Alex R. Furger

Abrasiva

Schleif- und Poliermittel der
Metallverarbeitung in Geschichte,
Archäologie und Experiment

Alex R. Furger

Abrasiva

Alex R. Furger

Abrasiva

Schleif- und Poliermittel der Metallverarbeitung in
Geschichte, Archäologie und Experiment

*(Abrasives. Grinding and polishing materials in historical,
archaeological and experimental metalworking)*

© 2020, Alex R. Furger und LIBRUM Publishers & Editors LLC | Basel | Frankfurt a. M.

Diese Publikation wurde gefördert durch:

Dr. h. c. Alfred Mutz-Stiftung für alte, insbesondere antike Technologie und Technikgeschichte, Basel

Vindonissa-Professur

Lektorat: Rainer Vollmar und Henrik Halbleib, Frankfurt a. M.; Christoph Schneider, Basel

Gestaltung und Satz: Katja von Ruville, Frankfurt a. M.

Druck: Memminger MedienCentrum, Memmingen

ISBN: 978-3-906897-37-0

DOI: 10.19218/3906897370

Abrasiva, Schleif- und Poliermittel der Metallverarbeitung in Geschichte,
Archäologie und Experiment by Alex R. Furger is licensed under a
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
www.creativecommons.org

Open-access bei

www.librumopen.com

Umschlagbild: Ein Stück Kreidesilex aus Coizard / F im Pariser Becken. Zu kleinsten
Splittern zerstoßen, gemörsert und gesiebt, ergibt Feuersteinpulver ein natürliches und
recht effizientes Feinschleifmittel (siehe Abb. 92).

Umschlagrückseite: Dokumentation der Schleifmittelaufbereitung und Arbeitsspuren
von Bimsstein (s. Abb. 80), Kreide-Silex (Abb. 92) und Cardiummuscheln (Abb. 98).

Stichwörter: Abrasiva, Achat, Bimsstein, Feilen, Naxos / GR, Ossa Sepia, Polieren, Quarzsand,
Schaben, Schleifen, Schleifsteine, Schmirgel, Tripel

Inhalt

Vorwort und Dank	7
Schleifen und Polieren	9
Seltene antike Quellen	11
Schwieriger archäologischer Nachweis	13
Abrasive Werkzeuge in der Metallverarbeitung	15
Feilen	15
Schleifplatten aus Blei?	18
Schleifsteine	19
Sandstein	33
Schiefer (Kieselschiefer, Radiolarit, Mergelschiefer usw.)	35
Bimsstein	39
Ziegelbrocken	42
Ossa-Sepia-Schulp	45
Schaber	45
Poliersteine	53
Polierstähle	57
Polierzähne	60
Textilien und Leder	61
Abrasive pulverförmige Schleif- und Poliermittel	63
Das Wesentliche einer feinen Politur	64
Aufbereitung und Handhabung	64
Absatz und Preise	64
Sieben und Schlämmen	65
Historische Rezepte für Polierpasten, «Scheuersteine» und Schleifklötze	65
«Lederfeilen» und «Scheuerstöcke»	67
Politur von Metallspiegeln	68
Bimssteinpulver	70
Eisenhammerschlag und Rostpulver («Crocus martis»)	72
Eisenschlackenpulver	73
Equisetum, Schachtelhalmpulver («Scheuerkraut»)	75
Glaspulver, Glasmehl	77
Holzasche	77
Holzkohlepulver	77
Kalk, Ätzkalk, Wiener Kalk	79
Kalktuff, Tropfsteine, Mergel	80
Kieselgur, Kieselerde, Tripel	80
Kieselsäurehaltiges Hartgesteinsmehl (Silex usw.)	82
Knochenasche	82
Korund (Natur- und Industriekorund), Tonerde	83
Kreide, Schlammkreide	88
Muschelschalenpulver	88
Ossa sepia	89
«Pariser Rot», «Polierrot», Hämatit	91
Quarzsand	91
Schleifsteinmehl	92
Schmirgel	95
Talk, Talkum	99

Walkererde	99
Weinstein	101
Ziegelpulver	101
Zinnasche	103
Weitere Schleif- und Poliermittel	104
Zusammenfassung	107
Summary	108
Quelleneditionen und Übersetzungen	109
Literatur	110
Abbildungsnachweise	118

Vorwort und Dank

«Wenn ich acht Stunden Zeit hätte, um einen Baum zu fällen, würde ich sechs Stunden die Axt schleifen.»

Abraham Lincoln (1809–1865)

Diese Schrift ist aus dem Bedürfnis entstanden, die bekannten und die denkbaren Materialien zusammenzustellen, welche uns die Natur direkt oder indirekt zur Verfügung stellt und die sich zum Schleifen und Polieren von Metallen eignen. Zudem sollten natürliche Abrasiva aufgelistet, die Materialien gesammelt, ihre Anwendung rekonstruiert und die Erkenntnisse im archäologischen Experiment auf deren Effizienz in der Metallbearbeitung geprüft werden.

Die Vorarbeiten waren naheliegenderweise oft sehr praktischer Art. Daher haben mir auch viele Praktikerinnen und Praktiker geholfen, denen ich hier danken möchte:

- Markus Binggeli, Köniz / BE (Erfahrungsaustausch)
- Urs Brendle, Ittigen / BE (Beschaffung von Grindelwaldner Mergelschiefer)
- Dieter Denger, Basel (Fotos von Handhabungen)
- Bruno Häuptli, Basel (Übersetzungshilfe bei antiken Autoren)
- Titus Heinzelmann, Römerstadt Augusta Raurica / BL (Zurichten von Schleifsteinen)
- Christoph Jäggy, Biel-Benken / BL (Erfahrungsaustausch)
- Rudolf Känel, Römerstadt Augusta Raurica / BL (Literaturrecherchen)
- Annemarie Kaufmann-Heinimann, Basel (Literaturhinweise)
- Pater Martin Mayrhofer, Stift Seitenstetten / A (Aufnahmemöglichkeit und Reproduktionsbewilligung)
- Kuno Menchen, Kompetenzbereich Vulkanologie, Archäologie und Technikgeschichte, Mayen / D (Bimsstein-Handstücke aus der Eifel / D)
- Alfred Mutz (1903–1990), Basel (Erfahrungsaustausch)
- Stefanie Nagel, Universität Göttingen / D (Informationen zu Spuren an Schliffgläsern, Literaturhinweise)
- Roland Neubert, Vorsitzender des Freundschaftskreises Bochum / D Koronos / Naxos (Beschaffung von Naxos-Schmirgel)
- Christine Pümpin, Integrative Prähistorische und Naturwissenschaftliche Archäologie der Universität Basel IPNA (Auflicht-Mikroskopie)
- Philippe Rentzel, IPNA Basel (Laborbenutzung)
- Christoph Schneider, Universität Basel (Antike Autoren und Quellen)
- Roger Schyrr, Metallwalzwerk Menziken / AG (Beschaffung der Probierplättchen)

- Cécile Strauss, Biel-Benken / BL (Übersetzungshilfe Italienisch)
- Verena Vogel Müller, Basel (Bimsstein-Handstücke aus Santorin / GR)
- Frank Willer, Bonn / D (sekundäre Pflegeprozesse wie Korrosionsschutz)

Die Druckvorstufe lag in den gewohnt professionellen Händen von Katja von Ruville (Gestaltung und Satz) und Rainer Vollmar sowie Henrik Halbleib (Korrektur); die Überarbeitung der englischen «Summary» besorgte Julie Cordell. Ich bin einmal mehr dem Verleger Dominique Oppler von LIBRUM Publishers & Editors LLC (Basel / Frankfurt a. M.) sehr dankbar für das Vertrauen, das er in meine Arbeit und deren Inhalt setzte. Den im Impressum auf Seite 4 genannten Institutionen danke ich schliesslich für die finanziellen Beiträge an den Produktionskosten!

Abb. 1: Japanischer Schwertschleifer. Ein grosser Schleifstein liegt in Sand (?) gebettet in einem breiten Daubenbottich. Das Schwert wird mit beiden Händen und gleichmässigem Druck quer zur Klinge über den Stein gezogen und geschliffen. Eine kleine Bürste dient zum Entfernen des Sand- und Eisenabriebs. Die Schürze und die abgezogenen Sandalen weisen darauf hin, dass nass geschliffen wird. Die wellenartige Darstellung des Bottichinhalts könnte auch auf einen Wasserspiegel hindeuten.

Schleifen und Polieren

Natürlich wurden und werden von den Ursprüngen handwerklichen Schaffens bis in die Gegenwart nicht nur Metalle geschliffen, sondern auch Steine (z. B. Steinbeilklingen, Siegel), Knochen und Geweih, Holz, Glas, Elfenbein, Muscheln und viele andere Materialien¹. In diesem Buch werden vor allem die *Schleif- und Poliermöglichkeiten der Metalle* erörtert.

Heinrich Bergmann thematisiert unter dem Stichwort «Schleifen» sämtliche relevanten Aspekte dieses wichtigen Prozesses in der Metallverarbeitung²: «Der *Zweck des Schleifens* ist, dem Gegenstand eine Form zu geben, fassonierte Flächen zu erzeugen und die Oberfläche zu verschönern. ... [Dies besteht] in einem gleichmässigen Wegnehmen feiner Teilchen durch verschieden geartete Schleifmittel, die sich nach dem zu schleifenden Material richten. Beim Schleifprozess unterscheidet man im Wesentlichen zwei Hauptperioden: *Grobschleifen* und das Feinschleifen; unter Grobschleifen versteht man das Entfernen der obersten rauen unebenen Schicht der Metalle, welche zumeist mit Oxid bedeckt ist, bis die ebene, aber noch immer mehr oder weniger raue Metallschicht zum Vorschein kommt, während man *Feinschleifen* jenen Grad der Vollendung nennt, welcher es ermöglicht, das Metall zu *polieren*. Alle Schleifmittel wirken vermöge der Scharfkantigkeit ihrer Teilchen und ihrer Härte; je scharfkantiger die kleinsten Teilchen sind und je grösser ihre Härte ist, umso mehr greifen sie an, wobei nicht vergessen werden darf, dass es auch auf die Grösse der Teilchen ankommt. Je grösser diese Teilchen sind, je gröber ist das Schleifmittel, und umso ... mehr eignen sie sich zum Entfernen von bedeutenden Rauheiten ...; je kleiner diese Teilchen ..., umso glatter und ebener wird die geschliffene Fläche ... Die Grundbedingung zur Ausführung des Schleifprozesses ist, dass das Schleifmittel unter allen Umständen härter als der zu schleifende Gegenstand ist ... Hinsichtlich der Wahl der Schleifmittel kommt es ganz auf die Natur und Beschaffenheit des zu schleifenden Gegenstandes an. So greifen Schleifsteine bei gehärteten Stahlgegenständen besser an, als dies bei den besten Feilen der Fall ist.»

Im Mittelalter entwickelten sich – in Ostasien, im Orient und genauso in Europa – ausgeklügelte Schleif- und Poliertechniken. Besonders die Waffenschmiede verliehen ihren Produkten aus Prestigegründen und zur Veranschaulichung ihrer Präzision und Qualität ein blankes Aussehen. Im Hinblick auf die Frühzeit der Industrialisierung vor 1800 meint Karl Voos³: «Bei der Erzielung einer möglichst feinen Politur wird eine stufenweise Verfeinerung in mehreren Arbeitsgängen sich bald als praktisch erwiesen haben. Hinzu kam noch das Bedürfnis, bessere Stahlwaren feiner zu polieren als andere.»

Diese kräfteaubenden und grosse Geduld erfordernden Arbeiten waren eine Spezialisierung, die oft nicht von den Schmieden, sondern den «Schwertfegern» ausgeführt wurde (Abb. 1)⁴. Mittelalterliche Waffenschmiede resp. -schleifer pflegten Schwerter, Harnische nach der Fertigstellung und dergleichen sorgfältig auf Hochglanz zu polieren. Dieser Prozess wurde «Pliessten» genannt⁵. Zusammen mit einer Ölbehandlung konnte auf diese Weise eine allzu rasche Rostbildung verhindert werden.

Die in diesem Buch aufgeführten Schleif- und Poliermittel, die in pulverisierter Form angewendet werden, erfordern eine *umfassende Zubereitung* durch Zerkleinern, Mörsern, Pochen, Sieben und Schlämmen. Wer diese oft sehr aufwendigen und anstrengenden Arbeiten in den vergangenen Jahrhunderten verrichtete, wissen wir nicht. Wir kennen auch die Arbeitsteilung nicht, ob zum Beispiel die Metallarbeiter ihre Schleifmittel selbst herstellten oder sie einsatzfertig von anderen Spezialisten bezogen. Bereits 1835 erfahren wir, dass «aujourd'hui, que des fabriques s'occupent de la production en grand de la plupart de ces diverses substances, l'ouvrier trouve plus d'économie à les acheter toutes préparées»⁶.

«Die verschiedenen in Gebrauch befindlichen Schleifmittel sind von grosser Mannigfaltigkeit, und Bedingung für die Wirksamkeit ist, dass sie immer härter sein müssen, als der zu schleifende Gegenstand»⁷.

1 Hartmann 1853; Joseph 1929, 2–4; Hamon 2008.

2 Bergmann 1920, 197 f. (Zitat). – Kurze Zusammenstellungen der Schleif- und Poliertechniken: Hartmann 1853, 1; Joseph 1929, 2–4; Staudinger 1955, 3–5. – Fachbegriffe der verschiedenen Polierverfahren: Kleinschmidt 1937, 1 f.

3 Rinman 1814, 41–48 («Vom Handpolieren» von Eisen und Stahl); Voos 1937, 18 (Zitat).

4 Voos 1937, 14 f.; Roth 1986, 118–120 Abb. 83; Mäder 2001.

5 Voos 1937, 9 und 15.

6 Landrin 1835, 102.

7 Wahlburg 1913, 5.

Abb. 2: Auch ikonographische Quellen zu Schleif- und Poliervorgängen sind selten. Dieses Wandbild aus der Nekropole in Theben / AEG zeigt Arbeiter bei der Herstellung von «Gold- und Silbergefässen». Oben links wird wahrscheinlich gelötet (mit dem Blasrohr), rechts die Gefässwandung ausgestrieben (mit einer «Treibfaust»), links unten polieren zwei Arbeiter gemeinsam ein besonders grosses Gefäss, rechts daneben wird eine Inschrift oder ein Dekor ziseliert, und rechts unten trägt ein Gehilfe eine fertige Schnabelkanne weg. 18. Dynastie, um 1500 v. Chr.

Seltene antike Quellen

Die antiken Quellen schweigen in der Regel, wenn es um handwerklich banale Tätigkeiten und Materialien geht, wie sie das Schleifen und Polieren darstellen (Abb. 2⁸). Manche der im Folgenden vorgestellten Materialien, Erden, Gesteine und Pflanzen werden bisweilen zwar von römischen oder gar griechischen Autoren erwähnt, in der Regel aber in einem anderen, meist medizinischen Kontext. Einzig zum Schmirgel finden sich erstaunlich viele schriftliche Angaben, die sehr weit zurückreichen (S. 95), und «Altmeister» Plinius der Ältere (1. Jh. n. Chr.) beschreibt einen Schleif- oder Poliervorgang hin und wieder etwas präziser als mit blosser Erwähnung eines Materials.

Die vermutlich ausführlichste Quelle zum Schleif- und Polierprozess stammt aus der Spätantike (6. Jh.). Es handelt sich um einen Brief des Gotenkönigs Theoderich an den Herrscher der Warnen (Volk im heutigen Thüringen/D), in dem er ihm für ausgezeichnete damaszierte Schwerter dankt. Nach der Beschreibung des gemusterten Stahls fährt Theoderich fort⁹: «Dieses Metall wird sorgfältig auf Eurem Schleifstein geschliffen und mit Eurem höchst glänzenden Pulver so kräftig poliert, bis sein stählerner Glanz ein Spiegel für Männer ist. Dieses Pulver wird Euch unter den natürlichen Schätzen Eures Landes gewährt¹⁰, so dass sein Besitz Euch einzigartigen Ruhm bringt. Solche Schwerter möchte man in ihrer Schönheit für das Werk Vulkans halten, von dem gesagt wird, dass er mit solcher Geschicklichkeit sein Handwerk veredelt habe, dass alles, was von seinen Händen gestaltet wurde, nicht ein menschliches, sondern ein göttliches Werk zu sein schien.»

Über Name und Herkunft dieses «höchst glänzenden Pulvers», mit dem man eine Schwertklinge zum Spiegel polieren kann, haben sich einige Forscher Gedanken gemacht, kamen aber nicht über Interpretation und Spekulation hinaus. Der Hinweis, dass das Polierpulver «unter den natürlichen Schätzen Eures Landes» vorkomme, d. h. aus dem Land der Warnen im Elbebecken stammt, haben John Anstee, Hilda R. Ellis und Stefan Mäder zum Schluss gebracht, es hätte sich um Kieselgur («Terra Tripolitana», Tripel) gehandelt¹¹, die tatsächlich im vermuteten Gebiet der Warnen, bei Klieken/D in Sachsen-Anhalt, bis in die Neuzeit abgebaut wurde¹².

8 Raven 2000, 120. – Ähnliche ägyptische Polierszenen aus Theben bei: Scheel 1987, 256 f. Abb. 3 und 4; Ogden 2000, 155 Abb. 6.2.

9 Cassiod. var. 5,1,2.

10 Davidson/Schulz 1961. – In etwas abweichender Übersetzung nach Roth 1986, 118, verändert von Mäder 2001, 39: «Dieses Metall ist auf Eurem Schleifstein geschliffen und mit Eurem glänzendsten (ev. «berühmtesten») Pulver so beharrlich poliert, bis sein stählerner Glanz ein Spiegel der Männer wird; dieses Pulver wird Euch unter den natürlichen Schätzen Eures Landes gewährt, so dass sein Besitz Euch einzigartigen Ruhm bringen möge.»

11 Mäder 2001, 57 f. Anm. 106; Davidson/Schulz 1961, 254. – Zur Anwendung von Kieselgur siehe unten mit Abb. 91.

12 Rösler 1951.

Abb. 3: Römische Bronzeobjekte mit gut erhaltenen Feilspuren aus Augst / BL, Augusta Raurica. M. 2:1.

1: Längsrechteckiger Streifen, abgeschrotet von einer Gussbronze (Statue?), zwei Fragmente; eine Seite mit groben Feilspuren und Weissmetallüberzug (Inv. 1988.005.C03782.77) | 2: Dreieckiger Abschnitt einer Bronzeplatte (Grossbronzenbruchstück?) mit Schrotspuren an allen Kanten. Oberfläche mit Spuren eines Weissmetallüberzugs und sehr groben primären Feilspuren. Region 3 (Inv. 1986.512) | 3: Stäbchen (zwei Fragmente), geschmiedet mit rhombisch-assymmetrischem Querschnitt, Oberflächen sehr fein gefeilt oder geschliffen (gut erhaltene Werkspuren). Insula 8. 1. Jh. n. Chr. (Inv. 1998.060.D09233.49) | 4: Kleines Rechteckplättchen, möglicherweise ausgeschrotet (von Gussstück?) und leicht gehämmert, auf einer Seite diagonale Feilspuren und möglicherweise Weissmetallüberzug. Insula 13 (Inv. 1998.051.D04947.2) | 5: Kleiner Schlossriegel(?), überfeilt, mit sieben gebohrten kleinen Löchern (für die Stifte des Schiebeschlüssels). 2./3. Jh. (Inv. 1991.051.C08599.2) | 6: Unfertiges (?) Stichblatt, vermutlich eines Dolches oder Messers. Runde Scheibe mit radialen Zierrippen, offensichtlich durch Feilen herausgearbeitet. Im Zentrum quadratisches Loch (für die Griffangel). Roh gefeilt und noch nicht geschliffen. 2./3. Jh. (Inv. 1991.051.C08389.2).

Schwieriger archäologischer Nachweis

Abb. 4: Römische Bronzeobjekte mit gut erhaltenen Schleif- und Polierspuren aus Augst/BL, Augusta Raurica. M. 2:1.

1: Halbkreisförmiges Fragment eines Spiegels, «runde» Kante möglicherweise sekundär und sehr grob zugeschlagen (sehr spröde Legierung) zur Weiterverwendung als Spiegelchen, eine Kante normal gebrochen; eine Fläche extrem blank poliert (Inv. 1992.051.C08894.1) | 2: Fragment einer gegossenen Platte, zwei Kanten abgeschrotet(?), übrige Kanten gebrochen; silberfarbene Legierung, eine Fläche erstarrt, die andere glatt und poliert (Fragment eines Rechteckspiegels?). Insula 8. 4. Viertel 1. bis Mitte 2. Jh. (Inv. 1998.060.D09316.1) | 3: Eckzwickel eines einst rechteckigen Bleches (0,4 mm dick), aus dem ein rundliches Stück herausgeschnitten worden ist. Die runde Kante ist sehr regelmässig geschnitten, die geraden Aussenkanten sind ebenfalls sauber geschnitten; glatt polierte Oberfläche, Spitzen verbogen. Insula 8. 4. Viertel 2. bis Ende 3. Jh. (Inv. 1998.060.D08811.216).

In der antiken Metallverarbeitung waren das Schleifen und Polieren der Oberflächen unabdingbare Voraussetzungen für die erwartete Wirkung des Endprodukts. So sollten etwa Schwerter, Helme und Panzer eindrücklich glänzen, was im Mittelalter sogar zur Bildung eigener Berufe führte (z. B. Schwertfeger). Besonders wichtig war das Schleifen und Polieren bei allen Ziertechniken, die mit Einlagen arbeiteten. Dazu gehörten Zellschmelzverfahren wie Email und Niello, die nach dem Einbrennen der Dekore immer sorgfältig und fein geschliffen und poliert werden mussten. Ohne die «hochentwickelte Technik des Schleifens und Polierens» müsste auch «alle Tauschierungskunst unansehnlich bleiben»¹³.

Auf manchen korrodierten Metalloberflächen von Originalfunden lassen sich wohl Feil- und grobe Schleifspuren erkennen (Abb. 3), eine Politur hingegen hinterlässt nur im mikroskopischen Bereich Spuren. Und ob diese materialspezifisch sind, bleibt in dieser Arbeit noch abzuklären. Spuren des Polierens am Original zu erkennen, stösst auf grosse Schwierigkeiten (Abb. 4)¹⁴: Einerseits sind die antiken Werkspuren korrodiert oder unter einer Patina ver-

borgen, und andererseits können auch verschiedene *Pflegeprozesse* – etwa durch Aufpolieren und Versiegeln einer Statuenoberfläche mit Bienenwachsprodukten¹⁵ – in der Antike die Spuren des ursprünglichen Feinschliffs der Gieserwerkstatt verwischt haben¹⁶. Kein Wunder, schreiben

¹³ Arens 1963, 26.

¹⁴ Es würde zu keinen neuen Erkenntnissen und zu weit führen, hier die unzähligen, in Fotos publizierten Beispiele von Feil- und Schleifspuren auf antiken Metalloberflächen (analog unserer Abb. 3 und 4) zu zitieren.

¹⁵ Gas-chromatographischer Nachweis: Siano 2013, 68.

¹⁶ Zusammenstellung bei: Zimmer 1985, 48; Zimmer 1990, 153. – Den Hinweis auf sekundäre *Pflegeprozesse* wie Patinierung, Korrosionsschutz, Korrosionsbeseitigung, Nachpolitur usw. verdanke ich Frank Willer (Bonn/D). – Eine der wenigen Poliermittel-Untersuchungen an archäologischen Bronzefunden führten Li et al. 2011 durch; zusammenfassend S. 499: «The fine grinding and polishing marks on the surface of the lances, swords and arrows seem not to have been made by loose abrasive materials. A relatively

Justine Bayley und Sarnia Butcher¹⁷: «We do not know if brooches were polished. ... If they were not highly polished, their surfaces may have been allowed to develop a natural patina or could have been deliberately patinated and coloured by treating them with various chemicals ...»

Ein wichtiger Teil der vorliegenden Arbeit befasst sich mit den praktischen Tests mit ganz unterschiedlichen, von der Natur zur Verfügung gestellten Schleif- und Poliermaterialien, um generell deren «theoretische Tauglichkeit» im technischen Alltag zu prüfen. Diesen experimental-archäologischen Ansatz hat meines Wissens erst Maxence Pieters und nur in kleinem Massstab verfolgt. Er hat ähnliche Experimente mit Keramikstücken und Sandsteinen auf flachen Eisen- und Messingblechen durchgeführt. Nach Pieters' Erfahrung war das Eisen mit Keramik schwieriger zu schleifen als mit Sandstein. Ganz anders bei Messing: Hier erwies sich die Keramik als «particulièrement efficace», während der Sandstein auf Messing «perd progressivement son mordant»¹⁸.

Ich habe die üblicherweise postulierten, bei der Überarbeitung von Rohgüssen früher verwendeten Werkzeuge (Feilen, Schaber usw.), Schleif- und Poliersteine sowie alle ins Auge gefassten möglichen Poliermittel gesammelt, aufbereitet und experimentell auf verschiedenen Metalloberflächen getestet. Alle Materialien wurden auf kleinen gewalzten Kupfer-, Zinnbronze- und Messingplättchen ausprobiert, die zuvor ausgeglüht und mit Essig gebeizt wurden¹⁹.

Leider lassen sich die Ergebnisse infolge der oben erwähnten Erhaltungs- und Patinierungsprobleme nicht mit Schleif- und Polierspuren auf antiken Originaloberflächen vergleichen (Beispiele unten mit Anm. 211–213). Das ursprünglich angestrebte Ziel wäre es gewesen, Kriterien zur Erkennung von unterschiedlichen Schleif- und Poliermitteln zu definieren und gegenseitig abzugrenzen²⁰, ähnlich wie das erfolgreich an den mikroskopisch untersuchten Abnutzungsspuren auf Silexwerkzeugen möglich ist (z.B. vom Getreideernten, Fleisch- und Lederschneiden, Holzbohren)!²¹

hard stone was most probably the material used for this finishing process, since natural abrasive materials were easy to acquire and hard enough for grinding the bronze weapons. It is also possible that relatively soft organic materials, such as linen, could have been employed for the last and finest stage, which would furnish the weapons with their characteristic sheen.»

17 Bayley / Butcher 2004, 16.

18 Pieters 2013, 91 f. Abb. 84–85.

19 Die Kupfer-, Zinnbronze- und Messingplättchen sind gewalzte Industrieprodukte, die mir freundlicherweise das Metallwalzwerk Menziken / AG zur Verfügung gestellt hat (Dank an Roger Schyrr). Sie wurden von Pit Schmid auf einheitliche Grösse von je 2 × 5,5 cm zugeschnitten. Unsere eigenen pXRF-Analysen, durchgeführt von Markus Helfert, ergaben: *Kupferplättchen* 99,5% Cu, 0,5% restliche Metallspuren; *Zinnbronzeplättchen* 94,4% Cu, 5,0% Sn, 0,6% restliche Metallspuren; *Messingplättchen* 89,3% Cu, 10,0% Zn, 0,7% restliche Metallspuren. Das Ausglühen in einem Emailierofen und langsame Abkühlen besorgte Christine Pugin. – Für Tests mit verschiedenen Auflicht-Mikroskopen danke ich Philippe Rentzel und Christine Pümpin (Institut für Prähistorische und Naturwissenschaftliche Archäologie der Universität Basel IPNA; digitales Mehrschicht-Mikroskop), Christine Gugel (Archäologie Baselland, Liestal; digitales Billigmikroskop) und Kurt Paulus (Ex-Leiter von Analytical Imaging von Novartis AG, Basel; Zeiss-Mikroskop mit Digitalkamera). Die schliesslich am ganzen Material hergestellten und hier reproduzierten Fotos (z. B. Abb. 8) stammen vom Verfasser und sind mit der «digitalen Mikroskopkamera Conrad» (10–200-fach; max. 9 Megapixel) gemacht worden.

20 Hamon 2008, 1516: «The methods for identifying use-wear on archaeological samples are similar to those for observing use-wear on experimental tools. The identified function of the tools corresponds to their last use ...»

21 Semenov 1964 (die grundlegende Pionierarbeit); d'Aujourd'hui 1977 (Nachweis der Verwendung von kleinen Silexspitzen als Bohrer und Reibahlen); Vaughan 1985 (mit älterer Lit. Anm. 4–24; Nachweis der Bearbeitung von Pflanzen und Leder mit Silexgeräten).

Abrasive Werkzeuge in der Metallverarbeitung

Feilen

Feilen in der Antike

Seit es Stahlwerkzeuge²² in der Metallverarbeitung gibt, begegnen wir auch den Feilen²³. Sie treten schon früh, d. h. ab der späten Bronzezeit²⁴, in fast der ganzen Breite des heutigen Werkzeugangebots auf. Dazu gehören Flach-, Rechteck-, Quadrat-, Halbrund- und Messerfeilen (Abb. 5), ja sogar Nadelfeilen für Gold- und Feinschmiede (Abb. 5,18) und Miniaturfeilen für kosmetische Zwecke²⁵.

Nach einer spätantiken ägyptischen Quelle des 2./3. Jahrhunderts n. Chr. aus Arsinoites (Fayum / AEG) beträgt der Preis einer «sich in Eisen «fressenden» Feile» eine Drachme²⁶. Das entspricht etwas mehr als einem Denar resp. 0,4 Pfund *aes* (Bronze) und kann – für einen sicher guten Stahl – als erstaunlich billig bezeichnet werden.

Beim Fundmaterial unterscheidet man – vor allem im Holzgewerbe – zwischen feinen Feilen und groben Raspeln (Letztere mit Zähnen statt geraden Hieben). Im archäologischen Material von der Eisenzeit bis ins Frühmittelalter tritt – soweit aus den Publikationen ersichtlich – nur der Querhieb (Einrieb) auf, Doppelhieb und Schräghieb kommen erst später hinzu²⁷. Ausnahmen sind fischgrätartig angeordnete Hiebe (Abb. 5,5). Je nach Anwendung und Feinheit ist von Holz- und Metallfeilen die Rede, was an den meist schlecht erhaltenen Werkzeugen selbst jedoch oft nicht unterschieden werden kann. Man differenziert heute zwischen den Hiebkategorien 0–5 resp. folgenden Feinheitsgraden (Anzahl der Hiebe je cm Feilenlänge)²⁸:

Feinschliffhiebfeilen	35 bis 70 Hiebe
Schliffhiebfeilen	15 bis 35 Hiebe
Schrupphiebfeilen / Raspeln	5 bis 15 Hiebe

In der Latène- und der Römerzeit treten nicht nur gerade Feilen mit Griffangeln auf, sondern auch abgewinkelte Stücke, bei denen die Griffangel um einige Zentimeter von der Feilenachse versetzt ist (Abb. 5,16.17).

Sehr selten sind im archäologischen Kontext Werkstätten von spezialisierten *Feilenhauern* auszumachen (Abb. 6). Der Fund eines typischen Feilenhauermeissels, mit dem die eng gesetzten parallelen Hiebe in den Feilenrohling eingeschlagen werden, aus Baden / AG-Römerstrasse ist so eine Ausnahme (Abb. 7,2)²⁹. Ich vermute, dass sogar der Miniaturmeissel aus dem frühmittelalterlichen Grab 15 von Basel-Gotterbarmweg aus dem 5. Jahrhundert von einem Feilenhauer stammt³⁰. Das nur 31 mm lange Werkzeug ist gedrungen und kurz, hat aber eine 21 mm breite, für einen Flachmeissel genügend lange Klinge und ist am obe-

ren Ende stark gestaucht, was von unzähligen und sehr kräftig geführten Schlägen zeugt (Abb. 7,1). Für Feilen wurde sowohl im «direkten Verfahren» verhütteter Stahl als auch sekundär aufgekohltes Eisen verwendet³¹. In einem Goldschmiede-Traktat des 11. Jahrhunderts wird sogar explizit eine Feile aus Damaszenerstahl aufgeführt³². Archäometrische Untersuchungen an frühromischen Feilen vom Magdalensberg / A ergaben ausgezeichnete Stähle mit überdurchschnittlich hohen Kohlenstoffgehalten von 0,93–1,8% C³³.

Feilen, insbesondere jene aus dem Metallhandwerk³⁴, begegnen uns weniger oft durch die eigentlichen Werkzeugfunde, sondern vielmehr in ihren *Spuren*, die sie auf den bearbeiteten Objekten hinterlassen haben. Im Gegensatz zu den Spuren von Polierwerkzeugen und Poliermitteln sind die gröberen Kratzer von Feilen auf korrodierten Oberflächen noch eher zu erkennen (Abb. 8). Von den äusserst zahlreichen explizit dokumentierten Feilspuren an

22 Zur Stahlherstellung in der Antike: Furger 2019. – Die zwei bei Blümner 1887A, 277 Abb. 39; 40, abgebildeten Feilen aus Nocera Umbra / I bestehen angeblich aus Bronze.

23 Generell: Pearson 1904, 5–9; Buxbaum 1932; Hugger / Mutz 1969; Steuer 1994.

24 Nessel 2010, 379 f. Abb. 2.

25 M. Martin in Cahn / Kaufmann-Heinimann et al. 1984, 132 Taf. 34,10; Riha 1986, 9; 26 f. Taf. 9,78.

26 Drexhage 1991, 399.

27 Ausführlich zu Feilen: Jacobi 1974, 15–18 Taf. 5; Gaitzsch 1980, 47 ff. (47 f. Lateinische Terminologie; 48 Bildliche Überlieferung); Steuer 1994 (293: «Der Schräghieb ist häufiger erst mindestens für die röm. Zeit belegt»). – Ausführlich zur historischen Feilenherstellung: Theophilus Presbyter (frühes 12. Jh.), Kap. 17 (Übersetzung: Brepohl 1987, 78–81); Hugger / Mutz 1969. – Kurzer Abriss der Feilen und Raspeln der Kupferschmiede in Höhne / Rösling 1839, 285 f. Taf. 22.

28 Nach D. Stender, *Werkzeuge Heute und Gestern. Eine moderne und eine römische Messerfeile im Vergleich. Ein Beitrag zur Technikgeschichte der Antike*, Tab. 1. In: www.archaeologie-krefeld.de (17.09.2012).

29 Doswald 1993, 7 Abb. 3. – Drei latènezeitliche Flachmeissel aus Manching könnten ebenfalls als Feilenhauermeissel gedient haben: Jacobi 1974, 20 Taf. 6,57–59. – Zu Feilenmeisseln: Buxbaum 1932, 23 Abb. 13; 28; Hugger / Mutz 1969.

30 Moosbrugger-Leu 1971, Taf. 71,4; Lehmann 2014, 26 (Grabzuweisung unsicher); 256–259 (Datierung) Taf. Grab 15,12.

31 Furger 2019, 29 f. Anm. 145; 55; 56; 112 f.; 153 Abb. 114.

32 Wolters 2006, 262, Rezept 4.

33 Schaaber 1964, 505 Abb. 6.

34 So zum Beispiel Pomponius Gauricus 1504: «Das Überschüssige [am Gussrohling] wird mit Meissel und Feile entfernt ...» (Brockhaus 1886, 234 f.). – Aus eindeutigem Befund die beiden massiven Rechteckfeilen aus einer Eisenschmiede auf dem Mont Beuvray / F: Duval / Lacoste 2014, 253 Abb. 24,5.6.

Abb. 5: Antike Feilen von verschiedenen Fundorten (s. Abbildungsnachweis). 1–2 kleine Flachfeilen, 3 kleine Rechteckfeile, 4–5 grosse Flachfeilen, 6–10 kleine und grosse Halbrundfeilen, 11 Lanzettfeile, 12 Rundfeile, 13–15 Sägefeilen, 16–17 gekröpfte Feilen, 18 Nadelfeile. – Es ist – auch wegen der Korrosion – im Einzelfall selten zu bestimmen, ob eine Feile für Metall, Holz, Knochen oder zur Bearbeitung eines anderen Werkstoffs gedient hat. Massstab 1:4.

Abb. 6: «Feilen hauen» auf einer historischen Aufnahme. Der Handwerker führt einen schweren Hammer in regelmässigen Takt auf den gedrunenen «Feilenmeissel» (Abb. 7), den er nach jedem Schlag für den nächsten «Hieb» um ein kleines Stück verschiebt. Der Feilenrohling ist auf der Werkbank mit Klammern fixiert, der Feilenstahl ist ausgeglüht (d. h. noch relativ weich) und wird erst nach dem Anbringen aller Hiebe gehärtet.

Abb. 7: Typische gedrungene Meissel eines frühmittelalterlichen resp. römischen Feilhauers. 1: Basel-Gotterbarmweg, Grab 15 (5. Jh.); 2: Baden / AG, Grabung ABB (1. Jh. n. Chr.). M. 1:1.

Abb. 8: Neuzeitliche, handgemachte Feile (aus einer Tuareg-Silberschmiede in Agadez / Niger) und ihre Arbeitsspuren. Oben: Originaloberfläche; unten: Makroaufnahmen der Feilspuren auf Kupfer, Bronze und Messing. M. 1:1 (unten je M. 10:1).

antiken Bronze- und Edelmetallobjekten sei hier lediglich auf einige Belege aus Augusta Raurica³⁵ und auf eine systematische Untersuchung von Bronzen des 3. Jahrhunderts v. Chr. aus China hingewiesen³⁶.

Feile im Experiment

Kleine, *handgehauene* Feile des Silberschmieds Hamid Kumama aus Agadez/Niger (1973): Testplättchen K10/B10/M10. Es sollte dokumentiert werden, welche Spuren eine vorindustrielle, handgefertigte Feile auf Buntmetallen hinterlässt und wie sich damit arbeitet (Abb. 8). Die Arbeit ist anstrengend und erfordert Ausdauer. Der nicht sehr harte Feilstahl wird nach rund 60 cm² abgefeilter Kupfer-, Bronze- und Messingfläche spürbar stumpfer. Die Qualität von Stahl und Härtung war und ist – in der Antike wie heute – für ein gutes Werkzeug ausschlaggebend³⁷.

Schleifplatten aus Blei?

Fragestellung

Ralf-B. Wartke, der den Bearbeitungstechniken altorientalischer Siegel nachgegangen ist, zitiert eine interessante Schriftquelle³⁸: «In dem sumerischen Mythos <LUGAL UD ME-LÁM-bi NIRGAL> wird erwähnt, dass der sogenannte <U2-Stein> [=Schmirgel], der in der Lage ist, den besonders harten Karneol zu durchbohren, <vom Blei ergriffen wird>. Wenn wir diese Passage so deuten, dass der Schmirgel in Pulverform in einem flachen Stück Blei eingebettet war, so ist uns aus einer philologischen Quelle der Vorläufer des uns heute vertrauten <Sandpapiers> bzw. <Schmirgelleins> bekanntgeworden.»

Die Schriftquelle mit der Beschreibung, dass Schmirgel(pulver) «vom Blei ergriffen» wird, veranlasste das Forscherteam um Leonard Gorelick und A. John Gwinnett zu einem Experiment. Sie interpretierten den Satz als Umschreibung für Schmirgel, der in einer flachen Bleioberfläche eingebettet sei. Sie bestreuten eine Bleiplatte mit abrasivem Schmirgelpulver und pressten den Belag mit Hammerschlägen in die weiche Bleiunterlage. Der Schmirgel blieb darin angeblich gut haften, und das Ganze funktionierte «befriedigend» und ohne grossen Verlust³⁹.

Interessanterweise befinden sich ähnlich lautende Anleitungen für Schmirgelpulver auf Blei im sog. «Lucca-Manuskript» aus dem 7./8. Jahrhundert⁴⁰ und in einer alchimistischen Anleitung aus dem Jahr 1732. Der Autor Johannes Kunkel gibt eine «ausführliche Beschreibung der Politur obgedachter Flüsse und anderer Edelmetalle. Erstlichen ist zu wissen, dass alles Glass, oder durch Kunst gemachte Edelmetalle, auf einerley Art und Weise können geschnitten und gepolirt werden, nemlich, man streuet gestossenen Smirgel auf die Blei-Scheiben, mit Wasser, hält den Stein darüber, und schneidet ihn also.» (Es folgt eine analoge Anwendung mit Tripelpulver auf Zinnscheiben.)⁴¹

Abb. 9: Rekonstruierte «Bleifeile»: eine flache Bleiplatte, auf welcher feiner Schmirgelsand (Abb. 110) mit grosser Kraft eingewalzt wurde. Links Randpartie, rechts Ausschnitt. Zustand nach den Schleifversuchen. M. 1:1.

Die Benutzung von Bleiplatten zum Aufbringen feiner Poliermittel hat sich bis in die Neuzeit erhalten. So zum Beispiel berichtet Heinrich Bergmann in seinem Rezeptbuch von 1920⁴², dass man die diversen «Poliermittel in der allerfeinsten Verteilung ... trocken oder mit Öl, Spiritus ... oder Wasser auf mit weichem Leder überzogenen Holzscheiben oder *Bleischeiben* aufbringt, diese in schnelle Umdrehung versetzt und das zu polierende Objekt fest anhält, nach allen Richtungen dreht und wendet, bis allseitig der geforderte Hochglanz zutage tritt.»

Rekonstruktion einer «Bleifeile» im Experiment

Ich habe versucht, diese Schleifmethode im Experiment nachzuvollziehen. Ausgangspunkt war eine flach gegossene Bleiplatte. Gemäss der Anleitung von Kunkel sowie Gorelick & Gwinnett wurde mittelfeines und sehr feines Schmirgelpulver auf die Bleioberfläche verteilt. Sowohl Einhämmern als auch Einwalzen mit einem schweren Stahlzylinder führte zu keinem überzeugenden Ergebnis: Die Schmirgelpartikel blieben nur teilweise im Blei stecken

35 Mutz 1968, 157 f. Abb. 7; Cahn/Kaufmann-Heinimann et al. 1984, 57; 61; 326; 364; 365; 370; 380 (betrifft die Kat.-Nr. 1–21, 16, 36–40, 61 und 68); Riha 1990, 46 Taf. 79, 2994; 133 Taf. 9, 166; Janietz Schwarz/Rouiller 1996, 95 Abb. 103; 175 Abb. 194; 185 Abb. 213; 189 Abb. 218; 239 Abb. 128; 246 Abb. 321; 250 Abb. 333; 257 Abb. 124 und 125; 266 Abb. 361; 274 Abb. 377 (Auswahl mit Abb.); Schaltenbrand Obrecht 1998, 202 Abb. 4; 204; Janietz 2000, 58; 65 Abb. 45; 66 Abb. 46; Berger 2002, 56 Abb. 83; Furger et al. 2009, 104 ff. Abb. 72, 22; 74, 47; 75, 131; 77, 1, 9; Schaltenbrand Obrecht 2012, 252 ff. Abb. 252–256.

36 Bronzewaffen aus dem Mausoleum Qin Shihuang («Terrakotta-Armee»): Li et al. 2011, 497 Abb. 7 und 10 («Based on measurements of the individual grooves, the diameter of the ridges or points on the file would have been approximately 100–200 µm.»).

37 Zur Aufkohlung und Härtung, insbesondere von Feilen: Furger 2019, 153 Abb. 114.

38 Heimpel et al. 1988, 198; 200; Wartke 1997, 48; Boleti 2017, 44 f.

39 Heimpel et al. 1988, 210 Abb. 8.

40 Hedfors 1932, 90 f.

41 Kunkel 1732, 185.

42 Bergmann 1920, 77.

(Abb. 9). Zwei Schleifversuche wurden sowohl mit feinstem als auch mit mittelfeinem Schmirgelpulver mit dieser «Blei-feile» unter Wasser gemacht: Ein Halbedelstein (Lapislazuli) konnte glatt und fein geschliffen, jedoch nicht zum Glänzen gebracht werden. Ein Metallstück (Silber) war gar nicht zu schleifen, weil die feinsten Schmirgelnkörner beim Schleifen rasch wieder aus der Bleioberfläche herausfielen.

Ein Nachvollzug solcher «Feilen» mit einem abrasiven Pulver, eingepresst in ein flaches Bleistück, konnte nicht mit Erfolg bewerkstelligt werden. Der Rekonstruktionsversuch bewährte sich kaum, da das eingepresste Schleifmittel zu wenig im Blei haftete. Fundstücke oder Sammlungsobjekte mit Spuren einer Beschichtung mit abrasivem Material sind mir nicht bekannt.

Schleifsteine

Historische Quellenlage

Schon Plinius erwähnt verschiedene Schleifsteinarten, die sich zum Schärfen eiserner Geräte eignen. Das Schleifen von anderen Metallgegenständen, etwa von Rohgussteilen aus *aes*, erwähnt er nicht⁴³. Er weist aber darauf hin, dass mithilfe eines Schleifsteins ein harter echter Edelstein leicht von einer billigen – weicheren – Imitation aus Glas unterschieden werden könne⁴⁴. Natürliche Schleifsteine haben sich bis heute gehalten, «trotz bedeutend besser wirkender künstlicher Produkte»⁴⁵.

Schleifsteine, die mit Öl anzuwenden sind⁴⁶, erwähnt Plinius konkret aus Kreta, «Übersee» (*transmarinisque*) und Lakonien (Berg Taÿgetos, Peloponnes/GR). Wetzsteine, die mit Wasser benutzt werden, kommen aus Italien, Naxos (Ägäis/GR)⁴⁷ und Arsinoë (? [mehrere Städte im Mittelmeerraum]). «Später» hätten sich die Schleifsteine aus Armenien (Kaukasus/ARM) durchgesetzt. Konkret: «Italien hat [uns] die Wasserwetzsteine geliefert, die das Eisen wie mit einer Feile schärfen.» Steine aus Kilikien (Kleinasien/TR) seien mit Öl wie Wasser verwendbar, und solche aus Laminium (Tarragonensis/E) seien die vorzüglichsten in Verbindung mit Speichel. Selbst von «jenseits der Alpen» kennt Plinius Wetzsteine⁴⁸. Sein Zeitgenosse Dioskurides erwähnt in seiner Abhandlung über die Steine den naxischen Schleifstein zum «Wetzen des Eisens» ebenfalls (*mat. med.* 5,149).

Natürlich unterschied auch Georg Agricola 1546 – wie es heute noch der Fall ist – Ölschleifsteine von Wasserschleifsteinen, je nachdem welches Medium einen optimal starken Abrieb und eine stets saubere Arbeitsfläche garantierte⁴⁹. Im Zusammenhang mit der Edelsteinschleiferei erwähnt er – wie schon Plinius – Wetzsteine aus Naxos und Armenien⁵⁰.

Archäologische Quellenlage

Handschleifsteine: Im archäologischen Fundgut befinden sich viele Steine mit glatten, oft typisch eingedellten Flä-

chen, die theoretisch als Schleif- (Abb. 10,1–7) oder Poliersteine (Abb. 10,8–13) hätten verwendet werden können. Einige Autoren nennen nebst den grossen Exemplaren auch die kleinen, mit der Hand geführten Wetzsteine⁵¹ oder gar Abziehsteine. Maxence Pieters hat an seinem umfangreichen antiken Material aus Gallien eine Typologie der Schleifsteine⁵² aufgestellt und ermittelt, dass dort 73% aller Schleifsteine bewusst in eine bestimmte Form gebracht worden sind. Er unterscheidet zudem zwischen «outils actifs et passifs», d. h. zwischen Steinen, die mit der Hand am zu schleifenden Objekt geführt wurden, und stationären, meist grösseren Steinen, auf denen Objekte mit der Hand hin- und hergeschliffen wurden (z. B. Abb. 26; 27)⁵³.

Handschleifsteine sind ohne Fundkontext keinem Gewerbe zuzuweisen, weder Bronzeworkstätten oder Schmieden noch solchen (Steinmetze, Metzger, Bauern usw.), wo sie zum Schleifen von Steinoberflächen oder zum Schärfen von Messern und dergleichen gedient hätten⁵⁴. In vereinzelten Fällen kann aufgrund von sichtbaren kleinsten Metallteilchen auf den Arbeitsflächen von Schleifsteinen die Bearbeitung von Gold und Eisen nachgewiesen werden⁵⁵.

43 Dafür einen Schleifstein-Aberglauben, den er als «Erfindungen der Magier» bezeichnet: «Wenn man einen Schleifstein, auf dem oft eiserne Geräte geschärft worden sind, einem an Vergiftung Leidenden ohne sein Wissen unter das Kopfkissen legt, bewirke dies, dass er sagt, was ihm eingegeben wurde ...» (Plin. *nat.* 28,47).

44 Plin. *nat.* 37,98. – In 36,54 und 37,109, erwähnt er jedoch, dass Edelsteine mit Naxos-Stein (Schmirgel?) und Wetzsteinen geschliffen würden.

45 Wahlburg 1913, 215.

46 Zu den Anforderungen an moderne Schleiföle im Maschineneinsatz: Stäger 1932.

47 Plinius lässt offen, ob er den von Dioskurides erwähnten «Naxischen Schleifstein» (Diosk. *mat. med.* 5,167) oder Schmirgel (dazu unten mit Anm. 397) meint oder ob es sich gar um ein und dasselbe Material handelt.

48 Plin. *nat.* 36,54; 36,164–165 und 18,261 (Zitat); Blümner 1887A, 353f. – Immer wieder wird auf die Unterschiede von mit Wasser verwendeten Schleifsteinen («aquarias») respektive Öl-Schleifsteinen («oleares») verwiesen, so z. B. von Weigel 1698, 371; Hartmann 1853, 7–11.

49 Agricola 1546, pag. 270f., S. 172–175.

50 Agricola 1546, pag. 278, S. 186f.

51 Pieters 2013, 102–104 Abb. 95 und 96 («outils d'aiguissage»).

52 Pieters 2013, 82–100 Abb. 72–94.

53 Pieters 2013, 82f.

54 Aus der umfangreichen Literatur zu antiken Schleifsteinen einige monographische, weiterführende Arbeiten: Jacobi 1974 (Manching/D, Spätlatène), 10f. Taf. 83–85; Lanting 1974 (mit Fischgräten-«Verzierung», römisch); Kars 1983 (Dorestad/NL, 7.–9. Jh.); Resi 1990 (Haithabu/D, wikingerzeitlich); Myrvoll 1991 (Ribe/DK, ab 8. Jh.); Mainman/Rogers 2001, 2479–2497 Abb. 1205–1211 (York/GB, wikingerzeitlich); Lamm 2008 (Helgö/S, 5./6. Jh.); Hansen 2009 (Island); Resi 2011, Abb. 14.1–14.18 (Kau-pang/N, wikingerzeitlich); Allen 2014 (Silchester/GB, römisch).

55 Pieters 2013, 97–100 Abb. 91 und 94.

Abb. 10: Römische Schleif- und Poliersteine von verschiedenen Fundorten (s. Abbildungsnachweis). 1–7 Handschleifsteine; 8–13 Poliersteine; 14–16 Schminkpaletten; 17–19 neolithische Steinbeilklingen aus römischen Fundkontexten; 20–21 Probersteine (14–21 evtl. auch als Poliersteine verwendet). M. 1:2½.

Abb. 11: Zeremonialwetzstein aus dem frühmittelalterlichen Schiffsgrab von Sutton Hoo / GB. Der 2,4 kg schwere Stein hat einen quadratischen Querschnitt, ist mit figürlichen Endstücken aus Bronze eingefasst und war nie als Schleifstein in handwerklichem Gebrauch. M. 1:4.

In anderen Fällen sind zwar keine Metallteilchen mit bloßem Auge erkennbar, auf archäometrischem Weg aber dennoch nachzuweisen (siehe Seiten 42 f. und 56).

Nebst Schleifkörpern aus Sandstein und Schiefer ist auch an andere Produkte zu denken, die zum Schleifen oder Polieren verwendet werden konnten, wie zum Beispiel Holzkohle⁵⁶, Ziegelstücke oder Ossa-Sepia-Schulpe (s. unten mit Abb. 48 und 49). Archäologisch nachgewiesen ist das bisher nur selten resp. noch gar nicht.

In aller Regel finden sich antike Schleif- und Wetzsteine im handwerklichen Kontext oder als Haushaltsgerät zum Nachschärfen von Messern, Sicheln usw. Ein Sonderfall aus dem Frühmittelalter (Mitte 7. Jh.) ist das «Zep-ter» aus dem reichen Schiffsgrab von Sutton Hoo / GB (Abb. 11)⁵⁷. Das singuläre Fundstück wurde auch als *Zeremonialwetzstein* bezeichnet und «weist eindrücklich darauf hin, dass sich die Bedeutung von Wetzsteinen auf den britischen Inseln im frühen Mittelalter nicht prinzipiell in ihrer profanen Verwendung erschöpfte»⁵⁸. Der Fund ist aufgrund fehlender Abnutzungsspuren anscheinend nie zum Schleifen verwendet worden; er ist – ohne die bronzenen Einfassungen – 58,3 cm lang und wiegt 2,4 kg. Handelt es sich dabei um einen – heute rätselhaft erscheinenden – Zeremonialschleifstein oder bloss um einen reich verzierten Wetzstein für das teure Schwert eines «Fürsten»?

Rotierende Schleifsteine in römischer Zeit? Während sich Handschleifsteine durch unzählige Funde aus römischen Zusammenhängen direkt zu erkennen geben und bei antiken Getreidemöhlen Rotationskonstruktionen sehr geläufig waren, lassen sich rotierende Schleifsteine resp. Drehschleifsteine kaum durch Werkzeugfunde⁵⁹, hin und wieder aber indirekt durch absolut parallele Schleifspuren nachweisen. Dies kann an sehr unterschiedlichen Materialien beobachtet werden, wie folgende Fundbeobachtungen aus Augusta Raurica zeigen:

- Die flache Rückseite einer Siegelkapsel aus Bronze zeigt sehr regelmässige, parallele Schleifspuren, die eher von einem rotierenden Schleifstein als von einem mit der Hand geführten Werkzeug (Feile oder Handschleifstein) stammen⁶⁰.

56 «Schleifkohle» nach Hartmann 1853, 11 f.; Schwahn 1945, 62; Untracht 1982, Abb. 14–14,16; Brepohl 2000, 373.

57 Bruce-Mitford 1978, 311–316 Abb. 235–237.

58 Mäder 2001, 75–77 Abb. 14. – Ob weitere schlanke, vierkante Schleifsteine aus «aristokratischen», vedel-zeitlichen Gräbern ebenfalls Zeremonialobjekte waren, sei dahingestellt: Lamm 2008, 117 Abb. 23.

59 Josef Arens (1963, 27) behauptet zwar, dass «in der Antike auch die rotierende [Schleif-]Scheibe» vorhanden und «im technikinteressierten alexandrinischen Zeitalter ... weit verbreitet» gewesen sei, gibt aber keine Belege.

60 Furger et al. 2009, 107 Abb. 75, 131 rechts; 169 Kat.-Nr. 131.

Abb. 12: Umzeichnung einer Gemme ohne Fundorts- und Grössenangabe. Die Darstellung zeigt einen Amor (resp. Cupido), der seinen Pfeil auf dem Schleifstein schleift – in Anlehnung an einen Horaz-Vers (s. Text). Es ist allerdings umstritten, ob es sich bei der Gemme um ein Original oder um eine frühneuzeitliche Nachschöpfung oder gar Fälschung handelt. Der dargestellte Drehschleifstein mit Fusspedalantrieb wäre die einzig bekannte antike Darstellung eines rotierenden Schleifsteins.

- Ein grosses Ziehmesser aus Eisen weist entlang der doppelseitigen Klinge auf allen vier Flanken einen deutlichen Hohlschliff auf, der eigentlich nur mit einem rotierenden Schleifstein erzeugt werden konnte⁶¹.
- Steinerne Schminkplättchen weisen zum Teil ebenfalls sehr parallele Schleifspuren auf, die am ehesten an einen rotierenden Schleifstein denken lassen⁶².

Unter dem umfangreichen Steinartefakt-Material von Augusta Raurica, das ich gut überblicke, finden sich zwar einige wenige runde Schleifsteine; sie stammen jedoch meist nachweislich aus nachrömischen Fundzusammenhängen⁶³. Sicher römische Stücke finden sich aber nicht in dieser grossen Sammlung. Franz Maria Feldhaus meint in seinen Techniklexika von 1914 und späteren Ausgaben: «Die römische Kaiserzeit soll die einfache Schleifmaschine, den runden Stein, den wir heute gewöhnlich als «Schleifstein» bezeichnen, gekannt haben. Aus der alten Literatur oder aus Funden haben wir keine Anhaltspunkte für diese Annahme einer rotierenden Schleifvorrichtung.»⁶⁴

Der römerzeitliche Einsatz rotierender Schleifsteine vor Ort lässt sich folglich und bis heute nicht mit Funden nachweisen. Die Darstellung auf einer Gemme (Abb. 12)⁶⁵, deren Echtheit allerdings bezweifelt wird⁶⁶, zeigt einen Cupido (Amor), der seinen Pfeil auf einem runden Schleifstein mit Tretantrieb schärft. Eine Ode des Horaz scheint der Darstellung Pate gestanden zu haben (Hor. *epod.* 2,8,14–16): «Es lacht darüber ... auch der wilde Cupido, der unaufhörlich seine brennenden Pfeile mit grausamem Wetzstein schärft.» Eine der ältesten gesicherten Darstellungen eines rotierenden Schleifsteins stammt aus dem 12. Jahrhundert (Abb. 13)⁶⁷.

Abb. 13: Rotierender Schleifstein, Illustration zu Psalm 63 aus dem Eadwine-Psalter (Canterbury, um 1150; kopiert aus dem Utrechter Psalter, um 820; rechts an Abb. 51 anschliessend). Der Meister schleift eine Schwertklinge, ein Gehilfe dreht das Sandsteinrad mithilfe einer Kurbel. Das viereckige Becken unter dem Schleifstein war vermutlich mit Wasser gefüllt und der Schleifstein leicht eingetaucht montiert, so dass permanentes Nassschleifen gewährleistet war.

Drehschleifsteine⁶⁸ sind jedoch archäologisch für das frühe Mittelalter resp. für die Wikingerzeit nachgewiesen, so zum Beispiel in Dorestad/NL (7.–9. Jh.)⁶⁹, Kaupang/N (9./10. Jh.)⁷⁰, Dannewerk/D-Hedeby-Haithabu (9.–11. Jh.)⁷¹, Lagore/IRL, Crannog (7.–10. Jh.; Abb. 14)⁷² oder York/GB (10./11. Jh.)⁷³. Darunter finden sich sowohl relativ grosse, dünne Scheibenschleifsteine als auch gedrungene, walzenförmige Schleifsteine von geringeren Durchmessern (Beispiele Abb. 14). Letztere sind in späterem, hochmittelalterlichem Kontext kaum mehr anzutreffen. Die Drehschleifsteine von York fanden sich inmitten

61 Mutz 1976, 39 Abb. 33.

62 Riha 1986, 48 Taf. 22, 212; 53 Tab. 9; 54.

63 Zum Beispiel ein grosser runder Schleifstein, integriert als Spolie in einem frühneuzeitlichen Tonnengewölbe beim Gemeindehaus Augst/BL: Rychener 2006, 124 ff. Abb. 22.

64 Feldhaus 1914, 954 (die Darstellung Abb. 620 eines stehenden Schleifers vor einer Maschine mit Tretad und rundem Stein bezeichnet er als «wohl gefälscht»).

65 Rich 1862, 194 (mit Abb. = unsere Abb. 12).

66 Neuburger 1981, 54 Abb. 65.

67 Zur noch älteren Bildvorlage aus dem Utrechter Psalter (um 820): Woodbury 1959, 13 f. Abb. 3; Roth 1986, 120 Abb. 83.

68 Zur Geschichte rotierender Schleifsteine: Woodbury 1959, 13–29 Abb. 3–17.

69 Kars 1983, 3–8 Abb. 92–95 (Dm. 21–64 cm); Resi 2011, 391.

70 Resi 2011, 391 Abb. 14, 17, 1 (Dm. 21, 40 und 42 cm).

71 Resi 1990, 37–39 Abb. 21 Taf. 23–26 (Dm. 8–48 cm).

72 Hencken 1950/51, 173 Abb. 90.

73 Mainman/Rogers 2000, 2479–2484 Abb. 1201–1204 (Dm. 5–24 cm, max. 54 cm).

Abb. 14: Lagore/IRL. Zwei frühmittelalterliche Schleifsteinfragmente von typisch gedrungener Form. Die rotierenden Schleifsteine jener Zeit sind in ihren Proportionen oft mehr Walze als Rad. M. 1:2.

Abb. 15: Ein «Laufschleifer» bearbeitet am «grossen Stein» einen Gewehrlauf. Gemälde aus dem «Gun Proof House» (Beschussamt) in Birmingham/GB, 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Abb. 16: «Das Setzen der Kreislinie». Nach Abschroten der unbrauchbaren Deckschicht («Schlierhaut») wird der Umriss des abzuschrotenden Schleifsteins mit einem Holzzirkel markiert. Vorne sind die Negative zuvor ausgebrochener runder Schleifsteine zu erkennen.

Abb. 17: «Das Abschroten der großen Schleifsteine». Entlang der runden Risslinie werden mit dem «Zweyspitzmaissle» so tiefe Furchen herausgespitzt, wie der Stein dick werden soll.

Abb. 18: «Das Auftheilen oder Abheben der Schleifsteine». Die zuvor eingetiefte runde Furche ist gut erkennbar. Unten, vom Rand her, werden mehrere Eisenkeile «mit dem Eisenschlägl ganz langsam» horizontal unter dem Werkstück eingeschlagen, bis sich der runde Stein vom Untergrund löst.

Abb. 19: «Das Zugscheiben der großen Schleifsteine». Das schwere Rohstück ist in einen Schuppen ausserhalb des Stollens gebracht worden, wird erneut mit dem Zirkel markiert und an der Aussenseite (=künftige Schleiffläche) mit dem «Zweispitz» regelmässig «abgehauen und Eben gemacht».

Abb. 20: «Das reine Zuhauen der Schleifsteine». Nachdem das zentrale Loch für die Drehachse ausgehauen ist, werden mit breiten, dechselförmigen Hacken die Oberflächen noch glatter «ins reine gearbeitet».

Abb. 21: «Das Schleifstein-Modeln». Nach erneutem Wenden des Steins wird die flache Seite mit dem «Schlagmaissle» nochmals abgearbeitet, «damit der Stein eine gleiche Dicke erhält». Mit einem hölzernen Massstock wird die endgültige Dicke des Schleifsteins kontrolliert.

der «metalworking industries», d. h. sie standen nachweislich in der Metallverarbeitung im Einsatz⁷⁴.

Der archäometrische resp. mikroskopische Nachweis von Drehschleifsteinen und Polierrädern in der Antike wurde meines Wissens erstmals an Bronzewaffen aus dem Mausoleum Qin Shihuang («Terrakotta-Armee») des 3. Jahrhunderts v. Chr. in China erbracht⁷⁵.

Drehschleifsteine vom Mittelalter bis zur Gegenwart

Auf die frühen, rotierenden «grossen Steine» der Messer- und Stahlwarenindustrie braucht hier nur am Rande eingegangen zu werden, da darüber eine unübersehbar grosse Dokumentation besteht (Abb. 15)⁷⁶. Drehschleifsteine wiesen in den wikingerzeitlichen Fundstätten noch bescheidene Durchmesser von 5–44 cm auf; sie erreichten in den letzten Jahrhunderten jedoch Durchmesser von 120–400 cm, was sich natürlich nicht nur in der Abbautechnik bemerkbar machte, sondern auch im Transport, der Installation in den Schleiferwerkstätten und in der Antriebstechnik⁷⁷. Über lange Zeit wurden kleinere Rundschleifsteine mit einem Tretadantrieb in Gang gesetzt⁷⁸. Solche Konstruktionen haben vielleicht auch die Fälscher (?) des Schleifers auf einer «antiken» Gemme auf unserer Abbildung 12 inspiriert.

Obschon die Römer die Wasserkraft zum Antrieb von Kornmühlen zu nutzen wussten, scheinen Wasserräder zum Antrieb schwerer Drehschleifsteine wohl erst ab dem 14. Jahrhundert im Einsatz gewesen zu sein⁷⁹. Besonders eindrücklich sind die zahlreichen Antriebskonstruktionen für Drehschleifsteine, die Leonardo da Vinci um 1500 ausgeheckt und gezeichnet hat⁸⁰.

Über den traditionellen Abbau grosser Rundschleifsteine im Steinbruch und unter Tage sind wir durch eine hübsche, reich illustrierte Handschrift aus Waidhofen an der Ybbs / A informiert (Abb. 16–21)⁸¹.

Die Schleifflächen rotierender Steine werden mit der Zeit allzu glatt, und die Poren zwischen den Körnern verstopfen. Deshalb müssen sie zwischendurch nachgeschärft werden (Abb. 22).

Die Arbeit «am grossen Drehschleifstein» wird von Friedrich Richter eindrücklich beschrieben⁸²: «Die Waffenklingen wurden im Nassen geschliffen. Über dem Schleifstein war ein Behältnis, aus dem dauernd Wasser tropfte, das unten ablied. Der Klingenschleifer lehnte halb sitzend vor dem Stein und drückte die zu bearbeitende Klinge, gehalten durch ein stützendes Stück Holz, den sogenannten Ortspon, mit den Knien gegen den rotierenden Stein. Die Arbeit, die ein grosses Feingefühl erforderte, war schmutzig

und wegen der Feuchtigkeit äusserst ungesund. Messerklingen wurden trocken geschliffen, im Sitzen und aus freier Hand. ... Der Schleifstaub legte sich den Arbeitern auf die Lungen und führte bei vielen zum frühen Tode.»

Mit dem Grösserwerden der Drehsteine im Laufe des Mittelalters wurde immer effizienter – d. h. mit zunehmendem Druck des Werkstücks auf den rotierenden Stein – geschliffen. Bedingungen waren ein mechanischer Antrieb (z. B. mit Wasserkraft), eine regelmässige Wasserzufuhr auf den Stein und eine Liegevorrichtung für den Arbeiter, dank welcher er mit dem Gewicht seines Oberkörpers viel Druck ausüben konnte (Abb. 23)⁸³. Besonders eindrücklich wird diese anstrengende und ungesunde Arbeitsposition auf historischen Fotos. Sie zeigen Männer und Frauen in Reih und Glied, wie sie liegend und vornübergebeugt Messerklingen auf grossen, von Wasserrädern betriebenen Schleifsteinen schleifen und polieren (Abb. 24)⁸⁴.

Gesundheitsgefährdung durch die Arbeit am Schleifstein

Zu den gesundheitlich bedenklichen Seiten des Schleiferberufs macht Gabriel Simons noch etwas präzisere Angaben⁸⁵: Beim Schleifen «wird ein Teil des herausgelösten Quarzsandes zu Staub zerrieben. Er verunreinigt die Atemluft, dringt in die Lunge ein und kann gesundheitliche Schäden [Silikose] verursachen. ... Die Schleiferkrankheit wurde zur Zeit der Bachkotten als unvermeidlich angesehen. Man nahm es fast als selbstverständlich hin, dass ein Schleifer früh starb.»

Diese Gefahr mag in der Antike geringer gewesen sein, weil es einerseits den mechanischen Antrieb vermutlich noch nicht gab und andererseits, weil damals noch keine so konsequente Arbeitsteilung im Metallhandwerk herrschte wie zur Zeit der Industrialisierung. Ein römischer Metall-

74 Mainman / Rogers 2000, 2484.

75 Li et al. 2011, 497. Abb. 13–15 («In some cases, it is possible to discern two stages of fine grinding / polishing on the arrowhead surfaces, one finer than the other, carried out in orientations perpendicular to each other.»).

76 Hartmann 1853, 1–7; Stier 1911, 69–72 Abb. 110–113; Landrin 1835, 126–133; Voos 1937, 43–46 Abb. 9–11; Krause 1949, 19–21. – Zum Abbau grosser runder Schleifsteine: Simons 1972; Lemmerhofer 2010, 12 f. Abb. 1.2.a–1.4.b.

77 Simons 1972, 800.

78 Schroeder 1930, Abb. 8; 52; 58; 67; 83; 88; 94; 95; Woodbury 1959, Abb. 4. – Historische Fotos: Chopin 2006, 192 f.

79 Schroeder 1930, 28.

80 Schroeder 1930, 33–55 Abb. 50; Woodbury 1959, 18–23 Abb. 8–10.

81 Engleitner 1806.

82 Richter 1996, 2.

83 Weitere historische Darstellungen dieser Arbeitsstellung: Schroeder 1930, 63–92 Abb. 61; 62; 73; 102; Woodbury 1959, 24 Abb. 12.

84 Chopin 2006, 74 f. (Abb. S. 75 = unsere Abb. 24).

85 Simons 1972, 801 f.

Abb. 16–21: Sechs Bilder (Auswahl) aus der «Schleifsteinbruch Manipulation» von Waidhofen an der Ybbs / A, gezeichnet und beschrieben von Steinbruchverwalter Johann Engleitner (1806).

Abb. 22: Fès, Marokko. Nachschärfen eines rotierenden Rundschleifsteins mithilfe einer scharfen Dechsel.

Abb. 23: Eine Liegevorrichtung für den Schleifer am grossen rotierenden Stein bringt seine Augen nahe an das Werkstück, und seine Körperhaltung erlaubt es, viel Druck auszuüben.

Abb. 24: Alte Messerschmiede in Thiers/F. Mit grosser Kraft, begünstigt durch die unbequeme Arbeitsposition, werden roh geschmiedete Messerklingen glatt geschliffen, poliert (Bild) und geschärft. «... puis les émouleurs [Schleifer], allongés sur le ventre, donnent sa forme à la lame, la polissent et l'aiguisent.»

arbeiter war vermutlich mehr Generalist, war nicht permanent mit Schleifen beschäftigt und hatte unterschiedlichere Aufgaben und mehr Abwechslung im Berufsalltag.

Ikonographische Quellenlage

Interessanterweise zeigen mehrere antike Skulpturen respektive Reliefs den Prozess des Schleifens von Metallobjekten. Offenbar wurde diese Tätigkeit lieber abgebildet als jene des Polierens (Abb. 75), Schabens (Abb. 50; 56), Ziselierens (Abb. 25), Treibens oder Lötens. Die Darstellungen zeigen auch deutlich den Unterschied zwischen den grossen, fest in der Werkstatt verankerten Schleifsteinen (Beispiele Abb. 30) und den kleinen «Wetzsteinen», die mit der Hand auf dem Metall geführt werden (Beispiele Abb. 10).

Gleich zweimal ist ein stationärer, grosser Schleifstein auf den Grabreliefs der römischen Eisenschmiedefamilie von Verria Zosime und Verrius Euhelpistus abgebildet: in Grab 29 der Nekropole Isola Sacra bei Ostia/I⁸⁶. In beiden Fällen liegt der Schleifstein auf einem hohen doppelkonischen Untersatz (Abb. 26,B,C). Der Schmied (oder spezialisierte Schleifer?) *steht* vor dem Stein und schleift darauf ein Werkstück. Ein drittes Relief stellt offenbar den Verkaufsladen des Schmiedebetriebs dar (Abb. 26,A). Man sieht überall Werkzeuge (Hammer, Amboss, Zange) und Fertigprodukte (Schere, Messer, Rasiermesser, Sägen usw.). Oben steht ein Mann, vermutlich der verstorbene Verrius, am hölzernen Tresen (ob auch er etwas schleift, ist nicht eindeutig), und darunter ist klein ein zweiter, sitzender Mann bei der Arbeit dargestellt. Guido Calza, einer der Erstbearbeiter des Grabes, beschrieb vor 80 Jahren die einzelnen Szenen und interpretierte sie als von einem «Verkäufer und Fabrikanten von Eisenwaren» stammend⁸⁷. Obschon eine Interpretation der Reliefdarstellungen schwierig sei, würden die beiden Arbeiter an den Sockeln «polieren oder schleifen» (Abb. 26,B,C). Gerhard Zimmer hebt in einem Fall (Abb. 26,C) hervor, dass «die Grundbewegung des Schleifens gut erfasst» sei. Beim besser erkennbaren Gegenstand (Abb. 26,B1) könnte es sich um einen Hammer oder eine Hacke handeln. Der sitzende Arbeiter bearbeitet eine Eisenplatte resp. er hockt vor einem Amboss (Abb. 26,A, unten).

Die römische Kopie nach einer hochhellenistischen Bronzegruppe (2. Jahrhundert v. Chr.) in Florenz zeigt einen auf dem Boden kauernenden Skythen (Abb. 27). Er schleift ein langes, breites Messer auf einem rechteckigen Stein. Diese auch «Schleifer» genannte Statue ist «ein seltenes Beispiel der Darstellung einer handwerklichen Tätigkeit in der bildenden Kunst der Antike»⁸⁸. Die Handhaltung und Lage des Messers auf dem Stein könnten auch das «Abziehen», d. h. das letzte Feinschleifen, darstellen. Der Schleif- oder Abziehstein liegt vor ihm auf dem Boden. Der Skythe schaut für einen kurzen Moment abgelenkt von seiner Arbeit auf zu seinem Opfer, dem hängenden Silen Marsyas (Abb. 27 unten).⁸⁹ Es ist denkbar, dass einige dieser Darstellungen des anstrengenden Schleifens auch Symbolcharakter haben und als Metapher für «den guten Schliff» eines Menschen

Abb. 25: Ziseleure an der Arbeit: oben an einem Helm (Wandmalerei aus Pompeji/I), unten an einem Metallgefäss (Gemme in Paris). Die Konzentration bei der anspruchsvollen Arbeit ist beiden Kunsthandwerkern anzusehen.

⁸⁶ Calza 1940, 251–253 Abb. 150–152; Daumas 1962, 254 bis Taf. 19; Zimmer 1982, 39; 183–185 Kat.-Nr. 117–119 (mit Abb.); Gaitzsch 1985, 190 Abb. 1; Baldassarre et al. 1996, 137–142 Abb. 56–57.

⁸⁷ Calza 1940, 251–253; I. Baldassarre et al. 1996, 142–147. – Für Hilfe bei der Übersetzung aus dem Italienischen danke ich Cécile Strauss.

⁸⁸ Arens 1963, 27 (Abb. S. 28).

⁸⁹ Amelung 1897, 47–49 (ohne Abb.); Baumstark/Volk 1995, 30 Abb. 11; Mandel 2007, 153 Abb. 159,a–d; Schaudolph 2007, 235–237 Textabb. 91. – Für Literaturauskünfte danke ich Annemarie Kaufmann-Heinimann.

A

C

B1

B2

Abb. 26: Ausschnitt aus mehreren Reliefdarstellungen auf dem Grab eines faber ferrarius aus Ostia / I. Der bärtige Mann steht in Arbeitsschürze aufrecht vor einem doppelkonischen Sockel, auf dem ein grosser flacher Schleifstein liegt. Auf dieser Darstellung wird das Werkstück bewegt, das er in beiden Händen hält, und nicht der Schleifstein.

Abb. 27: «Der Schleifer» resp. ein Messer schleifender Skythe. Römische Marmorkopie, Ende 1. Jh. v. Chr. Höhe 105 cm. Mögliche Aufstellungsart der Schleifer-Marsyas-Gruppe.

Abb. 28: Handschleifsteine (resp. Wetzsteine) im Einsatz: Das Relief auf einem Triumphbogen in Reims / F zeigt zwei Landwirte mit Sense und grosser Sichel. Der Linke schleift sein aufgestütztes Gerät mit einem kleinen Stein.

gelten, ähnlich wie die literarische Metapher der Probesteine als Sinnbild für die Prüfung des Charakters⁹⁰.

Auch kleine Schleifsteine finden sich bisweilen auf römischen Reliefdarstellungen, oft im Zusammenhang mit dem Nachschleifen von Sichel und Sensen bei der Feldarbeit⁹¹. Dies geschah stets stehend, mit der aufgerichteten Sense in der einen und dem Wetzstein in der anderen Hand (Beispiel Abb. 28). Sichel und Sensen werden nicht nur – mit dem Wetzstein – geschliffen, sondern sie müssen immer wieder «gedengelt» werden⁹². Das geschieht stets sitzend (Abb. 29,1). Die äusserst dünn ausgeschmiedeten Sensenschneiden werden dabei mit unzähligen Hammerschlägen ausgedünnt, und gleichzeitig wird das Material verdichtet und kalt gehärtet. Hierfür wird das Werkstück quer zu der Finne eines «Dengelhammers» (Abb. 29,2–7) und «Dengelstocks» geführt. Erst danach wird der Klinge mit dem nassen Wetzstein der Feinschliff gegeben (Abb. 28).

Anforderungen und Grössen

Mit Blick auf die variantenreichen Aufzählungen in den antiken Schriftquellen erstaunt es nicht, dass wir auch im antiken Fundmaterial *unterschiedlichste Gesteine* finden, die aufgrund deutlicher Abnutzungsspuren erkennbar als Schleifsteine im Einsatz waren. Rund drei Viertel aller römischen Schleifsteine bestehen allerdings aus *Sandsteinen*⁹³.

«Es sind mehrere Parameter wichtig, die einen guten Schleifstein ausmachen.» Für einen *guten Schleifstein*, mit welchem Metalle erfolgreich und effizient gut geschliffen und geschärft werden konnten, war ein innig gebundenes Gemenge mit scharfkantigen Körnern in guter, stabiler Bindung erforderlich. «Der Quarzgehalt alleine macht noch keinen guten Schleifstein aus. Wichtige Faktoren sind die Porosität des Gesteins, die Matrix, die Kornbindung und die Kornform der Komponenten.» Je schlechter die Kornbindung, desto weniger ist ein Stein zum Schleifen geeignet respektive desto schneller nutzt er sich ab⁹⁴. Ein

guter Sandstein, mit dem permanent gearbeitet werden kann, zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus⁹⁵: «Die leichte Ablösbarkeit der Sandkörner auf der Schleiffläche an der Peripherie der Schleifsteine bewirkt, dass sich der Stein niemals glatt reibt. Er bleibt auch bei stärkster Beanspruchung griffig, weil aus dem Untergrund stets neue Sandkornschichten hervortreten. Dies ist einerseits der Grund für die ideale Schleifwirkung der Eifeler Steine und erklärt andererseits den schnellen *Verschleiss*. Bei Sandsteinrundlingen von 2,65 m Durchmesser, den grössten, die heute verwendet werden, rechnet man je nach Härte des Materials mit einer Lebensdauer von 4 bis 6 Wochen. Man kann sich den früher enorm grossen Bedarf an Nachschub ... vorstellen.»

Tief im Sandstein eingeschliffene Bahnen zeugen zwar anschaulich vom Gebrauch der handlichen Schleifsteine (Beispiel Abb. 10,4.6), eine unebene Oberfläche war jedoch der Weiterarbeit nicht förderlich. Weil die «zu schleifenden Gegenstände grösstenteils eine schmale Bahn haben», entstehen entsprechend tiefe Furchen, was die Schleifsteine «zum Abschleifen grosser Sachen gänzlich unbrauchbar» macht⁹⁶. Es mag sein, dass aus diesem Grunde besonders stark abgenutzte Schleifsteinreste bei Ausgrabungen unerkannt blieben oder weggeworfen wurden.

Die Anforderungen an geeignete Schleifsteine orientierten sich noch im 18. Jahrhundert an den Angeboten der Natur und nicht an industriell erzeugten Produkten wie in den modernen Metallberufen: «Man macht daher die Schleifsteine theils aus gröberen, theils aus feineren Steinarten, nämlich aus einer Gattung grobkörnigen Sandstein, welcher daher insbesondere Schleifstein genannt wird, weil man ihn besonders zu Mühlsteinen gebraucht. Er besteht aus ganz feinen und ebenen Theilchen, die in sich selbst zwar locker, aber doch zusammen so fest aneinanderhängend sind, dass sie kein Wasser einziehen oder in sich lassen, welches durch den Stein hindurch rinnen könnte. Man hat von dieser Gattung: weissen Schleifstein, welcher auch Schlammstein genannt wird; lichtgrauen,

90 Aischyl. Ag. 385; Pind. Pyth. 10; Theophr. lap. Frg. 2, Abs. 4; (Ich danke an dieser Stelle Bruno Häuptli für seine Übersetzungshilfe).

91 Henning 1991, mit Abb. 6,a,b,d; 7,a,c,d,g.

92 Lehnert 2005; Chopin 2006, 99 (historisches Foto).

93 Subjektiver Eindruck vom in die Hunderte gehenden Schleifsteinmaterial aus Augusta Raurica (Augst/BL und Kaiseraugst/AG). – Konkret: Pieters 2013, 88 (74% für das Fundmaterial aus Gallien). – Siehe auch unten mit Anm. 104.

94 Hartmann 1853, 7–11; Petrascheck/Petrascheck 1950, 233–235; Simons 1972, 801; Lemmerhofer 2010, 8; 199 (Zitat).

95 Simons 1972, 801 f.

96 Höhne/Rösling 1839, 299 f.

Abb. 29: Schleifen und Dengeln lösen sich bei der Pflege von Sensen und Sichel ab. Das Dengeln bewirkt ein Verdichten und Ausdünnen der dünnen Stahlschneide und erfolgt durch viele regelmässige Schläge mit dem Hammer auf die Schneide, welche auf dem Dengelstock liegt (1). Beim Mähen bewirken Gras- und Getreidehalme ein rasches Stumpfwerden der Schneide, weshalb immer wieder mit dem Wetzstein nachgeschliffen werden muss (Abb. 28). Zwischendurch ist der Stahl entlang der Klingen so stumpf geworden, dass er nachgedengelt werden muss. Dengelhämmer weisen charakteristische Formen mit jeweils zwei schmalen Finnen auf (2–7). Nachweise: S. 118.

röthlichen und gelben Schleifstein, aus welchen Gattungen insgesamt nicht allein runde Schleif- und Wetzsteine [wie Abb. 13], sondern auch Handwetzsteine gemacht werden, welche aber mit den Handwetzsteinen nicht vermischt werden müssen, welche man aus den unten folgenden Schiefersteinen macht. ... Auch eine Gattung Schiefer, welche, zum Unterschiede von andern Schieferarten, dicker Schiefer, und von dem Gebrauche, wozu er angewendet wird, Schleifstein oder Wetzstein, *Coticula*, *Lapis fissilis* oder *scissilis*, *Coticularis* genannt wird, dient zu Schleifsteinen.» [Es folgt eine weitere Aufzählung von Schleifsteinen unterschiedlicher Farbe und Herkunft.]⁹⁷ Etwa zur selben Zeit wird andernorts ergänzend vermerkt, «dass die Schleifsteine weniger hart und spröde sein sollen, wenn sie ein Jahr und länger in Pferdemitjauche gelegen haben»⁹⁸.

Spezialschleifsteine

Nebst den weit verbreiteten Handschleifsteinen waren auch «stationäre Schleifsteine», sog. *Schleifböcke* oder *Rutschersteine*, im Einsatz (so auch Abb. 27). Gemeint sind grosse schwere Klötze aus geeignetem Gestein, die in oder ausserhalb der Werkstätten *auf dem Boden* deponiert oder gar verankert wurden. Selbst in Gebäudemauern verbaute Sandsteine konnten so «umgenutzt» werden: Dass auch

solch grosse «Schleifsteine» tatsächlich benutzt wurden, zeigen abgewetzte Flächen und Wetzscharten⁹⁹ an Steinblöcken und Bauten, die in oder weit ausserhalb von Werkstätten liegen konnten (Beispiele Abb. 30).

Eine spezielle Gattung bilden die «Abziehsteine», die heute noch von Handwerkern, Instrumentenmachern, Goldschmieden usw. für den feinsten «letzten Schliff» an Klingen, Schneiden, Sticheln, Bohren usw. im Einsatz sind. Sie sind extrem hart und feinkörnig und werden mit Öl statt Wasser verwendet. Sven Rinman nennt zu diesem Zweck den «Levantisches Wetzstein»¹⁰⁰, den man auch zur Vorpolutur von Metallflächen verwenden könne. Er sei von

97 Krünitz 1773–1858, Bd. 145, 423 ff. – Zum Schleifen von Eisen und Stahl auf dem Schleifstein (vor dem Polieren): Halle 1783, 13.

98 Rinman 1814, 24.

99 Reallexikon der Germanischen Altertumskunde (RGA) 27, 2004, 164 f. s. v. Schleifstein (J. Henning).

100 Rinman 1814, 34 f.; Rüst 1838, 241; Hartmann 1853, 25 (in Pulverform als «Ölstein-Schmigel» bezeichnet); Stier 1911, 3 und 67 f. Abb. 104–109 («Belgischer Brocken», «India-Ölstein»); Landrin 1835, 134–136; Petrascheck/Petrascheck 1950, 234; Staudinger 1955, 10 («der graubraune Levantiner [aus Dolomit ..., durchdrungen von SiO₂]»).

Abb. 30: Beispiele grosser römischer Schleifsteine. 1 und 2 Usk/GB; 3 Avenches/VD-En Selley (2,3 kg). M. 1:8.

blassgelber Farbe, an den Kanten durchscheinend und der beste Ölstein. Heute noch werden für solch feine Schärfaarbeiten natürliche Abziehsteine verwendet, vorzugsweise der «Blaue Brocken» aus Belgien und der «Arkansasstein» aus den USA¹⁰¹.

Abbau und Herrichtung von Wetzsteinen

Über den traditionellen Abbau von Schleifsteinen im 19. und frühen 20. Jahrhundert unterrichtet uns u.a. eine kleine Schrift von Helmut Keim und Ute Rautenberg¹⁰². Damit ist natürlich keine prähistorisch anmutende «Einzelfertigung» von Schleifsteinen dokumentiert, sondern eine normierte Produktion für den Massenhandel mit Wetzsteinen. Das für Wetzsteine abgebaute harte Gestein kommt im Gebiet von Unterammergeau/D nur in Lagen von einigen Zentimetern Mächtigkeit vor und musste entsprechend gezielt abgebaut werden. «Die Arbeit des Wetzsteinmachers bestand nun darin, die tauglichen Platten möglichst unbeschadet aus dem blinden Gestein herauszulösen. Zumeist sassen diese Platten so fest zusammen, dass sie herausgesprengt werden mussten ... Bei dieser Tätigkeit waren meist mehrere Wetzsteinmacher beteiligt.» Nach dem Bohren der Sprenglöcher und dem Einsatz von Schwarzpulver war das Gestein genug gelockert, um es mit dem Pickel herausbrechen zu können (Abb. 31,1). Die gebrochenen Sandsteinstücke kamen anschliessend in die Werkstatt, wo sie mit rotierenden Bandeisern und einer Wassersandschlämme, angetrieben mit Wasserkraft, in regelmässige Streifen geschnitten wurden (Abb. 31,2). Die definitive spitze Wetzsteinform wurde in den verschiedenen Grössenklassen anschliessend von Hand zugehauen (Abb. 31,3) – eine sehr staubige Arbeit. Der letzte Arbeitsgang des Glattschleifens erfolgte in zwei Schritten: Zuerst wurden die Rohlinge serienweise in Moos und Holz verkeilt und mit einer besonders konstruierten Maschine mit harten Graniten grob in spitzovale Form geschliffen (Abb. 31,4). Der zweite Schliff erfolgte einzeln von Hand an einem grossen rotierenden Schleifstein (Abb. 31,5). Bemerkenswert an diesen Arbeits-

Abb. 31: Arbeitsschritte beim Zurichten eines neuzeitlichen Wetzsteins vom Steinbruch bis zum Fertigprodukt (siehe Text).

¹⁰¹ Stier 1911, 3 («auch als «Mississippisteine» bekannt»); Eardley-Wil-mot 1927A, 54 f.; Staudinger 1955, 10.

¹⁰² Keim/Rautenberg 1987, 8–15 (Steinbruch); 16–25 (Herstellung); 30–44 (Beruf); 46–59 (Werkstatteinrichtungen) Abb. 14 (= unsere Abb. 31). – Zur Wetzsteinerzeugung in Schwarzach/A (Vorarl-berg): Koch 2016.

Abb. 32: Mit Wasserrädern angetriebene «Schleifmühlen» am Ufer der Ybbs in Waidhofen (Niederösterreich) auf einem Stich von 1831–1841 (10 × 15,5 cm). In solchen frühindustriellen Werken wurde das zeitraubende «in Form Schleifen» lanzettförmiger Wetzsteine in Serienarbeit ausgeführt. Die guten feinen Sandsteine wurden in den nahe gelegenen Steinbrüchen abgebaut.

gängen ist, dass die endgültige Form normierter Wetzsteine mit Granit- und Sandsteinvorrichtungen *geschliffen* wurde.

Technisch relativ ähnlich und in noch grösserem Umfang wurden in den letzten Jahrhunderten auch im Gebiet von Waidhofen an der Ybbs in Niederösterreich runde grosse Schleifsteine, handliche Wetzsteine und – aus grobkörnigerem Sandstein – auch Mühlsteine abgebaut und vor Ort verarbeitet (Abb. 32). Darüber geben mehrere volkskundliche, technische und geologische Arbeiten Auskunft¹⁰³.

Sandstein

Sandsteine sind die am häufigsten zum Schleifen verwendeten Gesteine¹⁰⁴. Hugo Krause charakterisiert ihre *Eigenschaften und Nutzung* treffend¹⁰⁵: «Sandstein ist ein Sedimentgestein, das aus durch in der Hauptsache tonige, auch kalkige oder silikatische Bindemittel verbundenen Quarzkörnern besteht. Man unterscheidet grob-, mittel- und feinkörnigen Sandstein mit Korngrössen von 0,1 bis 3 mm. Zum Schleifen geeignet sind Sandsteine mittlerer Härte, die vom Bindemittel abhängt, zu weiche Steine nutzen sich schnell ab, bei zu harten brechen die abgenutzten Körner, die nicht mehr schleiffähig sind, nicht aus, um neue Körner zur Wirkung kommen zu lassen. Sandstein wird von alters her zum Schleifen verwendet, in Form von Schleifsteinen bis zu 4 m Durchmesser [Abb. 15]. Zum Nassschleifen von Stahl ist der meist leicht gefärbte Eifeler Sandstein sehr geeignet, auch der Pfälzer, zum Trockenschleifen von Schwertern ist der harte englische Sandstein viel verwendet worden. Die Sandsteine sind häufig ungleichmässig, sowohl in der Korngrösse als in der Härte, auch enthalten sie oft fremde Einschlüsse, man hat sie deshalb durch Kunstschleifsteine zu ersetzen gesucht. Sie sind aber gegen-

wärtig [1949] noch in umfangreicher Anwendung und es sind auch Betriebe, die den Ersatz durch Kunstschleifsteine versucht haben, zum Naturschleifstein zurückgekehrt. Ein Nachteil des Naturschleifsteines ist auch die grössere Staubbelastigung. Man schleift aber fast immer nass. Die ungleichmässige Abnutzung macht öfteres Abrichten nötig [Abb. 22].» Den Nachteil heterogener Sandsteine bestätigt auch Bertold Buxbaum¹⁰⁶: «Unangenehm wirken beim Schleifen die ungleichen Körnungen, die Adern und die Sandstellen der natürlichen Sandsteine. Übrigens werden gute Steine immer seltener.»

Für die *Härte* eines guten Schleifsteins ist dessen Silikatgehalt massgeblich. Das betonte schon 1910 Jean Escard in seinem Handbuch «Matières abrasives»¹⁰⁷: «... il faut alors que la proportion de silice y soit suffisante; un pourcentage de 85 est juste suffisant pour cela. Par contre, les variétés qui en contiennent près de 88 p. 100, comme on en rencontre à la Ferté-sous-Jouarre, ou même jusqu'à 95 p. 100, comme celles d'Épernon, donnent des meules de première qualité.»

Die erforderliche Härte der Schleifsandsteine wird von Gabriel Simons aufgrund seiner historischen Feldbeobachtungen in der Südeifel/D noch differenziert: «Für die

¹⁰³ Engleitner 1806, 10–31; Stütz 1807, 270; Hanisch/Schmid 1901, 308 («Wiener Sandstein», grösste Jahresleistung 200 m³); Weiss/Weinek 1991; Richter 1996; Lemmerhofer 2010.

¹⁰⁴ Escard 1910, 123–125; Wahlburg 1913, 215–217; Eardley-Wilmot 1927A, 31–33 (Vorkommen in England); 63 f. (Belgien, Deutschland etc.); Voos 1937, 31 f. (nass: Eifeler Natursandstein, märkischer Schleifstein; trocken: englischer Sandstein); Kleinschmidt 1944, 6 f.; Petrascheck/Petrascheck 1950, 233–235; Staudinger 1955, 9 f.; Coes 1971, 33 f. (schwindende Bedeutung in der Gegenwart); Bayley et al. 2001, 17.

¹⁰⁵ Krause 1949, 11.

¹⁰⁶ Buxbaum 1925, 9.

¹⁰⁷ Escard 1910, 123.

Abb. 33: Auswahl aus der neuzeitlichen Schiffsladung mit Rohwetzsteinen aus der Telemark, gesunken in den 1820er-Jahren bei Flåvann/N. M. 1:4.

in zahlreichen Sorten hergestellten Werkstücke des Bergischen Kleiseisengewerbes wurden Schleifsteine ... verschiedener Härte gebraucht, die härteren zum Schärfen von Schneiden, die weicheren zum Planschleifen der Flächen z. B. von Sägeblättern, Schaufeln, Feilen und anderen Werkzeugen.»¹⁰⁸

Gute Schleifsandsteine sind nicht nur scharfkörnig, sondern auch hart. Aber: «Der mit Wasser durchtränkte Stein ist übrigens ... bedeutend *weicher* (bis zu 50%) als der trockene; man soll deshalb die Steine nicht eingetaucht stehen lassen, da sich sonst diese Seite stärker abnutzt und der Stein unrund wird.»¹⁰⁹

Das Angebot der Natur für geeignete Schleifsteine ist äusserst variantenreich¹¹⁰, so dass dem Handwerker fast überall eine grosse Auswahl an grobkörnigen, feinen, harten und weichen Sandsteinen zur Verfügung stand. In historischen Zeiten waren in Europa die Steinbrüche von Gosau-Löckermos im inneren Salzkammergut/A¹¹¹, von Waidhofen in Niederösterreich¹¹², jene in der Südeifel/D¹¹³ und der Telemark (rund um Eidsborg; Abb. 33)¹¹⁴ in Süd-norwegen als Lieferanten von Wetz- und Schleifsteinen am bekanntesten.

Erwünscht waren natürlich die *guten Eigenschaften*: Der Schleifsandstein soll, wie oben gesehen, nicht zu

stark absanden und sein Korn soll scharfkantig und möglichst abrasiv sein. Zudem ist «gleichmässiges Korn ... das nächstwichtigste an diesen Steinen, das aber nicht ohne weiteres zu sehen ist. ... Sehr gefürchtet sind die [im Sandstein eingebetteten] Kiesel, die aus glasharten Körnern verschiedenster Grösse bestehen ...»¹¹⁵. Die meisten der für den Massenexport abgebauten Gesteine mussten gut zu brechen und in Form zu bringen sein und sich natürlich gut zum Schleifen eignen, wie es Pål Nymoen treffend darlegt¹¹⁶: «The stone deposits ... are a type of quartzite ... [which have] a fine-veined form that causes it to split in two directions thus making it suitable for use as whetstone. ... [The material] is composed of a combination of a hard mineral (quartz) and a soft mineral (mica schist / muscovite). It is this combination that makes it suitable as a grinding tool; during use microscopic particles of hard quartz are released and this gives the sharpening effect.»

Dass die oben erwähnten grossen Schleifsteinabbau der Frühen Neuzeit über eine gute, internationale Verteilinfrastruktur verfügten, veranschaulicht sehr schön der Wrackfund des «Bøle Ship», das vor dem Hafenort Skien an der norwegischen Küste gesunken ist. Das am Ende des 14. Jahrhunderts gebaute Schiff war mit Hunderten von Rohwetzsteinen aus den 100 km nordwestlich gelegenen Schieferbrüchen der Telemark beladen. Auf dem Seeweg gelangten Telemark-Wetzsteine bereits zur Zeit der Wikinger bis nach England, Deutschland, Polen, Schweden und Dänemark¹¹⁷. So ist es nicht verwunderlich, dass schon damals, im 10. Jahrhundert, ein Schiff mit Wetzsteinfracht bei Klåstad/N gesunken ist¹¹⁸. Bis ins 19. Jahrhundert florierte der nordskandinavische Wetzsteinexport, was sich an einem weiteren Schiff zeigt, das ebenfalls mit Rohwetz-

108 Simons 1972, 800.

109 Buxbaum 1925, 8.

110 Stier 1911, 2f. und Kleinschmidt 1944, 6f. (geeignete Schleifsteine/Vorkommen in Deutschland); Ellis 1969; Jacobi 1974; Lanting 1974; Moore 1978; Resi 1990; Myrvoll 1991; Kresten et al. 1996; Resi 2011; Allen 2014. – Demgegenüber beschränken sich die meisten wikingerzeitlichen Schleifsteine aus Island auf zwei bis drei Gesteinsarten (Hansen 2009).

111 Hanisch/Schmid 1901, 316f. («Gosau-Sandstein», grösste Jahresleistung 150 Tonnen; «es werden nur Schleifsteine von anerkannt guter Qualität erzeugt»); Lemmerhofer 2010, 14; Lobitzer et al. 2010.

112 Hanisch/Schmid 1901, 308 («Wiener Sandstein», grösste Jahresleistung 200 m³ [ca. 520 Tonnen]); Weiss/Weinek 1991; Richter 1996; Lemmerhofer 2010.

113 Simons 1972.

114 Ellis 1969, 186f. Abb. 6; Myrvoll 1985; Kresten et al. 1996, Tab. 1; Daly/Nymoen 2008, 158; Nymoen 2009; Nymoen 2011, 89f. Abb. 4.

115 Stier 1911, 5.

116 Nymoen 2009, 168.

117 Ellis 1969; Moore 1978, 64–67 Abb. 5; Mitchell et al. 1984, Abb. 1; Myrvoll 1985; Daly/Nymoen 2008, 158; Nymoen 2011.

118 Christensen 1978, Abb. 4; Nymoen 2011, 83.

steinen aus der Telemark (Abb. 33) beladen in den 1820er-Jahren in den dortigen Binnengewässern bei Flävann/N gesunken ist¹¹⁹.

Aus dem unübersehbar grossen Angebot werden im Folgenden ein Molasse-, ein Muschel- und ein Buntsandstein getestet, die alle im römischen Fundbestand von Augst/BL als Schleifsteine belegt sind.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Alle getesteten Schleifsteine stammen aus römisch genutzten Formationen resp. Aufschlüssen. Von jedem Stück wurde eine kleine, glatte Fläche geschaffen¹²⁰ und damit nass geschliffen. Folgende Beobachtungen und Spuren wurden protokolliert (zu Quarz- und Glassand siehe auch «Schleif- und Poliermittel», unten mit Abb. 86 und 103):

1. *Molassesandstein* aus dem *Berner Seeland*, von einem originalen neolithischen Schleifstein aus Twann/BE (Streufund 1975): Testplättchen K02/B02/M02. Das Gestein (Abb. 34, oben) ist sehr abrasiv und weich. Beim Schleifen an Ort und Stelle auf dem Sandsteinschleifblock entstehen rasch Mulden; die frische Steinoberfläche ist – im Gegensatz zum verwitterten Grau – leicht grünlich (Abb. 34, Mitte). Damit der breiige Abrieb weggebracht werden kann, muss mit viel Wasser gearbeitet werden. Als handgrosser beweglicher Schleifstein ist das Material wegen des raschen Abriebs weniger geeignet.
2. *Muschelsandstein* aus dem römischen Steinbruch von *Würenlos/AG* (1970)¹²¹, Obere Meeresmolasse, grobkörnig, grauweiss gesprenkelt (Abb. 35, oben): Testplättchen K41/B41/M41. Der Schleifprozess mit dem groben Stein und Wasser ist mühsam und ineffizient, da sich die Gesteinsoberfläche rasch glatt poliert und dadurch weniger abrasiv wird (Abb. 35, Mitte). Hinterlässt auf dem weichen Kupfer (K41) grobe Schleiffrillen (Abb. 35, unten links).
3. *Muschelsandstein* aus *Mägenwil/AG* (1970), Obere Meeresmolasse, feinkörnig: Testplättchen K42/B42/M42. Trotz feinkörnigerer Struktur (Abb. 36, oben) als der verwandte Würenloser Sandstein (Abb. 35) guter Metallabtrag, auch nach längerer Benutzung des Steins. Hinterlässt deutliche Schleiffrillen, jedoch etwas feinere als mit dem Würenloser Sandstein.
4. *Roter Buntsandstein* aus *Degerfelden/D*, unterer Steinbruch (1998). Es wurde mit drei unterschiedlichen Körnungen gearbeitet:
Grobkörnig = Testplättchen K43/B43/M43 (Abb. 37, oben): rot, mit groben weissen Quarzkörnern. Die Quarzkörner lösen sich beim Nassschleifen rasch aus der Matrix und rollen (statt schleifen) auf der Metalloberfläche. Auf weicher Oberfläche (K43, M43) ist die Absandung so stark, dass der Versuch abgebrochen

werden musste. Die harte Bronze liess sich eher schleifen (B43; Abb. 37, unten Mitte). Diese Bearbeitung erzeugt sehr grobe Schleiffrillen (Abb. 37, unten).

Mittelkörnig = Testplättchen K44/B44/M44 (Abb. 38, oben): orangerot, deutlich geschichtet, porös. Identischer Effekt im Versuch wie mit dem grobkörnigen Degerfelder Buntsandstein.

Feinkörnig = Testplättchen K45/B45/M45 (Abb. 39, oben): blassrot, mit vielen kleinen, weissen Quarzkörnchen, dicht. Das Schleifergebnis ist zufriedenstellend¹²². Der Stein verursacht feine, aber noch gut erkennbare Schleiffrillen (Abb. 39, unten). Die Abrasionsfähigkeit des Steins im Gebrauch mit reichlich Wasser ist gleichbleibend.

Schiefer (Kieselschiefer, Radiolarit, Mergelschiefer usw.)

Schiefer ist nicht immer weich und stark zerklüftet, wie man ihm z. B. als Wanderer begegnet, sondern er kann auch sehr dicht und feinkörnig ausgeprägt sein. Solche Qualitäten «eignen sich als Wetz- und Abziehsteine sowie zum Feinschleifen von Metallwerkzeugen. Die *weicheren* Schiefer wirken als sog. Wassersteine mit wässrigem Aufreisschlamm durch ihren Quarzgehalt feinglättend und polierend; sie eignen sich zum Abziehen von Rasierklingen, Hobelmessern u. a. scharfen Schneiden. Die *härteren* Schiefer, die sog. Ölsteine, finden mit Ölaufstrich Verwendung zum Glätten und Schärfen feinsten Instrumente und zum Nachbearbeiten der Schneiden an Werkzeugen ...» (s. auch oben mit Anm. 99–101)¹²³. Kein Wunder, wurden solche geeigneten Steine auch als «Polierschiefer» bezeichnet¹²⁴.

119 Nymoen 2009, 174–176 Abb. 5–7. – Weitere Schiffswracks mit Wetzsteinladungen: Nymoen 2010, 152.

120 Die Steinproben wurden vom Autor gesammelt. Ich danke Steinmetz Titus Heinzelmann für das ebene Zurichten der Schleifflächen.

121 Zum Würenloser und Mägenwiler Sandstein: Doswald 1994.

122 Das Material ist jedoch offenbar gerne als Schleifstein benutzt worden, wie ein frühneuzeitlicher kleiner Drehschleifstein aus demselben feinen, intensiv roten Material aus Augst/BL zeigt (Inv. 2011.056.G00427.17, Streufund Grabung «Sägerei Ruder», unpubliziert).

123 Rüst 1838, 241; Joseph 1929, 44; Petrascheck/Petrascheck 1950, 234; Staudinger 1955, 10 (Zitat).

124 Landrin 1835, 104.

Abb. 34: Schleiftests mit Molassesandstein aus dem Berner Seeland.

Abb. 35: Schleiftests mit Muschelsandstein aus dem römischen Steinbruch von Würenlos / AG.

Abb. 34–114: Die Bilder zu den einzelnen Schleif- und Poliermitteln resp. -geräten setzen sich in der Regel wie folgt zusammen: Oben: Rohmaterial (M. 1:1), Mitte Detail(s) oder aufbereitetes Material (gepulvert; M. 1:1), unten drei Metalloberflächen mit den Arbeitsspuren im Auflichtmikroskop: links Kupfer, Mitte Bronze, rechts Messing (M. ca. 10:1).

Abb. 36: Schleiftests mit Muschelsandstein aus Mägenwil / AG.

Abb. 37: Schleiftests mit grobkörnigem Rotem Buntsandstein aus Degerfelden / D, unterer Steinbruch.

Abb. 38: Schleiftests mit mittelkörnigem Rotem Buntsandstein aus Degerfelden/D, unterer Steinbruch.

Abb. 39: Schleiftests mit feinkörnigem Rotem Buntsandstein aus Degerfelden/D, unterer Steinbruch.

Abb. 40: Schleiftests mit Schwarzem Mergelschiefer aus der Schwarzen Lüttschine, Grindelwald/BE (vgl. Abb. 67).

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Schwarzer Mergelschiefer als Schleifstein: Stücke aus dem Flussbett der Schwarzen Lüttschine, anstehend in Grindelwald/BE¹²⁵, Testplättchen K50/B50/M50 (Abb. 40, oben und Mitte). Trotz Feinkörnigkeit wird mit dem roh gebrochenen Stein auf dem Metall mehr gekratzt als geschliffen. Der Stein nutzt sich dabei kaum ab. Das Ergebnis nach längerer Bearbeitung sind matt geschliffene Metalloberflächen mit feinen Kratzrillen (Abb. 40, unten).

Unsere Versuche haben gezeigt, dass derart harte, feinkörnige «Mergel- oder Kieselschiefer» sich roh gebrochen nicht als Schleifsteine eignen, sondern ausschliesslich vorgeschliffen als *Poliersteine*. Zum Vergleich wurde derselbe Grindelwaldner Mergelschiefer als Polierstein getestet (s. unten mit Abb. 67, Testplättchen K31/B31/M31) und zudem auch hartes, feines Schieferpulver «Melser Schieferviolett» auf seine Eignung als Poliermittel geprüft (s. unten mit Abb. 93, Testplättchen K29/B29/M29).

Bimsstein

Auch *Bimssteine* wurden und werden gerne als Schleifsteine benutzt (Abb. 42 und unten mit Anm. 290; als pulverisiertes Schleifmittel siehe S. 70f.)¹²⁶.

Erhard Brepohl beschreibt die Herstellung und Eignung so: «Die rohen Brocken werden grob zugehauen und dann mit einer alten Feile in die gewünschte Form gebracht. Bimsstein eignet sich besonders zum Nassschleifen grösserer Silbergegenstände.»¹²⁷ Nebst dem Nassschleifen mit Wasser wird in wenigen Anleitungen auch Öl erwähnt¹²⁸. Bimssteine dienen dem heutigen Goldschmied auch zum Abschleifen von gebrauchten, stark benutzten Probersteinen.

¹²⁵ Urs Brendle aus Ittigen/BE danke ich für die Beschaffung des Grindelwald-Materials und für seine ausführlichen Hinweise auf petrographische Gutachten dieses Gesteins der Geologischen Institute der Universitäten Basel, Bern und Zürich (E-Mail vom 11.09.2012).

¹²⁶ Krünitz 1773–1858, Bd. 113, 77f. («Man benutzt den Bimsstein zum Reinmachen des Pergaments, Elfenbeins etc. und zum Polieren der Steine, Metalle und Gläser.»); Brockhaus 1882–1887, Bd. 3, 62f. (Verwendung sowohl als Schleifstein als auch als Schleifpulver) und Bd. 114, 133f. («Der Bimsstein ebnet zuerst das Elfenbein, Perlenmutter und Schildkröte, wenn man Figuren hinein arbeiten will; auch dient er zum Gold, Silber und Kupfer.»); Brockhaus 1882–1887, Bd. 14, 394f.; Schwahn 1945, 62; Staudinger 1955, 5 und 10.

¹²⁷ Brepohl 2000, 373.

¹²⁸ Schneider/Schneider 1928, 41.

Abb. 41: Festos/GR-Kommos. Bimssteinbrocken mit deutlichen Spuren ihrer Verwendung als Schleifsteine aus Bronze verarbeitenden minoischen Werkstätten. 1. Hälfte 2. Jahrtausend v. Chr. M. 1:2.

Literarische Quellen (s. auch S. 70f.)

Nach Reginald Campbell Thomson leitet sich das griechische Wort für Bimsstein (κίσηρις/*kiseris*; lat. *pumex*) vom akkadischen *aban kašari* ab, was so viel wie «Reibstein» heisst¹²⁹. In antiken Quellen werden Bimsstein und seine Verwendungsmöglichkeiten verschiedentlich erwähnt¹³⁰, jedoch nur selten als Schleifmittel für Metalle¹³¹. In einem Goldschmiedetraktat des 11. Jahrhunderts wird Bimsstein zum Planschleifen und Polieren von Niello-Oberflächen empfohlen¹³². In der experimentellen Archäologie hat sich Bimsstein in Verbindung mit Zitronensaft (Säure) gut als Metallschleifmittel bewährt¹³³.

Archäologische Belege (s. auch S. 70)

Minoische und helladische Zeit: Recht frühe Belege wurden in Festos/GR-Kommos an Kretas Südküste entdeckt. Unter den vielen Hundert Fundstücken «thirteen examples bear obvious signs of intentional abrasion and grooving through use». Diese werden von Harriet Blitzer gedeutet als «probable abrasive raw materials in the finishing and polishing of metal implements» (Abb. 41). 70 kleinere Bimsbrocken fanden sich sogar in einem Topfblasebalg. Die eher kleinen Brocken stammen aus mittel- oder spätminoischer Zeit (um 1900–1400 v. Chr.)¹³⁴. In den frühmi-

noischen Stadtquartieren von Mochlos/GR, ebenfalls auf Kreta, fand sich ein «unusually large depot» von Bimssteinen, das vor dem Eingang von Haus C.3 angelegt worden war: «several large bags of fist-sized and smaller pieces weighting, altogether, more than 10 kilos»¹³⁵. Auch von Poros/GR-Katsambas auf dem östlichen Peloponnes sind mehrere Bimsstein-Depots bekannt; eines enthielt «dozens of kilos of small-size pumice pebbles ... as well as several kilos of pumice powder»¹³⁶. Bimssteinstücke, die vermutlich vom Thera-Vulkanausbruch stammen, wurden u. a. an die südliche Küste des Peloponnes geschwemmt, wo sie vermutlich als Schwemmmaterial um 1500–1450 v. Chr. in die Siedlung von Nichoria/GR gebracht wurden¹³⁷. Dieselbe Herkunft – ebenfalls vom Thera-Ausbruch – wird von grösseren Ansammlungen von Bimssteinen sowohl im spätminoischen Sissi/GR als auch in Malia/GR-Quartier Nu auf Kreta vermutet: An beiden Orten sind um 1640–1600 v. Chr. in einigen Räumen, zusammen mit den Fragmenten grosser Keramikgefässe, viele Bimssteine gefunden worden, was von den Autoren als bewusst angelegte Vorräte von Abrasiva für die Stein- oder Metallverarbeitung («artisanal activities») interpretiert wird¹³⁸. – Der Thera-Vulkanausbruch um 1550 v. Chr. hat dazu geführt, dass damals Bimssteine auf dem Meer bis an die ägyptische Küste geschwemmt und dort von den Leuten aufgelesen und in die Siedlungen gebracht worden sind. Ein Beispiel ist Avaris auf dem Tell el-Dabca/AEG 70 km hinter der Küste im östlichen Nildelta, wo die bis zu faustgrossen Bimsbrocken «collected in workshops» sein sollen¹³⁹. Vereinzelte Bimsstücke aus derselben Zeit fanden sich sogar in Gräbern, so etwa in Theben/AEG, Maiyana/AEG oder Al-Fayyūm-Kahun/AEG¹⁴⁰. Ein Bims-

129 Thompson 1936, 4 (zitiert nach Goltz 1972, 162 f. Anm. 304–310).

130 Theophr. *lap.* 19–20; Diosk. *mat. med.* 5,108; Isid. *etymologiae* 16,3,7. – Zusammenfassend Goltz 1972, 162 f.

131 Siehe die Zusammenstellung unten S. 70 f. – Ebenso wenig in einigen jüngeren mineralogischen und lexikalischen Werken, z. B. Agricola 1546, pag. 272 f., S. 175–177.

132 Wolters 2006, 264, Rezept 5.

133 Formigli et al. 1999, 320 f. Abb. 25. – Freundlicher Hinweis von Frank Willer, Rheinisches Landesmuseum, Fachbereich Metallrestauration, Bonn/D.

134 Blitzer 1995, 509 Taf. 8.109 (= hier Abb. 41); Brogan 2008, 165 Anm. 41.

135 Brogan 2008, 165.

136 Zitiert in Brogan 2008, 265 Anm. 40.

137 Rapp et al. 1973, 471.

138 Driessen/Farnoux 1994, 62 Anm. 24 (Malia; «Surprising was the presence of large quantities of pumice in all of the central rooms: a few pieces had obviously been used in some activities, others may have been part of ceiling or roofing material.»); Gaignerot-Driessen/Driessen 2012, 39 f. Abb. 5.3–5.5 (Sissi) und 40 f. Abb. 5.6 (Malia).

139 Bietak 1996, 76 f. Abb. 34A und 34B.

140 Foster/Bichler 2003, 433–435 resp. 437 («How long it took Thera pumice to reach the Egyptian coast is critical for both sides of the argument. Studies of the travelling velocity of floating pumice

Abb. 42: Antike Schleifbrocken aus Bimsstein. 1.2 Lyon / F, rue des Farges; 3 Dún Aonghasa / IRL (bronzezeitlich); 4 Saint-Amand-sur-Ornain / F, Le Cul de Breuil; 5 Autun / F, Lycée militaire; 6 Autun / F, le Faubourg d'Arroux; 7 Mont Beuvrais / F-Bibracte, La croix du Rebout. M. 1:2.

steinbrocken aus «pit 1» von Theben «was found in a cosmetic box» und könnte daher zum Zerreiben von Kosmetika oder Medizin gedient haben.

Bronzezeit: Fort Harrouard / F¹⁴¹; Dún Aonghasa / IRL, bronzezeitliche Befestigung (Abb. 42,3; «As an abrasive ... pumice ... could have been used to burnish cast bronze items. Pumice ... would have been picked up from the shore.»)¹⁴².

Griechische Antike: Athen / GR-Agora (4. und 2. Jh. v. Chr.)¹⁴³ und Korinth / GR-Gymnasiumsbezirk¹⁴⁴ (1. Jh. n. Chr.; beide Belege aus Grossbronzengiessereien); Nemea / GR (aus einer Bronzegiesserwerkstatt)¹⁴⁵; Apliki Karmallos auf Zypern (u. a. mit Kupferverhüttung)¹⁴⁶.

Römische Zeit: Saalburg / D (?)¹⁴⁷; Mont Beuvrais / F-Bibracte, La croix du Rebout (Abb. 42,7)¹⁴⁸; Autun / F-Faubourg d'Arroux (Abb. 42,6)¹⁴⁹; Autun / F-Lycée militaire (Abb. 42,5; wiegt nur 0,3 g)¹⁵⁰; Saint-Amand-sur-Ornain / F, Nasium, Le cul de Breuil (Abb. 42,4)¹⁵¹; Elginaugh / GB, Flavian fort¹⁵²; North Uist / GB (Äussere Hebriden), Sollas (Abb. 42,8; 1.–2. Jh. n. Chr.)¹⁵³.

have shown an average drift of eight to ten km per day, the speed depending on the size of the lumps or agglomerates, with cold pumice like the Theran material able to float for many months and thousands of kilometers. Comparative observational and experimental data all indicate that Theran pumice could easily have washed up in Egypt beginning about two months after the eruption.»; Foster et al. 2009, 172–174.

141 Mohen / Bailloud 1987, 138; Pieters 2013, 84f.; 91; 131 (Anteil des Bims an den Schleifsteinen: 13%).

142 Cotter 2014, 79 (mit Abb.).

143 Mattusch 1975, 139 Kat.-Nr. 84–86 (foundry III, 4. Jh. v. Chr.); 165 Kat.-Nr. 126 (foundry V, 2. Jh. v. Chr.); Zimmer 1990, 225 (mit älterer Lit.) Kat.-Nr. 8.8.15.

144 Zimmer 1990, 225 (mit älterer Lit.) Kat.-Nr. 8.8.19.

145 Zimmer 1990, 56; 223 Kat.-Nr. 8.8.1 (um 450–425 v. Chr.).

146 Kassianidou 2007, Taf. 84, A4:15.

147 Jacobi 1897, 536, erwähnt zwar Bimsstein unter den Saalburger «Fundstücken verschiedener Art», doch das Material wird nicht näher beschrieben oder dokumentiert.

148 Pieters 2013, Abb. 76, 142.

149 Pieters 2013, Abb. 76, 773.

150 Pieters 2003, Abb. 88.

151 Bonaventure / Pieters 2012, 128f. Abb. 123–124; Pieters 2013, Abb. 75.

152 Slater 2007, 513 (494 g, «vitrified stone / pumice»; aus einem römischen Bronzehandwerk-Kontext).

153 Campbell 1991, fig. 22, 508 (period B).

Abb. 43: Hephaistos schleift einen Schild, offenbar mit einem Brocken Bimsstein (schematisches Detail oben links); attisch rotfigurige Amphore, um 490–480 v. Chr.

Eine Darstellung auf einer Amphora aus Nola/I (heute in Boston/USA) zeigt eine aufschlussreiche Szene: Hephaistos schleift die Oberfläche eines Rundschildes glatt. Sein Werkzeug ist ein länglicher Stein. Die feinen gemalten Tüpfchen auf dem Stein lassen vermuten, es handle sich um einen porösen Bimsstein (Abb. 43)¹⁵⁴.

(Zu Bimssteinpulver als «Schleif- und Poliermittel» sowie Herkunft und historischen Belegen für Bims s. unten mit Anm. 287.)

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

1. *Bimsstein* aus Perissa auf Santorin/GR¹⁵⁵: Testplättchen K15/B15/M15 (Abb. 44, oben). Dieser Bimsstein ist – nass angewendet als Schleifstein mit glatter Arbeitsfläche (Abb. 44, Mitte) – nicht effizienter als Bimssteinpulver (s. unten mit Abb. 79, Testplättchen K11/B11/M11). Als Schleifklotz hinterlässt dieser Bimsstein zudem deutliche parallele Schleifspuren (Abb. 44, unten) und erzeugt keinen glänzenden Politureffekt (Abb. 44, unten) wie das mit Leder oder Tuch eingeriebene Bimssteinpulver (Abb. 79, unten).

2. *Bimsstein* aus der Eifel bei Andernach/D: Testplättchen K48/B48/M48 (Abb. 45, oben). Auf harter Bronze wird bei nasser Anwendung rasch ein guter Feinschliff erreicht (Abb. 45, unten Mitte; B48); auf Kupfer und Messing ist der Schleifeffekt weniger befriedigend (Abb. 45, unten links und rechts; K48, M48). Auch dieser Bimsstein erzeugt knapp erkennbare Schleifriden.

Ziegelbrocken

Da Ziegelpulver ein gutes Feinschleifmittel ist (s. unten mit Abb. 114), habe ich auch mit einem hart gebrannten römischen *Dachziegel* als «Schleifstein» experimentiert (Abb. 48). Römische Ziegelbrocken, die ringsum Schleifspuren aufweisen, zeigen, dass dieses Material bisweilen effektiv verwendet worden ist (unten mit Abb. 46,1–3). Unser Experiment zeigte jedoch, dass Ziegelbrocken sich für einen Dauereinsatz nicht eignen.

Archäologische Quellenlage

Aus Augusta Raurica (Insula 8) liegen wenige kleine *Ziegelbruchstücke* vor, die zu *runden* Scheiben abgearbeitet und offensichtlich als «Schleifsteine» für Bronzen benutzt worden sind (Abb. 46,1–3). Auf ihren umlaufenden, überschlifften Bruchkanten liessen sich leicht erhöhte Bleiwerte (Abb. 46,1) resp. Konzentrationen von Kupfer und Blei (Abb. 46,3) nachweisen, die signifikant höher sind als die Werte unverarbeiteter Tone (Abb. 47)¹⁵⁶.

- Inv. (Museum Augusta Raurica): 1997.060.D05754.126 (Abb. 46,1), Rundel aus einem Dachziegel, beidseitig und aussen herum abgeschliffen, eine Seite produktionsbedingt sandiger als die andere (verwendet als «Schleifstein»?), Fundkomplex (FK) D05754, Augst/BL, Insula 8, durch Keramik-Mitfunde datiert um 80–150 (guter, typologisch einheitlicher FK).
- Inv. 1998.060.D08766.42 (Abb. 46,2), Rundel aus einem Dachziegel, aussen herum abgeschliffen, beide flache Seiten roh (verwendet als «Schleifstein»?), FK D08766, Augst/BL, Insula 8, durch Keramik-Mitfunde datiert um 250–350 (wenig Material).
- Inv. 1998.060.D09318.1 (Abb. 46,3), flache Wandscherbe, wohl einer gallischen Amphore, aus hellrötlichem Ton, oval-verrundet begrenzt, Bruchkanten vollständig abgeschliffen und beide Flachseiten ebenfalls beschliffen (verwendet als Schleif- oder Polier-«Stein»?), FK D09318, Augst/BL, Insula 8, durch Keramik-Mitfunde datiert um 100–200 (wenig Material).

Im Experiment erwiesen sich solche Ziegel- oder Keramikschleifkörper als wenig effizient und nachhaltig, ganz im Gegenteil zu *Ziegelpulver*, das sich erstaunlich gut als Schleifmittel eignet (unten mit Abb. 114).

Ganz ähnliche Ziegel- und Amphorenrondellen mit möglicherweise überschlifften Aussenkanten fanden sich auch in Laufen-Müschhag/BL (Abb. 46,5), Chur-

¹⁵⁴ Ziomecki 1975, 100 Abb. 40; 150 Kat.-Nr. 14; Brommer 1978, 20 Abb. 9; Hermary/Jaquemin 1988, 631 Taf. 386,4 (= unsere Abb. 43).

¹⁵⁵ Keller et al. 2014.

¹⁵⁶ Furger 2018, Tabelle 3.

Abb. 44: Schleiftests mit Bimsstein aus Perissa auf Santorin / GR
(vgl. Abb. 79).

Abb. 45: Schleiftests mit Bimsstein aus der Eifel bei Andernach / D
(vgl. Abb. 80).

Abb. 46: Runde römische Keramikscheiben (meist Ziegel) mit umlaufenden Schleifspuren. 1 weist an der Aussenkante Spuren von Blei auf, 3 hohe Anteile von Kupfer und Blei; mit ihnen wurde offenbar Metall geschliffen. – 1–3 Augst/BL, Insula 8; 4 Chur-Dosch/GR; 5 Laufen-Müschhag; 6–8 Nîmes/F-Les Halles; 9–14 Moigrad/RO-Porolissum. M. 1:2.

Messmodus	Proben-Nr.	Material	Objekt	Messstelle	Fe ₂ O ₃	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Hg	Pb	Au
TestAll Geo	1997_060_D05754_126_a	Keramik	Schleifziegel	Oberfläche	4,887	39	101	27	8	10	7	93	7
TestAll Geo	1998_060_D08766_042_a	Keramik	Schleifziegel	Oberfläche	6,192	37	119	19	11	7	6	34	6
TestAll Geo	1998_060_D09318_001_a	Keramik	Schleifziegel	Oberfläche	6,895	657	118	58	9	9	4	839	7

Abb. 47: Nachweise von Spuren der in der Antike bekannten Metalle, gemessen auf den Oberflächen der Aussenkante der runden Keramik-Schleifscheiben aus Augst/BL (Augusta Raurica; Abb. 46, 1–3). Werte in ppm (Fe₂O₃:%-Werte).

Dosch/GR (Abb. 46,4), Nîmes/F (Abb. 46,6–8) und Moigrad/RO-Porolissum (Abb. 46,9–14). Aus der römischen Eisenschmiede von der «Porte du Rebout» des Oppidums von Mont Beuvray/F-Bibracte stammt ein Amphorenhenkel mit drei längs verlaufenden klaren Schleiffacetten¹⁵⁷, der aufgrund seiner Fundvergesellschaftung sicher zum Schleifen von Eisenobjekten verwendet worden ist.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Verwendet wurde ein originaler römischer Ziegel aus Windisch/AG, hart gebrannt und dicht: Testplättchen B-ZF (Abb. 48, oben). Eine geglättete Bruchfläche wurde als Schleifkörper benutzt, zuerst auf Kupfer. Am Anfang trägt die Ziegelfläche das Metall gut ab, aber schon sehr bald wird sie trotz Wasserzufuhr zu glatt und verliert an Abrasivität. Der feine nasse Keramikabrieb ist am Ziegel verschmiert und hat die Schleiffläche offenbar rasch verschlossen. Die anderen beiden Metallplättchen (Bronze, Messing) wurden daher nicht mehr geschliffen.

Es verwundert daher nicht, dass im umfangreichen Baukeramikbestand von Augusta Raurica keine Stücke mit derart glatt geschliffenen Teilflächen zu finden sind¹⁵⁸. Nur Bruchkanten von Ziegel-Rondellen scheinen aufgrund unserer archäometrischen Nachweise gelegentlich zum Schleifen von Metallen verwendet worden zu sein.

Zu noch deutlicheren Erkenntnissen gelangte auch Maxence Pieters nach vergleichenden Experimenten mit Keramik und Sandstein auf Eisen und Messing: «Pour le moment, seuls les abrasifs céramiques semblent être caractéristiques du travail du métal.»¹⁵⁹

Ossa-Sepia-Schulp

Archäologische Quellenlage

Ossa Sepia (Abb. 49, oben) war in der Antike leicht erhältlich und ist ab dem Frühmittelalter als Gussformmaterial nachgewiesen (dazu unten mit Anm. 344). Wegen seiner sehr feinen abrasiven Eigenschaft käme das Material theoretisch auch als Schleifmittel infrage. Dies trifft für das Pulver des Schulp-Inneren zu (s. unten mit Abb. 99), nicht jedoch für die ganzen Stücke, die sich überhaupt nicht als «Feilen» eignen!

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Ossa-Sepia-Platte aus dem Goldschmiedebedarf: Testplättchen B-OS (Abb. 49, unten). Der Test, zuerst auf Bronze, musste rasch abgebrochen werden. Die Ossa-Sepia-Platte wurde als Ganzes angewendet. Sie erwies sich auf der Aussenseite als zu hart und nicht abrasiv, auf der Innenseite jedoch als zu weich (Abb. 49, Mitte): Ein «Feilen» damit lässt sofort tiefe Furchen entstehen und macht das Stück rasch

unbrauchbar. Das Kernmaterial lässt sich jedoch – nach Einweichen in Wasser – leicht auskratzen und als Polierpulver verwenden (dazu unten mit Abb. 99, Testplättchen K06/B06/M06).

Schaber

Schaben muss aufgrund der häufig zu beobachtenden Werkspuren an Metallobjekten¹⁶⁰ die gängigste Glätttechnik in der Antike gewesen sein. Fundobjekte von Schabern (Abb. 57) und bildliche Darstellungen des Vorganges (Abb. 50)¹⁶¹ sind jedoch äusserst selten. Im Mittelalter war die Technik immer noch weit verbreitet und fand bei den «Schwertfegern» eine hohe Spezialisierung (Abb. 51)¹⁶².

Da die an sich einfache Technik in Europa heute fast vergessen ist, muss sie aufgrund der

- Werkspuren an antikem Gerät (Abb. 60) und
- anhand allfälliger Werkzeugfunde (Abb. 57)¹⁶³ oder
- Werkzeugabbildungen (Abb. 52) erschlossen werden, denn heutige Schaber sind entweder grosse, klobige Zieh-schaber (Abb. 53; 61), die jedoch nicht die am antiken Fundstoff zu beobachtenden schmalen Schabstriemen erzeugen (siehe unten mit Abb. 60), oder es handelt sich um feine Goldschmiedeschaber mit dreieckigem Querschnitt, gefasst in einem Handgriff, die drei geschärfte Kanten aufweisen und mit viel Kraft auf der zu schabenden Fläche gestossen werden (Abb. 52, l.m.; 54)¹⁶⁴. Für das Ausschaben von Vertiefungen eignen sie sich überhaupt nicht; da braucht es zwangsweise einen Zieh-schaber (Abb. 52, n.o.; 61) oder aber einen Meissel.

¹⁵⁷ Duval/Lacoste 2014, 253 Abb. 24,1.

¹⁵⁸ Freundlicher Hinweis von Rudolf Känel, der zurzeit die Baukeramik von Augusta Raurica bearbeitet.

¹⁵⁹ Pieters 2013, 93 (Experimente: 91 f. Abb. 84 und 85).

¹⁶⁰ Hilpke 1956, 52 Abb. 33–35 (Schaber allgemein); Foltz 1984, 362 Abb. 147; 365 ff. Anm. 20 Taf. 221; 223,2; 228,3; 234,3 (spätantike Objekte aus dem Silberschatz von Kaiseraugst/AG); Naumann 1995, 285 Abb. 6 («Ziehhobel») und 7 (Germanisches spätantikes «Fürstengrab» von Gommern/D); Mattusch 1996, Abb. 24, i und 55, i (antike Grossbronzen); Brepohl 2000, 203 Abb. 5.5 (Schabwinkel); Binggeli/Sander 2012, Abb. S. 27 (Kline aus dem keltischen Fürstengrab von Hochdorf/D).

¹⁶¹ Jahn 1861, 31 Taf. 9,8, rechts unten (mit abweichender Interpretation: «Daneben sitzt ein jugendlicher Satyr ... und ist eifrigst bemüht eine Beischiene zu polieren.»).

¹⁶² Voos 1937, 5–9 Abb. 1–3 (Abb. 3 = unsere Abb. 51); Brepohl 1987, 120 (Theophilus Presbyter [frühes 12. Jh.], Kap. 91 [Schaben einer Niellopolitur]).

¹⁶³ Blümner 1887A, 276 Abb. 34 («Schab- oder Kratzseisen») aus Châtellard in der Champagne/F; von Groller 1905, 102 Abb. 57,7 (kleiner Dreikantschaber aus Carnuntum/A); Werner 1981, 46 Abb. 13 (frühmittelalterliche Zieh-schaber [?] aus Helgö/S).

¹⁶⁴ Perret 1780, 117 f. («Kratz-Planier-Putzeisen»); Pearson 1904, 9–12 Abb. 7–9; Davidson 1927, 34–36 Abb. 68–70; Schneider/Schneider 1928, 60 f. Abb. 46 (Dreikantschaber = hier Abb. 54) und 47 (Zug- und Hakenschaber = hier Abb. 53); Untracht 1982, Abb. 1–25.

Abb. 48: Schleiftest mit der Kante eines hart gebrannten römischen Dachziegels (vgl. Abb. 114).

Abb. 49: Schleiftest mit einem Ossa-Sepia-Schulp (vgl. Abb. 99), vorerst auf einer Bronzeoberfläche (unten), wegen Ineffizienz abgebrochen.

Abb. 50: Ausschnitt aus einem Relief mit «Hephaistos in der Waffenschmiede» im Louvre in Paris (Ausschnitt, s. auch Abb. 69). Ein junger Gehilfe hält den Teilguss eines lebensgrossen Statuenbeines (oder eine Beinschiene) auf seinen Beinen und poliert oder schabt mit grosser Aufmerksamkeit die Metalloberfläche mit einem massiven Werkzeug.

Abb. 51: Mittelalterliche Darstellung eines «Schwertfegers», Illustration zu Psalm 63 aus dem Eadwine-Psalter (Canterbury, um 1150; links an Abb. 13 anschliessend). Deutlich sichtbar ist, wie der zweihändig geführte Querschaber mit breiter Klinge längs über die Schwertklinge gezogen wird.

Abb. 52: Antike und traditionelle Schaber (nach Kluge 1927): a–f antike Rundscher auf dem Grabrelief eines Messerschmieds; g antiker Geradschaber; h–k Rundscher auf der Berliner Erzgiesserschale (Abb. 56); l & m moderne Dreikantscher; n & o moderne Ziehscher (Abb. 61). Ohne M.

Abb. 53: Vier «Zug- und Hakenschaber» in einem Klempner-Handbuch von 1928.

Abb. 54: «Dreieckschaber» in einem Klempner-Handbuch von 1928, oben Werkzeug des 20. Jahrhunderts.

1

2

3

10 cm

Abb. 55: 1: griechischer Meissel aus einer antiken Bronzegießerei in Nemea / GR; 2: kleiner Meissel (das breite Hinterende spricht gegen einen Stichel) aus Wetwang Slack / GB, mit Belegen der Bronzeverarbeitung, späteisenzeitlich bis römisch; 3: neuzeitlicher Metallmeissel zur Oberflächenbehandlung. Man beachte die typischen Anschliffwinkel der Stücke. M. 1:1.

Abb. 56: Sog. «Erzgiesserschale» in Berlin (Ausschnitt), um 480 v. Chr. Arbeiter glätten die Oberfläche einer frisch gegossenen Grossbronze mit strigilisförmigen, aber sehr massiven und scharfen Schabern. Die Arbeit am harten Metall ist anstrengender, als es auf der Darstellung scheint. Oben links und rechts des Bildausschnittes hängen u. a. weitere Schaber.

Ein solcher *Meissel* mit typisch spitzwinkliger Schneide aus dem 5. Jahrhundert v. Chr. wurde in einer Bronzegiessereiwerkstatt in Nemea/GR gefunden (Abb. 55,1)¹⁶⁵. Er ist 96 mm lang, war aber wohl mit seiner 13 × 13 mm im Querschnitt messenden Angel mit einem Holzgriff versehen. Solch asymmetrisch zugeschliffene Meissel für den Metallschnitt finden sich vermutlich oft – aber unerkant – im archäologischen Fundgut. Wegen der Korrosionsanfälligkeit solcher schlanken Eisenwerkzeuge sind sie aber oft nicht sicher zu erkennen (Beispiel Abb. 55,2). Ein Meissel ist, von seiner Wirkung auf das bearbeitete Metall gesehen, nur die vergrösserte Ausgabe eines Gravierstichels, «eigentlich ein schwerer Stichel, der nicht mit der Hand, sondern durch Hammerschlag bewegt wird»¹⁶⁶. Nach Gerhard Zimmer dienten Meissel «in erster Linie dazu . . . , die Oberfläche der Gussbronze zu glätten und von Gussüberständen zu reinigen». Ihre einseitig angeschliffenen Schneidwinkel sind bis zu den modernen Metallmeisseln dieselben geblieben (Abb. 55,3).

Heute ist diese einst weit verbreitete Technik in Europa selten geworden¹⁶⁷. In Asien hingegen wird sie zum Glätten von Gefäss- und Klangschalenoberflächen noch immer angewandt¹⁶⁸.

Strigilisförmige Schaber

Kurt Kluge widmet dem Schaben antiker Bronzen ein ausführliches Kapitel und charakterisiert das Gerät so: «Auch der Schaber hebt [wie der Meissel] Späne ab, jedoch wird er durch die Kraft der Hand allein bewegt. Die Späne können bei dieser Art der Bewegung nur sehr klein sein, und die Wirkung des Schabers ist keine modellierende mehr, sondern eine ausgleichende Oberflächenarbeit. Er greift nicht ins Metall hinein wie der Meissel und die Feile, sondern wirkt nur auf die oberste Erzschiicht ein. . . . Sein Gang hinterlässt auf dem Erz eine breite und glänzende Bahn.»¹⁶⁹Die berühmte griechische «Erzgiesserei-Schale» in Berlin zeigt

mehrere grosse, strigilisförmige Schaber im Einsatz beim Glätten einer überlebensgrossen Bronzestatue (Abb. 52,h–k; 56, oben)¹⁷⁰. Sie sehen mit ihrer geschwungenen Schabkante ähnlich aus wie die auf derselben Schale dargestellten Strigiles (Körperschaber). Für Kurt Kluge «leuchtet ein, dass eine so grosse, ungeteilte Schneide nur bei grösster Schärfe und Dauerhaftigkeit [Härte des Stahls] auf das Erz wirken kann».

Die wenigen bekannten antiken Abbildungen von langen geschweiften Schabern hat Kurt Kluge zusammengestellt (Abb. 52,a–k)¹⁷¹. Offenbar gelingt das Schaben mit solchen Geräten, wie auf der «Erzbildner-Schale» abgebildet, trotz unserer Bedenken (s. unten). Die Versuche von Edilberto Formigli in Murlo/I haben jedoch zu brauchbaren Ergebnissen geführt. Die hierfür nachgeschmiedeten Geräte entsprechen den ikonographischen Quellen (52,a–f.h.i) und haben massive Stahlklingen, die gut geschliffen sind¹⁷².

¹⁶⁵ Zimmer 1990, 56; 223 f. Kat.-Nr. 8.8.2, Taf. 28,a.

¹⁶⁶ Kluge 1927, 130 f. Abb. 30; 139 (Zitat).

¹⁶⁷ Gauricus 1504, 230 f. (Kap. 6, § 6).

¹⁶⁸ Srinivasan/Glover 1995, 72 Abb. 5 (Indien); Furger 2017A, 86 Anm. 248; 89 Anm. 256; 143 Anm. 460; 199 Abb. 349,C; 247 Abb. 461 (Nepal).

¹⁶⁹ Kluge 1927, 136–138 Abb. 33. Der Autor philosophiert über den antiken «Rundschaber» und schwärmt von der Möglichkeit, damit etwas «glatt und glänzend Rundes» zu erschaffen, ganz im Gegenteil zum Werkzeug der Neuzeit, «dessen unorganische Form bereits beim Ansehen einen Ruck gibt».

¹⁷⁰ Jahn 1867, Taf. 5,4 (von unserer Abb. 56 abweichende Umzeichnung); Blümner 1887A, 330–332 Abb. 50 (= unsere Abb. 56); Pflug 2006, 184 ff. («Glättstrigel») Abb. 2; 5.

¹⁷¹ Kluge 1927, Abb. 33. Die antiken Beispiele bei Kluge sind kommentiert und abgebildet bei Jahn 1861, 328–330 Taf. 9,9a (= Abb. 52,a–f; «sichelförmige Messer, die zu Fisteloperationen gebraucht wurden und werden»); Blümner 1887A, 371–373 Abb. 60; 265 f. Abb. 53 (= Abb. 52,g); 330–332 Abb. 50 (= Abb. 52,h–k).

¹⁷² Formigli et al. 1999, 321 Abb. 26.

Abb. 57: Eisenzeitliche Ziehschaberklagen mit Schaftdorn aus Eisen (und vermutete Belege): M... = Manching / D; G... = Gellért / H. – Frührömische Exemplare: W... = Magdalensberg / A; C... = Cáceres el Viejo / E. – Frühmittelalterlich-wikingische Exemplare: He... = Helgö / S; Ha... = Haithabu / D. – Latènezeitlicher Tüllenschaber (?); S... = Sanzeno / I (Latènezeit). M. 1:2.

Ziehshaber

Man kann sich in Kenntnis des heutigen Werkzeugangebots – und angesichts des äusserst hohen erforderlichen Drucks vom Werkzeug auf das Objekt – nur schlecht vorstellen, wie man mit einem so grossen Gerät effizient eine harte Bronze- oder andere Metalloberfläche glatt schaben kann. Markus Binggeli, ein Praktiker antiker Metalltechniken, schreibt dazu: «Ich kann mir auch nicht vorstellen, dass man mit einem Schaber von der Grösse einer Strigilis eine Statue glättet. Ein Schaber braucht recht hohen Druck und wirkt immer nur auf einem schmalen Streifen von 2–4 mm; wenn man breiter arbeiten will, bringt man von Hand den nötigen Druck kaum mehr auf. ... Auch Theophilus und Cellini beschreiben Schaber. Ich habe [für die Nachbildung eines silbernen] Bechers solche Schaber gemacht, und sie haben sich sehr gut bewährt. Der Schneidenwinkel kann so 45–60° sein, wichtiger ist, dass ein Schaber top geschärft ist!»¹⁷³

Langstielige Ziehshaber, wie sie bis vor kurzem in Gebrauch waren (Abb. 61, unten), sind mir aus dem archäologischen Fundgut nicht bekannt. Heimo Dolenz hat jedoch aus dem Eisenfundbestand vom Magdalensberg / A einige kurze, gedrungene Klingen in ihrer Funktion als Erster richtig erkannt und sie als «Schaber mit Schaftdorn» bezeichnet (Abb. 57). Man kann sie sich sehr gut in der Art von Dechselklingen in einem langen Holzgriff quer geschäftet vorstellen. Die Beispiele vom Magdalensberg sind 5,5 bis knapp 9 cm lang und weisen Griffangeln auf, die im optimalen Winkel zur Achse des kompletten Werkzeugs eingezapft werden müssen (Abb. 57,W). Die Schneiden sind 2 bis 3,5 cm breit. Mindestens die massiven Stücke W315 und W316 (Abb. 57) haben schaberförmige, leicht gewölbte Schneiden, die optimal zum Ziehen geeignet sind¹⁷⁴. Ganz ähnliche Objekte, die bei näherer Betrachtung allenfalls auch als Schaberklingen interpretiert werden können, finden sich in verschiedenen Grössen auch etwa im eisenzeitlichen Oppidum von Manching / D (Abb. 57,M)¹⁷⁵ und andernorts (Abb. 57,G.C)¹⁷⁶ – bis ins wikingerzeitliche Haithabu / D (Abb. 57,Ha)¹⁷⁷ und Helgö / S (Abb. 57,He)¹⁷⁸.

Ein besonderes Stück, das ich analog zu den soeben vorgestellten Stücken ebenfalls als Ziehshaber interpretieren möchte, stammt aus Sanzeno / I, ist latènezeitlich, etwa gleich gross wie jene (Länge 92 mm), aber mit einer massiven *Tülle* statt eines Schäftungsdorns versehen (Abb. 57,S176)¹⁷⁹. Das Stück war in einem Knieholz geschäftet und könnte auch eine normale Dechsel für die Holzbearbeitung sein. Der stumpfe Winkel der geschliffenen Schneide und die massive Schmiedearbeit lassen mich jedoch vermuten, dass damit mit grosser Kraft eher ziehend geschabt als schlagend gedechelt worden ist.

Wie *mühsam und kräftezehrend* das Schaben von Metalloberflächen war, illustriert der Kupferstich «Der Messing-Schaber» aus dem Ständebuch von Christoff Weigel sehr eindrücklich (Abb. 58): Der Vorgang wird in Weigels Text zwar ganz einfach beschrieben: Das durch die Vorarbeiten

Abb. 58: «Der Messing-Schaber» auf einem Kupferstich von 1698. Einrichtung und Werkzeuge unterschieden sich nur geringfügig von jenen auf anderen, etwas jüngeren Darstellungen (Abb. 59).

173 Zitat des Archäotechnikers Markus Binggeli, Bern, aus einer E-Mail an den Autor vom 20.10.2012: «Ich weiss, wovon ich rede, beim Bau des Hochdorfsofas haben wir 5 m² Bronzeblech blank geschabt. Dazu habe ich ein kleines (Schneidenbreite 3 cm), querschäftetes Tüllenbeil verwendet [vgl. Abb. 57,S176], wie es auf der Heuneburg gefunden wurde und von dem niemand eine Ahnung hatte, wozu es gebraucht worden sein könnte. Die Oberfläche der Bleche am Sofa war aber eindeutig geschabt.» (Ich danke an dieser Stelle Markus Binggeli für seine verschiedenen Auskünfte). – Theophilus Presbyter: Kap. 12 (Übersetzung: Brepohl 1987, 73 Abb. 12,1.2); Benvenuto Cellini: Kap. XX (Anm. 158 resp. Frühlich 1974, 76 f. [mit Abb.]).

174 Dolenz 1998, 211 Taf. 75,W307–W316 (= unsere Abb. 57,W. . .).

175 Jacobi 1974, 274 Kat.-Nr. 106 Taf. 7 und 335 Kat.-Nr. 1577–1579 Taf. 80 (= unsere Abb. 57,M. . .).

176 Siehe Nachweise zu Abb. 57.

177 Westphalen 2002, 87 f. («Stemmeisen») Taf. 23,22–26 (in unserer Abb. 57 nur die typischen Nummern 22, 23 und 25).

178 Werner 1981, 46 Abb. 13.

179 Nothdurfter 1979, 120 («Dechsel») Taf. 10,176 (= unsere Abb. 57,S176).

Abb. 59: Blick in die «Schaber stuben wo der mössing geschaben wirt». Vorne rechts werden lange Messingbleche auf Böcken geschabt, oben hängen weitere Bogenschaber (vgl. Abb. 56). Ausschnitt eines Ölgemäldes der Messingfabrik in Reichraming von 1763. Ausschnitt: B × H 15,7 × 14,5 cm.

«gantz schwartz hervorkommende» Messing müsse man später «... mit dem Schab-Eisen abschaben / hell und gläntzend machen». In der Bildlegende (Abb. 58) wird das Schaben symbolisch mit dem Büssen verglichen:

«Was Unrein, tauget nicht, zum reinen Himmels Licht.
Man muß durch scharffe Buß abschaben
des Hertzens schwartze Sünden-Haut,
daß GOTT, der in die Seele schaut,
Lust mög' am neuen Menschen haben.
Wer hie ablegt was er soll fliehen,
wird dort der Sternen Glantz anziehen».

Eine andere Abbildung zeigt das Schaben langer, mechanisch gehämmelter Messingblechstreifen in der Messingfabrik Reichraming / A (Abb. 59). Die 1763 entstandene Darstellung ist Teil einer umfassenden Innenansicht des Fabrikgebäudes¹⁸⁰. Das Teilbild 27 wird in der Bildlegende als «Schaber stuben wo der mössing geschaben wirt» bezeichnet und zeigt vier Arbeiter: rechts unten beim Schaben der Bleche auf einem Bock mit halbzyklindrischer Oberseite, oben rechts beim Aufrollen der Bleche, links der Bildmitte beim Sortieren (?) der ungeschabten und geschabten Stücke und links unten beim Prägen und Stanzen von «Flindern» und Rechenpfennigen. Ganz oben hängen an einem Brett

sechs weitere, gebogene Schabeisen mit je zwei Holzgriffen an den Enden.

Bei vielen geschabten Objekten sind schmale, sorgfältig parallel geführte Streifen zu beobachten (Abb. 60)¹⁸¹. Oft wurden so auch flächige Vertiefungen in das Metall geschnitten. Die Spuren zeigen jedoch, dass nicht immer mit dem Meissel gearbeitet wurde, sondern eher mit ziehendem Materialabtrag, also durch Schaben mit einem Zieh-schaber (Abb. 52,n.o; 61)¹⁸².

Der empirisch ermittelte Schneidewinkel für Zieh-schaber von 45–60° entspricht dem postulierten Gerät der antiken Metallhandwerker für schmalere, oft vertiefte Arbeitsflächen. Was durch die Beobachtung von Werkspuren an den Fundstücken plausibel ist, lässt sich bis jetzt leider nicht durch Originalfunde solcher Schaber belegen.

¹⁸⁰ Aschauer 1953, Abb. 3–5.

¹⁸¹ Zum Beispiel Foltz 1984, 361–363 Taf. 223; 228,2.3; 234,3.

¹⁸² Alfred Mutz†, Hersteller zahlloser Repliken römischer Metallobjekte, danke ich für den Hinweis auf dieses interessante, verschwundene Gerät. Leider ist sein 1983 zu Demonstrationszwecken angefertigter Zieh-schaber heute nicht mehr vorhanden. – Ein offenbar römisches, etwa 24 cm langes Gerät aus Mainz/D mit korrodiertem Arbeitsende und Holzgriff mit abstehendem Haken könnte ein Zieh-schaber gewesen sein (Lindenschmit 1858, Heft 12 Taf. 5,18).

Abb. 60: Kaiseraugst / AG, spätantiker Silberschatz (4. Jh.), Achillesplatte. Ausschnitt mit horizontalen Schabspuren im «Hintergrund», d. h. in den vertieften Flächen zwischen den halbplastisch herausgearbeiteten Figuren (vgl. Abb. 61).

Abb. 61: Oben: Für eine erfolgreiche Handhabung eines Ziehsehbers sind eine gut geschärfte Schneide, grosser Druck, präzises Ansetzen und ruhiges Führen des Werkzeugs ausschlaggebend (Alfred Mutz, gezeigt an einer Galvanokopie der Achillesplatte aus dem Kaiseraugster Silberschatz). Unten: langer Ziehsehber nach Precht 1830–1855.

Poliersteine

Anforderungen und Anwendung

Heute setzt man nach wie vor «Poliersteine für Vergolder und Gold- und Silberarbeiter»¹⁸³ ein, sie werden aber auch zur Stahlpolitur empfohlen¹⁸⁴. Mit ihnen lassen sich selbstverständlich auch alle anderen Metalle polieren – entweder trocken oder nass, mit Wasser oder mit Öl. Im Einsatz waren und sind Blutstein (Hämatit, Roteisenstein), Achat, Radiolarit, Mergelschiefer und möglicherweise auch Quarzit (Anm. 224). Ihre Anwendung und Pflege werden in einem älteren Werkstattbuch folgendermassen beschrieben: Während der «Arbeit müssen die Polierstähle bzw. Poliersteine fleissig mit Seifenwasser oder Seifenwurzelswasser benetzt werden, damit sie schlüpfrig bleiben. Verlieren die Polierwerkzeuge ihre angreifende Kraft infolge sehr feiner Teilchen des Metalls, welche sich angehängt haben, so reibe man die Stähle auf einem mit Zinnasche und Öl versehenen, über Holz aufgezogenen Leder, die Blutsteine aus einem ähnlichen Leder, das mit Polierrot und etwas Öl benetzt ist, ab.»¹⁸⁵

Im Edelmetall- und Vergoldergewerbe wird ein kleines Stück eines besonders dichten und harten Poliersteines (vor allem Achat) in eine *Messingfassung* eingekittet und mit einem Holzheft versehen (Abb. 62; 64)¹⁸⁶. In der Oekonomischen Encyclopädie von Johann Georg Krünitz wird seine Anwendung wie folgt beschrieben¹⁸⁷: «Dieses Werkzeug ist von Achat oder gutem Feuerstein, rund und spitzig und ausserdem noch mit einer gekrümmten Spitze geschliffen. Man polirt Gold und Silber damit, sowohl glatt als auch nach Schatten und Licht, mit und ohne Schraffierung. Zu dieser Absicht werden sie durch messingene Zwingen oder Hülsen am Stiele von gutem Holze befestigt. Die

Poliersteine der Zinngiesser sind runde, halbrunde, ovale und kantige Feuersteine, oder auch Steine, die man in der Kreide findet. Sie werden gleichfalls in einer Hülse an einem hölzernen Stiele befestigt. Mit diesen Steinen reibt man das Zinn ab, wenn es vorher abgedreht worden.» Die schönsten Ergebnisse mit einem Polierstein seien angefeuchtet oder mit einem Salmiakgeist-Seife-Gemisch zu erzielen.

Nebst diesen hellen Materialien eignen sich auch dunkle, fast schwarze *Radiolarite* (=Lydite) und Mergelschiefer, oft mit dem Sammelbegriff «Kieselschiefer» bezeichnet, als Poliersteine. Das sind harte Gesteine von dunkler bis tiefschwarzer Farbe. Sie finden sich oft als Glätt- und Poliersteine (Abb. 10,8–13). Die Nomenklatur ist offen-

183 Brockhaus 1882–1887, Bd. 1, 102; Lueger 1904–1920, Bd. 1905, 97; Hawkins 1904, 312–315 Abb. 75; Wahlburg 1913, 64f.; Dammert/Tietze 1927, 186; Joseph 1929, 32–37 Abb. S. 35 und 36; Untracht 1982, 638 f. Abb. 14-4; 14-5.

184 Rinman 1814, 22 und 30 (Achat und Blutstein).

185 Schwahn 1945, 65.

186 Krünitz 1773–1858, Bd. 6, 31 f. und Bd. 114, 144f.; Meyer 1905–1909, Bd. 16 (1908) 97; Lueger 1904–1920, Bd. 1909, 172–176 («finden die Poliersteine [Blutstein, Achat, Jaspis, Feuerstein, Chalcodon u.a.], die durch Schleifen und Polieren mit einer glatten Druckfläche versehen werden, Anwendung»); Escard 1910, 123 Abb. 94–95; Brepohl 2000, 377. – Biringuccio 1540 (zitiert nach Johannsen 1925, 449) empfiehlt, goldene Rohstangen bei der Vorbereitung zum Drahtziehen «mit einem trockenen Holz, oder mit Chalcodon oder Blutstein» zu glätten.

187 Krünitz 1773–1858, Bd. 114 [ersch. 1810], 144f.; Brepohl 2000, 377 f.

Abb. 62: Poliersteine verschiedener Form (Achat, Blutstein, Jade usw.), in Blechtüllen und Holzgriffen gefasst. Derartige Fassungen sind schon für die römische Zeit belegt (Abb. 64). Für ein optimales Resultat muss der Polierstein den Oberflächen, Vertiefungen usw. der zu polierenden Metalloberflächen gut angepasst sein.

Abb. 63: Poliersteine aus Hämatit. 1 North Uist/GB, Eilean Olabhat; 2 Corent/F; 3 York/GB-Coppergate; 4 und 7 Skara Brae/GB; 5 Upper Brough/GB, Hartray, Orkney; 6 Harris Island/GB, Äussere Hebriden; 8 Glenluce Sands/GB, Wigtownshire; 9 Traprain Law, East Lothian. M. 1:2 (2 ohne M.).

Abb. 64: In einer Blechtülle gefasster Polierstein aus poliertem Bergkristall. Aus Mälain/F, römisch. M. 1:1 (Länge 66mm).

bar auch unter Geologen uneinheitlich, und über ihre erdgeschichtliche Entstehungszeit lassen sich die Varianten ebenfalls nicht definieren. All diesen Gesteinen gemeinsam sind jedoch die oft fast schwarze Farbe, ihre grosse Härte und feinste Körnigkeit sowie die Unempfindlichkeit gegenüber Säuren, was sie zu geeigneten Poliergeräten und Probersteinen (Abb. 10,20.21) macht¹⁸⁸. Ich habe deshalb auch dieses Material im Experiment an Buntmetallen getestet.

Nebst diesen harten, dichten Poliersteinen waren – zumindest im Mittelalter – auch *weiche Poliersteine* im Einsatz, was jedoch ein anderes Vorgehen erfordert, wie Theophilus Presbyter im frühen 12. Jahrhundert beschreibt¹⁸⁹: «Danach [nach dem Schaben einer niellierten Oberfläche] sollst du einen schwarzen, weichen Stein nehmen, der sich leicht schneiden und fast mit dem Fingernagel schaben lässt, und mit ihm schleifst du das mit Speichel angefeuchtete Niello sorgfältig und gleichmäßig überall, bis alle Linien deutlich sichtbar werden und es ganz glatt ist. Du sollst auch ein Stück trockenes Lindenholz haben, so dick und lang wie der Mittelfinger und glatt zurechtgeschnitten, auf das du jenes feuchte Pulver aufträgst, das beim Bearbeiten aus Stein und Speichel entstand. Und mit besagtem Holz und diesem Pulver schleife das Niello sehr lange und leicht, und gib immer ein wenig (neuen) Speichel darauf, damit es feucht bleibt, bis es überall glänzt.»

Antike Quellen

Schon Dioskurides und Plinius (1. Jh. n. Chr.) kennen einen «Samischen Stein», welcher in der «Samischen Erde» vorkommt und den die Goldschmiede zum Polieren verwenden¹⁹⁰. Die beste Qualität sei nach dem einen Autor «leicht zerreiblich» und tief dunkel (Blutstein), nach dem anderen weiss und hart (Samischer Stein). Auch Isidor von Sevilla meint im frühen 6. Jahrhundert n. Chr., der *samius* von der Insel Samos sei «nützlich zum Glätten von Gold»¹⁹¹. Aus der Arbeit mit dem «Samischen Stein» ist sogar das Verb *samiare* für «schleifen» entstanden¹⁹². Plinius kennt Vor-

188 Analog Abb. 10,20.21: Kars 1983, 11–14 Abb. 106 (frühmittelalterliche Beispiele). – Zur neuzeitlichen Formung und Anwendung von harten Schiefen als Schleif- und Poliersteine: Brepohl 2000, 373.

189 Theophilus Presbyter, Kap. 91 (Übersetzung: Brepohl 1987, 120).

190 Diosk. *mat. med.* 5, 154 (zitiert z. B. von Gregor Agricola 1546, pag. 269, S. 171; Zedler 1732–1754, Bd. 33, 862); Plin. *nat.* 36,152 (nach Lenz 1861, 151, ist mit «Samischem Stein» ein Blut- resp. Roteisenstein gemeint). – Allgemein: Scheller/Frieboes 1906, 596. – Zu Poliersteinen in der Antike auch Bayley et al. 2001, 17. – Die «Samische Erde» soll bis ins 17. Jahrhundert auch als Schleif- und Poliermittel für Waffen und Werkzeuge verwendet worden sein (Weigel 1698, 371).

191 Isid. *etymologiae* 16,4,13.

192 Vopisc. *Aurelianus* 7,6 («ferramenta samiata»; zitiert nach Blümner 1887A, 353); Veget. *R. m.* II 14 («curare samiare»; zitiert nach Blümner 1887A, 353); Blümner 1887A, 264; 352 f. (mit Anm.).

kommen von Blutsteinen in Äthiopien, Arabien und Afrika. Georg Agricola beschreibt 1546 den *schistos* (Hämatit) zum Polieren von Blattgold¹⁹³. Den Achat erwähnt er in Zusammenhang mit Ärzten und Edelsteinschleifern¹⁹⁴.

Archäologische Quellen

Als dunkle bis schwarze Poliersteine waren und sind handliche Kiesel aus «Kieselschiefer» (Radiolarite u. a.), die durch Gebrauch an einer oder mehreren Flächen abgeflacht sind, gebräuchlich (Abb. 10,9.11.12)¹⁹⁵. Hämatite und Achate hingegen sind selten im archäologischen Material und aus Werkstattzusammenhängen nachweisbar resp. beobachtet und beschrieben worden.

Ein typischer *roter Hämatit* mit äusserst glatter Abnutzung an den verrundeten Kanten fand sich im latènezeitlichen Oppidum von Corent / F¹⁹⁶ (Abb. 63,2). Weitere Hämatit-Poliersteine fanden sich in den frühmittelalterlichen Metallverarbeitungswerkstätten von York / GB-Coppergate, wo die meisten Phasen (3–6) insgesamt 60 Hämatite lieferten: Es sind Klumpen und Kiesel von meist wenigen Zentimetern Grösse sowie zahlreiche Bruchstücke. Einige haben flach abgenutzte Flächen resp. verrundete, polierte Ecken, und ein Stück weist besonders deutliche feine Schleifrillen auf (Abb. 63,3)¹⁹⁷. Ein ebenfalls frühmittelalterliches, nur 17 × 15 × 89 mm messendes Hämatitstück stammt aus der Bronzewerkstatt von North Uist / H, Eilean Olabhat, östlich von Schottland. Es stammt aus dem 5.–7. Jahrhundert, ist rotbraun und weist eine konische Form auf, die ringsum mit kleinen Schliffacetten umgeben ist (Abb. 63,1)¹⁹⁸. Zum Gesamtbild und vor allem zu den nordbritischen Belegen passen die 31 Hämatitfunde mit Polierfacetten, die J. Graham Callander für zehn verschiedene Fundorte zusammengestellt hat (Beispiele Abb. 63,4–9)¹⁹⁹.

Solche Poliersteine sind oft durch den langen Gebrauch verrundet und hoch glänzend geworden. Ist das Material etwas weicher und wird der Stein lange Zeit in derselben Position gehalten, so entstehen häufig auch Schliffacetten oder gar eine polyedrische Gesamtform. Solche Poliersteine stammen etwa aus einer römischen Schmiede in Buy / VD²⁰⁰.

Ebenfalls aus dem Frühmittelalter stammt ein knapp 1 cm kleiner Hämatitbrocken aus dem Männergrab 152 des 6. Jahrhunderts von Villingen-Schwenningen / D²⁰¹. Er lag in der Gürteltasche des Verstorbenen, zusammen mit Feuersteinen, einem Messer, einem Schleifstein und einem Phosphorit «mit deutlichen Abriebspuren». Da dem Besitzer Spatha, Sax und Gürtelschnalle mit ins Grab gegeben wurden, muss es sich um eine höhergestellte Persönlichkeit gehandelt haben.

Aus dem frühmittelalterlichen Helgö / S stammt ein 9,8 cm langer Kiesel aus dunklem «Mudstone» (Schlammstein, sehr feinkörnig) mit einer sehr deutlichen Schliffacetten am breiteren Ende. In einigen Poren haben sich winzige Goldpartikel erhalten, was Peter Kresten zur Annahme führte, der Stein habe zum Anreiben und Polieren

von Blatt- oder Folienvergoldungen gedient²⁰². Denselben Befund, ebenfalls aus dem Frühmittelalter, weist ein 8,5 cm langer Polierstein aus Clogher in Irland mit festgesetzten feinen Goldspuren auf²⁰³.

Kleine Polierachate und andere geeignete Steine werden, wie erwähnt, zur besseren Handhabung in einer *Blechtülle gefasst* und mit einem Holzgriff versehen²⁰⁴. Das einzige mir bekannte antike Stück ist römisch und stammt aus Mälain / F-Mediolanum (Abb. 64)²⁰⁵.

Dunkle «Kieselschiefer» als Poliersteine finden sich häufiger im archäologischen Fundmaterial. Nicht selten stammen sie aus ur- und frühgeschichtlichen Töpfereien; dort gibt es sogar wiederverwendete neolithische Steinbeilklingen aus denselben Materialien, die als Poliergerät weiterverwendet worden sind²⁰⁶. Und natürlich finden sich immer auch wieder harte, dunkle Gesteine mit Gebrauchsfacetten vom Poliervorgang in römischen Bronzewerkstätten (Abb. 10,8–13).

Eine besondere Gattung sehr feiner Schleifsteine sind die *Reibpaletten resp. Schminkplättchen* (Beispiele Abb. 10,14–16), wie sie zum Beispiel Emilie Riha vorgelegt hat²⁰⁷. Ihre gelegentliche oder sekundäre Verwendung zur Erlangung eines Feinschliffs oder einer Politur auf Bronzen ist nicht auszuschliessen. E. Riha vermutete denn auch: «Den Ärzten dienten wohl die harten Kanten und Seitenflächen

193 Agricola 1546, pag. 253 f., S. 146–148.

194 Agricola 1546, pag. 302 f., S. 226–228.

195 Jacobi 1974, 132 Taf. 96 und 107; Craddock 1989, 210 Kat.-Nr. 221 (mit Abb.; eine Kante zeigt glänzende Politur; darin eingedrückt Goldpartikel); Kassianidou 2007, 280 f. Taf. 82; Pieters 2013, 82–101 Abb. 72–94.

196 Poux et al. 2011, Abb. S. 100 oben links (= unsere Abb. 63,2).

197 Bayley 1992, 791; 841 Taf. 58, c (= unsere Abb. 63,3).

198 Armit et al. 2008, fig. 33, 234 (= unsere Abb. 63,1).

199 Callander 1931, 99 fig. 22. – Zu den schottischen Funden auch: Henshall 1982, 239 (Hurly Hawkin, Angus, 51 mm lang; ohne Abb.).

200 Reymond 2009, 118 f. Abb. 102, 3.5.7 (V. Serneels).

201 Oehmichen 1990, 193 Abb. 127, 6 (Hämatit und Phosphorit sind röntgendiffraktrometrisch bestimmt worden; die Verwendung des seltenen Phosphorits ist unklar); Lamm 2012, 152 Abb. 11 («Traces of gold left on some of the stones suggest that even gold objects were being polished.»).

202 Kresten 2005, Abb. 1; 2. – Zum Schlammstein als Schleifstein auch: Krünitz 1773–1858, Bd. 145, 423.

203 Craddock 1989, 210 Kat.-Nr. 221 (mit Abb.).

204 Beispiele bei Feuervergoldern in Nepal im Einsatz: Furger 2017A, 113–115 Abb. 217–219.

205 Roussel 1988, 217 Taf. 81, 697; Roussel 2003, 412 Abb. 578, unten links (= unsere Abb. 64).

206 Zum Beispiel Chenet / Gaudron 1955, 34 f. Abb. 9, a.c.e.g.; Biegert 1996, Abb. 9, 3; Martin 1996, Abb. 25; Armbruster 2000, 176 Taf. 30, 1.3; Luginbühl 2001, Abb. 1.

207 Riha 1986, 43–49, Taf. 18–24 Kat.-Nr. 189–223 und Joos 1986. – Siehe auch Pieters 2013, 87 Abb. 79 («tablettes abrasives») 106–108 Abb. 100–102.

Abb. 65: Kleiner rechteckiger Abziehstein aus Schiefer, gefunden in Autun/F, Clinique du Parc. Das römische Stück gehörte vielleicht einem Chirurgen und diente zum Nachschärfen der Skalpelle und anderer chirurgischen Instrumente. a: durch Polieren abgenutzte Oberfläche; b: starke Abnutzung (Kante); c: Gebrauchsspuren (parallele Kratzer); d: eingeritzte, vielleicht ursprünglich hell inkrustierte Inschrift COSΛ auf flacher, glatter Seitenfläche (der lateinische Begriff *cos* bezeichnet einen Wetzstein, das separat und weniger sorgfältig eingeritzte Λ [für «A»] ist eventuell ein abgekürzter Besitzername); e: glatte Oberfläche mit Zufallsspuren (Striemen). M. 1:1.

der Salbenreibsteine in einer ergänzenden Funktion zum Schleifen und «Abziehen» von Skalpellen und Messern»²⁰⁸. Auch ein flacher, rechteckiger Reibstein aus Autun/F wird als «meulet de chirurgien» bezeichnet (Abb. 65)²⁰⁹. Von den 35 von Marcel Joos petrographisch bestimmten Reibpaletten aus Augusta Raurica bestehen 43% aus Kalk- resp. Karbonatgesteinen, 29% aus Vulkaniten resp. Silikatgesteinen und 29% aus Marmoren verschiedener Farbe.

Es ist denkbar, dass auch *neolithische Steinbeilklingen* – gewissermassen als naturgegebene «objets trouvés» – zur Politur von Metalloberflächen verwendet wurden (Beispiele Abb. 10,17–19)²¹⁰, so wie das nachweislich auch in römischen Töpfereien der Fall war (s. Anm. 206). Allerdings konnte dies im Fall von Augusta Raurica weder durch Metallspuren noch durch Fundvergesellschaftung nachgewiesen werden.

Eine weitere Objektgattung könnte ebenfalls mehreren Zwecken gedient haben: die harten und sehr kompakten *Probiersteine* (Beispiele Abb. 10,20–21), die sowohl für die Edelmetallkontrolle als auch für kleinflächige Polituren auf Metalloberflächen verwendet werden können.

Der Einsatz von Poliersteinen, -stäben und -pulvern lässt sich auch indirekt an den *Spuren auf den Fundobjekten* erkennen. Dies ist allerdings nur an gut erhaltenen Edelmetallobjekten oder an wenig korrodierten Bronzen möglich²¹¹.

Derartige Befunde am Objekt hat noch niemand zusammengestellt. Einige wenige Beispiele sollen daher genügen:

Pferdestatuen aus Augst/BL: Die zahlreichen Fragmente von Grossbronzen aus einem Metallhändlerdepot des 3. Jahrhunderts zeigen an verschiedenen Stellen Spuren vom Feilen und Schleifen, die in einigen Fällen durch eine intensive Politur ausgeglättet worden sind. Ein Beispiel beschreibt Bettina Janietz Schwarz wie folgt: «Die heute nur noch flau im Gegenlicht erscheinenden Feilspuren im Bereich der Hodenfurche sind möglicherweise mit einem Polierstahl geglättet worden.»²¹²

Silberschatz aus Kaiseraugst/AG: Die Schauseiten mancher Objekte sind derart glatt und glänzend, dass sie – im Gegensatz etwa zu den etwas rauerer Rückseiten – poliert sein müssen. So schreibt der erfahrene Goldschmied Ernst Foltz zur sog. Achillesplatte: «Die Vorderseite ist sehr fein abgedreht und wahrscheinlich auf der Drehbank mit einem Polierstahl (oder Polierachats) geglättet worden.»²¹³

Archäometrische Belege

Eine Reihe von Steingeräten aus spätkbronzezeitlichen Gräbern aus den Ostalpen ist «mittels rasterelektronenmikroskopischer Analysen» untersucht worden. Auf einem glatten flachen *Polierstein* war grünlich schimmernde Korrosion zu erkennen, die sich als korrodiertes Kupfer erwies²¹⁴. Mit dem Stein müssen demzufolge *kupferhaltige Metallobjekte poliert* worden sein! Die metallurgische Interpretation des Fundes ist allein der Analyse zu verdanken; das Beispiel zeigt, wie aufschlussreich Serienanalysen auf Geräten, Objekten und Befunden²¹⁵ wären. Dank der mobilen Röntgenfluoreszenzanalyse (pXRF) wären solche systematischen Untersuchungen heute laborunabhängig und effizient durchzuführen (vgl. Abb. 47).

208 Riha 1986, 44 Anm. 101 (mit analoger Interpretation).

209 Labaune/Dondin-Payre 2007, 213 f. Abb. 231 (= unsere Abb. 65); Pieters 2013, 107 Abb. 101.

210 Mangin 1981, Taf. 23,3 (Alésia/F, aus einer Bronze verarbeitenden Werkstatt). – Mehrere gut polierte prähistorische Meissel- und Steinbeilklingen wurden innerhalb des römischen Stadtgebiets von Augusta Raurica gefunden: Gutzwiller 1998, 57 Abb. 1,1–3.20.22; 4.

211 Zum Beispiel: Schnarr 1998, 54 f. Abb. 45; Duvauchelle et al. 2012, 23 Abb. 15.

212 Janietz Schwarz/Rouiller 1996, 103 Abb. 125 (Zitat); 257.

213 Foltz 1984, 372 (analog S. 378 [J. Lang/M. J. Hughes/W. A. Oddy]).

214 Mehofer 2015, 235 Abb. 1.

215 Zum Nachweis von Buntmetallverarbeitung auf Lehm- und Ziegeloberflächen eines Ausgrabungsbefundes (römische Schmelzgrube): Helfert/Furger 2017, 179–181 Abb. 6–8.

Material und Beobachtungen mit Poliersteinen im Experiment

Experimente mit Schleif- und Poliersteinen auf Buntmetallen mit anschliessender mikroskopischer Strukturanalyse sind erst selten angestellt worden. Eine Ausnahme bilden die interessanten Untersuchungen an Bronzewaffen aus dem Mausoleum Qin Shihuang («Terrakotta-Armee») in China. Von Hand geführte Steine verursachen wenig parallele Striemen auf der Metalloberfläche, während die – dort bereits für das 3. Jahrhundert v. Chr. nachgewiesenen – rotierenden Schleifsteine schön parallele Spuren hinterlassen²¹⁶.

Achat: Kleine Achate, alt gefasst mit Messingtüllen an dünnen Holzschäften (Abb. 66, oben): Testplättchen K16/B16/M16. Poliert wurde mit einer Mischung von Wasser mit Salmiakgeist und Seife. Jedes Verkanten führt zu Kratzern, aber bei sorgfältiger Führung des Achats unter mässigem Druck entstehen schöne Polierflächen auf Kupfer (Abb. 66, unten links; K16) und Messing (Abb. 66, unten rechts; K16); auf der harten Bronze (Abb. 66, unten Mitte; B16) stellt sich die Politur erst nach übermässig langer Bearbeitung ein.

Schwarzer Mergelschiefer: Ein kleineres Stück aus Grindewald/BE (analog dem wenig erfolgreichen Schleifversuch oben mit Abb. 40, Testplättchen K50/B50/M50) wurde zu einem Polierstein mit verrundeter Arbeitsfläche geformt und sehr glatt geschliffen (Abb. 67, oben). Die Anwendung ergibt, mit Öl und mässigem Druck auf der glatten Metalloberfläche gerieben (Testplättchen K31/B31/M31), einen schönen Feinschliff. Der Stein hinterlässt breite, glatte Schleifstriemen, aber keine grösseren Kratzer (Abb. 67, unten).

Polierstähle

Mit dem Begriff «Polierstahl» sind bisweilen ganz unterschiedliche Werkzeuge gemeint, die es im historischen Kontext zu unterscheiden gilt: Dazu zählen einerseits die Stähle zum Feinpolieren resp. «Brünieren» von Metalloberflächen (Beispiele Abb. 68; 71, oben)²¹⁷ und andererseits die «Wetzstähle» resp. «Abziehstähle», wie sie Köche und Metzger bis heute zum Schärfen ihrer Messer verwenden (mögliche Beispiele: Abb. 70, 3–5). Wilhelm A. Rüst beschreibt die Wirkung der Polierstähle so²¹⁸: Es «werden die Rauigkeiten eines Metallstückes dadurch weggeschafft und der Glanz hervorgebracht, daß man die Polirstähle anwendet, welche das Metall auf der Oberfläche zusammen- und alle Rauigkeiten niederdrücken und hierdurch einen Glanz hervorbringen, der ihrem eigenen entspricht. Allein sie machen fast immer Streifen und einen zu grellen Glanz, und sind für feinere Gegenstände nicht wohl zu brauchen».

Historische und archäologische Quellen

Ein Polierstahl lässt sich infolge der Eisenkorrosion im Boden archäologisch kaum nachweisen, und eine an sich geeignete Werkzeugform im Fundgut gäbe sich erst über eine Härte- oder Kohlenstoffbestimmung als möglicher Polierstahl zu erkennen. Bilddarstellungen mit einem Polierstahl in Aktion gibt es kaum; das hier abgebildete Beispiel ist nicht eindeutig (Abb. 69)²¹⁹.

Die Anforderungen an einen guten Polierstahl resp. «Gerbestahl»²²⁰ sind in der Antike und heute unverändert: «Man verwendet hochwertigen, gehärteten Stahl. Dem Anwendungsfall entsprechend wird er geformt, wobei alle Kanten völlig abgerundet sein müssen. Nur mit einem hochglänzend polierten Werkzeug erreicht man gute Ergebnisse. Der Polierstahl wird in einem Holzheft befestigt.»²²¹ Theophilus Presbyter beschreibt im frühen 12. Jahrhundert recht präzise, wie man diese Geräte damals auf ihren Einsatz vorbereitet hat: «Nimm dann ein stumpfes Eisenwerkzeug und reibe es auf einem ebenen Schleifstein, dann auf einem Eichenbrett, auf das du gemahlene Kohle gestreut hast. Mit diesem (Werkzeug) poliere das ... [Objekt] ... und reibe dann (alles) mit einem Lappen und feingeschabter Kreide nach, bis das ganze Werk glänzt.»²²² Pomponius Gauricus nennt den Polierstahl offenbar *bronitorium*, denn er beschreibt im Kapitel über den Bronzeguss in seinem Skulpturenbuch von 1504: «Durch Glätten [eines Gussstückes], indem wir Glanz hervorheben mit ... einem zahnförmigen Stahlinstrument, das man «bronitorium» nennt.» Und etwas weiter: «[Blattversilberung] wird wiederum ... mit dem Bronitorium geglättet.»²²³ Den Polierstahl «kann man trocken oder mit Wachs/Öl verwenden, der

216 Li et al. 2011, 497 ff. Abb. 8; 9 (handgeführt) und Abb. 13–15 (rotierend; leider wird der im Experiment verwendete «polishing stone» nicht näher beschrieben).

217 Ausführlich Hartmann 1853, 35–39; Joseph 1929, 32–37 Abb. S. 33 und 34; 70 f.

218 Rüst 1838, 241 f.

219 Das Gerät in der Rechten des Mannes ist nach Jahn 1861, 311 Taf. 9,8, links unten, und Blümner 1887A, 367 Abb. 54, links unten, ein Polierstahl.

220 Höhne/Rösling 1839, 295 f.; 348; Hawkins 1904, 315 f. – Zur Herstellung von Polierstählen Theophilus Presbyter (frühes 12. Jh.) Kap. 26 (Übersetzung: Brepohl 1987, 93); Perret 1780, 117. – Katrin Roth-Rubi (1986, Taf. 33, 681) bildet einen 26 cm langen «Schleifstahl» mit rundem Querschnitt und geschmiedetem Handgriff ab, der eher zum Abziehen von Messer- und Sensenschneiden geeignet war als zur Glättung von Metalloberflächen (= unsere Abb. 70, 3).

221 Brepohl 2000, 377.

222 Theophilus Presbyter Kap. 26 (Übersetzung: Brepohl 1987, 93 [Polierstahl] und 73 Abb. 12.1.3 [Bild]). – Zur Pflege von Poliersteinen und -stählen s. auch oben mit Anm. 185.

223 Gauricus 1504, 230 f. (Kap. 6, § 6); Brockhaus 1886, 237 (Zitat).

Abb. 66: Poliertests mit gefasstem Vergolder-Achat.

Abb. 67: Poliertests mit Schwarzem Mergelschiefer aus der Schwarzen Lüttschne, Grindelwald/BE (vgl. Abb. 40).

Abb. 68: Neuzeitliche Polierstähle verschiedener Form. Um überhaupt ein sichtbares Resultat auf einer harten Metalloberfläche zu erzielen, muss mit grossem Druck gearbeitet werden. Die langen Griffe resp. Stiele sind typisch für solche Arbeiten (s. auch Abb. 61) und erleichterten die anstrengende Handhabung.

Abb. 69: Ausschnitt aus einem Relief mit «Hephaistos in der Waffenschmiede» im Louvre in Paris (Ausschnitt, s. auch Abb. 50). Der zwergenhaft dargestellte alte Mann arbeitet an einem Helm, den er auf einem Gestell vor sich fixiert hat. In seiner Rechten hält er ein kurzes dickes Gerät, bei dem es sich möglicherweise um einen Polierstahl handelt.

Druck muss jeweils der Oberfläche, dem Zweck angepasst sein. Funde kenne ich nicht, aber Theophilus und Cellini erwähnen sie»²²⁴.

Ist ein metallenes Werkstück fertig geschliffen und grob poliert, wird es «nachher vollkommen mit dem Gerbestahl polieret, indem man die Flächen, wo man mit dem Gerbestahl zukommen kann, nachdem solche ein wenig mit venetianischer Seife bestrichen sind, reibet»²²⁵. Dabei wird der Stahl trocken angewendet auf Eisen, mit Seifenwasser bei Edelmetallen, «was die Arbeit wesentlich erleichtert»²²⁶. Zur Handhabung eines Polierstahls und den dabei erzeugten Werkspuren wird unten im entsprechenden Experiment berichtet (Abb. 71).

Polierstähle wurden verschiedentlich für die *Antike* postuliert, obschon ihre Spuren auf der Metalloberfläche nicht eindeutig zu erkennen resp. zuzuweisen und Werkzeugfunde nur schwer sicher nachzuweisen sind²²⁷. Die in der archäologischen Literatur als «Polierstahl» bezeichneten Werkzeuge sind in der Regel lange Stahlstäbe zum Glätten von Messern, Sicheln und anderen Klingen und haben nicht zum oben beschriebenen Glätten und Polieren von Metalloberflächen gedient. Hugo Blümner glaubt, in einem römischen Fund aus Evreux/F (Abb. 70,1) einen echten Polierstahl erkennen zu können²²⁸. Als römische «Polierstähle» werden in der Literatur unterschiedliche Werkzeuge bezeichnet. Wir müssen zwischen eigentlichen *Polierstählen* zur oberflächlichen Metallpolitur und *Wetzstählen* (resp. Abziehstählen) zum Nachschärfen von Messern, Sicheln usw. unterscheiden! Wetzstähle sind gut erkennbar, da sie in ihrer Form den modernen Stücken der Köche und Metzger sehr ähnlich sind (Abb. 70,2–5). Dazu passt, dass sich an den Stücken aus den Kastellen Zugmantel/D resp. Feldberg (Abb. 70,4,5) «Spuren einer Riffelung bzw. Schuppung» erhalten haben²²⁹. Die anderen in Abbildung 70 zusammengestellten Stücke haben unterschiedliche Formen und Grössen. Sie werden von den Autorinnen und Autoren als Polierstähle bezeichnet, ohne dass im Einzelfall klar ist, ob es sich um besonders gedrungenes, massi-

224 Zitat des Archäotechnikers Markus Binggeli, Bern, aus einer E-Mail an den Autor von 20.10.2012: «Den gleichen Zweck erfüllt auch ein Polierstein, wird heute noch für Goldschmiede aus Hämatit oder Achat verkauft. Unter den Heuneburgfunden ist mir ein polierter Quarzitkiesel aufgefallen, der sich als Polierstein geeignet hätte. Versuche mit poliertem Quarzit haben die Eignung bestätigt.» – Ich danke an dieser Stelle Markus Binggeli für seine verschiedenen Auskünfte.

225 Krünitz 1773–1858, Bd. 114, 133f. (Zitat); Stier 1911, 116–118 Abb. 137; 138 (=hier Abb. 68, rechts); Bergmann 1920, 179f.

226 Brockhaus 1882–1887, Bd. 13, 127 (Zitat); Bergmann 1920, 180.

227 Kluge 1927, 142; Bayley et al. 2001, 17.

228 Blümner 1887A, 277 Abb. 44 (ein kleineres Stück ohne Fundort Abb. 45 [=hier Abb. 70,2]); zitiert bei Kluge 1927, 142 Anm. 3.

229 Pietsch 1983, 51 (Zitat); 109 (Katalog).

Abb. 70: Antike Polier-, Wetz- und Abziehstähle. 1 Evreux / F; 2 ohne Fundort; 3 Stutheien-Hüttwilen / TG; 4 & 5 Zugmantel / D; 6 & 7 Helgö / S; 8 & 9 Oberwinterthur / ZH-Vitodurum. M. 1:3.

ves Gerät handelt, ob die Stücke einst poliert waren und ob sie aus Stahl bestehen. Als Wetzstähle sind also die Funde aus den Limeskastellen Zugmantel / D und Feldberg / D (Abb. 70,4.5)²³⁰, aus dem Gutshof von Stutheien / TG-Hüttwilen (Abb. 70,3)²³¹ sowie ein Fund ohne Herkunftsangabe (Abb. 70,2)²³² zu bezeichnen, während sich hinter jenen aus Evreux / F (Abb. 70,1)²³³ und Oberwinterthur / ZH-Vitodurum (Abb. 70,8.9)²³⁴ möglicherweise echte Polierstähle des Metallhandwerks verstecken. Frühmittelalterliche vermeintliche Polierstahlfunde werden aus Helgö / S (Abb. 70,6.7) genannt²³⁵.

Material und Beobachtungen mit Polierstahl im Experiment

Ein kleiner spatelförmiger Polierstahl (Abb. 71, oben) wurde vorgängig mit Tripel fein geschliffen und mit «Pariser Rot» poliert. Auf den drei Testplättchen aus Kupfer, Bronze und Messing (K13 / B13 / M13) ist eine Politur nur mit viel Druck erreichbar. Der Stahl kann hierfür mit einem weichen Holz auf die Werkfläche gepresst werden. Es wurde mit Öl gearbeitet. Auf Messing (Abb. 71, unten rechts) und vor allem auf Kupfer (Abb. 71, unten links) wird die Metalloberfläche sichtbar geglättet; auf der härteren Bronze wird sie zwar auch geglättet (Abb. 71, unten Mitte), benötigt aber noch eine weitere Politur mit einem anderen Poliermittel.

Polierzähne

Einige Tierzähne mit konkaven, sehr harten Schmelzpartien haben eine ähnlich grosse Härte wie Achate (Abb. 66, oben) und wurden nachweislich zum Polieren verschiedenster Materialien verwendet. Die von Hans-Herrmann Müller und Ralf-Jürgen Prilloff publizierte Studie hierüber weist vor allem auf diverse «Eberhauer» von verschiedenen früh- und hochmittelalterlichen Fundplätzen hin, die sowohl historisch als auch archäologisch bezeugt sind und typische Politurfacetten aufweisen (Abb. 72)²³⁶.

Auch Nagezähne des Bibers und Bärenzähne, die zur Politur verwendet wurden, gehören zu diesem Instrumentarium. Sie sind bisher allerdings erst historisch als Poliergerät belegt²³⁷.

230 Pietsch 1983, 51 Anm. 513–518 (518 mit weiteren Parallelen); 109 (auch nicht abgebildete Stücke), Taf. 17,407.408.

231 Roth-Rubi 1986, Taf. 33,681.

232 Blümner 1887A, Abb. 45.

233 Blümner 1887A, Abb. 44.

234 Schaltenbrand 1996, 323 Taf. 43,117.118.

235 Werner 1981, 46 Abb. 15–17.

236 Müller/Prilloff 2005, 477f. (Theophilus Preybyter und Mappae clavicula [beides 12.Jh.], mit weiterführender Lit.) Abb. 1 (=hier Abb. 72).

237 Ilg 1873, 42f. (Heraclius, ca. 12.Jh.); Müller/Prilloff 2005, 478 (Theophilus Preybyter, mit weiterführender Lit.).

Textilien und Leder

Der Vollständigkeit halber seien hier noch Woll-, Baumwoll- und Leinentücher sowie weiches (sämisches) Leder als letzte und feinste Polierhilfen erwähnt²³⁸. Diese können als *Trägermaterial* auch in Kombination mit den in dieser Arbeit aufgelisteten (pulverisierten) Poliermitteln beschichtet und angewendet werden.

Weiches Leder wird bis heute auf ein Holzbrettchen geklebt und zur Hochglanzerzeugung verwendet (Abb. 77; dazu unten S. 55)²³⁹.

Genau dieses Prinzip wurde ab dem Spätmittelalter auf grossen rotierenden Rädern angewandt, die ähnlich wie Drehschleifsteine benutzt wurden (Abb. 13; 15; 23). Das Bild eines Harnischpolierers aus den Hausbüchern der Nürnberger Zwölfbrüderstiftungen aus dem Jahr 1572 zeigt Installation und Handhabung eindrücklich (Abb. 73)²⁴⁰.

Abb. 71: Poliertests mit einem modernen schlanken Polierstahl.

238 Biringuccio 1540 (zitiert nach Johannsen 1925, 460); Agricola 1546, pag. 278, S. 186f. (Elchleder zur Edelsteinpolitur); Bersch 1899, 539; Buxbaum 1925, 13f.; Joseph 1929, 39 (Schleif- und Polierfäden, Schleif- und Poliertuch, Polierleder); Arens 1963, 27.

239 Brepohl 2000, 377.

240 Arens 1963, 28 (Abb. S. 29).

Abb. 72: Eisleben / D-Helfta: Eberhauer mit abgeschliffenen Partien an den Lingualseiten (schraffiert), 9. bis frühes 11. Jh. Ohne M.

Abb. 73: Der Nürnberger Harnischpolierer Hans Schartt poliert eiserne Harnischteile an grossen rotierenden Polierrädern, die mit Leder und einem Polierpulver beschichtet sind. Die Anlage wird von einem Wasserrad angetrieben. Die Art des Poliermittels und die Wasserzufuhr sind nicht erkennbar. Illustration aus den Nürnberger Hausbüchern, um 1572.

Abrasive pulverförmige Schleif- und Poliermittel

Abb. 74: Die härtesten natürlichen und synthetischen Abrasiva, wie sie heute in der Industrie zur Anwendung kommen. Mit zunehmender Maschinisierung und Automatisierung in der modernen Industrie wird nicht nur die Härte, sondern auch die Zähigkeit zum entscheidenden Faktor der Materialwahl. «Je weiter die Schneiden eines Korns unter der Anpresskraft in den Werkstoff eindringen, desto grösser wird die Schnittkraft» – das wenig zähe, spröde Korn kann brechen oder zerquetschen.

Die verschiedenen hier vorgestellten natürlichen Polierpulver und die synthetischen modernen Produkte unterscheiden sich sowohl in ihrer Härte (Abb. 74) als auch in der Oberflächenbeschaffenheit des Korns und in ihrem Aufbereitungsgrad in verschiedene Korngrössen. Bernhard Kleinschmidt unterscheidet zum Beispiel zwischen «harten, stark angreifenden» Mitteln wie Bimsstein, Eisenoxid, Quarz oder Schmirgel und «weichen, sanft wirkenden» wie Knochenasche, Kreide, Tripel, Wiener Kalk oder Zinnasche²⁴¹. Wilhelm A. Rüst betont, dass solche Poliermittel nicht einfach anzuwenden sind und nicht auf Anhieb Erfolg versprechen²⁴²: «Über die zweckmässigste Anwendung dieser Poliermittel hat lange Erfahrung die ausübenden Künstler erst belehren müssen, und noch jetzt zeigt sich in der Wahl und Anwendungsart manche Verschiedenheit.»

Schleif- und Poliermittel als *Pulver und Pasten* sind archäologisch kaum nachweisbar. Ich beschreibe im «Archäologischen Experiment» dennoch, wie traditionell überlieferte Schleif- und Poliermittel aufzubereiten und anzuwenden sind, sich auf verschiedenen Metallen bewähren, wie effizient sie wirken und welche Arbeitsspuren sie hinterlas-

sen (Abb. 70–96). Mit traditionellen Schleif- und Poliermitteln meine ich Naturprodukte und deren einfache Aufbereitungen, die sich für diese Arbeiten eignen (Abb. 75²⁴³). Sie können sowohl Beobachtungen bei Metallarbeitern in Indien²⁴⁴, Nepal²⁴⁵, China²⁴⁶, im Orient²⁴⁷ usw. entnommen werden als auch alten Handbüchern zum Metallgewerbe²⁴⁸.

241 Bergmann 1920, 179; Kleinschmidt 1937, 5 f. (Zitat).

242 Rüst 1838, 243.

243 Die Szene wird bezüglich der darauf abgebildeten Utensilien und Arbeitsvorgänge kommentiert von Mutz 1972, 12 Abb. 2; Ciarallo / De Carolis 1999, 176 Kat.-Nr. 201.

244 Mukherjee 1978, 26; 326; 414 u. a.; Srinivasan / Glover 1995, 74 – In Kerala sind u. a. fein pulverisierte Tiegelscherben und Pulver von Spiegelbronze (äusserst spröde, scharfkantig zerbrechende Legierung) sowie für den letzten Arbeitsgang Eisenoxid (Rötöl) für die Politur von Metallen im Einsatz (Srinivasan / Glover 1995, 74).

245 Höfer 1976, 386; Furger 2017A, 93–95 Abb. 161–166; 245 Abb. 162; 306.

246 Golas / Needham 1999, 183.

247 Schwarzlose 1886, 157 f.; Wiedemann 1910, 129.

248 Kunkel 1732, 39; 186 f.; Schwahn 1945, 64; Johannsen 1925, 460 (Biringuccio 1540).

Abb. 75: Arbeiter beim Polieren (?) einer grossen Kupfer- oder Bronzeschüssel. Ob er einen Polierstein, einen Polierstahl oder ein Lederstück mit einer Polierpaste verwendet, bleibt auf der Darstellung unklar. Ausschnitt aus dem römischen Kupferschmiederief aus Neapel / I.

Das Wesentliche einer feinen Politur

Sven Rinman hat 1814 in seiner grossen «Geschichte des Eisens» eine gute, noch der handwerklichen Tradition verpflichtete Beschreibung des Polierens und seiner Voraussetzungen gegeben²⁴⁹: «Die wahre feine Politur kann nur durch Reiben oder Schleifen mit feinen angreifenden Pulvern gegeben werden. Dies ist vorzüglich bei dem auf der Oberfläche gehärteten Eisen, und bei dem gehärteten Stahl der Fall, denen man, nachdem sie mehr oder weniger hart und dicht waren, durch die feine Polirung einen vollkommenen Spiegelglanz mitzutheilen im Stande ist. Es kommt hierbei vorzüglich darauf an, dass man dies Polirpulver von vorzüglicher Güte, und so zubereitet erhält, dass sie in der kürzesten Zeit und mit der wenigsten Mühe den grössten Effekt zu leisten vermögen – Auch hier muss ... die Vorsicht ganz besonders beobachtet werden, dass man zuerst etwas feinere Pulver nimmt, mit denen man die Ritzen und Schrammen, die durch das Feilen, Schleifen oder durch gröbere Pulver beim Scheuern zurückgeblieben sind, wegzubringen sucht, dass man alsdann noch feinere und zuletzt solche Pulver anwendet, durch deren Gebrauch alle, dem unbewaffneten Auge bemerkbare Schrammen weggeschafft werden.»

Aufbereitung und Handhabung

Die Schleif- und Poliermittel müssen zum Teil erst aufbereitet werden (durch Zerkleinern, Ausschlämmen, Sieben, Brennen usw.) und können als Pulver nass oder trocken auf dem Metall verwendet oder mit Fetten und Ölen²⁵⁰ zu einer

Polierpaste vermischt auch so angewandt werden. Schleifpulver «werden gewöhnlich mit Baumöl od. Wasser zu einem dünnen Brei angemacht, welchen man auf geeignete hölzerne od. metallene Werkzeuge aufträgt u. auf den zu bearbeitenden Gegenständen herumreibt»²⁵¹.

Absatz und Preise

In frühen Zeiten war der Handel mit Schleif- und Poliermitteln bereits ähnlich entwickelt wie jener mit Erzen resp. Metallen, da manche dieser Materialien nur in wenigen Regionen vorkamen und über weite Strecken transportiert werden mussten. Spätestens in historischer Zeit wurden bereits aufbereitete Zwischenprodukte gehandelt wie zum Beispiel Schmirgel in Pulverform. Faktoren wie Seltenheit, Abbau- und Aufbereitungsaufwand, Transportweg, Eignung und Effizienz bestimmten den Preis beim abnehmenden Metallhandwerker. Eine Zusammenstellung von Preisen aus dem Jahr 1910 veranschaulicht sehr schön, wie gross die *Preisunterschiede* für Polierstoffe waren (Preise in Französischen Francs, pro Tonne)²⁵²:

	Wert 1910 (in FF)	Wert heute ca. (US-\$) ²⁵³
Naturkorund aus Kanada	700–1000	3500–5000
Schmirgel aus Naxos / GR	300–350	1500–1750
Schmirgel aus der Türkei	250–300	1250–1500
Rohgranat	200–250	1000–1250
Bimsstein aus Lipari / I	60	300
Tripel	125	625
Polierrot	90–200	450–1000
Carborundum (synthetisch?)	800–1100	4000–5500
Stahlschrot fein	500	2500

Nebst den Preisunterschieden können auch die modernen *Mengenverhältnisse* von Abrasiva interessieren, wie sie in der Industrie benötigt werden. Eine Statistik listet für den Verbrauch in den USA im Jahr 1967 folgende Stoffe und Mengen auf. Sie stellen trotz der schon damals vorherrschenden synthetischen Schleif- und Polierstoffe immer noch beträchtliche Mengen dar²⁵⁴:

249 Rinman 1814, 29.

250 Nach Bersch 1899, 540, zum Beispiel Stearin, Hammeltalg, Stearinöl und Kolophonium in einem bestimmten Mischverhältnis (zu Wiener Kalk). Zum Talg als Polierhilfsmittel auch Brockhaus 1882–1887, Bd. 15, 453.

251 Pierer 1857–1865, Bd. 15 (1862) 229.

252 Escard 1910, 8 f.

253 Konvertiert auf <http://www.historicalstatistics.org/Currencyconverter.html> (21.01.2019).

254 Coes 1971, 38.

	Menge (in US-tons)	Wert (in US-\$) ²⁵⁵
Quarzpulver (& Flint)	1 800 000	5 800 000 \$
Granatpulver	15 000	1 412 000 \$
Tripelpulver	70 000	377 000 \$
Bimssteinmehl	14 000	350 000 \$
Schmirgelpulver (1902) ²⁵⁶	744	49 000 \$
Schmirgelpulver (1906)	2 100	215 000 \$
Schmirgelbrocken (1902)	7 157	152 000 \$
Schmirgelbrocken (1906)	13 841	286 000 \$

Sieben und Schlämmen

Stefanie Nagel konnte mit mikroskopischen Untersuchungen an spätantiken Schliffgläsern nachweisen, dass die von den Glasschneidern verwendeten Abrasivstoffe in mindestens drei *verschiedenen Körnungen* angewendet wurden²⁵⁷. Man hatte es demzufolge schon in der Antike verstanden, gemörserte und gemahlene Schleif- und Poliermittel durch Sieben und Schlämmen in verschiedene Korngrößen zu sortieren und für Grob- und Feinschliff zu trennen.

Sven Rinman beschreibt 1814 den Prozess am Beispiel der Schmirgelzubereitung folgendermassen²⁵⁸: «Der Schmirgel muss auf einer dicken, harten und glatten Eisenplatte, mit einem gut verstärkten Hammer (Abb. 105, links) zerschlagen, ganz fein gerieben, dann *durch Flor gesiebt*, und endlich durch Schlämmen mit Wasser (Abb. 76) in drei Sorten eingetheilt werden, die für alle Arten von geschliffenen Waaren zureichen. – Beim Schlämmen verfährt man kurz folgendergestalt: Der durchgesiebte Schmirgel wird mit Wasser übergossen, das Pulver stark aufgerührt, und die Trübe nach ein oder zwei Stunden in ein anderes reines, glasiertes Gefäss gethan. Wenn sich nun, nach Verlauf einer halben Minute, das Gröbste im ersten Gefäss gesetzt hat, wird die noch rückständige Trübe in das zweite Gefäss gegossen, und wenn sie auch darin etwa drei Minuten gestanden hat, giesst man die Trübe aus diesem zweiten wieder in ein drittes Gefäss. Dies muss man so lange fortsetzen, als der gesiebte Schmirgel durchs Aufrühren noch trübe wird. ... Wenn sich das Wasser ganz abgeklärt hat, so erhält man auf diese Art drei Sorten, feinen, feineren und den feinsten Schlamm-Schmirgel; je nachdem er sich, nach seinem verschiedenen Gewicht, im ersten, zweiten oder dritten Gefäss abgesetzt hat.» (Vgl. Abb. 106).

Es sei hier ein kurzer Ausblick auf die Möglichkeiten des *Siebens* mineralischer Stoffe zur Gewinnung und Korngrössensortierung von Schleif- und Polierpulvern erlaubt. Das Sortieren resp. Ausscheiden solcher Sande und Pulver «von grob zu fein» erfordert Siebe unterschiedlicher Maschenweite. Wichtig dabei ist die *Regelmässigkeit der Öffnungen* im Sieb: Sie sollen erlauben, dass nur Feinmaterial etwa derselben Grösse durch alle Löcher passen kann und alles

Größere im Sieb zurückbehalten wird. Um das zu bewerkstelligen, braucht es besonders grosse Sorgfalt bei der Siebherstellung. Rekonstruktionsversuche textiler Siebe aus dem Neolithikum und der Bronzezeit haben gezeigt, dass mit ganz dünnen, gewirnten Bastfäden ein feines Siebgeflecht mit 3,3 mm Maschenweite resp. gut 2 mm Lochweite hergestellt werden kann²⁵⁹. Für die Herstellung eines Schleifpulvers reicht das durchaus, aber nicht für die benötigten feinen Fraktionen von Polierpulvern. Quarzsande zum Beispiel liefert die Natur viel einfacher in Bachbetten in geeigneten, verschieden stark sortierten Korngrößen (Abb. 101)! Andere Polierprodukte mussten dennoch gesiebt oder geschlämmt werden. Die feinen flachzylindrischen Siebe mit Draht- oder Pferdehaargittern, die vor allem für die Konfektionierung wertvoller Gewürze sowie für die Getreide- und Mehleinreinigung Verwendung fanden, sind seit spätestens dem 12. Jahrhundert in unveränderter Form bis heute hergestellt worden²⁶⁰, aber über Vorgängerkonstruktionen wissen wir kaum etwas. Wir müssen daher schon früh von *Schlammprozessen* ausgehen, in denen durch Aufrühren, Abschöpfen und Trocknen der gepochten, mit Wasser gemischten Abrasivmasse die kleinsten Korngrößen abgesondert werden konnten.

Der gebrochene Schmirgel und synthetische Abrasivstoffe werden heute in «Rüttel-Siebmaschinen» und Windsichtergeräten mit elektrostatischem Feld in die verschiedenen Fraktionen sortiert²⁶¹.

Historische Rezepte für Polierpasten, «Scheuersteine» und Schleifklötze

Die in diesem Buch aufgeführten Schleif- und Polierpulver müssen nicht unbedingt einzeln, d. h. unvermischt angewendet worden sein. Die frühneuzeitliche Fachliteratur ist voll von Rezepten für Schleif- und Poliermischungen. Hierzu einige willkürlich herausgegriffene Rezepte.

Die folgenden «modernen» Rezepte haben keinerlei Relevanz für ihre Anwendung bereits in archäologischen Epochen! Wenn ich hier einige Anleitungen zur Zubereitung von Mischungen für das Schleifen und Polieren wiedergebe, soll dies lediglich darauf hinweisen, mit welchen «Misch-Anwendungen» historischer Schleif- und Polier-

²⁵⁵ Konvertiert auf <http://www.historicalstatistics.org/Currencyconverter.html> (21.01.2019).

²⁵⁶ Werte für Schmirgel: Haenig 1910, 12

²⁵⁷ Nagel 2018, 118 Abb. 78; 80; 82.

²⁵⁸ Rinman 1814, 33.

²⁵⁹ Reichert 2007, 216–219 (ausgemessen am neolithischen Sieb Abb. 19 von Hornstaad-Hörnle).

²⁶⁰ Krünitz 1773–1858, Bd. 153 [ersch. 1830], 660–673 (Herstellung); Baert 2018 (Objekte).

²⁶¹ SIA 1940, 18 f. Abb. S. 23.

Abb. 76: Schlämmeinrichtungen um 1913. Im obersten Becken links (A) wird das fein gemahlene Poliermittel in Wasser gerührt (aufgeschlämmt) und setzen gelassen. In der feinen Suspension «schwimmen» nur noch die feinsten Partikel. Über einen Überlauf (a) fließt diese Suspension in ein unteres Becken (B), wo derselbe Vorgang wiederholt wird – so lange und über so viele Setzbecken, bis der Bodensatz in der gewünschten Feinheit aus dem untersten Becken (D) herausgenommen und zur Feinpolitur verwendet werden kann. Erfahrungswerte bestimmen Wassermenge, Fließgeschwindigkeit und angestrebte Korngrösse (Feinheit) des Endprodukts.

mittel wir zu rechnen haben, diese aber kaum je archäologisch nachweisen können. Von den verschiedenen historisch genannten *Bindemitteln* in Polierpasten haben sich Talg und Bienenwachs bis zu einigen Industrieprodukten der Gegenwart gehalten²⁶².

Bindemittel für Polierpulver

Schon vor der Mechanisierung und Industrialisierung verwendete man im Metallgewerbe verschiedene Schleif- und Polierpasten, in denen feinkörnige Poliermittel mit klebenden Bindemitteln innig vermischt waren²⁶³. In der Frühen Neuzeit wurden als Bindemittel Gemische mit Seife, Asphalt, Guttapercha (gummiartiges Baum- und Saffharz), Kopallack, Petroleum, Paraffin, Glycerin, Kasein, Wasserglas usw. empfohlen²⁶⁴.

Schmirgelpaste

Herbert J. Hawkins gibt in seinem Polierbuch von 1904 ein Rezept für eine Polierpaste für Eisen und Stahl. Es enthält feines Schmirgelpulver (oder «Crocus», Eisenhammerschlag), vermischt mit Öl, Talg und allenfalls Fett, und wird dann «made to a cake». Dieser wird dann «in small quantities» auf eine rotierenden Polierscheibe aufgebracht²⁶⁵.

Universal-«Scheuerstein»

Sven Rinman gibt 1814 ein Rezept zur Herstellung eines «Scheuersteins» zum Schleifen von Metallobjekten an²⁶⁶. Man solle Schmiedesinter (Hammerschlagmehl?), Kienruss, Schmirgel- und Bimssteinpulver mit einem «dicken Tischlerleim» zu einer Masse kneten und daraus Kugeln formen. Diese werden getrocknet und ohne Wasser als «Fleckkugeln» zum Reinigen von Metalloberflächen verwendet.

In einem abweichenden Rezept ist von fein gesiebttem Roheisen-Bohrspan und feinem Schleifsteinmehl zu gleichen Teilen die Rede. Daraus sei eine feuchte Masse zu mischen und darin etwas Kochsalz und Alaun aufzulösen. Damit «macht man einen Mörtel . . . , dem man nach Belieben die Gestalt von Steinen oder von Kuchen giebt». Nach mindestens drei- bis vierwöchigem Trocknen werden die hart gewordenen Blöcke ausgeglüht. Mit diesen Klötzen kann dann – unter Zugabe von ein paar Tropfen Wasser – Eisen und Stahl gescheuert werden. «Statt des Wassers [ver]wendet man mit besserem Erfolg dünnes Seifenwasser, weil der Rost durch das alkalische Wasser besser abgelöst wird.»

²⁶² Kleinschmidt 1937, 36.

²⁶³ Furger 2017A, 86; 95; 306.

²⁶⁴ Escard 1910, 161 (Seife); Wahlburg 1913, 166 f.

²⁶⁵ Hawkins 1904, 77 f.

²⁶⁶ Rinman 1814, 26.

Polierschmierseife

Heinrich Bergmann gibt in seinem «Rezeptbuch» von 1920 an, es sei auf der Basis von Schmierseife mit diversen Zusätzen eine Paste zu mischen. An strukturellen Zusätzen werden Venetianischrot oder Kokosfett sowie Soda und Ammoniak genannt; als abrasive Zusätze «Kreide» und «Eisenrot»²⁶⁷.

Andere Pasten und Pulver Bergmanns basieren auf Palmöl, Vaseline, Stearin, Kolophonium, Ölsäure, Oxalsäure oder Magnesia als Bindemittel einerseits sowie Eisenrot, Kreide, Wiener Kalk, Tripolith (erhitzte Mischung aus Ton, Kohle und Eisenhammerschlag) oder Kieselgur als Abrasiva andererseits²⁶⁸.

Putzseife

«Man löst in 3 Teilen kochendem Wasser 3 Teile weisse Seife zu einem dicklichen Seifenschleim, nimmt denselben vom Feuer und rührt in denselben nach und nach 2 Teile weissen *Tripel*, 3 Teile *Kreide*, 1 Teil gemahlenen körnchenfreien *Bimsstein* [und] 3 Teile *Eisenrost* [Hämatitpulver].»²⁶⁹

Putzfett

«Zu 2 Teilen Virginia-Vaseline mischt man, nachdem dieselbe im Feuer geschmolzen, 1 Teil ausgelassenen Rindertalg, lässt ein wenig erkalten und rührt nun in die Fettmischung, der man einige Tropfen Mirbanöl [Nitrobenzol] zusetzt: 4 Teile Ziegelmehl, 2 Teile gemahlenen Bimsstein, 2 Teile Kreide, 1 Teil Schmirgel ein bis sich eine konsistente gleichartige Salbe gebildet hat.»²⁷⁰

Tripelmischungen

Jean Escard nennt in seinem Buch «Les matières abrasives» von 1919 zwei Mischungen für Polierpasten mit dem Hauptbestandteil Tripel²⁷¹:

	Rezept 1	Rezept 2
Tripel	80	28 Teile
Zinnasche	30	–
Pfeifenton	30	10
Weinsäure	3	–
Natriumthiosulfat	–	3
Eisenoxyd	–	2

Je nach Schleif- oder Poliermittel hat es sich bewährt, die angefeuchtete Paste mit einem Lederlappen auf der Metalloberfläche anzuwenden (evtl. auf Abb. 75 dargestellt). Oft wurden die Polierpasten zum Einarbeiten auf der Metalloberfläche aber auch auf *Hölzer* aufgebracht. Das «hölzerne Reibzeug»²⁷² wurde entweder direkt verwendet oder man hat es zuvor mit *Leder* überzogen (Abb. 77)²⁷³:

Abb. 77: Harnischpolierer hantiert mit einem Polierholz auf dem eingespannten eisernen Harnischteil. Auf dem Boden liegt ein weiteres Polierholz (mit dem erkennbaren aufgezogenen Lederstreifen) und ein Sack, in dem vermutlich das pulverisierte Schleifmittel aufbewahrt war. Illustration aus den Nürnberger Hausbüchern, um 1425.

«Lederfeilen» und «Scheuerstöcke»

Sven Rinman gibt uns in seiner alten Anleitung²⁷⁴ den Hinweis, man könne «fertige Scheuerstöcke von Eisen- oder anderem trockenem Laubholz anwenden, die man mit starken Riemen von Sämisch- oder Hirschleder dergestalt umwindet, dass die raue Seite des Leders nach aussen gekehrt ist. Die Riemen werden mit Tischlerleim bestrichen, und während der Leim noch weich ist, auf dem einen Scheuerstock pulverisiertes Kristallglas, auf dem anderen gröberer, und auf dem dritten endlich geschlämmter Schmirgel, und zwar auf einem jeden so viel, als der Leim nur irgend annehmen und als darauf haften will, durch ein feines Flor-

267 Weitere Rezepte für Polierpasten mit Polierrot: Escard 1910, 161.

268 Bergmann 1920, 155.

269 Wahlburg 1913, 292.

270 Wahlburg 1913, 297.

271 Escard 1910, 127.

272 Wiedemann 1910, 9 (zerriebener Schmirgel mit etwas Salz, Zitronensaft und Wasser zum Polieren eiserner Waffen, nach mittelalterlichen muslimischen Quellen).

273 Weigel 1698, 374.

274 Rinman 1814, 25 und 45 f. (Zitat); Hartmann 1853, 27 f.

sieb aufgesiebt». Natürlich kann auch jedes andere fein geschlämmte Polierpulver auf einer «Lederfeile», auch «Polierholz» genannt, oder auf einem Lederlappen für eine Politur eingesetzt werden²⁷⁵.

Eine Weiterentwicklung dieser mit Leder beschichteten Polierhölzer waren runde, *rotierende Polierscheiben*. Die grossen Räder aus Weiden- oder Nussbaumholz wurden mit einem Getriebe in Gang gebracht. Sie waren ebenfalls mit Leder beschichtet. Leonardo da Vinci empfiehlt um 1500 in einer entsprechenden Darstellung²⁷⁶: «Bringe immer den Schmirgel auf deine Arbeit.»

Heinrich Bergmann empfiehlt, *gebrauchte Lederstücke* aus dem Polierprozess folgendermassen zur Wiederverwendung aufzubereiten²⁷⁷: Die verschmutzten Lederstücke seien zuerst in schwacher Seifenlösung, dann in Sodalösung einzulegen und auszuwaschen. Das Sodabad soll der Verhärtung nach dem Trocknen entgegenwirken, aber «es ist die geringe Menge Seife, die in dem Leder geblieben ist, welche die feinen Teile desselben durchdringt und weich wie Seide macht». Durch schnelles Trocknen, Ziehen und Bürsten erhält man ein «weiches und besseres Leder als die meisten Leder in ungebrauchtem Zustande».

Es versteht sich von selbst, dass solche Geräte und einfache Apparaturen im archäologischen Fundgut nicht erhalten sind. Ihr Einsatz ist anhand allfälliger Spuren an den antiken Metallobjekten kaum nachweisbar.

In unseren Experimenten hat sich jedenfalls gezeigt, dass Kupfer-, Bronze- und Messingobjekte mittels eines nassen, stabilen Lederstücks und unter Druck des Daumens oder Handballens mit fast allen Feinschleif- und Poliermitteln sehr gut und effizient bearbeitet werden können (Abb. 78).

Politur von Metallspiegeln

Die wohl extremste Politur, die in der Antike auf Metalloberflächen erzeugt wurde, ist jene auf *Spiegeln* (Abb. 4.1.2). Damit man sich in Kupferlegierungen überhaupt «spiegeln» kann, müssen diese extrem hart sein, was auch immer bedeutet, dass sie sehr brüchig sind (was viele Spiegelscherben im Fundstoff, die scharfkantig gebrochen sind wie Glas, zeigen). Wir sprechen von extrem spröder «Spiegelbronze», die in der Regel nebst dem Kupfer 25–50% Zinn enthält.

Das Planschleifen und Polieren von Metallspiegeln beschreibt Vannuccio Biringuccio im Jahr 1540 recht ausführlich²⁷⁸: «... Dann kittet man sie [die gegossenen Spiegelrohlinge] mit etwas angemachtem gebrannten Gips, mit Pech oder einem anderen Klebemittel, das leicht abzumachen ist, auf ein ebenes Brettstück und schleift sie auf einem vollkommen glatten Schleifstein mit Wasser- oder Handantrieb, auf einem grossen Stück Sandstein oder auf einem Nussbaumtisch mit Sand und Wasser und entfernt so die Gusschaut. Dabei achtet man darauf, dass man den Spiegel

nicht immer in einer Richtung hält, sondern bald nach dieser und bald nach jener Seite dreht, damit er nach allen Richtungen hin eben und gleichmässig wird. ... Von den geputzten und geschliffenen Stücken entfernt man die Schleifrisse, die der Sand oder der Stein gemacht hat, mit feinstem Schmirgel oder gemahlenem Bimsstein. Man tut diesen auf ein nicht geschorenes Wolltuch oder auf Leder und reibt die Spiegel damit. Um nun den Spiegeln Glanz zu verleihen, und damit das Bild erscheint, legt man sie auf ein Gamsleder oder auf ein weiches Tuch, welches das Poliermittel gut festhält. Dieses liegt auf einem Brett und wird mit feingesiebter Zinnasche, Tripel oder Ocker gepudert. All diese Stoffe sind brauchbar, am allerbesten aber ist die Zinnasche. Wenn ihr nun den Spiegel darauf reibt, braucht ihr nicht lange zu warten, bis das Bild deutlich erscheint. Je länger ihr nun weiter reibt, desto heller, schöner und dauerhafter wird der Glanz.»

Wie konkret der aufwendige Polierprozess vonstatengehen konnte, illustriert eine andere, neuzeitliche Beschreibung (1963) von Meera Mukherjee bei Spiegelmachern in Kerala (Indien)²⁷⁹: «The mirror bronze is made from copper, and tin, mixed in equal proportions. No other metal is added. ... After breaking the mould, the casts are filed. The mirror goes through an elaborate polishing process. At first, it is filed with a coarse file. The second stage consists of rubbing. The mirror is fixed on the wooden block, using the resin compound as the fixer. A jute cloth is pasted over the large wooden board, and its surface is covered with burnt crucible ash, which is sprinkled over it. The mirror is smeared with oil and rubbed over this surface, for not less than three hours. The third stage is a rubbing on woollen rug. The rug is spread on the board, and the mirror is rubbed against it, as before. No abrasive of any kind is used in this stage. Rubbing continues for two to three hours.» Bei anderen Polierprozessen in Indien (Westben-galen) waren Kuhdung, vermischt mit Lehm, im Einsatz sowie ein Polierstein für das «finish»²⁸⁰.

Christoph J. Raub vermutet, dass römische Spiegeloberflächen mit «kieselsäurehaltigen Pflanzenaschen» poliert worden sind²⁸¹. Die Politur römischer Spiegel und anderer runder Objekte wurde dadurch erleichtert, dass man sie schon zuvor auf der *Drehbank* glatt abgedreht hat und auch die eigentliche Polierarbeit rotierend – im heutigen Sinne «maschinell» – verrichten konnte.

275 Krause 1949, 28 f.

276 Abgebildet, beschrieben und übersetzt bei: Voos 1937, 16 f. Abb. 4.

277 Bergmann 1920, 181.

278 Zitiert nach Johannsen 1925, 460.

279 Mukherjee 1978, 26 (Spiegelpolitur in fünf Etappen, u. a. auch mit Asche, feinem Lehm und abschliessend mit Samt) und 414 (Zitat).

280 Mukherjee 1978, 326. – Dieselbe Poliermischung mit Lehm und Kuhdung bereits im 10./11. Jh. im Orient: Said 1989, 217 (zusammen mit Salz; nach al-Biruni).

281 Raub 1986, 306.

Abb. 78: Der Einsatz eines Lederstücks – sei es mit dem Daumen oder dem Handballen geführt oder auf ein Polierholz aufgespannt (wie auf Abb. 77) – erweist sich als sehr nützlich bei der Anwendung von Schleif- und Polierpulvern auf Metallobjekten. Meist wird damit nass gearbeitet: links oben: Bimssteinpulver auf Bronzeamulett; rechts oben: Ziegelpulver auf Silberblech; links unten: Eisenschlackenpulver auf Armbrustfibel; rechts unten: Schmirgelpulver auf Sangui-sugafibel (alle Objekte sind Replika).

In Zusammenhang mit der Feinpolitur von *Edelmetall*-sachen ist in den seltenen Quellen nicht nur von abrasiven Mitteln die Rede, sondern auch von *chemischen Polituren*. Im Papyrus Leidensis (um 300 n. Chr.) werden zum Beispiel Rübensaft und Alaun empfohlen²⁸².

Wir haben aufgrund der in der Antike theoretisch zur Verfügung stehenden Materialien mit folgenden abrasiven Mitteln zu rechnen – in alphabetischer Reihenfolge:

Bimssteinpulver

(engl. pumice/-powder) Aus gasreicher Lava entstandene, aufgeschäumte Gesteinsart (sehr leicht), meist grau, manchmal ockerfarben. Als Schleifmittel wird Bimsstein zu einem feinen Pulver gemahlen²⁸³ und mit Wasser angewendet (Verwendung als Schleifstein S. \$\$).

«Le poudre de pierre ponce destinée à cet usage [polissage] est généralement obtenue par le broyage à la meule des fragments irréguliers ou qui ont des dimensions trop petites ...»²⁸⁴

Das Pulver «muss gesiebt, eventuell geschlämmt werden, wenn es beim Schleifen und Putzen nicht tiefe Risse verursachen und die Arbeit verderben soll»²⁸⁵. Der Bimsstein dient ausser als Schleifmittel für Metalle auch für Bernstein, Marmor, Holz, Knochen usw.²⁸⁶ sowie zum Reinigen von Probersteinen (dazu S. \$\$ und Abb. 10, 20, 21). Als besonders wertvoll galt der weisse, leichte Bimsstein ohne sandige Einschlüsse, der sich leicht verreiben liess.

Vorkommen²⁸⁷

Liparische / Äolische Inseln / I, Insel Melos in der Ägäis / GR (nach Theophr. *lap.* 14), Stromboli / I, Toskana / I, Ätna auf Sizilien / I²⁸⁸, Auvergne / F, Eifel / D u. v. a.

Da der poröse Bimsstein spezifisch leichter ist als Wasser, schwimmt er bekanntlich. Dies macht ihn in Küstenregionen zu einem leicht zugänglichen Material, das an den Ufern gefunden werden kann²⁸⁹.

«Der italienische Bims ist sehr spröde und zeigt eine Härte zwischen 5 und 6 nach der Mohsschen Skala. ... Elektronenmikroskopische Aufnahmen haben ... gezeigt, dass der italienische Bims in seiner feinsten Struktur aus kleinen Blättchen besteht, dass er also ähnlich wie Graphit wirkt und durch die gegenseitige Verschieblichkeit der einzelnen Blättchen ein relativ mildes Schleifmittel darstellt. ... Der italienische Bims eignet sich daher weniger für die Metallverarbeitung, sondern wird vorzugsweise in Stücken für die relativ weichen Edelmetalle wie Silber ... herangezogen.»²⁹⁰

Neuzeitliche Nachweise

Pomponius Gauricus (Erstausgabe: Florenz 1504; Brockhaus 1886, 26f.) nennt als Poliermittel den Bimsstein; Bi-

ringuccio 1540 (zitiert nach Johannsen 1925, 434; 460); Kunkel 1732, 39 und 267 (Polieren von Treibhämmern der Goldschmiede); Rinman 1814, 26 (Bestandteil in einem Rezept für einen «Scheuerstein») und 29 (als Pulver für die Eisenpolitur «völlig unbrauchbar»); de Fontenelle 1832B, 187 («... réduite en poudre, broyée et amalgamée avec de l'huile d'olives ...»); Landrin 1835, 103 f. und 197; Rüst 1838, 241; Höhne / Rösling 1839, 348; Hartmann 1853, 25 f.; Harrison 1894, 7; 23 f.; Bersch 1899, 55; Hawkins 1904, 64; 79 f.; 89; Escard 1910, 127–160; Wahlburg 1913, 19–28 (ausführlich); Buxbaum 1925, 11; Eardley-Wilmot 1927A, 82 f.; Joseph 1929, 42; Kleinschmidt 1937, 7; Schwahn 1945, 62; Krause 1949, 11; Burkart 1956, 45; Diebener 1963, 20; Untracht 1982, 651 Abb. 14–14, 18; Brepohl 2000, 373. – Heute vertrieben z. B. von der Firma Gerstendörfer (Vergoldungs- und Restaurierungsbedarf), Gustenfelden / D.

Antiker Quellennachweis²⁹¹

Als Gestein ausführlich behandelt von Theophrastus (*lap.* 19–22). Dioskurides (*mat. med.* 5, 108) nennt Bimssteinpulver u. a. als Zahnputzmittel (siehe auch oben mit Anm. 129). In der Medizin, z. B. bei Celsus, häufig verwendet (Scheller / Frieboes 1906, 593). Plinius kennt ihn u. a. zum Polieren (zusammen mit Alaun) von Kupferoberflächen vor der Feuervergoldung (*nat.* 33, 65²⁹²) und als Pulver zum Polieren von Marmor (*nat.* 36, 154). Bimsstein wurde zudem zum Schleifen von Papyrus verwendet (Catull. 1, 1; Ov. *tr.* 1, 1, 11). Bei Theophrastus (*lap.* 22), der die medizinischen Eigenschaften noch nicht erörtert, gilt der schwarze Lava-Bimsstein als das bessere Schleifmittel als der weisse Bimsstein, aber der im Meer schwimmende sei der allerbeste.

Im spätantiken Leidener Papyrus (88) wird Blech erwähnt, das vor weiterer Behandlung mit Bimsstein geglä-

282 Berthelot 1889, 58 (Alaun); v. Lippmann 1919, 7 (Alaun, Rübensaft). – Neuzeitliches Rezept für ein Reinigungs- resp. Poliermittel für Gold mit Alaun: Meersalz, Weinstein, Schwefel, Alaun und *orpiment* (de Fontenelle 1832B, 188).

283 Pierer 1857–1865, Bd. 15 (1862) 229; Lueger 1904–1920, Bd. 2 (1905), 33 («Bimssteinpulver, während des Transportes abgeriebenes oder durch Mahlen hergestelltes Pulver natürlicher Bimssteine ...»).

284 Escard 1910, 129 f.

285 Lueger 1904–1920, Bd. 2 (1905), 33.

286 Kleinschmidt 1944, 9; Schwahn 1949, 13; 66.

287 Landrin 1835, 103; Kleinschmidt 1944, 8; Nagel 2018, 120. – Zur archäometrischen Herkunftsbestimmung von Bimsstein aufgrund von Spurenelementen: Peltz / Bichler 2001; Steinhauser et al. 2007; Steinhauser et al. 2018 (mit älterer Lit.).

288 Bimsstein vom Ätna u. a. wird aber ausgeschlossen von Landrin 1835, 103: «On en chercherait inutilement dans l'Etna, dans le Vivarais, dans le Velay. Le Vésuve même n'en fournit que très peu.»

289 Cotter 2014, 79 (Aran-Inseln vor der Westküste Irlands).

290 Burkart 1956, 45 Abb. 27.

291 Übersicht bei Blümner 1897B.

292 Diesen Hinweis verdanke ich Stefanie Nagel.

Abb. 79: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem Bimsstein aus Perissa auf Santorin/GR (vgl. Abb. 44).

Abb. 80: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem Bimsstein aus der Eifel bei Andernach/D (vgl. Abb. 45).

tet werden soll, und im Stockholmer Papyrus (P.Holm. 74) wird zur Vorbereitung einer Farbpigmentherstellung empfohlen, das Zyprische Kupfer «sorgfältig mit einem Bimsstein und mit Wasser zu schleifen, zu trocknen und mit etwas Öl einzustreichen ...»²⁹³.

Ebenfalls aus dem spätantiken Ägypten stammt eine Anleitung des Zosimos von Panopolis (3./4. Jh. n. Chr.)²⁹⁴: «Silber verarbeitet man zu vielen Geräten, besonders auch zu Spiegeln; im Rohgusse sehen sie noch rau und hässlich aus, nach dem Polieren aber, zu dem Öl und Bimsstein, Wolle, Leinen und zuletzt mit Lorbeerholzkohle gefüllte Leinensäckchen dienen, werden sie gar herrlich und glänzen gleich Perlen.» Öl, Wolle und Leinen legen nahe, dass auch der Bimsstein (und nicht nur die Lorbeerholzkohle) in Pulverform verwendet werden sollte.

Im sog. «Lucca-Manuskript» aus dem 7./8. Jahrhundert wird empfohlen, den zerriebenen Bimsstein in einem Töpferofen zu glühen und anschliessend zu pulverisieren und damit Goldsachen zu polieren²⁹⁵.

Archäologisch- / archäometrische Nachweise
(siehe oben S. 40 und 70)

Material, Aufbereitung und Beobachtungen mit Bimsstein 1 im Experiment

Material aus Perissa auf Santorin/GR: Testplättchen K11/B11/M11 (Abb. 79, unten). Das fein gesiebte Pulver wurde nicht, wie in einigen Rezepten empfohlen, mit Essig vorbehandelt. Bimssteinpulver, mit einem Lederplättchen und mit Druck nass eingerieben, erzeugt auf Bronze sofort einen schönen Glanz. Auf Kupfer und Messing ist eine etwas längere Bearbeitung zur Erreichung desselben Effekts nötig.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen mit Bimsstein 2 im Experiment

Material aus der Eifel bei Andernach/D²⁹⁶: Testplättchen K22/B22/M22 (Abb. 80, unten). Der Effekt ist derselbe wie mit dem mediterranen Bims (K11/B11/M11). Eifel-Bims bringt auf allen drei Testlegierungen eine gute Effizienz und einen schönen Feinschliff. Die feinen Schliffspuren sind, trotz fein gesiebt Pulver, von Auge gut erkennbar.

Eisenhammerschlag und Rostpulver («Crocus martis»)

Hammerschlag (engl. *hammerscale*, *mill scale*): feinste Eisenoxidplättchen (Abb. 82, oben); entstehen beim Eisenschmieden²⁹⁷.

Vorkommen

Hammerschlag fällt in jeder Schmiede in genügender Menge an; «Crocus martis» (Abb. 81) ist relativ einfach zu gewinnen.

Aufbereitung und Anwendung

«Weil der Eisensafran nichts weiter als ein in Rost oder Sinter verwandeltes Eisen ist, so kann man ihn auch auf mannigfaltige Art bereiten. ... [Crocus Marti] ist eigentlich nichts anderes als verbranntes Eisen. Man erhält ihn aus reinen Eisenfeilspänen, die man, unter stetem Umrühren und gegen das Einfallen der Kohle geschützt, so lange der Glühhitze aussetzt, bis sie durch das Zerreiben ein dunkelrothes oder rötlichbraunes Pulver geben. Ein solcher Crocus entsteht auch bei vielen anderen Gelegenheiten, z. B. in Glühöfen ..., ferner in den Schwefelhütten. ... Der gewöhnliche Schmiedesinter [Hammerschlag] ist fast ebenso gut, besonders wenn man ihn ein wenig stärker brennt. – Der Crocus martis aperiens ist reiner Eisenrost, den man aus blossen Eisenfeilspänen dadurch bereitet, dass man sie mit etwas Essig befeuchtet und der freien Luft so lange aussetzt, bis sie grösstenteils oder gänzlich in Rost verwandelt sind. Diesen Rost wendet man auch wohl zum Poliren an, indes ist er zu zart, und daher die Wirkung so unbedeutend, dass man ihn füglich entbehren kann.»²⁹⁸

Carl Hartmann nennt in seinem Standardwerk «Schleifen und Poliren» von 1853 eine besonders simple Weise, Hammerschlagpulver zu gewinnen²⁹⁹: Man sammle, um sich die Mühe des Zermörserns zu ersparen, «gleich den Theil des Hammerschlags, welcher sich unter dem Fusse des Ambosses schon in ziemlich feiner Pulvergestalt findet».

J.G. Georgi meint in seinem Standardwerk über die Geschichte des Eisens: «Der Glühspan oder Hammerschlag vom Stahle ist härter und schärfer als von Eisen, also zu Polirpulver dienlicher.»³⁰⁰ Ob der Kohlenstoff aus dem Stahl nach dem Oxidieren des Eisens zu Hammerschlag überhaupt noch vorhanden ist und einen Unterschied ausmacht, darf allerdings bezweifelt werden.

293 Halleux 1981, 105 resp. 129 f.

294 Zitiert nach der Übersetzung; von Lippmann 1919, 90.

295 Hedfors 1932, 183.

296 Die Handstücke aus Santorin verdanke ich Verena Vogel Müller (1975) und jene aus der Eifel Kuno Menchen (2011). – Bimssteinpulver wird heute noch im Goldschmiedebedarf angeboten.

297 Starley 1995; Dungworth / Wilkes 2007.

298 Rinman 1814, 36 f. (Zitat); Dupré 2018, 32.

299 Hartmann 1853, 24 f.

300 Georgi 1785B, 279.

Abb. 81: Glasgefäß für «Crocus Marti», hier als Adstringens (entzündungshemmend) für medizinische Anwendung, aus einer Apotheke des 17. Jahrhunderts (?).

Zur Anwendung bei der Messerpolitur bemerkt Heinrich August Pierers Universal-Lexikon³⁰¹: «Die Messerputze enthält ein Brettchen, welches mit einem Leder- od. Korkstreifen belegt ist, u. worauf man nach dem Auftragen von feinem Sand od. Hammerschlag das Messer od. die Gabel auflegt u. reibt.»

Neuzeitliche Nachweise

Georgi 1785A, 279 («Der Glühspan oder Hammerschlag vom Stahle ist härter und schärfer als vom Eisen, also zu Polirpulver dienlicher»); Georgi 1785B, 279; Rinman 1814, 25 (Hammerschlag zum Abschleifen von Rost auf Eisenoberflächen); 30 und 37 («Crocus martis» zur Politur von Eisen und Stahl); Hartmann 1853, 24 f.; Brockhaus 1882–1887, Bd. 8, 763, und Bd. 14, 394 f. (Hammerschlag); Bersch 1899, 539 (Hammerschlag); Hawkins 1904, 78 («Crocus is usually mixed with tallow and oil»); Wahlburg 1913, 55 (Hammerschlag); Bergmann 1920, 77 («Crocus, Eisensafran»); Kleinschmidt 1937, 11 f. (Crocus); Untracht 1982, 654 (Crocus rouge).

Antiker Quellennachweis

Celsus (V,c,1), Dioskurides (*mat. med.* 5,90) und Plinius (*nat.* 34,155) nennen zwar Eisenhammerschlag (*squama ferri*), jedoch nur in pharmazeutischem Zusammenhang zur Blutstillung resp. zum Abführen. Japanische Schriftrolle um 700 n. Chr. (Hammerschlag als Poliermittel für Bronzen, zusammen mit Kalksteinpulver, «harter» und «weicher» Holzkohle und «blauer Schleifstein»)³⁰².

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Hammerschlag wird häufig in antiken Schmiedewerkstätten beobachtet³⁰³, ist jedoch nicht als Poliermittelbefund belegt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Hammerschlag aus der Kunstschmiede Bernard Pivot in Basel/BS (1988), gemörsert und gesiebt (Abb. 82, Mitte): Testplättchen K07/B07/M07 (Abb. 82, unten). Hammerschlagpulver erweist sich als sehr effizientes Feinschleifmittel auf allen Legierungen und ist recht sparsam im Gebrauch.

Eisenschlackenpulver

(engl. iron slag powder) Die Schmiedeschlacke lässt sich einfach zerhämmern, vermörsern und zu einem feinen Pulver sieben (Abb. 83, Mitte).

Vorkommen

Fällt als kalottenförmige Brocken in der Mulde der Esse in jeder Eisenschmiede an.

Neuzeitliche Nachweise

Bersch 1899, 539; Wahlburg 1913, 53 f.

Antiker Quellennachweis

Unbekannt.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Römische Eisenschmiedeschlacke (Streufunde aus Augusta Raurica; Abb. 83, oben), gemörsert und gesiebt: Testplättchen K17/B17/M17 (Abb. 83, unten). Das Pulver ist erstaunlich «scharf» und führt auf allen drei Testlegierungen rasch zu einem guten Feinschliff. Seine leichte Beschaffbarkeit und Verarbeitung machen Eisenschlackenpulver theoretisch zu einem Schleifmittel erster Wahl.

³⁰¹ Pierer 1857–1865, Bd. 13 (1861) 710 f.

³⁰² Dokument im Shosoin Treasury/J, zitiert nach Goodway/Constable 1995, 49.

³⁰³ Ausführlich zum Hammerschlag: Berranger et al. 2014, 189 f. Tab. 1.

Abb. 82: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem Eisenhammerschlag.

Abb. 83: Schleif- und Poliertests mit pulverisierter römischer Schmiedeschlacke.

Abb. 84: Alte Verkaufsstüte einer Drogerie für getrockneten, fein gehackten Schachtelhalm (hier: *Equisetum arvense*). Das Produkt findet nicht nur in der Volksmedizin Verwendung, sondern wurde auch als «Scheuerkraut» resp. «Zinnkraut» verkauft und diente zum Polieren von Zinngeschirr.

Equisetum, Schachtelhalmpulver («Scheuerkraut»)

(engl. horsetail) Auch Polierheu, Kannenkraut, Scheuerbinsen, Zinnkraut (Abb. 84), Katzenwedel, Pferdeschwanz usw. genannt. Alle *Equisetum*-Arten enthalten viel eingelagertes Silizium (v. a. in der Epidermis der Stängel). Frischer Schachtelhalm enthält rund 7% Kieselsäure, das bevorzugte *Equisetum hiemale* (Winterschachtelhalm; Abb. 84; 85 oben links) hat – verascht! – einen Kieselsäureanteil von 97%. Auch andere *Equisetum*-Arten, wie etwa der kleine resp. Acker-Schachtelhalm (*Equisetum arvense*), werden als Scheuer- und Poliermittel verwendet³⁰⁴.

Vorkommen

Die Pflanze ist in Mitteleuropa – ja sogar «über die ganze Erde»³⁰⁵ – heimisch und stellenweise sogar häufig vorkommend.

Neuzeitliche Nachweise

Theophilus Presbyter (frühes 12. Jh.) Kap. 88 (Zinnpolitur; Übersetzung: Brepohl 1987, 283); Heraclius (ca. 12. Jh.; «Vorerst schabe das Holz völlig glatt, indem du höchst flach

schabest und dann mit jenem Kraute reibst, welches *asperella* genannt wird»; Übersetzung: Ilg 1873, 70 f.); Fuchs 1553 (Kap. 121: Es ist «rauch, ... daher brauchends auch die dræer allerley holtz unnd geschirr darmit zu polieren und glatt zu machen ... sonderlich was von zin oder anderm metall gegossen ist ...»); Krünitz 1773–1858, Bd. 34, 169 («Alle Arten des Kannenkrautes können zum Scheuern und Polieren des Zinnes und anderer Metalle gebraucht werden ... Winter-Kannenkraut ... ist wegen der scharfen Stängel dazu am geschicktesten, und wird daher von Goldschmieden, auch andern Künstlern, ja selbst den Tischlern und Drechslern, vorzüglich geachtet.»); Wahlburg 1913, 116 f.; Krause 1949, 12; Bartl et al. 2005, 725 (Quelle um 1500; mit weiteren Quellen); ausführlich: Eipper 2002.

Antiker Quellennachweis

Equisetum wird in manchen Quellen erwähnt, jedoch nicht als Poliermittel. Pharmazeutische Anwendungen: Antonius Musa (1. Jh. v. Chr.? spätantik?), *De herba vettonica* 39,1–2; Dioskurides (*mat. med.* 5,46; 1. Jh. n. Chr.; griech.: Hippuris); Plin. *nat.* 26,132 (lat.: *Equisetum*); Apuleius Madaurensis, *herbarius* (2. Jh. n. Chr.), 39. Galen erwähnt *equisetum* gar nicht. – Unerwünscht in der Landwirtschaft: Plin. *nat.* 18,260. – Es wurde immerhin vermutet, dass römische Spiegeloberflächen mit «kieselsäurehaltigen Pflanzenaschen» poliert worden sind (Raub 1986, 306).

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Equisetum arvense (Ackerschachtelhalm, aus der Drogerie³⁰⁶) getrocknet (Abb. 85, oben Mitte), gemörsert und gesiebt (Abb. 85, oben rechts) resp. getrocknet und verascht (Abb. 85, Mitte): Testplättchen K12/B12/M12 (Abb. 85, unten). Zwischen bloss getrocknetem und gebranntem Schachtelhalmpulver ist kaum ein Unterschied in der Anwendung als Poliermittel auszumachen. Der veraschte Schachtelhalm (Abb. 85, Mitte rechts) führt zu einer noch perfekteren Politur als der bloss getrocknete und pulverisierte. Da dieses Material, bezeichnet auch als «Zinnkraut» oder «Kannenkraut», in der Frühen Neuzeit vor allem für das weiche Zinn (sowie für Holz, Malgründe usw.³⁰⁷) verwendet wurde, erscheint es bemerkenswert, dass damit sowohl das ebenfalls weiche Kupfer, aber auch die härteren Legierungen Messing und Bronze gut zu polieren sind.

304 Brockhaus 1882–1887, Bd. 6, 241 f.; Paul 1951, 259 f. (mit div. alten Namen); Eipper 2002, 39–42.

305 Wahlburg 1913, 116.

306 Der in einigen Rezepten als optimal bezeichnete Winterschachtelhalm (*Equisetum hiemale*) war für unsere Tests nicht erhältlich.

307 Eipper 2002, 42.

Abb. 85: Poliertests mit pulverisiertem und teilweise veraschtem Equisetum (Schachtelhalm).

Abb. 86: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem modernem Glas.

Glaspulver, Glasmehl

(engl. glass powder) Herstellung aus Glasscherben durch Glühen und Abschrecken in Wasser mit anschliessendem Zermörsern. Glaspulver wurde nicht nur als Schleifmittel, sondern möglicherweise auch als Abdeck-/Schmelzmittel in Tiegeln verwendet. Hierfür musste es jedoch niedrigschmelzend sein und funktionierte als Flussmittel und Oxidierungsschutz.

Vorkommen

Überall herstellbar.

Neuzeitliche Nachweise

Bersch 1899, 235; 539; Rinman 1814, 25 (Entrosten und Feinschleifen von Eisen); SIA 1940, 26.

Antiker Quellennachweis

Keiner.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Testplättchen K01/B01/M01 (Abb.86, unten). Zerstoßenes (Abb.86, oben) und fein gesiebtes modernes Glas (Abb.86, Mitte). Das nasse Schleifen von Metall ist langwierig, sowohl auf einer fest fixierten Leder- wie auf einer Holzunterlage. Je härter die gut benetzte Unterlage, desto besser. Auf Kupfer verschmiert Glaspulver eher (Abb.86, unten links) als auf dem härteren Messing und der Bronze. Die deutlichsten feinen Kratzrillen hinterlässt Glaspulver auf Bronze (Abb.86, unten Mitte). Glaspulver auf einem nassen Lappen führt kaum zum Ziel – das Scheuermittel bröselte laufend vom Werkstück weg (daher werden moderne Schleifmittel in fettgebundenen Pasten und Stangen und kaum als Pulver angeboten).

Holzasche

(engl. wood ash) Ein Brei aus Wasser und Holzasche ist leicht basisch und hat die Eigenschaft, harte Oberflächen einfach zu polieren.

Vorkommen

Überall herstellbar.

Neuzeitliche Nachweise

Hirschberg 1962, 83 (Kamerun); Mutschlechner 1971, 20 (zum Scheuern von Messingdraht nach dem Ausglühen); Raub 1986, 306.

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Asche aus Tannen- und Buchenholz (Abb. 87, oben), gesiebt (Abb. 87, Mitte). Testplättchen K19/B19/M19 (Abb. 87, unten). Ausgezeichnetes Mittel zum Entfernen von Patina und zum Polieren von glatten Metalloberflächen; ist aber weniger effizient als z.B. Kalktuffpulver (K18/B18/M18 [Abb. 90, unten]), da die Asche zum Verschmieren neigt. Die Bearbeitung mit Holzasche hinterlässt ganz feine, kaum erkennbare Schliffrillen.

Holzkohlepulver

(engl. charcoal powder) Vornehmlich aus Birken-, Holunder-, Linden-, Ulmen- und Weidenholz; hergestellt in Kohlemeilern und zu Pulver zerklopft (Abb. 88, oben) und zermahlen (Abb. 88, Mitte). Eine Quelle meint³⁰⁸: «Tannen- oder Buchen-Holzkohlen geben das beste Material und je harzreicher das Holz war, desto glänzender und dichter ist die Kohle, desto zarter schleift sie auch. Sie wird immer mit Wasser oder Öl angefeuchtet und dient auch zum Abziehen der Schwarzsteine (Probiersteine) der Juweliere... Will man besonders weiche Holzkohleschleifstücke, so bringe man das Holz vom schwarzen Holunder, der Weide oder auch der Linde zur Verkohlung. Die Holzkohle ist ein besseres und feineres Schleifmittel als der Bimsstein.»

Die Ausgangsstücke müssen tiefschwarz, leicht und hart klingend sein³⁰⁹. Eine Metalloberfläche soll mit Holzkohlepulver genauso fein poliert werden können wie mit einem extrafeinen Schleifpapier der Körnung 1200³¹⁰.

Holzkohlepulver war auch eines der üblichen und effizienten Abdeck- und Reduktionsmittel beim Aufschmelzen von Metallen³¹¹.

Vorkommen

Überall herstellbar.

308 Rüst 1838, 241 («am besten aus Hollunder- oder Lindenholz gebrannt»); Joseph 1929, 43 f. (Zitat).

309 Nach Bersch 1899, 293.

310 Benzonelli et al. 2017, 1043.

311 Hinzmann 1941, 25.

Abb. 87: Poliertests mit gesiebter Tannen- und Buchenholzasche.

Abb. 88: Poliertests mit Holzkohlepulver.

Neuzeitliche Nachweise

Theophilus Presbyter (frühes 12. Jh.) Kap. 26 und 74 (Übersetzung: Brepohl 1987, 93; 228); Landrin 1835, 107 f.; Bersch 1899, 293; 539; Rüst 1838, 241; Höhne/Rösling 1839, 348 (zur Entfettung zuvor ölgeschliffener Oberflächen empfohlen); Wahlburg 1913, 94–100 («namentlich Holunder-, Linden-, Ulmen- und Weidenkohlen»); Bergmann 1920, 77; Buxbaum 1925, 11; Joseph 1929, 43 f.; Untracht 1982, 653 Abb. 14–14,16 (Holzkohlestäbchen «to remove surfaces scratches»).

Antiker Quellennachweis

In antiken Quellen aus Japan werden Holzkohlepulver und Lehm als Poliermittel genannt³¹².

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Holzkohlepulver, sehr fein gemahlen, der Firma Fischer in Pforzheim / D: Testplättchen K25 / B25 / M25 (Abb. 88, unten). Erzeugt auf den getesteten Buntmetallen mit gewalzter Oberfläche *keine* Politur und hat auch keinen Reinigungseffekt. Auf vorpolierten Flächen wäre Holzkohlepulver für eine letzte Feinpolitur denkbar.

Kalk, Ätzkalk, Wiener Kalk

(engl. chalk, slaked lime, Vienna lime) Unter diesen Stoffen sind verschiedene Kalk- und Silikatformen zusammengefasst, z. B. fein gemahlener, gebrannter dolomitischer Kalk (Kalzium-[Magnesium-]Karbonat), Kreide, Mollusken-schalen sowie gebrannter Kalkstein oder Marmor. Sie eignen sich besonders zur Politur von Oberflächen weicher Materialien wie Zinn, Bernstein, Horn und Knochen³¹³, nach Georg Agricola und anderen auch zum Putzen von Silber³¹⁴, nach Victor Wahlburg «namentlich zum häuslichen Gebrauche, zum Putzen von Messing, Silber, Neusilber usw. ... aber auch ... zum Feinschleifen und Polieren von Stahl und Messing» sowie zum Entfetten. Ätzkalk wurde auch als schlackebildendes Material in der Metallurgie eingesetzt³¹⁵. Weil Wiener Kalk hygroskopisch wirkt, wurde und wird er «in gut abgedichteten Blechpackungen in den Handel gebracht»³¹⁶. Er wird auch anderen Poliermitteln (Eisenoxid / Pariser Rot) zur Streckung beigemischt.

Vorkommen

Sehr häufige Vorkommen in Kalk- und Kreideformationen; als Kalkmörtel im alten Bauhandwerk allgegenwärtig. Ätzkalk wird nach Dioskurides (*mat. med.* 5,115) durch Ausglühen von Meeresschnecken hergestellt³¹⁷.

Neuzeitliche Nachweise

Brockhaus Bilder-Conversations-Lexikon, Bd. 1 (Leipzig 1837) 527; Rüst 1838, 243; Höhne/Rösling 1839, 300; Hartmann 1853, 29 f.; Pierer 1857–1865, Bd. 13 (1861) 710 f.; Brockhaus 1882–1887, Bd. 10, 591; Harrison 1894, 118 («lime»); Bersch 1899, 539 f.; 843 f.; Hawkins 1904, 79; Wahlburg 1913, 117 f. («Süßwasserkalk»); 124 f. («Wienerkalk [Putzkalk]»); Bergmann 1920, 77 und 179; Buxbaum 1925, 11; Eardley-Wilmot 1927A, 96–98; Schneider/Schneider 1928, 40 f.; Joseph 1929, 45 f.; Krause 1949, 13 f.; Smithells 1949, 695; Staudinger 1955, 7; Burkart 1956, 49 f. Abb. 33; Untracht 1982, 651; Brepohl 2000, 370; heute vertrieben z. B. von der Firma Gerstendörfer (Vergoldungs- und Restaurierungsbedarf), Gustenfelden / D.

Antiker Quellennachweis

Bezeugt sind medizinische Anwendungen (z. B. Diosk. *mat. med.* 5,115), nicht jedoch der Einsatz als Poliermittel. Im Mittelmeerraum ist auch *Gips* – zum Blankpolieren von Zinn – überliefert (Halleux 1981, 99 [P. Leidensis 63]).

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Wiederholtes Vorkommen von Branntkalkdepots in Bronzezeitebenen in Augst / BL, Augusta Raurica (Insulae 20 und 31), jedoch ohne Hinweise auf dessen Verwendung³¹⁸.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

(Vgl. auch unten, «Kalktuff» und «Kreide») Kalziumkarbonat aus der Drogerie (Abb. 89, Mitte), sehr fein gemahlene Industriequalität: Testplättchen K26 / B26 / M26 (Abb. 89, unten). *Kein* Poliereffekt, da zu weich und daher kein abrasives Mittel. Solch fein gemahlener «Kalk» eignet sich höchstens zur Reinigung bereits polierter Metalloberflächen.

312 Sugimori 2004; Benzonelli et al. 2017, 1042 f.

313 Schwahn 1949, 47; Burkart 1956, 49 f. («Meist ist er hergestellt aus Dolomit und besteht aus ausserordentlich feines Pulver mit Korngrößen unter 1 µ aus einem Gemisch aus Kalzium- und Magnesiumoxyd.»).

314 Agricola 1546, pag. 199, S. 57.

315 Brockhaus 1882–1887, Bd. 10, 32 f. bes. 33.

316 Burkart 1956, 50.

317 Scheller / Frieboes 1906, 580 f.; Goltz 1972, 171 f.

318 Schwarz 2000, 47 Anm. 254 Abb. 27,4.

Kalktuff, Tropfsteine, Mergel

(engl. calcareous tuff, dripstones, clay marl) Aufbereitung durch Stampfen, Mörsern und Pulverisierung.

Vorkommen

Kalkgebirge, Karstlandschaften (z.B. Französischer und Schweizer Jura).

Neuzeitliche Nachweise

Bersch 1899, 539 f.; Wahlburg 1913, 103 f. (Kalktuff); 109 f. (Mergelkreide); 113 f. (Kalk- und Dolomitmergel); 119 f. (Trass/Tuffstein).

Antiker Quellennachweis

Plin. *nat.* 36,53 (Tuffpulver, zum Polieren von Marmor).

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Kalktuff von einem kleinen Nebenfluss des Doubs bei St. Ursanne/JU (1983; Abb. 90, oben), gemörsert und fein ausgesiebt (Abb. 90, Mitte): Testplättchen K18/B18/M18 (Abb. 90, unten). Ausgezeichnetes Mittel zum Entfernen von Patina und zum Polieren von glatten Metalloberflächen; hinterlässt ganz feine, kaum erkennbare Schliffrillen.

Kieselgur, Kieselerde, Tripel

(engl. kieselguhr, diatomite, rotten stone) Auch «Terra Tripolitana», «Brüsseler Erde» oder Polierweiss / Poliergelb genannt. Weissliche, pulverisierte Substanz aus kleinen fossilen Schalentieren (Radiolarien/Strahlentierchen) und Kieselalgen (Diatomeen), hauptsächlich aus Siliziumoxid (Kieselsäure, bis 98%) bestehend. Die gelbliche Erde wird geschlämmt und gereinigt, gebrannt und gemahlen. Chemisch aufbereitete Kieselerde ist weiss (Abb. 91, oben).

Vorkommen

Verschiedene Vorkommen³¹⁹ in Deutschland (z.B. Hannover/Lüneburger Heide, Sachsen-Anhalt), Niederösterreich (Limerge), Tschechien (Böhmen), Bretagne/F, Süd-Wales/GB, Levante (um Tripoli/RL³²⁰), Sahara (oberflächlich). Eine besonders reine «Kieselerde» – aber ohne Diatomeen – liefert das Vorkommen bei Neuburg/D an der Donau³²¹.

Neuzeitliche Nachweise

Bartl et al. 2005, 121; 730 (Quelle um 1500); Agricola 1546, pag. 199, S. 57; pag. 278, S. 186 f.; Weigel 1698, 371; Kun-
kel 1732, 39 und 185; Jablonski 1748, 1236; Krünitz 1773–

1858, Bd. 188, 329–338; de Fontenelle 1832A, 179 («Tri-
poli ou argile tripolienne, pierre de Samos»); de Fontenelle
1832B, 188 («On emploie cette poudre fine de tripoli avec
du vinaigre ou de l'eau-de-vie ...»); Landrin 1835, 104 f.;
Rüst 1838, 242; Hartmann 1853, 33 f.; Brockhaus 1882–
1887, Bd. 15, 849; Bersch 1899, 540; 806; Hawkins 1904,
78; Escard 1910, 126 f.; Wahlburg 1913, 100–103 (Kieselgur
u. a.); 121–123 (Tripel und Polierschiefer); 309 («Levantiner
Pulver»); Bergmann 1920, 77; Buxbaum 1925, 11; Joseph
1929, 43; Kleinschmidt 1937, 11; Krause 1949, 12; Smithells
1949, 694; Staudinger 1955, 7; Burkart 1956, 48 f. Abb. 32;
Diebener 1963, 20; Coes 1971, 37 f.; Untracht 1982, 651
Abb. 14–14,7–9; Brunhuber 1991, 556; Brepohl 2000, 369.

Antiker Quellennachweis

Cassiod. *var.* 5,1,2: vermuteter Kieselgur-Abbau schon im
6. Jahrhundert n. Chr. durch die Warnen im Elbecken
und verwendet zur Politur damaszierter Schwertklingen
(zitiert oben mit Anm. 11).

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Es wird in frühneuzeitlichen Anleitungen empfohlen, den
Tripel zur *mittleren* Politur – nach dem Bearbeiten mit Bims-
steinpulver und vor der Feinpolitur z.B. mit Pariser Rot –
anzuwenden. Tripelpulver kann auch mit Öl vermischt
als Poliermittel eingesetzt werden³²². Tripel wird bis heute
sowohl rein in «Polierstangen» gehandelt und von Gold-
schmieden verwendet als auch mit anderen Substanzen
zu Polierpasten vermischt: «... il entre dans la composition
d'un grand nombre de poudres et de savon destinés au net-
toyage des objets métalliques. C'est ainsi que pour polir des
métaux durs, on emploie avec succès un mélange composé
de 80 parties de tripoli, 30 d'oxyde d'étain, 30 de terre de
pipe et 3 d'acide tartrique.»³²³ Der Brief des Cassiodor im
Namen Theoderichs des Grossen (Cassiod. *var.* 5,1,2) be-
richtet von der Hochglanzpolitur von Stahl, vermutlich
mithilfe von Kieselgur («... mit Eurem höchst glänzenden
Pulver so kräftig poliert, bis sein stählerner Glanz ein Spie-
gel für Männer ist. Dieses Pulver wird Euch unter den na-
türlichen Schätzen Eures Landes gewährt ...»; s. Anm. 11).

319 Petrascheck/Petrascheck 1950, 229 f.; Rösler 1951, 9.

320 Escard 1910, 126 («Son nom [le tripoli] vient de ce que le premier
gisement exploité était situé à Tripoli, ville de Syrie»).

321 Burkart 1956, 50 f. (als «Kreide» bezeichnet); Schönrock 2008 (Das
Buch war dem Autor leider nicht zugänglich).

322 Escard 1910, 127.

323 Escard 1910, 127.

Abb. 89: Schleif- und Poliertests mit Kalziumkarbonat-Pulver (als Ersatz für natürliches Kalksteinpulver).

Abb. 90: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem Kalktuff von St. Ursanne/JU.

In unserem Experiment habe ich den «Tripel hell» der Firma Kremer Pigmente in Aichstetten/D (Abb. 91, Mitte) verwendet. Er wird in sehr fein gemahlener Industriequalität geliefert: Testplättchen K27 / B27 / M27 (Abb. 91, unten). Auf glatter und mit Essig vorgebeizter Oberfläche stellt sich durch feuchtes Bereiben rasch eine feine Politur ein. Je feiner das Diatomeenpulver gemahlen ist, desto mehr Geduld erfordert seine Anwendung auf nicht anderweitig vorgepolierten Flächen.

Kieselsäurehaltiges Hartgesteinsmehl (Silex usw.)

(engl. silicate rock flour, flint powder, chert powder) Siliziumdioxid-haltige Hartgesteine (SiO₂); aus Rohstoffen wie Feuerstein (Silex, Flint), Obsidian, Achat, Kieselschiefer, Radiolarit usw. gewonnen. Pulverisierung durch Abschrecken in Wasser, Pochen, Mahlen und Schlämmen³²⁴. Für das «Schmirgelpapier» wird im Englischen bezeichnenderweise auch der Begriff «flint sandpaper» verwendet.

Vorkommen

Weit verbreitet, insbes. Feuersteine.

Neuzeitliche Nachweise

Hartmann 1853, 26; Bersch 1899, 540; Wahlburg 1913, 56–59; Eardley-Wilmot 1927A, 50; 65; Kleinschmidt 1937, 18; SIA 1940, 26; Untracht 1968, 400 («Flint is the oldest and most commonly known abrasive ... used by primitive man ...»); Untracht 1982, 635 («flint sandpaper»); 651.

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment 1

Kreide-Silex aus Coizard / F im Pariser Becken (1971; Abb. 92, oben), erhitzt und im Wasser abgeschreckt, gemörsert (Abb. 92, Mitte, links) und fein gesiebt (Abb. 92, Mitte, rechts): Testplättchen K08 / B08 / M08 (Abb. 92, unten). Das äusserst scharfkantige Pulver eignet sich sehr gut zur Erzielung eines Feinschliffs und ist recht effizient.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment 2

Violettes *Schieferpulver* aus Mels/SG³²⁵: glimmerartiger harter Schiefer, durch Eisen und Mangan violett gefärbt. Erhältlich bei der Fa. Kremer Pigmente in Aichstetten/D (heute als Farbpigment); sehr fein gemahlen in Industriequalität: Testplättchen K29 / B29 / M29 (Abb. 93, unten).

Auf geglätteten und mit Essig vorgebeizten Flächen wird mit dem sog. «Melser Schieferviolett» in nützlicher Frist durch feuchtes Bereiben eine schöne Politur erreicht; auf harter Bronze (B29, Abb. 93, unten Mitte) ist das Resultat am befriedigendsten.

Knochenasche

(engl. bone ash) Rückstand nach vollständigem Verbrennen von Knochen; weisses Pulver (hauptsächlich Kalziumphosphat). Der gebrannte, noch immer seine ursprüngliche Form bewahrende Knochen wird «gepulvert und geschlämmt, wonach er ein sehr zartes weisses Pulver darstellt. Man wählt vorzugsweise Schafknochen, um sie auf diese Art zum Polieren zuzubereiten. Die Knochenasche wird gebraucht zum Polieren der Goldarbeiten, wobei man sie mit Weingeist auf eine Lederfeile oder auf Filz etc. aufträgt, ferner mit Wasser oder auch trocken zum Putzen angelauener Silberwaren»³²⁶.

In der Literatur wird das Trocken- und das Nassschleifen – mit Spiritus oder Salmiakgeist – gleichermassen empfohlen³²⁷. Unsere Versuche (unten) haben gezeigt, dass Knochenaschepulver sowohl für Feinschliffe als auch für Polituren verwendet werden kann und dass vor allem seine *Körnung* für das Resultat ausschlaggebend ist. Knochenasche wurde in der traditionellen Metallurgie besonders auch zur Herstellung von Kupellen verwendet.

Vorkommen

Überall herstellbar.

Neuzeitliche Nachweise

Schindler 1697, 11 (Herstellung); Hartmann 1853, 34; Brockhaus 1882–1887, Bd. 10, 371; Bersch 1899, 539 f.; Wahlburg 1913, 94 («gebranntes Hirschhorn ... zum Polieren von Silber und Stahl»); 104 f. (Knochenasche); Bergmann 1920, 77; Joseph 1929, 45; Kleinschmidt 1937, 17; Krause 1949, 14 (Knochenasche und gebranntes Hirschhorn).

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt.

³²⁴ Hartmann 1853, 26.

³²⁵ Ein eventuell ähnlicher Stoff, verwendet für Goldpolituren, könnte das Pulver von «pierres vertes» aus Böhmen sein, erwähnt bei de Fontenelle 1832B, 187.

³²⁶ Hartmann 1853, 34.

³²⁷ Kleinschmidt 1937, 17; Krause 1949, 14.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Innenbeschichtung mittelalterlicher Gefässe mit Knochenasche»³²⁸.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment 1

Rinderröhrenknochen (Markbeine; Abb. 94, oben) wurden im Muffelofen hellgrau bis weiss geglüht (unter starken Geruchsemissionen; Abb. 94, Mitte) und anschliessend gemörsert und fein ausgesiebt: Testplättchen K14/B14/M14 (Abb. 94, unten). Das feinsandige, hartkörnige Material wurde mit Wasser und einem stabilen Leder mit sanftem Druck auf die Metalloberflächen gerieben. Dies erzeugt einen befriedigenden Feinschliff; das Material ist ziemlich effizient.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment 2

Nebst dem vom Autor selbst gefertigten Produkt (oben, Abb. 94) wurde auch die «Knochenasche weiss» der Fa. Kremer Pigmente in Aichstetten / D getestet, die in sehr fein gemahlener Industriequalität geliefert wird (Abb. 95, Mitte): Testplättchen K28/B28/M28 (Abb. 95, unten). Das Pulver ist so fein, dass es nur auf vorpolierten Flächen «funktionierte». Es ist nicht so effizient wie andere Poliermittel. Knochenasche erzielt auf harter Bronze (B28, Abb. 95, unten Mitte) mit etwas Geduld gute Resultate, auf weiche Legierungen weniger (vor allem auf Kupfer, K28, Abb. 95, unten links).

Korund (Natur- und Industriekorund), Tonerde

(engl. corundum, aluminium oxide abrasive) Äusserst widerstandsfähiges Mineral. «Naturkorund hat einen grösseren Gehalt an Aluminiumoxid (Al₂O₃) als der Schmirgel und ist demgemäss auch ein besseres Schleif- und Poliermittel. Ein gut aufbereiteter Naturkorund besitzt 90–95% reine Tonerde.»³²⁹

Heute als «Elektrokorund» in grosser Menge für die Industrie produziert (Abb. 74). Unser Testmaterial hat eine äusserst feine Korngrösse von 250 µm³³⁰.

Vorkommen

Naturkorund kommt beinahe weltweit vor, als Mineral in zahlreichen Varietäten (Abb. 96, oben)³³¹, auch als Bestandteil des Schmirgels (s. oben)³³². In unserem Zusammenhang sind die Naturkorundvorkommen – ausser jenen von Afrika, Indien und Amerika – von Campolungo/TI³³³ und aus der Eifel/D von Interesse. Ob der sehr beschränkt vorkommende Tessiner Korund je zu Schleif- und Polierzwecken genutzt wurde, ist eher unwahrscheinlich. Interessanterweise sind «ausserordentlich selten ... die kost-

baren, sehr harten Korunde ... als Gemmen geschnitten worden»³³⁴.

Die Aufarbeitung des zähen Naturkorunds durch Brechen, Pochen, Schlämmen, Rühren, Walzen und Sieben ist sehr aufwendig. Synthetischer Korund ist heute in der Industrie wohl das dominierende Schleif- und Poliermittel (u. a. auf Schleifpapier, Trennscheiben usw.)³³⁵.

Neuzeitliche Nachweise

Haenig 1910, 12–14; Stier 1911, 8; Wahlburg 1913, 60–62 (Industriekorund); 81–86 (Naturkorunde aus Schmirgel und anderen Mineralien); Buxbaum 1925, 9f. («Korund ... ist trotz seines hohen Preises ... das begehrteste natürliche Schleifmittel»); Kleinschmidt 1937, 13–17; SIA 1940, 27 (Elektrokorund); Kleinschmidt 1944, 2f.; Staudinger 1955, 5; Burkart 1956, 53f. Abb. 38–41; Hilpke 1956, 35 (Naturkorund) und 36 (Kunstkorund); Untracht 1982, 651f.; Brepohl 2000, 369; Gwosdz/Lorenz 2005, 48–53 (Mineralogie des Korunds).

Antike Quellennachweise

Athina Boleti vermutet, dass es sich bei einigen der von Plinius genannten schmirgelähnlichen Gesteine um Naturkorund handeln könnte. Sie meint dabei Vorkommen in Indien und Äthiopien³³⁶.

Im «Buch der pharmakologischen Grundsätze» von Abu Mansur Muwaffaq, entstanden um 975 n. Chr. in Herat/IR, wird auch die Tonerde erwähnt: Sie «findet sich als weisse feste Masse vor, und wird wegen ihrer grossen Härte auch als Schmirgel verwendet»³³⁷.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Als Schleifmittel für Hohlbohrungen in Marmorteilen vom Grossen Aton-Tempel in el-Amarna/AEG (Serotta/Carò 2014).

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Weisser Industriekorund (Abb. 96, Mitte) zum Vergleich mit natürlichen Schleif- und Poliermitteln. Testplättchen

328 Wahlburg 1913, 115 («aus Triest bezogen»); Keller et al. 2000 (Zitat).

329 Kleinschmidt 1937, 13 (Zitat); Krause 1949, 10.

330 Getestet wurde das Produkt «Cobra Aluoxid Strahlmittel» (250 µm) der Firma Renfert GmbH, 78247 Hilzingen/D. Für die Beschaffung danke ich Markus Helfert, Frankfurt/D.

331 Zum Beispiel in China (Landrin 1835, 108f.), in Wadi Hafafit/AEG (Serotta/Carò 2014, 3 Abb. 6).

332 Önay 1950, 378f.

333 Buxbaum 1925, 9; Gwosdz/Lorenz 2005, 48 (Zitat).

334 Zwierlein-Diehl 2007, 309.

335 Zur Geschichte des Industriekorunds: Anderson 1994.

336 Boleti 2017, 50 (mit weiterführender Lit.).

337 von Lippmann 1906, 87 (Zitat); Schroeder 1930, 25.

Abb. 91: Schleif- und Poliertests mit «Tripelpulver hell».

Abb. 92: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem Kreide-Silex aus Coizard / F (Pariser Becken).

Abb. 93: Poliertests mit violetter Schieferpulver aus Mels / SG.

Abb. 94: Schleif- und Poliertests mit geprühten und pulverisierten Rinderröhrenknochen.

Abb. 95: Poliertests mit fein pulverisierter «Knochenasche weiss».

Abb. 96: Schleif- und Poliertests mit feinst pulverisiertem Korund. Oben Naturvorkommen, Mitte und unten Industriekorund.

Abb. 97: Schleif- und Poliertests mit pulverisierter Kreide aus Grimes Graves / GB.

Abb. 98: Schleif- und Poliertests mit pulverisierten Cardiummuscheln vom Mittelmeer.

K47/B47/M47 (Abb. 96, unten). Ausgezeichnetes Schleifergebnis: regelmässiger Feinschliff, stark abrasiv. Auf dem weichen Kupfer (K47) etwas schmierig (auf Abb. 96, unten links, kaum sichtbar), bei härteren Legierungen angriffiger.

Kreide, Schlämmkreide

(engl. chalk) Versteinerte (fossile) Muschelschalen (Kalziumcarbonat); aufzubereiten durch Mahlen und Ausschlämmen. Kreide wird als Putzpulver oder in Polierpasten³³⁸, neuzeitlich auch als Beimengung in Tiegeltonen sowie als schlackenbildender Schmelzzuschlag verwendet.

M. H. Landrin empfiehlt folgende Anwendung von gepulverter Kreide³³⁹: «On la frotte sur un morceau de buffle [Büffelhaut] ou de feutre, et cet outil sert à donner le dernier poli aux ouvrages de fer ou de l'acier. On peut encore enlever les taches que font les doigts sur les objets polis, avec ce morceau de buffle ou de feutre frotté de craie. ... La craie naturelle convient plus particulièrement aux objets qui ne sont pas entièrement polis; encore existe-t-il des différences assez remarquables dans cette sorte de calcaire. La craie préparée à l'eau est plus pure et moins susceptible de rayer.»

Vorkommen

Fossilhaltige Kalksteininformationen, z. B. an den Kreideküsten von England und Frankreich (Troyes, Champagne, Meudon), Spanien oder an der Ostsee.

Neuzeitliche Nachweise

Theophilus Presbyter (frühes 12. Jh.) Kap. 26 (Kreide, mit Lappen eingerieben, für Feinpolitur) und Kap. 75 (Übersetzung: Brepohl 1987, 93; 230); Agricola 1546, pag. 199, S. 57 («Silberkreide ... zum Putzen aller Silbersachen»); Landrin 1835, 105–107; Rüst 1838, 242; Höhne/Rösling 1839, 300 (Wiener Kalk); Massalski 1841, 302 (Polieren von Damaszenerstahl); Hartmann 1853, 34; Bersch 1899, 311; 539f.; Meyer 1905–1909, Bd. 11 (1907) 622; Wahlburg 1913, 105–109 («... zählt weniger zu den Schleifmitteln, als vielmehr zu den Putzmitteln ... namentlich [für] Silber, Messing und Stahl ...»); Salzmann/Wobbe 1916, 160 (Schlammkreide als Bestandteil eines «Putzpulvers» für «Kupfer- und Messinggegenstände» sowie «silberhaltige Legierungen»); Buxbaum 1925, 11; Dammer/Tietze 1927, 459; Schneider/Schneider 1928, 40; Joseph 1929, 45; Krause 1949, 14; Staudinger 1955, 7; Burkart 1956, 50f.; Brunhuber 1991, 604 (andere metallurgische Anwendungen).

Antiker Quellennachweis

Plin. nat. 35,199 (*creta argentaria*, «Silberkreide», zum Polieren von Silber).

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Kreide aus Grimes Graves/GB (neolithisches Silexbergwerk; Abb. 97, oben links), zerstoßen, gemörsert und gesiebt (Abb. 97, oben rechts und Mitte): Testplättchen K20/B20/M20 (Abb. 97, unten). Ausgezeichnetes Mittel zum Entfernen von Patina und zum Polieren von glatten Metalloberflächen, vor allem auf Messing (M20, Abb. 97, unten rechts). Das Ergebnis auf dem weichen Kupfer (K20, Abb. 97, unten links) und auf der härteren Bronze (B20, Abb. 97, unten Mitte) ist weniger befriedigend bzw. nur mit mehr Arbeitsaufwand zu erreichen. Kreidepulver hinterlässt ganz feine, kaum erkennbare Schliffritzen.

Muschelschalenpulver

(engl. shellpowder) Sehr reiner Kalk, vorwiegend aus Austernschalen zu mahlen resp. brennen.

Vorkommen

Überall herstellbar (Austern aus dem Atlantik und Mittelmeer wurden in römischer Zeit überallhin verhandelt).

Neuzeitliche Nachweise

Bersch 1899, 440; 540; Wahlburg 1913, 114f.; Krause 1949, 14.

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Cardiummuscheln (Herzmuscheln) vom Mittelmeer (Abb. 98, oben), gemörsert und fein ausgesiebt (Abb. 98, Mitte): Testplättchen K03/B03/M03 (Abb. 98, unten). Mit einem nassen Leder, das gut mit dem Pulver beschichtet ist, lässt sich gut arbeiten; der Druck auf das Metall erfolgt mit Daumen oder Handballen. Muschelpulver verliert seine Abrasivität erstaunlicherweise nur langsam.

³³⁸ Dammer/Tietze 1927, 454–461 bes. 456 und 459.

³³⁹ Landrin 1835, 106.

Ossa sepia

(engl. ossa sepia, posterior shell of the common cuttlefish) Weisses feste Rückenschale des Tintenfisches («Weisses Fischbein», Schulp). Normalerweise – und heute noch – in Stücken als Giessformen für Gold und Silber verwendet³⁴⁰, kann das Material pulverisiert als Schleifmittel oder in Stangen geschnitten als «Feilen» (Abb. 49) eingesetzt werden. «Das Produkt ... dient als sehr feines Schleifmittel für Metalle, Holz, Lack- und andere Politurüberzüge.»³⁴¹

Vorkommen

«Das Bein wird von unterschiedener Grösse angetroffen, doch sind sie selten grösser, als eine Mannshand. Sie finden sich aller Orten am Ufer des Meeres, wie in Holland, unweit Leyden bei Cadwip-See zu sehen, allwo sie die Holländer Zee-Schuym, d. i. See-Schaum, nennen; doch bringen die Tyroler die schönsten aus Italien auf dem Rücken, und verkaufen sie Tausend-weise, da man denn die dicksten, weissesten, leichtesten, und die sich leicht zerreiben lassen, aussuchen mus.»³⁴²

Neuzeitliche Nachweise

Bersch 1899, 501; 539f.; Lueger 1904–1920, Bd. 7 (1909) 172–176; Wahlburg 1913, 115; Kleinschmidt 1937, 18; Krause 1949, 14; Armbruster 2001, 626 (ur- und frühgeschichtlicher Einsatz).

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Kurt Kluge war der Überzeugung, dass «die Antike ... das wohl idealste, auch heute noch begehrte Schleifmittel [benutzte], das den alten Bildhauern das Meer schenkte und das sie in Menge mühelos am Strande aufsammeln konnten: den Schulp des Tintenfisches»³⁴³. Er konnte aber weder historische Quellen noch archäologische Befunde für diese Behauptung nennen. Wenigstens die Verwendung dieses wohlfeilen Materials ist für das Frühmittelalter – allerdings in anderer Funktion innerhalb der Metallverarbeitung – nachgewiesen:

Zwei Silbergürtelschnallen aus dem alamannischen Gräberfeld von Bopfingen/D (6. Jh. n. Chr.) bezeugen die Verwendung von Ossa Sepia als Gussformmaterial, nicht jedoch als Poliermittel³⁴⁴.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Ossa-Sepia-Schalen (Schulp; Abb. 99, oben) aus dem Handel für Goldschmiedebedarf: Testplättchen K06/B06/M06 (Abb. 99, unten). Aufwendiges Mörsern und Sieben ist nicht nötig, da sich das Kernmaterial in aufgeweichtem Zustand leicht auskratzen lässt (Abb. 99, Mitte). Die Bröckchen können nass mithilfe eines Leders unter Druck auf

der Metalloberfläche gerieben werden, bis eine Politur entstanden ist. Hierfür erscheint das Material effizient. Der Verbrauch ist jedoch relativ hoch, was seine Anwendung weitab der Meeresküsten unwahrscheinlich macht.

Zu gleichartigen Ergebnissen kam auch Bernhard Schmaltz, als er ganz ähnliche Überlegungen und Experimente anstellte³⁴⁵; aber auch ihm fehlte der archäotechnische Nachweis an Originalobjekten: «Als ideales Schleifmittel der Antike erwähnt bereits Kluge den Schulp des Tintenfisches³⁴⁶. Versuche zeigten, dass dieses ausserordentlich billige Material zur Beseitigung von Gussflocken und -graten ebenso geeignet ist wie zum Schliff der Oberfläche: Mit Ausdauer und genügend Schleifmaterial lässt sich eine geradezu samtweiche und doch glatte Oberfläche herstellen, wie sie z. B. selbst mit dem feinsten Sandpapier nicht zu erreichen ist. Mit diesem natürlichen Schleifmittel konnte demnach ein erfahrener Giesser nach sorgfältiger und detaillierter Wachsarbeit die Bronzestatuetten bis zur Vollendung bringen ohne zu Meissel, Feile oder Punze greifen zu müssen.» Er experimentierte ganz konkret³⁴⁷: «Für eine etwa 6 cm lange Bronzestatuetten benötigte ich bei einem Versuch 16 Schulp mittlerer Grösse. Freilich hatte die Statuette dank der Unvollkommenheit des modernen Gießers, der keine Erfahrung im kleinformigen Guss besass, zahlreiche, hohe Gussgrate, für die viel Schleifmaterial verbraucht wurde. – Im Übrigen erklärt sich bei Annahme dieses Verfahrens sehr leicht, weshalb unzugängliche Stellen an den Statuetten ... meist nicht geglättet sind, – mit dem Meissel hätte man auch diese Partien meist bearbeiten können.»

(Ergänzend wurde versuchsshalber ein längs aufgesägter Schulp als feine «Feile» benutzt [Abb. 49, Mitte]: Der Abrieb am Schulp ist jedoch viel zu gross, die Schalenoberfläche ist zu hart, das Kernmaterial zu weich.)

340 Diebener 1963, 144–147 Abb. 45–50; Brepohl 2000, 155–157 Abb. 4.25–26.

341 Wahlburg 1913, 115.

342 Krünitz 1773–1858, Bd. 5, 517.

343 Kluge 1927, 139.

344 Blumer/Knaut 1991 (Befunde an den beiden Originalen und experimentelle Rekonstruktion des Verfahrens). – Ossa Sepia als Gussformmaterial für Goldschmiede ist auch schon bei Biringuccio 1540 erwähnt (zitiert nach Johannsen 1925, 431).

345 Schmaltz 1980, 9.

346 Kluge 1927, 139.

347 Kluge 1927, 139 Anm. 34.

Abb. 99: Poliertests mit pulverisierten Ossa-Sepia-Schalen (vgl. Abb. 49).

Abb. 100: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem Hämatit (aus Brasilien).

«Pariser Rot», «Polierrot», Hämatit

(engl. [jeweller's] rouge, soft haematite, colcothar) Rotes Eisenoxid (von gelbrot zu violettbraun schwankend), das seiner Härte und Feinheit wegen als Hochglanzpoliermittel für (Edel-)Metalle und andere harte Stoffe benutzt wird. «Pariser Rot» ist auch heute in jeder Goldschmiedewerkstatt zu finden. Je dunkler das Polierrot ist, desto grösser ist seine Härte und Wirksamkeit.

Als «Rötel», «Roter Ocker», «rouge d'Angleterre», «Crocus» resp. rotes Farbpigment ist Hämatitpulver seit den Steinzeiten für Höhlenmalereien, Grabbeigaben etc. verwendet und auch in grossem Stil abgebaut worden. Roter Hämatit (auch «Blutstein») diente bis in die Neuzeit in Form geschliffener Stücke zum Hochglanzpolieren von Gold und Silber (s. oben mit Anm. 185–201 und 224)³⁴⁸, und in den Himalayaländern werden Messingstatuen durch Einbrennen einer Hämatitpulvermischung braun resp. rot patiniert³⁴⁹. Bisweilen wurde das Poliermittel extra aufbereitet³⁵⁰: «Mais de tous ces moyens, le plus simple consiste à extraire le rouge, du carbonate de fer, par la calcination. On pulvérise le carbonate et on le calcine dans un creuset à la température rouge.»

Vorkommen

Weltweit sehr verbreitet.

Neuzeitliche Nachweise

Biringuccio 1540 (Verschweissung und Politur einer Goldplattierung; zitiert nach Johannsen 1925, 449); Weigel 1698, 374; Woodward 1795, 32 (Politur von Metallspiegeln); Rinman 1814, 39 und 44 (Blutstein); de Fontenelle 1832B, 188 («rouge d'Angleterre [tritoxide de fer]»); Landrin 1835, 111–113 («colcathar», «rouge d'Angleterre»); Rüst 1838, 243; Hartmann 1853, 30–33 (ausführlich); Bersch 1899, 542; Hawkins 1904, 76 f.; Escard 1910, 160 f.; Wahlburg 1913, 38 f.; 50 ff.; 65; Bergmann 1920, 77; Buxbaum 1925, 11; Joseph 1929, 44 f.; Kleinschmidt 1937, 11 f.; Krause 1949, 14 f.; Smithells 1949, 694; Burkart 1956, 51 f. Abb. 34; Diebener 1963, 20; Untracht 1982, 652 Abb. 14–14,1; Brepohl 2000, 369.

Antike Quellennachweise

Cels. 5,5; 5,7 (*lapis haematites*)³⁵¹; Diosk. *mat. med.* 5,1126 (*lapis haematites*); Plin. *nat.* 29,124; 36,129.144 bes. 146 ff. 158; 37,169 (in allen Zitaten ausschliesslich medizinische Anwendungen).

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Steinzeitlicher Ockerabbau (als Farbpigment) auf der Insel Thasos/GR³⁵². Hämatitpulver in der römischen Bronzwerkstatt von Vertault/F³⁵³; schlierige Ablagerungen von Hämatit auf beiden Seiten eines frühmittelalterlichen Schleifsteins aus York/GB-Coppergate³⁵⁴ (weitere Funde von Hämatitbrocken s. oben Abb. 63 und Anm. 196–199).

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Hämatit aus Brasilien (aus dem Mineralienhandel; Abb. 100, oben), gemörsert und fein ausgesiebt (Abb. 100, Mitte): Testplättchen K23/B23/M23 (Abb. 100, unten). Der Nassschliff mit Hämatitpulver ist genauso effizient wie mit modernem Industriekorund (s. oben, K47/B47/M47, Abb. 96, unten) und Naxos-Schmirgel (K24/B24/M24 [Abb. 110]). Hämatit ist sehr abrasiv, ausdauernd und ergibt einen schönen Feinschliff. Wegen dieser guten Eignung ist Hämatit resp. rotes Eisenoxid – verarbeitet als «Pariser Rot» – heute noch die erste Wahl bei der Edelmetallpolitur.

Quarzsand

(engl. quartz sand) Quarzsand, grösstenteils bestehend aus Siliziumdioxid, war wohl das häufigste Schleifmittel der Vergangenheit, denn er ist oft scharfkörnig, sehr hart und fast überall zu finden oder aus verwittertem Quarzgestein herzustellen³⁵⁵. In träge fliessenden Bächen und Rinnsalen wird der erodierte Quarz gerne gut sortiert abgelagert (Abb. 101): Je langsamer die Fliessgeschwindigkeit, desto feinkörniger die Sandablagerungen. Mit Quarzsand lassen sich sowohl «weiche» organische Materialien wie Knochen, Geweih oder Holz schleifen als auch harte Stoffe wie Stein- und Metallobjekte. Die Anwendung erfolgt fast immer nass. Zu kompakten Quarzsandsteinen als Schleifkörper siehe oben mit Abb. 34–39.

Interessant ist eine Sandansammlung von rund einem Meter Durchmesser in der römischen Bronzegiesserei von Augst/BL, Insula 31 (Abb. 102). In der ursprünglichen Annahme, es handle sich um Giessersand, wurde eine Probe davon granulometrisch analysiert und mit einer Gussandprobe verglichen³⁵⁶. Gussand ist etwas feiner (vor allem in der Fraktion 0,02–0,05 mm), und der «römische» Sand aus der Bronzegiesserei hatte auch mehr gröbere Körner (0,1–2,0 mm). Er deckt sich am ehesten mit heute gehandelten

348 Dammer/Tietze 1927, 276 f. (Blutstein, für Gold); Diebener 1963, 20 (Silber); Bartl et al. 2005, 698 (Gold).

349 Furger 2017A, 95 Abb. 163; 116 Abb. 213; 222–225; 306.

350 Landrin 1835, 111.

351 Scheller/Frieboes 1906, 596.

352 Koukoulis-Chrysanthaki/Weisgerber 1999.

353 Chardron-Picault 2005, 141.

354 Bayley 1991, 119 («soft haematite [also known as jewellers' rouge]»); Bayley 1992, 791; 842 («... streaks of haematite were noted on two sides of a whetstone fragment, [Kat.-Nr.] 4409»); 841 (Hämatitbrocken, 9.–11. Jh. [Kat.-Nm. 4272–4398], s. hier Anm. 197).

355 Zu Sanden generell: Hassler 2010.

356 Laur-Belart 1970; Martin 1978, 118 Abb. 1 («Feiner Sand, leicht rosa von Ziegelmehl», «Haufen von Giessersand»[?]).

Abb. 101: Sandsortierung durch die Natur: Alpirsbach im Schwarzwald/D, kleiner Nebenfluss der Kinzig. Eine längere Regenzeit führte zur allmählichen Ablagerung von fein sortiertem Quarzsand in einer Kurve des Rinnsals, die als Sedimentfalle wirkte. Der Sand stammt vom hier anstehenden, oberflächlich stark abgewitterten Buntsandstein.

Feinsanden, die als «Schleifsand» und Ähnliches angeboten werden³⁵⁷.

Für die Frühe Neuzeit definiert Victor Wahlburg vier *verschiedene Korngrößen* zum Schleifen und Polieren mit Quarzsand: 1) «Perlsand» mit verrundeten und eckigen Körnern bis 2 mm Durchmesser, 2) grober Sand mit ca. 1 mm messenden Körnern, 3) feiner Sand resp. «Quellsand», «Mahlsand», «Triebsand» mit «kaum 0,8 mm grossen, gewöhnlich abgerundeten Körnern», und 4) «Staubsand» oder «Flugsand» mit «pulverartigen bis staubartigen Teilchen ... Sand der Dünen und Wüsten»³⁵⁸. Heute wird Quarzsand und -pulver fast nur noch in Poliertrommeln verwendet³⁵⁹.

Vorkommen

In Flussbetten des Alpenraums und vieler anderer kristalliner Gebirge³⁶⁰.

Neuzeitliche Nachweise

Biringuccio 1540, 144 («schleift sie [die Spiegel] ... auf einem Nussbaumtrett mit Sand und Wasser»; zitiert nach Johannsen 1925, 460); Kunkel 1732, 267; Bersch 1899, 539 f.; Escard 1910, 117–121; Wahlburg 1913, 66 f.; Eardley-Wilmot 1927A, 65 (Amerika); Kleinschmidt 1937, 18; Kleinschmidt 1944, 5 f.; Krause 1949, 11; Staudinger 1955, 5; Burkart 1956, 44 f.; Hirschberg 1962, 83 (Kamerun); Beitzl 1986, 229 (Beschreibung eines «Zinnhauses» um 1620, Reinigung der geglähten und gebeizten Weissbleche mit Sand); Untracht 1982, 651 (Silica); Coes 1971, 34; Brepohl 2000, 369 u. v. a. m.

Antiker Quellennachweis

Dioskurides (*mat. med.* 5,148) meint im 1. Jahrhundert n. Chr. mit «Sand» vom Meeresstrand wohl Quarzsand, nennt aber nur medizinische Anwendungsmöglichkeiten.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Sandansammlungen in metallverarbeitenden Werkstätten, z. B. Augst/BL, Insula 31 (s. Anm. 356).

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

«Allerfeinster Quarzsand» (Abb. 103, oben) der Drogerie Chrüterhüsli in Basel/BS, noch etwas feiner ausgesiebt (Abb. 103, Mitte): Testplättchen K09/B09/M09 (Abb. 103, unten). In dieser sehr fein gesiebten Version ist Quarzsand weniger effizient als z. B. Eisenschlacke- (K17/B17/M17 [Abb. 83]) oder Silexpulver (K08/B08/M08 [Abb. 92]). Auf einer relativ weichen Kupferoberfläche erweist sich Quarzsand aufwendiger als auf den härteren Legierungen Bronze und Messing. Grosskörnigerer, scharfkantiger Quarzsand hingegen ist ein vielbewährtes, aber grobes Vorschleifmittel.

Schleifsteinmehl

(engl. sandstone dust) Beim Schleifen auf Schleifsteinen jeglicher Art (s. oben mit Abb. 10–39) bildet sich *Abrieb* vom Stein und vom Metall. Gewisse Schleifsteine werden bei der Arbeit «cremig», wenn sie «mit Wasser in Berührung» kommen. Wenn «das Messer darauf gewetzt wird, kann man durch die Paste einen besonders feinen Schliff erzielen. Ein Grund, dass die Schleifsteine eine «Paste» bilden, sieht man im Dünnschliff. Es sind einige «weiche» Minerale zu erkennen und zwar Glaukonit, Glimmer und dann sind noch Tonhäutchen um die Quarzkörner herum»³⁶¹. Die kleinsten isolierten Sandsteinpartikel sind in der Regel sehr fein und bilden einen «Polierschlamm». Dieser lässt sich durch Schlämmen von nicht erwünschten Steinchen und Metallabrieb befreien und wurde bisweilen als Poliermittel verwendet. Vor allem der Bodensatz von Nassschleifeinrichtungen liefert das feine Material als Nebenprodukt³⁶².

Henri Landrin empfiehlt dazu³⁶³: «Néanmoins la mou- lée est très bonne pour préparer la surface à polir, jamais

³⁵⁷ Zum Beispiel Schleifsand «fein» bis «mittel» nach Staudinger 1955, 11 Tabelle 3; «Reibsand (Schleifsand, Feinputzsand)» der Firma Scherf in Hartberg/A der Korngrösse 0,06–1 mm: <http://www.scherf.at> (15.02.2018) oder die «Schleifsande Korn 80–180» der Firma Gerstaeker in Olten/SO der Korngrößen 74–250 µm: <https://www.gerstaecker.ch> (07.03.2018).

³⁵⁸ Wahlburg 1913, 66–69; Staudinger 1955, 11 Tabelle 3 (sechs moderne Körnungen von «sehr grob» bis «staubfein»).

³⁵⁹ Burkart 1956, 44.

³⁶⁰ Petrascheck/Petrascheck 1950, 223–229 bes. 227.

³⁶¹ Lemmerhofer 2010, 109.

³⁶² Wahlburg 1913, 63. – Auf dieses «Nebenprodukt» nasser Schleifarbeiten hat mich auch Markus Binggeli (Bern) aufmerksam gemacht.

³⁶³ Landrin 1835, 107.

Abb. 102: Augst/BL, Augusta Raurica, Insula 31, Grabung 1963.054. Planausschnitt einer Bronzeziesserei mit Pfostenbasis aus rotem Buntsandstein (Mitte), Schmelzherd (unten links), Amphore (unten rechts), Kalkdepot (oben rechts) und einer Linse aus «feinem Sand» (oben links). Bei Letzterer könnte es sich um einen Sandvorrat – versorgt in einem grossen Sack? – zum Schleifen der Gussobjekte gehandelt haben. M. etwa 1:20.

Abb. 103: Schleif- und Poliertests mit feinst gemahlenem Quarzsand.

Abb. 104: Schmirgelbruch in Kleinasien (um 1910).

Abb. 105: Frühneuzeitliche Werkzeuge für den Abbau des harten, zähen Schmirgelgesteins, insbesondere schwere Hämmer und Pickel. Sammlung des Geologischen Museums von Apeiranthos auf Naxos / GR.

pour achever le poli. On prend la moulée dans l'auge et on la place avec la main dans un pot, en l'écrasant entre les doigts, ou contre les parois, afin de s'assurer qu'elle ne contient point de grains propres à rayer. S'est très facile à reconnaître.»

Vorkommen

«Polierschlamm» fällt überall an, wo intensiv (und meist nass) mit Sandsteinen geschliffen wird.

Neuzeitliche Nachweise

Landrin 1835, 107; Wahlburg 1913, 63; Rinman 1814, 25 (Abschleifen von Rost auf Eisenoberflächen); 44 f. (weniger effizient als Schmirgelpulver).

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Nicht experimentell geprüft.

Schmirgel

(engl. emery) Dichtes, schweres Gemenge von *Korund* (Al₂O₃) mit Magnetit, Hämatit (Eisenglanz) und Quarz³⁶⁴. «Der vorzüglichste und beste Schmirgel ist schwarzgrau und bläulich im Bruch, rauh und scharf beim Anfühlen, schwer, und giebt mit dem Stahl Feuer.»³⁶⁵ Der Hauptbestandteil Korund ist ein sehr hartes Mineral (das zweithärteste nach dem Diamanten). Die Härte des Korunds und des Schmirgels wird mit Mohs-Härte 9 angegeben (Obsidian 5–6, Quarz 7; Diamant 10; Abb. 74)³⁶⁶. Heute werden Schmirgel resp. Korund (Abb. 96; 110) künstlich hergestellt.

Vorkommen

Als natürliches Gemenge auf Naxos / GR³⁶⁷ und in der Ägäisregion in der südwestlichen Türkei (Abb. 104)³⁶⁸. Der «echte Schmirgel» wurde noch im 19. Jahrhundert als «Naxosschmirgel», eine stark eisenhaltige Varietät von Korund, bezeichnet³⁶⁹. Das äusserst zähe Gestein muss mit schwerem Gerät vom Muttergestein losgelöst und zerkleinert werden (Abb. 105). Plinius (*nat.* 36, 51–52) erwähnt nebst Naxos auch Vorkommen in Äthiopien, Indien und Koptos / AEG. In frühindustrieller Zeit wurde Schmirgel auch bei Smyrna / TR in Kleinasien sowie an anderen Orten in Mitteleuropa abgebaut³⁷⁰. «Der kleinasiatische Schmirgel kommt dem griechischen [aus Naxos] am nächsten, steht jedoch an Güte hinter demselben zurück.»³⁷¹ Ob Schmirgelvorkommen in Sachsen, Spanien und auf Jersey / GB³⁷² in der Antike genutzt worden sind, ist zu bezweifeln.

³⁶⁴ Zur Mineralogie des Schmirgels: Escard 1910, 78; Haenig 1910, 8–10; Gwosdz / Lorenz 2005, 48–53; Boleti 2017, 71–72; 139–164.

³⁶⁵ Rinman 1814, 31.

³⁶⁶ Zum Schmirgel als Abrasivmittel generell: Untracht 1968, 399 f.; Brady / Clauser 1991, 297.

³⁶⁷ Gobantz 1894; Haenig 1910, 6 f.; Boleti 2017. – Generell und ausführlich: Dammer / Tietze 1927, 263–276.

³⁶⁸ Weitere Vorkommen: Boleti 2017, 72 Abb. Carte 7.

³⁶⁹ Brockhaus 1882–1887, Bd. 14, 436. – Siehe auch bei Jablonski 1748, 1008 («Er [der Schmirgel] wird aus Spanien, Engelland und Schweden zu uns gebracht. ... Der gepulverte wird von den büchsenwaffen- und messerschmieden zum poliren ... gebraucht.») und bei Krünitz 1773–1858, Bd. 147, 100 («Man findet ihn auch auf Naxos und mehreren Inseln des Archipels, in Altcastilien und Estremadura.»). Die Schmirgelvorkommen auf Naxos werden eindrücklich geschildert von Karl Gustav Fiedler (1841), 300–308.

³⁷⁰ Rinman 1814, 32 f.; Wahlburg 1913, 72 f. Abb. 9 (= unsere Abb. 104) und 10; Eardley-Wilmot 1927B, 41 (granathaltige «Schmirgel»-Vorkommen in Bayern, «Oberpfälzer Schmirgel»); Önay 1950, 367–431. – Zum «Oberpfälzer Schmirgel» siehe auch: <http://www.vfmg-weiden.de/granat2.htm> (22.01.2019).

³⁷¹ Wahlburg 1913, 73 (Zitat); Kleinschmidt 1937, 19.

³⁷² Rinman 1814, 32; Landrin 1835, 108; Escard 1910, 79.

Aufbereitung und Anwendung

Schmirgel ist so zäh und hart, dass seine Zerkleinerung und Pulverisierung besondere Anforderungen an Kraft, Gerät und Ausdauer stellt³⁷³! Es wurde sogar in Erwägung gezogen, dass der natürlich «aufbereitete» Sand an den Küsten von Naxos wegen seiner Schmirgelbestandteile zum Schleifen und Polieren direkt und allenfalls gesiebt genutzt worden ist³⁷⁴.

Schmirgelminen auf Naxos: Im 18. bis 20. Jahrhundert waren grosse, schwere Steinbrechmaschinen, Pochwerke und Schmirgelmühlen in Anatolien und auf Naxos zur weiteren Bearbeitung des ausgebrochenen Materials im Einsatz³⁷⁵; zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren über 1000 Personen in den Schmirgelminen und -verarbeitungsstätten beschäftigt. Das aufwendige Schlämmen ist schon oben beschrieben worden (mit Abb. 76). Was unten in den Schlammbecken übrig bleibt, ist nicht verloren: «Das Gröbste, welches nicht aufgerührt werden kann; wird entweder von Neuem gerieben und geschlämmt, oder unter dem Namen Korn-Schmirgel auf groben Polirscheiben gebraucht.»³⁷⁶

Abbau: Zum Abbau wurden schwere Hämmer und Pickel (Abb. 105), ja sogar das Feuersetzen³⁷⁷ gebraucht. Letzteres wird noch 1894 folgendermassen beschrieben³⁷⁸: «Die seit altersher übliche Methode der Schmirgelgewinnung ist das Feuersetzen. Eine Kür von 7 bis 10 Arbeitern sucht sich nach ihrem Belieben eine Stelle aus, welche dann von dem umliegenden Schutte gereinigt wird, um einen freien Stoss von ungefähr 1,5 m Länge und ebenso viel Höhe zu gewinnen; hierauf wird Reisig von den umliegenden Höhen herbeigeschleppt, vor dem Stosse (ca. 2,5 cm) [?] aufgeschichtet und angezündet. Das Reisig brennt ungefähr 24 bis 30 Stunden, wodurch die Schmirgelwand erhitzt wird; auf dieselbe wird nun kaltes Wasser gegossen ... Es erfolgt nun die eigentliche Gewinnung des Schmirgels durch das Herausreissen ...»

Im 20. Jahrhundert wurde der Schmirgelabbau auf Naxos maschinisiert, und es kamen Bohrmaschinen, Sprengstoffe, schwere Brechmaschinen und sogar eine Transportseilbahn zum Einsatz³⁷⁹.

Mahlen, Sieben und Schlämmen: Die äusserst zähen Naturblöcke³⁸⁰ wurden zur Gewinnung des Schleifmittels feinkörnig zermahlen und geschlämmt: «Der Schmirgel wird zerschlagen, gesiebt und geschlämmt als Polierpulver gebraucht. So dient er, gepulvert oder gemahlen, das Gewehr zu polieren, und die aus Stahl und Eisen verfertigten Sachen glänzend zu machen; ingleichen die Spiegel damit abzuschleifen, in welcher Absicht er mit gemahlenem Blutstein oder einem rothen Ocher, oder mit Sand vermischt wird.»³⁸¹

Zur schon oben (mit Abb. 76) generell beschriebenen Aufbereitung von Poliermitteln präzisiert Henri Landrin die Materialaufbereitung spezifisch für Schmirgel³⁸²: «On pulvérise sous des pilons de fonte, ou l'on broie sous des

Abb. 106: Die im Handel um 1910 angebotenen Korngrößen von Naxos-Schmirgel. M. ca. 1:1.

moulins d'acier la roche dure et en masse. On place au fond d'un vase cet émeri broyé et l'on verse de l'eau dessus; on agite alors fortement le vase et on laisse reposer. Au bout d'une demi-heure, on transvase l'eau et on laisse de nouveau reposer. Le dépôt donne de l'émeri de la plus grande finesse qu'on appelle émeri de trente minutes. On continue à délayer et à faire reposer de demi-heure en demi-heure, jusqu'à ce que l'eau transvasée ne dépose plus. Alors, on ne laisse plus reposer que quinze minutes et on obtient ainsi l'émeri le plus gros; on va ainsi en diminuant continuellement jusqu'à ce qu'on arrive à ne plus attendre qu'une demi minute. L'émeri obtenu dans ce dernier espace de temps, prend le nom d'émeri de trente secondes et sert à tailler les corps les plus durs, tandis que l'émeri fin est destiné à polir. L'émeri est employé avec de l'eau pour le travail des pierres, et avec de l'huile pour le polissage des métaux.»

Um 1910 wurde Naxos-Schmirgelpulver in zahlreichen Körnungen im Handel angeboten. Jean Escard unterschied 15 resp. 120 verschiedene Gradationen (Abb. 106)³⁸³, Alfred Haenig 33 verschiedene Körnungen³⁸⁴.

Poliervorgang: «L'émeri est la substance qui mord le mieux sur l'acier.»³⁸⁵ Der Polierer soll immer Schmirgelpulver «de trois degrés de finesse» vorrätig haben³⁸⁶, die er nacheinander – vom Groben zum Feinen – einsetzt. Schmirgelpulver kann trocken oder mit Wasser zum Feinschleifen verwendet werden. Polierarbeiten an wichtigen Geräten aus

373 Dammer / Tietze 1927, 270–272; Boleti 2017, 100 f. Abb. 6.

374 Boleti 2017, 228.

375 Stier 1911, 8–10 Abb. 4; SIA 1940, Abb. S. 22 (Steinbrechmaschinen in der europäischen Schmirgelpapierproduktion); Krause 1949, 9.

376 Rinman 1814, 33.

377 Kleinschmidt 1937, 20.

378 Gobantz 1894, 146 f.

379 Escard 1910, 79; Haenig 1910, 7 Abb. 1.

380 Zu Schleifsteinen aus Schmirgel s. unten mit Anm. 388.

381 Krünitz 1773–1858, Bd. 146, 693 ff.

382 Hartmann 1853, 13; Landrin 1835, 109 (Zitat).

383 Escard 1910, 80 («Dans le commerce, on compte généralement 120 numéros de poudre d'émeri, les numéros symbolisant les différentes grosseurs») Abb. 54 (=unsere Abb. 106).

384 Haenig 1910, 7.

385 Landrin 1835, 198.

386 Landrin 1835, 109.

Stahl wurden «meist mit Schmirgel und Öl verrichtet»³⁸⁷. Auch handliche Schmirgelblöcke tauchen bisweilen im Fundgut auf, deren Verwendung analog anderer Schleifsteine zu denken ist³⁸⁸.

In einem Handbuch für Messerschmiede des 19. Jahrhunderts wird das Polieren wie folgt angeleitet³⁸⁹: «Pour emporter les plus gros traits sur le couteau, on le pose sur la polissoire. Comme nous l'avons dit pour la meule, en le tenant avec les deux mains, et on le frotte constamment en le faisant aller du manche à la pointe. C'est ce qu'on appelle frajer. Par ce moyen, on répand l'émeri sur toute la surface de la polissoire, de même que sur celle du couteau.»

Neuzeitliche Nachweise³⁹⁰

Der seit der Antike anzunehmende Schmirgelhandel scheint im Mittelalter noch bedeutendere Ausmasse erlangt zu haben. So wird im Jahr 1304 vom Eigner eines Handelsschiffs und einem Minenbesitzer aus Naxos berichtet, dass 45 Tonnen Schmirgel zum Verladen Richtung Kreta bereitzustellen seien. Interessanterweise oblag es dem Schiffsbesitzer, das Material vor Ort abzubauen³⁹¹.

Technologische Nachweise: Theophilus Presbyter (frühes 12. Jh.) Kap. 95 (gepulverter Schmirgel zum Schleifen harter Edelsteine; Übersetzung: Brepohl 1987, 300); Halle 1783, 13 (Polieren von Stahl); Rinman 1814, 25 f. (Polierfeile mit «geschlämmtem Schmirgel» für Eisen und Stahl resp. Bestandteil in einem Rezept für einen «Scheuerstein»); 30 (in «verschiedenen Graden der Feinheit»); Landrin 1835, 108–110; 198–202; Hartmann 1853, 12–24 (ausführlich); Hawkins 1904, 39–49; 77 f.; Wahlburg 1913, 68–81 (ausführlich); Bartl et al. 2005, 119–121; 726 (Quelle um 1500; Bohren und Sägen mit Kupferwerkzeug und Schmirgelpulver); Biringuccio 1540 (zitiert nach Johannsen 1925, 138; 460); Agricola 1546, pag. 269, S. 171; Weigel 1698, 374; Krünitz 1773–1858, Bd. 114, 133 f. (rotierende Polierscheiben «mit Schmirgel und Baumöhl, beydes vermischet, auf das Leder der Scheibe geschmieret ... Der Schmirgel wird vorzüglich zum Polieren des Eisens und Stahls gebraucht, so wie auch zum Gold, Silber und Kupfer»); Woodward 1795, 32; 36 («Spanish emery»); Massalski 1841, 302 (Polieren von Damaszenerstahl); Brockhaus 1882–1887, Bd. 14, 394 f.; Bersch 1899, 540; Meyer 1905–1909, Bd. 3 (1905) 430 f.; Escard 1910, 78–116 Abb. 54 (= hier Abb. 106); Haenig 1910, 5–12; Bergmann 1920, 77; Buxbaum 1925, 9; Eardley-Wilmot 1927B, 36–41; Schneider/Schneider 1928, 41; Joseph 1929, 42; Kleinschmidt 1937, 19 f.; SIA 1940, 14 f. und 27; Kleinschmidt 1944, 3–5; Krause 1949, 9; Smithells 1949, 694; Staudinger 1955, 5; Hilpke 1956, 34 f.; Untracht 1982, 652 Abb. 14–14,17; Brunhuber 1991, 599 [Korund]; Brepohl 2000, 369.

Antiker Quellennachweis

Schmirgel ist im östlichen Mittelmeerraum seit der Bronzezeit und in Ägypten seit pharaonischer Zeit überliefert³⁹². Die bekannten Quellen und ihre zahlreichen antiken Au-

Abb. 107: Athen/GR-Agorà. Im Bereich von marmorverarbeitenden Werkstätten des 1. Jahrhunderts v. Chr. bis frühen 2. Jahrhunderts n. Chr. fanden sich derartige Mulden im Boden, die noch mit Schmirgelpulver gefüllt waren. Hier ist das importierte abrasive Material zum Polieren von Marmor verwendet worden.

toren sind kürzlich von Athina Boleti in vorzüglicher Weise zusammengestellt worden³⁹³. Bereits sehr früh erwähnen mehrere Zeugnisse einen besonders harten Stein (*šammu*), der als Pulver und unter Wasserzugabe die härtesten Körper zu schleifen und zu sägen vermag. Der deutsche Name Schmirgel leitet sich aus dem griechischen σμύρις via *smyris* (f.) und dem lateinischen *smirillum* ab. Dioskurides (*mat. med.* 5,165, 1. Jh. n. Chr.) nennt Schmirgel u. a. als ein Produkt, mit dem Juweliere die Edelsteine polieren. Theophrastus beschreibt (*lap.* 44) den Armenischen Stein, welcher der beste Schleifstein sei und der (pulverisiert) zum Gravieren von Siegeln benutzt werde und daher armenischer Schmirgel sein könnte³⁹⁴. Das von Plinius (*nat.* 36,51–54; auch 37,32) zum Polieren von Marmor (Abb. 107) und Schneiden von Edelsteinen erwähnte *Naxium* meint den Schmirgel von Naxos³⁹⁵. Isidor von Sevilla (*etymologiae* 16,4,27) be-

387 Voos 1937, 31 und 50.

388 Agricola 1546, pag. 278, S. 186 («die alte Art, Edelsteine mit Wetzsteinen von Naxos oder aus Armenien zu schleifen ...»); Boleti 2017, 51 f. («comme pierre à aiguiser»).

389 Landrin 1835, 198.

390 Überblick bei Feldhaus 1914, 973–975; Boleti 2017, 54 ff.

391 Boleti 2017, 54.

392 Feldhaus 1914, 972 f.; Heimpel et al. 1988; Lucas/Harris 1962, 260 f.; Wartke 1997, 48. – Generell zum Schmirgel in der Antike: Boleti 2017.

393 Boleti 2017, 42–54 (mit zahlreichen Literaturhinweisen).

394 Boleti 2017, 152. – Zum armenischen Schleifstein auch: Agricola 1546, pag. 278, S. 186.

395 Lenz 1861, 139 Anm. 510 (mit Hinweis auch auf angeblich antik genutzte Schmirgelgruben in Kleinasien); Blümner 1884, 198 f.; Heimpel et al. 1988, 199 f. Anm. 13; 204.

Abb. 108: Ras ibn-Hani/SYR, 12. Jh. v. Chr. Schmirgeldepot mit über 500 rohen Gesteinsblöcken.

schreibt den Stein um 630 n. Chr. so: «Der Schmirgelstein ist rau und bissig und vermag alles zu zerreiben, weshalb man auch Edelsteine mit ihm bearbeitet.»³⁹⁶

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Der Schmirgel war schon zu Beginn seiner Nutzung ein vielfach verwendbares Produkt. Er ist als Schleifwerkzeug, als Pulver zum Schleifen und Polieren, als abrasives Hilfsmittel beim Schneiden von Siegeln und Gemmen sowie als Bohrhilfe belegt.

Die zahlreichen Fundbelege von Schmirgel – aus den Anfängen in Ur, Ägypten und den Kykladen bis ins Mittelalter hinein – hat Athina Boleti in ihrer Schmirgel-Monographie im Detail zusammengestellt³⁹⁷.

Urgeschichtlicher Mittelmeerraum: Erstmals nachgewiesen in neolithischem Kontext auf den Kykladen sowie später in Ur/IRQ und Mallia auf Kreta. In kleinsten Fugen eines minoischen Quarzsiegels aus der Zeit um 1600 v. Chr. fanden sich im Labor Partikel von Schmirgel³⁹⁸. Schmirgelpulver soll noch an einem Bohrkern der Zeit um 1500 v. Chr. aus Knossos/Kreta angehaftet haben³⁹⁹. – **Römische Zeit:** Spätestens in römischer Zeit wurde Schmirgel im Untertagebau abgebaut⁴⁰⁰; römischer Export in die nördlichen Provinzen ist jedoch nicht bekannt.

Der wohl spektakulärste Schmirgelfund ausserhalb der Insel Naxos wurde im spätbronzezeitlichen «Nordpalast» von Ras ibn-Hani an der syrischen Küste gemacht⁴⁰¹: In einem Korridor fanden sich im Zerstörungsschutt eines Brandes (Abb. 108), zusammen mit einigen wenigen

rohen Chalzedonblöcken, über 500 Schmirgelbrocken im Rohzustand von insgesamt über 300 kg Gewicht (Beispiele Abb. 109). Es ist zu vermuten, dass das Material hier gelagert wurde, um es zu Pulver weiterzuverarbeiten, und beim Zersägen, Bohren und Polieren von Siegeln und Steinperlen diente. Der Depotfund vom Anfang des 12. Jahrhunderts v. Chr. ist als Rohmaterial, das als Handelsware nach Syrien gelangte, zu betrachten und zeigt, in welchem Umfang mit dem begehrten Abrasivmaterial gehandelt worden ist. Die grossen Brocken von Ras ibn-Hani zeigen zudem, dass Schmirgel nicht immer – wie von einigen Forschern angenommen – als Zwischenprodukt in Pulverform in den Handel kam.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Harte schwere Schmirgelbrocken von der Mittelmeerinsel Naxos/GR (Abb. 110, oben)⁴⁰². Die Zerkleinerung des sehr zähen Schmirgelgesteins ist sehr kraft- und zeitaufwendig: mit dem Hammer zerschlagen (Abb. 105) und dem Meissel zerkleinert, lange Zeit gemörsert und fein ausgesiebt: Testplättchen K24/B24/M24 (Abb. 110, unten). Der Nassschliff mit natürlichem Schmirgelpulver ist genauso effizient wie mit modernem Industriekorund (s. unten, K47/B47/M47 [Abb. 96]) und mit Hämatitpulver (K23/B23/M23 [Abb. 100]). Das feine Naxos-Schmirgelpulver (Abb. 110, Mitte rechts), das – falls exportiert – nördlich der Alpen sehr wertvoll gewesen wäre, ist sehr ergiebig, da es mit Kupferlegierungen seine Abrasivität kaum verliert und lange eingesetzt werden kann⁴⁰³.

Zu den vorrömischen Hinweisen auf «Schmirgel-Blei-Feilen» siehe oben mit Abb. 9.

³⁹⁶ Zitiert nach Bartl et al. 2005, 726 (ähnlich übersetzt von Möller 2008, 582).

³⁹⁷ Boleti 2017, 39–45 (mit zahlreichen Literaturhinweisen); 227 («ensembles d'outils spécialisés en émeri» bei der Metallverarbeitung auf Knossos).

³⁹⁸ Heimpel et al. 1988, 208 Abb. 7.

³⁹⁹ Heimpel et al. 1988, 204 Anm. 2–9 (mit älterer Lit.).

⁴⁰⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Naxos> (10.08.2011).

⁴⁰¹ Bordeuil et al. 1984, 413 f. Abb. 7; Heimpel et al. 1988, 195 Anm. 1; Wartke 1997, 48; Bounni/Lagarce 1998, 39–42 Abb. 90 (=unsere Abb. 108) und 114 (=unsere Abb. 109).

⁴⁰² Ich danke an dieser Stelle Roland Neubert, dem Vorsitzenden des Freundschaftskreises Bochum Koronos/Naxos für die Besorgung von Naxos-Schmirgel für meine Schleifexperimente. Ein Teil des sehr zähen Materials wurde vom Autor im Eisenmörser zerstampft und zerstossen und anschliessend gesiebt (mittelfein: 22 g; sehr fein: 27 g), ein anderer Teil (28 g) konnte an der Universität Frankfurt/D in einer Retsch-Schwingmühle (bei 30 Hz während 3 Minuten pro Charge à ca. 7 g) in ein sehr feines Pulver gemahlen werden. Ich danke an dieser Stelle Markus Helfert für den Zugang zum Frankfurter Analyselabor.

⁴⁰³ Zu Aufbereitung, Anwendungsmöglichkeiten und Gebrauchsspuren von Schmirgel beim Polieren (und Bohren) auch: Boleti 2017, 102–113.

Abb. 109: Ras ibn-Hani/SYR, 12. Jh. v. Chr. Schmirgelbrocken (Auswahl) aus dem Depot.

Talk, Talkum

(engl. talc) Weisses Mineral (Magnesiumsilikat) von geringer Härte, sich fettartig anführend. Wegen seiner «Weicheit» nur zur Hochglanzpolitur von weichen Metallen verwendet.

Vorkommen

Häufig vorkommend, zum Beispiel in Deutschland, Österreich, im Alpenraum usw.⁴⁰⁴

Neuzeitliche Nachweise

Escard 1910, 163; Bersch 1899, 539; 774; Dammer/Tietze 1928, 408 (Poliermittel für Marmor usw., «Glanzpasten»); Krause 1949, 12.

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Talk aus der Drogerie Schneider, Bern; sehr fein gemahlene Industriequalität (Abb. 111, Mitte): Testplättchen K21/B21/1 (Abb. 111, unten). Talk hat eine nur geringe Scheuerwirkung und daher keinen Schleifeffekt. Der seifige

Wasser-Talk-Brei hat lediglich eine reinigende Wirkung, vermag die getesteten Legierungen jedoch nicht zu polieren (Abb. 111, unten). Talk wird zur Politur von weicheren Materialien verwendet, z. B. von Bernstein.

Walkererde

(engl. fuller's earth) Tonähnliches Mineral mit hohem Anteil an Aluminiumsilikat und Magnesiumoxid, von grünlicher, gelblicher, bräunlicher oder rötlicher Färbung, von «erdigem Bruch, geringer Härte und Schwere, die sich fettig anfühlt und im Wasser ... zu einem feinen, milden Schlamm zerfällt»⁴⁰⁵. Das Mineral wird bzw. wurde normalerweise in Wasser angerührt, wo es zu einer breiartigen, nicht plastischen Masse zerfällt. Walkererde dient zur Reinigung, Entfettung und Veredelung von Wollstoffen resp. in der Filzherstellung und in der medizinischen Kosmetik. Sie sei ein «gut verwendbares, nicht stark angreifendes Material für Putz- und Polierpräparate und in derselben Weise wie Kieselkreide verwendbar»⁴⁰⁶.

404 Petrascheck/Petrascheck 1950, 187–190.

405 Brockhaus 1882–1887, Bd.16, 409 (Zitat); Petrascheck/Petrascheck 1950, 220–223.

406 Wahlburg 1913, 91.

Abb. 110: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem Schmirgel von der Insel Naxos/GR.

Abb. 111: Poliertests mit fein pulverisiertem Talk.

Vorkommen

In der Natur relativ häufig, so z. B. in Cornol-Mont Terri / JU, mehreren Regionen in Norddeutschland, Schlesien, Sachsen, der Untersteiermark / A, Belgien (Kreideformationen), Englischer Jura usw.

Neuzeitliche Nachweise

Agricola 1546, pag. 198, S. 55 f.; Bersch 1899, 539; Wahlburg 1913, 90 f. («Bleicherde, auch Fullererde»); 123 f. («Walkerde»); Buxbaum 1925, 11.

Antiker Quellennachweis

Als *creta fullonica* vielfach erwähnt, jedoch nur in Zusammenhang mit Textilveredelung.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Walkererde ist heute weder aus natürlichen Vorkommen noch über den Handel leicht zu beziehen. Für die Experimente wurde «Fullers Earth powder» der Firma Naturally Green in Reading / GB benutzt (Abb. 112, Mitte). Diese offenbar feinst gesiebte oder gemahlene Walkererde ergibt mit etwas Wasser eine seifige Paste. Auf glatten, mit Essig gebeizten Metallflächen eingerieben, wirkt sie gut reinigend. Sie führt zu einem blassen Glanz (Testplättchen K30 / B30 / M30), ist aber kaum abrasiv und lässt nur in der Vergrößerung feinste Schleifrillen erkennen (Abb. 112, unten).

Weinstein

(engl. tartar) $C_4H_5KO_6$, rotes (Abb. 113, oben) oder gelbliches Pulver, bestehend aus Kaliumsalz (Kaliumbitartrat) oder auch Kalziumsalz (Kalziumtartrat). Weinstein entsteht durch eine Verbindung von Weinsäure mit Kalzium oder Kalium (in Wein reichlich vorhanden). Er scheidet sich bei der Kelterung und in der Flasche in Form von kleinen Kristallen oder Stäbchen ab, die in Wasser aufgelöst und gefiltert werden können. Durch Kochen und Filtrieren wird gereinigter weisser Weinstein gewonnen (Abb. 113, unten). Durch Brennen des getrockneten Materials lässt sich ein alkalisches Produkt erzeugen, das in der Antike als Arzneimittel benutzt wurde. Weinstein fand in der alten Metallurgie vor allem als chemischer Stoff Verwendung, etwa zum Beizen oder Weissieden.

Vorkommen

Setzt sich im Laufe der Kelterung und bei langer Lagerung des Weins am Fass- oder Amphorenboden ab.

Neuzeitliche Nachweise

«Pour lustrer et polir: Tartre brut, 2 onces; soufre en poudre, 2 onces; sel marin, 4 onces; faites bouillir dans parties égales d'eau et d'urine; trempez-y l'or, ou l'ouvrage doré.»⁴⁰⁷ Weinstein, mit Salz und Schwefel versetzt⁴⁰⁸.

Antiker Quellennachweis

Weinstein, der Essig «an Stärke übertreffen» soll, fand vor allem in der Medizin Verwendung (Diosk. *mat. med.* 5,114; Scheller / Frieboes 1906, 700; v. Lippmann 1906, 58), ebenso bei der Herstellung pflanzlicher Farbstoffe (P. Leidenensis; Halleux 1981, 105 ff., Rezept 90 u. a.).

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Nicht experimentell geprüft.

Ziegelpulver

(engl. tile powder) Durch das Brennen von Ziegeln und anderer Baukeramik wird Ton, in der Regel mit Quarzsand gemagert, sehr hart. Das durch Brechen, Mörsern und Sieben gewonnene Material ist leicht und ohne grossen Aufwand zu beschaffen und wurde daher gerne als Schleifmittel verwendet.

Vorkommen

Überall herstellbar.

Neuzeitliche Nachweise

Theophilus Presbyter (frühes 12. Jh.) Kap. 95 (Ziegelmehl zum Feinschleifen von Kristallen; Übersetzung: Brepohl 1987, 298 f.); Harrison 1894, 24; Wahlburg 1913, 88–90 («früher viel angewendet»); Bartl et al. 2005, 123 (Aufbereitung von Ziegelmehl zum Polieren durch Schlämmen; Quelle um 1500); Pierer 1857–1865, Bd. 13 (1861) 710 f. («Zum Polieren] der Gabeln füllt man ein Fässchen mit feinem Ziegelmehl od. Sand.»); Bersch 1899, 539; Untracht 1968, Abb. S. 447 (Messingpolitur in Indien).

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt. Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

⁴⁰⁷ Berthelot 1889, 58.

⁴⁰⁸ de Fontenelle 1832B, 188.

Abb. 112: Poliertests mit feinst pulverisierter Walkerde (aus England).

Abb. 113: Weinstein, oben naturbelassen, unten gekocht und gefiltert (nicht auf Schleif- und Poliereigenschaften getestet).

Abb. 114: Schleif- und Poliertests mit pulverisiertem Ziegel (hart gebrannter römischer Dachziegel; vgl. Abb. 48)

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Römischer Originalziegel aus Windisch/AG, überdurchschnittlich hart gebrannt und gut erhalten (Abb. 114, oben), zerstossen (Abb. 114, Mitte links), gemörsert und gesiebt (Abb. 114, Mitte rechts): Testplättchen K05/B05/M05 (Abb. 114, unten). Ziegelpulver ist ein erstaunlich effizientes Feinschleifmittel, vor allem auf härteren Legierungen (Abb. 114, unten Mitte und rechts). Auf dem weicheren Kupfer ist es zu wenig abrasiv (Abb. 114, unten links).

Zinnasche

(engl. tin oxide) Sehr feines, homogen zu erzeugendes Poliermittel. Es entsteht beim Erhitzen des Zinns an der Luft, beim «Glühen mit Kleesäure» (Oxalsäure)⁴⁰⁹; bisweilen wird es mit Bleioxid vermischt. «Dans l'ordre de dureté, la potée d'étain vient immédiatement après l'émeri.»⁴¹⁰

Vorkommen

Bedeutende Zinnvorkommen in Cornwall/GB, Nordwestspanien und Portugal⁴¹¹.

Aufbereitung und Anwendung

Zinnasche ist eigentlich ein «Kunststoff», der aber relativ einfach durch Oxidation von metallischem Zinn herstellbar ist. Jean Escard beschreibt die Substanz so⁴¹²: «Sa dureté étant assez faible comparativement à celles de la boue d'émeri, elle sert principalement à donner le dernier poli aux objets auxquels elle est destinée; on l'emploie généralement disposée sur un tampon de linge et à l'état de poudre impalpable.»

Das historische Rezept für die Herstellung von Zinnasche in Sven Rimans «Geschichte des Eisens» von 1814 lautet folgendermassen⁴¹³: «Die weisse Zinnasche wird aus reinem Zinn bereitet, welches entweder unter einer Muffel oder unter einer anderen Bedeckung, gegen das Einfallen der Kohlen geschützt, in der Rothglühhitze flüssig erhalten wird. Die Oberfläche überzieht sich alsdann sogleich mit einem weissgrauen Kalk, oder mit der sogenannten Asche, die man mit einer eisernen Krücke abzieht, womit man so lange fortfährt, bis sich alles Zinn in Asche verwandelt hat. Die Asche wird dann mit warmem Wasser oder noch besser, mit schwachem Brandwein ausgewaschen und ...

⁴⁰⁹ Wahlburg 1913, 128.

⁴¹⁰ Landrin 1835, 110.

⁴¹¹ Spindler 1971, Abb. 1 (Verbreitungskarte Europa/Asien); Muhly 1985, Abb. 3 (Verbreitungskarte Westeuropa).

⁴¹² Escard 1910, 162.

⁴¹³ Rinman 1814, 35 f. (Zitat); Wahlburg 1913, 128 (sehr komplizierte Anleitung).

geschlämmt (Abb. 76). Diese ganz reine Zinnasche ist nach meiner Meinung viel besser und wirksamer, als die mit Blei vermischte.»

Die Anwendung und Qualität des Resultats einer Zinnaschepolitur auf Messerstahl wird auch kritisch beschrieben⁴¹⁴: «On a essayé d'employer la potée d'étain, qui donne en effet un lustre et un brillant plus beau que celui produit par l'émeri; mais ce brillant est blanchâtre et désagréable à l'oeil.» Im selben Werk wird weiter unten jedoch präzisiert⁴¹⁵: «Pour accélérer l'ouvrage, il faut commencer par l'emploi du gros émeri; puis on essuie bien soigneusement et on passe à l'usage de l'émeri fin. Pour donner le brillant, on prend une partie de potée d'étain et une de potée d'acier; on les délaie dans de l'eau-de-vie, on étend cette pâte sur du bois blanc ou sur un bois revêtu d'une peau de buffle, et l'on frotte.»

Neuzeitliche Nachweise

Krünitz 1773–1858, Bd. 114, 136 f.; Rinman 1814, 30 und 44 (Eisen- und Stahlpolitur); Landrin 1835, 110 f.; 198; Rüst 1838, 242 («giebt für Stahl ein herrliches Polirmittel»); Hartmann 1853, 33 («ein treffliches Polirmittel für Stahlarbeiten»); Wahlburg 1913, 12 f.; Buxbaum 1925, 11; Joseph 1929, 45; Schwahn 1945, 65 (Text zitiert oben bei Anm. 185); Untracht 1982, 652.

Antiker Quellennachweis

Keiner bekannt.

Archäologisch- / archäometrischer Nachweis

Keiner bekannt.

Material, Aufbereitung und Beobachtungen im Experiment

Nicht experimentell geprüft.

Weitere Schleif- und Poliermittel

Die oben aufgeführten Schleif- und Poliermittel waren – zumindest in der Frühen Neuzeit und zum Teil bis heute – weit verbreitet. Auch bisher nicht aufgeführte weitere Stoffe waren durchaus praktikabel und bewährt, teilweise aber schwieriger zu beschaffen. Andere haben eher esoterischen Charakter. Dazu gehören:

- «Bocksblut» (zum Härten resp. Abziehen der «Schneiden von Eisengeräten» (Plin. nat. 28,148; von Lippmann 1919, 620 Anm. 9)
- Pulverisiertes Hirschgeweih (de Fontenelle 1832B, 188)
- Granit (Escard 1910, 125 f. [für Schleifsteine und Schleifpulver])
- Gebrannte Tiegelschlacke (Mukherjee 1978, 414 [«burnt crucible ash»])

Abb. 115: Deckel eines Holzkohleschmelzofens von einem Zementationsexperiment zur Messingherstellung. Entlang des oberen Randes und der Bruchkanten haben sich weisse und gelbe Dämpfe des entweichenden Zinkoxids niedergeschlagen. Das Material könnte abgekratzt, geschlämmt und als Poliermittel verwendet werden. Ob dessen Giftigkeit ein Hinderungsgrund für seine Anwendung war, ist nicht bekannt.

- Bergkristallpulver
- Granatpulver (Abb. 74; Landrin 1835, 109; Wahlburg 1913, 59; Dammer / Tietze 1928, 208; Eardley-Wilmot 1927C; Kleinschmidt 1937, 12; SIA 1940, 26 f.; Kleinschmidt 1944, 7 f.; Staudinger 1955, 5; Untracht 1968, 399; Coes 1971, 34–37; Untracht 1982, 651)
- Diamantpulver (heute meist synthetisch hergestellt; Eardley-Wilmot 1927B, 42 f.; Kleinschmidt 1944, 9 f.; Krause 1949, 13; Staudinger 1955, 5; Burkart 1956, 56 f.; Coes 1971, 87–95; Zwierlein-Diehl 2007, 310)
- Siliziumcarbid, Carborundum (Abb. 74; in der Natur sehr seltenes Mineral, archäologisch-historisch nicht nachgewiesen; heute synthetisch hergestellt und in der Industrie weit verbreitet; Abb. 74)
- Vulkanische Asche (Wahlburg 1913, 87 f.)
- Graphit (Rüst 1838, 242; Hartmann 1853, 34 f.)
- Lehm (Sugimori 2004; Benzonelli et al. 2017, 1042 f.)

414 Landrin 1835, 198 (Zitat); Escard 1910, 161 f.

415 Landrin 1835, 202.

- Zinkweiss, Zinkoxid (Abb. 115), «tutiya»⁴¹⁶
- «Schmalz aus dem Gehörgang deines Ohres» (Hochglanzpolitur von Niello, nach Theophilus Presbyter, frühes 12. Jh., Kap. 91, Übersetzung: Brepohl 1987, 120)
- Entfetteter, gebrannter Kienruss (Rinman 1814, 26; Hartmann 1853, 35)
- usw.

⁴¹⁶ Von persisch *tūtiyā*, für Zinkoxid (Sanskrit: *tuttha*); giftig. – Wahlburg 1913, 126–128; Merkel 2018, 295 f. (zur Herstellung: «... a metallurgical product made by the roasting of zinc ore causing the sublimation of zinc and its condensation as zinc oxide, can also contain significant quantities of lead oxide ... The process of making *tutiya*, described by numerous Islamic writers ... with archaeological parallels found ..., relies on the fact that metallic zinc is volatile above 907 °C, which then condenses to zinc oxide as the zinc reacts with air above the furnace [dazu Furger 2018, 219 f. Abb. 135–136]; mit weiterer Lit.).

Zusammenfassung

Das Schleifen und Polieren von Handwerksprodukten aller Art stellten zu allen Zeiten die abschliessenden Arbeitsgänge dar. Mit dem Schleifen wird eine Oberfläche geglättet und eine Arbeitskante geschärft. Das Polieren dient meist zur Verschönerung eines Objektes und gibt ihm erst das richtige «Finish»; in gewissen Fällen ist eine gute Politur auch ein Korrosionsschutz, wie wir es etwa bei römischen Metallspiegelfunden beobachten können.

Die in diesem Buch vorgeführten Schleif- und Poliermittel standen dem prähistorischen und antiken Handwerker mehr oder weniger problemlos zur Verfügung. Ob er auch mit ihnen gearbeitet hat, ist nur in einigen Fällen zweifelsfrei nachzuweisen. Diese Studie soll aufzeigen, wie effizient mit diesen Stoffen zu arbeiten ist und wie wahrscheinlich infolgedessen der frühe Einsatz dieser verschiedenen Abrasiva ist. Künstlich erzeugte Poliermittel, wie etwa Korund (Abb. 74), waren noch nicht in Gebrauch, durchaus aber Nebenprodukte frühindustrieller Produktion wie zum Beispiel Ziegelmehl aus gebranntem Ton. Ich beschränke mich hier auf die Schleif- und Poliermittel, die sich bei der Bearbeitung aller in der Antike bekannten *Metalle* eignen. Die meisten Abrasiva sind natürlich auch zur Verarbeitung von Stein (vom Marmor bis zum Edelstein), Knochen, Geweih und Holz zu verwenden, aber unsere Experimente und Erfahrungen konzentrieren sich auf Metalle.

Beim Gedanken an «natürliche» Schleif- und Poliermittel denken wir sofort an *Sandsteine*, *Quarzsand* und allenfalls noch an den *Naturschmirgel*. Die alten Handwerkeranleitungen und Werkstattbücher – und ganz wenige Hinweise antiker Autoren – berichten aber von vielen anderen Stoffen, die sich entweder zum Schleifen oder zum Polieren eignen. Diese habe ich mir in der Natur und in Sammlungen beschafft, aufbereitet und an Kupfer-, Bronze- und Messingoberflächen im Sinne der «Experimentellen Archäologie» getestet. Die ursprüngliche Absicht war, anhand der unterschiedlichen mikroskopischen Spuren, welche die Abrasiva auf den Metalltestplättchen hinterlassen haben, durch Charakteristika auf der Mikrooberfläche auf das verwendete Schleifmaterial schliessen zu können. Dies erwies sich jedoch als unmöglich, nicht zuletzt weil die Schleifspuren primär von den Korngrössen des Abrasivums und nicht von den Materialien selbst geprägt werden.

Nebst den *Schleifkörpern* und *pulverisierten* Poliermaterialien werden auch Schleif- und Polierwerkzeuge behandelt wie Feilen, Schaber oder Polierstähle. *Schleifsteine* und *Feilen* sind in vielen Fachmonographien ausführlich behandelt worden und müssen hier deshalb nicht nochmals in ihrer ganzen Breite aufgerollt werden. Die in der Antike sehr oft verwendeten *Schaber* müssten – ihrer einstigen Be-

deutung entsprechend – eigentlich noch ausführlicher erläutert werden.

Im archäologischen Fundgut sind solche Schleif- und Poliermittel nur in Ausnahmefällen zu erkennen und zu bestimmen. Eine Ausnahme bilden die unzähligen Schleifsteine. Ob sie Zeugnisse der Metallverarbeitung sind oder mit anderen Materialien im Einsatz waren, musste bisher offen bleiben, wenn sich kein direkter Zusammenhang mit Metallhandwerk aus dem Fundkontext ergab. Der *Nachweis geringer Metallspuren* auf runden römischen Ziegelscheiben aus Augusta Raurica (Abb. 46,1–3; 47) zeigt jedoch auf, dass in Zukunft mit systematischen Oberflächenanalysen auch auf Schleifsteinen Metalle nachgewiesen werden können, wenn sie denn in der Metallverarbeitung im Einsatz waren.

Selbst mit modernerer Analytik werden pulverförmige Schleif- und Poliermittel auch in Zukunft nur schwer nachzuweisen sein (Beispiele Abb. 102 und 107). Ob die zahlreichen hier «getesteten» und zur Diskussion gestellten Schleif- und Poliermittel auch alle in vorhistorischer Zeit nachweisbar sind, muss die Archäologie der Zukunft zeigen.

In diesem Sinne ist zu wünschen, dass bei Ausgrabungen auch noch so vagen Spuren dieser unscheinbaren Handwerksmaterialien Beachtung geschenkt wird, denn sie helfen uns, die alten Produktionstechniken und den «Workflow» bis zum fertigen Objekt zu verstehen.

Summary

Grinding and polishing has always been the finishing process of all kinds of crafted goods. By burnishing, a surface becomes smoothed and an edge sharpened. Polishing gives an object a nicer look and only then the right finish. In certain cases good polishing can also prevent rapid corrosion, as can be observed on the surfaces of finds of Roman metal mirrors.

The grinding and polishing abrasives presented in this book were more-or-less easily available to prehistoric and antique man. If he really actually did work with them can only be proved without doubt in a few cases. This study demonstrates how efficient the different abrasives are and therefore how probable their use in ancient times was. Synthetically made polishing agents, such as corundum, were not yet in use, unlike some side products of early industrial production like tile powder from burnt clay. I confine myself here to grinding and polishing agents which could be useful in the manufacturing of all *metals* known in antiquity. Most of the abrasives could of course also be useful in the processing of stone (from marble to precious stones), bone, antler and wood, but our experiments and experience in the field and in the laboratory focussed on metals.

When thinking of “natural” grinding and polishing agents, mainly *sandstone*, *quartz sand* and maybe natural *emery* spring to mind. Old handbooks for craftsmen and workshop equipment – plus a very few sources of information from antique authors – deal with many other substances which could either be used for sanding or for polishing. These I obtained from natural deposits and from collections, processed them for grinding or polishing and tested them on copper, bronze and brass in line with “Experimental Archaeology”. Originally the aim was to define differences in the microscopic traces which the various abrasives leave as characteristic marks on the small metal sheets, and so to obtain information as to the abrasives used on antique finds. This proved to be impossible mainly because the marks left behind by grinding are primarily affected by the particle size of the abrasives and not by the materials themselves.

Apart from *grinding blocs* and *pulverized* polishing agents, grinding and polishing tools such as *files*, *scrapers* and *burnishers* are also examined. Files and *hones* have already been dealt with in length in many specialist monographs and therefore do not need to be extensively discussed here. On the other hand, the frequently used *scrapers*, which played such a dominant role in antique metalworking, correspondingly merit a far more in depth examination.

In the archaeological context we rarely find evidence of sanding or polishing materials, because only in exceptional cases can they be identified and specified. The numberless *hones* are the exceptions. It cannot usually be determined whether they indicate ancient metalworking or whether they were used for working other raw material. This is only possible when *hones* are found within a specific metalworking context. However, *evidence of traces of metals* on brick disks from Augusta Raurica (figs. 46,1–3; 47) shows that by implementing systematic surface analysis on *hones*, metals also in use in metalworking may in the future also be identified. Even with the help of modern analytics, grinding and polishing powders will still be hardly identifiable (examples figs. 102 and 107). Further archaeological research must produce well documented evidence to prove as to whether the abrasives tested and discussed here were all used in times of antiquity or not.

In this spirit, it is to be hoped that archaeologists will examine even the most vague traces of these unimposing raw materials of many craftsmen, because such evidence will help us to a better understanding of past production technologies and of the workflow leading to the finished object.

(Translation Julie Cordell)

Quelleneditionen und Übersetzungen

- Antonius Musa, de herba vettonica:* Edition: Antonii Musae de herba vettonica liber. Pseudoapulei Herbarius. Anonymi de taxone liber. Sexti Placiti liber medicinae ex animalibus pecoribus et bestiis vel avibus, ediderunt E. Howald et H. E. Sigerist (Berlin 1927).
- Apuleius Madaurensis, herbarius:* Edition und Übersetzung: Apuleius. Heilkräuterbuch. Latein und Deutsch. Zweisprachige Ausgabe von K. Brodersen (Wiesbaden 2015).
- Cassiod. var.:* Edition und Übersetzung: Briefe des Ostgotenkönigs Theoderich der Grosse und seiner Nachfolger. Aus den »Variae« des Cassiodor, herausgegeben von L. Janus, eingeleitet und übersetzt von P. Dinzelbacher (Heidelberg 2010).
- Catull.:* Edition und Übersetzung: Catull. Carmina – Gedichte. Lateinisch und Deutsch. Übersetzt und kommentiert von C. Hartz (Darmstadt 2013).
- Cels.:* Übersetzung: Aulus Cornelius Celsus über die Arzneiwissenschaft in acht Büchern, übersetzt und erklärt von E. Scheller, nach der Textausgabe von Daremberg neu durchgesehen von W. Friboes (Braunschweig 1906²).
- Diosk. mat. med.:* Übersetzung: Pedanius Dioscurides aus Anazarba. Fünf Bücher über die Heilkunde. Aus dem Griechischen übersetzt von M. Aufmesser (Hildesheim 2002).
- Gal. de anatomicis administrationibus:* Übersetzung: Galen on anatomical procedures. De Anatomicis Administrationibus. Translation of the surviving books, with introduction and notes by C. Singer (Oxford 1956).
- Hor. epod.:* Edition und Übersetzung: Horaz. Oden und Epoden. Lateinisch und Deutsch, nach der Übersetzung von W. Richter, überarbeitet und mit Anmerkungen versehen von F. Weitz (Darmstadt 2010).
- Isid. (Isidorus Hispalensis) etymologiae:* Übersetzung: Die Enzyklopädie des Isidor von Sevilla. Übersetzt und mit Anmerkungen versehen von L. Möller (Wiesbaden 2008).
- Ov. tr.:* Edition und Übersetzung: P. Ovidius Naso. Tristia. Herausgegeben, übersetzt und erläutert von G. Luck (Heidelberg 1967).
- Plin. nat.:* Edition und Übersetzung: C. Plinius Secundus d. Ä. Naturkunde XXXI. Metallurgie, herausgegeben und übersetzt von R. König in Zusammenarbeit mit K. Bayer (Darmstadt 2008) resp. Plinius Secundus d. Ä. Über Glas und Metalle. Übersetzt und kommentiert von der Projektgruppe Plinius, herausgegeben von R. C. A. Rottländer (St. Katharinen 2000).
- Theophr. lap.:* Edition und Übersetzung: Theophrastus on Stones. Introduction, Greek text, English translation, and Commentary by E. R. Caley and J. F. C. Richards (Ohio 1956) resp. Theophrasts Abhandlung von den Steinarten aus dem Griechischen übersetzt und mit Anmerkungen begleitet von Carl Schmieder (Freyberg 1807).
- Veget. R. m.:* Edition und Übersetzung: Publii Flavii Vegetii Renati. Publius Flavius Vegetius Renatus. Epitoma rei militaris. Abriss des Militärwesens, Lateinisch und Deutsch mit Einleitung, Erläuterungen und Indices von Friedhelm L. Müller (Stuttgart 1997).

Literatur

- Agricola 1546: G. Agricola, *De natura fossilium* (Basel 1546), zitiert nach der deutschen Ausgabe G. Fraustadt (Übersetzung) / K. Krafft (Einleitung und Register), *Handbuch der Mineralogie* (Wiesbaden 2006) («pag.» = Pagina der lateinischen Ausgabe von 1546, «S.» der deutschen Ausgabe von 2006).
- Allen 2014: J. R. L. Allen, Whetstones from Roman Silchester (*Calleva Atrebatum*), North Hampshire. Character, manufacture, provenance and use. 'Putting an edge on it'. British Archaeological Reports BAR. British series 597 (Oxford 2014).
- Amelung 1897: W. Amelung, Führer durch die Antiken in Florenz (München 1897).
- Anderson 1994: K. J. Anderson, Abrasives. MRS (Materials Research Society) Bulletin September 1994, 66.
- Arens 1963: J. Arens, Ziehen, Schleifen und Polieren in der Geschichte der Technik (Aachen 1963).
- Armbruster 2000: B. R. Armbruster, Goldschmiedekunst und Bronze-technik. Studien zum Metallhandwerk der Atlantischen Bronzezeit auf der Iberischen Halbinsel. Monographies instrumentum 15 (Montagnac 2000).
- Armbruster 2001: B. Armbruster, Metallguss. In: J. Hoops (Hrsg.), Reallexikon der Germanischen Altertumskunde 19 (Berlin/New York 2001) 622–642.
- Armit et al. 2008: I. Armit / E. Campbell / A. Dunwell, Excavations of an Iron Age, Early Historic and medieval settlement and metalworking site at Eilean Olabhat, North Uist, Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland 138, 2008, 27–104.
- Aschauer 1953: J. Aschauer, Das Messingwerk Reichraming. Ein Beitrag zur oberösterreichischen Wirtschaftsgeschichte. Oberösterreichische Heimatblätter 7/3–4, 1953, 313–326.
- Baert 2018: B. Baert, Around the Sieve. Motif, Symbol, Hermeneutic. Review of Irish Studies in Europe 2.1, 2018, 57–75.
- Baldassarre et al. 1996: I. Baldassarre et al., Necropoli di Porto. Isola Sacra. Itinerari dei musei, gallerie, scavi e monumenti d'Italia, Nuova serie 38 (Roma 1996).
- Bartl et al. 2005: A. Bartl et al., Der «Liber illuministarum» aus Kloster Tegernsee. Edition, Übersetzung und Kommentar der kunsttechnologischen Rezepte (Stuttgart 2005).
- Baumstark / Volk 1995: R. Baumstark / P. Volk (Hrsg.), Apoll schindet Marsyas. Über das Schreckliche in der Kunst (München 1995).
- Bayley 1991: J. Bayley, Anglo-Saxon non-ferrous metalworking: a survey. World Archaeology 23/1, 1991, 115–130.
- Bayley 1992: J. Bayley, Anglo-Scandinavian Non-Ferrous Metalworking from 16–22 Coppergate. In: P. V. Addyman (ed.), The Archaeology of York 17: The Small Finds (York 1992).
- Bayley et al. 2001: J. Bayley / D. Dungworth / S. Paynter, Archaeometallurgy (Swindon 2001).
- Bayley / Butcher 2004: J. Bayley / S. Butcher, Roman Brooches in Britain. A technological and typological study based on the Richborough collection (London 2004).
- Beitl 1986: K. Beitl, Das khevenhüllersche «Zinnhaus» in Kreuzen (Kärnten). Eine Bildquelle um 1620 und ihre Auswertung für Handwerksgeschichte und Volkskunde. In: V. Hänsel / M. Kundgraber / O. Moser (Hrsg.), Tradition und Entfaltung. Volkskundliche Studien. In memoriam Hanns Koren. Schriftenreihe des Landschaftsmuseums Schloss Trautenfels 3 (Trautenfels 1086) 223–240.
- Benzonelli et al. 2017: A. Benzonelli / I. C. Freestone / M. Martín-Torres, A better shade of black: effects of manufacturing parameters on the development of ancient black bronzes. Archaeometry 59/6, 2017, 1034–1049.
- Berger 2002: L. Berger (unter Mitarbeit von N. Spichtig [EDV]), Durchbrochene Messerfuttermal-Beschläge (Thekenbeschläge) aus Augusta Raurica. Ein Beitrag zur provinzial-römischen Ornamentik. Forschungen in Augst 32 (Augst 2002).
- Bergmann 1920: H. Bergmann, Chemisch-technisches Rezeptbuch für die gesamte Metallindustrie (1920³).
- Berranger et al. 2014: M. Berranger et al., L'artisanat du fer dans la villa de Touffréville (Calvados) à l'époque augusto-claudienne: approches archéométallurgique et archéométrique. ArchéoSciences, Revue d'archéométrie 38, 2014, 183–203.
- Bersch 1899: J. Bersch, Lexikon der Metall-Technik. Handbuch für alle Gewerbetreibenden und Künstler auf metallurgischem Gebiete (Leipzig o.J. [1899]).
- Berthelot 1889: M. Berthelot, Introduction à l'étude de la chimie des anciens et du moyen âge (Paris 1889).
- Biegert 1996: S. Biegert, Römische Töpfereien in der Wetterau. Schriften des Frankfurter Museums für Vor- und Frühgeschichte 15 (Frankfurt am Main 1996).
- Bietak 1996: M. Bietak, Avaris. The Capital of the Hyksos. Recent Excavations at Tell el-Dabca (London 1996).
- Binggeli / Sander 2012: M. Binggeli / D. Sander, Ein Sofa für den Keltenfürsten. Archäologie in Deutschland 2012/1, 24–27.
- Biringuccio 1540: Vannuccio Biringuccio, De la Pirotechnia (Venedig 1540).
- Blitzer 1995: H. Blitzer, Minoan Implements and Industries. In: J. W. Shaw / M. Shaw (eds.), Kommos I. The Kommos Region and Houses of the Minoan Town. Part 1: The Kommos Region, Ecology and Minoan Industries (Princeton 1995) 403–535.
- Blumer / Knaut 1991: R. D. Blumer / M. Knaut, Zum Edelmetallguss in Ossa-Sepia-Formen im Frühmittelalter. Fundberichte aus Baden-Württemberg 16, 1991, 545–553.
- Blümner 1884: H. Blümner, Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern 3 (Leipzig 1884; Nachdruck Hildesheim 1969).
- Blümner 1887A: H. Blümner, Die Metallarbeits. In: H. Blümner, Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern 4. (Leipzig 1887¹; Leipzig/Berlin 1912², Nachdruck Hildesheim 1969) 1–378.
- Blümner 1897B: H. Blümner, Bimsstein. In: Paulys Reallexikon der Klassischen Altertumswissenschaft 3 (Stuttgart 1897) 473 f.
- Boleti 2017: A. Boleti, L'émeri. Modalités d'exploitation dans le monde égéen protohistorique et antique. Cahiers archéologiques de Paris 1/5 (Paris 2017).
- Bonaventure / Pieters 2012: B. Bonaventure / M. Pieters, Nasium. Les fouilles du Cul de Breuil à Saint-Amand-sur-Ornain (Meuse). Fouille triennale 2012–2014. Rapport intermédiaire 2012 (Metz 2012).
- Bordeuil et al. 1984: P. Bordeuil et al., Les Découvertes archéologiques et épigraphiques de Ras Ibn Hani, Syrie, en 1983: un lot d'archives administratives. Comptes rendus de l'Académie des Inscriptions, 1984, 398–438.
- Bounni / Lagarce 1998: A. Bounni / E. Lagarce / J. Lagarce, Le Palais Nord du Bronze Récent du Ras Ibn Hani. Bibliothèque Archéologique et Historique 151 (Beyrouth 1998).
- Brady / Clauser 1991: G. S. Brady / H. R. Clauser, Materials Handbook. An encyclopedia for Managers, Technical Professionals, Purchasing and Production Managers, Technicians, Supervisors, and Foremen (New York 1991¹²).
- Brepohl 1987: E. Brepohl, Theophilus Presbyter und die mittelalterliche Goldschmiedekunst (Leipzig 1987).
- Brepohl 2000: E. Brepohl, Theorie und Praxis des Goldschmieds (Leipzig 2000¹⁴).

- Brockhaus 1882–1887: F.A. Brockhaus, Brockhaus' Conversations-Lexikon. 16 Bände (Leipzig 1882–1887¹³).
- Brockhaus 1886: H. Brockhaus, De Sculptura von Pomponius Gauricus (Leipzig 1886).
- Brogan 2008: T.M. Brogan, Metalworking at Mochlos before the Appearance of the Artisans' Quarters. In: I. Tzachili (ed.), Aegean Metallurgy in the Bronze Age. Proceedings of an International Symposium held at the University of Crete, Rethymnon, Greece, on November 19–27, 2004 (Athens 2008) 157–167.
- Brommer 1978: F. Brommer, Hephaistos. Der Schmiedegott in der antiken Kunst (Mainz 1978).
- Bruce-Mitford 1978: R. Bruce-Mitford, The Sutton Hoo Ship Burial 2. Arma, Armour and Regalia (London 1978).
- Brunhuber 1991: E. Brunhuber, Giesserei-Lexikon (Berlin 1991¹⁵).
- Burkart 1956: W. Burkart, Modernes Schleifen und Polieren (Saulgau 1956²).
- Buxbaum 1925: B. Buxbaum, Das Schleifen der Metalle. Werkstattbücher für Betriebsbeamte, Vor- und Facharbeiter 5 (Berlin 1925).
- Buxbaum 1932: B. Buxbaum, Feilen. Werkstattbücher für Betriebsbeamte, Vor- und Facharbeiter 46 (Berlin 1932).
- Cahn/Kaufmann-Heinimann et al. 1984: H.A. Cahn / A. Kaufmann-Heinimann (Hrsg.), Der spätrömische Silberschatz von Kaiseraugst. Basler Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte 9 (Derendingen 1984).
- Callander 1931: J.G. Callander, Notes on (1) certain prehistoric relics from Orkney, and (2) Skara Brae: its culture and its period. Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland 65, 1931, 78–114.
- Calza 1940: G. Calza, La necropoli del Porto di Roma nell'Isola Sacra (Roma 1940).
- Campbell 1991: E. Campbell, Excavations of a wheelhouse and other Iron Age structures at Sollas, North Uist, by R.J.C. Atkinson in 1957. Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland 121, 1991, 117–173.
- Chardon-Picault 2005: P. Chardon-Picault, L'artisanat des alliages à base de cuivre de Vertault-Vertillum (Côte-d'Or). Revue Archéologique de l'Est 54, 2005, No. 176, 135–147.
- Chardon-Picault/Pernot 1999: P. Chardon-Picault / M. Pernot (éds.), Un quartier antique d'artisanat métallurgique à Autun (Saône-et-Loire). Le site du Lycée militaire. Documents d'archéologie française 76 (Paris 1999).
- Chenet/Gaudron 1955: G. Chenet / G. Gaudron, La céramique sigillée d'Argonne des IIe et IIIe siècles (Paris 1955).
- Chopin 2006: H. Chopin, Métiers d'Antan (Paris 2006).
- Christensen 1978: A.E. Christensen, Klåstadskipet. Naturen 102/2, 1978, 79–84.
- Ciarallo/De Carolis 1999: A. Ciarallo / E. De Carolis, Homo Faber. Natura, scienza e tecnica nell'antica Pompei (Milano 1999).
- Coes 1971: L. Coes, Abrasives (Wien / New York 1971).
- Cotter 2014: C. Cotter, Dún Aonghasa. The guidebook (Dublin 2014).
- Craddock 1989: P.T. Craddock, Metalworking techniques. In: S. Youngs (ed.) <The Work of Angels>. Masterpieces of Celtic Metalwork, 6th–9th centuries AD (London 1989) 170–213.
- Crummy 1992: P. Crummy, Excavations at Culver Street, the Gilbert School, and other sites in Colchester 1971–85. Colchester archaeological report 6 (Colchester 1992).
- Daly/Nymoen 2008: A. Daly / P. Nymoen, The Bøle Ship, Skien, Norway – Research History, Dendrochronology and Provenance. The International Journal of Nautical Archaeology 37/1, 2008, 153–170.
- Dammer/Tietze 1927: D. Dammer / O. Tietze, Die nutzbaren Mineralien mit Ausnahme der Erze und Kohlen. I. Band (Stuttgart 1927²).
- Dammer/Tietze 1928: D. Dammer / O. Tietze, Die nutzbaren Mineralien mit Ausnahme der Erze und Kohlen. II. Band (Stuttgart 1928²).
- d'Aujourd'hui 1977: R. d'Aujourd'hui, Bedeutung und Funktion der Dickenbännlispitzen. Mikroskopische Untersuchungen zur Funktionsdeutung von Sillexgeräten. Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel 86, 1977, 237–256.
- Daumas 1962: M. Daumas (éd.), Histoire Générale des Techniques 1. Les origines de la civilisation technique (Paris 1962).
- Davidson 1927: P.W. Davidson, Educational metalcraft. A practical treatise on repoussé, fine chasing, silversmithing jewellery, and enamelling, specially adapted to meet the requirements of the instructor, the student, the craftsman and the apprentice. Longmans' Technical Handicraft Series (London 1927).
- Davidson/Schulz 1961: H.E. Ellis-Davidson, Die Warnenschwerter des Ostgotenkönigs Theoderich (darin: W. Schulz, Die Bedeutung des Briefes für die mitteldeutsche Frühgeschichte). Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte 45, 1961, 252–254 resp. 255–258.
- de Fontenelle 1832A: J. de Fontenelle, Manuel complet du bijoutier, du joaillier, de l'orfèvre, du graveur sur métaux et du changeur. Tome premier (Paris 1832).
- de Fontenelle 1832B: J. de Fontenelle, Manuel complet du bijoutier, du joaillier, de l'orfèvre, du graveur sur métaux et du changeur. Tome second (Paris 1832).
- Diebener 1963: W. Diebener, Handbuch des Goldschmieds. Ein Werkstattbuch für die Praxis 2 (Stuttgart 1963³).
- Dolenz 1998: H. Dolenz, Eisenfunde aus der Stadt auf dem Magdalensberg. Kärntner Museumsschriften 1 (Klagenfurt 1998).
- Doswald 1993: C. Doswald, Zum Handwerk der Vici in der Nord- und Ostschweiz. Ein vorläufiger Überblick. Gesellschaft Pro Vindonissa. Jahresbericht 1993 (1994) 3–19.
- Doswald 1994: C. Doswald, Herkunft und Verbreitung der römischen Mühlsteine im Kanton Aargau. Praktische Geologie in römischer Zeit. Minaria Helvetica 14a, 1994, 22–38.
- Down 1978: A. Down, Chichester Excavations III. CBA research report 158 (Chichester 1978).
- Drack et al. 1990: W. Drack et al., Der römische Gutshof bei Seeb, Gem. Winkel. Ausgrabungen 1958–1969. Berichte der Zürcher Denkmalpflege. Archäologische Monographien 8 (Zürich 1990).
- Drexhage 1991: H.-J. Drexhage, Preise, Mieten / Pachten, Kosten und Löhne im römischen Ägypten bis zum Regierungsantritt Diokletians. Vorarbeiten zur Wirtschaftsgeschichte des römischen Ägypten 1 (St. Katharinen 1991).
- Driessen/Farnoux 1994: J. Driessen / A. Farnoux, Mycenaean at Malia? Aegean Archaeology 1, 1994, 54–64.
- Dungworth/Wilkes 2007: D. Dungworth / R. Wilkes, An investigation of hammerscale. English Heritage. Archaeological Science. Research Department Report 26 (London 2007).
- Dupré 2018: S. Dupré, The Role of Judgment in the Making of Glass Colours in the Seventeenth Century. Ferrum. Nachrichten aus der Eisenbibliothek 90, 2018, 26–35.
- Duval/Lacoste 2014: A. Duval / D. Lacoste, L'atelier de la forge à la Porte du Rebout. In: V. Guichard (éd.), Études sur Bibracte 2 (Gluxen-Glenne 2014) 231–274.
- Duvauchelle 2005: A. Duvauchelle, Les outils en fer du Musée Romain d'Avenches. Documents du Musée Romain d'Avenches 11 (Avenches 2005).
- Duvauchelle et al. 2012: A. Duvauchelle et al., Les lits en bronze d'Avenches. Développement des aspects techniques et épigraphiques. Bulletin de l'Association Pro Aventico 54, 2012, 7–118.
- Duvauchelle/Ogay 1999: A. Duvauchelle / A. Ogay, Avenches / En Selly, investigations 1997–1998: un artisanat du fer et du bronze au Ier et IIe s. ap. J.-C. Le petit mobilier. Bulletin de l'Association Pro Aventico 41, 1999, 125–131.
- Eardley-Wilmot 1927A: V.L. Eardley-Wilmot, Abrasives, Part I: Siliceous Abrasives. Sandstone, Quartz, Tripoli, Pumice, and Volcanic Dust (Ottawa 1927).
- Eardley-Wilmot 1927B: V.L. Eardley-Wilmot, Abrasives, Part II: Corundum and Diamond (Ottawa 1927).
- Eardley-Wilmot 1927C: V.L. Eardley-Wilmot, Abrasives, Part III: Garnet (Ottawa 1927).
- Eipper 2002: P.-B. Eipper, Zur Verwendung von Riesenschachtelthalm als Schleifmittel. Beiträge zur Erhaltung von Kunstwerken 10 (Bonn 2002) 35–45.

- Ellis 1969: S. E. Ellis, The Petrography and Provenance of Anglo-Saxon and Medieval English Honestones, with Notes on some other Honestones. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Mineralogy Series 2*, 1969/3, 133–187.
- Engleitner 1806: J. Engleitner (mit Beitr. von L. Zsámboki / O. Fitz / H. Weinek), Die Schleifsteinbruch Manipulation nach allen Theilen der vorkommenden Arbeiten. A közzörűkő bányászata és készítése az előforduló munkák összes részlete szerint (Originalmanuskript Waidhofen an der Ybbs 1806; Reproduktion Miskolc-Waidhofen 1990).
- Escard 1910: J. Escard, Les matières abrasives industrielles. Origines, fabrication et usages des produits naturels ou artificiels destinés à la perforation, à l'usure et au polissage (Paris 1910).
- Feldhaus 1914: F. M. Feldhaus, Die Technik. Ein Lexikon der Vorzeit, der Geschichtlichen Zeit und der Naturvölker (Leipzig/Berlin 1914; Reprint Wiesbaden 1970).
- Fell 1990: V. Fell, Pre-roman iron age metalworking tools from England and Wales: their use, technology, and archaeological context (Phd. thesis Durham 1990).
- Feugère/Manniez 1993: M. Feugère / Y. Manniez, Le petit mobilier. In: M. Monteil (éd.), Les fouilles de la Z.A.C. des Halles à Nîmes (Gard). *Bulletin de l'Ecole Antique de Nîmes, Supplément 1* (Nîmes 1993) 267–298.
- Fiedler 1841: K. G. Fiedler, Reise durch alle Theile des Königreiches Griechenland ... in den Jahren 1834 bis 1837. Zweiter Theil (Leipzig 1841).
- Foltz 1984: Untersuchungen zur Herstellung der Silberobjekte. In: H. A. Cahn / A. Kaufmann-Heinimann 1984, 361–374.
- Formigli et al. 1999: E. Formigli (ed.), I grandi bronzi antichi. Le fonderie e le tecniche di lavorazione dall'età arcaica al Rinascimento (Siena 1999).
- Foster et al. 2009: K. P. Foster et. al, The Thera eruption and Egypt: pumice, texts, and chronology. In: D. A. Warburton (ed.), Time's Up! Dating the Minoan eruption of Santorini. *Monographs of the Danish Institute at Athens 10* (Athens 2009) 171–180.
- Foster/Bichler 2003: K. P. Foster / M. Bichler, Thera pumice from Egyptian graves? In: K. P. Foster / R. Laffineur (ed.), *Metron. Measuring the Aegean Bronze Age. Proceedings of the 9th International Aegean Conference, New Haven, Yale University, 18–21 April 2002. Aegeum 24. Annales d'archéologie égéenne de l'Université de Liège et UT-PASP* (Liège 2003) 431–439.
- Fröhlich 1974: M. Fröhlich, Benvenuto Cellini. Abhandlungen über die Goldschmiedekunst und die Bildhauerei (Basel o.J. [1974]).
- Fuchs 1553: L. Fuchs, New Kreüterbuoch (Basel 1553).
- Fünfschilling 2006: S. Fünfschilling, Das Quartier «Kurzenbettli» im Süden von Augusta Raurica. *Forschungen in Augst 35* (Augst 2006).
- Furger 1984: A. R. Furger, Leistungen und Abrechnungen der Kunsthandwerker. In: A. Kaufmann-Heinimann et al., *Der Silberschatz von Kaiseraugst. Augster Museumshäfte 7* (Augst 1984) 14–18.
- Furger 2017B: A. R. Furger, Die Legierungen römischer Gold- und Silberschmiede, *Gold'Or 6*, 2017, 26–27.
- Furger 2017A: A. R. Furger (mit einem Beitrag von R. J. Shakyia), Der vergoldete Buddha. Traditionelles Kunsthandwerk der Newar-Giesser in Nepal (Basel 2017). (englische Fassung: The gilded Buddha. The traditional art of the Newar metal casters in Nepal).
- Furger 2018: A. R. Furger, Antike Schmelztiegel. Archäologie und Archäometrie der Funde aus Augusta Raurica. *Beiträge zur Technikgeschichte 1* (Basel 2018).
- Furger 2019: A. R. Furger, Zur antiken Stahlerzeugung. Ein Nachweis der Aufkohlung von Eisen aus Augusta Raurica. *Beiträge zur Technikgeschichte 2* (Basel 2019).
- Furger et al. 2009: A. R. Furger / M. Wartmann / E. Riha, Die römischen Siegelkapseln aus Augusta Raurica. *Forschungen in Augst 44* (Augst 2009).
- Gaignerot-Driessen/Driessen 2012: F. Gaignerot-Driessen / J. Driessen, The Presence of Pumice in Late Minoan IIIB Levels at Sissi, Crete. In: E. Mantzourani / P. P. Betancourt (eds.), *Philistor. Studies in Honor of Costis Davaras. Prehistory Monographs 36* (Philadelphia 2012) 35–42.
- Gaitzsch 1980: W. Gaitzsch, Eiserne römische Werkzeuge. Studien zur römischen Werkzeugkunde in Italien und den nördlichen Provinzen des Imperium Romanum. *British Archaeological Reports BAR, International Series 78/1* (Oxford 1980).
- Gaitzsch 1985: W. Gaitzsch, Werkzeuge und Geräte in der römischen Kaiserzeit. Eine Übersicht. Aufstieg und Niedergang der römischen Welt (ANRW) II 12, 3 (Berlin/New York 1985) 170–204.
- Gauricus 1504: P[omponius] Gauricus, *De Sculptura* (1504), Édition anté et traduction par A. Chastel et R. Klein (Genève 1969).
- Georgi 1785A: J. G. Georgi, Versuch einer Geschichte des Eisens mit Anwendung für Gewerbe und Handwerker. Erster Band (Berlin 1785).
- Georgi 1785B: J. G. Georgi, Versuch einer Geschichte des Eisens mit Anwendung für Gewerbe und Handwerker. Zweiter Band (Berlin 1785).
- Gobantz 1894: A. Gobantz, Die Schmirgel-Lagerstätten auf Naxos. *Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 42*, 1894, No 13, 143–147.
- Golas/Needham 1999: P. J. Golas / J. Needham, Science and civilisation in China 5. Chemistry and chemical technology XIII: Mining (Cambridge 1999).
- Goltz 1972: D. Goltz, Studien zur Geschichte der Mineralnamen in Pharmazie, Chemie und Medizin von den Anfängen bis Paracelsus. *Sudhoffs Archiv, Beiheft 14* (Wiesbaden 1972).
- Goodway/Constable 1995: M. Goodway / M. A. Constable, 'Trent sand': chalcopyrite as an abrasive. *Journal of the Historical Metallurgy Society 29/1*, 1995, 46–50.
- Gudea 1989: N. Gudea, Porolissum. Un complex arheologic dacoroman la marginea de nord a Imperiului Roman 1. *Acta Musei Porolissensis 13* (Zalău 1989).
- Gutzwiller 1998: P. Gutzwiller, Stein- und bronzzeitliche Funde aus Augst und Kaiseraugst. In: R. Ebersbach et al. (Hrsg.), *MILLE FIORI. Festschrift Ludwig Berger. Forschungen in Augst 25* (Augst 1998) 51–59.
- Gwosdz/Lorenz 2005: W. Gwosdz / W. Lorenz, Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. Teil 8: Aluminiumoxidreiche Rohstoffe. *Geologisches Jahrbuch Reihe H, Heft 11* (Hannover 2005).
- Haenig 1910: A. Haenig, Der Schmirgel und seine Industrie. Eine technische Studie über moderne Schleifmittel und die Entwicklung der Schleifmaschinenindustrie (Wien/Leipzig 1910).
- Halle 1783: J. S. Halle, Praktische Anweisung alle Stahlarten zu kennen, zu härten, anzulassen und zu bearbeiten. Zum Gebrauch der mechanischen Künstler, sonderlich der Künstler in Stahl (Berlin 1783).
- Halleux 1981: R. Halleux, Les alchimistes Grecs 1. Papyrus de Leyde, papyrus de Stockholm, fragments de recettes (Paris 1981).
- Hamon 2008: C. Hamon, Functional Analysis of Stone Grinding and Polishing Tools from the Earliest Neolithic of North-Western Europe. *Journal of Archaeological Science 35*, 2008, 1502–1520.
- Hanisch/Schmid 1901: A. Hanisch / H. Schmid, Österreichische Steinbrüche. Verzeichnis der Steinbrüche, welche Quader, Stufen, Pflastersteine, Schleif- und Mühlsteine oder Dachplatten liefern (Wien 1901).
- Hansen 2009: S. C. J. Hansen, Whetstones from Viking Age Iceland. As part of the Trans-Atlantic trade in basic commodities (Phd. thesis Reykjavik 2009).
- Harrison 1894: J. Harrison, The decoration of metals. Chasing, repoussé and saw-piercing (London 1894).
- Hartmann 1853: C. Hartmann, Das Schleifen und Poliren der Werkzeuge und Instrumente, ferner auf Stahl, Eisen und andern Metallen, sowie auf Steinen, Glas, Holz, Horn, Elfenbein etc. ... nebst einem Anhang über Graviren, Aetzen und Damasciren (Weimar 1853).

- Hassler 2010: U. Hassler (Hrsg.), Kiese und Sande der Schweiz. Zuschläge für die Nachstellung historischer Mörtel und Putze (Zürich 2010).
- Hawkins 1904: H. J. Hawkins, The Polishing and Plating of Metals. A Manual for the Electroplater, giving Modern Methods of Polishing, Plating, Buffing, Oxidizing and Lacquering Metals, for the Progressive Workman (Chicago 1904).
- Hedfors 1932: H. Hedfors, Compositiones ad Tingenda Musiva. Herausgegeben, übersetzt und philologisch erklärt (Uppsala 1932).
- Heimpel et al. 1988: W. Heimpel / L. Gorelick / A. J. Gwinnett, Philological and archaeological evidence for the use of emery in the Bronze Age Near East. *Journal of Cuneiform Studies* 40, 1988, 195–210.
- Helfert / Furger 2017: M. Helfert / A. R. Furger, Archäometrische Untersuchungen in Augusta Raurica: Schmelztiegel, Schmelzgrube in situ und Gusskerne von Grossbronzen. In: M. Kemkes / S. Matesic (Hrsg.), Römische Grossbronzen am UNESCO-Welterbe Limes. Beiträge zum Welterbe Limes Band 9 (Darmstadt 2017) 174–185.
- Hencken 1950/51: H. Hencken, Lagore Crannog: an Irish Royal Residence of the 7th to 10th centuries A.D. *Proceedings of the Royal Irish Academy* 53, sect. C. Archaeology, Linguistic, and Literature, 1950/51, 1–247.
- Henning 1991: J. Henning, Fortleben und Weiterentwicklung spätrömischer Agrargerätetraditionen in Nordgallien. Eine Mähense der Merowingerzeit aus Kerkhove (Belgien). *Acta Archaeologica Lovaniensia* 30, 1991, 49–59.
- Henshall 1982: A. S. Henshall, The finds. In: D. B. Taylor, Excavation of a promontory fort, broch and souterrain at Hurly Hawkin, Angus. *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland* 112, 1982, 225–244.
- Hermayr / Jaquemin 1988: A. Hermayr / A. Jaquemin, Hephaistos. In: *Lexicon iconographicum mythologiae classicae (LIMC)* IV / 1 (Zürich / München 1988) 627–654.
- Hilpke 1956: H. Hilpke, Handbuch der Graveure, Ziseleure und Gürtler (Stuttgart 1956).
- Hinzmann 1941: R. Hinzmann, Nichteisenmetalle. Erster Teil. Kupfer, Messing, Bronze, Rotguss. Werkstatthbücher für Betriebsbeamte, Konstrukteure und Facharbeiter 45 (Berlin 1941).
- Hirschberg 1962: W. Hirschberg, Die Künstlerstrasse. Auf Studienreise durch Kamerun (Wien 1962).
- Hochuli-Gysel et al. 1986: A. Hochuli-Gysel et al., Chur in römischer Zeit 1. Ausgrabungen Areal Dosch. *Antiqua* 12 (Basel 1986).
- Höfer 1976: A. Höfer, A settlement and smithy of the blacksmiths (*Kāmi*) in Nepal. *Kailash* 4, 1976, 349–396. – Deutsche Version: A. Höfer, Eine Siedlung und Werkstatt der Dorfschmiede (*Kāmi*) in Nepal. *Archiv für Völkerkunde* 26, 1972, 29–57.
- Höhne / Rösling 1839: F. Höhne / C. W. Rösling, Das Kupferschmiedhandwerk mit den nöthigen Vorlehen über die Erzeugung und Behandlung des Rohkupfers so wie aller in dieses Fach einschlagenden Produkte. Neuer Schauplatz der Künste und Handwerker mit Berücksichtigung der neuesten Erfindungen 101 (Weimar 1839; Reprint Hannover 1996).
- Horisberger 2004: B. Horisberger, Der Gutshof in Buchs und die römische Besiedlung im Furtal. *Monographien der Kantonsarchäologie Zürich* 37 (Zürich 2004).
- Hübener 1973: W. Hübener, Die römischen Metallfunde von Augsburg-Oberhausen. Materialhefte zur bayerischen Vorgeschichte 28 (Kallmünz 1973).
- Hugger / Mutz 1969: P. Hugger / A. Mutz, Der Feilenhauer. Sterbendes Handwerk 22 (Basel 1969).
- Huitorel 2018: G. Huitorel, Un outil d'entretien des lames. Le marteau triangulaire à rabattre. *Instrumentum* 47, 2018, 18–19.
- Ilg 1873: A. Ilg (Hrsg.), Heraclius, von den Farben und Künsten der Römer. Quellenschriften für Kunstgeschichte und Kunsttechnik des Mittelalters und der Renaissance 4 (Wien 1873).
- Jablonski 1748: J. Th. Jablonski, Allgemeines Lexicon der Künste und Wissenschaften ... (Königsberg / Leipzig 1748²). – *Onlineausgabe*: <http://reader.digitale-sammlungen.de/resolve/display/bsb10351903.html> (30.12.2011).
- Jacobi 1897: L. Jacobi, Das Römerkastell Saalburg bei Homburg vor der Höhe (Homburg vor der Höhe 1897).
- Jacobi 1974: G. Jacobi, Werkzeug und Gerät aus dem Oppidum von Manching. Die Ausgrabungen in Manching 5 (Wiesbaden 1974).
- Jahn 1861: O. Jahn, Darstellungen antiker Reliefs, welche sich auf Handwerk und Handelsverkehr beziehen. *Berichte der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Philosophisch-historische Klasse* (Leipzig 1861) 291–374.
- Janietz 2000: B. Janietz, Appendix B zu Testimonium 2: Der technologische Befund an den Bronzeplatten und die Rekonstruktion der Inschriften der beiden Statuenbasen. In: P.-A. Schwarz / L. Berger (Hrsg.), *Tituli Rauracenses 1. Testimonien und Aufsätze. Zu den Namen und ausgewählten Inschriften von Augst und Kaiseraugst. Forschungen in Augst* 29 (Augst 2000) 55–75.
- Janietz Schwarz / Rouiller 1996: B. Janietz Schwarz / D. Rouiller, Ein Depot zerschlagener Grossbronzen aus Augusta Raurica. Die Rekonstruktion der beiden Pferdestatuen und Untersuchungen zur Herstellungstechnik. *Forschungen in Augst* 20 (Augst 1996).
- Johannsen 1925: O. Johannsen, Biringuccios Pirotechnia. Ein Lehrbuch der chemisch-metallurgischen Technologie und des Artilleriewesens aus dem 16. Jahrhundert (Braunschweig 1925).
- Joseph 1929: F. Joseph, Schleifen und Polieren der Edelmetalle (Leipzig 1906¹; 1929³; Reprint Stuttgart 1988).
- Kars 1983: H. Kars, Early-Medieval Dorestad, an Archaeo-Petrological Study. *Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek* 33, 1983, 1–94.
- Kassianidou 2007: V. Kassianidou, Ground Stone Tools from Apliki *Karamallos*. In: B. Kling / J. D. Muhly, *Joan du Plat Taylor's Excavations at the Late Bronze Age Mining Settlement at Apliki Karamallos, Cyprus. Studies in Mediterranean Archaeology* 134 / 1 (Sävedalen 2007) 277–306.
- Keim / Rautenberg 1987: H. Keim / U. Rautenberg, Die Unterammergauer Wetzsteinmacherei. *Schriften des Freilichtmuseums des Bezirks Oberbayern* 13 (Grossweil 1987).
- Keller et al. 2000: C. Keller / Y. Gerber / W. B. Stern, Rückstände in Kochgefäßen – Zum Phänomen der Knochenasche. *Archäologische Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt. Jahresbericht 1999* (Basel 2000) 129–146.
- Keller et al. 2014: J. Keller et al., Pumice deposits of the Santorini Lower Pumice 2 eruption on Anafi island, Greece: Indications for a Plinian event of exceptional magnitude. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 278 / 279, 2014, 120–128.
- Kleinschmidt 1937: B. Kleinschmidt, Das Polieren der Metalle. *Handbuch des gesamten Schleif- und Polierwesens* 2 (Berlin 1937).
- Kleinschmidt 1944: B. Kleinschmidt, Das Schleifen in der Metallbearbeitung. *Handbuch des gesamten Schleif- und Polierwesens* 1 (Berlin 1944).
- Kluge 1927: K. Kluge, Die antike Erzgestaltung und ihre technischen Grundlagen. *Die antiken Grossbronzen* 1 (Berlin 1927).
- Koch 2016: B. Koch, Zur Geschichte der Schwarzacher Wetzsteinherstellung. In: S. de Rachewiltz / C. Ganner / A. Rauchegger (Hrsg.), *Schneid. Zur Kulturgeschichte der Schärfe im historischen Tirol. Schriften des Landwirtschaftsmuseums Brunnenburg* 17 (Weitra 2016) 266–282.
- Koukouli-Chrysanthaki / Weisgerber 1999: C. Koukouli-Chrysanthaki / G. Weisgerber, Prehistoric ochre mines on Thasos. In: C. Koukouli-Chrysanthaki et al. (eds.), *Thasos. Matières premières et technologie de la préhistoire à nos jours. Actes du Colloque International* 26–29 / 9 / 1995 (Athen 1999) 129–144.
- Krause 1949: H. Krause, Schleifen und Polieren in der Metallwarenindustrie (Leipzig 1949²).
- Kresten 2005: P. Kresten, A «Gold pestle» from Helgö, Sweden. *Journal of the Historical Metallurgy Society* 39 / 1, 2005, 12–13.
- Kresten et al. 1996: P. Kresten / M. Elfwendahl / T. J.-E. Pettersson, Provenance of quernstones, grindstones, and hones from Sweden. In: V. Mejdahl / P. Siemen (eds.), *Proceedings from the 6th Nordic*

- Conference on the Application of Scientific Methods in Archaeology. *Arkæologiske Rapporter* 1 (Esbjerg 1996) 76–94.
- Krünitz 1773–1858: J. G. Krünitz, *Oeconomische Encyclopädie oder allgemeines System der Land-, Haus- und Staats-Wirthschaft in alphabetischer Ordnung* (Berlin 1773–1858). – *Onlineausgabe*: [http://www.kruenitz1.uni-trier.de/\(30.12.2011\)](http://www.kruenitz1.uni-trier.de/(30.12.2011)).
- Kunkel 1732: J. Kunkel, *Der curieusen Kunst- und Werck-Schul. Erster Theil* (Nürnberg 1732).
- Labaune / Dondin-Payre 2007: Y. Labaune / M. Dondin-Payre, Notice n° 310. In: P. Chardon-Picault (éd.), *Hommes de feu, hommes du feu: l'artisanat en pays éduen* (Autun 2007).
- Lamm 2008: J. P. Lamm, An introduction to the lithic material from Helgö with special emphasis on the stone artefacts from building group 3. In: H. Clarke / K. Lamm (eds.), *Excavations at Helgö XVII. Workshop Part III* (Stockholm 2008) 89–130.
- Lamm 2012: K. Lamm, Helgö as a goldsmiths' workshop in Migration Period Sweden. In: A. Pesch / R. Blankenfeldt (eds.), *Goldsmith Mysteries. Archaeological, pictorial and documentary evidence from the 1st millennium AD in northern Europe*. Schriften des Archäologischen Landesmuseums Schleswig-Holstein, Ergänzungsreihe 8 (Neumünster 2012) 143–155.
- Landrin 1835: H. Landrin, *Manuel du coutelier, ou traité théorique et pratique de l'art de faire tous les ouvrages de coutellerie* (Paris 1835).
- Lanting 1974: J. N. Lanting, Wetzsteine mit Fischgrätenverzierung: Artefakte aus römischer Zeit. *Germania* 52, 1974, 90–102.
- Laur-Belart 1970: R. Laur-Belart, Auf den Spuren der römischen Bronzegießer von Augusta Raurica. Sondernummer der Metallwerke AG Dornach (Oktober 1970) 25.
- Lawton 2006: C. Lawton, Marbleworkers in the Athenian Agora. *Excavations of the Athenian Agora Picture Book* 27 (Athen 2006).
- Lehmann 2014: S. Lehmann, *Das frühmittelalterliche Gräberfeld von Basel-Gotterbarmweg* (Diss. Basel 2014).
- Lehnert 2005: B. Lehnert, *Dengeln, die Kunst, Sense und Sichel zu schärfen* (Norderstedt 2005 [Print on demand]).
- Lemmerhofer 2010: C. Lemmerhofer, *Schleifsteine aus Niederösterreich: Petrologie und Technische Eigenschaften* (Masterarbeit Wien 2010).
- Lenz 1861: H. O. Lenz, *Mineralogie der alten Griechen und Römer, deutsch in Auszügen aus deren Schriften* (Gotha 1861).
- Li et al. 2011: X. J. Li et al., Inscriptions, filing, grinding and polishing marks on the bronze weapons from the Qin Terracotta Army in China. *Journal of Archaeological Science* 38, 2011, 492–501.
- Lindenschmit 1858: L. Lindenschmit, *Die Alterthümer unserer heidnischen Vorzeit* (Mainz 1858).
- Lobitzer et al. 2010: H. Lobitzer et al., *Grindstone Mining in Gosau – the Classical Locality of the Ressen Formation (Lower Campanian, Gosau, Upper Austria). Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* 65 (Wien 2010) 169–179.
- Lucas/Harris 1962: A. Lucas / J. R. Harris, *Ancient Egyptian materials and industries* (London 1926¹; 1962²; reprint London 1999).
- Lueger 1904–1920: O. Lueger, *Lexikon der gesamten Technik und ihrer Hilfswissenschaften*, 8 Bände (Stuttgart / Leipzig 1904–1920²).
- Luginbühl 2001: T. Luginbühl, *Imitations de sigillée et potiers du Haut-Empire en Suisse occidentale. Archéologie et histoire d'un phénomène artisanal antique. Cahiers d'archéologie Romande* 83 (Lausanne 2001).
- Mäder 2001: S. Mäder, *Stähle, Steine und Schlangen. Zur Kultur- und Technikgeschichte von Schwertklingen des frühen Mittelalters* (Diss. Berlin 2001).
- Mainman / Rogers 2000: A. J. Mainman / N. S. H. Rogers, *Craft, industry and every day life. Finds from Anglo-Saxon York. The Archaeology of York* 17. *The small Finds* (York 2000).
- Mandel 2007: U. Mandel, *Räumlichkeit und Bewegungserleben – Körperschicksale im Hochhellenismus (240–190 v. Chr.)*. In: M. Flahar et al. (Hrsg.), *Hellenistische Plastik* 3. *Geschichte der antiken Bildhauerkunst* 3 (Mainz 2007) 103–187.
- Mangin 1981: M. Mangin, *Un quartier de commerçants et d'artisans à Alesia. Contribution à l'histoire de l'habitat urbain en Gaule*. Bibliothèque Pro Alesia 8 (Dijon 1981).
- Manning et al. 1995: W. H. Manning / J. Pryce / J. Webster, *The Roman Small Finds. Report on the Excavations at Usk 1965–1976* (Cardiff 1995).
- Marič 1978: Z. Marič, *Depo pronaden u ilirskom gradu Daors* (2 st. pr. n. e.). *Glasnik Sarajevo Archaeologija* NF 33, 1978, 23–113.
- Martin 1996: T. Martin, *Céramiques sigillées et potiers gallo-romains de Montans* (Montans 1996).
- Martin-Kilcher 1980: S. Martin-Kilcher, *Die Funde aus dem römischen Gutshof von Laufen-Müschhag. Ein Beitrag zur Siedlungsgeschichte des nordwestschweizerischen Jura. Schriftenreihe Erziehungsdirektion Kanton Bern* (Bern 1980).
- Massalski 1841: E. T. (?) Massalski, *Préparation de l'acier damassé en Perse. Annuaire de Journal des mines de Russie* 1841, 297–308.
- Mattusch 1975: C. C. Mattusch, *Casting techniques of Greek bronze sculpture: foundries and foundry remains from the Athenian Agora with reference to other ancient sources* (Phd. thesis, Chapel Hill 1975).
- Mattusch 1996: C. C. Mattusch, *The Fire of Hephaistos. Large Classical Bronzes from North American Collections* (Cambridge 1996).
- Mehofer 2015: M. Mehofer, *Guss- und Schmiedetechnik der Bronzezeit – ein Überblick*. In: T. Stöllner / K. Oegg (Hrsg.), *Bergauf bergab. 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen* (Bochum 2015) 233–237.
- Mercuzot 1998: A. Mercuzot (éd.), *Catalogue Général 1927 Goldenberg. L'outil qui dure* (Reprint Paris 1998).
- Merkel 2018: S. W. Merkel, *Archaeometallurgical investigations of a Viking brass ingot hoard from the Hedeby Harbor in northern Germany. Journal of Archaeological Science. Reports* 20, 2018, 293–302.
- Meyer 1905–1909: *Meyers Grosses Konversations-Lexikon*, 20 Bände (Leipzig 1905–1909⁶).
- Mitchell et al. 1984: J. G. Mitchell / H. Askvik / H. G. Resi, *Potassium-argon Ages of Schist Honestones from the Viking Age Sites at Kaupang (Norway), Aggersborg (Denmark), Hedeby (West Germany), and Wolin (Poland), and their archaeological implications. Journal of Archaeological Science* 11, 1984, 171–176.
- Mohen / Bailloud 1987: J.-P. Mohen / G. Bailloud, *La vie quotidienne. Les fouilles du Fort-Harrouard. L'âge du bronze en France* 4 (Paris 1987).
- Moore 1978: D. T. Moore, *The petrography and archaeology of English honestones. Journal of Archaeological Science* 5, 1978, 61–73.
- Moosbrugger-Leu 1971: R. Moosbrugger-Leu, *Die Schweiz zur Merowingerzeit. Die archäologische Hinterlassenschaft der Romanen, Burgunder und Alemannen. Handbuch der Schweiz zur Römer- und Merowingerzeit* (Bern 1971).
- Muhly 1985: J. D. Muhly, *Sources of Tin and the Beginnings of Bronze Metallurgy. American Journal of Archaeology* 89/2, 1985, 275–291.
- Mukherjee 1978: M. Mukherjee, *Metalcraftsmen of India. Anthropological Survey of India. Memoir* 44 (Calcutta 1978; reprint Kolkata 2009).
- Müller / Priloff 2005: H.-H. Müller / R.-J. Priloff, *Eberhauer als Poliergeräte im Mittelalter. Boar tusks used as polishing tools in medieval times. MUNIBE (Antropologia-Arkeologia)* 57, 2005, 477–481.
- Mutschlechner 1971: G. Mutschlechner, *Das Messingwerk Achenrain in Tirol. Leobener Grüne Hefte* 130 (Wien 1971).
- Mutz 1968: A. Mutz, *Römische Eisenwerkzeuge aus Augst. Technologische Untersuchungen und Vergleiche mit modernen Parallelen*. In: *Provincialia. Festschrift Rudolf Laur-Belart* (Basel/Stuttgart 1968) 151–169. – *Abdruck in: Beiträge und Bibliographie zur Augster Forschung* (Basel 1975) 151–169.
- Mutz 1972: A. Mutz, *Die Kunst des Metaldrehens bei den Römern. Interpretationen antiker Arbeitsverfahren auf Grund von Werkspuren* (Basel und Stuttgart 1972).

- Mutz 1976: A. Mutz, Römisches Schmiedehandwerk. Augster Museumshäfte 1 (Augst 1976).
- Mutz 1980: A. Mutz, Ein Fund von Holzbearbeitungs-Werkzeugen aus Augst Insula 31. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 1, 1980, 117–131.
- Myrvoll 1985: S. Myrvoll, The Trade in Eidsborg Hones over Skein in the medieval period. ISKOS 5, 1985, 31–47.
- Myrvoll 1991: S. Myrvoll, The Hones. In: M. Bencard et al. (eds.), Ribe Excavations 1970–76, Volume 3 (Esbjerg 1991) 115–141.
- Nagel 2018: S. Nagel, Die figürlich gravierten Gläser der Spätantike (Diss. Göttingen 2018).
- Nessel 2010: B. Nessel, Schmiede und Toreuten in den urnenfelderzeitlichen Depotfunden des Karpatenbeckens? – Funktionsanalyse von Handwerksgerät und soziale Implikationen. In: B. Horejs / T. N. Kienlin (Hrsg.), Siedlung und Handwerk. Studien zu sozialen Kontexten in der Bronzezeit. Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 194 (Bonn 2010) 373–386.
- Neuburger 1981: A. Neuburger, Die Technik des Altertums (Leipzig 1919³; 1981⁴).
- Nothdurfter 1979: J. Nothdurfter, Die Eisensfunde von Sanzeno im Nonsberg. Römisch-Germanische Forschungen 38 (Mainz 1979).
- Nymo 2009: P. Nymo, Whetstone Typology: Or the First Shipwreck of Turid Fiskarbekk and Marine Archaeologists Who Had to Think Again. The Journal of Maritime Archaeology 4, 2009, 165–180.
- Nymo 2010: P. Nymo, Fatal feilnavigering med tung last? Om en samling brynesteinsemer i Kvåsefjorden, Kristiansand. In: E. A. Stylegar (red.), Mangesysleren. En vennebok til Svein Mjaatvedt (Kristiansand 2010) 128–157.
- Nymo 2011: P. Nymo, Bøleskipet – og brynesteinseksport fra Norge. In: L. Appel / K. Langsted (eds.), Ressourcer og kulturkontakter. Arkæologi rundt om Skagerrak og Kattegat. Kulturhistoriske skrifter fra Nordsjælland 1 (Gilleleje 2011) 83–99.
- Oehmichen 1990: G. Oehmichen, Zur Wiederaufnahme der Ausgrabung im frühmittelalterlichen Reihengräberfeld von Schwenningen, Stadt Villingen-Schwenningen, Schwarzwald-Baar-Kreis. Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 1990, 190–194.
- Ogden 2000: J. Ogden, Metals. In: P. T. Nicholson / I. Shaw (eds.), Ancient Egyptian Materials and Technology (Cambridge 2000) 148–176.
- Önay 1950: T. Ş. Önay, Über die Smirgelgesteine Südwest-Anatoliens. Schweizerische Mineralogisch-Petrographische Mitteilungen 29/2, 1949 (Diss. Zürich 1950).
- Pearson 1904: J. C. Pearson, An introduction to metalworking. Murray's Home and School Library (London 1904).
- Peltz/Bichler 2001: C. Peltz / M. Bichler, Classification of archaeologically stratified pumice by INAA. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 248/1, 2001, 81–87.
- Perret 1780: J. J. Perret, Herrn Perret's Abhandlung vom Stahl, dessen Beschaffenheit, Verarbeitung und Gebrauch (Dresden 1780). – Übersetzung der französischen Originalausgabe: J. J. Perret, Mémoire sur l'acier, dans lequel on traite des différentes qualités de ce métal, de la forge, du bon emploi & de la trempe (Paris 1779).
- Peters 1960: H. Peters, Hephaistos – Vulcanus. Mythos um das Eisen. Die DEMAG ihren Freunden ein herzliches Glückauf zum Jahreswechsel 1960/1961 (Duisburg 1960).
- Pető 1991: M. Pető, Neuere Metallfunde vom Gebiet des Oppidums am Gellért-Berg aus der späten Eisenzeit. Budapest Régiségei 27, 1991, 68–76.
- Petrascheck/Petrascheck 1950: W. Petrascheck / W. E. Petrascheck, Lagerstättenlehre. Ein kurzes Lehrbuch von den Bodenschätzen in der Erde (Wien 1950).
- Pflug 2006: H. Pflug, PAIDES HEPHAISTOU. Die Bilder der Berliner Erzgiesserei-Schale – anders gesehen. In: A. Dostert / F. Lang (Hrsg.), Mittel und Wege. Zur Bedeutung von Material und Technik in der Archäologie (Möhnesee 2006) 183–218.
- Pierer 1857–1865: H. A. Pierer, Pierer's Universal-Lexikon. Seiner Hoheit Dem gnädigsten Herzog und Herrn Ernst, regierendem Herzog von Sachsen-Altenburg meinem gnädigsten Fürsten und Herrn, in tiefster Ehrfurcht und Unterthänigkeit gewidmet von Eugen Pierer, 19 Bände (Altenburg 1857–1865⁴). – Onlineausgabe: <http://www.zeno.org/Pierer-1857> (06.01.2012).
- Pieters 2013: M. Pieters, Les outils comme traceurs des activités de transformation des métaux? Supports de frappe, abrasifs et brunissoirs, outils d'aiguisage et outils de broyage (Phd. thesis Lyon 2013).
- Pietsch 1983: M. Pietsch, Die römischen Eisenwerkzeuge von Saalburg, Feldberg und Zugmantel. Saalburg Jahrbuch 39, 1983, 5–132.
- Pinsard/Sefrioui 2001: L. Pinsard / A. Sefrioui, Artisans du Maroc (Arles 2001).
- Pleiner 2006: R. Pleiner, Iron in Archaeology. Early European Blacksmiths (Praha 2006).
- Pollak 2006: M. Pollak, Stellmacherei und Landwirtschaft: Zwei römische Materialhorte aus Mannersdorf am Leithagebirge, Niederösterreich. Fundberichte aus Österreich. Materialhefte A/16 (Horn 2006).
- Poux et al. 2011: M. Poux et al., Corent. Voyage au cœur d'une ville gauloise (Paris 2011).
- Precht 1830–1855: J. J. Precht, Technologische Encyclopädie oder alphabetisches Handbuch der Technologie, der technischen Chemie und des Maschinenwesens. Zum Gebrauche für Kameralisten, Ökonomen, Künstler, Fabrikanten und Gewerbetreibende jeder Art (Stuttgart 1830–1855).
- Rapp et al. 1973: G. Rapp / S. R. B. Coke / E. Henrickson, Pumice from Thera (Santorini) identified from a Greek Mainland Archaeological Site. Science 179, 1973, 471–473.
- Raub 1986: C. Raub, Zur Herstellung römischer Spiegel. Fundberichte aus Baden-Württemberg 11, 1986, 297–306.
- Raven 2000: M. J. Raven, Prisse d'Avennes, Atlas of Egyptian Art (Cairo 2000). [Originalausgabe: E. Prisse d'Avennes, Atlas de l'Histoire de l'Art Egyptien, d'après les monuments, depuis les temps les plus reculés jusqu'à la domination romaine, Paris 1868–1878]
- Reichert 2007: A. Reichert, Zwischen Rinde und Holz: Bast – textiles Material der Steinzeit. In: M. Fansa / D. Vorlauf (Hrsg.), Holz-Kultur. Von der Urzeit bis in die Zukunft. Ökologie und Ökonomie eines Naturrohstoffs im Spiegel der Experimentellen Archäologie, Ethnologie, Technikgeschichte und modernen Holzforschung. Wissenschaftlicher Begleitband zur gleichnamigen Sonderausstellung 4. Februar–28. Mai 2007 im Landesmuseum für Natur und Mensch Oldenburg. Ergebnisse der Vorbereitungstagung vom 24.–25. November 2005 in Oldenburg (Mainz 2007) 203–230.
- Resi 1990: H. G. Resi, Die Wetz- und Schleifsteine aus Haithabu. Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu 28 (Neumünster 1990).
- Resi 2011: H. G. Resi, Whetstones, Grindstones, Touchstones and Smoothers. In: D. Skre (eds.), Things from the Town. Artefacts and Inhabitants in Viking-age Kaupang. Norske Oldfunn 24 (Oslo 2011) 373–393.
- Reymond 2009: S. Reymond (éd.), La villa romaine du Buy et sa forge. Dernières découvertes à Cheseaux, Morrens et Etagnières (canton de Vaud, Suisse). Cahiers d'Archéologie Romande 115 (Lausanne 2009).
- Rich 1862: A. Rich, Illustriertes Wörterbuch der römischen Alterthümer mit steter Berücksichtigung der griechischen (Paris/Leipzig 1862).
- Richter 1996: F. Richter, Schleifen und Schleifer. Schleifsteinbrüche und Schleifsteinbrecher. Schriftenreihe des Stadtarchivs der Statutarstadt Waidhofen/Ybbs 2 (Waidhofen an der Ybbs 1996).
- Riha 1986: E. Riha, Römisches Toilettgerät und medizinische Instrumente aus Augst und Kaiseraugst. Forschungen in Augst 6 (Augst 1986).
- Rinman 1814: S. Rinman, Geschichte des Eisens mit Anwendung für Künstler und Handwerker. Erster Band (Liegnitz 1814).
- Römer 1988: W. Römer, Vom alten Handwerk. Nagelschmiede, Scheinenschleifer, Feilenhauer ... 1925–1931 (Berlin).

- Rösler 1951: H.J. Rösler, Das Kieselgurlager von Klieken bei Coswig (Anh.). Die Bergakademie 3 / 1, 1951, 9–14.
- Roth 1986: H. Roth, Kunst und Handwerk im frühen Mittelalter (Stuttgart 1986).
- Roth-Rubi 1986: K. Roth-Rubi, Die Villa von Stutheim / Hüttwilen TG. Ein Gutshof der mittleren Kaiserzeit. Antiqua 14 (Basel 1986).
- Roussel 1988: L. Roussel, Mediolanum. Une bourgade gallo-romaine (Dijon 1988).
- Roussel 2003: L. Roussel, Mâlain – Mediolanum, une ville gallo-romaine. Vingt-cinq ans de fouilles archéologiques 1968–1993. Cahiers du Mesmontois 74 (Mâlain 2003).
- Rüst 1838: W.A. Rüst, Die mechanische Technologie. Als Handbuch für den technologischen Unterricht an technischen Bildungsanstalten und zum Gebrauch akademischer Vorlesungen, sowie zur Selbstbelehrung ..., Erste Abtheilung: Die Metalle und die technischen Anwendungen derselben (Berlin 1838).
- Rychener 2006: J. Rychener (mit Beiträgen von B. Pfäffli / M. Schaub), Ausgrabungen in Augst im Jahre 2005. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 27, 2006, 109–134.
- Sachse 1989: M. Sachse, Damaszener Stahl. Mythos, Geschichte, Technik, Anwendung (Bremerhaven 1989).
- Said 1989: H. M. Said, Al-Beruni's Book on Mineralogy. The Book Most Comprehensive In Knowledge On Precious Stones (Islamabad 1989).
- Salzmann / Wobbe 1916: H. Salzmann / W. Wobbe (Red.), Technische Mitteilungen. Vierteljahresschrift für praktische Pharmazie 13 / 2, 1916, 157–165.
- Schaaber 1964: O. Schaaber, Metallkundliche Untersuchung an Fundstücken aus Schweisstahl vom Magdalensberg. Archiv für das Eisenhüttenwesen 35 / 6, 1964, 502–506.
- Schaltenbrand Obrecht 1998: V. Schaltenbrand Obrecht, Wie wurden eiserne *stili* in römischer Zeit hergestellt und verziert? Anmerkungen zur Technologie. In: R. Ebersbach et al. (Hrsg.), MILLE FIORI. Festschrift Ludwig Berger. Forschungen in Augst 25 (Augst 1998) 201–205.
- Schaltenbrand Obrecht 2012: V. Schaltenbrand Obrecht, Stilus. Kulturhistorische, typologisch-chronologische und technologische Untersuchungen an römischen Schreibgriffeln von Augusta Raurica und weiteren Fundorten. Forschungen in Augst 45 (Augst 2012).
- Schaudolph 2007: E. Schaudolph, Beispiele hellenistischer Plastik der Zeit zwischen 190 und 160 v. Chr. In: M. Flashar et al. (Hrsg.), Hellenistische Plastik 3. Geschichte der antiken Bildhauerkunst 3 (Mainz 2007) 189–239.
- Scheel 1987: B. Scheel, Studien zum Metallhandwerk im Alten Ägypten III. Handlungen und Beischriften in den Bildprogrammen der Gräber des Neuen Reiches und der Spätzeit. Studien zur Altägyptischen Kultur 14 (Hamburg 1987) 247–264.
- Scheller / Frieboes 1906: E. Scheller / W. Frieboes, Aulus Cornelius Celsus. Über die Arzneiwissenschaft in acht Büchern (Braunschweig 1906²).
- Schindler 1697: C. K. Schindler, Metallische Probier-Kunst. Das ist: Eigentlicher Bericht von dem Ursprung und Erkenntnis derer Metallischen Erze ... (Dresden 1697).
- Schnarr 1998: H. Schnarr, Charakterisierung der Bearbeitung und der Verwendung archäologischer Werkstoffe mittels atmosphärischer Rasterelektronenmikroskopie. Berliner Beiträge zur Archäometrie 15 (Berlin 1998) 5–89.
- Schneider / Schneider 1928: K. Schneider / H. Schneider, Der praktische Klempner. Ein Handbuch für Blecharbeiter und Techniker, für Werkstatt, Berufsschule und Büro (Stuttgart 1928).
- Schönrock 2008: D. Schönrock, Neuburger Kieselrde. Gewinnung, Veredelung, Anwendungen als funktioneller Füllstoff. Die Bibliothek der Technik 308 (München 2008).
- Schroeder 1930: A. Schroeder, Entwicklung der Schleiftechnik bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts (Diss. Braunschweig 1930).
- Schwahn 1945: C. Schwahn, Die Oberflächenbehandlung der Metalle (Halle 1945).
- Schwahn 1949: C. Schwahn, Rezept- und Werkstattbuch für den Gold- und Silberschmied. Kleine Fachbücherei des Gold- und Silberschmieds 5 (Halle 1949²).
- Schwarz 2000: P.-A. Schwarz, Appendix A zu Testimonium 2: Fundumstände des Recycling-Depots mit den Bronzeplatten und archäologisch-historische Interpretation des Grabungsbefundes in der Insula 20. In: P.-A. Schwarz / L. Berger (Hrsg.), Tituli Rauracenses 1. Testimonien und Aufsätze. Zu den Namen und ausgewählten Inschriften von Augst und Kaiseraugst. Forschungen in Augst 29 (Augst 2000) 41–53.
- Schwarzlose 1886: F.W. Schwarzlose, Die Waffen der alten Araber aus ihren Dichtern dargestellt. Ein Beitrag zur arabischen Alterthumskunde, Synonymik und Lexicographie nebst Registern (Leipzig 1886).
- Semenov 1964: S.A. Semenov, Prehistoric Technology. An experimental study of the oldest tools and artefacts from traces of manufacture and wear (London 1964 [russische Erstausgabe: Moskau 1957]).
- Serotta / Carò 2014: A. Serotta / F. Carò, Evidence for the use of corundum abrasive in Egypt from the Great Aten Temple at Amarna. In: B. Kemp (ed.), Horizon. The Amarna Project and Amarna Trust newsletter 14, Spring 2014, 2–4.
- SIA 1940: Schweizerische Schmirgel- und Schleif-Industrie AG (SIA; Hrsg.), Etwas von Schleifpapieren und -Tüchern (Frauenfeld o.J. [um 1940]).
- Siano 2013: S. Siano, The Birth and Second Life of the Minerva of Arezzo. In: E. Risser / D. Saunders (eds.), The Restoration of Ancient Bronzes. Naples and Beyond (Los Angeles 2013) 64–82.
- Simons 1972: G. Simons, Das Handwerk der Schleifsteinhauer und die Schleifereien im Bergischen Land. In: G. Simons et al., Das Steinhauerdorf Neidenbach in der Südeifel. Erste Ergebnisse einer Felduntersuchung des Bonner Volkskundlichen Seminars im Sommer 1970. In: E. Ennen / G. Wiegmann (Hrsg.), Festschrift Matthias Zender. Studien zu Volkskultur, Sprache und Landesgeschichte 2 (Bonn 1972) 768–822 bes. 798 ff.
- Slater 2007: E. A. Slater, Metallurgical analysis. In: W. S. Hanson, Elginhaugh: a Flavian fort and its annexe, vol. 2. Britannia Monograph Series 23 (London 2007) 510–515.
- Smithells 1949: C. J. Smithells, Metals reference book (London 1949¹).
- Spindler 1971: K. Spindler, Zur Herstellung der Zinnbronze in der frühen Metallurgie Europas. Acta Praehistorica et Archaeologica 2, 1971, 199–253.
- Srinivasan / Glover 1995: S. Srinivasan / I. Glover, Wrought and quenched, and cast high-tin bronzes in Kerala State, India. The Journal of the Historical Metallurgy Society 29 / 2, 1995, 69–88.
- Stäger 1932: H. Stäger, Über Versuche mit Schleifölen. Schweizerischer Verband für die Materialprüfungen der Technik. Bericht der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt 35 (Zürich 1932) 5–17.
- Starley 1995: D. Starley, Hammerscale. Historic Metallurgy Society Datasheet 10 (London 1995).
- Staudinger 1955: H. Staudinger, Das Schleifen und Polieren der Metalle. Werkstattbücher für Betriebsangestellte, Konstrukteure und Facharbeiter 5 (Berlin / Göttingen / Heidelberg 1955).
- Steinhauser et al. 2007: G. Steinhauser / J. H. Sterba / M. Bichler, «Chemical fingerprints» of pumice from Cappadocia (Turkey) and Kos (Greece) for archaeological applications. Applied Radiation and Isotopes 65, 2007, 488–503.
- Steinhauser et al. 2018: G. Steinhauser et al., Provenancing of archaeological pumice finds from North Sinai. Naturwissenschaften 97, 2010, 403–410.
- Steuer 1994: H. Steuer, Artikel «Feile», in: J. Hoops (Hrsg.), Reallexikon der Germanischen Altertumskunde 8 (Berlin / New York 1994) 292–295.
- Stier 1911: Die Schleifmittel, das Schleifen und Polieren. Die heutige Metall-Technik 2 (Leipzig 1911).
- Stütz 1807: A. Stütz, Mineralogisches Taschenbuch. Enthaltend eine Oryctographie von Unterösterreich zum Gebrauche Reisender und Mineralogen (Wien und Triest 1807).

- Sugimori 2004: E. Sugimori, Japanese patinas (Portland 2004).
- Swoboda 1986: R. M. Swoboda, Die spätrömische Befestigung Sponeck am Kaiserstuhl. Münchner Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte 36 (München 1986).
- Thompson 1936: R. C. Thompson, A Dictionary of Assyrian Chemistry and Geology (Oxford 1936).
- Ulbert 1984: G. Ulbert, Cáceres el Viejo. Ein spätrepublikanisches Legionslager in Spanisch-Extremadura. Madrider Beiträge 11 (Mainz 1984).
- Untracht 1968: O. Untracht, Metal Techniques for Craftsmen. A Basic Manual for Craftsmen on the Methods of Forming and Decorating Metals (New York 1968).
- Untracht 1982: O. Untracht, Jewelry. Concepts and Technology (London 1982; reprint 2011).
- Vaughan 1985: P. Vaughan, Funktionsbestimmung von Steingeräten anhand mikroskopischer Gebrauchsspuren. Germania 63/2, 1985, 309–329.
- von Groller 1905: M. von Groller, Übersicht der im Jahre 1903 ausgeführten Grabungen. Der Römische Limes in Österreich 6 (Wien 1905) 1–158.
- von Lippmann 1906: E. O. von Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften 1 (Leipzig 1906).
- von Lippmann 1919: E. O. von Lippmann, Entstehung und Ausbreitung der Alchemie mit einem Anhang zur älteren Geschichte der Metalle (Berlin 1919).
- Voos 1937: K. Voos, Das Schleifen, Pliessten und Polieren in der Solinger Stahlwarenindustrie (Berlin 1937).
- Wahlburg 1913: V. Wahlburg, Die Schleif-, Polier- und Putzmittel für Metalle aller Art, Glas, Holz, Edelsteine, Horn, Schildpatt, Perlmutter usw. (Wien/Leipzig 1913).
- Wartke 1997: R.-B. Wartke, Materialien der Siegel und ihre Herstellungstechniken. In: E. Klengel-Brandt (Hrsg.), Mit Sieben Siegeln versehen. Siegel in Wirtschaft und Kunst des Alten Orients (Mainz 1997) 41–61.
- Weigel 1698: C. Weigel, Abbildung Der Gemein-Nützlichen Haupt-Stände Von denen Regenten Und ihren So in Friedens- als Kriegs-Zeiten zugeordneten Bedienten an, biß auf alle Künstler Und Handwercker (Regensburg 1698). – *Onlineausgabe*: [http://www.slub-dresden.de/sammlungen/digitale-sammlungen/werkansicht/cache.off?tx_dlf\[id\]=88](http://www.slub-dresden.de/sammlungen/digitale-sammlungen/werkansicht/cache.off?tx_dlf[id]=88) (05.01.2012).
- Weiss / Weinek 1991: A. Weiss / H. Weinek, Der untertägige Schleifsteinbruch beim Zulehen-Schlössel in Waidhofen an der Ybbs. Res monatanarum 2, 1991, 27–29.
- Werner 1981: G. Werner, Goldsmiths', silversmiths' and carpenters' tools. In: A. Lundström et al. (eds.), Excavations at Helgö VII. Glass – Iron – Clay (Stockholm 1981) 39–62.
- Westphalen 2002: P. Westphalen, Die Eisenfunde von Haithabu. Die Ausgrabungen in Haithabu 2 (Neumünster 2002).
- Wiedemann 1910: E. Wiedemann, Über Stahl und Eisen bei den muslimischen Völkern. Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen 42, 1910, 114–131.
- Wolters 2006: J. Wolters, Der byzantinische Traktat Über die edle und hochberühmte Goldschmiedekunst aus dem 11. Jahrhundert. In: C. Stiegmann et al. (Hrsg.), Schatzkunst am Aufgang der Romantik. Der Paderborner Dom-Tragaltar und sein Umkreis (München 2006) 259–283.
- Woodbury 1959: R. S. Woodbury, History of the Grinding Machine. A Historical Study in Tools and Precision Production (Cambridge/MA 1959).
- Woodward 1795: W. W. Woodward, One thousand valuable Secrets, in the elegant and useful Arts, Collected from the Practise of the best artists (Philadelphia 1795¹).
- Zedler 1732–1754: J. H. Zedler, Grosses vollständiges Universal-Lexicon aller Wissenschaften und Künste (Halle/Leipzig 1732–1754). – *Onlineausgabe*: <http://mdz10.bib-bvb.de/~zedler/zedler2007/> (30.12.2011).
- Zimmer 1982: G. Zimmer, Römische Berufsdarstellungen. Archäologische Forschungen 12 (Berlin 1982).
- Zimmer 1985: G. Zimmer, Schriftquellen zum antiken Bronzeguss. In: H. Born et al. (Hrsg.), Archäologische Bronzen. Antike Kunst, moderne Technik (Berlin 1985) 38–49.
- Zimmer 1990: G. Zimmer, Griechische Bronzegusswerkstätten. Zur Technologieentwicklung eines antiken Kunsthandwerkes (Mainz 1990).
- Ziomecki 1975: J. Ziomecki, Les représentations d'artisans sur les vases attiques (Wrocław 1975).
- Zwierlein-Diehl 2007: E. Zwierlein-Diehl, Antike Gemmen und ihr Nachleben (Berlin 2007).

Abbildungsnachweise

- Abb. 1:** Nach Voos 1937, Abb. 1 («Nach einer Enzyklopädie des 18. Jahrhunderts»).
- Abb. 2:** Nach Raven 2000, Abb. S. 120.
- Abb. 3; 4:** Fundobjekte Museum Augusta Raurica, Augst / BL; Fotos Alex R. Furger (nähere Angaben in der Bildlegende).
- Abb. 5:** 1 Sponeck / D (Swoboda 1986, Taf. 10,109); 2 Augst / BL (Mutz 1976, Abb. 35); 3 Sponeck / D (Swoboda 1986, Taf. 10,108); 4 Daorson / BIH (Marič 1978, Taf. 39,167); 5 Buchs / ZH (Horisberger 2004, Taf. 32,565); 6 Avenches / VD (Duvauchelle 2005, Taf. 7,50); 7 Augsurg-Oberhausen / D (Hübener 1973, Taf. 8,19); 8 Augst-Kurzenbettli / BL (Fünfschilling 2006, Taf. 165,3241); 9 Avenches / VD (Duvauchelle 2005, Taf. 7,51); 10 Augst / BL (Mutz 1980, Abb. 2,6); 11 Avenches / VD (Duvauchelle 2005, Taf. 7,49); 12 Daorson / BIH (Marič 1978, Taf. 39,171); 13.14 Avenches / VD (Duvauchelle 2005, Taf. 15,83.84); 15 Augst / BL (Mutz 1980, Abb. 2,5); 16 Mannersdorf / A (Pollak 2006, Taf. 57,44); 17 Silchester / GB (Pleiner 2006, Abb. 50,3); 18 Augst-Kurzenbettli / BL (Fünfschilling 2006, Taf. 165,3244). – Auswahl und Montage Alex R. Furger.
- Abb. 6:** Nach Römer 1988, Abb. S. 14.
- Abb. 7:** 1 nach Moosbrugger-Leu 1971, Taf. 71,4; 2 nach Doswald 1993, Abb. 3.
- Abb. 8:** 34–40; 44; 45; 48; 49; 66; 67; 71; 79; 80; 82; 83; 85–95; 97–99; 100; 103; 110; 113; 114: Experimente, Fotos und Mikroskopaufnahmen Alex R. Furger.
- Abb. 9:** Rekonstruktion und Fotos Alex R. Furger.
- Abb. 10:** 1.2.5 Colchester-Culver Street / GB (Crummy 1992, Abb. 5.38,1360.1361; 6.27,259); 3.15.16 Chur-Dosch / GR (Hochuli-Gysel et al. 1986, Taf. 54,3.4.6); 4.6.11 Chichester / GB (Down 1978, Abb. 10,8.12.1); 7 Augst / BL, Region 10 (Importstück mit «Fischgrat-Behau»; Museum Augusta Raurica, Inv. 1986.00275); 8.9.12 Autun-Lycée militaire / F (Chardron-Picault / Pernot 1999, Abb. 149,c.e.d); 10.13 Augst / BL (Inv. 1972.1655; 1972.1633); 14 Augst / BL (Riha 1986, Taf. 22,213); 17.19 Augst / BL (Gutzwiller 1998, Abb. 1,1.20); 18 Augst / BL-Kurzenbettli (Fünfschilling 2006, Taf. 189,3800); 20.21 Augst / BL (Furger 2017B, 27). – Auswahl und Montage Alex R. Furger.
- Abb. 11:** Nach Bruce-Mitford 1978, Abb. 237.
- Abb. 12:** Nach Rich 1862, Abb. Seite 194.
- Abb. 13:** Nach Voos 1937, Abb. 2.
- Abb. 14:** Nach Hencken 1950 / 51, Abb. 90.
- Abb. 15:** Nach Sachse 1989, Abb. 212.
- Abb. 16–21:** Nach Engleitner 1806, S. 19–27.
- Abb. 22:** Nach Pinsard / Sefrioui 2001, Abb. S. 68 oben.
- Abb. 23:** Nach Landrin 1835, Taf. 1,27.
- Abb. 24:** Nach Chopin 2006, S. 75.
- Abb. 25:** Oben: nach Blümner 1887A, Abb. 28; unten: nach Jahn 1861, Taf. 9,5.
- Abb. 26:** A nach Daumas 1962, Taf. 19; B1 und C nach Calza 1940, Abb. 150 und 152; B2 nach Gaitzsch 1985, Abb. 1.
- Abb. 27:** Links und oben rechts: nach Mandel 2007, Abb. 159a.d; unten rechts: nach Baumstark / Volk 1995, Abb. 11; unten: nach Schraudolph 2007, Textabb. 91.
- Abb. 28:** Nach Henning 1991, Abb. 6b.
- Abb. 29:** 1: nach Chopin 2006, Abb. S. 99; 2: nach Drack et al. 1990, 211 Taf. 35,103; 3: nach Roussel 1988, Taf. 73,632; 4: nach Huitorel 2018, Abb. 2,a; 5: Stück in Privatsammlung (Foto Alex R. Furger); 6–7 nach Mercuzot 1998, Abb. S. 393, no. 3396 («Façon d'Alsace») und no. 3412 («Façon Hongroise»).
- Abb. 30:** 1.2 Usk / GB (Manning et al. 1995, Abb. 81,1.2); 3 Avenches / VD-En Selley (Duvauchelle / Ogay, Abb. 2).
- Abb. 31:** Nach Keim / Rautenberg 1987, Abb. 14.
- Abb. 32:** Stich von Johann Holsteiner, in: F. X. Schweickhardt von Sickingen, Darstellung des Erzherzogthums Oesterreich unter der Ens (Wien 1831–1841).
- Abb. 33:** Nach Nymoen 2009, Abb. 7a.
- Abb. 41:** Nach Blitzer 1996, Taf. 8.109.
- Abb. 42:** Nach den in Anm. 141–142 zitierten Literaturangaben.
- Abb. 43:** Nach Hermary / Jaquemin, Taf. 386,4.
- Abb. 46:** 1–3 Augst / BL (Museum Augusta Raurica, Inv. 1997.060.D05754.126, 1998.060.D08766.42 und 1998.060.D09318.1); 4 Chur-Dosch / GR (Hochuli-Gysel et al. 1986, Taf. 54,1); 5 Laufen-Müschhag (Martin-Kilcher 1980, Taf. 52,6); 6–8 Nîmes / F-Les Halles (Feugère / Manniez 1993, Abb. 261,313–315); 9–14 Moigrad-Porolissum / RO (Gudea 1989, Taf. 106,3.9.13.16.19.22). – Auswahl und Montage Alex R. Furger.
- Abb. 47:** Analysen: Markus Helfert (mit Röntgenfluoreszenzspektrometer XL3t 900SHe GOLDD [Geometrical Optimized Large Area Drift Detector] der Firma Thermo Fischer Scientific Niton).
- Abb. 50:** Nach Blümner 1887A, Abb. 54.
- Abb. 51:** Nach Voos 1937, Abb. 3 («Schwertfeger [nach einer englischen Zeichnung, vermutlich aus der Mitte des 12. Jahrhunderts]»).
- Abb. 52:** Nach Kluge 1927, Abb. 33 (Details zu Quellen und Fundorten in Anm. 171 sowie in Kluges Bildlegende).
- Abb. 53:** Nach Schneider / Schneider 1928, 60f. Abb. 47.
- Abb. 54:** Nach Schneider / Schneider 1928, 60f. Abb. 46; Foto Alex R. Furger.
- Abb. 55:** 1 nach Zimmer 1990, Taf. 28,a; 2 nach Fell 1990, Abb. A22,205; 3 aus dem Handel für Goldschmiedebedarf (Foto Alex R. Furger).
- Abb. 56:** Nach Blümner 1887A, Abb. 50.
- Abb. 57:** Oben (W...) nach Dolenz 1998, Taf. 75; He... nach Werner 1981, Abb. 13; G... nach Petö 1991, Abb. 2,8; 5,2; M... nach Jacobi 1974, 274 Kat.-Nr. 106 Taf. 7 und 335 Kat.-Nr. 1577–1579 Taf. 80; C... nach Ulbert 1984, Taf. 35,348.349; S... nach Nothdurfter 1979, Taf. 10,176; H... nach Westphalen 2002, Taf. 23,22.23.25.
- Abb. 58:** Nach Weigel 1698, Kupferstich nach Seite 323 (Originalbreite 85 mm).
- Abb. 59:** Das Bild wird heute im «Vedutenzimmer» der Gemäldegalerie des Stifts Seitenstetten / A aufbewahrt. Foto Alex R. Furger (2019), mit freundlicher Genehmigung des Stifts Seitenstetten, Pater Martin Mayrhofer.
- Abb. 60:** Nach Alex R. Furger 1984, Abb. 19.
- Abb. 61:** Foto Alex R. Furger (1983); Ziehshaber nach Prechtel 1830–1855, Taf. 75,5.
- Abb. 62:** Nach Kleinschmidt 1937, Abb. 33.
- Abb. 63:** Nach den in Anm. 196–199 zitierten Literaturangaben.
- Abb. 64:** Nach Roussel 2003, 412 Abb. 578, unten links.
- Abb. 65:** Nach Labaune / Dondin-Payre 200, Abb. 231.
- Abb. 68:** Nach Kleinschmidt 1937, Abb. 34; Exemplar rechts nach Stier 1911, Abb. 138.
- Abb. 69:** Nach Jahn 1861, Taf. 9,8 (Ausschnitt).
- Abb. 70:** Nach den in Anm. 229–235 zitierten Literaturangaben.
- Abb. 72:** Nach Müller / Prilloff 2005, Abb. 1 (Auswahl).

- Abb. 73:* Nürnberger Hausbücher, Blatt Amb. 317b.2° Folio 27 verso (Mendel II), nach <https://hausbuecher.nuernberg.de/75-Amb-2-317b-27-v> (06.05.2019).
- Abb. 74:* Nach Prospekt SIA Schleifmittel. Basiswissen zu Rohstoffen, Aufbau und Herstellung (Frauenfeld 2019) Seite 8.
- Abb. 75:* Nach Blümner 1887A, Abb. 24.
- Abb. 76:* Nach Wahlburg 1913, 47 Abb. 6 und 7.
- Abb. 77:* Nürnberger Hausbücher, Blatt Amb. 317.2° Folio 7 verso (Mendel I), nach <http://www.nuernberger-hausbuecher.de/75-Amb-2-317-7-v/data> (24.08.2017); Schroeder 1930, Abb. 6.
- Abb. 78:* Fotos Dieter Denger, Basel.
- Abb. 81:* Nach Dupré 2018, Abb. 4.
- Abb. 84:* Foto Alex R. Furger (Papiertüte von «C. B. & Co B.», Privatsammlung).
- Abb. 96:* Foto oben links nach <http://www.violminerals.com/>; oben rechts nach <http://www.keyabrasives.co.uk/product/aluminium-oxide/> (25.10.2017); übrige Aufnahmen Alex R. Furger.
- Abb. 101:* Foto Alex R. Furger (Dezember 2012).
- Abb. 102:* Archiv Ausgrabungen Augst / Kaiseraugst, Insula 31, Grabung 1963.054, Detail 122. Zeichnung Erich Fehlmann.
- Abb. 104:* Nach Wahlburg 1913, 71 Abb. 9 (= Stier 1911, Abb. 2).
- Abb. 105:* Nach https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tools_of_emery_workers,_Geological_Museum,_Apeiranthos,_Naxos,_176930.jpg (07.07.2018), mit freundlicher Bewilligung von Zdenek Kratochvil.
- Abb. 106:* Nach Escard 1910, Abb. 54.
- Abb. 107:* Nach Lawton 2006, 20 f. Abb. 20.
- Abb. 108:* Nach Bounni / Lagarce 1998, Abb. 90.
- Abb. 109:* Nach Bounni / Lagarce 1998, Abb. 114.
- Abb. 111:* Foto oben nach [https://de.wikipedia.org/wiki/Talk_\(Mineral\)#/media/File:Talc_mutnikSVK01.JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Talk_(Mineral)#/media/File:Talc_mutnikSVK01.JPG) (19.10.2017); übrige Aufnahmen Alex R. Furger.
- Abb. 112:* Fotos oben nach <http://beauty-my.com/4-fuller-earths-multani-mitti-face-packs-and-the-benefits/> (19.10.2017); übrige Aufnahmen Alex R. Furger.
- Abb. 115:* Foto Alex R. Furger (zum Experiment s. Furger 2018, 214 ff. Abb. 135 und 136).

Metalle schleifen und polieren in der Antike – Alte Quellen und neue Experimente.

Seit der Mensch seine Werkzeuge und Jagdwaffen herstellen kann, hat er sie auch geschliffen. Nach den ersten Werkstoffen Knochen, Geweih und Holz stellten später die Metalle besondere Anforderungen. Rohgüsse von Schmuck und Geräten sowie geschmiedete Werkzeuge und Waffen mussten überschleifen, Schneiden und Klingen geschärft und Oberflächen aus ästhetischen Gründen auch poliert werden.

Welche Schleif- und Poliermittel die Handwerker der Antike hierfür verwendeten, ist kaum bekannt; die schriftlichen Quellen sind rar, und archäologische Befunde schwer zu erkennen und zu dokumentieren. Dieses Buch stellt zusammen, welche Abrasivmaterialien dem frühen Handwerk zur Verfügung standen, wo die Rohstoffe zu finden und wie die Materialien aufzubereiten sind. Die antiken Autoren, die diese Materialien erwähnten, werden zitiert, und mit Experimenteller Archäologie hat der Autor die Tauglichkeit und Effizienz aller Schleifgeräte, Schleifmittel und Polierstoffe getestet.