

# Chemische und metallurgische Aspekte der Alchemie

Robert Opferkuch, Universität Ulm, Abteilung für Organische Chemie, Albert-Einstein-Allee 11, 89081 Ulm/Donau

Die Alchemie ist ein komplexes Wissensgebäude mit vielerlei Wurzeln und Aspekten. Von besonderer Bedeutung sind unter anderem ein psychologischer und ein mythisch-religiöser Aspekt<sup>1</sup>. Über all diesen für das Verständnis der Alchemie wichtigen Erkenntnissen sollte man jedoch nicht vergessen, daß die Alchemie zunächst auch eine handwerkliche Tätigkeit war. Ziel dieser Tätigkeit war es, durch bestimmte Manipulationen Gold herzustellen.

Hier stellt sich die Frage, aufgrund welcher Beobachtungen und praktischer Ergebnisse die Vorstellung entstehen konnte, daß es möglich sei, das Gold aus weniger edlen Ausgangssubstanzen herzustellen. Wichtige Kriterien dafür, ob es sich bei einem Metall um Gold handle oder nicht, waren die Qualitäten Schwere und Duktilität, vor allem aber die Qualität Farbe.

Die Anfänge der praktischen Alchemie muß man daher bei denjenigen metallurgischen Prozessen suchen, bei denen auffällig gefärbte Metalle oder Legierungen entstehen.

Besonders auffällige Farben hatten die Metalle Kupfer, Silber und Gold. Es gelang aber schon recht früh, durch Schmelzen von Kupfer mit Kohle und einem weißen Pulver, das im übrigen nicht besonders auffällig war (d.h. mit ZnO oder ZnCO<sub>3</sub>), aus einem roten Metall ein gelbes, goldähnliches (= Messing) herzustellen. Durch Schmelzen von Kupfer mit „Hüttenrauch“ (u.a. = Arsenik) oder durch Verhütten mit besonderen Kupfererzen konnte man hellkupferfarbige, goldgelbe oder silbergraue Produkte (d.h. Arsenbronzen) herstellen. Diese und eine Reihe weiterer metallurgischer Prozesse, die schon in den ersten beiden Jahrtausenden v.Chr. bekannt waren, sind mit deutlichen Farbänderungen und mit der Herstellung eines sichtbar „veredelten“ Produkts verbunden.

Nicht nur im mitteleuropäischen und mediterranen Kulturbereich scheint die Farbe von Metallen eine bedeutende Rolle gespielt zu haben. Die Archäometallurgin Heather Lechtman stellte am Ende einer Untersuchung über die Metallurgie im Andenraum als hervorstechenden Zug folgendes fest:

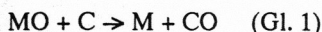
Farbe war die einzige Eigenschaft eines Metalls, deren Erzeugung und Veränderung die innovativsten und raffiniertesten Entwicklungen der metallurgischen Technologie der Anden anregte. ... Kupfer/Silber- und Kupfer/Gold-Legierungen wurden nur deshalb entwickelt, weil sie der Oberfläche die Farbe von Silber oder Gold erteilen konnten.

(Übers. aus dem Englischen nach <sup>2</sup>).

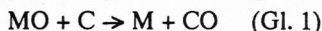
Die Metallurgie wurde nach Ansicht H. Lechtmans hauptsächlich wegen des symbolischen Ausdrucks von Farben betrieben, nicht wegen der Nützlichkeit der Metalle. Analogien zu der uns bekannteren Alchemie sind hier nicht zu übersehen.

### Verfahren zur Metallherstellung

Es wurde lange Zeit vermutet, daß die älteste Methode zur Metallgewinnung - abgesehen vom Einsammeln und Verarbeiten gediegener Metalle - die Reduktion oxidischer Erze mit Kohlenstoff gewesen sei. Die zugehörige Reaktionsgleichung (mit M als allgemeiner Bezeichnung für Metall) ist:

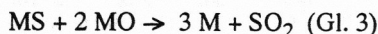


Später sei die Verhüttung sulfidischer Erze gefolgt <sup>3</sup>. Die Sulfide mußten jedoch zunächst geröstet werden, bevor man die dann entstandenen Oxide mit Kohlenstoff reduzieren konnte:



Der Gesamtprozess entspricht dem sogenannten Röstreduktionsverfahren.

Diese Abfolge der Entwicklung mag sicher ihre Gültigkeit besitzen, neuere archäologische Untersuchungen ergaben aber sehr deutliche Hinweise darauf, daß schon im Chalkolithikum auch die Umsetzung von Metalloxid/Metallsulfidgemischen zur Kupferherstellung verwendet wurde <sup>4</sup>. Dies bedeutet, daß das sogenannte Röstreaktionsverfahren - zumindest in begrenztem Umfang und in einem begrenzten Raum - mit zu den ältesten Metallproduktionsmethoden gehört. Die allgemein formulierte Gleichung hierzu lautet:



Den prähistorischen Metallurgen war mit Sicherheit der wahre Chemismus der Vorgänge in ihren Öfen nicht bekannt. Die dazu notwendigen Erkenntnisse und analytischen Methoden (z.B. die chemische Atomlehre oder die Deutung von Redoxvorgängen) sind einige tausend Jahre jünger. Eine Erkenntnis aber, die man damals gewonnen haben könnte, könnte die gewesen sein, daß ein Metall besonders leicht hergestellt werden kann, wenn man ein metallisch glänzendes

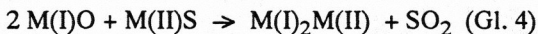
Erz (d.h. ein Sulfid) und ein erdiges, oft bunt gefärbtes (ein Oxid) zusammen bringt und miteinander verhüttet. Da sich natürlich vorkommende Erze oft äußerlich ähneln - z.B. viele sog. „Glänze“ - kann es bei dieser Art der Metallherstellung leicht zu Verwechslungen oder zu absichtlichem Austausch eines Minerals durch ein anderes gekommen sein. Dies wiederum kann zur Entstehung neuer, farbiger Legierungen geführt haben.

### Ziel der Untersuchung

Ziel der vorliegenden Arbeit sollte es sein, zu untersuchen, inwieweit es möglich ist, durch Anwendung des Röstreaktionsverfahrens auf Oxid/Sulfidgemische mit unterschiedlichen Metallkomponenten, Legierungen herzustellen - wenn möglich solche, die goldähnlich sind. Hierbei wurde darauf geachtet, daß nur solche Oxide und Sulfide eingesetzt wurden, die auch in der Antike schon bekannt waren. Es sollte Einblick gewonnen werden in einige einfache chemische Reaktionen, die am Anfang der praktischen Alchemie, noch eng verknüpft mit der handwerklichen Metallurgie, gestanden haben können.

### Röstreaktionen mit unterschiedlichen Metallkomponenten

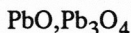
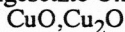
Wendet man die Chemie der Röstreaktion auf ein Oxid/Sulfidgemisch mit verschiedenen Metallkomponenten an, so kann die Reaktionsgleichung folgendermaßen formuliert werden:



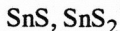
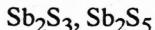
wobei M(I) = Metall 1 und M(II) = Metall 2 ist.

Es wurden Gemische mit Kupfer, Silber, Blei, Antimon, Wismut und Zinn als Oxid- oder Sulfidkomponente eingesetzt, teilweise in verschiedenen Oxidationsstufen.

Eingesetzte Oxide:



eingesetzte Sulfide:



Mit Ausnahme der Zinnverbindungen konnten häufig metallische Produkte in mehr oder weniger guter Ausbeute erhalten werden. Die Zusammensetzung entspricht allerdings in der Regel nicht der einfachen Stöchiometrie der Gleichung 4. (Siehe hierzu Tabelle 1).

Der Anteil des edleren Metalls ist größer als erwartet; bei längerer Röstzeit stellt man zunehmenden Abbrand der unedleren Komponente fest. Die Zusammensetzung des Produkts hängt in einigen untersuch-

**Tabelle 1:** Durch Röstreaktion untersuchte Oxid/Sulfidgemische

	CuO	Cu <sub>2</sub> O	PbO	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>
CuS	Cu	Cu	CuPb <sub>20</sub>	+	+		BiCu <sub>1,4</sub>	-
Ag <sub>2</sub> S	Ag <sub>1,1</sub> Cu	AgCu <sub>1,6</sub>	+	Ag <sub>4,4</sub> Pb	+		Ag <sub>3</sub> Bi	-
PbS	Cu <sub>8</sub> Pb	+	Pb	Pb	-	-		-
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Cu <sub>10</sub> Sb[S]	Cu <sub>13</sub> Sb[S]	Pb <sub>7</sub> Sb[S]	+	Sb	-		-
As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	Cu <sub>2,3</sub> As	Cu <sub>7,4</sub> As	+			?		-
SnS		Cu <sub>17</sub> Sn[S]	-	+?	+?		-	-
SnS <sub>2</sub>	Cu <sub>30</sub> Sn[S]	Cu	+	?	Sb <sub>18</sub> SnS <sub>1,6</sub>		-	-

Legende: + : metallisches Produkt, nicht analysiert

? : Zusammensetzung unsicher

- : kein Metall

leeres Feld : kein Versuch

[S] : Prod. enthält spurenweise Schwefel

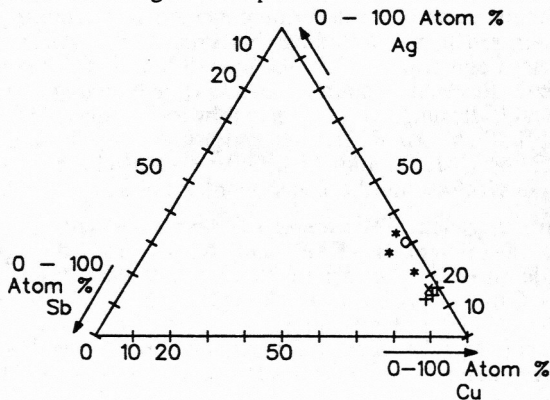
ten Fällen auch stark von den Mengenverhältnissen der Ausgangskomponenten ab. Chemiegeschichtlich von Bedeutung scheint aber die Tatsache, daß es grundsätzlich möglich ist, auf diese einfache Art eine Vielzahl von Legierungen herzustellen. Für die Anfänge der Alchemie sind hierbei besonders die auffällig goldfarbenen Kupfer - Silber - Gemische hervorzuheben.

Die Untersuchungen von Rudolf Schenck <sup>5</sup> belegen eine besondere Bedeutung des Elements Gold bei Reaktionen dieses Typs. Er stellte im System Kupferoxid/Kupfersulfid eine katalytische, die  $\text{SO}_2$ -Abspaltung begünstigende Wirkung von metallischem Gold fest. Ein von uns hergestellter Regulus, der Gold, Silber und Kupfer im Atomverhältnis von etwa 1:2:3 enthielt, zeigte eine besonders schöne, gelbgoldene Farbe. Das bei Alchemisten häufig erwähnte „Goldferment“ könnte somit auch eine chemisch erklärbare, materielle Bedeutung erhalten.

### Darstellung ternärer Legierungen

Ein naheliegender nächster Schritt ist nun die Verwendung komplexer Erze als Sulfidkomponente. Es ist hierbei zum Beispiel an Fahlerze (Cu- Thioantimonate oder Thioarsenate) zu denken. Die Umsetzung dieser Erze mit Kupferoxid sollte zur Bildung von Kupfer/Antimon- bzw. Kupfer/Arsenbronzen führen.

Abb.1: graphische Darstellung der Zusammensetzung (in Atomprozenten) von Legierungen aus Umsetzungen von Kupferoxiden mit Silberthioantimonaten



- Legende: \* : Umsetzung  $\text{CuO} / \text{AgSbS}_2$   
 + : Umsetzung  $\text{Cu}_2\text{O} / \text{AgSbS}_2$   
 o : Umsetzung  $\text{CuO} / \text{Ag}_3\text{SbS}_4$   
 x : Umsetzung  $\text{Cu}_2\text{O} / \text{Ag}_3\text{SbS}_4$



Im Verlauf dieser Untersuchung wurde von uns synthetisch hergestelltes  $\text{AgSbS}_2$  (entsprechend dem Mineral Miargyrit) und  $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$  (entsprechend dem Mineral Rotgültigerz) als Sulfidkomponenten und  $\text{CuO}$  sowie  $\text{Cu}_2\text{O}$  als Oxidkomponenten verwendet. In jedem Fall wurde in guten Ausbeuten eine goldfarbene  $\text{Cu/Ag/Sb}$ - Legierung erhalten. Die Zusammensetzungen aller erhaltenen Reguli liegen in einem verhältnismäßig engen Bereich (S. Abb.1).

Da die oben erwähnten Thioantimonate in der Natur vorkommen und andererseits auch leicht zu synthetisieren sind, sind auch diese Reaktionen für die Entstehung alchemistischer Vorstellungen in Betracht zu ziehen.

### **Experimente mit „alchemistischen Legierungen“**

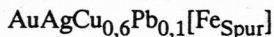
Als nächster Schritt wurden Versuche mit alchemistischen Legierungen unternommen. In der Fachliteratur wird als Ausgangsprodukt für alchemistische Prozeduren häufig das sogenannte „Tetrasoma“ erwähnt. Dies ist eine Legierung aus 4 „Somata“ (d.h. aus 4 nichtflüchtigen „Körpern“). Hierfür wurden 4 Metalle gehalten: In der Regel waren dies Kupfer, Eisen, Zinn und Blei oder Antimon anstelle von Blei. Die Legierung sollte die Eigenschaften einer „materia prima“ besitzen - sie sollte zumindest oberflächlich schwarz sein und somit „eigenschaftslos“. Des weiteren sollte die Materie besonders geeignet sein für die Übertragung neuer Qualitäten, besonders der Qualität Farbe.

Durch Zusammenschmelzen der Komponenten in ungefähr gleichen Volumenteilen erhält man allerdings ein Produkt mit anderen Eigenschaften. Die Legierung besitzt schönen Silberglanz, einen hohen Schmelz- bzw. Erweichungspunkt, und sie verhält sich speziell gegen Calciumpolysulfidlösung, das „Schwefelwasser“ der Alchemisten, recht unempfindlich. Das Experiment zeigt hier, daß die in der Fachliteratur (z.B. bei A.J. Hopkins <sup>6</sup>) geäußerten Ansichten über die Eigenschaften des Tetrasomas korrigiert werden müssen.

Nimmt man nun gleiche Teile dieser Legierung und setzt sie den entgegengesetzten „Elementen“ Feuer und Wasser aus - dies geschieht zum einen durch Glühen an der Luft und zum andern durch längeres Kochen des fein pulverisierten Produkts mit „Schwefelwasser“ - so erhält man je ein Gemisch aus den Oxiden und eines aus den Sulfiden der enthaltenen Metalle. Durch Röstreaktion erhält man einen rötlichen Kupferregulus, der noch etwas Blei und Antimon enthält.

Wesentlich eindrucksvoller ist dieses Experiment, wenn man als Ausgangsprodukt nicht das Tetrasoma, sondern eine Legierung aus gleichen Teilen an Gold, Silber, Kupfer, Blei, Zinn und Eisen verwendet. Sie enthält außer dem Quecksilber alle in der Antike bekannten und den Planetengöttern zugeordneten Metalle. Die Legierung, die als „Hexasoma“ bezeichnet werden kann, ist silbergrau und kann, ebenso

wie das Tetrasoma, in fein zerteilter Form in ein Oxid- und ein Sulfidgemisch überführt werden. Bringt man diese beiden Gemische unter einer Boraxschmelze zur Reaktion, so erhält man einen gelbgoldenen Regulus der Zusammensetzung:



### Konsequenzen und Ausblick

Die Röstreaktionen mit unterschiedlichen Metallen in der Oxid- und der Sulfidkomponente waren in der Fachliteratur bislang wenig beachtet worden<sup>7</sup>. Durch eine Reihe von Experimenten konnte gezeigt werden, daß es möglich ist, mit Hilfe dieser Reaktion auf sehr einfache Weise eine Vielzahl von Legierungen, zum Teil von goldfarbigen oder von goldhaltigen, herzustellen. Die eingesetzten Oxide und Sulfide kommen größtenteils in der Natur vor oder sind leicht zu synthetisieren. Sie waren den Metallurgen der Antike mit hoher Wahrscheinlichkeit bekannt.

Man kann daher die Arbeitshypothese aufstellen, daß Reaktionen dieser Art, die Farben der pulverförmigen Ausgangsprodukte und die der entstehenden metallischen Reguli von Metallurgen schon in sehr früher Zeit beobachtet worden sind. Dies kann zum Entstehen der Vorstellung geführt haben, daß es möglich sei, mit geeigneten Mitteln Metalle beliebig zu verändern. Die Theorie, religiöses und philosophisches Gedankengut, das diese auffälligen Vorgänge und Veränderungen erklären sollte, wurde in den ersten nachchristlichen Jahrhunderten mit diesen der Praxis entstammenden Erkenntnissen verschmolzen und führte zu dem uns heute bekannten Komplex der Alchemie.

Bei allen Reaktionen kann man einwenden, daß das Gold oder anderes Edelmetall zu Anfang zur Reaktionsmischung zugesetzt wurde, so daß es kein allzugroßes Wunder ist, wenn man es nach Abschluß des Prozesses im Regulus wiederfindet. Hierüber sollte man jedoch nicht allzu enttäuscht sein. Auch die überzeugtesten Alchemisten haben nie wirklich Gold hergestellt, sondern immer nur das isoliert, was entweder von vornherein in ihren Ausgangsstoffen enthalten, oder im Verlauf des alchemistischen Prozesses zugesetzt worden war. Vladimir Karpenko weist in einer neueren Abhandlung<sup>8</sup> mehrfach auf die Quellen hin, aus denen das Gold alchemistischer Verfahren stammen kann.

Die Implikationen der hier beschriebenen Röstreaktionsprozesse auf alchemistische Verfahren oder auf ausgearbeitete Studien und Interpretationen dazu, wie sie z.B. A.J. Hopkins<sup>9</sup> verfaßt hat, sollen Inhalt einer nachfolgenden Untersuchung sein.

<sup>1</sup> Jost Weyer, „Neuere Interpretationsmöglichkeiten der Alchemie“, *Chemie in unserer Zeit* 7 (1973), 177 - 181.

<sup>2</sup> Heather Lechtman, „Traditions and Styles in Central Andean Metalworking“. In: *The Beginnings of the Use of Metals and Alloys*, hrsg. von Robert Maddin (Cambridge, Mass. 1988), 344 - 378.

<sup>3</sup> R.J. Forbes, *Metallurgy in Antiquity* (Leiden 1950) S. 26 - 31.

<sup>4</sup> Bentley H. McLeod, „The Metallurgy of King Solomon's Copper Smelters“, *Palestine Exploration Quarterly* (1962), 68 - 71.

Andreas Hauptmann, Gerd Weisgerber, Hans Gert Bachmann, „Early Copper Metallurgy in Oman“. In: *The Beginnings of the Use of Metals and Alloys* (S.Lit. 2), 34 - 51.

Andreas Hauptmann, „The Earliest Periods of Copper Metallurgy in Feinan, Jordan“. In: *Archäometallurgie der alten Welt, Der Anschnitt*, Beiheft 7 (Bochum 1989), 119 - 135.

<sup>5</sup> Rudolf Schenck, „Die Verschiebung chemischer Gleichgewichte als Forschungshilfsmittel, dargestellt an der Kupferöstreaktion“, *Zeitschr. Elektrochem.* 46 (1940), 298 - 308.

<sup>6</sup> Arthur John Hopkins, „A Modern Theory of Alchemy“, *Isis* 7, No. 21 (1925), 58 - 76.

<sup>7</sup> Lit. hierzu in: Robert Opferkuch; „Metallurgische Aspekte der Alchemie“. In: *Chemie im Spiegel der Jahrhunderte*; hrsg. von W. Sawodny et al. (Ulm 1992), 57 - 66.

<sup>8</sup> Vladimir Karpenko, „The Chemistry and Metallurgy of Transmutation“, *Ambix* 39 (2) (1992), 47 - 62.

<sup>9</sup> Arthur John Hopkins, „A Study of the Kerotakis Process as Given by Zosimus and Later Alchemical Writers“, *Isis* 29 (1938), 326 - 354.