

Zeitschrift:	Jahrbuch des Bernischen Historischen Museums
Herausgeber:	Bernisches Historisches Museum
Band:	45-46 (1965-1966)
Artikel:	Materialuntersuchungen zu Handwerkstechniken in Tarm/Hadramaut mit einer allgemeinen Darstellung der Lötkunst
Autor:	Bauer, Wilhem P.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1043424

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

MATERIALUNTERSUCHUNGEN
ZU HANDWERKSTECHNIKEN IN TARĪM/HADRAMAUT
MIT EINER ALLGEMEINEN DARSTELLUNG
DER LÖTKUNST

WILHELM P. BAUER

Die vorliegenden Analysen wurden an Probemustern durchgeführt, die Prof. Dr. Walter Dostal, Bern, von seiner Forschungsreise nach Südarabien im Jahre 1966 mitbrachte. Es handelt sich lieblich in erster Linie um Materialien, die von Silber- und Schwarzschnieden in der Stadt Tarīm zur Ausübung ihres Handwerkes gebraucht werden, sodann um verschiedene Tone und ein Stück roter Erdfarbe von einem Töpfer, einen rötlichen Stein sowie einen Behälter mit Wasser, ebenfalls aus Tarīm.

A. DIE LÖTTECHNIK IN TARĪM

Die aus den Werkstätten der Schmiede gesammelten Proben waren, mit Ausnahme der Schlacke, Materialien aus dem Löteinventar. Sie waren folgendermaßen deklariert:

Lötmasse für Silber (Probe 1).

Batteriehülse; Material wird der Lötmasse für Silber beigegeben (Probe 2).

Verschiedene Proben von Bindemitteln, die beim Löten verwendet werden (Probe 3 a, 3 b, 3 c).

Lötmasse (Probe 4); war im Behälter der Probe 3 c enthalten.

Stoffbeutel; Inhalt: Pflanzenbestandteile und Salz aus Shabwa (Probe 5). Wird in Wasser gelöst und aufgekocht. Sobald die Beize kocht, wird das angeschwärzte Silber beigelegt und mitgekocht.

Sand zum Reinigen des gebeizten Silbers (Probe 6). Wird ins Wasser getan.

Schlackenproben von einem Schwarzschnied (Probe 7).

Prinzipielles über den Lötprozeß

Bevor auf die Untersuchungsresultate der zitierten Proben eingegangen wird, sind einige grundsätzliche Bemerkungen über das Löten an sich notwendig.

Das Löten zählt zur Gruppe jener Techniken, die Metalle fest und dauerhaft miteinander zu verbinden vermögen. Denselben Effekt erzielt auch das Schweißen,

sieht man von den etwas anders strukturierten Techniken des Nietens, Falzens, Bördelns, Nähens ab.

Das Löten kann am allgemeinsten definiert werden als «das unlösbare Verbinden oder Ergänzen fester metallischer Werkstücke *durch geschmolzene metallische Bindemittel*, die man als Lote bezeichnet» (Definition, 1927 vom Lötausschuß der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde aufgestellt).

Diese Begriffsbestimmung grenzt das Lötverfahren eindeutig gegen das Schweißen ab. Der Unterschied zwischen Löten und Schweißen besteht darin, daß es sich bei letzterem um das Verbinden chemisch gleicher, zumindest jedoch engst verwandter Werkstoffe mit Hilfe von gleichen oder sehr ähnlichen Stoffen handelt, während beim Löten die Verbindung so erfolgt, daß fremdes Metall, das sogenannte Lot, gewissermaßen die Brücke zwischen zwei Werkstoffen bildet. Das Lot schmilzt bei wesentlich niedrigerer Temperatur als die zu verbindenden Werkstücke. Die Grundwerkstoffe werden daher auch beim Löten niemals flüssig (weich), wie dies beim Schweißen der Fall ist. Das Endergebnis einer Lötung ist eine Verbindung auf Grund eines stattgefundenen Legierungsvorganges, der jedoch nur oberflächliche Bereiche erfaßt und in dieser Hinsicht somit einen Grenzflächenvorgang darstellt.

Für eine Lötung benötigt man zweierlei Stoffe: die Lötmassen (Lote, Lötstoffe) und die Flußmittel (Bindemittel).

Lote sind meistens Legierungen, die sich in der Hitze mit den zu lötenden Werkstoffen unterhalb ihrer Schmelztemperaturen verbinden (legieren). Lote, welche unter 450 °C schmelzen, werden als Weichlote bezeichnet, Lote mit Schmelzpunkten über 600 °C als Hartlote. Letztere besitzen im allgemeinen größere mechanische Festigkeit. Die Bezeichnung Schlaglot ist nicht einheitlich. Sie wird im engeren Sinne einer bestimmten Gruppe von Hartloten vorbehalten (Messinglote). Ursprünglich verstand man darunter aber auch Lote, deren Lötstellen sich in irgend einer Weise durch Hämmern, Schlagen usw. verformen lassen.

Zusammensetzung und Anwendungsbereich der Lote: Nicht jedes Metall läßt sich mit jedem Lot löten. Die wichtigsten Kriterien, die über die Durchführbarkeit einer Lötung entscheiden, sind:

- Der Schmelzpunkt des zu lötenden Werkstückes (durch ihn wird der Temperaturbereich festgelegt bis zu dem eine Erhitzung stattfinden darf, ohne daß das Werkstück seine Form verliert).
- Die Fließ- bzw. Arbeitstemperatur des Lotes. Sie hat sich nach der Schmelztemperatur des Werkstoffes zu richten. Das Lot muß bei bedeutend niedrigeren Temperaturen bereits flüssig vorliegen.
- Das Lot muß zum Grundwerkstoff gute Legierungsaffinität besitzen, es muß in diesen eindringen und sich fest anlagern können.

Je nach Art des Werkstoffes und des Lotes unterscheidet man ein Weichlöten und ein Hartlöten der Schwermetalle.

Das Weichlöten geschieht mit sogenannten *Weichloten*, Metalle oder Legierungen, die sehr niedrige Schmelzpunkte aufweisen (vor allem Zinn, Blei, Zink, Arsen, Antimon). Der Anwendungsbereich der Weichlote erstreckt sich über die verschiedenen Eisensorten, verzinktes und verzinktes Eisen, Kupfer und seine Legierungen, Messing, Bronze. Seltener werden Edelmetalle damit gelötet. Weichlote mit extrem niedrigem Schmelzpunkt bezeichnet man auch als Schnelllote¹.

Hartlote enthalten als Hauptbestandteil fast durchweg Kupfer. Finden sich als weitere Bestandteile nur unedle Metalle wie Zink, Nickel, so spricht man von unedlen Hartloten. Davon unterscheidet man die sogenannten Edelmetallote, Hartlote mit Silber-, Gold- und Platinanteilen. Da die Verwendung von Hartloten ausschließlich erst bei höheren Temperaturen erfolgen kann, stellt das Hartlöten größere Ansprüche an die Kunstfertigkeit des Schmiedes. Das im Goldschmiedehandwerk bekannte Sprichwort: «Kinder betet, der Vater lötet» hat darauf Bezug. Dies gilt vor allem für die Erzeugung der erforderlichen höheren Temperaturen (700–1000 °C), deren Beherrschung heute keine Probleme bereitet, früher aber auf bedeutende Schwierigkeiten gestoßen sein muß. Zweifellos bezieht sich die Bezeichnung «Hart»lot auf Schmelztemperatur und Fluß dieser Lote und auf die brenntechnischen Anforderungen einen solchen zu erzielen. Hartlote besitzen eine höhere Härte und Festigkeit als Weichlote. Hart gelötet werden Eisen in seinen verschiedenen Abarten (Gußeisen, Stahl), Kupfer und Kupferlegierungen, Nickel und die Edelmetalle.

Um einen Lötvorgang praktisch durchführen zu können, müssen außer den geeigneten Loten auch *Flußmittel* angewandt werden. Ihre Aufgabe ist die Beseitigung der Oxidschichten, die eine unmittelbare Berührung des Grundwerkstoffes mit dem Lot verhindern würden. Der primitivste Weg dazu stellt eine bloße mechanische Entfernung dieser Schichten durch Kratzen dar, wie dies etwa beim «Reib»-löten geschieht. Eine Methode, die angewandt wird, wenn chemische Mittel nicht zur Verfügung stehen: das geschmolzene Lot wird auf dem Grundwerkstoff verrieben und auf diese Weise die Oxidhäute zerstört. Flüßmittel wirken durch chemische Reaktion und schützen gleichzeitig die blank gemachten Metallteile vor neuer Oxidation. Eine gute Ausbreitfähigkeit des Flüßmittels ist ferner ein wesentlicher Faktor für eine reibunglose, gute Lötung. Der Wirkungsbereich eines Flüßmittels muß unter der Schmelztemperatur des Lotes liegen. Lot und Flüßmittel sollen sich voneinander trennen und keine Lösungen oder Emulsionen miteinander eingehen. Die gebräuchlichsten *Flußmittel zum Weichlöten* sind der Salmiak (Ammonchlorid) und Zinkchlorid (zumeist durch Lösen metallischen Zinks in Salzsäure hergestellt). Auch die ätzende Wirkung der Salzsäure allein genügt beim Löten von Zink und verzinktem Eisen. Als wichtige organische Flüßmittel sind zu nennen

¹ Als Beispiele für solche mögen dienen: Zinnlot 90 (90% Zinn), Schmelzintervall: 183 bis 219 °C — Sn (50%), Pb (25%), Bi (25%); 96–169 °C — Pb (27%), Sn (13%), Cd (10%), Bi (50%); etwa 72 °C.

Kolophonium, Harze, Stearin. Lehm und Ton wirken durch ihre luftabschließende Eigenschaft. Lote und Flußmittel können auch kombiniert in Form von Pasten zur Anwendung gelangen.

Unter den *Flußmitteln zum Hartlöten* nimmt die Borsäure, rein oder in Form ihrer Verbindung, des Borax, die dominierende Stellung ein. Die Wirkungsweise des Borax beruht darauf, daß er die Metalloxide in Salze überführt, löst. Da sowohl Borsäure als B_2O_3 , wie auch der Borax erst bei höheren Temperaturen schmelzen (580°C bzw. 878°C) eignen sie sich nur für Lote mit höheren Schmelztemperaturen. Als weitere Flußmittel der Hartlöterei wären noch zu erwähnen: Quarz (Sand), Soda und Pottasche, Kochsalz, Phosphate. Der ältere Plinius beschreibt «*Chrysocolla*» als Flußmittel, dessen sich Goldarbeiter zu seiner Zeit bedienten². Hergestellt wurde es aus cyprischem «*Grünspan*» (wahrscheinlich ein basisches Kupferkarbonat) unter Zugabe von Knabenumurin und Natron (Soda). Ob und in welchem Maße Borax zu dieser Zeit oder schon in vorgeschichtlichen Epochen Verwendung fand, ist schwierig zu beantworten³.

Der *Arbeitsvorgang des Löten* läuft in folgenden Phasen ab:

- Vorbereitung der Werkstücke, Zusammenpassen der zu lötenden Teile, ihre Säuberung von Schmutz und Fett.
- Erwärmung der Lötstelle auf die entsprechende Arbeitstemperatur und Reinigung durch Flußmittel.
- Im eigentlichen Lötvorgang wird das Lot zugeführt und es vollzieht sich das Fließen und Binden des Lotes bei Löttemperatur.
- Nach vollendeter Lötung werden die Lötstellen abgekühlt und nachbehandelt, Flußmittelreste entfernt, verlötete Stellen nachgefeilt, angeschwärztes Metall gebeizt und poliert.

Lieferanten der Wärmeenergie beim Löten: Beim Weichlöten mit geringem Wärmebedarf genügen erwärmte Lötkolben, die man mit Salmiakstein vorher reinigt. Beim Hartlöten werden die erforderlichen höheren Temperaturen durch Löten im Feuer (älteste Form), durch heiße Flammgase mit Hilfe von Lötrohren oder in Öfen erreicht. Bei der alten Form der Feuerlötzung kamen als Energiespender vor allem Holzkohlenfeuer in Betracht, die man mit Luft künstlich anfachte. Die zu verbindenden Teile wurden mit Lot und Flußmittel bestrichen und ins Feuer gelegt. Der relativ große Zeitaufwand, insbesondere aber die mangelnde Kontrolle dieser Löttechnik wurde später durch die Verwendung des Lötrohres wesentlich verbessert. Lötflammen sind Stichflammen mit gezielter Wirkung und immer mit Luft (Sauerstoff) vermischt und erzeugen im gesamten Raum, den sie einnehmen, Wärme.

² *Plinius*, Historia naturalis, Buch 33, Kapitel 29.

³ *E. von Lippmann*, Geschichte der Naturwissenschaften (1906), S. 12.

Beurteilung der in Tarīm verwendeten Lötmaterialien und Arbeitsweisen

Die Lötmassen

Unter den Probemustern befanden sich zwei Lötmassen (Probe 1 und Probe 4). Ihre chemische Untersuchung ergab folgendes Resultat:

Probe 1 (Lötmasse für Silber): dunkelgelb-weißlich schimmerndes Metallblättchen

Tabelle 1: Silberlote

	Silberlot Tarīm	Silberlot (Vergleichsprobe) W. Stein (Quellenbezeichnung)
Silber (Ag)	55,8%	56%
Zink (Zn)	23,1%	Rest (22%)
Kupfer (Cu)	19,9%	22%
Spuren	Sr, Si; Cd, Fe, Mg, Pb, Bi	zulässige Verunreinigungen: Amerikanische u. Britische Norm: 0,15–0,5% Nebenbestandteile; Al, Pb und Fe sollen fehlen. In Deutschen Nor- men: keine Angaben
Total	98,8%	100%

In ihrer Zusammensetzung entspricht diese von den Silberschmieden in Tarīm verwendete Legierung einem Hartlot vom Edelmetalltypus. Durch seinen hohen Silbergehalt ist es als Silberlot zu klassifizieren. Zu Vergleichszwecken wurde neben unseren Untersuchungsergebnissen ein handelsübliches Silberlot nahezu gleicher Zusammensetzung (W. Stein⁴) angeführt. Dieses Handelslot weist eine Liquidus-temperatur (Temperatur, bei der das Lot gerade vollkommen verflüssigt vorliegt; auch als Arbeitstemperatur bezeichnet) von 695 °C auf. Die Zugfestigkeit liegt in der Größenordnung von etwa 40 kg/mm². Grob angenähert können ähnliche Werte auch für die Verflüssigungstemperatur des Silberlots aus Tarīm angenommen werden.

Silberlote sind Edelmetallote und müssen mindestens 8% Silber enthalten, um als solche bezeichnet werden zu können. Das Silber bewirkt allgemein gesehen eine Verbesserung des Flusses, die Lötgeschwindigkeit ist höher als bei unedlen Loten. Durch die Sauberkeit der Lötstellen tritt eine zusätzliche Zeitersparnis an Nachbehandlungsarbeit ein. Silberlote besitzen außerdem gute Zugfestigkeitswerte, die Lötstellen sind sehr geschmeidig und verformbar (etwa durch Hämmern, Biegen usw.). Gleichzeitig bringt das Silber auch eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit mit sich.

⁴ W. Stein, Silberlote (1933).

Probe 4 (Lötmasse): dünne, gelbbraune Metallfolie

Tabelle 2: Messinglote

	Messinglot Tarım	Vergleichsprobe Genormtes Messinglot L MS 63
Kupfer (Cu)	63,1%	63% Statthafte Abweichung: $\pm 0,1\%$ (DIN 1733)
Zink (Zn)	34,6%	Rest (etwa 37%) Mindestwert: 35%
Spuren	Sr, Si; As, Fe, Mg, Sn, Al, Ca; Pb	Si (0,2–0,4% vorgeschrieben) Zulässige Verunreinigungen ⁵ : Sn, Pb, As, Bi, Fe, Pb
Total	97,7%	100%

In der zweiten Metallegierung liegt ebenfalls ein Hartlot vor, nur ohne Edelmetallgehalt. Die Hauptbestandteile sind Kupfer und Zink. Es fällt unter die Kategorie der Messinglote. Von allen Hartloten werden Messinglote wohl am häufigsten verwendet. Beide metallischen Partner des Lots legieren sich mit den meisten hochschmelzenden metallischen Werkstoffen, wobei besonders dem Zink erhöhte Bindefähigkeit zukommt. Ein zu Vergleichszwecken auch hier wieder nebenangestelltes Lot läuft unter der genormten (Deutsche Industrie-Norm) und handelsüblichen Bezeichnung L MS 63, mit folgenden Charakteristika: Schmelzpunktstemperatur 910 °C (Liquidus), 900 °C (Solidus); Arbeitstemperatur 910 °C; spezifisches Gewicht 8,4; Zugfestigkeit im Gußzustand 34 kg/mm².⁶ Angenähert lassen sich diese Daten auch dem Messinglot aus Tarım zuschreiben.

Wir wissen, daß die Lote von den Schmieden selbst hergestellt wurden und wie dies geschah⁷. Für die Belange dieser Arbeit ist eine Beurteilung der Lote nach ihrer etwaigen Herkunft somit illusorisch. An dieser Stelle soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß Art und mengenmäßiger Gehalt der Hauptbestandteile wie Verunreinigungen (Spurenelemente) bei industriell hergestellten Loten bestimmten Vorschriften unterliegen und dadurch gewisse Möglichkeiten bestehen, Lote unbekannter Herkunft und Herstellung klassifikatorisch aufzuklären.

Batteriehülse (Probe 2), grauweiß-glänzendes Metall

Nach der äußeren Form und der aufgedruckten Serienbezeichnung AP 1001/70-154 konnte das Probenstück als Fragment eines von der Firma Philips serienmäßig hergestellten Zwischenfrequenztrafo, der zum Empfang des Mittelwellenbereiches in Radios eingebaut wird, eruiert werden. Er besteht zu etwa 95% aus Alumi-

⁵ Nach englischen Normen aus dem Jahre 1927.

⁶ E. Lüder, Handbuch der Löttechnik (1952), S. 236.

⁷ W. Dostal, Persönliche, bis jetzt unveröffentlichte Mitteilung.

nium. Der Rest entfällt auf geringe Mengen Magnesium (2,45%), Spuren Kalzium (unter 1%), Silizium (0,4%), Eisen, Bor, Mangan, Blei, Silber und Kupfer.

Kleine abgeschnittene Teile davon werden bei der Herstellung des Silberlates dem Schmelzfluß zugesetzt. Vom löttechnischen Standpunkt fällt es schwer, dieser Handlungsweise einen besonderen Nutzeffekt für die Eigenschaft des Silberlates zuzuschreiben. Im Gegenteil stören größere Mengen Aluminium Schmelz- und Verarbeitungseigenschaften der Silberlote, ein Grund, warum in manchen Normvorschriften sogar die gänzliche Abwesenheit von Aluminium in Silberloten gefordert wird, wie in den Amerikanischen Normen. Die Verwendung des Radiobestandteiles bei der Silberloterstellung basiert höchstwahrscheinlich auf einem Analogietrugschluß. Er könnte durch den ähnlichen Farbeindruck, den Aluminium und Silber dem oberflächlichen Beschauer bietet, zustande gekommen sein, wobei in gewissem Maße auch die Wertsteigerung, die das Metall durch seine Herkunft aus wertvollen technischen Geräten erfuhr, eine Rolle gespielt haben mag.

Die Flußmittel

Zum Lötinventar des Schmiedes gehören neben den Lötmassen ebenso die unentbehrlichen Flußmittel. In den Proben 3a, 3b, 3c lagen solche Stoffe vor: Borax in Probe 3a und 3c, Salmiak in Probe 3b.

Borax, das Natriumsalz der Tetraboräure ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) ist ein sehr gebräuchliches Flußmittel für Hartlötungen. Borax findet sich auch in natürlichen Vorkommen als Natrium- und Kalziumsalz, doch ist sein Auftreten örtlich ziemlich begrenzt.

Der Borax der Tarīmer Schmiede ist ein mit Kalzium geringfügig verunreinigtes Natriumtetraborat. Nur in den Spurengehalten gewisser Metalle (Cd, Mn bzw. Cu, Sn, Pb) unterscheiden sich die beiden Boraxproben 3a und 3c voneinander (Tabelle 3).

Die Funktion des Borax beim Hartlöten besteht in einem besonders beschleunigten Lösevermögen für die an der Metalloberfläche haftenden Oxide. Vom löttechnischen Gesichtspunkt wird Borax überall dort bevorzugt, wo die Lötgeschwindigkeit groß und die Arbeitstemperatur entsprechend niedrig gehalten wird. Vor allem findet er bei Arbeiten mit Silberloten Verwendung⁸; er ist jedoch allgemein für die meisten Zwecke des Hartlötens das Mittel der Wahl. Mischungen mit anderen Substanzen (Pottasche, Soda, Kochsalz, Phosphate) bringen verstärkte Lösekraft und noch andere Vorteile.

Salmiak — die triviale Bezeichnung für Ammonchlorid (NH_4Cl) — das zweite in Tarīm verwendete Flußmittel, ist ein in Wasser sehr gut lösliches Salz, das leicht sublimiert (bei 338°C vollkommene Spaltung) und beim Erhitzen unter Atmos-

⁸ E. Lüder, Handbuch der Löttechnik (1952), S. 263.

phärendruck nicht schmelzbar ist. Als Flußmittel beim Lötprozess selbst wird es meist in Verbindung mit anderen Salzen verwendet. Seine Aufgabe ist es, die Metallocide in die entsprechenden Chloride überzuführen und auf diese Weise leicht schmelzbare Salzgemische zu bilden.

Salmiakstein, oft mit Harzen zu Pasten geformt, wird zur Entfernung der anhaftenden Oxidhäute auf Lötkolben verwendet.

Das untersuchte Ammonchlorid war von großer Reinheit bis auf geringe Spuren von Verunreinigungen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Flußmittel

Probe-Nr. Bezeichnung	Hauptmenge	Nebenmenge	Nebenmenge- Spuren	Spuren
3 a Borax von Silber- schmied	B	Na	Ca	Fe, Si, Mn, Al, Mg, As, Cd
3 b Salmiak	NH_4Cl (Ammonium- chlorid)			Si, Mn, Mg, Al, Ca
3 c Borax von Schwarz- schmied	B	Na	Ca	Sn, Cu; Fe, Si, Pb, Al, Mg, As

Für ein natürliches Vorkommen des Salmiaks in abbauwürdigen Mengen fehlen Hinweise in der einschlägigen Literatur. Solche wären auch angesichts der Art dieses Salzes außerordentlich unwahrscheinlich. Geringste Spuren Salmiak kommen nur in Verbindung mit Ammoniak in Vulkanen und heißen Quellen vor. Der künstliche Ursprung dieses Flußmittels ist unbestreitbar.

Pflanzenbestandteile und Salz aus Shabwa

In einem Stoffsäckchen waren zerkleinerte Pflanzenreste, teilweise leicht angekohlt, enthalten. Daruntergemischt fanden sich farblose Salzkristalle und einzelne kleine Stücke verkohlter Holzsubstanz (Holzkohle).

Beim Aufkochen dieses Konglomerates mit Wasser entstand eine trübe, braun gefärbte Beize, die schwach sauer reagierte. Eine Messung der Wasserstoffionenkonzentration ergab einen p_H -Wert von 3,55. Das entspricht etwa dem p_H -Wert einer verdünnten Essig- oder Zitronensäure oder extrem schwachen Salzsäure.

Die farblosen Salzkristalle bestehen aus Natriumchlorid (Steinsalz, Kochsalz).

Die Art der verwendeten Pflanzen ließ sich aus dem vorliegenden Probenmaterial nicht mit Sicherheit rekonstruieren. Eine diesbezüglich im Naturhistorischen Museum Wien⁹ durchgeführte Untersuchung konnte nur folgende Aussagen liefern (Auszug aus einem schriftlichen Gutachten):

«Bei den in Frage stehenden südarabischen Pflanzenresten handelt es sich um zwei Typen, denen vermutlich verschiedene Funktion zukommt:

1. Verkohlte Pflanzenteile.

2. Krautige Pflanzenteile.

ad 1: Die verholzten Teile gehören verschiedenen Arten von Pflanzen an. Das Holz ist durch fast metallische Härte und sehr glatte Oberfläche gekennzeichnet, wie sie für Wüstenpflanzen charakteristisch sind, die extreme Trockenheit aushalten müssen. Die Probe enthielt ausschließlich zu Dornen umgewandelte Elemente, und zwar einerseits verdornte Seitenzweige, die ihrerseits kurze Verzweigungen höherer Ordnung haben, welche gleichfalls zu Dornen umgewandelt waren, und andererseits Dornen aus serialen Beiknospen. Beide Erscheinungen sind bei Wüstenpflanzen außerordentlich häufig und nicht an bestimmte Verwandtschaftskreise gebunden. Es lassen sich daraus keine (zwingenden) Schlüsse auf die Natur der Pflanzen ziehen, von denen sie stammen. Scheinbar ist das auch nicht von größerer Bedeutung: die verholzten Stückchen sind meist angekohlt, so daß die beabsichtigte Wirkung eher von der Holzkohle und nicht von irgendwelchen pflanzlichen Inhaltsstoffen ausgehen dürfte.

ad 2: Die krautigen Pflanzenreste sind zu stark zerkleinert, um eine Identifizierung zu erlauben. Bemerkenswert sind immerhin folgende Merkmale, auf die beim Besammeln des Gebietes, aus dem die Proben stammen, zu achten wäre, weil sie nicht allgemein verbreitet sind: Blätter gegenständig (zwei auf gleicher Höhe einander gegenüber), grob unregelmäßig gezähnt, Blattpaare relativ weit voneinander entfernt. Geruch der getrockneten und wiederaufgekochten Reste intensiv nach Gewürzgurken.»

Aus der p_H -Messung und der botanischen Untersuchung lassen sich den Pflanzenresten offensichtlich zwei, voneinander verschiedene, und man kann annehmen auch durchaus beabsichtigte, Wirkungsweisen zuschreiben:

1. eine besonders im heißen Zustand gegebene Beizwirkung in konzentrierter wässriger Lösung durch eine stattfindende, merkbare Ansäuerung des wässrigen Extraktes, sowie
2. eine gewisse Reinigungswirkung durch die verkohlten Pflanzenteile auf Grund der Adsorptivwirkung des Kohlenstoffs.

⁹ Herrn Univ.-Doz. Dr. *Harald Riedl* möchte ich für die Pflanzenuntersuchung bestens danken.

Im Zusammenwirken mit dem zum Polieren verwendeten Sand stellt dieser Sud durchaus ein geeignetes Mittel zum Blankbeizen angelaufener Metalle nach ihrer Verfertigung dar. In einem nachkonstruierten Versuch wurde damit ein dunkelbraun patiniertes Messing zu beizen versucht. Nach etwa fünf Minuten Belassen dieses Stücks in der heißen Pflanzenbeize war der oberflächliche Oxidbelag größtenteils abgelöst und die gelbe Farbe des Messings kam zum Vorschein.

Sand, zum Reinigen des gebeizten Silbers (Probe 6)

Sand stellt naturgemäß ein Silikat dar. Im vorliegenden Fall befindet sich vorwiegend das Kalzium mit den Silizium- und Sauerstoffatomen in struktureller Bindung, wie dies etwa auch bei dem in der Natur vorkommenden Wollastonit — ein Kalziumsilikat der Zusammensetzung: $\text{Ca}[\text{SiO}_3]$ — der Fall ist. Durch den Spurengehalt an Eisen ist der Sand nur schwach gefärbt. Bezuglich der Anwesenheit bestimmter Spurenelemente gleicht er den aus derselben Gegend gesammelten Stein- und Tonproben, sowie der Schlacke (Tabelle 4). Auffallend ist der Gehalt an wasserlöslichen Chloriden in merklicher Menge, eine Eigenschaft, die alle anderen Erdproben auch zeigten.

Schlacke eines Schwarzschiemes (Probe 7)

Das Untersuchungsresultat entspricht dem für Schlacken üblichen Bild (Tabelle 4). Der starke Aluminium- und Kalziumgehalt rückt diese Schlacke in die Nachbarschaft von Zementen (z. B. besonders dem Portlandzement), die grundstoffmäßig ähnlich aufgebaut sind.

B. ROHMATERIALIEN EINES TÖPFERS

1. *Töpferton* von verschiedener Farbe:

gelbbraun-lehmfarben (Probe 8a); schwach violettrosa (Probe 8b); cremefarbig-weiß (Probe 8c).

Alle drei Sorten fühlen sich weich und fettig an, lassen sich leicht zerbrechen, quellen mit Wasser auf und sind plastisch verformbar.

Zur Untersuchung der Tone wurden zwei verschiedene Analysenverfahren benutzt. Die Röntgendiffraktionsanalyse zielte auf die Erfassung der wichtigsten Tonbestandteile, der sogenannten «Tonmineralien», ab und zwar hinsichtlich ihres vorliegenden molekularen Aufbaues. Sie ergab für alle drei Tonproben eine sehr gleichmäßige Zusammensetzung, bestehend aus Kaolinit (einem wasserhaltigen Aluminiumsilikat), Quarz und geringen Mengen Feldspat. In Probe 8c sind außerdem noch glimmerartige Mineralanteile festzustellen. Kaolinit ist der Träger der Quellbarkeit und Feuerfestigkeit und gibt den Tonen somit gute Plastizität und Verarbeitbarkeit.

Am Ergebnis der spektrochemischen Analyse scheint vor allem der ermittelte Spurengehalt aufschlußreich zu sein (Tabelle 4), besonders im Vergleich zu der Spurenzusammensetzung der anderen mineralischen Produkte aus Tarīm (Sand, Schlacke, Erdfarbe, roter Sandstein). Es zeigt sich in den Spurenelementen eine signifikante Übereinstimmung. Sicherlich hat der gleiche geographische Raum aus dem die Materialien stammen und die Ähnlichkeit der geologischen Formation nicht zuletzt darauf maßgeblichen Einfluß. Eine gültige Entscheidung darüber kann aber nur vom Fachgeologen kommen: die Möglichkeit eventueller Zusammenhänge sei hier bloß aufgezeigt. Noch eine andere Eigenschaft verbindet die mineralischen Produkte aus Tarīm: der Anteil wasserlöslicher Salze, besonders der Chloride, ist relativ hoch. Fakten, die auf eine stärkere Versalzung des Bodens schließen lassen, wie dies in Wüsten- und Trockengebieten stets zu beobachten ist. In Zusammenhang damit ist auch der hohe Chlorid- und Sulfat-Salzgehalt des Wassers aus Tarīm zu bringen (Tabelle 5, Wasseranalyse). Für den Töpferton bringt ein starker Gehalt an wasserlöslichen Salzen sowie ein salzhaltiges Anmachwasser die Gefahr von Salzausblühungen am gebrannten Scherben mit sich.

2. Rote Keramikfarbe (Probe 9)

Zum Bemalen der Keramik werden vom Töpfer kleinere, dunkelrotbraune Steinchen zermahlen und das fein zerriebene Mahlgut in Wasser aufgeschlemmt. Es resultiert eine Farbe von starker Farbkraft. Die Farbe ist anorganischen Ursprungs und wird beim Brennen des Tones nicht zerstört. Auf Grund des Analysenresultates (Tabelle 4) kann man die Steine mineralogisch der Gruppe der Roteisensteine zuordnen, mit ihren verschiedenen Varietäten, dem Eisenglanz, dem fasrig strahligen Hämatit, dem nierenförmig vorkommenden roten Glaskopf. Es sind dies in ihrer Gesamtheit stark eisenoxidhaltige Silikate wechselnder Zusammensetzung, mit Gehalten an Aluminium, Kalzium, Magnesium, Mangan und anderen Elementen. Auch in der vorliegenden Erdfarbe tritt der Eisenoxidegehalt gegenüber den anderen Nebenbestandteilen deutlich hervor: Fe_2O_3 : 46,6%, SiO_2 : 44,3%, Al_2O_3 : 4,2%, CaO : 2,2%, MgO : 1,8%. Total: 99,1%.

Die wäßrige Aufschlemmung der gemahlenen Erdfarbe ist salzhaltig, vorwiegend aus löslichen Chloriden und Sulfaten bestehend.

C. ROTER SANDSTEIN

Eine mineralogische Untersuchung identifizierte Probe Nr. 10 als äußerst feinkörnigen roten Quarzsandstein, der durch Hämatit gefärbt ist. Das Ergebnis der spektralanalytischen Untersuchung ist in Tabelle 4 wiedergegeben. Bemerkenswert sind auch hier wieder die Spurengehalte. Wasserlösliche Chloride sind hier nur in Spuren nachweisbar.

Tabelle 4: Zusammensetzung der Proben silikatischer Natur

Probe-Nr. Bezeichnung	Analysenmethode: spektralanalytisch						Analyse: qualitativ, naßchemisch Wasserlösliche Verbindungen
	Hauptmenge	Nebenmenge	Nebenmenge Spuren	Spuren, stark	Spuren, deutlich	Spuren, schwach (a.d. Nachweis- grenze)	
Nr. 6: Sand	Ca, Si			Al, Mg, Ag, Cu	Ti, B, Fe	Ba, Mn, Pb, V, Cr, As	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ CO ₃ ²⁻
Nr. 7: Schlacke	Al, Ca	Si, Mg, Na		Fe	Pb, Sn, Cu, Ba, B, P	Mn	nicht untersucht
Nr. 8a: Ton (braun)	Si	Ca, Al, Mg		Fe, Ti	Cr, Cu, Ag, B, Mn, Ba	As, V, Pb	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ (Sp.)
Nr. 8b: Ton (violettrosa)	Si	Ca, Al, Mg		Fe, Ti	Mn, B, Ag, Cu, Cr	As, Ba, Pb, V	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ (Sp.)
Nr. 8c: Ton (creme)	Si	Ca, Al, Mg		Fe, Ti	Mn, B, Ag, Cu, Cr	As, Ba, Pb, V	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ (Sp.)
Nr. 9: Roteisen- stein (Erdfarbe)	Si	Ca, Fe	Al	Ag, Mg, Ti	Cr, V, Cu, B, Mn	Ba, Pb, As	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻
Nr. 10: roter Sandstein	Si	Ca	Al	Mg, Ti	Pb, Fe, Ag, Cu	Ba, Mn, B, V, Cr, As	Cl ⁻ (Sp.), SO ₄ ²⁻ (Sp.)

Cl⁻ = Chlorid SO₄²⁻ = Sulfat CO₃²⁻ = Karbonat (Sp.) = Spuren

Für das freundliche Entgegenkommen, die spektralanalytischen Untersuchungen durchzuführen, möchte ich an dieser Stelle besonders Frau Dr. I. Janda sowie Herrn Univ.-Prof. Dr. E. Schroll herzlichst danken.

D. WASSER AUS TARIM

Zur Untersuchung stand ein Wasser zur Verfügung, das aus einem Brunnen in Tarim geschöpft wurde. Der Befund einer chemisch durchgeführten Wasseranalyse dieses als Grundwasser einzustufenden Wassers ist in Tabelle 5 zusammengefaßt.

Tabelle 5: Wasseranalyse

p_{H} -Wert:	7,90
Elektrische Leitfähigkeit:	1300 mikroSiemens
Abdampfrückstand:	1085 mg/l
Gesamthärte in dH° :	26,7
Karbonathärte in dH° :	9,1
Nichtkarbonathärte in dH° :	17,6
Kalzium (Ca^{++}):	91,0 mg/l
Magnesium (Mg^{++}):	60,8 mg/l
Kalium (K^{+}):	7,9 mg/l
Natrium (Na^{+}):	111,0 mg/l
Eisen (Fe^{+++}):	Spuren
Bikarbonat (HCO_3^-):	198,0 mg/l
Sulfat (SO_4^{--}):	etwa 245,0 mg/l
Chlorid (Cl^-):	224,0 mg/l
Nitrat (NO_3^-):	35,1 mg/l
Nitrit (NO_2^-):	nicht nachweisbar
Ammoniumion (NH_4^+):	nicht nachweisbar
Phosphat (PO_4^{---}):	Spuren
Silikat (SiO_2):	etwa 15,0 mg/l

Ein Vergleich mit anderen Proben, d. h. hier mit anderen Wässern, stößt in diesem Falle auf verschiedene Schwierigkeiten. Diese liegen zum Teil am fehlenden Vergleichsmaterial von Wasserproben desselben geographischen und klimatischen Raumes. Denn nur ein Vergleich mit Wässern annähernd gleichen Ursprungs und unter ähnlichen Umweltsbedingungen angetroffen, kann sinnvoll sein. In weit größerem Umfang werden sie jedoch durch die relativ große Zeitspanne bedingt, die zwischen Probenahme und Analyse verstrichen ist. In der Praxis der Wasserbegutachtung gilt ein länger als 24 Stunden nach Probenahme stehendes Wasser, zumindestens für exakte Vergleichszwecke, als nicht mehr repräsentativ. Es spielen sich Umschichtungen im Chemismus einzelner Bestandteile des Wassers ab, so daß je nach Substanzgehalt das Aussagebild einer Wasseranalyse mit der Zeit leicht verschoben wird. Einige Bestandteile, so etwa allgemein das Vorkommen von Stickstoff in labiler Bindung, beispielsweise ein allfälliger Nitritgehalt, die Anwesenheit von Ammoniumionen, könnten nur durch eine chemische Konservierung an Ort und Stelle und darauffolgender rascher Analyse bestimmt werden. Ebenso entweicht bereits nach verhältnismäßig kurzer Lagerung freie Kohlensäure fast gänzlich und geht somit für die Bestimmung verloren.

Die erhobenen Einschränkungen und Einwände kommen indes mehr bei anspruchsvollen limnologischen Vergleichsuntersuchungen in Frage und gelten nicht in gleich strengem Maße für eine allgemein orientierende, bezugs- und wertungsfreie Darstellung eines Untersuchungsresultates. Unter diesem Aspekt soll eine trotzdem vorgenommene Beurteilung des Wassers aus Tarīm versucht und verstanden werden. Immerhin lassen sich recht deutlich einige Besonderheiten erkennen:

1. Der Salzgehalt des Wassers liegt beträchtlich hoch. Dies spiegelt sich unter anderem bereits in den hohen Werten der Leitfähigkeit von 1300 μS wieder. Daran sind insbesondere der hohe Gehalt an Natriumionen einerseits, der an Sulfat- und Chloridionen andererseits, überwiegend beteiligt. Für die entsprechenden Durchschnittswerte europäischer Fluss- und Trinkwasser sehr hohe Gehalte.
2. Dasselbe gilt auch für die etwas hoch liegende Gesamthärte des Wassers, die aus dem Gehalt an Kalzium- und Magnesiumsalzen resultiert. Da die Karbonathärte im Vergleich dazu niedrig ist, müssen beide Metalle bindungsgemäß zum Großteil den reichlich vorhandenen Chloriden und Sulfaten zugeordnet werden, zumindest zum Zeitpunkt der Untersuchung.
3. Bemerkenswert scheint ferner der überhöhte Silikatgehalt (SiO_2) in der Wasserprobe, der durch eine bereits stattgefundene teilweise Ausflockung der Kieseläsäure, die dadurch einer analytischen Erfassung entging, sogar noch etwas höher anzusetzen ist.
4. Der p_H -Wert liegt im Neutralbereich (Neutralpunkt: $\text{p}_\text{H} = 7,0$), schwach gegen die alkalische Seite hin verschoben. Das Wiener Trinkwasser besitzt vergleichsweise dazu einen p_H -Wert von etwa 7,5.

ZUSAMMENFASSUNG

Chemische Untersuchungen ermöglichten eine Beurteilung der handwerklichen Kenntnisse, die Silber- und Schwarzschiemede in Tarīm in der Technik des Löten besitzen. Die dazu verwendeten Materialien benutzt man bei uns durchweg auch heute industriell. Die untersuchten Lötmassen sind Hartlote, ein Silber- und ein Messinglot. Sie setzen höhere Arbeitstemperaturen, zwischen etwa 700 °C und 900 °C voraus, die jedoch ohne Schwierigkeiten, teilweise unter Zuhilfenahme von Gebläsen, erreicht werden. Bei den eingesetzten Flussmitteln handelt es sich um Salmiak und Borax. Das Silberlot wird von den Tarīmer Schmieden selbst hergestellt. Die beiden Flussmittel stellen technische Produkte dar. Ebenso ist der Zwischenfrequenztrafo aus Aluminium, der aus einem Radiogerät ausgebaut wurde und von dem kleinen Schnitzel bei der Bereitung des Silberlates Verwendung finden, ein Industrieprodukt.

Die Lötkunst besitzt im vorderasiatischen Raum eine alte, tief verwurzelte Tradition. Es nimmt daher nicht wunder, wenn auch heute noch von den eingeborenen

Schmieden die Lötmassen selbst hergestellt werden. Die verwendeten Flußmittel weisen indes bereits auf starke Einflüsse von außen. Die Anpassung der bodenständigen Handwerkskultur an moderne technische Arbeitsweisen und Produkte hat bereits begonnen. Diesen Schluß erlauben die vorliegenden Untersuchungen. Die Akkommodation scheint dabei schrittweise vor sich zu gehen und setzt durchaus folgerichtig bei den schwächeren, reformbedürftigen Stellen im alten Arbeitsprozeß ein. Das waren beim Löten von jeher mehr die Flußmittel, als die Lote.

Literatur

- Brepohl, E.*, Theorie und Praxis des Goldschmiedes, Leipzig 1962.
- Burstyn, W.*, Löten, Werkstättenbücher Heft 28, Berlin 1944.
- DIN-Normblätter* 1733, 1734, 1735.
- Feldhaus, F. M.*, Die geschichtliche Entwicklung der Technik des Lötens, Berlin 1911.
- Forbes, R. J.*, Metallurgy in Antiquity, Leiden 1950. — ders., Studies in ancient technology, Bd. 9, Leiden 1964.
- Hirschberg, W.* und *Janata, A.*, Technologie und Ergologie in der Völkerkunde, Mannheim 1966.
- Kirchner, M.*, Löten, Leipzig 1939.
- Liebscher, I.* und *Willert, F.*, Technologie der Keramik, Dresden 1955.
- von Lippmann, E.*, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, Leipzig 1906.
- Lüder, E.*, Zur Geschichte der Löttechnik, Die Technik, Bd. 5, Nr. 3, Berlin 1950. — ders., Handbuch der Löttechnik, Berlin 1952.
- Plinius*, Historia naturalis.
- Rosenberg, M.*, Geschichte der Goldschmiedekunst auf technischer Grundlage, Frankfurt 1910ff. (4 Bde.).
- Stein, W.*, Silberlote, Mitteilungen Forsch. Ind. Probieramt Edelmetalle 7 (1933), 80–87 und 97–103.

