

Farben, Metalle und Chemikalien aus 'Bergfabriken'¹

Dr. Hans-Henning Walter, Waldenburger Str. 89, D-09599 Freiberg

Das Kurfürstentum und spätere Königreich Sachsen gehört zu den Regionen, die sich mit zahlreichen anorganischen Rohstoffen selbst versorgen konnten. In früheren Jahrhunderten wurde eine breite Palette anorganisch-chemischer Erzeugnisse in den sächsischen „Bergfabriken“ hergestellt. Dieser besonders im 18. Jahrhundert verbreitete Begriff bezeichnete Produktionsstätten, die in irgendeiner Weise mit dem Bergbau verbunden waren. Der Leipziger Professor Carl Gottlob Rößig spricht 1787 in seiner „Chursächsischen Staatskunde“ von der „Veredelung der Bergprodukte“, die in den Bergfabriken stattfindet.² Weiterhin nutzten die Bergfabriken ganz ähnliche Anlagen und Aggregate wie das Berg- und Hüttenwesen und natürlich vor allem den reichen Erfahrungsschatz der Berg- und Hüttenleute. Rößig rechnet über 40 Produktionszweige zu den Bergfabriken, wie die Abbildung 1 zeigt. Wir wollen jedoch nur diejenigen näher betrachten, in denen chemische Umsetzungen im Vordergrund stehen.

Ohne daß dies unseren Vorfahren bewußt war, spielen chemische Reaktionen bereits bei der Metallgewinnung eine große Rolle. Landläufige Vorstellungen, aber teilweise auch die bergbauhistorische Literatur kennen nur das sogenannte „Ausschmelzen“ der Metalle aus den geförderterten Erzen.³ Das einfache Schmelzen führt jedoch nicht einmal beim Edelmetall Gold zum Ziel. Zwar kommt Gold fast ausschließlich gediegen vor, enthält jedoch stets Silber und andere Metalle. Die Trennung bereitet heute mittels elektrolytischer Verfahren kaum Probleme mehr.⁴ Bis zur zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts standen hierfür jedoch nur langwierige, schmelzflüssige Prozesse zur Verfügung. Die „Trennung durch Guß und Fluß“ wurde bis 1846 in der Dresdener Münze angewendet, um Legierungen mit zwei Drittel Gold und einem Drittel Silber zu trennen. Hauptverfahrensschritt war das Verschmelzen der Rohlegierung mit schwefelhaltigen Antimonsulfiden, wobei sich eine flüssige, silbersulfidhaltige Phase bildete.⁵ Hierbei blieb das Gold unverändert, während die Verunreinigungen zusammen mit unumgesetzten Sulfiden eine Schmelze, das „Plachmal“, bildeten. Dieses wurde abgegossen und wieder zu Silber aufgearbeitet. Wegen der hohen Dichte des Goldes ließ sich das „Plachmal“ gut abgießen. Das zu Boden gesunkene Gold enthielt noch etwas

Antimon, das durch Oxydation im aufgeblasenen Luftstrom entfernt wurde. Da dieses und andere veraltete Verfahren völlig bedeutungslos geworden sind, ist

- Cap. 16. Bergfabriken §. 1.**
Irdbene Waaren §. 2.
Glashütten §. 3.
Granatschleiferey §. 4.
Emaillie §. 5.
Mosaikische Arbeiten §. 6.
Alaunwerke §. 7.
Nitriol- und Schwefelwerke §. 8.
Nitriol- und Scheidewasserlaboratorien §. 9.
Boraxfabrik §. 10.
Salpetersiebernen §. 11.
Pulvermühlen §. 12.
Blaufarbenwerk §. 13.
Arsenikalwerk zu Geyer §. 14.
Silberfchmelzhütten §. 15.
Kupferhütten §. 16.
Zinnhütten §. 17.
Eisenhütten oder Hammerwerke §. 18.
Münze §. 19.
Silberhammer §. 20.
Gold- und Silbertrefsenmanufacturen §. 21.
Kupferhammer §. 22.
Stück- und Blockgießereyen §. 23.
- Messingwerk §. 24.**
Hydner- und Trompetenfabrik §. 25.
Bleykugel- und Schrotgießerey §. 26.
Bleyglättefabrik §. 27.
Mennig- und Bleyweißfabrik §. 28.
Eisenblechwerke §. 29.
Eisendrathwerke §. 30.
Zangen- Schaufel- und Waffenhämmer §. 31.
Gewehrfabriken §. 32.
Plattwalzenfabrik §. 33.
Seilenhauerey §. 34.
Eisenblechwaarenfabriken §. 35.
Spormacherey §. 36.
Löffelschmieberey §. 37.
Zwecken und Nägelschmieberey §. 38.
Kardetschen- und Krempelmacherey §. 39.
Nadelfabrik §. 40.
Poliermühle §. 41.
**Mathematische, optische und physikalische Instru-
 mente §. 42.**

Abb. 1: Aufzählung der Bergfabriken im Inhaltsverzeichnis der „Chursächsischen Staatskunde“²

naturgemäß auch das Interesse an der Aufklärung der Reaktionsmechanismen mit modernen Methoden erloschen. Daher ist es schwierig, die ablaufenden Reaktionen zu formulieren. Da sich Ag_2S glatt aus den Elementen bildet, ist das Hauptproblem dieser Reinigungsmethode die feine Verteilung der Rohlegierung, damit das Ag möglichst vollständig reagieren kann.

Für noch silberreicheres Rohgold wendete man die sogenannte Zementation an, die bereits den alten Ägyptern bekannt war.⁶ Dabei wird die feinerkleinerte Legierung mit Kochsalz und verschiedenen Zusätzen vermischt und in Tontiegeln geglüht. Nach mehreren Tagen hat der größte Teil des Silbers mit den Zusätzen eine leicht entfernbare Schlacke gebildet, so daß die Reinheit des Goldes bis 90 % erreichen kann. Der Reaktionsmechanismus ist erst seit den 60er Jahren unseres Jahrhunderts bekannt: Bei ca. 900°C löst sich metallisches Silber in einer Natriumchlorid-Schmelze unter Bildung von Silberionen auf, wobei der Luftsauerstoff als Oxydationsmittel dient.⁷ Da das in der Schmelze gelöste Silber sich an kühleren Stellen wieder abscheidet - an der Grenzfläche Schmelze/Luft bilden sich Ag-Dendriten -, gelingt das Verfahren nur, wenn die Silberionen von der Schlacke oder von der porösen Tiegelwand aufgefangen werden können.

Die frühere Vorstellung, daß dieser Prozeß über freies Chlor als Zwischenstufe verläuft, hat wahrscheinlich den Freiburger Professor Plattner⁸ 1846/47 zur Erfindung des Chlorationsprozesses⁹ angeregt. Dabei wird Chlorgas über feinerkleinerte, angefeuchtete Verhüttungsrückstände geleitet. Das eingesprengte Gold geht in Lösung und kann mit Eisenvitriol gefällt werden. Das Hauptproblem dieses recht komplizierten und viel Erfahrung erfordernden Verfahrens besteht darin, eine stabile und einigermaßen reine Au(III)-Chloridlösung zu erhalten und diese aus dem Reaktionsgemisch abzuführen. Nach diesem Verfahren wurden ab 1848 in Muldenhütten bei Freiberg die goldhaltigen Rückstände der Verhüttung sulfidischer und arsenidischer Erze aus Reichenstein in Schlesien entgolde, deren Goldgehalt bei 20 bis 30 g/t Au lag.¹⁰ In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts fand das Plattner-Verfahren auch in den USA, in Australien und in Südafrika weite Verbreitung.⁹

Bekanntgeworden ist Sachsen jedoch vor allem durch die Silbergewinnung. Eigentliche Silbererze haben wirtschaftlich keine große Rolle gespielt, genutzt wurde meist der oft weit unter 0,1 % liegende Silbergehalt in Blei- und Kupfererzen. Die Gewinnung von Blei und Kupfer aus oxidischen und sulfidischen Erzen durch Rösten und Reduktion mit Holzkohle ist relativ einfach, auch einstufig durchführbar, um so komplizierter jedoch die Entsilberung des Rohkupfers durch den Saigerhüttenprozeß.¹¹

Der Saiger(oder Seiger-)hüttenprozeß läuft in drei Etappen ab. Zunächst wird das silberhaltige Rohkupfer mit Blei verschmolzen, wobei oberhalb 990 °C eine monodisperse Mischung entsteht. Beim Erstarren scheidet sich zunächst ein dendritisches Cu-Gerüst aus, das noch schmelzflüssige Blei enthält fast das gesamte Silber der Mischung. Bei 326 °C erstarrt ein Cu-Pb-Eutektikum mit weit über 90 % Pb, das nahezu das gesamte Silber enthält. Die anschließende Saigerarbeit hat zum Ziel, das silberhaltige Blei vorsichtig auszuschmelzen. Dabei rinnt es aus den Poren des Cu-Skeletts heraus. Dieses Saigerblei wird nun der Silbergewinnung unterworfen, während das Kupfer zu Garkupfer verarbeitet wird. L. Suhling vermerkt: In der Geschichte der Metallurgie war die Einführung der Kupferseigerung das herausragende Ereignis, die bedeutendste technologische und folgenreichste montanwirtschaftliche Neuerung im Bereich der Nichteisenmetallurgie seit der Erfindung der Messingherstellung in der Antike.¹¹ Das Wort „seigern“ oder „saigern“ geht nach Suhling auf die indogermanische Wurzel „seik“ zurück, was soviel wie ausgießen, rinnen, träufeln bedeutet.¹¹

Zwischenprodukt ist sowohl bei der einfachen Reduktion von Bleierzten als auch beim Saigerhüttenprozeß ein silberhaltiges Blei, von den Hüttenleuten „Werkblei“ genannt. Die zentrale chemische Reaktion der Silbergewinnung von der Antike über das Mittelalter bis zum 19. Jahrhundert¹² ist nun die einfache Oxydation von Blei zu Bleiglätte, also PbO. Der hierfür verwendete Reaktor ist der sog. Treibeherd, dessen typische Gestalt schon 1556 Georgius Agricola (1494-1555) in seinen 12 Büchern vom Bergbau und Hüttenwesen¹³ darstellte (Abb. 2). Beim Treiben oder Kupellieren erfolgt eine Anreicherung des im „Werkblei“ enthaltenen Silbers über mehrere Zehnerpotenzen hinweg. Das Blei wird vollständig oxidiert, das bei 890 °C schmelzende PbO fließt kontinuierlich ab. Das Silber bleibt zurück und durchbricht schließlich nach Stunden oder Tagen mit starkem Glanz die graue Bleiglätteschicht. Diese Silberscheibe, die den alten Hüttenleuten endlich den Lohn ihrer Mühen zeigte, nannten sie den „Silberblick“.

Dieser ist also ein Metallstück. So heißt es in der Beschreibung einer Bergparade anlässlich der Vermählungsfeierlichkeiten des sächsischen Kron- und Kurprinzen Friedrich August im Jahre 1719, daß während des Aufmarsches ein echter Treibeherd auf einem Wagen mitgeführt worden sei; als eine Hüttenmaschine, auf welcher wirklich getrieben und ein Blick von etlichen Mark (historische Gewichtseinheit im Geldwesen, ca. 234 g) Silber gemacht worden sei.¹⁴

Eine große Rolle spielt übrigens beim Treibeprozeß das Tiegelmateriale. Eine stark kieselsäurehaltige Auskleidung führt zur Bildung von Bleisilicaten und zum völligen Mißlingen der Treibarbeit.¹⁵



Abb. 2: Der Treibeherd bei AGRICOLA¹³. A: Der Heintze; B: Die scheitter; C: Sylber glette; D: Blaech; E: Der sylberbrenner isset butyr daß ihm das giff / welchs der tiegel von sich gibet nicht schade / dann es ist ein sonderliche artzney widrs giff

Der Treibeherd¹⁶ hat drei Öffnungen: zum Einblasen der Luft mittels Blasebalg, zum Einschleiben ganzer Baumstämme als Brennstoff und zum Abfließen des gebildeten Bleioxids. Nach *Ullmanns Enzyklopädie* sind allein in Freiberg in achthundert Jahren schätzungsweise 5400 t Silber erzeugt worden,¹⁷ demnach mußten also mindestens eine halbe Million Tonnen Blei auf die hier gezeigte Art und Weise oxidiert worden sein. Denken wir an den mit 1750 °C relativ niedrigen Siedepunkt von Blei und dessen hohen Dampfdruck, so liegen die gesundheitlichen Auswirkungen auf der Hand. Bleivergiftungen hatten natürlich auch schon unsere Vorfahren beobachtet. Im Begleittext zu diesem Bild heißt es in der deutschen Fassung des Bergwerkbuches zu dem Buchstaben E, daß der Silberbrenner sich durch Verzehr von Butter gegen die giftigen Dämpfe schützen kann. Etwas moderner liest sich dies in *Ullmanns Enzyklopädie* von 1915 unter dem Stichwort Blei: Blei ist ein schleichendes Gift und von allen industriellen Giften die häufigste Ursache von Erkrankungen, indessen werden einzelne Personen je

nach ihrer Konstitution stärker beeinflusst als andere. In allen Fällen wird durch reichlichen Alkohol- und Tabakgenuß eine Prädisposition für Bleikrankheit geschaffen, während eine kräftige Ernährung und gute häusliche Pflege - abgesehen von der Beobachtung besonderer Schutz- und Verhaltensvorschriften - die besten Vorbeugungsmittel gegen diese Krankheit sind. Noch Ende des 19. Jahrhunderts war es Alltagswissen, daß viele Menschen krank werden, wenn sie in einem frisch gestrichenen Raum schlafen. Sie bekamen Bleikolik oder andere akute Bleivergiftungssymptome.

Übrigens befindet sich ein ganz besonderes Exemplar des Bergwerksbuches im Besitz des Stadt- und Bergbaumuseums Freiberg. Von der 1557 in Basel erschienenen deutschen Ausgabe wurden einige wenige Exemplare sehr sorgfältig von Hand coloriert.¹⁸ Die Farbschichten des Freibergers, des Glauchauer und des Zwickauer Exemplars wurden unlängst im Forschungszentrum Rossendorf mittels protoneninduzierter Röntgenemission untersucht und die Ergebnisse in der Zeitschrift *Restaurio* veröffentlicht.¹⁹ Danach wurden die Pigmente - Kupferblau (Azurit), Kupfergrün,²⁰ Zinnoberrot, Kohlenstoffschwarz und ein offenbar organischer gelber Farbstoff - bereits vor Jahrhunderten aufgebracht.

Solche Treiberherde waren in den vergangenen Jahrhunderten in Sachsen weit verbreitet. Der Freiberg Professor der Metallhüttenkunde, Carl Schiffner,²¹ der sich nach seiner Pensionierung 1930 dem historischen Hüttenwesen zuwandte, konnte allein über 40 Standorte von Silberhütten nachweisen. Eine ausdrucksvolle museale Gestaltung der Silbergewinnungstechnologie findet sich unweit von Freiberg, in der Saigerhütte Grünthal bei Olbernhau.²²

Auf die zahlreichen Amalgamationsverfahren zur Silbergewinnung möchte ich an dieser Stelle nicht eingehen.²³ Es sei jedoch darauf verwiesen, daß in Freiberg der alte lateinamerikanische Patio-Prozeß - der ursprünglich aus Europa stammte - auf höchstes technologische Niveau gebracht wurde. Diese „Europäische Fäseseramalgamation“ erregte zu Beginn des 19. Jahrhunderts großes Aufsehen.

Dagegen hat die Erzeugung von Quecksilber, die jahrtausendlang in Andalusien in hoher Blüte stand, in Sachsen nur eine sehr geringe Rolle gespielt. In Hartenstein wurde vom 16. Jahrhundert bis 1793 Zinnober abgebaut, der in Halsbrücke bei Freiberg verhüttet wurde. Im 19. Jahrhundert gab es nur noch eine sehr geringe Quecksilberproduktion in Bockwa bei Zwickau.²⁴ Chemisch gesehen ist die Quecksilber-Gewinnung aus Zinnober eine einfache Technologie. Die Umsetzung von HgS mit Sauerstoff läuft bereits bei 350 bis 400 °C lebhaft ab, das Quecksilber destilliert vollständig ab. Jedoch kann wegen der Verarbeitung armer Ausgangsprodukte, dem immer wieder wechselnden Verhalten der Erze sowie

der großen Flüchtigkeit des Metalls das Verfahren nur bei sorgfältigster Arbeitsweise und mit viel Erfahrung erfolgreich geführt werden. Diese im *Ullmann*²⁵ für die Gegenwart gemachte Aussage galt um so mehr für unsere Vorfahren.

Auch für die Quecksilbergewinnung besitzen wir recht aufschlußreiche historische Abbildungen. Im Salzburger Festungsmuseum wurde in den 70er Jahren ein Zyklus von acht montanistischen Gemälden aus dem 18. Jahrhundert wiederentdeckt,²⁶ auf denen auch einige der hier interessierenden Verfahrensweisen abgebildet sind, so die Quecksilbergewinnung, die Schwefelgewinnung und Vitriolherzeugung sowie die Arsenikherstellung und Blaufarbenproduktion. Das Gemälde „Quecksilbergewinnung“ zeigt drei verschiedene Verfahren. Neben einem recht ausgereiften Retortenofen ist die älteste Gewinnungsmethode zu sehen. Auf einen bis an den Rand in Erde eingegrabenen leeren Tontopf wurde, mit der Öffnung nach unten, ein zweiter Topf aufgesetzt. Dieser enthielt das Quecksilbererz, das durch einen Verschuß aus Moos am Herausfallen gehindert wurde. Nun erhitze man die Batterie aus mehreren hundert Töpfen mit einem Holzfeuer von oben, wobei das Quecksilber in das untere Gefäß ausdampfte und durch die Kühle des Erdreichs kondensierte. Die gebotene Vorsicht vor den Quecksilberdämpfen wird im Bild deutlich gezeigt, indem die Arbeiter ihr Gesicht von den Gefäßen abwenden. Auch eine technische Weiterentwicklung ist dargestellt, bei der die Quecksilberdämpfe über einen Schnabel aus einem geschlossenen Reaktionsgefäß abgeführt werden und in einer Vorlage kondensieren.

Nun komme ich zu einem Verfahren, das neben der Silbergewinnung erheblich zum Weltruhm des sächsischen Berg- und Hüttenwesens beigetragen hat. In Schneeberg, 50 km südwestlich von Freiberg gelegen, wurden im Jahre 1471 reiche Erzvorkommen entdeckt. Wie wir heute wissen, handelte es sich dabei nur zum Teil um reiche sulfidische Silbererze, die überdies im Laufe weniger Jahrzehnte erschöpft waren. Der größte Teil der Lagerstätten barg stark komplexe kobalt-, arsen-, nickel-, bismut- und uranhaltige Erze, aus denen nur sehr wenig Silber erzeugt werden konnte. Die Hüttenleute fühlten sich daher wegen der Ähnlichkeit dieser Erze mit den reichen Silbererzen von den Berggeistern, den Kobolden, an der Nase herumgeführt. Später nannte man diese schwer verhüttbaren Erze „Kobalte“. Übrigens gibt es in jüngster Zeit physikalische Überlegungen, nach denen die reale Existenz von Berggeistern und ähnlichen nichtmateriellen Wesen erklärbar erscheint.²⁷

Im 16. Jahrhundert fand man jedenfalls eine hervorragende, zukunftsfrüchtige Methode, auch die armen Erze zu nutzen. Die Einzelheiten sind noch im Dunkel der Geschichte verborgen, jedenfalls haben die Venetianer bereits im 15. Jahrhundert kobaltblaue Farbgläser hergestellt und den färbenden Rohstoff dazu „aus

dem Norden“ bezogen.²⁸ Diesen nannten sie Zaffara. Die Verarbeitung der Schneeberger und anderer Erze zeigt das Verfahrensschema²⁹ (Abb. 3).

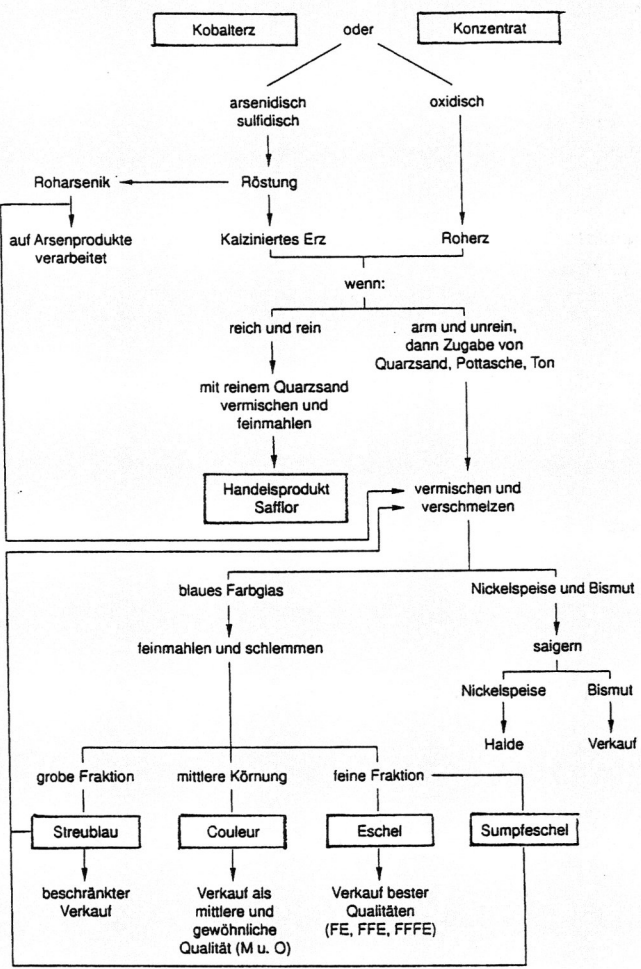


Abb. 3 Verfahrensschema der Verarbeitung kobalthaltiger Erze (nach ²⁸)

Auf die sächsischen Blaufarbenwerke und ihre europäische Bedeutung soll an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen werden.³⁰ Handelsprodukte waren das Safflor, ein mit Quarzsand gestrecktes Gemisch oxidischer Kobaltverbindungen, sowie die Smalte, ein blaues Farbglas, das durch Verschmelzen armer Kobalterze mit Quarz und Pottasche hergestellt wurde. Mit diesen Blaufarben³¹ wurde nach Rößig ein sehr großer auswärtiger Handel bis nach Sina (!) und Japan getrieben.³²

Bei der Blaufarbenherstellung fielen Nebenprodukte von hoher wirtschaftlicher Bedeutung an. Die Schlacken der Farbglassherstellung, die Nickelspeise, enthielt Bismut, das durch Saigern, also vorsichtiges reduzierendes Ausschmelzen, gewonnen werden konnte. Die sächsischen Blaufarbenwerke hatten bis Ende des 19. Jahrhunderts das Weltmonopol der Bismuterzeugung³³ inne, und noch in *Ullmanns Enzyklopädie* von 1923 wird das Blaufarbenwerk von Oberschlema zwischen Schneeberg und Aue als „Hauptwismutproduzent des Kontinents“ bezeichnet.³⁴

Haupteinsatzgebiet des metallischen Bismuts war jahrhundertlang die Drucktechnik. Wegen des im Gegensatz zu Blei positiven Ausdehnungskoeffizienten von Bismut beim Erstarren kann man Legierungen herstellen, die beim Guß der Lettern keine Schrumpfung aufweisen. Das neue Metall wird bereits im *Ständebuch* des Jost Amman³⁵ von 1568 erwähnt: „Ich geuß die Schrifft zu der Druckrey Gemacht auß Wißmat / Zin und Bley ...“

Unter dem Tarnnamen „Aktiengesellschaft Wismut“ begann im Jahre 1946 die sowjetische Besatzungsmacht mit der Ausbeutung des Urangelhaltes der Schneeberger Erze. Der Uranbergbau in der DDR unterlag einer selbst für die damaligen Verhältnisse ungewöhnlich strengen Geheimhaltung und wurde nicht einmal in allgemeinen Nachschlagewerken erwähnt. Selbst das 1962 in Leipzig erschienene Standardwerk *Seltene Metalle* von W. Schreiter enthält trotz ausführlicher Besprechung aller bekannten Uranvorkommen der Welt keinen Hinweis auf die Uranerzlagerstätten im sächsischen Erzgebirge. Nur im Abschnitt „Giftwirkung“ wird die „Schneeberger Krankheit“ (Lungenkrebs durch Radon) erwähnt. Erst in jüngster Zeit konnte die Geschichte des Uranerzabbaus durch die „Sowjetisch-deutsche Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut“ aufgearbeitet werden. Ein Einstieg in die Thematik mit Beleuchtung verschiedener Aspekte findet sich 1998 in der bergbauhistorischen Zeitschrift *Der Anschnitt*.³⁶

Ein Bild aus den 40er Jahren zeigt den ersten Uran-Graphit-Stapel, der während der Versuche zur Erzielung der Kettenreaktion aufgebaut worden war.³⁷

Ein weiteres wichtiges Nebenprodukt nicht nur der Verhüttung der Kobalterze, sondern aller arsenhaltigen Ausgangsprodukte war die Gewinnung von „Giftmehl“, das hauptsächlich aus Arsentrioxid besteht. Das im Erz enthaltene Arsen geht wegen der hohen Flüchtigkeit des As_2O_3 fast vollständig in die Gasphase über. Analysen historischer Schlacken haben gezeigt, daß den seit Ende des Mittelalters verhütteten Erzen der Arsengehalt tatsächlich weitgehend entzogen worden war.³⁸ Der Hüttenrauch, zunächst Anlaß großer Klagen der Landwirtschaft, wurde nun seit dem 16. Jahrhundert zur Herstellung vielfältig verwendbaren Arseniks genutzt. Wieder zeigen zeitgenössische Abbildungen, wie aus dem erwähnten Salzburger Zyklus oder aus einer Sammlung von Handzeichnungen über das sächsische Blaufarbenwesen²⁸ um 1790 (Abb. 4), die angewandte Verfahrensweise. Außerordentlich lange, gemauerte oder hölzerne Kondensationskanäle dienten zur Niederschlagung des im Abgas feinverteilten staubförmigen Arsentrioxids. Für höhere Reinheitsansprüche mußte das grauweiße Produkt nochmals umsublimiert werden.



Abb. 4: Abscheidung von Arsenik in langen Rauchkanälen (²⁸, Bild 19)

Die Zahl der Arsenikhersteller im Kurfürstentum Sachsen dürfte insgesamt bei 20 bis 30 gelegen haben.³⁹ Der erwähnte Professor Rößig schreibt über das Arsenikalwerk zu Geyer, „allwo man weißen, gelben, braunen und sehr schönen rothen Arsenik macht, daß dieser zum Behuf der Apotheker, chymischen Laboratorien, Färbereyen, Kattundruckereyen u.s.f. häufig ausser Landes verführt wird.“⁴⁰

Bei der großen Menge der verhütteten sulfidischen Erze liegt es nahe, daß auch deren Schwefelgehalt bereits seit dem Mittelalter genutzt worden ist. Zur Produktion des für die Schwarzpulverherstellung unentbehrlichen elementaren Schwefels war man früher auf reichen Schwefelkies, also FeS_2 , angewiesen. Ein Gemälde aus dem Salzburger Zyklus zeigt recht anschaulich den komplizierten Aufbau der Schwefelöfen. In zahlreichen Löchern, Kanälen und Kammern sammelte sich der beim Rösten in allerdings nur geringer Ausbeute entstehende elementare Schwefel in flüssiger Form. Unter einem Holzdach sollte sich sublimierter Schwefel ansammeln. Für Sachsen nennt Rößig 1787 sechs Schwefelwerke.

Auf einem der Salzburger Gemälde wird auch die Herstellung von sulfatischen Verbindungen, von Eisen- und Kupfervitriolen gezeigt. Darauf sowie auf die Gewinnung von Alaun, Salpeter, Kochsalz und Pottasche bin ich 1993 auf unserer Tagung in Jena eingegangen.⁴¹ Alle diese Stoffe wurden auch in Sachsen in teilweise erheblichen Mengen produziert, die sicher nicht vollständige Übersicht von Schiffner nennt allein 35 Werke. In letzter Zeit wird zunehmend in technischen Museen⁴² an diese vorindustriellen Verfahren erinnert, so im kürzlich für Besucher freigegebenen Alaunbergwerk „Ewiges Leben“ mitten in der Stadt Plauen.⁴³

Wenig Klarheit herrscht derzeit noch über die Gewinnung von Borax, die bereits Agricola erwähnte.⁴⁴ Die entsprechende Textstelle in der ersten deutschen Ausgabe von 1557 (S. CCCCLXIII) ist in einer kaum zu übertreffenden Weise verworren und irreführend. Eine neuzeitliche Übersetzung aus dem lateinischen Original aus dem Jahre 1928 führt in dieser Frage auch nicht weiter. Nach Fester⁴⁴ geht diese Konfusion bereits auf Plinius zurück, von dessen „Naturalis historia“ (XXXIII, 29) alle späteren Autoren abgeschrieben haben. Letzten Endes kommt es bei der Boraxherstellung auf das Auffinden geeigneter Rohstoffe und deren geschickte Kristallisation zum Natriumtetraborat an. Rößig kennt nur eine einzige Boraxfabrik zu Dresden, wo dieser aus einer gewissen erzgebirgischen Erdart verfertigt wird.⁴⁵ Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts fand Borax eine ungewöhnlich breite Anwendung auch im Haushalt und im täglichen Leben, wie aus *Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie* hervorgeht.

Schließlich sei noch die Gewinnung von Mineralsäuren erwähnt, die heutzutage kaum noch in Bergwerks- und Hüttenbetrieben stattfindet. Die Rohstoffe, Alaune, Vitriole und Salpeter wurden ebenfalls in den Bergfabriken erzeugt und oft an Ort und Stelle weiterverarbeitet. Durch Versuch und Irrtum hatte sich auch auf diesem Gebiet ein reicher Erfahrungsschatz angesammelt, welche Reaktionsgemische zur Bereitung von Scheidewasser (Salpetersäure), Königswasser (Gemisch von Salpeter- und Salzsäure) sowie Vitriolöl (Schwefelsäure) geeignet sind.⁴⁶ Rößig zählt für Sachsen 13 Standorte von „Vitriolöl- und Scheidewasserlaboratorien“ auf und verweist auf „etliche“ weitere, von denen keine nähere „Nachricht vorhanden“ sei.⁴⁷ Die Zahl der in der historischen Literatur aufgeführten Rezepte zur Bereitung dieser Säuren ist Legion. Der wichtigste Vorgang ist jedoch bei der Salpetersäuregewinnung die Abdestillation von HNO_3 , da aus dem Gemisch nur die Kombination H^+ mit NO_3^- flüchtig ist und bereits oberhalb 84 °C in die Gasphase übergeht (Abb. 5). Die Schwierigkeiten liegen auch hier in der praktischen Durchführung. Ist beispielsweise die Temperatur zu hoch, besteht die Gefahr des Zerspringens der Glasgefäße. Hält man die Destillationsgeschwindigkeit niedrig, ist die Raum-Zeit-Ausbeute selbst für die Geduld unserer Vorfahren zu gering. Für die Gewinnung von Schwefelsäure ging man meist vom Eisenvitriol aus, der in Tongefäßen erhitzt wurde. Die SO_3 -Dämpfe leitete man in Wasser ein. Der Rückstand war als Schleif- und Poliermittel sehr geschätzt.⁴⁸ Dieser einfach erscheinende Prozeß gelingt nur unter bestimmten Voraussetzungen und bei Einhaltung enger Reaktionsbedingungen. So ist ein langsames Aufheizen über mehrere Tage unter Luftzutritt und ein großer Reaktionsraum erforderlich. Die SO_3 -Abspaltung ergibt nur zwischen 500 und 600 °C zufriedenstellende Ergebnisse.⁴⁹

Zusammenfassung

Bisweilen liest man in Veröffentlichungen zur Geschichte des Bergbaues und Hüttenwesens in Deutschland den Begriff "Bergfabrik", der in treffender Weise Produktionsverfahren bezeichnet, die in irgendeinem Zusammenhang mit dem Bergbau stehen. Diesen Terminus hat keineswegs die moderne Forschung geprägt. Es handelt sich um einen jahrhundertealten Begriff, den besonders die kameralistischen Schriftsteller des 18. Jahrhunderts verwendeten. So gibt der sächsische Ökonom CARL GOTTLÖB RÖßIG in seinem 1787 erschienenen Werk "Die Chursächsische Staatskunde" eine Aufstellung aller Gewerbebezüge, die er unter die "Bergfabriken" rechnet. Dazu gehören Alaunwerke, Vitriol- und Schwefelwerke, Boraxfabriken, Salpetersiedereien, Pulvermühlen, Blaufarbenwerke, Arsenikwerke, Silberschmelzhütten, Kupfer- und Zinnhütten, Hammerwerke, Mün-

zen, Silber- und Kupferhämmer, Stück- und Glockengießereien, Bleiglätte- sowie Mennige- und Bleiweißfabriken, Eisenblech- und Eisendrahtwerke sowie die Werkstätten zur Herstellung von Emaille, "irdenen Waaren" und Glas.

Im Beitrag wird insbesondere auf solche Produktionsverfahren zur Herstellung von Farben, Metallen und Chemikalien eingegangen, die auf chemischen Stoffumwandlungen beruhen.



Abb. 5: Herstellung von Scheidewasser (HNO_3) und Königswasser (HNO_3/HCl) bei AGRICOLA.⁴⁶ A: Der heintze; B: Sein rundtloch; C: Windtlöcher; D: Das auge des heintzen; E: Das spundtloch under ihm; F: Der tiegel; G: Der kolben; H: Der treibhut; I: Sein schnautzen; K: Das vorleg-glaß; L: Der korb darein dises / daß es nicht zerbreche gesetzt wurd

Summary

Publications on the history of mining and metallurgy in Germany sometimes use the term „Bergfabrik“ (mining factory or production methods in mining). It is a centuries-old term particularly used by some cameralistic writers of the 18th century. The Saxon economist Carl Gottlob Rößig lists in his book *Die Chursächsische Staatskunde*, published in 1787, all branches of trades classified as 'Bergfabriken'. Among them there are alum factories, vitriol and sulphur factories, borax factories, saltpetre plants, copper and tin smelting plants, hammer mills, mints, silver and copper hammer mills, workshops for the production of enamel, earthen ware and glass. The paper deals with methods for producing paints, metals, and chemicals based on the chemical conversion processes.

- 1 Überarbeiteter und mit Anmerkungen versehener Vortrag auf der Tagung der Fachgruppe „Geschichte der Chemie“ der Gesellschaft Deutscher Chemiker in Freiberg vom 11. bis 13. März 1999.
- 2 RÖBIG, CARL GOTTLÖB, *Die Chursächsische Staatskunde nach ihren ersten Grundsätzen entworfen*, Leipzig: Siegfried Lebrecht Crusius, 1787, Zitat: S. 121.
- 3 Zwar impliziert der metallurgische Begriff des „Schmelzens“ die dabei ablaufenden chemischen Reaktionen und wird auch von vielen Fachleuten so aufgefaßt. Dennoch wird ein Mangel an chemischem Verständnis deutlich, wenn es in einigen Büchern zur Geschichte des Freiburger Bergbaus heißt, daß beim Treibeprozess das Blei „als Bleioxid verdampft“ wird oder daß sich bei der Silbergewinnung das Blei „fast vollständig verflüchtigt“.
- 4 Aus jüngster Zeit gibt es eine sehr schöne, umfangreiche Zusammenstellung aller Aspekte, die mit dem Gold in Verbindung stehen, u.a. eine moderne Darstellung der Gewinnungsverfahren: *Gold im Herzen Europas*. Aufsätze und Katalog, Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern, Band 34, hg. v. Verein der Freunde und Förderer des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern, Schloß Theuern, Portnerstraße 1, 92245 Kümmersbruck. 1996, 294 S.
- 5 SCHIFFNER, CARL, *Alte Hütten und Hämmer in Sachsen*. Bearbeitet von WERNER GRÄBNER, Freiburger Forschungshefte, Reihe D, Nr. 14, Berlin: Akademie-Verlag 1960, S. 24. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode findet sich in *Ullmanns Enzyklopädie der Technischen Chemie* (1. Aufl., Band 6, S. 346).
- 6 EMONS, HANS-HEINZ; WALTER, HANS-HENNING: *Mit dem Salz durch die Jahrtausende*. Geschichte des weißen Goldes von der Urzeit bis zur Gegenwart, Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1984, Seite 57 f. (zusammenfassende kurze Darstellung). - Die primäre Quelle aller Berichte über die altägyptische Goldgewinnung scheint die Schilderung des griechischen Forschungsreisenden AGATHARCHIDES VON KNIDOS in seiner *Perplus maris rubri* (um 130 v. Chr.) zu sein (nach: ULLMANN, FRITZ, *Enzyklopädie der technischen Chemie*, 1. Auflage, Berlin und Wien: Urban & Schwarzenberg, 12 Bände, 1914 -

- 1923, Band 6, S. 291, 346). - Zur Mehrdeutigkeit des metallurgischen Begriffes „Zementation“ vgl. BACHMANN, HANS-GERT, „Zementation: Ein mehrdeutiger Begriff in der Metallurgie“, *Metalla* (Bochum) 4.2, 1997, S. 45-48.
- 7 In ENGELS, SIEGFRIED/NOWAK, ALOIS, *Auf der Spur der Elemente*, Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 3. Aufl. 1983 wird der Bericht des AGATHARCHIDES über die Zementation als *nicht sehr klar* bezeichnet (S. 45). Die Reaktionsmechanismen konnten erst 1962 (in anderem Zusammenhang) aufgeklärt werden (Gmelin, 8. Aufl., Silber Teil A 3, Element, Weinheim 1971, dort zitierte Literatur: KRUGER, J., *J. Electrochem. Soc.* 109 (1962), S. 889; *Metal. Ind.* 102 (1963), S. 623).
 - 8 CARL FRIEDRICH PLATTNER (1800-1858) war der Nachfolger von WILHELM AUGUST LAMPADIUS (1772-1842) auf dem Lehrstuhl für „Metallurgische Chymie“ der Bergakademie Freiberg. PLATTNER wurde als Begründer der Lötrohrprobierkunde berühmt (Bergakademie Freiberg, *Festschrift zu ihrer Zweihundertjahrfeier am 13. November 1965*, hg. v. Rektor und Senat der Bergakademie, Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1965, Band 1, S. 129).
 - 9 Eine ausführliche Beschreibung des Chlorationsverfahrens findet sich in *Ullmanns Enzyklopädie* (1. Aufl., Band 6, 1919, S. 304, 308). Danach *wird es jetzt (1919) wohl kaum noch irgendwo in Anwendung stehen*. – Übrigens lehnt sich eine neuere Technologie, das „carbon-in-chlorine“-Laugungsverfahren (CICL), an den alten PLATTNER-Prozeß an. Nach Aufmahlung der goldhaltigen Rohstoffe wird der Aufschlämmung Aktivkohle zugesetzt und in die Trübe Chlor eingeleitet. Die gebildeten löslichen Goldchloride werden von den Kohlepartikeln adsorbiert (BACHMANN, HANS-GERT, „Moderne Technologien zur Primärgoldgewinnung“, *Lagerstättenforschung in Deutschland*. Vorträge der Fachtagung 24./25. Oktober 1991 des GDMB-Fachausschusses „Lagerstätten“ in Freiberg/Sachsen. Schriftenreihe der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute, Clausthal-Zellerfeld, Heft 64, 1992, S. 105-122).
 - 10 C. SCHIFFNER (wie Anmerkung 5), S. 30. Die Kleinstadt Reichenstein (2510 Einwohner nach dem *Schlesischen Ortschaftsverzeichnis*, Breslau 1925) liegt 10 km östlich von Glatz (gegenwärtig das polnische *Klodzko*).
 - 11 SUHLING, LOTHAR, *Der Seigerhüttenprozeß. Die Technologie des Kupferseigerns nach dem frühen metallurgischen Schrifttum*, Stuttgart: Dr. Riederer-Verlag GmbH 1976. Zitat: S. 172; Worterklärung „seigern“: S. 22.
 - 12 Die Silbergewinnung durch „Abtreiben“ des unedlen Bleies war unseren Vorfahren bereits vor Jahrtausenden ein so geläufiger Vorgang, daß er schon im Alten Testament als Gleichnis diente. So war der Prophet JEREMIA zum „Schmelzer“ oder „Prüfer“ über das Volk bestellt: „Versengt vom Feuer ist der Blasebalg, zu Ende ist das Blei, vergebens hat man geschmolzen und geschmolzen, denn die Bösen sind nicht ausgeschieden. Darum wird man sie *verworfenes Silber* nennen, weil der Herr sie verworfen hat“ (Jer. 6, 29-30).
 - 13 AGRICOLA, GEORGIUS: *De re metallica libri XII*. Basel: Froben 1556 (erste Ausgabe). Die erste deutsche Ausgabe erschien unter dem Titel *Vom Bergkwerck XII Bücher* im Jahre 1557 ebenfalls im Verlag von JERONYMUS FROBEN in Basel. Ein auch im Format unveränderter Faksimiledruck dieser Ausgabe mit einem ausführlichen Kommentarband von HANS PRESCHER erschien 1985 im Deutschen Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig. Der gezeigte Holzschnitt des Treibeheredes findet sich in der deutschsprachigen Ausgabe im 10. Buch auf S. CCCLXXXVII.

- 14 *Die historische Bergparade anlässlich des Saturnusfestes im Jahre 1719*. Faksimiledruck mit Kommentarband, verfaßt von EBERHARD WÄCHTLER und EBERHARD NEUBERT. Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1982. Zitat: S. 16. – Bei dem Original, das als Vorlage für diesen Druck diente, handelt es sich um die Deckfarbenmalerei eines Laienkünstlers in den Maßen 32 cm x 38,40 m (!) im Besitz der Bergakademie Freiberg. Diese bildliche Darstellung weicht jedoch in manchen Details von der Wirklichkeit ab. Eine vorzügliche, sorgfältige und ausführliche Beschreibung dieses Bergaufzuges auf der Grundlage der Akten im Sächsischen Hauptstaatsarchiv Dresden wurde kürzlich im Band 2 einer Reihe zur Geschichte des Plauenschen Grundes publiziert: GÜNTHER, ROLF/HÄNEL, MARINA PULS, JULIANE/SEIFERT, CHRISTA/VOGEL, WOLFGANG, *Das Saturnfest 1719*. Freital: Städtische Sammlungen, Altburgk 61, D-01705 Freital, 1997.
- 15 Die Reaktion zwischen Bleioxid und Kieselsäure in ungeeigneten Tiegelmaterialien konnte durch moderne Experimente gezeigt werden. Früher verwendete man deshalb gestampfte Knochenasche (Calciumphosphat) und kalkhaltige Mergel, gelegentlich mit Pottaschesatz. Vgl. dazu BACHMANN, HANS-GERT, „Archäometallurgie des Silbers“, *Die Geowissenschaften* (Weinheim) 9 (1991) Nr. 1, S. 12-17.
- 16 Der Treibeherd als eines der wichtigsten Aggregate der vorindustriellen Silbergewinnung hat verschiedentlich auch eine künstlerische Darstellung gefunden. Für Sachsen ist hier neben dem in Anmerkung 14 genannten Bergaufzug vom 26. September 1719 im Plauenschen Grund bei Dresden (vgl. PULS, JULIANE, „Das Saturnfest im Plauenschen Grund von 1719 - Ausstellung in Freital“, *Der Anschnitt* 50, 1998, Heft 2-3, S. 134-135.) insbesondere der berühmte *Annaberger Bergaltar* zu nennen. Diese bildliche Darstellung der Arbeitsgänge von der Erzsuche bis zur Ausprägung von Silbermünzen wurde von HANS HESSE um 1521 für die Annenkirche in Annaberg-Buchholz gemalt und ist noch heute erhalten. Vgl. auch den Katalog *Bergbau und Kunst in Sachsen. Führer durch die Ausstellung im Albertinum 29.4.-10.9.1989*, hg. v. d. Staatlichen Kunstsammlungen Dresden 1989.
- 17 *Ullmanns Enzyklopädie*, 1. Aufl., Band 10, 1922. S. 439.
- 18 Im Kommentarband zu AGRICOLAS Bergwerksbuch (vgl. Anmerkung 13) erwähnt H. PRESCHER auf Seite 118, daß sich im erhalten gebliebenen Rechnungsbuch des Verlages FROBEN Nachrichten für die Jahre 1562/63 finden, nach denen 4 Exemplare der deutschen Ausgabe illuminiert wurden.
- 19 NEELMEIJER, CHRISTIAN/WAGNER, WOLFGANG/SCHRAMM, HANS-PETER, „Diagnose von Kunstwerken am Teilchenbeschleuniger - Fortschritte am „Luft-Protonenstrahl““, *Restaurator* (Verlag Callwey, München) 101 (1995) Heft 5, S. 326-329. Vgl. auch den sorgfältig recherchierten Beitrag „Ionenstrahlen enträtseln Geheimnisse alter Farben“ in der Tageszeitung *Freie Presse* (Chemnitz) vom 17. Januar 1997.
- 20 Azurit, auch *Kupferlasur* genannt, ist ein lasur- bis hellblaues, glasglänzendes Mineral, das noch heute als Malerfarbe verwendet wird. Chemisch ist es ein basisches Kupfercarbonat: $2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$. Kupfergrün ist wahrscheinlich gemahlener Malachit $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, wobei *Ullmanns Enzyklopädie* genau 22 grüne Kupferfarben verzeichnet (1. Auflage, Band 7, 1919, S. 478). Deren Verwendung sei allerdings im Laufe der Jahre stetig zurückgegangen - *einerseits weil sie sich relativ teuer stellen, andererseits weil sie, zumal wenn sie Arsen enthalten, von hoher Giftigkeit sind.*
- 21 Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. E.h. CARL SCHIFFNER (1865-1945), von 1902 bis 1930 Professor für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie, hat nach seiner Pensionierung eine umfangreiche Zusammenstellung der Hüttenstandorte im sächsischen Raum vom Mittelalter bis

- zum 19. Jahrhundert erarbeitet. Gedruckt wurde diese Arbeit erst aus seinem Nachlaß herausgegeben und in der Reihe Freiburger Forschungshefte veröffentlicht (vgl. Anmerkung 5).
- 22 Das Technische Museum Saigerhütte Grünthal bei Olbernhau, 30 km südlich von Freiberg gelegen, bietet einen umfassenden Überblick über die vorindustrielle Silber- und Kupfergewinnung sowie deren Verarbeitung (Museumsverwaltung im Treibehaus, In der Hütte 10, D-09526 Olbernhau, Telefon 037360 / 3367).
 - 23 Ein guter Überblick aller Amalgamationsverfahren findet sich wiederum in der 1. Auflage von *Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie* unter dem Stichwort „Silber“. Über die Geschichte der Amalgamation und das Amalgamierwerk Halsbrücke bei Freiberg existiert seit einiger Zeit eine sorgfältig ausgearbeitete Schrift zweier Freiburger Metallurgen: RICHTER, THOMAS/SCHIERLE, THOMAS, *200 Jahre Kaltamalgamation. Jubiläumsschrift zum 200. Jahrestag der Inbetriebnahme des Amalgamierwerkes Halsbrücke*. Typoskript, 45 S., Bergakademie Freiberg, Institut für Nichteisenmetallurgie und Reinstoffe, 1990 (Kurzfassung: Schriftenreihe des Stadt- und Bergbaumuseums Freiberg, Heft 10, 1991. S.75-96).
 - 24 C. SCHIFFNER, (wie Anmerkung 5), S. 107.
 - 25 *Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie*, 4. Auflage, Band 19, S. 647.
 - 26 LUDWIG, KARL-HEINZ, *Die Agricola-Zeit im Montangemälde - Frühmoderne Technik in der Malerei des 18. Jahrhunderts*, Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1979. Die acht Originalgemälde sind in Öl auf Leinwand ausgeführt und haben ein Format von 50,5 x 72,5 cm. Heute befinden sich die Bilder im Besitz des Salzburger Museums für Kunst und Kulturgeschichte „Carolino Augusteum“. Ausgestellt ist der Zyklus im Keltenmuseum zu Hallein unweit von Salzburg.
 - 27 ASH, DAVID/HEWITT, PETER, *Wissenschaft der Götter. Zur Physik des Übernatürlichen*. Frankfurt am Main: Zweitausendeins 1998 (englische Erstausgabe 1990). Dabei wird davon ausgegangen, daß bei Überschreitung der Lichtgeschwindigkeit der Elementarteilchen keine Interaktion mit der „normalen“ Materie mehr stattfindet, so daß die Gegenstände oder Lebewesen für uns unsichtbar werden.
 - 28 AUGUST FÜRCHTEGOTT WINKLER, *Das sächsische Blaufarbenwesen um 1790 in Bildern*. Mit einer Einführung von ALFRED LANGE, Berlin: Akademie-Verlag 1959 (Freiburger Forschungshefte, Reihe D, Nr. 25). Dieser Band enthält außerordentlich instructive Handzeichnungen über die Technologie der Kobaltfarbenherstellung, die vom Großvater des berühmten Freiburger Chemikers CLEMENS ALEXANDER WINKLER (1838-1904, Professor für anorganische Chemie von 1873-1902) stammen. – A. LANGE wirkte von 1950 bis 1968 auf demselben Lehrstuhl wie SCHIFFNER (vgl. Anm. 21) und verfaßte einen ausführlichen, kenntnisreichen Begleittext zu dieser Ausgabe, in der in gelungener Weise die historischen Tatsachen mit modernen metallurgischen Erkenntnissen verknüpft werden. Die Bilder WINKLERS zeigen das Mürebrennen von Quarz (No. 1), das Abkühlen der Quarzite im Freien (No. 2), das Naßpochwerk (No. 3), das Trocknen auf einem ebenen Herd, der mit den Abgasen eines Glasschmelzofens beheizt wird (No. 4), die Beurteilung der Farbe von Probeschmelzungen des Kobaltglases, der Smalte (No. 5), die Calcination des Erzes (No. 6 und 7), das Zerkleinern der calcinierten Erze im Pochwerk (No. 8), das Absieben (No. 9), das Pottaschesieden (No. 10), die Zusammenstellung der Beschickung durch genaues Abwägen der Komponenten (No. 11), das Mischen der Zuschläge (No. 12), die Fertigung der Tönhäfen für die Schmelze (No. 13), das Brennen dieser Tiegel (No. 14), das Einsetzen ei-

- nes Hafens in den Glasofen (No. 15), das Schmelzen von einem Centner (50 kg) Farbglass über 8 bis 12 Stunden (No. 16), das Ausschöpfen der Schmelze aus dem Hafen und die Abkühlung im Wasserbottich zur Herstellung von Farbglassgranulat (No. 17), das Ausschmelzen von Bismut aus den „Speisebroten“ (No. 18) sowie die Gewinnung von Arsenik in überlangen Rauchkanälen (No. 19).
- 29 Freiburger Forschungsheft D 25 (wie Anmerkung 28), S. 22. Neuere Arbeiten über die Chemie der historischen Kobaltfarbenherstellung aus komplexen Erzen sind dem Verfasser nicht bekannt.
- 30 EMONS, HANS-HEINZ/EMONS, MARIA, *Blaufarben - Bläfarbe - ein geschichtliches Beispiel deutsch-norwegischer Zusammenarbeit*. Vortrag auf der Tagung der Fachgruppe Geschichte der Chemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker vom 11.-13. März 1999 in Freiberg. Eine umfassende Publikation erfolgt voraussichtlich im Jahr 2000 in den Mitteilungen der Königlich-norwegischen Akademie der Wissenschaften und Literatur zu Trondheim.
- 31 Diese anorganischen Kobaltfarben zur Färbung von Glasflüssen und Keramik werden mitunter mit den organischen Waidfarbstoffen verwechselt, die zum Blaufärben von textilen Geweben dienen. Der Anbau von Waidpflanzen und die Herstellung der Farbtinkturen hatte vom Mittelalter bis zum 17. Jahrhundert für Thüringen eine ähnlich große wirtschaftliche Bedeutung wie die Kobaltfarben für Sachsen. Vgl. dazu: WALTER, HANS-HENNING, „Chemische Gewerbe zwischen dem 16. und 18. Jahrhundert“, *Illustrierte Geschichte der Chemie*, hg. von HORST REMANE, Heidelberg: Spektrum-Verlag, im Druck.
- 32 RÖBIG, wie Anmerkung 2, S. 126.
- 33 Freiburger Forschungsheft D 25 (wie Anmerkung 28), S. 23.
- 34 *Ullmanns Enzyklopädie*, 1. Auflage, Band 12 (1923), S. 85.
- 35 Die Erstausgabe erschien 1568 in Frankfurt am Main unter dem Titel: *Eygentliche Beschreibung Aller Stände auff Erden / Hoher und Nidriger / Geistlicher und Wellicher / Aller Künsten / Handwercken und Händeln...* Die Holzschnitte stammen von dem seit 1561 in Nürnberg lebenden Schweizer Künstler JOST AMMAN (1539-1591), die Verse von dem „Schuhmacherpoeten“ HANS SACHS (1494-1576). Zitiert nach der Ausgabe des Insel-Verlages Leipzig 1989 (Insel-Bücherei Nr. 133).
- 36 Der Anschnitt (Bochum) 50 (1998) Heft 2-3. Vgl. auch den Sammelband: KARLSCH, RAINER/SCHRÖTER, HARM (Hg.): „*Strahlende Vergangenheit*“ - *Studien zur Geschichte des Uranbergbaus der Wismut*, D-55595 St. Katharinen: Scripta Mercaturae Verlag, 1996.
- 37 GOLOWIN, I. N., *I. W. KURTSCHATOW - Wegbereiter der sowjetischen Atomforschung*. Leipzig/Jena/Berlin: Urania-Verlag 1976. Russ. Originalausgabe: Moskau: Atomisdat, 1972. Bild: S. 73 (ohne Quellenangabe).
- 38 K.-H. LUDWIG (wie Anmerkung 26), S. 139. Dort zitiert: WITTER, WILHELM: „Beitrag zur Geschichte des Metallhüttenwesens im ausgehenden Mittelalter“, *Metall und Erz* XXX (N.F. XXI) (1933), S. 286 f.
- 39 C. SCHIFFNER (wie Anmerkung 5), S. 308.
- 40 RÖBIG (wie Anmerkung 2), S. 126. Bei den farbigen Arseniksorten wird natürlich der Begriff im erweiterten Sinne gebraucht. Es handelt sich um nicht-stöchiometrische Gemische verschiedener Arsensulfide und -oxide, die in überlieferten Herstellungsverfahren erzeugt wurden (C. Schiffner, S. 58). Eine ausführliche Beschreibung dieser Verbindungen vgl. *Ullmanns Enzyklopädie*, 1. Auflage, Band 1, S. 577 f. Rotes Arsenglas (Realgar) besteht

im wesentlichen aus As_2S_3 , gelbes Arsenglas (Chinagelb, Königsgelb) ist ein Gemisch von As_2S_3 mit viel arseniger Säure.

- 41 WALTER, HANS-HENNING, „Historische Produktionsverfahren für anorganische Salze“, *Mitteilungen der Fachgruppe Geschichte der Chemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker* Nr. 10 (1994) S. 65-75 (Vortrag auf der Tagung der Fachgruppe am 19. März 1993 in Jena).
- 42 Für die in diesem Beitrag behandelten Technologien betrifft das unter anderem folgende Museen: Technisches Museum Frohnauer Hammer (Eisenverarbeitung), Sehmatalstraße 3, 09456 Annaberg-Buchholz; Zinngrube Ehrenfriedersdorf - Besucherbergwerk und Mineralogisches Museum, Am Sauberg 1, 09427 Ehrenfriedersdorf; Technisches Museum Silberwäsche, 08359 Antonsthal; Molchner Stollen (Gegenüberstellung des alten Bergbaus mit dem Uranbergbau der Wismut-AG), 09496 Pobershau; Lehr- und Schaubergwerk Glöckl (Uranbergbau, Nutzung der Atomkraft), 08349 Johanngeorgenstadt. Natürlich ist hier auch die Staatliche Porzellanmanufaktur Meissen GmbH, Talstraße 9, 01662 Meißen, zu erwähnen. In ausgedehnten, täglich stattfindenden Schauvorführungen für die Besucher wird hier die Herstellung keramischer Erzeugnisse auf der Basis von bergmännisch abgebautem Kaolin gezeigt. Besonders instruktiv ist das Aufbringen der verschiedenen Farben über und unter der Glasur.
- 43 Im Sommer 1997 eröffnete der „Vogtländische Bergknappenverein“ den ersten Abschnitt des ehemaligen Alaunbergwerkes für die Besucher, die die Stollen durch ein Mundloch betreten können. Die beste museale Darstellung der vorindustriellen Alaungewinnung findet sich jedoch im Landschaftsmuseum der Dübener Heide, D-04849 Bad Dübener Heide. Die Ausstellung wird gegenwärtig völlig neu gestaltet.
- 44 FESTER, GUSTAV, *Die Entwicklung der chemischen Technik bis zu den Anfängen der Großindustrie*. Berlin: Verlag von Julius Springer 1923, S. 27.
- 45 RÖBIG, wie Anmerkung 2, S. 125.
- 46 Im Buch X beschreibt AGRICOLA zahlreiche Ausgangsgemische für die Herstellung der Säuren. Der Holzschnitt zur Illustration der Säuredestillation (Abb. 5) findet sich auf S. CCCLXVI.
- 47 RÖBIG, wie Anmerkung 2, S. 124.
- 48 C. SCHIFFNER, wie Anmerkung 5, S. 59.
- 49 TRÖMEL, MARTIN, TMAR/FARIBA MAYSAMY, „Chemische Prozesse der frühen Schwefelsäuregewinnung“, Vortrag auf der Tagung der Fachgruppe Geschichte der Chemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker vom 11. bis 13. März 1999. Nach FESTER (wie Anmerkung 44) liegen die Ursprünge der Herstellung und Nutzung der Mineralsäuren noch durchaus im Dunkeln. Daran scheint sich bis heute nichts geändert zu haben. Für gegenteilige Hinweise ist der Verfasser stets dankbar.