

Löten – eine „Ur“-alte Geschichte

Von Dipl.-Ing. Hans-Joachim Peter, Berlin

Die alte biblische Stadt *Ur* in *Chaldäa* am Ufer des *Euphrat* im heutigen *Irak* als die Stadt *Abrahams* bekannt, hat auch auf eine andere Weise Geschichte gemacht. Als unter Leitung von *Leonard Woolley* 1927/28 die berühmten Königsgräber ausgegraben worden sind [1], ahnte noch niemand die enorme Bedeutung des Fundes. Erst später wurde klar, dass man nicht nur einzigartige Kunst- und Kulturschätze fand, sondern dass dem eine lange Vorgeschichte vorausgegangen sein muss. Um 3400 v. Chr. ist die Hartlötung Allgemeingut in *Ur* [2]. Die *Sumerer*, von denen hier die Rede ist und die um die Zeit von 3800 v. Chr. in dieses Gebiet einwanderten, sagten selbst, dass sie bereits ihre Kultur mitbrachten, als sie in das Land zwischen *Euphrat* und *Tigris* kamen. So beherrschten sie zum Beispiel die Goldschmiedekunst in Perfektion, wie der aus Gold und Lapislazuli bestehende, in *Abb. 1* gezeigte Dolch mit Scheide beweist. Bemerkenswert hierbei die Granulationsarbeit mit kleinen verdrillten Drähten.

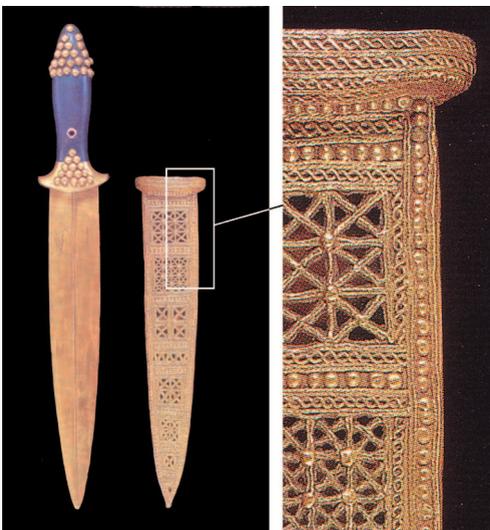


Abb. 1: Goldener Dolch mit Detail, mit Scheide aus den Königsgräbern von *Ur*, um 2600 v. Chr. (Irak Museum, Bagdad)



Abb. 2: Kopfschmuck aus dem Grab der Königin *Puabi* in *Ur*, um 2600 v. Chr. (Museum der Universität Philadelphia)

Weitere Lötarbeiten aus *Ur* sind am Haargoldschmuck verschiedener Damen aus dem Grab der Königin *Puabi* ausgegraben worden, wie zum Beispiel *Abb. 2* zeigt. Hier sind die Plättchen am oberen Teil mit anderen Teilen verlötet [3]. Andere interessante Metallfunde aus diesen Gräbern sind Schalen und Gefäße verschiedener Form, zum Beispiel der in *Abb. 3* gezeigte Elektrum-Pokal (75 % Au, Rest Ag [4]), bei dem die Lötnaht, die den unteren mit dem doppelwandigen Oberteil verbindet, an der unteren Wulst deutlich zu erkennen ist.

Reaktionslöten – alte Kunst der Verbindungstechnik

Lange Zeit war nicht klar, wie die alten Goldschmiede die hervorragenden Goldschmiedearbei-



Abb. 3: Elektrum-Pokal aus *Ur*, um 2600 v. Chr. (Britisches Museum)

P
L
U
S

ten, die überall in den weltberühmten Museen zu bewundern sind, gelötet haben könnten. Abenteuerliche Vermutungen und Interpretationen in großer Zahl wurden hierzu verfasst, bis 1934 der Engländer *Henry Ambrose Pudsay Littledale* [5] und vor ihm 1890 der Frankfurter Pfarrer *Johannes Schulz* [6] das Reaktionslöten wieder entdeckten, das auf dem Wirkprinzip beruht, dass bestimmte Kupfersalze in der CO-Atmosphäre des Holzkohlefeuers reduziert werden und deren Kupferkomponente bei der chemischen Reaktion im Kontakt mit Gold oder Silber zu einer lötfähigen Legierung, also zu einem Eutektikum mit niedrigerem Schmelzpunkt als Gold, Silber oder Kupfer, führt. Diese Kenntnis war im Altertum weit verbreitet und man muss annehmen, dass bereits weit vor *Ur* nach dieser Methode gelötet worden ist.

Natürlich muss man die Löttechnik im Zusammenhang mit der Metallurgie sehen, die bereits erhebliche Kenntnisse voraussetzte. Besonders wichtig ist dabei grundsätzlich die Möglichkeit, Temperaturen zu erzeugen, die über 1000 °C liegen. Von der Herstellung von Töpferware kannte man die Beherrschung höherer Temperaturen im Holzkohlefeuer (mindestens 600 °C) seit Anfang des Neolithikums vor etwa 11 000 Jahren. Die Schmelztemperatur des Kupfers mit knapp 1100 °C konnte etwa 8000 v. Chr. nachgewiesen werden. Besonders in den Bauern- und Hirtensiedlungen in den Niederungen der Bergländer *Ostanatoliens* und *Ostarmeniens* fanden sich derartige Erzeugnisse. Von diesen Zentren aus fand eine Verbreitung weiter bis nach *Afghanistan* und in die südlich angrenzenden Flusstäler des so genannten *Fruchtbaren Halbmondes* statt [7]. Erste kupferne Gebrauchsgegenstände (teilweise aus gediegenem Kupfer) aus dieser Zeit belegen das [8]. Schlackenanalysen ergaben jedoch, dass man Kupfer und Blei auch schon aus Erzen ausschmolz, die in den Bergländern zur Verfügung standen. Es bedeutete einen wesentlichen Fortschritt, Kupfer nicht nur gediegen in der Art der Steinbearbeitung durch Hämmern in kaltem Zustand zu formen, sondern das in der Natur vorgefundene und durch einen einfachen Röstprozess aufbereitete Erz durch Holzkohlefeuer in einem einfachen Ausschmelzverfahren in ein neuartiges Material zu verwandeln [9].

Gold, Silber und Kupfer – die ersten Metalle

Kupfer kommt vergleichsweise zu Gold etwa 1000mal häufiger gediegen vor. In der Natur wird es öfters als Platten oder Einlagerungen gefunden. Das größte bisher entdeckte Stück wog 420 Tonnen [7]. In welchem Ausmaß im Altertum der Kupferbergbau betrieben worden war, zeigt *Abb. 4*. „Ein ganzer Berg wurde in ein Tal verwandelt, das von der Schlacke der alten Kupferöfen bedeckt ist; nichts wurde von dem harten Fels übrig gelassen als die Öffnung, durch die die damaligen Bergleute in den ehemaligen Berg vorgedrungen waren. 46 frühgeschichtliche Kupferminen hatten die Erzsucher im Norden des *Oman* aufgespürt, und allein diese eine hatte geschätzte 100 000 Tonnen Schlacke hinterlassen“ [10]. Bei anderen Kupferlagerstätten sah es ähnlich aus. Der Bedarf an Kupfererzen war sehr groß.

Nach Kupfer ist Gold das zweite Metall, das der Mensch zu Gegenständen verarbeitete. Die größeren Körner wurden gesammelt und als „dehnbare Steine“ kalt zu Perlen und anderem Schmuck geformt [11]. Auf die Goldbeschaffung legte man im Altertum besonderes Augenmerk. Bekannt für Goldvorkommen ist unter anderem *Nubien*, was übersetzt Goldland heißt und der *Sambesi-Fluss*, der in der Übersetzung Goldfluss bedeutet. *Ägypten* war berühmt dafür, riesige Mengen an Gold zu besitzen. So wog allein der berühmte innere Goldsarg *Tutanchamuns*, der zu den weniger bedeutenden Königen zählte, 110,4 kg [12].

Der bis heute älteste Goldschatz allerdings wurde 1972 bei *Varna*, Bulgarien, entdeckt [13]. Er be-



Abb. 4: Legendäre ehemalige Kupfermine in Oman

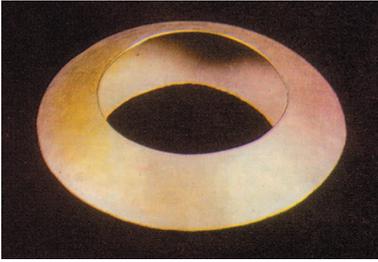


Abb. 5: Goldener Armreif aus Varna, 4600 bis 4200 v. Chr. (Kunstgeschichtliches Museum Varna)

steht aus etwa 2000 Goldgegenständen mit einem Gesamtgewicht von etwa 6 kg Gold von 23,5 Karat (wobei 24 Karat 100 % Au entsprechen). Dieser älteste Goldfund aus dem Chalkolithikum wird nach neuesten Untersuchungen um die Zeit von 4600 bis 4200 v. Chr. datiert [14]. *Abb. 5* zeigt einen Armreif aus diesem Fund. Ähnliche Armreifen wurden auch in späteren ägyptischen Gräbern gefunden [15], *Abb. 6*.

Man kann sich die Herstellung solch eines Armreifens so vorstellen, dass ein Goldblechstreifen zu einem Kreis gebogen und die Enden miteinander verlötet worden sind. Der so entstandene Zylinder wurde dann im mittleren Teil aufgetrieben. Ähnlich könnte auch der *Varnaer Armreif* hergestellt worden sein. Ein Beweis dafür fehlt aber bislang.

Die ersten metallenen Gegenstände betrafen also zunächst Kupfer, Gold und Silber, wobei vor allem Schmuck, Gegenstände des täglichen Bedarfs sowie



Abb. 6: Goldener Armreif der Königin Ahhotep, Theben-West, 1550 v. Chr. (Ägyptisches Museum Kairo)

Kultgegenstände und Werkzeuge genannt werden müssen.

Die Kenntnis der Schmelzprozesse der Metalle mit deren unterschiedlichen Temperaturen führte wahrscheinlich bereits im 5. bis 4. Jahrtausend v. Chr. zu der ersten Anwendung des Lötens. Dieses Wissen darum musste nicht lokal beschränkt bleiben; denn es ist bekannt, dass es bereits in jener frühen Zeit einen florierenden weitreichenden Handel und Austausch von Informationen jeglicher Art gab, der nicht nur auf dem nahen und fernen Osten beschränkt blieb, sondern bis in den Norden und Westen Europas reichte. In späterer Zeit wurden in Altägyptischen Gräbern verschiedene Darstellungen auf Wandmalereien entdeckt, die Goldarbeiter mit Blasrohr vor einem Holzkohlefeuer zeigen, zum Beispiel bei [2] und [16].

Ausgefällte Verbindungstechnik schon vor Tausenden von Jahren

Nun haben sich in der Vergangenheit verschiedene Deutungen der Art und Weise, wie die frühgeschichtlichen Handwerkstechniken ausgeführt worden sind, etabliert. Wenn man von der Interpretation des Lötens einmal absieht, dann wurde unter anderem auch vom Weichklopfen von Blechen oder ihr Verschweißen durch die beim Hämmern oder polierendem Reiben entstehende Erwärmung gesprochen [17]. Eine weitere Erläuterung zur Beschreibung der Granulierteknik beschreibt *Puschner* [18] so: „Der Grundwerkstoff wird auf eine Temperatur gebracht, die etwa in der Mitte des Schmelzintervalls des Granulats liegt, also auf eine Temperatur oberhalb des Erweichungspunktes, aber unterhalb des Verflüssigungspunktes des Granulats. Ein auf einem solchermaßen erwärmten Grundwerkstoff aufgebrachtés Kügelchen wird an der Berührungsstelle angeschmolzen, löst dabei den Grundwerkstoff etwas an, legiert sich dadurch ein wenig an dieser Stelle auf, wodurch der Schmelzpunkt zu einer höheren Temperatur verschoben wird. Dadurch erstarrt und verfestigt sich die Verbindungsstelle, und eine metallische Schweißverbindung zwischen Granulat und Grundwerkstoff ist hergestellt“.

Bei der Vorstellung dieser Beschreibung kommen jedoch Zweifel auf. Man stelle sich vor, die Granuli

**P
L
U
S**

mit Durchmessern zum Teil weit unter 1 mm werden so exakt erwärmt, dass sie sich an der Oberfläche mit dem Goldblech, auf dem sie aufgelötet werden sollen, leicht legieren, und das alles im Holzkohlenfeuer. Wenn man sich die Schmelzdiagramme von Au, Ag und Cu anschaut, dann fällt auf, dass die Schmelztemperaturen zwischen Silber (961 °C) und Gold (1063 °C) nur innerhalb dieses schmalen Temperaturbereichs liegen. Ein vergleichbares niedriger schmelzendes Eutektikum wie beim System Ag/Cu mit 772 °C und Au/Cu mit 889 °C existiert wegen der vollständigen Löslichkeit des Silbers in Gold nicht. Die von *Puschner* vorgetragene These ist auch deshalb abzulehnen, weil es die naheliegende Lösung ausschließt, nämlich die Methode des Reaktionslötens, die durch den allgemeinen Gebrauch der so genannten *Chrysocolla* (Goldleim, siehe weiter unten) für alle möglichen Anwendungen im Altertum weit verbreitet war.

Diese Methode wird allgemein als Kontakt-Reaktionslöten bezeichnet, in der deutschsprachigen Literatur auch als „eutektisches“ Löten oder als „Diffusionslöten“ bekannt [19]. An der Berührungsstelle entsteht eine andere chemische Zusammensetzung als die beider ursprünglich beteiligten Werkstoffe, und zwar mit deutlich niedrigerem Schmelzpunkt, der im Falle von 65,5 % Au mit Rest Cu bei 889 °C liegt. Diese eutektische Legierung bildet folglich das „Reaktionslot“. Das Lot kann also auf diese Weise innen entstehen. Es kann aber auch von außen als bereits vorhandene Legierung zugeführt werden, wobei diese Methode im Altertum sicherlich erst wesentlich später hinzukam, aber auch die Ausnahme blieb.

Diese Variante beschrieb *Roberts* [4] bei der Untersuchung eines ägyptischen goldenen Knopfs mit 3,5 mm Durchmesser (14. Jh. v. Chr.), *Abb. 7*. In diesem halbrundförmigen Knopf ist eine 2 mm lange Öse eingelötet. Das Goldblech, aus dem beide Teile bestehen ist 0,2 mm dick. Die durch eine Rasterelektronenmikroskop (REM)-Untersuchung festgestellten Zusammensetzungen ergaben beim Knopf ca. 85,4 % Au + 13,4 % Ag + 1,3 % Cu (Schmelzintervall 1020 bis 1050 °C) und bei der Öse ca. 71,4 % Au + 26,1 % Ag + 2,5 % Cu (980 bis 1030 °C). Bei der Lötnaht war das Verhältnis ca. 66,7 % Au + 28,0 % Ag + 5,3 % Cu (920 bis 1010 °C). *Roberts* nimmt an, dass der Goldarbeiter durch eine ausgefeilte Temperaturkontrolle mit seinem Blasrohr im Holzkohlenfeuer dieses winzige Stück durch Zugabe eines speziellen Lots gelötet hat, wie die anderen in den Museen der Welt verstreuten Goldobjekte auch. Wenn man sich den Querschliff dieses gelöteten Knopfs ansieht, *Abb. 8*, dann fällt auf, dass die Lotlegierung sehr porös erscheint.

Es fällt schwer, anzunehmen, dass der Goldarbeiter dieses analysierte Lot speziell für diesen Zweck zusammengesmolzen hat. Möglich ist es nach *Jüngst* [20], dass zum so genannten „Goldleim“ noch feine Elektrumspäne (so genannte Feilicht) hinzu gegeben worden sind, das könnte die Porosität der Lötnaht erklären helfen. Man kann sich aber auch vorstellen, dass die Lötnaht aus nur teilweise geschmolzenem Goldleim besteht. Ob mit oder ohne Feilicht, die wahrscheinliche Lötmethode ist auch hier wieder mit dem Begriff des Reaktionslötens mittels „Goldleim“ verbunden.



Abb. 7: Goldener Knopf (Durchmesser 3,5 mm), Theben, 1400 v. Chr. [4]

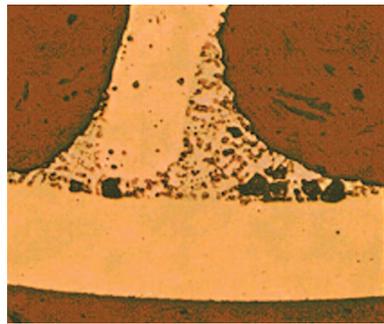


Abb. 8: Querschliff der Lötstelle des Knopfs aus Abb. 7 [4]

Goldleim – Zusatzwerkstoff für das Reaktionslöten in der Antike

Die Anfänge der Metalltechnik haben also mit der Gewinnung und Verarbeitung von nativem Kupfer bzw. Kupfererzen wie Malachit, Kupferkarbonat oder andere wie Kupferhydrosilikat zu tun. Aus diesen Erzen wurde aber nicht nur Kupfer erschmolzen. In pulverisierter Form wurden diese Mineralien mit bestimmten Ölen oder Fetten versetzt als Arzneimittel, Kosmetikum und Pigment verwendet. Malachitpulver war bereits im ältesten Ägypten als Augenschminke sehr beliebt, als Pigment zum Beispiel in Wandmalereien alter dynastischer ägyptischer Gräber ließ es sich nachweisen [20].

Da mit diesen Kupfersalzmixturen allumfassend experimentiert worden war, ist es, wie schon erwähnt, nur eine Frage der Zeit, herauszufinden, dass es in Kontakt mit Gold in der Kohlenoxidatmosphäre des Holzkohlenfeuers zu einer chemischen Reaktion, zur Bildung einer lötfähigen Legierung kommt. Der mit dieser Mixtur geprägte Begriff Goldleim (*Crysocolle*, griechisch *crysos* Gold und *colla* Leim) wurde geboren. Die technikgeschichtliche Bedeutung dieser Reaktionslote wurde und wird zumeist unterschätzt, noch im Mittelalter gehörten sie zu den Routineloten des Goldschmieds und sogar noch in neuerer Zeit sollen eingeborene Goldschmiede in den *Nilgiri*-Bergen Südindiens damit gelötet haben. Der Malachit ist in oberflächennahen Schichten von Kupferlagerstätten sehr verbreitet. Er besteht aus 71,9 % CuO (= 57,4 % Cu), 19,9 % CO₂ und 8,2 % H₂O. Er bildet sich häufig in der Verwitterungszone sulfidischer Kupferlagerstätten, vor allem in Kalkgesteinen, in denen die durchsickernden alkalisch reagierenden Oberflächenwässer sich mit Kupfersulfat umsetzen, oder wenn die Kupfererze von vornherein Karbonate enthalten [21]. Berühmt sind zum Beispiel die Malachitsäulen der *Isaak-Kathedrale* in *St. Petersburg*, die Ausstattung des Malachitsaals des *Winterpalastes* und die Tische der *Eremitage*. So wog ein in einer russischen Lagerstätte gefundener Malachitbrocken ungefähr 50 Tonnen [22].

Neben Malachit wurden noch andere grün bis grünblau gefärbte Kupferminerale im Altertum abgebaut, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll. Besonders bei alten mesopotamischen

Arbeiten trifft das zu. Der sicherlich hierzu verwendete Malachit ist zum Beispiel ab 4300 v. Chr. in den Sinaiminen abgebaut worden und schon im berühmten *Gilgameschepos* (2350 v. Chr.) erwähnt. Als Ersatzstoff kommt Kupferoxid in Frage, das bereits in den *Tell-Umar*-Texten (17. Jh. v. Chr.) erwähnt und dessen Herstellung durch Glühen von Kupfer in Keilschrifttexten aus der Zeit des *Asurbanipals* (650 v. Chr.) beschrieben wird [2].

Anwendung des Reaktionslötens für die Granulation

Beim Reaktionslötverfahren wird also zermahlene Kupferkarbonat in Form von pulverisiertem Malachit, mit verschiedenen Zutaten wie Alaun, Soda/Natron-Bindemittel-Gemischen (Klebwirkung) usw. gemixt, wobei die zu lötenden Teile damit bestrichen werden. Die Arbeit wird dann im Holzkohlefeuer erhitzt. Bei 100 °C verwandelt sich das Karbonat zu Kupferoxid, bei 600 °C ist das Bindemittel völlig verkohlt, und bei 850 °C vereinigt sich der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff des Kupferoxids zu Kohlendioxid, wobei Spuren von Kupfer zurückbleiben. Bei 889 °C bildet sich der eutektische Zustand aus, das heißt eine schmelzflüssige Phase, die ein Löten ermöglicht. Auf diese Weise wurden unter anderem die berühmten Granulationsarbeiten (Goldkörnchen an Goldblech) gelötet, zum Beispiel einer der Dolche *Tutanchamuns*, *Abb. 9* [23].



Abb. 9: Goldener Dolch mit granuliertem Griff und farbigen Zelleneinlagen, Ägypten, um 1350 v. Chr.



Abb. 10: Teil einer goldenen Halskette, etruskisch, Ende 6. Jh. v. Chr. (Altes Museum Berlin)

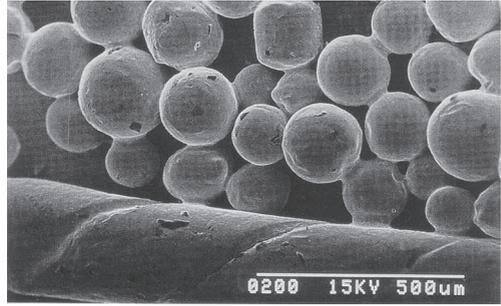


Abb. 11: Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer Perle aus Abb. 9 (Bildbreite 1,2 mm)

**P
L
U
S**

Die Granulation ist also ein Zierverfahren, bei dem Ornamente durch aufgelötete Goldkügelchen gebildet werden. Das Auflöten der Goldkügelchen auf die Unterlage kann nach jetzigen Erkenntnissen nur nach dem zuvor beschriebenen Reaktionslöten mit dem so genannten Goldleim erfolgt sein. Zu absoluter Meisterschaft in der Granulation haben es die Etrusker gebracht. *Abb. 10* zeigt in einem Ausschnitt ein Beispiel der Granulationstechnik. Das Dekor in Form verschiedener Muster auf den Perlen zeigt Dreiecke, Palmetten, Blüten, Lanzettblätter usw. Dabei sind die Hohlperlen von 13,4 mm Durchmesser aus zwei plangeschliffenen Hälften zusammengesetzt und die Naht überarbeitet.

Das genaue Studium unter dem Rasterelektronenmikroskop führte zu neuen Erkenntnissen über die unerreichte Kunst der etruskischen Goldgranulation, *Abb. 11*. Die winzigen Kügelchen entstanden aus gewickeltem Golddraht, der in Stücke von 0,16 bis 0,25 mm Länge und 0,18 bis 0,24 mm Durchmesser geschnitten worden war. Für die Dekoration

einer Perle von 12 mm Durchmesser benötigte der Goldschmied 5000 bis 6000 Granuli [24]. In einer weiteren, ähnlichen Untersuchung [25] wurde eine Perle mit einem Durchmesser von 0,5 bis 0,7 mm einer Granulationsarbeit aus Susa, Iran, im zweiten Jahrtausend v. Chr. analysiert, *Abb. 12*. Dabei ist die charakteristische Zunahme der Kupferkonzentration 60 µm von der Lötstelle aus deutlich zu erkennen.

In der Schmuckherstellung waren besonders auch die ägyptischen Goldschmiede Meister ihres Fachs. So ist die 11 kg schwere berühmte Goldmaske *Tutanchamuns* eine Meisterleistung, obwohl einige Lötnahte am Halsansatz nicht besonders gut gelungen sind, *Abb. 13*. Es sind deutliche Fehlstellen an beiden Halsansätzen zu erkennen. Das schmälert aber nicht die großartigen Leistungen der Goldschmiede des Altertums, die sich allerdings nicht nur auf die sumerischen oder ägyptischen Arbeiten beschränken, sondern den gesamten Mittelmeerraum bis in die entlegensten Weiten Europas oder

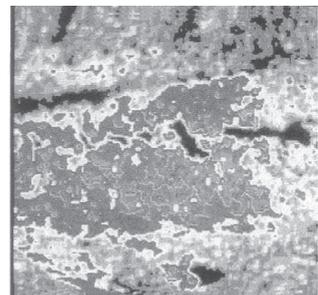
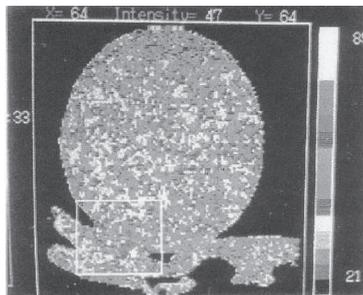
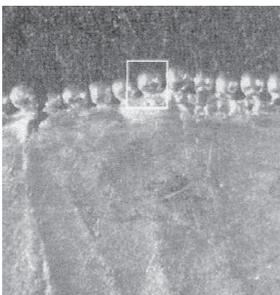


Abb. 12: Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer Perle einer Granulation aus Susa, Iran, 2. Jh. v. Chr. [25]



Abb. 13: Goldmaske des Tutanchamun, Ägypten, 1330 v. Chr. (Ägyptisches Museum Kairo)

Asiens umfassen. Allen gemeinsam ist mit großer Wahrscheinlichkeit der Gebrauch der Reaktionslöttechnik nach dem *Chrysokolla*-Prinzip.

Der allumfassend schlüssige Beweis, wenn man von den Untersuchungsergebnissen in [25] absieht, ist nicht so leicht zu führen, da bei derart wertvollen Objekten zerstörungsfreie Untersuchungen kaum zu stichhaltigen Ergebnissen führen können. Und wenn wirklich mal ein weniger wertvolles Objekt für eine Untersuchung zerstört wird, ist die naturgemäß geringe Legierungszone, die sich beim Reaktionslöten bildet, sicherlich äußerst schwer nachzuweisen.

Die uralte Geschichte des Lötens, die teilweise bis in die Steinzeit zurückzureichen scheint, konnte nur stichpunktartig gestreift werden; mit nur wenigen Beispielen wurde versucht zu belegen, dass das Reaktionslöten nach dem *Chrysokolla*-Prinzip ein Lötverfahren darstellt, das ohne große Kenntnis von Schmelzpunkten verschiedener AuAgCu-Legierungen auskommt.

Literatur

- [1] C. L. Woolley: "The Royal Cemetery", Ur Excavations, Bd. 2, New York 1934
 [2] J. Wolters: „Zur Geschichte der Löttechnik“, Hrsgb.: Degussa, Geschäftsbereich Verbindungstechnik Metall, Hanau 1975

- [3] J. Colbus: „Verbindungen durch Löten“, Schweißtechnik 16, Nov. 1962, S. 141/45
 [4] P. M. Roberts: "Gold Brazing in Antiquity", Gold Bulletin 6 (1973) 4, S. 112/19
 [5] H. A. P. Littledale: "Improvements in hard soldering mixtures and hard soldering processes", Britisches Patent 415 181 (23. August 1934)
 [6] J. Schulz: „Der Byzantinische Zellschmelz“, Frankfurt am Main 1890, S. 38/39
 [7] K-D. Lietzmann, et al.: „Metallformung – Geschichte, Kunst, Technik“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1984
 [8] J. Riederer: „10 000 Jahre Metallhandwerk – seine Erschließung durch chemische Analyse“, Vortrag Kunstgewerbemuseum, Berlin 2003
 [9] H. Grünert: „Geschichte der Urgesellschaft“, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1982
 [10] T. Heyerdahl: „Tigris – Auf der Suche nach unserem Ursprung“, Verlag Volk und Welt, Berlin 1982
 [11] H. Quiring: „Geschichte des Goldes. Die goldenen Zeitalter in ihrer kulturellen und wirtschaftlichen Bedeutung“, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1948
 [12] Offizieller Katalog: „Die Hauptwerke im Ägyptischen Museum Kairo“, Verlag Philipp von Zabern, Mainz 1986
 [13] M. F. Guerra, T. Calligaro: "Gold cultural heritage objects: a review of studies of provenance and manufacturing technologies", Meas. Sci. Technol. 14 (2003), S. 1527/37
 [14] Kunsthistorisches Museum Varna
 [15] C. Aldred: „Die Juwelen der Pharaonen – Ägyptischer Schmuck der dynastischen Zeit“, Schuler Verlagsgesellschaft Herrsching, 1980
 [16] M. Raven: „Die Karriere des Herrn Meryneith“, Spektrum der Wissenschaft Spezial 2 (2003), S. 30/33
 [17] R. Drenkhahn: „Die Handwerker und ihre Tätigkeiten im alten Ägypten“, Ägyptologische Abhandlungen, Bd. 31, Harrassowitz-Verlag, Wiesbaden 1976
 [18] M. Puschner: „5 Jahrtausende Schweißen“, Deutscher Verlag für Schweißtechnik DVS-Verlag, Düsseldorf 1986
 [19] K. Wittke: „Löten“, Wissenschaftliche Schriftenreihe der TH Karl-Marx-Stadt 1980
 [20] H. Jüngst: „Zu den Anfängen des Hartlötens“, Archiv der Geschichte der Naturwissenschaften 16 (1986), S. 771
 [21] H. Jüngst: „Wesen und Wandlungen des Chrysokolla-Begriffs“, Inaugural-Diss. J. W. Goethe-Universität Frankfurt/Main, 1981
 [22] A. G. Betehtin: „Lehrbuch der speziellen Mineralogie“, 4. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1968
 [23] H. Stirlin: „Das Gold der Pharaonen“, Finest S.A./Edition Pierre Terrail, Paris 1993
 [24] „Antiker Goldschmuck“, Antikensammlung Staatliche Museen zu Berlin, Altes Museum, S. 38. Verlag Philipp von Zabern, Mainz 2001
 [25] A. R. Duval, et al.: "Joining techniques in ancient gold jewellery", Jewellery Stud. 3, 5-14, 1989

Kontaktadresse

Hans-Joachim Peter, eldec Schwenk Induction GmbH, Parlerstr. 46, 12623 Berlin, Tel. 030/5662240, Fax 030/5665547, Peter@eldec.de, www.eldec.de