ca. 300 Gruben des Gebel Zeit am Roten Meer⁹². In diesen Bleiglanzbergwerken haben sich an den Firsten der Strecken und Schächte Ruß und Teer großflächig und dick, an manchen Stellen fast koksartig, niedergeschlagen. Die Stöße und Ortsbrüste weisen die für Feuersetzen und anschließenden Einsatz von Rillenschlägeln typische gerundete Form auf⁹³. In den Gruben liegen Ril-

lenschlägel in großer Zahl, ihre organische Lederbindung hat sich ebenso erhalten wie Teile der hölzernen Schäftung⁹⁴. Im übrigen ist die dortige Verwendung von Rillenschlägeln noch am Ende des 2. Jahrtausends v. Chr. ein weiterer Hinweis darauf, daß sich technologische Neuerungen in Ägypten gelegentlich nur sehr langsam durchsetzen konnten, wie dies auch für die Verwendung von Eisen zu gelten scheint⁹⁵. Das in seinen Ausmaßen gewaltigste Beispiel für erfolgreiches Feuersetzen stellen die weiten untertägigen Hohlräume der Bleizinkbergwerke von Zawar in Indien dar, die mit der frühen Darstellung von metallischem Zink in Verbindung stehen⁹⁶.

4. Abbau der Lagerstätte

Tagebau

Abbauverfahren

Gräbereien
Kuhlenbau
Seifenwerke
Aufdeckerarbeit
Pingenbau

Tiefbau

Abbauverfahren

Mit Bergeversatz
Firstenbau
Strossenbau
Querbau
Strebbau mit Pfeilern
Weitungsbau mit Versatz

Ohne Bergeversatz

Pfeilerbau
Weitungsbau (Kammerbau)
Bruchbau
Raubbau

Besondere Abbauverfahren

Tummelbau
Duckelbau
Glockenschacht

Aus Platzgründen kann hier nur kurz auf die verschiedenen Abbauverfahren eingegangen werden. Der Hauptunterschied besteht zwischen den oberflächennahen Tagebauen, so genannt, weil sie am Tage, d. h. im Tageslicht, und den Tiefbauen, die unter Tage, d. h. im Dunkeln, liegen. Was die Tagebauarten angeht, so sind diese zum Teil bereits an anderer Stelle besprochen worden⁹⁷.

Es gehört zu den großartigen bergmännischen Leistungen des vorgeschichtlichen Menschen, daß er in seinen Bemühungen um Rohstoffe den Schritt ins Unterirdische wagte. Dem standen zweifellos mehr ideologische als technologische Gründe entgegen⁹⁸. (Wenig bekannt dürfte der unterirdische „Salzbergbau“ der Elefanten in der Kitum-Höhle am Mount Elgon an der Grenze zwischen Kenia und Uganda sein, der immerhin deutlich macht, wie sich –

technisch gesehen – Untertagearbeit problemlos und von selbst ergeben kann⁹⁹.) Zum Tiefbau kam es in Afrika¹⁰⁰ und in Europa¹⁰¹ bereits im Spätpaläolithikum.

Die Hauptunterschiede im Tiefbau bestehen zwischen Stollen- und Schachtbau.

Stollen bilden einen horizontalen Zugang zur Lagerstätte. Im Idealfall steigen sie zum Inneren wegen des besseren Abflusses der Sickerwässer leicht an. Sie können aber auch leicht einfallend geneigt sein (unter 15 gon). Nur Stollen, die im Gangstreichen aufgefahren sind, werden nicht – bzw. bei breiten Gängen nur wenig – nach den Seiten erweitert. Dienen die Stollen aber zum Erschließen einer horizontal ausgebreiteten Lagerstätte, wie etwa bei Feuerstein oder Salz, so ist die seitliche Erweiterung der Strecken und Gewinnungshohlräume die Regel. Im Feuersteinbergbau ist die Grube von Monte Tabuto (I 1) dafür ein gutes Beispiel. Für den Goldbergbau ist die Stollengrube TG 80 A über Paläochori besonders typisch, aber auch die Grube unter der Akropolis (beide Thasos) kann hier genannt werden¹⁰². In Laurion wurden Strecken oft seitlich erweitert, wenn man angetroffene Erznerster ausbeutete (Abb. 15). Stollen dienten häufig zur Prospektion.

Die Querschnitte der Stollen (und Strecken) können die angewandte Transporttechnologie berücksichtigen. Wurden Erztröge z. B. über den Boden geschleift, konnten Streckensohle und Firste schmal bleiben. Wurden die Tröge dagegen auf einer Schulter getragen, mußte die Strecke oben breiter sein.

Schächte stellen den vertikalen Zugang von der Tagesoberfläche zur Lagerstätte dar. Wurden sie von einem untertägigen Grubenhohlraum zu einem tieferliegenden Teil der Lagerstätte abgeteuft, spricht man von Blindschächten. Schächte dienen zur Fahrung, Förderung, Wetterführung, zum Materialtransport und in begrenztem Umfang zur Beleuchtung.

Die eindrucksvollsten Beispiele von Schächten liefern im prähistorischen Bergbau auf Feuerstein die Gruben von Spiennes (B 1) und St. Geertruid (NL 1). Aber auch Grimes Graves (GB 13) und Harrow Hill (GB 4) mit ihren weiten Schächten gehören dazu. Neolithische Schächte sind immer rund.

Im Kupfererzbergbau gibt es die meisten Schächte im spätbronzezeitlichen Timna¹⁰³ und im eisenzeitlichen Fenan¹⁰⁴, gleichfalls immer mit runder Schachtscheibe. Hunderte von rechteckigen Schächten in Laurion stellen das schönste antike Beispiel dar¹⁰⁵. Zur gleichen Zeit gab es in Zypern zahlreiche quadratische Schächte, deren Form vermutlich auf das gebräuchliche Gestein zurückgeht, das Ausbau mit Holz erforderlich machte¹⁰⁶, denn runde Schächte konnten in der Antike nicht druckfest ausgebaut werden. Ein quadratischer Ausbau von dort befindet sich im Deutschen Bergbau-Museum. Römische Schächte auf der Iberischen Halbinsel sind gleichfalls rechteckig¹⁰⁷, es kommen außerdem römische Rundschächte vor, sowohl



Abb. 15: Laurion. Erfolgreiche Prospektionsstrecke mit angeschnittenem Erzkörper (links)

in Spanien¹⁰⁸ als auch in den nördlichen Provinzen, etwa in Wallerfangen/Saarland¹⁰⁹ oder Gölheim/Pfalz¹¹⁰. Es verwundert daher nicht, daß auch die zahlreichen Schächte, die zu unterirdischen Wasserleitungen führen, über den runden, ergonomisch sinnvollen Querschnitt verfügen¹¹¹. Wo aufgrund der Standfestigkeit des Gebirges Ausbau nicht nötig oder vorgesehen war, waren runde Schachtquerschnitte ökonomisch am sinnvollsten.

In römischer Zeit wurden horizontale Lagerstätten wie Wadi Amram¹¹² bei Timna, Wallerfangen oder Gölheim/Pfalz mittels Schächten prospektiert, erschlossen und ausgebeutet. Aber wegen der vielen Lagemöglichkeiten zwischen horizontal und vertikal ist der Begriff des Schachtes nicht so eng gefaßt wie der des Stollens. Als Schrägschacht, Tonnlage oder tonnlägiger Schacht wird ein Schacht dann bezeichnet, wenn er in Schräglage abgeteuft ist. Wurden Teile der Schachtröhre seitlich versetzt gebaut, dann handelt es sich um einen abgesetzten Schacht. Ein gebrochener Schacht ist bis zum Erreichen der Lagerstätte seiger abgeteuft und wird von dort als tonnlägiger Schacht weitergeführt, wie man es bei der Grube TG 80 E 1 auf dem Klisidi auf Thasos¹¹³ oder der Grube 2 der Obsidianbergwerke von Pico de Orizaba (Mexiko)¹¹⁴ schnittrißlich gut beobachten kann.

Geneigte Schächte stehen vorwiegend in steilstehenden Lagerstätten und entsprechen in ihrer Neigung dem Ein-

fallen der Erzgänge. Deshalb sind hierzu leichter Beispiele vom vorgeschichtlichen Metall- als vom Silexbergbau beizubringen. Die Kupfergewinnung von Rudna Glava in Jugoslawien fällt teilweise hierunter, nicht jene von Aibunar in Bulgarien. In Rudna Glava folgte man unregelmäßigen, vorwiegend vertikal gerichteten Vererzungen in die Teufe. Die dabei entstandenen Grubengebäude sind als Pingen, Schächte, gebrochene Schächte und gelegentlich als Schrägschächte zu bezeichnen¹¹⁵. Nichts könnte die unsystematische Weise dieses frühen Bergbaus – in Abhängigkeit von seiner Lagerstätte – besser kennzeichnen als die verschiedenen Erscheinungsformen seiner Grubengebäude.

Das klassische Beispiel des Schrägschachtes stellt der Kupfererzbergbau im Mitterberg bei Bischofshofen dar. Vermutlich wurde der oberflächennahe Teil des Mitterberger Hauptganges – wie in Aibunar – zuerst von der Oberfläche aus in Pingen abgebaut. Um tiefer zu gelangen, teufte man im Gangstreichen tonnlägige Schächte ab, wobei Teufen von 105 m erreicht wurden, im Bereich des Arthurstollens am Einödtberg sogar 170 m¹¹⁶. Um eine Tonnlage handelt es sich auch bei dem vorrömischen und mit Holz ausgebauten Schrägschacht¹¹⁷ von Apliki auf Zypern (Abb. 16).

Manchmal erlaubte die Standfestigkeit des Gesteins keine größeren Grubenhöhlräume, oder die bergtechnischen Kenntnisse der Bergbautreibenden waren nicht ausreichend. Möglich ist, daß bergrechtliche Normen keine größeren Betriebe zuließen. Wenn trotzdem die Lagerstätte durch Schächte erschlossen werden mußte, konnte es zur Ausbildung von Duckelbauen kommen. Dabei handelt es sich um schachtartige Grubenbaue, bei denen, von der Schachtsohle ausgehend, nur in ihrer unmittelbaren Umgebung abgebaut wurde. Nointel (F 27) und Arnhofen (D 5)¹¹⁸ sind klassische Beispiele für dieses Abbauverfahren auf Silex. Petit Spiennes (B 1) belegt zumindest im Schnitt diesen Typ¹¹⁹. Duckelbaue kommen auch beim Seifenbergbau vor, wenn, wie in der Vor- und Frühgeschichte und beim einfachen Bergbau üblich, auf die Abräumung des Deckgebirges verzichtet wurde: Durch kurze Schächte wurde der Horizont der Lagerstätte gesucht und von der Sohle ausgehend so viel hereingewonnen, wie es die begrenzte Standfestigkeit des Deckgebirges (in Seifenlagerstätten oft Sand und Kies) erlaubte.

Im Jahre 1978 konnte Verf. die weit zurückliegende Ausbeutung einer Blei-/Silbererzseife durch Duckelbaue bei Nakhlak bei Anarak (Mitteliran) beobachten. Dort waren die Duckelbaue so dicht nebeneinander angelegt worden, daß durch die vollständige Gewinnung der erzführenden ca. 0,60 m starken Schicht ein riesiger unterirdischer Hohlraum entstanden war¹²⁰.

Im Ton- und Eisenerzbergbau gibt es eine Variante des Duckelbaus, die sog. Glockenschächte. Davon spricht man, wenn der Schacht durch steriles Material geteuft und

anschließend in seinem unteren Bereich so weit ausgeweitet wurde, daß er einen glocken-, flaschen- oder birnenförmigen Querschnitt erhielt. Um etwa Steinschlag zu vermeiden, wurde der Hals derartiger Schächte oft mit verflochtenen Reisigruten provisorisch ausgebaut, sie heißen dann Reifenschächte.

Besonders wichtig für die prähistorische Erzgewinnung ist ein Abbaufahrer, das sich nicht in das Schema durch Stollen und Schächte erschlossener Grubengebäude fügt. Es gibt Gruben, die einer von außen erkennbaren Vererzung ohne System in den Berg folgen. Da gibt es zwar ein Mundloch, aber kurz dahinter biegt die Strecke nach links oder rechts, nach oben oder unten ab und setzt sich völlig unregelmäßig in kaum zu beschreibenden Windungen und Niveauveränderungen fort, eben so, wie der Bergmann mit geringstem Aufwand und in engsten Grubenhöhlräumen das Mineral gewann. Derartige einfache Gruben nennt man Tummelbaue. Ihre Entstehung war im hohen Maße von der Lagerstätte abhängig.

Ein gutes Beispiel stellt eine Grube im Bereich des Riers von Veshnoveh dar: In Ghale Morad wurde in den anstehenden Basalten und damit verwandten Gesteinen mit Hilfe von Feuersetzen und Rillenschlägeln ein Grubengebäude ausgehauen, das mit seinen Niveauunterschieden, Abzweigungen und engen Streckenansätzen der beschriebenen Definition entspricht. Noch deutlicher tritt dies bei einer Grube in unmittelbarer Umgebung des Zinkbergwerkes von Anguran (Iran) hervor: Sie ist relativ klein, läßt sich am besten beschreiben, wenn man sich mehrere miteinander verknötete Schneckenhausgänge vorstellt. Wenn auch zur Verdeutlichung des Begriffes Tummelbau „exotische“ Beispiele herangezogen wurden, so handelt es sich dabei doch um ein im vor- und frühgeschichtlichen Erzbergbau sehr häufiges Abbaufahrer, welches viele Bergwerksbetriebe zumindest in Teilen bestimmte.

Abb. 16: Apliki. Im Tagebau angeschnittener tonnlägeriger Schacht mit 129 erhaltenen Türstockbauten, ca. 5. Jh. v. Chr. (Aufnahme vor 1969).



ANMERKUNGEN

- 1 Der erste Teil dieses Aufsatzes ist in leicht veränderter Fassung vorab veröffentlicht in Hauptmann/Pernicka/Wagner 1989, S. 79–98.
- 2 Weisgerber 1978 a; ders. 1987 c.
Zur besseren Kommunikation mit der Forschung im englischsprachigen Raum seien an dieser Stelle die im folgenden in der Gliederung benutzten bergtechnisch-systematischen Fachausdrücke auch in Englisch angegeben:
1 = Prospecting the deposit – Natural indications (geology, hydrology, botany) – Anthropogene indications (traces of former mining, above ground, subterranean) – Oral or Written tradition
2 = Opening the deposit – Opencast workings (mineral uncovered, mineral under capping) – Drift-mine workings (drifting in adjacent rock/in the deposit) – Deep-mine workings (sinking shafts in the deposit/in adjacent rock, driving a heading in the deposit/in adjacent rock)
3 = Winning – Shovelling work, Crashing work, Pick work, Hammer and wedge work, Breaking out work, Blasting/Fire-setting
4 = Winning the deposit – Opencast workings (digging, pit/hollow digging, alluvial/stream working, uncovering work, open-digging) – Deep mine workings (with backfilling): overhand-stopping, underhand-stopping, cross-working, long wall working with pillars, working by excavations, caving-system, robbing a mine – Special methods (irregular workings, „Dukkelbau“, bell-shaft mining).
Die weiteren Gliederungspunkte, die später behandelt werden, sind:
5 = Supporting
6 = Hauling
7 = Man-Riding
8 = Drainage
9 = Ventilation
10 = Illumination
11 = Surveying
12 = Operating/Organization
13 = Mineral rights
14 = Ideology/Religion
- 3 Vgl. Sperl 1984.
- 4 Die Arbeit von Rosumek 1982 mit ihrer überwältigenden Bibliographie zeigt deutlich, wieviel Altertumskunde und Archäologie den Bergingenieuren und Geologen des vorigen Jahrhunderts verdanken. Als überragende Arbeit ist hier das Werk von Ardaillon 1897 zu nennen.
- 5 Zur Forschungsgeschichte vgl. Kromer 1963.
- 6 Vgl. Hubert 1980.
- 7 Vgl. Aigner 1911; Schaubberger 1960, zuletzt Barth 1986.
- 8 Kyrle 1913; Schaubberger 1968; ders. 1976; Penninger 1973.
- 9 Zschocke/Preuschen 1932.
- 10 Z. B. Much 1878/79; Kyrle 1918; Klose 1918.
- 11 Andree 1922 a; ders. 1922 b.
- 12 Davies 1935.
- 13 Forbes 1966.
- 14 Pittioni 1947.
- 15 Hier sind die jahrzehntelangen Arbeiten von R. Pittioni zu nennen; vgl. das Schriftenverzeichnis bei Mitscha-Märheim/Friesinger/Kerchler 1976, S. XI–XXVII.
- 16 Otto/Witter 1952; Witter 1938 a; ders. 1938 b; Junghans/Sangmeister/Schröder 1968/74.
- 17 Petrikovits 1959.
- 18 Lauffer 1955; Conrad/Rothenberg 1980; Kalczyk 1982; Rosumek 1982; Domergue/Herail 1978; Wagner/Weisgerber 1985; dies. 1988; Conophagos 1980; Spitaels 1984; Mercer 1981; Lech 1981; ders. 1983; Engelhardt/Binstener 1988; Barth 1986; Jovanović 1976; ders. 1982; ders. 1983; Cernych 1978; Shepherd 1980.
- 19 Vgl. insbesondere Rosumek 1982, der den Stoff im großen und ganzen nach der Systematik der Bergbaukunde ordnet. Vgl. auch die Besprechung in: Der Anschnitt 35, 1983, S. 82f. sowie in: Zeitschrift der Savigny-Stiftung für Rechtsgeschichte 102, 1985, S. 620–627.
- 20 Freise 1908 (Nachdruck Walluf 1971); Davies 1935 (Nachdruck New York 1979).
- 21 Weisgerber 1978 a.
- 22 Die Arbeit von M. Koch 1963 verfolgt andere Ziele und ist hier nur begrenzt hilfreich.
- 23 Wagenbreth 1987 behandelt den Beginn der Bergbaukunde und die Bedeutung von Agricola in diesem Zusammenhang.
- 24 Für den Feuersteinbergbau wurde dies bereits im Überblick versucht, vgl. Fober/Weisgerber 1980. Eine systematische Gliederung der Bereiche Verhüttung und Verarbeitung soll an anderer Stelle vorgelegt werden.

- 25 Die Hüttenkunde, die expressis verbis von Gätzschnann selbst unter Bergbau im weitesten Sinne mitverstanden wird, heute reden wir vom Montanwesen, ist auch ihm nicht mehr gelungen, zu Papier zu bringen, wenn er sich denn für kompetent gehalten hätte.
- 26 Gätzschnann 1846, S. 49f.
- 27 Serlo 1878.
- 28 Köhler 1887, 1898.
- 29 Es ist kein Zufall, wenn in jüngerer Zeit wesentliche Lagerstätten nur dort neu entdeckt wurden, wo vorher nicht danach gesucht worden war. Im 16./17. Jahrhundert galt das für den Kontinent Amerika, im 18./19. für die Weiten Sibiriens, für Afrika und Australien, für die Gegenwart etwa für Kanada und Neuguinea.
- 30 Alle im folgenden Text verwendete Sigeln wie D 1 oder GB 13 beziehen sich auf den Katalog der Feuersteinbergwerke in Weisgerber/Slotta/Weiner 1980.
- 31 Vgl. Hauptmann/Weisgerber 1985.
- 32 Wie das Beispiel der Kupferindianer Nordamerikas zeigt, die bis zur Ankunft der europäischen Eroberer die vorhandenen Vorkommen gediegenen Kupfers nicht annähernd aufgebraucht hatten, benötigt technischer Fortschritt einen stimulierenden Anreiz. Im Bereich der Rohstoffversorgung kann es sich dabei um Ersatzbeschaffung handeln, wenn ein Rohstoff verbraucht ist.
- 33 Noch 1976 konnte der Verf. im Grubenbereich von Talmessi, Iran, ein 1,5 kg schweres Stück gediegenes Kupfer auflösen. Es befindet sich heute in der Geologischen Sammlung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum.
- 34 Buchwald/Mosdal 1985.
- 35 Etwa des Goldes von Kalifornien oder Alaska im vorigen Jahrhundert.
- 36 Genannt sei hier nur die Nutzbarmachung der Kupferlagerstätten der Omanischen Halbinsel im 3. Jahrtausend v. Chr. und die davon ausgehende stimulierende Kulturentwicklung. Vgl. Weisgerber 1981 b.
- 37 Jodłowski 1976.
- 38 Preuschen 1962; ders. 1968.
- 39 Brun 1983; ders. 1987.
- 40 Vgl. Schulz 1912.
- 41 Die Pflanze findet sich im Emblem des Bergwerks von Tonglūshan. Für Katanga: Malaisse/Gregoire 1978.
- 42 Die Asche der Galmeiveilchen kann bis über 20 % Zink enthalten.
- 43 Für die römische Zeit könnte man die hydraulische Gewinnung von Gold in Nordspanien mit Einschränkungen hier eingliedern.
- 44 Im Rheinischen Braunkohlenrevier begann Tagebau-Gewinnung mit größeren Abdeckungen des Deckgebirges erst um 1895.
- 45 Hubert 1980, Abb. 100.
- 46 Weisgerber 1987 b.
- 47 Wagner/Weisgerber 1985.
- 48 Eibner 1982.
- 49 Luzon 1970, 229, Abb. 10.
- 50 Conrad/Rothenberg 1980, S. 81 ff.; Wagner/Weisgerber 1985, S. 93; dies. 1988, S. 203f.
- 51 Meszáros/Vertés 1955.
- 52 Holzer/Momenzadeh/Groop 1971.
- 53 Das Bergwerk von Mazraeh/Iran konnte 1978 im Zuge einer dankenswerterweise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten montanarchäologischen Reise besucht werden.
- 54 Jovanović 1976; ders. 1982.
- 55 Ders. 1983.
- 56 Fol/Lichardus 1988, S. 218; Cernych 1978.
- 57 Rothenberg/Blanco-Freijeiro 1980; dies. 1981, Abb. 24.
- 58 Vgl. Liptaková 1973 und Točík/Žebrák in Hauptmann/Pernicka/Wagner 1989.
- 59 Rothenberg 1973, Abb. 6; Conrad/Rothenberg 1980, Abb. 194.
- 60 Doppelkonisch gebohrte Hämmer kommen auch im Wadi Meneyieh/Timna vor. Rothenberg 1973, Taf. Abb. 20; Conrad/Rothenberg 1980, Abb. 196–198.
- 61 Weisgerber/Hauptmann 1988.
- 62 Rothenberg 1973, Abb. 29, dort fälschlich als Speerspitzen gedeutet; Conrad/Rothenberg 1980, Abb. 73.
- 63 Z. B. aus Laurion. Vgl. Weisgerber 1988, S. 208, Abb. 249.
- 64 Weisgerber 1976 b.
- 65 Barth 1976.
- 66 Rothenberg 1973, Abb. 29; Conrad/Rothenberg 1980, Abb. 73.
- 67 Weisgerber 1976 a, S. 31 f., Abb. 3.
- 68 Weisgerber 1982 a.
- 69 Conophagos 1980, 180; Weisgerber/Heinrich 1983.
- 70 Weisgerber 1985, S. 97, Abb. 87–88.
- 71 Weisgerber 1988, Abb. 248.
- 72 Conophagos 1980, Abb. 9–8, 9–10f.
- 73 Hauptmann/Weisgerber/Knauf 1985.
- 74 Luzon 1970, Abb. 20.
- 75 Einzelstücke im Museo degli Usi e Costumi della Genta Trentina, S. Michele all Adige.
- 76 Kyrle 1913, S. 42.
- 77 Luzon 1970, Abb. 21.
- 78 Conrad/Rothenberg 1980, S. 178, Abb. 203.
- 79 Ebd., S. 85f., Abb. 52–54; 78.
- 80 Weisgerber 1985, S. 101, Abb. 147.
- 81 Barth 1982.
- 82 Röder 1969.
- 83 Vgl. die Beiträge in den älteren deutschen Bergbauhandbüchern und Collins 1892/93.
- 84 Zitiert durch H. Dennert in Erzmetall 34, 1981, S. 661.
- 85 Berg 1985, S. 24.
- 86 Kerl 1853, S. 25f.
- 87 Schmid 1980 a, S. 147f.
- 88 Vgl. Jovanović 1982, S. 143 und die Besprechung in: Der Anschnitt 36, 1983, S. 183–184.
- 89 Zschocke/Preuschen 1932.
- 90 Vgl. dazu aber einen sich auf Laurion beziehenden Text, der sehr wohl vom Feuersetzen handeln könnte (Demosth. XXXVII 36); Kalcyk 1982, S. 135f.
- 91 Weisgerber 1985, S. 93ff.
- 92 Castel/Gout/Soukiasian 1985.
- 93 Der Autor möchte die Gelegenheit ergreifen, auch hier der École Française und den Herren Castel und Soukiasian dafür zu danken, daß er sie bei ihren Untersuchungen besuchen durfte.
- 94 Diese Beobachtungen basieren auf Oberflächenfunden in den Gruben, unterirdische Grabungen fanden nicht statt.
- 95 Amborn 1976.
- 96 Willies/Craddock/Gurjar/Hedge 1984.
- 97 Fober/Weisgerber 1980, S. 32ff.
- 98 Vgl. z. B. die Ausführungen bei Weisgerber 1985, S. 109f.
- 99 Film „Kitum – die Elefantenhöhle“ von Derek Bromhall am 17. 7. 1987 im ZDF. Die glaubersalzhaltige Erde wurde von den Elefanten in den Berg hinein verfolgt, mit den Stoßzähnen abgelöst und verzehrt. Die dabei entstandene weite Höhle soll 100 m Länge erreicht haben.
- 100 Dart/Beaumont 1969; Beaumont 1973.
- 101 Koukoul-Chrysanthaki/Weisgerber/Gialoglou 1988.
- 102 Wagner/Weisgerber 1988.
- 103 Conrad/Rothenberg 1980.
- 104 Weisgerber/Hauptmann 1988.
- 105 Conophagos 1980.
- 106 Weisgerber 1982 b, Taf. III, 2.
- 107 Luzon 1970, Abb. 6; 7; 10.
- 108 Ebd., Abb. 8.
- 109 Schindler 1968, S. 31f., Abb. 4; 89–90.
- 110 Sprater 1916.
- 111 Schindler 1968, Abb. 92; Grewe 1985 a, S. 69f.
- 112 Rothenberg 1973, S. 209, Abb. 64.
- 113 Weisgerber 1988.
- 114 Stocker/Cobean 1984.
- 115 Jovanović 1982, S. 6ff.
- 116 Zschocke/Preuschen 1932; Eibner 1982; ders. 1984.
- 117 Weisgerber 1982 b, Taf. III, 2.
- 118 Binstener/Engelhardt 1987.
- 119 Vgl. Weisgerber/Slotta/Weiner 1980, Abb. 349.
- 120 Die Reise 1978 war durch einen dankenswerten Zuschuß der Deutschen Forschungsgemeinschaft ermöglicht worden.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Gerd Weisgerber

Deutsches Bergbau-Museum Bochum

Am Bergbaumuseum 28

D-4630 Bochum 1