Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Modulares Weiterbildungsangebot Restaurierung (MRW)

Modul 12:

Spezielle Werkstoff- und Materialkunde (Metalle)

Bernhard Mai

Inhalt

Einführung ---------- I
1 Teil I: Fertigungstechniken ---------- 1
1.1 Prolog ---------- 1
1.2 Fertigungstechnik des Urformens ---------- 3
1.3 Galvanoplastiken ---------- 5
1.4 Umformen ---------- 7
1.5 Weitere Umformtechniken ---------- 18
1.6 Arbeitstechniken des Verbindens ---------- 22
1.7 Oberflächenbearbeitung/Dekortechniken ---------- 27
1.8 Vollendende Techniken der Metallverarbeitung ---------- 32
2 Teil II: Korrosion und Korrosionsschutzmöglichkeiten ---------- 38
2.1 Prolog ---------- 38
2.2 R O S T ---------- 40
2.3 Korrosionsfaktoren ---------- 41
2.4 Korrosionsschutzmethoden ---------- 47
2.5 Technische Hilfsmittel ---------- 53
3 Teil III: Materialbezogene restauratorische Lösungsansätze ---------- 57
3.1 Prolog ---------- 57
3.2 Kupfer und Kupferlegierungen: ---------- 57
3.3 Bronze ---------- 65
3.4 Zink ---------- 72
3.5 Zinn ---------- 75
3.6 Eisen- und Stahlobjekte ---------- 77
3.7 Edelmetalle ---------- 80
4 Übungsfragen zur Verständnisüberprüfung ---------- 82
5 Verzeichnisse ---------- 84
5.1 Abbildungen ---------- 84
5.2 Tabellen ---------- 86

Einführung

Die Darstellung der Metalle wissenschaftlich erforscht und publiziert erfolgte im Jahre 1857 durch Dr. F.X.M. Zippe in seinem Buch „Geschichte der Metalle“.1 In seiner Einleitung schrieb Zippe u.a. Folgendes: „Die Metalle, obwohl leblose Wesen, für sich nicht fähig einer selbstständigen Thätigkeit, dem ungeachtet durch ihre Eigenschaften die Erreger der Thätigkeit des Verstandes; ihre speziellen Eigenschaften vertreten die Stelle eines sie belebenden Wesens; sie sind es, aus der Kenntnis und Benützung folgenreiche Unternehmungen hervorgehen, denen sie oft als Motive zu Grunde liegen, oft als Werkzeuge zur Ausführung derselben dienen. Wenn man daher die Begebenheiten, durch die das Menschengeschlecht von der Zeit an, als es sich zu Völkern gruppierte, und Staaten bildete, nach ihrer Aufeinanderfolge, nach ihrer Entwicklung aus Verhältnissen, welche von einer höheren unsichtbaren Macht geschaffen und geordnet wurde, mit den Namen Weltgeschichte bezeichnet, so sind die Metalle, obwohl stumme und willenlose Wesen, doch sehr wichtige und bedeutungsvolle Theilnehmer dieser Geschichte [2]“.

So haben wir Restauratoren das unverschuldete Glück, einen geringen Teil dieser „Teilnehmer“ zu erforschen und zu bewahren. Die Bedingungen dafür sind zumeist recht ungünstig, wie die erste Abbildung zeigt. Wir stehen bei sehr vielen Objekten an letzter Stelle der Eingriffsmöglichkeiten der Kreislaufkette der Metalle. Zum Beispiel haben Stahl- und Eisenprodukte derzeit in Deutschland eine durchschnittliche Lebenserwartung von 40 Jahren. Dann verschwinden sie wieder im Hochofen, und es entstehen neue Objekte. Damit nicht genug. Unsere Eingriffsmöglichkeiten wiederum sind sehr begrenzt, denn wir sind ja bemüht das Objekt in seiner Gesamtheit zu bewahren oder plakativ ausgedrückt: Die säkularisierte Form der Dreifaltigkeit bestehend aus Herstellungs-, Gebrauchs- und Überlieferungsspuren zu beachten[3].

---

[1] Dr.F.X.M. Zippe, Geschichte der Metalle, Nachdruck der Originalausgabe von 1857, Sändig Reprint Verlag, Hans R. Wohlwend, Vaduz/Liechtenstein, 1995.

[2] Ebda, S.3.

[3] Mündliche Mitteilung von K. Götz bei der Darlegung der Restaurierungsziele in der Tuchfabrik Müller in Euskirchen im Sommer 1997.

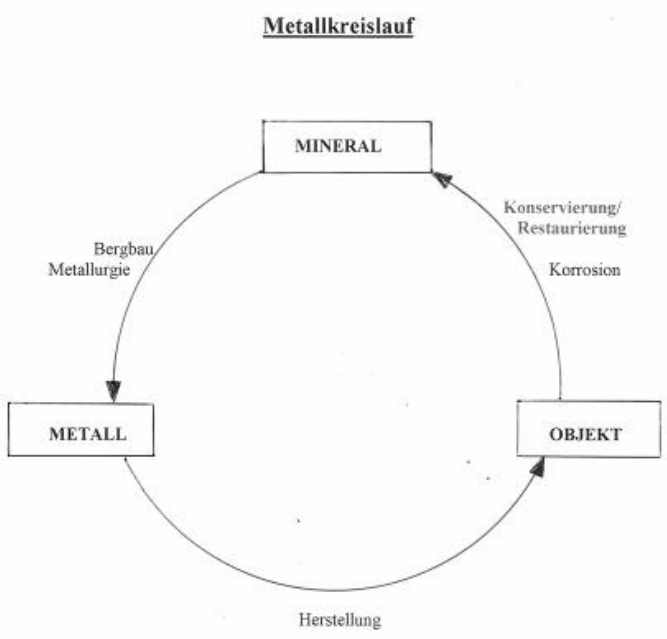

Abbildung 1: Kreislauf der Metalle.

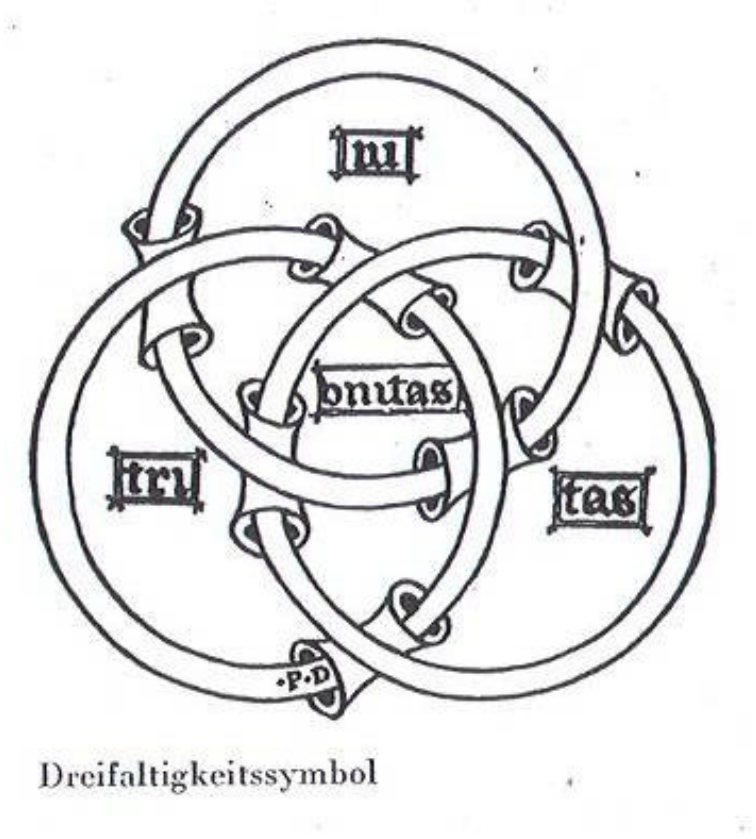

Abbildung 2: Dreifaltigkeitssymbol aus: Christliche Ikonographie in Stichworten, 3. Auflage 1988, Verlag Koehler & Amelang, Leipzig, S. 102.

Der vorliegende Lehrbrief soll nicht den untauglichen Versuch darstellen, bereits gute bestehende Literatur zu verbessern oder gar neu zu erfinden. Er versteht sich als Vermittler aus dem Fokus der Praxis im Kontext zur bestehenden und mittlerweile

zahlreichen guten Grundlagenliteratur. Der Schwerpunkt des Lehrbriefes liegt somit nicht in der Darstellung des Verfalls, sondern in der Darlegung von Möglichkeiten des Erhalts von Metallobjekten. Dabei versucht der Lehrbrief beispielhaft die Spanne von ‚gar nichts tun' bis zur ‚ultima ratio' darzustellen. Die Beispiele werden Sie in Ihrem beruflichen Alltag schon berührt haben, oder sie dienen dazu, Sie neugierig auf das Problemfeld der Metallrestaurierung und -konservierung zu machen.

Der Lehrbrief baut auf ein gewisses Maß an Literaturstudium auf. Dabei gibt es den Pflichtteil und den Kürteil. Der Pflichtteil steht am Anfang eines jeden Kapitels und ist Voraussetzung für das Verständnis der nachfolgenden Erläuterungen.

z.B. Pflichtteil:

Bsp.: Allgemeines und Grundsätzliches zu Metall:

Volker Koesling, Vom Bakelit zum Feuerstein, Band5/6 Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999, S. 131-143 (bzw. MWR Modul 4).

Am Ende des Kapitels steht der Kürteil. Hier sind u.a. die aktuellen praxisbezogenen Fallbeispiele nachlesbar bzw. weitere Grundlagenliteratur zum angeschnittenen Problemfeld. In jedem Fall können diese Literaturangaben dienlich in Ihrem Berufsleben sein.

z.B. Kürteil:

Farbige Eisengitter der Barockzeit, Beiträge zu Geschichte und Funktion, Korrosion und Konservierung, Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege 2002.

Der Studienbrief ist in drei wesentliche Teile gegliedert. Der erste Teil geht auf Metall im Allgemeinen ein und erläutert die Fertigungstechniken Urformen und Umformen. Der zweite Teil befasst sich mit der Korrosion von Metallen und deren Schutzmöglichkeiten. Im letzten Teil werden materialbezogen restauratorische und konservatorische Problemfelder verschiedener Metalle dargelegt und methodische Lösungsansätze vorgestellt.

Die Kontrollfragen am Ende des Lehrbriefes sind einfacher und komplexer Natur. Sie beziehen sich auf den Inhalt des Lehrbriefes und der angegebenen Literatur und sind stark praxisbezogen.

Der Autor

Bernhard Mai

* 1964	in Erfurt
1980-1982	Ausbildung zum Facharbeiter für Gießereitechnik, Spezialisierung: Handformer
1987-1989	Ausbildung zum Handwerksmeister des edelmetallverarbeitenden Handwerks; Spezialisierung: Zinngießermeister
1989-1993	Restauratoren-FERN-studium an der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin Abschluss: Diplomrestaurator (FH); Spezialisierung: Restaurierung von Kulturgut aus Metall
1982-1994	Von 1982- 1994 Mitarbeiter im Restaurierungsatelier der Thüringer Sanierungs- und Denkmalpflege GmbH Erfurt - vormals VEB Denkmalpflege Erfurt
seit 1994	Freiberuflich als Metallrestaurator tätig
seit 1996	Lehrbeauftragter Dozent an der Fachhochschule Erfurt: Fachbereich Restaurierung und Konservierung (Grund- und Hauptstudium)
	‚Methoden und Materialien in der Restaurierung – Metall
Ehrenamtliche Aktivitäten:	u.a. Vorstandsmitglied im Verband der Restauratoren; Fachgruppensprecher der Fachgruppe „Technisches Kulturgut“
	Vorsitzender des Vereins für Industriearchäologie Thüringen e.V.
	Vorstandsmitglied im Förderverein des FB Restaurierung & Konservierung der Fachhochschule Erfurt

Für Fragen zum Lehrbrief stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung:

Via Telefon: +49 (0)361-5629266

Via E-Mail: Bernhard.Mai@t-online.de

1 Teil I: Fertigungstechniken

1.1 Prolog

In meiner beruflichen Laufbahn hatte ich das unverschuldete Glück neben Metall auch Holz und Glas bearbeiten zu dürfen. Diese Materialbearbeitungskenntnisse haben aus mir weder ein Tischler noch ein Glaser gemacht. Sie sind jedoch sehr hilfreich, zumal bei Objekten aus Metall hin und wieder diese Materialen in Erscheinung treten. Ich hoffe, Ihnen in dem nachfolgenden Teil 1 des Moduls - wenn auch nur abstrakt und skizzenhaft - die gängigsten Herstellungs- und Fertigungstechniken und zum Teil auch ihre zeitliche Einordnung näher bringen zu können.

Lesen Sie bitte zunächst in der angegeben Pflichtlektüre!

Allgemeines zu Metall
Volker Koesling, Vom Bakelit zum Feuerstein, Band5/6 Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999, S. 131-143. (bzw. MWR Modul 4)

Nachdem Sie sich einen allgemeinen Überblick über Metalle und ihre spezifischen Eigenschaften verschafft haben, werden in diesem Kapitel die gängigsten materialspezifischen Herstellungs- und Bearbeitungstechniken skizziert. Nicht berücksichtigt werden verschiedene Dekortechniken sowie Bearbeitungstechniken, die bei anderen Materialien – z.B. Holz, Stein und Kunststoffen – gleichermaßen zur Anwendung kommen. Darunter zählen u.a. Trennverfahren wie z.B. das Bohren, Fräsen, Feilen und Hobeln etc. Die nachfolgenden Zeittafeln mögen Ihnen zunächst einen kleinen, jedoch keineswegs vollständigen Überblick über Metallgewinnung und –bearbeitung geben.

1.1.1 Zeittafel der Metalldarstellung im Altertum

Jungsteinzeit	Kalttreiben von Gold, Kupfer, Meteoreisen
Vorkupferzeit 3800 bis – 3315 v. Chr.	Schmelzen von Kupfer, Silber, Gold in Tiegelpfannen unter Blasrohr-Luftzuführung Darstellung von Silber, Blei, Antimon aus Erzen. Darstellung von Kupfer aus oxidischen und karbonitischen Erzen in Gefäßöfen (Tiegelöfen)
Frühkupferzeit, 3315 bis 2895 v. Chr. (I. und II. ägypt. Dyn.)	Um 3000 v. Chr. Darstellung des Schweißeisens aus Magnetitkörnern
Vollkupferzeit, 2895 bis 2150 v. Chr. (III.- X. ägypt. Dyn.)	Um 2500 v. Chr. erste Darstellung von Zinn und Bronze
Bronzezeit 2150 bis 1250 v. Chr.	Um 1580 v. Chr. Erfindung des Blasebalges. Darstellung des Kupfers aus sulfidischen Erzen. Verröstung der Erzsulfide Um 1400 v. Chr. erste Schweißeisenerzeugung aus Eisenerzen natürlicher Vorkommen. Oberflächliche Verstählung des Schweißeisens in den Nairländern (Armenien). Erfindung des Rennherdes

Jungsteinzeit	Kalttreiben von Gold, Kupfer, Meteoreisen
Ältere Eisenzeit 1250 bis 500 v. Chr.	Allgemeine Verbreitung der Kenntnis der Schweißeisenerzeugung aus Eisenerzen und der oberflächlichen Verstählung des Schweißeisens
Jüngere Eisenzeit, 500 bis 50 v. Chr.	Darstellung von Messing und Quecksilber

1.1.2 Zeittafel zur Metallbearbeitung / herausragende Produktbeispiele

Zeitraum	Produktbeispiel
4500 v. Chr.	Herstellung von massiven Objekten durch Sintern von Flussgold
4000 v. Chr.	Kupfer und Kupfergefäße (Kaukasus)
3000 v. Chr.	Schmuck und Gebrauchsgegenstände in Ägypten
2500 v. Chr.	Bronzeherstellung u. a. mit Wachsausschmelzverfahren (verlorene Formen) im kleinasiatischen Bereich sowie West- und Mitteleuropa
1800 v. Chr.	Metall wird Handelsware
1500 v. Chr.	Erste Tauschierungen im Mittelmeerraum
1400 v. Chr.	Guss erster Großbronzen im mittel- und westeuropäischen Bereich Bronzeschwerter, Nadeln im Kokillenguss (Kokillen aus Stein und Ton) Objekte wurden nachgeschmiedet.
1000 v. Chr.	Etruskische Bronzen, hoher Kenntnisstand, d.h. Eigenschaften bis hin zur Farbe werden bestimmt; erstmals Verbundguss Eisen-Bronze (Möhringer Schwerter)
900 v. Chr.	Ziselierungen und Punzierungen als Zierelemente auf Waffen, Tonnen, Armreifen und keltischen Gürtelblechen Anfänge des Drehens, jedoch <u>ohne</u> Dreh- und Drückbänke
800 v. Chr.	Erste härtbare Werkzeuge und Waffen aus Eisen
700 v. Chr.	Rückgang des Gießens zugunsten des Schmiedens
400 v. Chr.	Hohlguss von Großbronzen
300 v. Chr.	Münzprägung in Rom beginnt, Masse wurde in Gesenk geschlagen (Zahlungsmittel)
um 100	Münzherstellung im mittel- und westeuropäischen Raum
um 300	Verwendung von Schmucksteinen, meist Almandine
um 400	Drehbänke zur spanabhebenden Oberflächenbearbeitung
um 600	fertige Metallerzeugnisse werden über große Entfernungen gehandelt
um 700	Ausbreitung des Christentums im mitteleuropäischen Raum; sakrale Gegenstände , Kirchenausstattungen
um 800	Kaiser Karl der Große. Dom in Aachen, Gold und Silber auch Bronze feuervergoldet, Edelmetalle als Schmuck; Großglockenguss
um 900	Entstehung von Werkstätten in Klöstern, Kunsthandwerk wird im kirchlichen Bereich angesiedelt, Beginn systematischer Forschung und Austausch
um 1000	Herausragende Beherrschung der Gusstechnik, Werkstätten erlauben Arbeitsteilung und Nacharbeit ins kleinste Detail in überschaubaren Zeiträumen, erstes Patinieren (Domtüren in Mainz, Augsburg, Hildesheim)
um 1200	große bronzenen Radleuchter, patiniert und feuervergoldet, ebenso Antependium und Bronzetüren (Aachen, Hildesheim, Freiberg/Sa.); geschliffene Steine und Email
um 1300	Kunsthandwerk gelangt zur stilistischen und handwerklichen Blütezeit
um 1500	Wissenschaft trennt sich von der Kunst, Schmuck wird in bildlicher Kunst dargestellt, Handelshäuser vertreiben Produkte, Handwerker wird reiner Hersteller, Walzen wird möglich (um 1532 Parallelität der Walzen, Voraussetzung der Blechherstel-

Zeitraum	Produktbeispiel
	lung) Eisenguss wird möglich
um 1600	Barockzeit, Schmuck wird zur Juwele, Bronze tritt in den Hintergrund; Großplastiken, Glockenguss; erste Stanzversuche in Salzburg
18. Jh.	Bronze wird handwerklich wiederentdeckt und als Bauteil verwendet. Aufbau großer Gießereien. Gebrauchsgegenstände, Leuchter, Zierelemente
19. Jh.	Gold wird sehr dünn verarbeitet, Bronze gewinnt erneut im Historismus an Bedeutung. Galvanoplastik erlaubt genaue Reproduktionen von antiken Originalen, feinster Eisenguss als tragbarer Schmuck; erste Fabriken (WMF/Geislingen)
um 1900	Gründung großer Fabriken der metallverarbeitenden Industrien, Erfindung des Autos (Bronze als Lagermetall), Jugendstil, Patinierung und Historisierung von Neuentwürfen, Kunst wird Bürgersache, Blech als Handelsware, Halbzeuge, Kunststoffe, Verarbeitung aller bisher bekannten Materialien ineinander
20. Jh.	NC-gesteuerte Maschinen erzeugen Massenware, noch genauerer Güsse werden möglich, Schmuck wird Massenware und Wegwerfartikel

1.2 Fertigungstechnik des Urformens

Bronzestandbilder, Glocken, Motorblöcke, Alufelgen, Messingtürgriffe sind bekanntermaßen aus Metall, haben aber eine andere wesentliche gemeinsame Eigenschaft: Sie sind auf dem Weg der Fertigungstechnik des *Urformens* hergestellt worden.

Definition/Zweck: Urformen ist das Fertigen eines festen Körpers aus formlosen Stoffen durch Schaffen des Zusammenhalts. Hierbei treten die Stoffeigenschaften des Werkstücks bestimmbar in Erscheinung. Als formloser Stoff werden Gase, Flüssigkeiten, Pulver, Fasern, Späne, Granulat und ähnliche Stoffe bezeichnet. Bestimmungsgemäß umfasst deshalb das Urformen die Schaffung von Körpern:

aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (Überführen verdampfenden Metalls in eine geometrische bestimmte feste Form),

aus dem flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Zustand (Gussstückerzeugung),

durch elektrolytische Abscheidung (z.B. Galvanoplastiken),

aus dem festen, körnigen oder pulvrigen Zustand (Herstellung von Teilen aus Metallpulver unter hohem Druck, meist mit nachfolgenden Sintern, z.B. Zahnräder).

1.2.1 Urformwerkzeuge

Es gibt grundsätzlich zwei Formen von Urformwerkzeugen:

Urformwerkzeuge zur Abbildung des Formhohlraumes (Dauermodelle für den Sandguss z.B. aus Holz oder Kunststoff und verlorene Modelle, z.B. Wachs für das Wachsauschmelzverfahren);

Urformwerkzeuge, die den Formhohlraum selbst bilden (metallische und nichtmetallische Dauerformen wie z.B. Kokillen).

Das Urformverfahren unterscheidet sich bis heute grundsätzlich in „Dauerformverfahren“ und „verlorenes Formenverfahren“. Zuerst gab es die so genannten Dauerformen. Sie bestanden aus Steinen und dienten zur Erzeugung von Werkzeugen (z. B. Äxte, Sichel). Das Wachsauschmelzverfahren ist das älteste verlorene Formverfahren. Relativ „jung“ ist das Formverfahren des Sandgusses.

Abbildung 3: Steinformen für Äxte; Aufnahme von einen Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

Geschichtliches zur Sandformerei mit Formkästen

Wir schreiben das Jahr 1708. Der Engländer Abraham Darby erfindet für den Eisenguss die Kastenformerei mit nassem Sand. Bisher hatte man allenfalls kleine verzierte Gegenstände in Formen aus fettem Lehm gegossen. Nach dem neuen Verfahren wird das gewünschte Gussteil zuerst als Holzmodell hergestellt und in einer zwei- oder auch mehrteiligen Kastenform mit feuchtem Stampfsand umgeben. Der Kasten wird längs einer Trennfläche geöffnet und das Holzmodell entnommen. Nach erneutem Schließen der Form lässt sich durch einen Gusskanal das flüssige Eisen eingießen. Für jeden Guss wird eine neue Form gefertigt, daher verlorenes Formverfahren. Das Kastenformverfahren ist heute das meist verwendete Formverfahren.

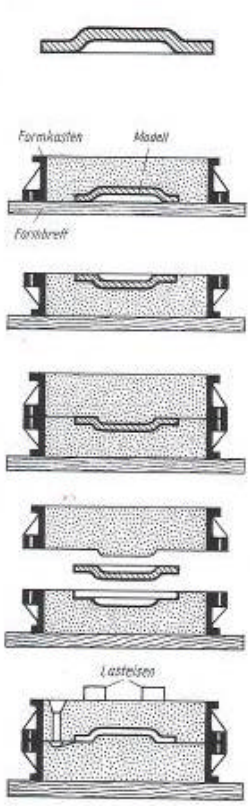

Abbildung 4: Beispiel für die Kastenformerei, aus: Gießerei über Jahrtausende, VEB Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1978, S. 123.

Die Entscheidung, welches Formverfahren mit welchen Urformwerkzeugen man heute durchführt, hängt einzig und allein von der Geometrie, der Größe und der Stückzahl der Gussstücke ab.

Galvanoplastiken: Folgt man der Definition des Urformens, gehören die Galvanoplastiken in die Gruppe der durch Urformen hergestellten Erzeugnisse.

1.2.2 Galvanotechnik

Definition/Zweck: Unter Galvanotechnik versteht man die elektrochemische Abscheidung von metallischen Niederschlägen (Überzügen) auf Gegenständen. Dabei wird durch ein elektrolytisches Bad Strom geschickt (galvanisches Bad). Am Pluspol (Anode) befindet sich das Metall, das aufgebracht werden soll (z.B. Gold, Silber, Kupfer), am Minuspol (Kathode) der zu veredelnde Gegenstand. Der elektrische Strom löst dabei Metallionen von der Verbrauchselektrode ab und lagert sie durch Reduktion auf dem Modell ab. So wird der zu veredelnde Gegenstand allseitig mit Gold, Silber, Kupfer oder einen anderen Metall beschichtet. Je länger sich der Gegenstand im Bad befindet, umso stärker wird die Metallschicht.

Abbildung 4: Beispiel einer Kerngalvanoplastik auf dem Friedhof in Weida, Aufnahme von Bernhard Mai.

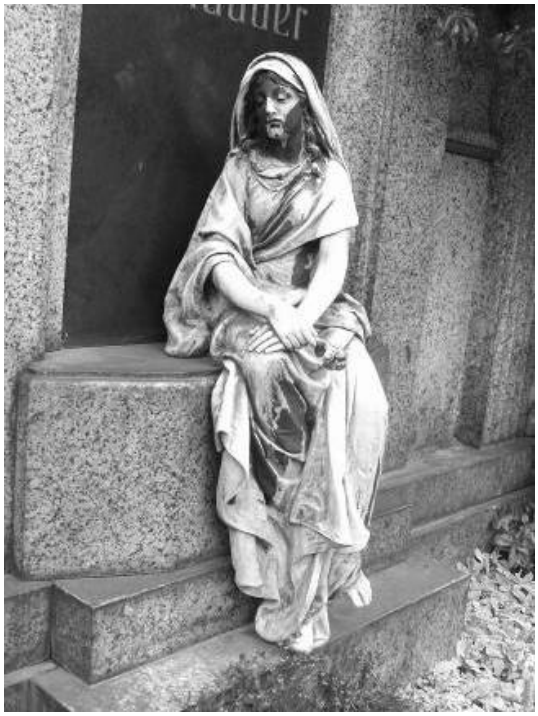

Abbildung 5: Beispiel einer Hohlgalvanoplastik auf dem Friedhof in Weida, Aufnahme von Bernhard Mai.

Wir treffen – fast nur noch auf Friedhöfen – die zwei Formen von Galvanoplastiken an: 1. die Kerngalvanoplastik und 2. die Hohlgalvanoplastik.

1.3 Galvanoplastiken

Definition/Zweck: Grundsätzlich ist eine Kerngalvanoplastik ein Gegenstand, der elektrisch leitfähig gemacht wird, um ihn dann auf galvanischem Wege mit einem Metallüberzug zu versehen. Nach dem Galvanisierungsprozess verbleibt der Kern. Dagegen wird bei der Hohlgalvano die Negativform elektrisch leitfähig gemacht und mit einem galvanischen Überzug versehen. Ein simpler Klopftest ist zumeist einer sicherer

Beleg, ob es sich um eine Hohl- oder Kerngalvano handelt. Ein Kerngalvano klingt dabei dumpf, ein Hohlgalvano hell.

1.3.1 Geschichtliches

Um 1780 veröffentlichte Luigi Galvani (1737-1798) wichtige Grundlagen der Elektrochemie. Moritz von Jacobi entwickelte 1838/39 ein Verfahren, um auf elektrochemischen Weg metallische Abformungen von Münzen zu machen. 1840 machte Murray die entscheidende Enddeckung für Galvanoplastiken. Er fand heraus, dass nichtleitende Materialien wie Holz-, Leim- oder Gipsformen durch Aufbringen einer Graphitschicht leitfähig gemacht werden konnten. Im Jahre 1858 erfolgte die Fertigstellung der drei Hauptfiguren (Hohlgalvanoplastik) des Frankfurter Gutenbergdenkmals durch Georg Ludwig von Kreß. Ab 1890 war die Württembergische Metallwarenfabrik (WMF) marktführend in der Produktion von Galvanoplastiken (Grabfiguren, Denkmäler und Bauplastiken).

Abbildung 6: Engel, Seite 53 aus dem Katalog „Künstlerische Metallarbeiten für den Friedhof", Württembergische Metallwarenfabrik Geislingen an der Steige, 1935.

Kürlektüre zu Herstellungstechniken Urformen:

Karl Stölzel, Gießerei über Jahrtausende, VEB Deutscher Verlag für Grundstoff-industrie, Leipzig 1978.

Marion Pasternak, Fachkunde für Gießereitechnik, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig1984.

Eva Schmidt, Der Eisenkunstguss, VEB Verlag der Kunst, Dresden 1976.

1.4 Umformen

Die Fertigungstechnik des Umformens ist deutlich älter als die des Urformens. Zunächst bearbeitete man die gediegenen Metalle. Gediegene Metalle sind frei von nichtmetallischen Bestandteilen und konnten somit nach ihrem Fund ohne weitere Aufbereitung bearbeitet werden. Zu den gediegenen Metallen des Altertums gehören: Gold, Silber, Kupfer, Quecksilber und Eisen (Meteoreisen, eine Eisen-Nickellegierung, der Name sagt ja schon alles über seine Herkunft!). Diese Metalle wurden im Feuer auf einen teigigen Zustand erwärmt und mit den bis heute noch gebräuchlichen folgenden Fertigungstechniken bearbeitet.

1.4.1 Arbeitstechniken des Umfomens/Schmiedens

Umformen:

Definition/Zweck: Umformen ist eine plastische Deformation, bei der ein Werkstoff ohne Stoffverlust in eine andere Gestalt überführt werden kann. Dabei bleiben Masse und Dichte sowie die Gitterabstände des Werkstoffs gleich. Der Umformprozess vollzieht sich unter Einwirkung äußerer Kräfte.

Das Umformen ist das am häufigsten angewendete Arbeitsverfahren beim Schmieden. Aus der Bezeichnung geht bereits hervor, dass mit den zum Umformen zählenden Arbeitstechniken ein Stab – meistens über eine begrenzte Länge – in eine andere Form gebracht, also umgeformt wird.

Häufige Arbeitstechniken des Umformens:

1.4.2 Strecken

Definition/Zweck: Verlängerung eines Stabes bei gleichzeitiger Verringerung seines Querschnitts. Strecken führt durch die Kraft der Hammerschläge zu einer Querschnittsverringerung des Stabes; gleichzeitig vergrößert sich seine Länge, da der Werkstoff in die Längsrichtung gedrängt wird.

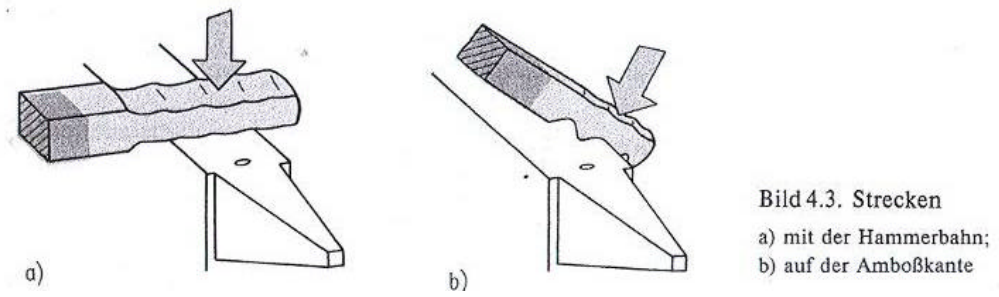

Abbildung 7: Arbeitsbeispiel zum Strecken eines Stabes, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.3 Stauchen

Definition/Zweck: Vergrößerung der Querschnitte eines Stabes bei gleichzeitigem Verkürzen der Stablänge. Stauchen ist der umgekehrte Arbeitsvorgang des Streckens. Es dient zum Anschmieden von Bolzenköpfen, Ziernägelköpfen, zum Vorbereiten der Schmiedeteile zum scharfkantigen Biegen, zum Lochen oder zum Schweißen im Feuer.

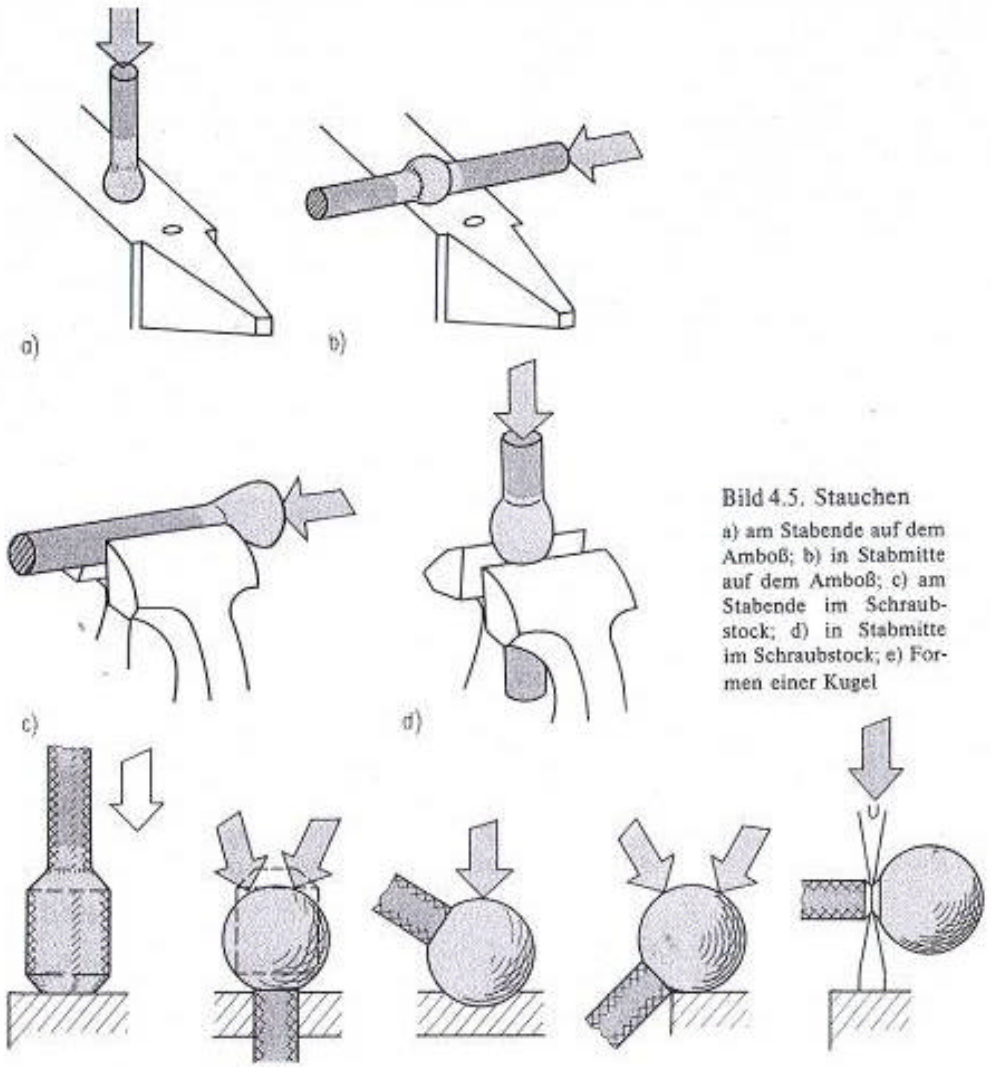

Abbildung 8: Arbeitsbeispiel zum Stauchen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.4 Schlichten

Definition/Zweck: Glätten der durch Schmieden uneben gewordenen Oberfläche, d.h. Beseitigen der Bearbeitungsspuren, Erzeugen maßhaltiger Teile.

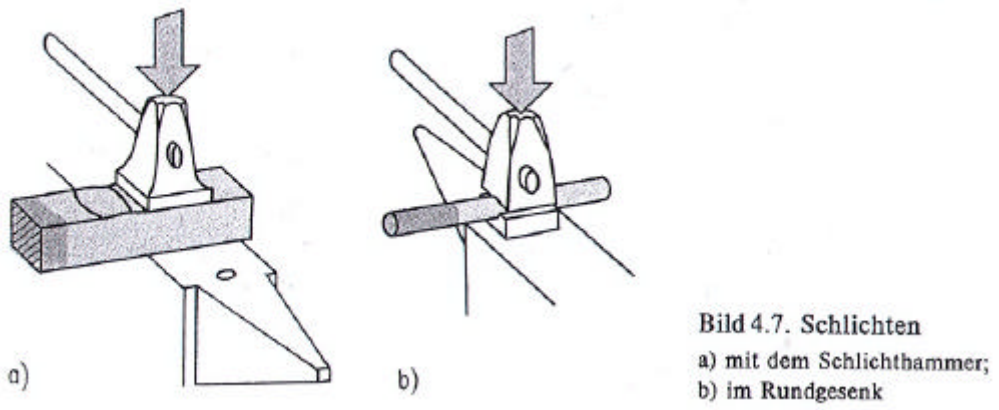

Abbildung 9: Arbeitsbeispiel zum Schlichten aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.5 Breiten

Definition/Zweck: Starkes Breitschmieden eines Stabes an begrenzter Stelle oder über seine ganze Länge bei gleichzeitigem Verringern seiner Dicke. Durch Breiten können Zierflächen, Stabauflageflächen oder Stabverbindungsflächen geschaffen werden.

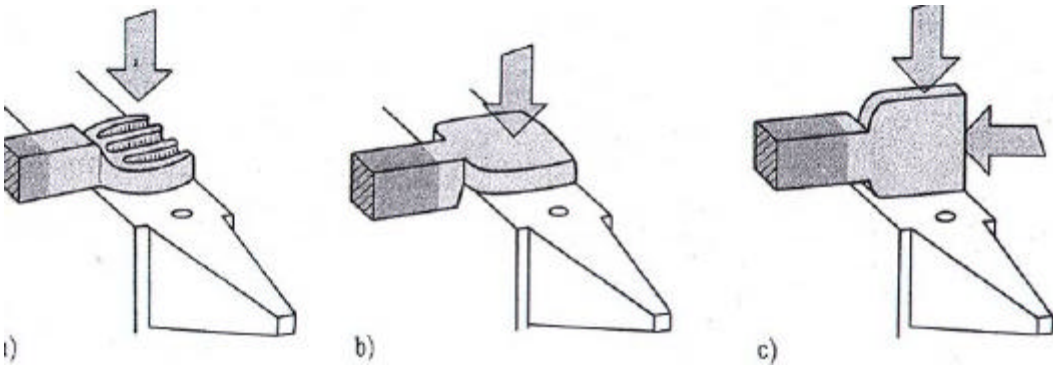

Abbildung 10: Arbeitsbeispiel zum Breiten, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.6 Schärfen

Definition/Zweck: Ausschmieden einer Keilform am Stabende. Das Schärfen dient zum Herstellen von Werkzeugen, z.B. der Keilform am Meißel und Warmschrot, sowie zum Vorbereiten von Stabenden zum Schweißen im Feuer (Feuerschweißen)

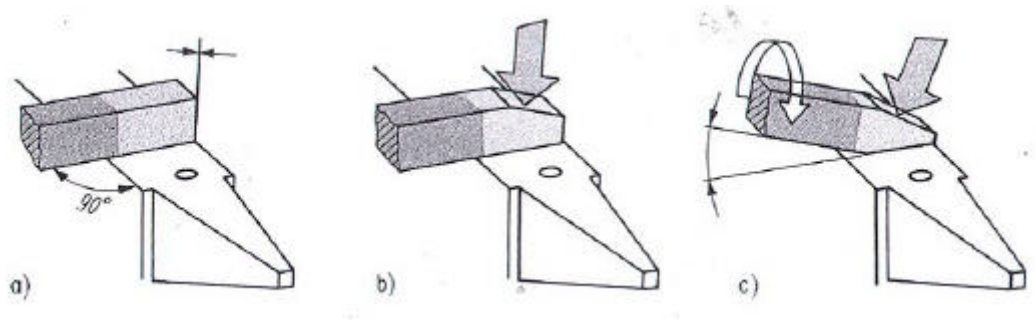

Abbildung 11: Arbeitsbeispiel zum Schärfen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.7 Spitzen

Definition/Zweck: Herstellen von Spitzen an Stäben. Das Spitzen dient zum Gestalten von Stabenden und zum Herstellen von einfachen Werkzeugen.

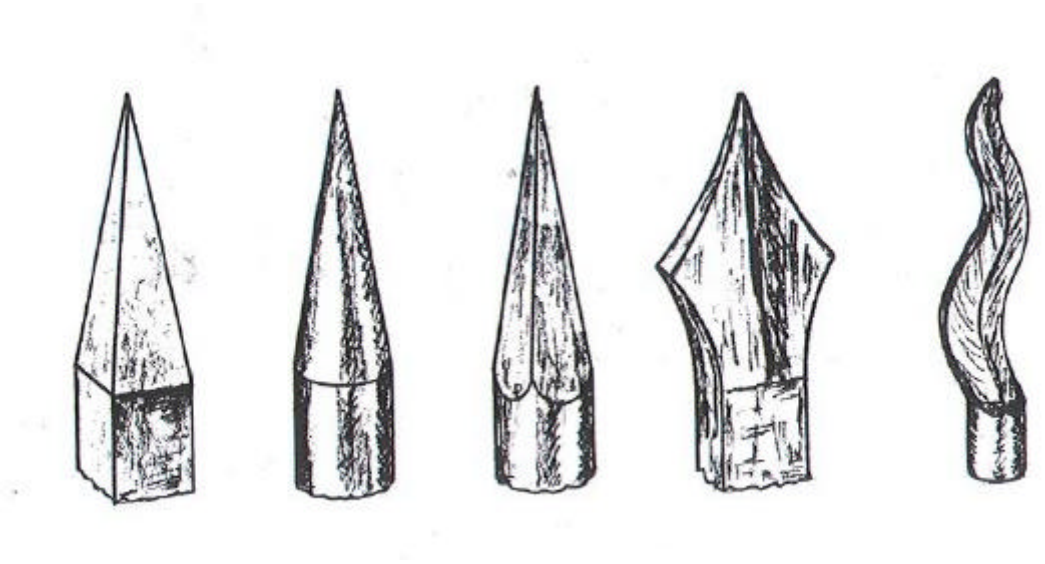

Abbildung 12: Arbeitsbeispiel zum Spitzen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.8 Absetzen

Definition/Zweck: Herstellen scharfkantiger oder abgerundeter Querschnittsveränderungen an Stäben. Durch das Absetzen entstehen je nach Ausführung Auflageflächen, Kreuzungsflächen oder Zapfen mit unterschiedlichen Formen zur Aufnahme anderer Teile oder zum Herstellen von Zapfenverbindung durch Nieten.

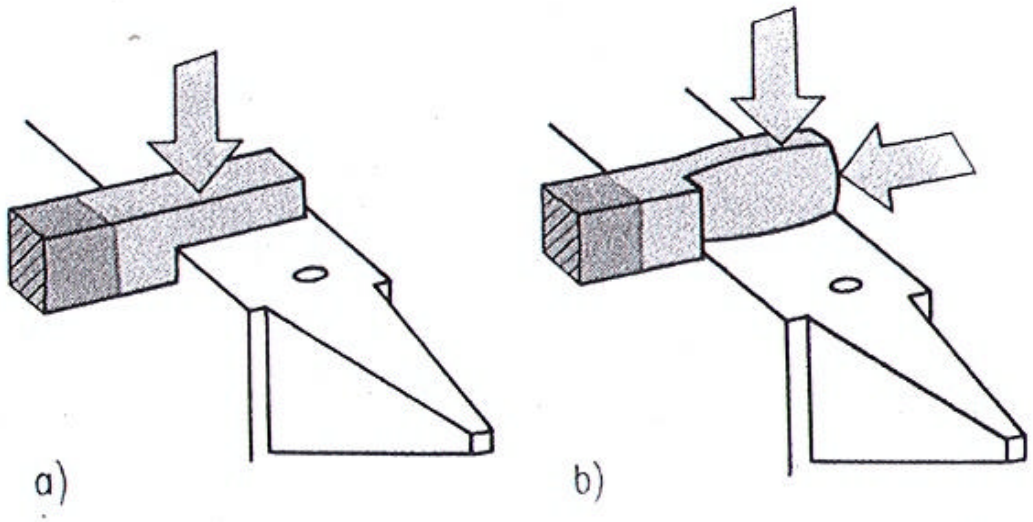

Abbildung 13: Arbeitsbeispiel zum Absetzen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.9 Biegen

Definition/Zweck: Herstellen scharfkantiger oder gerundeter Richtungsänderungen an Stäben.

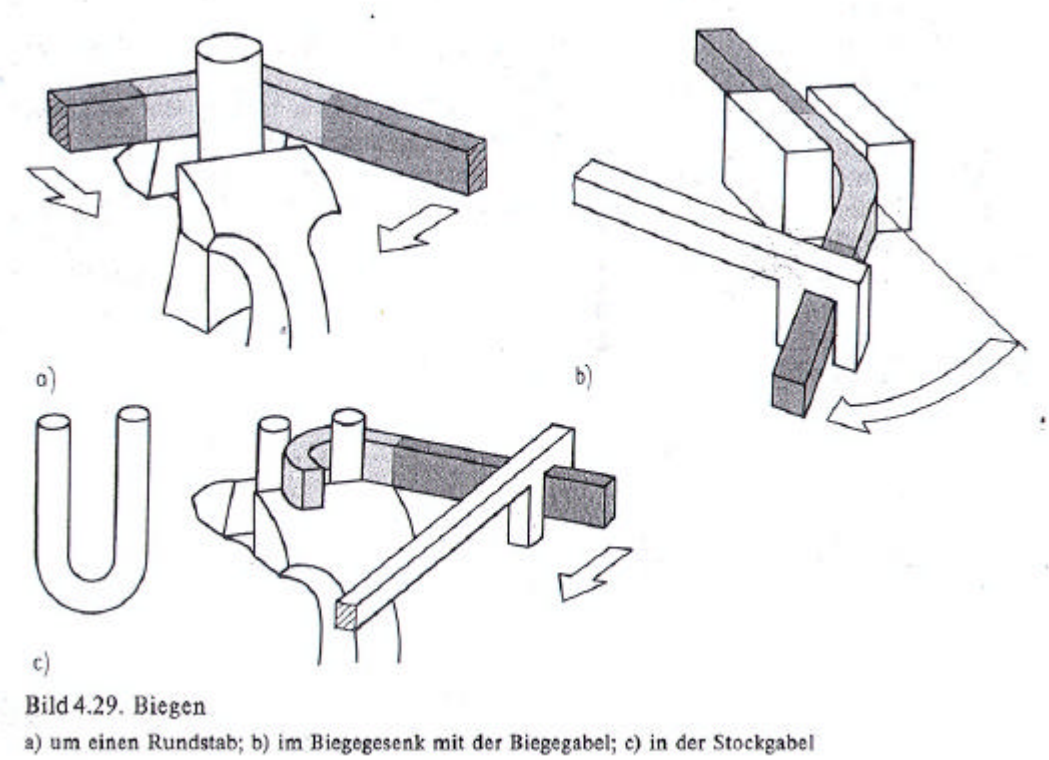

Abbildung 14: Arbeitsbeispiel zum Biegen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.10 Rollen

Definition/Zweck: Herstellen von Einrollungen an Stäben, besonders an Stabenden, in Form von Windungen.

Rollen ist eine Art des Rundbiegens. Mit ihm können Zierelemente geformt weden, z.B. Schnörkel an Kunstschmiedearbeiten.

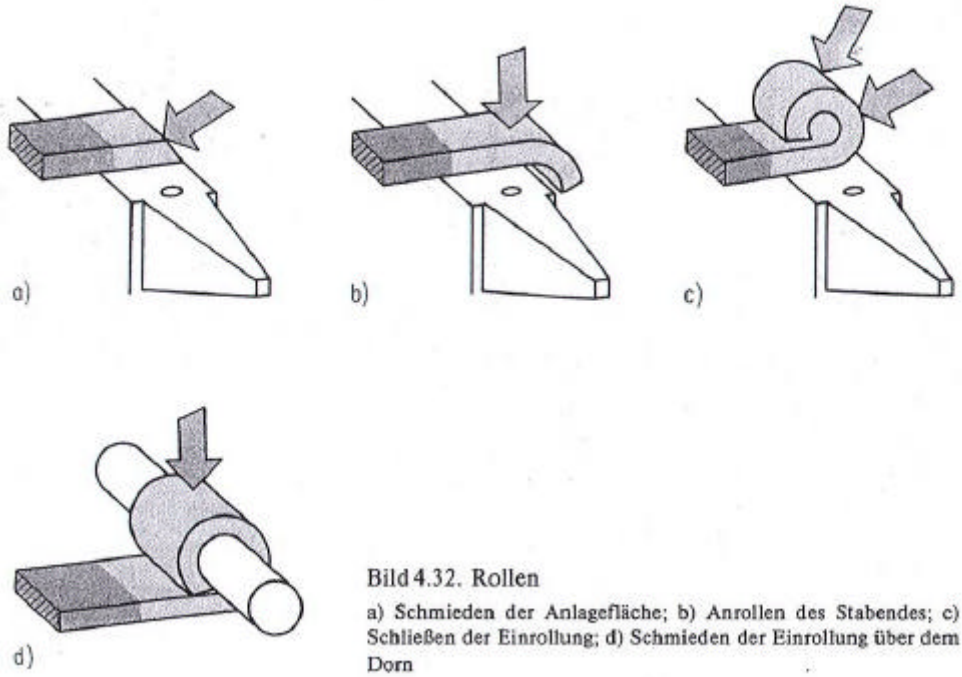

Bild 4.32. Rollen
a) Schmieden der Anlagefläche; b) Anrollen des Stabendes; c) Schließen der Einrollung; d) Schmieden der Einrollung über dem Dorn

Abbildung 15: Arbeitsbeispiel zum Rollen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik Berlin 1987.

1.4.11 Kröpfen

Definition/Zweck: Formen eines Stabes zum Herstellen von Stabkreuzungen, bei denen die Stäbe in einer Ebene liegen und an einer Seite bündig verlaufen sollen. Das Kröpfen entspricht dem mehrfachen Biegen.

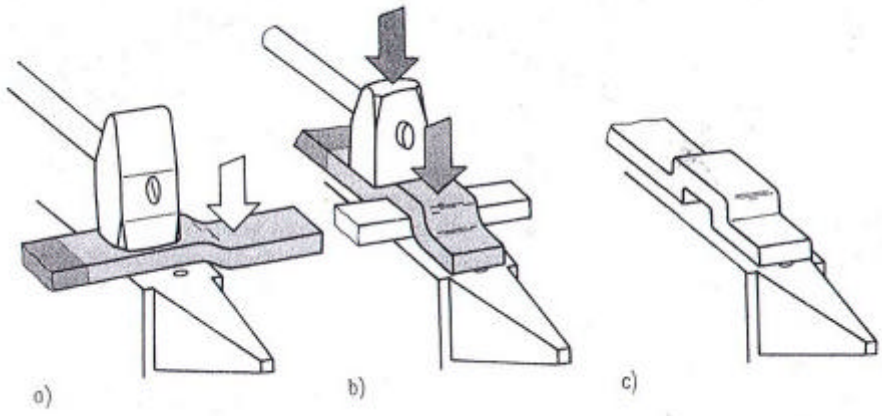

Abbildung 16: Arbeitsbeispiel zum Kröpfen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.12 Verdrehen (Torsieren)

Definition/Zweck: Verdrehen von Teilen eines Flach-, Quadrat- oder Rundstabes um die Längsachse, so dass Windungen entstehen. Das Verdrehen von Rundstäben hat nur dann einen Sinn, wenn sie in Längsrichtung ein z.B. eingeschrotetes Profil erhalten. Verdrehen dient dem Schaffen von Auflageflächen, von Standflächen für das Aufstellen einer Schmiedearbeit, zum Befestigen von Längsstäben an Querstäben sowie zum Beleben und Verzieren der Stäbe.

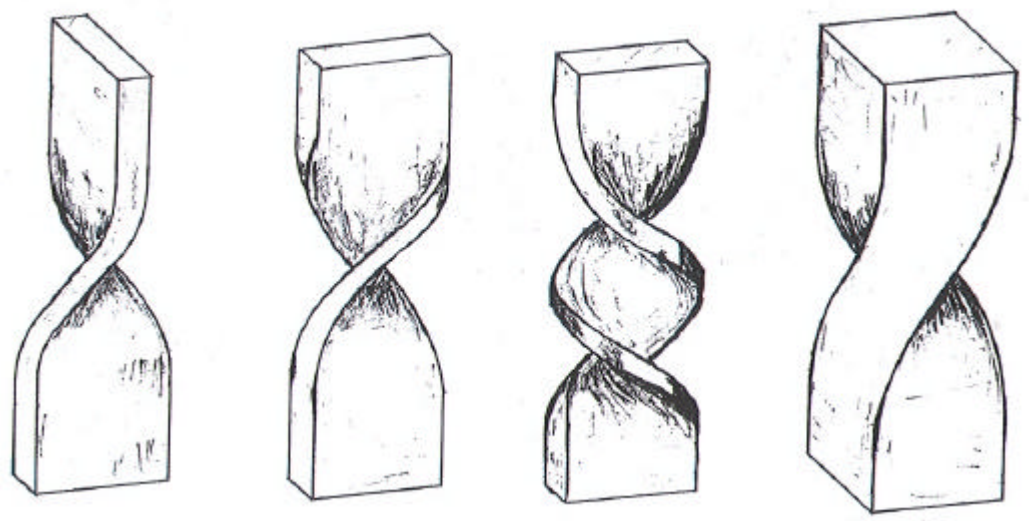

Abbildung 17: Arbeitsbeispiel zum Torsieren, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.13 Kehlen

Definition/Zweck: Vorarbeit für das Absetzten mit abgerundeten Kanten zum Herstellen der Übergangsrundungen. Einarbeiten von Verzierungen zum Beleben von Stäben und zum Gliedern von Flächen.

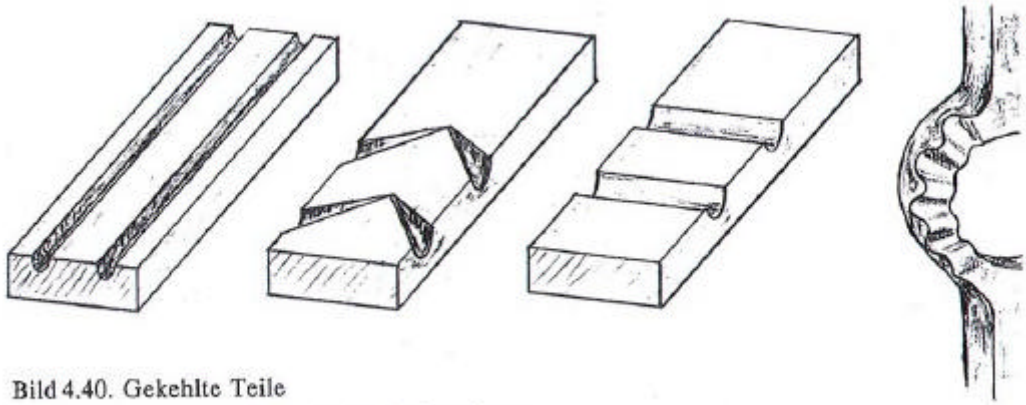

Bild 4.40. Gekehlte Teile
Stäbe längs-, schräg- und quergekehlt; Stabverzierung

Abbildung 18: Arbeitsbeispiel zum Kehlen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.14 Gesenkschmieden

Definition/Zweck: Herstellen relativ maßgenauer Formen an Stäben sowie Schlichten der Staboberflächen über ihre gesamte Länge oder über Teile dieser Länge zwischen Hohlformen, den Gesenken.

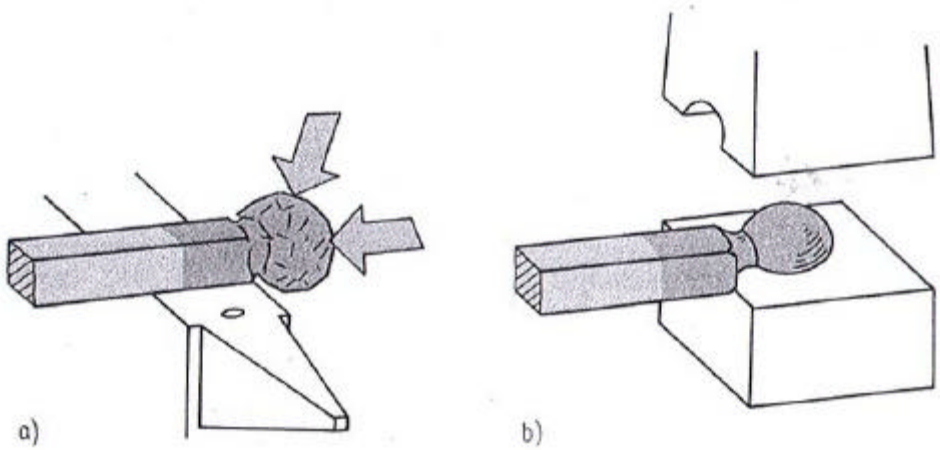

Bild 4.41. Gesenkschmieden
a) Vorschmieden der Form; b) Ausformen und Glätten im Gesenk

Abbildung 19: Arbeitsbeispiel des Gesenkschmiedens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.15 Trennen

Arbeitstechniken des Trennens

Definition/Zweck: Durch die Arbeitstechnik des Trennens werden Teile des Materials vollständig oder teilweise getrennt. Das Trennen in der Schmiede unterscheidet sich von den in der Schlosserei ausgeführten Trennverfahren. Säge und Schere sind in der Schmiede im Allgemeinen nicht üblich. Hier werden meistens nur Schmiedewerkzeuge eingesetzt, mit denen auch Stäbe mit großen Querschnitten in kürzester Zeit getrennt werden können. Die Stäbe haben nach dem Trennen nicht die Maßgenauigkeit, wie sie durch Sägen erreicht wird; sie genügt aber für die meisten Fälle.

1.4.16 Abschroten

Definition/Zweck: Trennen von Stäben in Querrichtung, auch Ablängen genannt. Die Genauigkeit der durch Abschroten erzielten Längen von Stäben ist nicht sehr groß, reicht aber für die weitere Bearbeitung aus.

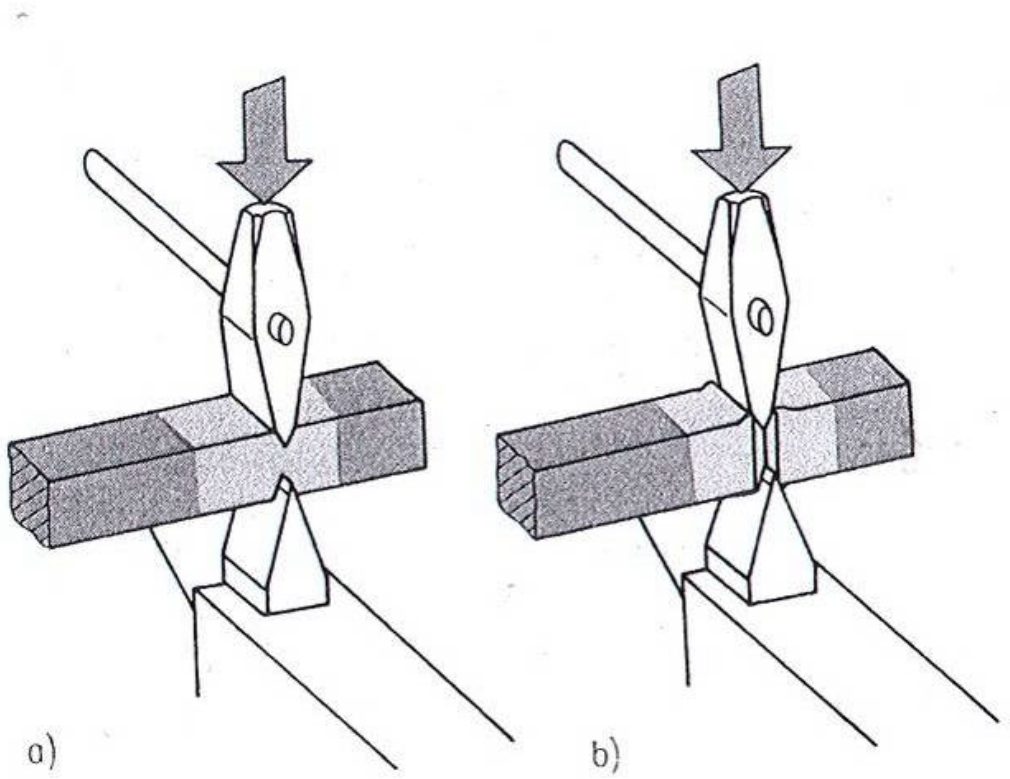

Abbildung 20: Arbeitsbeispiel des Abschrotens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.17 Spalten

Definition/Zweck: Trennen eines Stabes in Längsrichtung über größere Längen. Spalten kann als Vorarbeit zum Herstellen unterschiedlicher Formen und Gestaltungselemente, z.B. für Zirbel, eingesetzt werden. Mit ihm lassen sich auch Teile, z.B. Steinschrauben zum Befestigen im Mauerwerk, anfertigen.

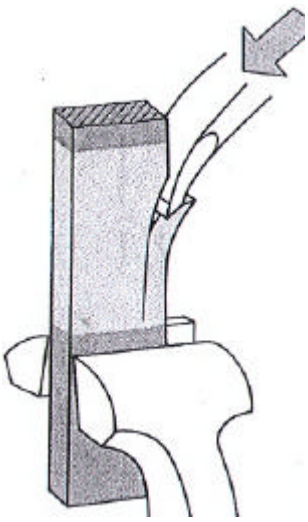

Abbildung 21: Arbeitsbeispiel des Spaltens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.18 Abspalten

Definition/Zweck: Herstellen von Abzweigungen für Verzierungen und Zierelementen zum Beleben von Stäben.

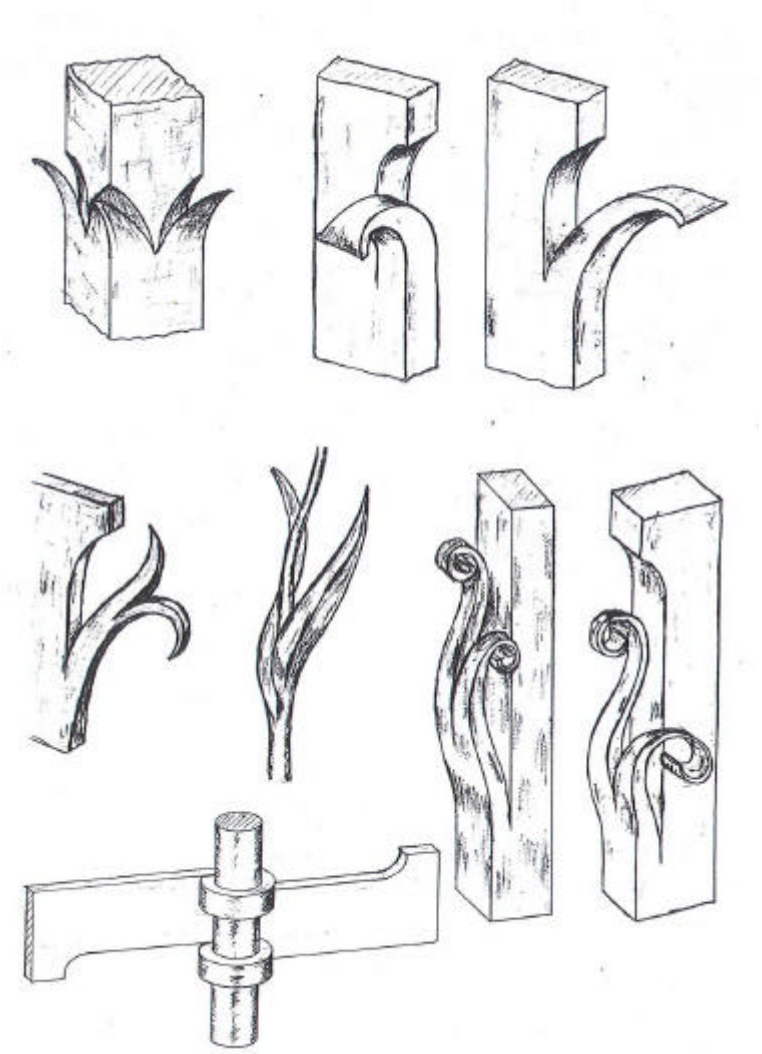

Abbildung 22: Arbeitsbeispiel des Abspaltens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik Berlin, 1987.

1.4.19 Lochen

Definition/Zweck: Herstellen von Löchern und Durchbrüchen unterschiedlicher Größe und Form in Stäben. Das Lochen wird hauptsächlich für Durchsteckarbeiten angewendet, z.B. für Stabkreuzungen, bei denen Stäbe mit gleichen oder unterschiedlichen Durchmessern und Formen durch einen Querstab gesteckt werden. Es dient ferner zum Herstellen von Löchern für Nietverbindungen, besonders für Zapfennietungen. Durch Lochen können auch Durchbrüche mit verschiedenen Formen, z.B. runde, quadratische, hergestellt werden. Lochhammer oder Durchschlag müssen dann entsprechende Formen haben. Lochen hat Abfall und damit eine Schwächung des Stabquerschnittes zur Folge.

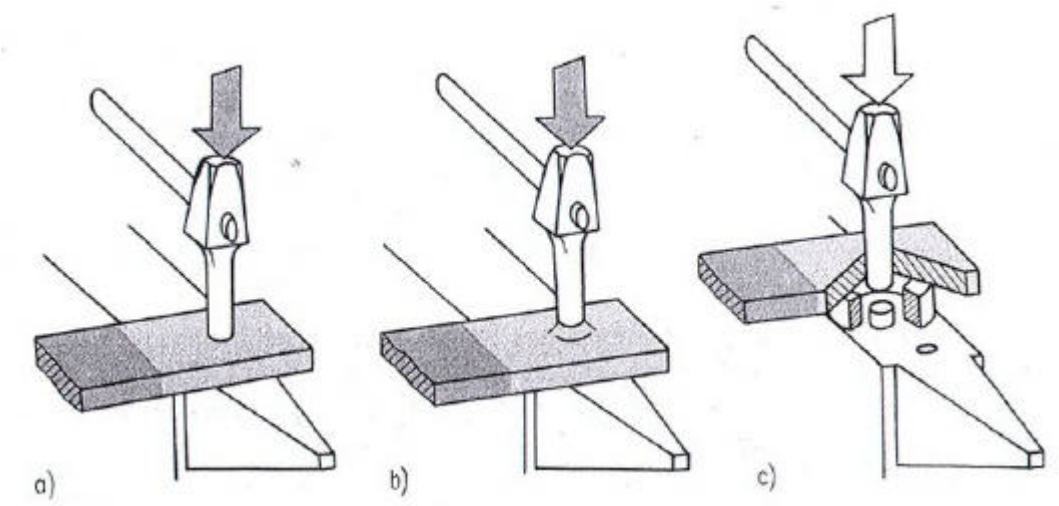

Abbildung 23: Arbeitsbeispiel des Lochens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.20 Schlitzen

Definition/Zweck: Herstellen kurzer Schlitze durch Trennen eines Stabes in Längsrichtung. Schlitzen ist eine Vorarbeit, der sich weitere Arbeiten, z.B. das Aufdornen, anschließen. Es gestattet das Anfertigen genauer Durchbrüche. Es wird zum Herstellen von Löchern unterschiedlicher Form und Größe für Durchsteckarbeiten angewendet, bei denen Stäbe durch Querstäbe gesteckt werden.

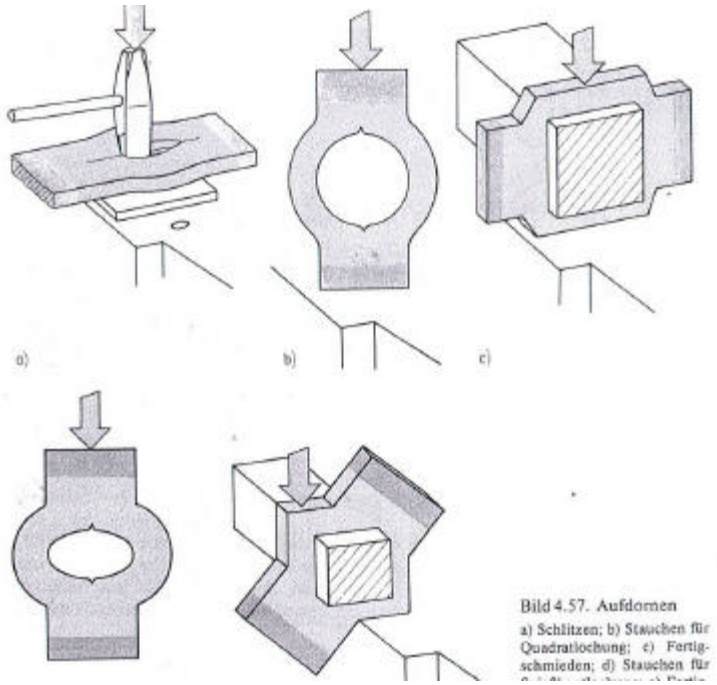

Abbildung 24: Arbeitsbeispiel des Schlitzens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.4.21 Aufdornen

Definition/Zweck: Herstellen von Löchern und Durchbrüchen unterschiedlicher Größe und Form. Aufdornen ist eine Folgearbeit des Schlitzens; es ist kein Trenn-, sondern ein Umformverfahren. Da es jedoch, von einigen Ausnahmen abgesehen, nur als Folgearbeit auftritt, ist es unter den Arbeitstechniken des Trennens eingeordnet.

1.5 Weitere Umformtechniken

1.5.1 Drücken

Definition/Zweck: Das Fertigungsverfahren Drücken dient zur Herstellung rotationssymmetrischer Hohlkörper nahezu beliebiger Form. Dabei wird die Wandstärke im Allgemeinen nicht verändert.

Das Drücken, bei dem sich eine drehende Blechronde auf eine bestimmte rotationssymmetrische Form aufgedrückt und nachfolgend geglättet wird, gehört zu den ältesten Umformverfahren rotationssymmetrischer Hohlkörper aus metallischen Werkstoffen. Es war bereits in den ägyptischen Kulturepochen bekannt. Im Mittelalter gelangte es in Europa in den Gilden der Kupferschmiede und Zinngießer zu hoher handwerklicher Entwicklung und kunstgewerblicher Bedeutung. Die Drückverfahren haben dann seit Anfang der fünfziger Jahre in der industriellen Fertigung eine zunehmende Bedeutung erlangt.

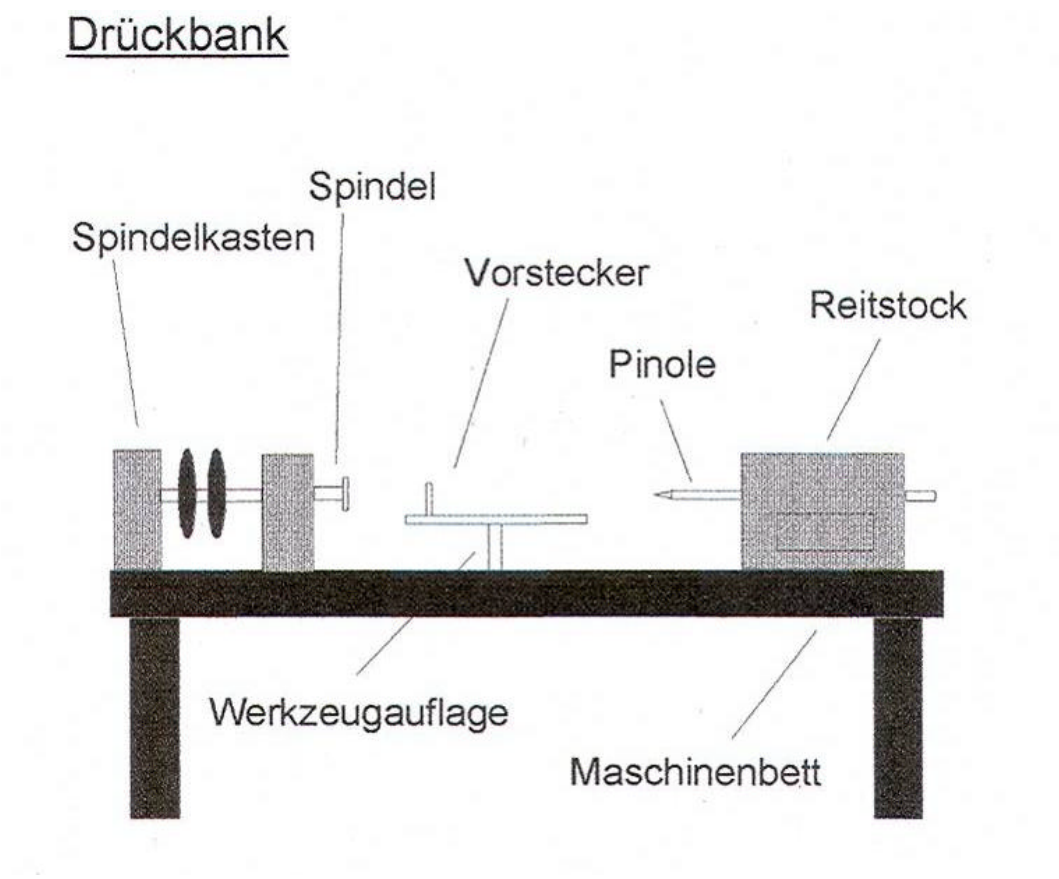

Abbildung 25: Skizze zu einer Drückbank, Studentische Belegarbeit von Eve Sautner, FH Erfurt.

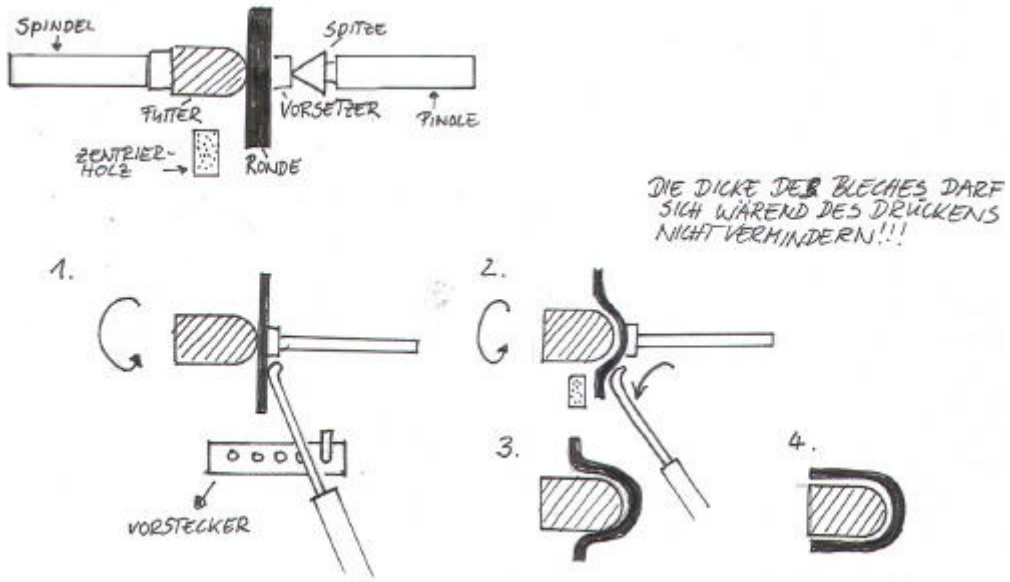

Abbildung 26: Prinzipskizze zum Drückvorgang, Studentische Belegarbeit von Eve Sautner, FH Erfurt.

Abbildung 27: Ein Drückermeister bei der Arbeit, Aufnahme von Bernhard Mai.

1.5.2 Treiben

Treiben zählen wohl zu den ältesten Techniken der Metallbearbeitung (ca. 2700 v.Chr.).

Definition/Zweck: Treiben ist der Oberbegriff, unter dem alle handwerklichen Fertigstellungsverfahren zur Herstellung von Gefäßen und Hohlkörpern sowie zur Reliefgestaltung aus Blech zusammengefasst werden. Die Arbeiten erfolgen im kalten Zustand.

Alle Metalle mit ausreichender Dehnung können so verarbeitet werden (Edelmetalle und deren Legierungen, Kupfer, Aluminium und Stahl).

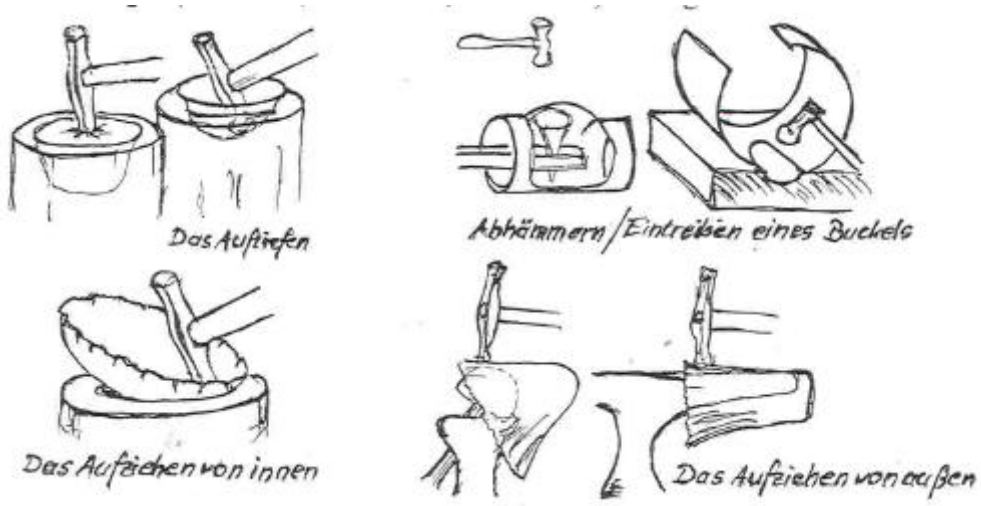

Abbildung 29: Arbeitsbeispiele zum Treiben Aufnahme von einen Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

Abbildung 28: Getriebener Turmknopf, Aufnahme von Bernhard Mai.

1.6 Arbeitstechniken des Verbindens

Definition/Zweck: Die meisten Schmiedearbeiten bestehen aus Einzelteilen, die zu einem Ganzen verbunden sind. Dazu sind beim Schmieden folgende Verbindungstechniken gebräuchlich:

1.6.1 Nieten

Definition/Zweck: Verbinden von zwei oder mehreren Teilen mittels eines Verbindungselements, des Niets, oder eines angeschmiedeten Zapfens.

Oft wird der angestauchte sichtbare Nietkopf als Zierelement ausgebildet. Die Nietverbindung sollte gestalterisch gerechtfertigt sein. Zum Nieten gehört auch das Herstellen von losen Nietverbindungen, bei denen die verbundenen Teile, z.B. bei einer Schmiedezange, gegeneinander beweglich sind.

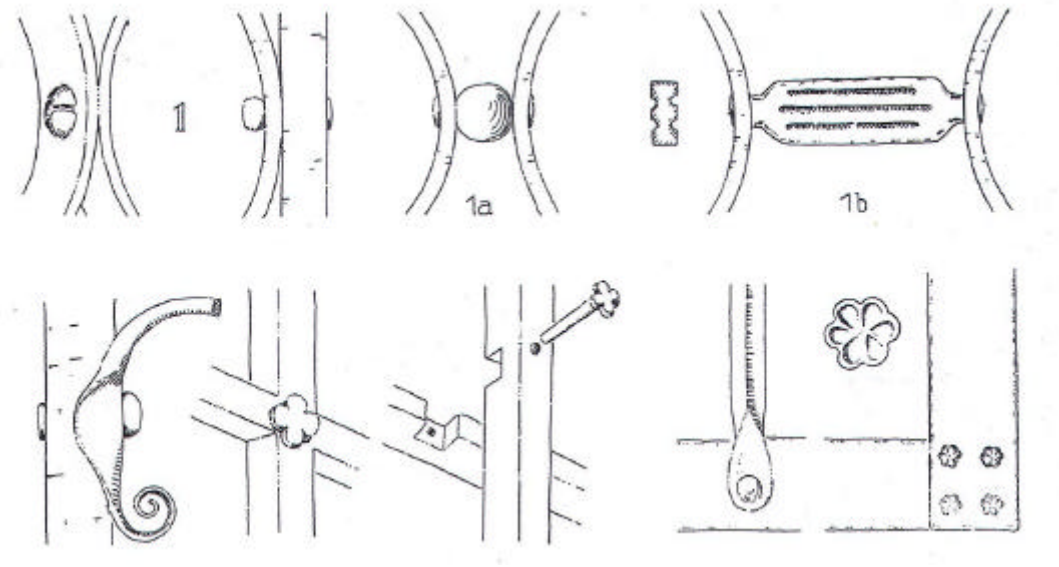

Abbildung 31: Arbeitsbeispiele zum Nieten, aus: Konstruktion und Form im Bauen, Hentschelverlag Kunst und Gesellschaft Berlin, 1958 S.297.

1.6.2 Bunden

Definition/Zweck: Verbinden aneinander liegender Stäbe durch einen Bund als Verbindungselement. Gebundet werden können gerade Stäbe, Bögen und Ringe sowie alle anderen Formen, die mindestens über die Länge der Bundbreite nahezu parallel aneinander liegen. Stabverbindungen bekommen durch den Bund einen festen Zusammenhalt. Gleichzeitig wirkt der Bund als Zierelement.

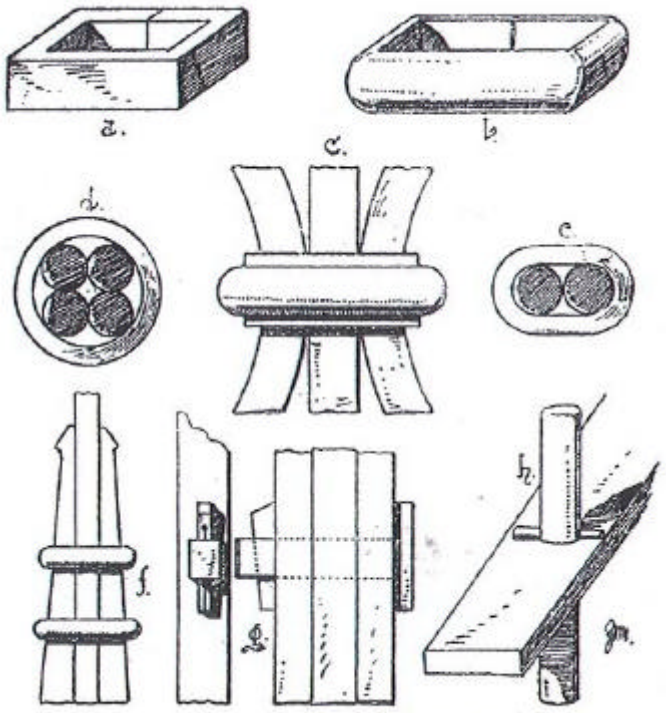

Fig. 18. Bund und Verkeilung.

Abbildung 32: Arbeitsbeispiel zum Bunden, Aufnahme aus einen Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

1.6.3 Schrumpfen

Definition/Zweck: Durch Schrumpfen können Teile aus dem gleichen Werkstoff (Stahl-Stahl), aber auch aus verschiedenen Werkstoffen (Stahl-Guss = Bsp. Radreifen der Eisenbahnen oder Stahl-Holz = Bsp. Kutschenräder) verbunden werden.

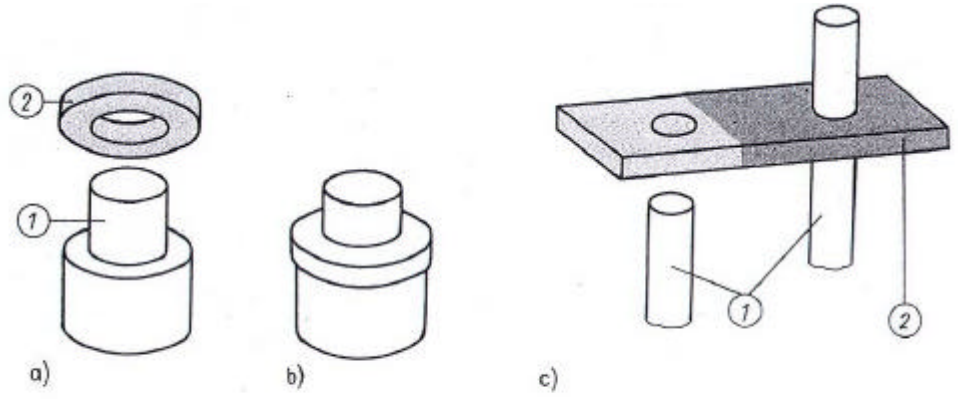

Bild 4.68. Schrumpfen
a) Prinzip: Zapfen *1* und Ring *2*, Ring erwärmt; b) Teile nach dem Abkühlen fest verbunden; c) Schrumpfverbindung von Gitterstäben *1* und Querstab *2*

Abbildung 33: Arbeitsbeispiel zum Schrumpfen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

1.6.4 Schweißen

Schweißen ist nach DIN 1910-1 das **Zusammenfügen** (oder die Beschichtung) zweier ähnlich zusammengesetzter Stoffteile, so dass die Verbindungsstellen mit den benachbarten Teilen ein möglichst gleichartiges Ganzes ergeben. Dieser Vorgang geschieht unter Anwendung von **Wärme und/oder Druck** mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoffen zu einer **unlösbaren stoffschlüssigen Verbindung**. Die zum Schweißen notwendige Energie wird von außen zugeführt. Hilfsstoffe wie Schutzgase, Schweißpulver oder Pasten ermöglichen bzw. erleichtern den Vorgang.

Es gibt zwei Hauptgruppen des Schweißens, das Schmelzschweißen und das Pressschweißen.

Geschichtliches

Das älteste Schweißverfahren ist das sog. Hammer- oder Feuerschweißen (Pressschweißen). Es war schon 2000 v. Chr. in Indien bekannt, bzw. mindestens so alt wie die Erzeugung und Verwendung von Eisen.

Bezeichnung	Stabform (Beispiel)	Stabenden-Vorbereitung (Bild)
Überlappte Schweißung	rund	
Keilschweißung	rund	
Klauenschweißung	quadratisch	
Gabelschweißung	rechteckig	

Abbildung 34: Arbeitsbeispiel zur Vorbereitung einer Feuerschweißung, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

Das Schweißen im heutigen Verständnis wird seit ca. 150 Jahren angewendet (England, 1849, Anmeldung eines Patentes zum Lichtbogenschweißen, was jedoch nicht zur Anwendung kam; 1903 erstmals autogenes Schweißen Gasschmelzschweißen durch E. Wiss).

Die Schweißbarkeit wird in drei Einflussgrößen unterteilt:

Werkstoff = Die Schweißneigung eines Werkstoffes ist vorhanden, wenn aufgrund der chemischen, metallurgischen und physikalischen Eigenschaften des Werkstoffes eine Schweißung hergestellt werden kann.

Fertigung = Die Schweißmöglichkeit der Fertigung ist vorhanden, wenn die vorgesehene Schweißungen unter den gewählten Fertigungsbedingungen fachgerecht hergestellt werden können. Die wesentlichen Faktoren der Fertigungsbedingungen sind: Vorbereitung zum Schweißen, Ausführung der Schweißarbeiten und die Nachbehandlung.

Konstruktion = Schweißsicherheit der Konstruktion ist vorhanden, wenn für den verwendeten Werkstoff das Bauteil unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen funktionsfähig bleibt.

Aktuelles: Ein Blick in die Metallbaubetriebe – früher auch als Schmiede oder Schlosserei bezeichnet – zeigt im Wesentlichen die Verwendung des Schutzgasschweißens auf. Dieses ist der Gruppe des Schmelzschweißens zugeordnet.

Bei diesem Verfahren wird die komplette Schweißstelle einschließlich Draht und Lichtbogen von einem sog. Schutzgas eingehüllt und so vor der umgebenden Luft geschützt, wodurch Korrosion verhindert wird. Vorteil von Schutzgasschweißen ist, dass auch nichtrostende und säurebeständige Stähle verarbeitet werden können. Zusätzlich ist ein Schweißen schon ab einer Materialstärke von 0,5 mm möglich.

Das Schutzgasschweißen wird nochmals in DIN 1910, Teil 4 aufgeführt und in weitere Verfahren unterteilt:

- WIG-Schweißen: Wolfram-Inertgas-Schweißen
- MIG-Schweißen: Metall-Inertgas-Schweißen
- MAG-Schweißen: Metall-Aktivgas-Schweißen.

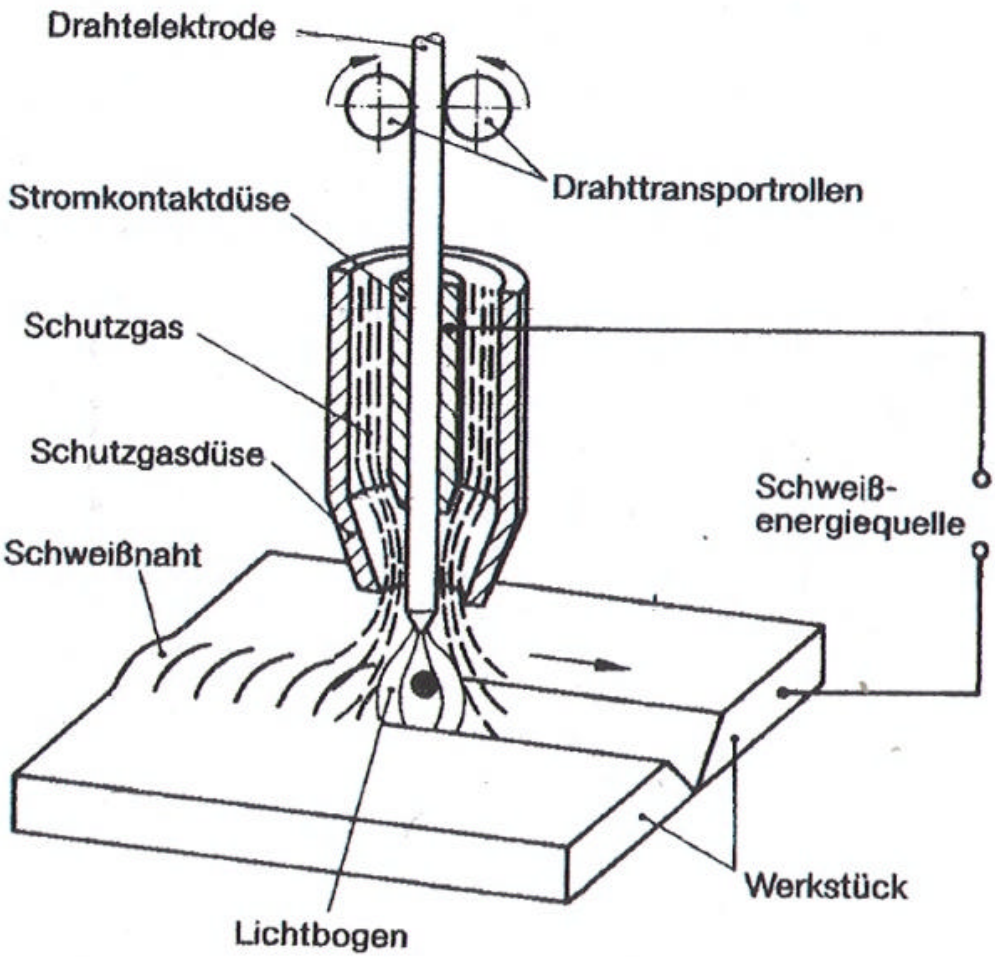

Abbildung 35: Beispiel zum MIG-Schweißverfahren, Aufnahme aus einen Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

In Konkurrenz zum Schweißen steht das Löten. Dieses Verfahren erzielt bei entsprechend richtiger Wahl des Lötwerkstoffes und der Lötbedingungen Festigkeiten, die mit denen des Schweißens vergleichbar sind.

1.6.5 Löten

Das Löten ist eine Fügetechnik, bei der zwei Metalle mit Hilfe eines geschmolzenen metallischen Bindemittels – Lot – unlösbar miteinander verbunden werden. Dabei können die Metalle und das Lot verschieden oder gleichartig sein. Das geschmolzene Lot dringt in Kapillaren der erhitzten Metalle und verbindet diese nach dem Erkalten miteinander. Der Schmelzpunkt der zu verbindenden Metalle muss höher sein als der des Lotes. Je nach Arbeitstemperatur erfolgt die Unterscheidung zwischen **Hartlöten** (zwischen 450 C° und 900 C°) und **Weichlöten** (unterhalb von 450 C°, zwischen 250 C° und 350C ° üblich).

Bei beiden Verfahren ist die Lötung optimal ausgeführt, wenn die Verbindung aus folgenden Schichten besteht: Grundmetall, Mischkristall, Lotmetall, Mischkristall, Grundmetall.

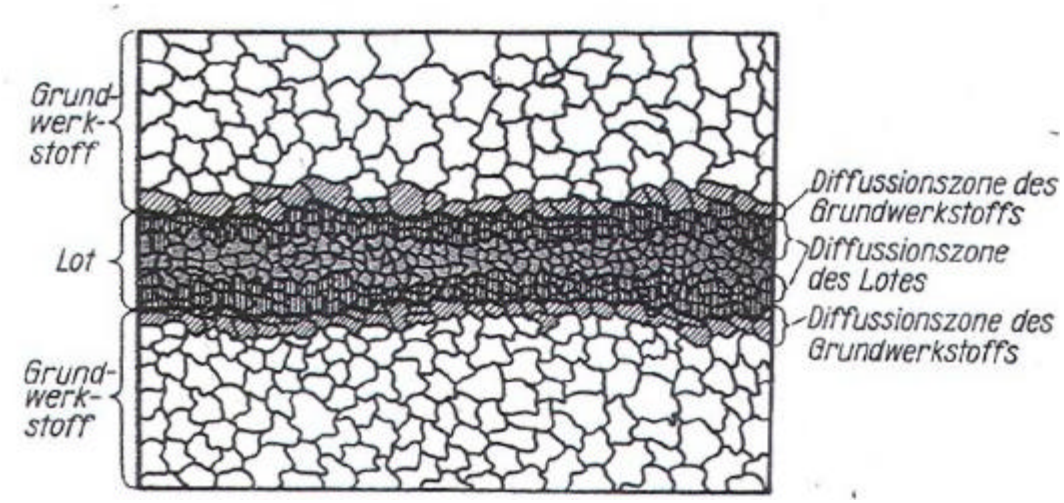

Abbildung 29: Materialquerschnitt bei einer gelungenen Lötung, Aufnahme aus einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

1.7 Oberflächenbearbeitung/Dekortechniken

1.7.1 Ziselieren (ciseau, franz. Meißel)

Definition/Zweck: Treibziselieren ist die Fortsetzung des Treibens. Hierbei wird die beim Treiben grob formulierte Oberfläche ausmodelliert und mit Mustern verziert.

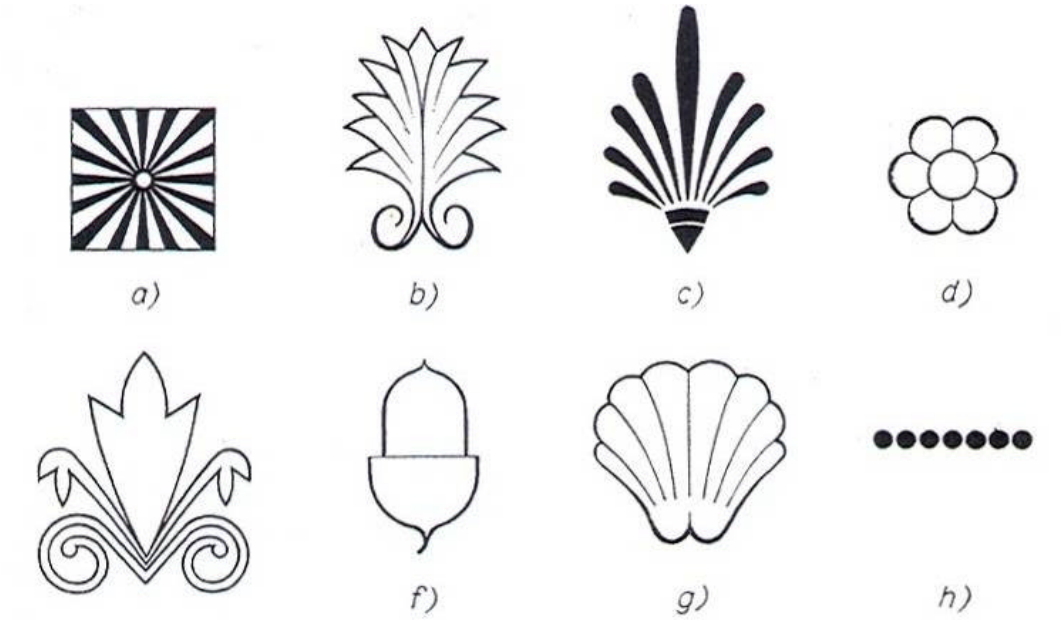

Abbildung 30: Arbeitsbeispiel von Treibpunzen; Aufnahme aus einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

Definition/Zweck: Gussziselieren ist die kalte Nacharbeit und das Überarbeiten von Details gegossener Werkstücke.

Abbildung 31: Arbeitsbeispiel vom Gussziselieren, Aufnahme von Bernhard Mai.

1.7.2 Gravieren

Definition/Zweck: Das Herausarbeiten von Zeichnungen, Mustern, Buchstaben, Verzierungen an Gebrauchs-, Zier- und Schmuckgegenständen, wobei die Zeichnung vertieft oder erhaben erscheinen kann.

Die auf Papier entworfene Zeichnung wird zunächst auf die zu bearbeitende Fläche übertragen, dann mit verschiedenen geformten Sticheln nachgestochen. Der Stichel wird dabei mit dem Griff in der rechten Hand gehaltenen und mit dem Druck gegen das Metall vorwärts bewegt. Bei der Ausführung von krummen Linien sind Stichel und Gegenstand gegeneinander zu bewegen. Kleine Gegenstände werden auf eine größere Fläche aufgekittet oder zwischen eine Kluppe gespannt; größere werden frei bewegt und liegen auf einem Sandkissen und die Bewegung zu erleichtern. Meist werden Schmuck- und Ziergegenstände aus Gold, Silber, Nickel graviert. Aber auch andere schneidbare Stoffe wie Elfenbein, Perlmutt, Schildpatt oder Leder eignen sich für diese Tätigkeit. Für gewerbliche Zwecke werden Münzen, Stempelplatten für herzustellende Abdrücke in Farbe, Kupferplatten für den Druck von Urkunden, Bank- und Musiknoten graviert. Stahl wird wegen seiner Härte zunächst weich gemacht und nach dem Gravieren wieder gehärtet. Bei größeren Arbeiten benutzt der Graveur auch Meißel und Punzen, bevor er zum Gebrauch der Graviernadel und des Gravierstichels übergeht. In vielen Fällen wird das Gravieren heute durch Ätzen ersetzt.

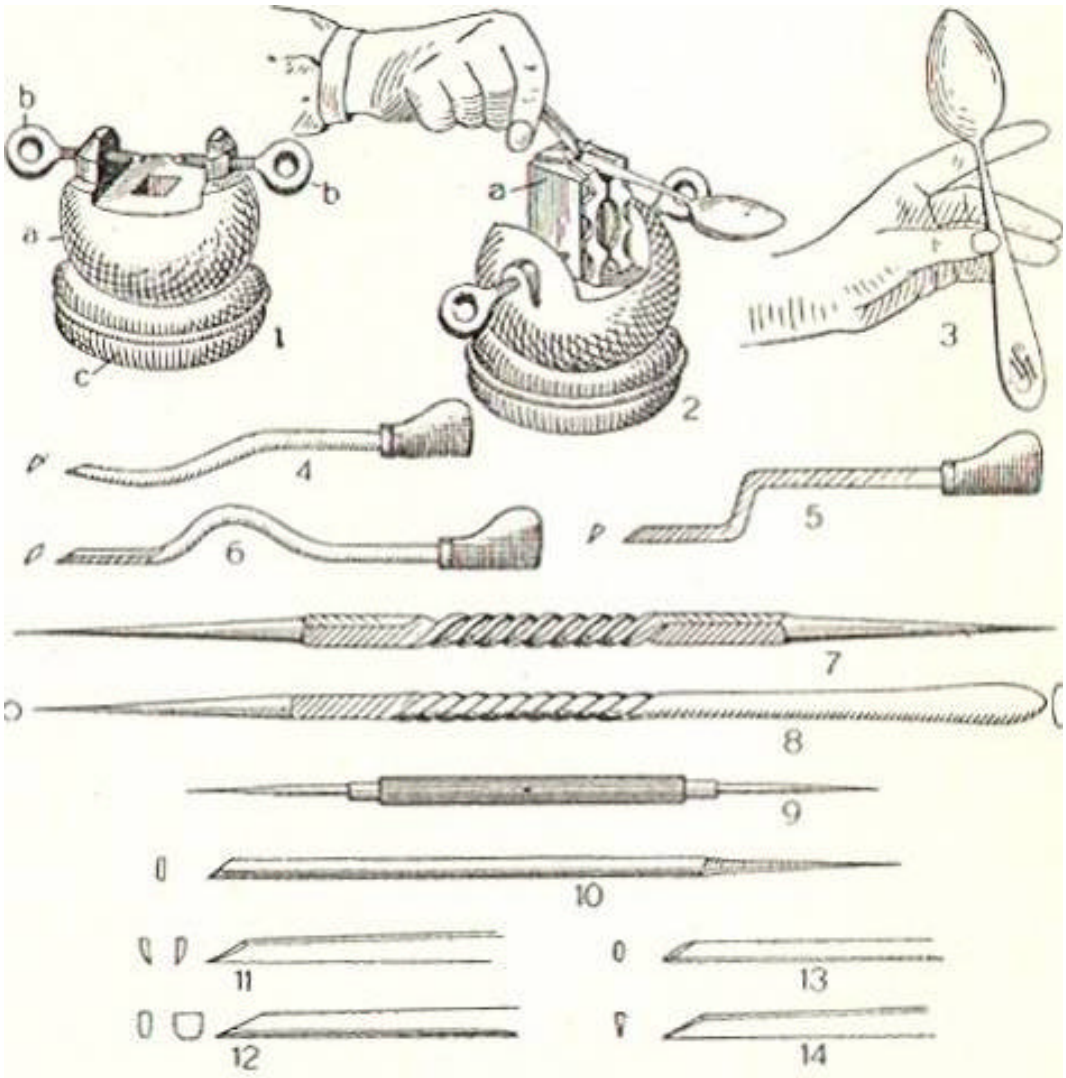

Abbildung 32: Arbeitsbeispiel und Werkzeuge zum Gravieren, Aufnahme aus einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

1.7.3 Ätzen [ursprünglich ‚essen machen']:

Definition/Zweck: Abtragen der Oberfläche von Metall durch Chemikalien oder Elektrolyse. Das Prinzip der Technik besteht darin, dass eine Metalloberfläche stellenweise mit einem säurefesten Lack überzogen wird und in einer Ätzflüssigkeit die unbedeckten Stellen angegriffen werden, so dass eine vertiefte Zeichnung entsteht. Je nachdem, ob die Zeichnung auf der Oberfläche vertieft oder erhaben erscheint, spricht man von der Tief- oder Hochätzung. Das Tiefätzen geschieht folgendermaßen: Zunächst wird die zu ätzende Fläche sauber gereinigt, getrocknet, leicht erhitzt und mit einer säurefesten Deckschicht aus Wachs, Paraffin, Asphalt und dgl., dem sog. Ätzgrund, überzogen. Aus der erkalteten Deckschicht werden dann diejenigen Stellen, wo eine Ätzung erwünscht ist, mit einer Radiernadel entfernt. Beim Hochätzen soll das Muster erhaben erscheinen. Es müssen deshalb – umgekehrt wie beim vorherigen Verfahren – die Linien des zu zeichnenden Musters mit einem weichen Pinsel und Asphaltlack abgedeckt

werden, so dass die übrigen Fläche bleibt offen und wird daher von der ätzenden Flüssigkeit herausgelöst.

Ein berühmtes Beispiel von Ätzungen steht auf dem Berliner Alexanderplatz, es ist die Weltzeituhr.

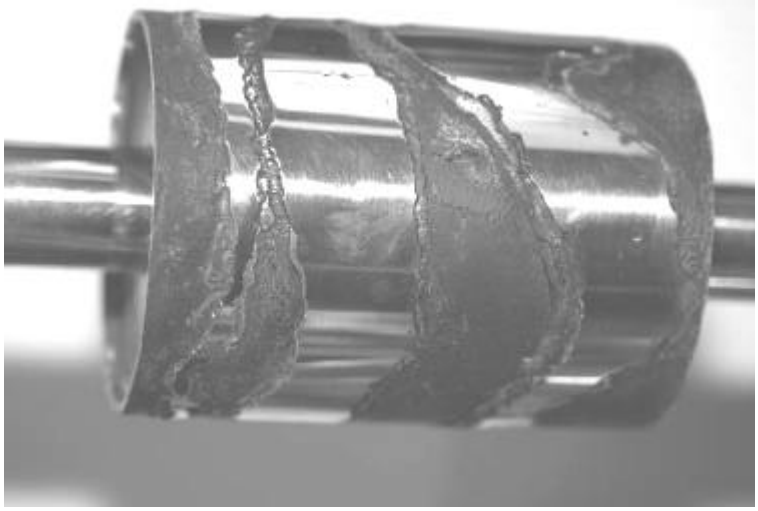

Abbildung 33: Arbeitsbeispiel zum Ätzen, Aufnahme von Bernhard Mai.

1.7.4 Tauschieren [ital. Tausia aus arab. Tauschija, Färbung]

Definition/Zweck: Das Tauschieren ist eine Dekortechnik, bei der Motive aus weichem Metall in einem härteren Metall ohne Verwendung von Bindemitteln mechanisch befestigt werden. Lineare Ornamente werden mit eingelegten Drähten und flächige Formen mit passenden Blechteilen gestaltet. Diese Drähte bzw. Blechteile werden in sogenannte Gruben eingelassen. Die Technik zur Herstellung der Gruben erfolgt durch Ätzen, Fräsen, Gravieren, Meißeln oder Punzieren.

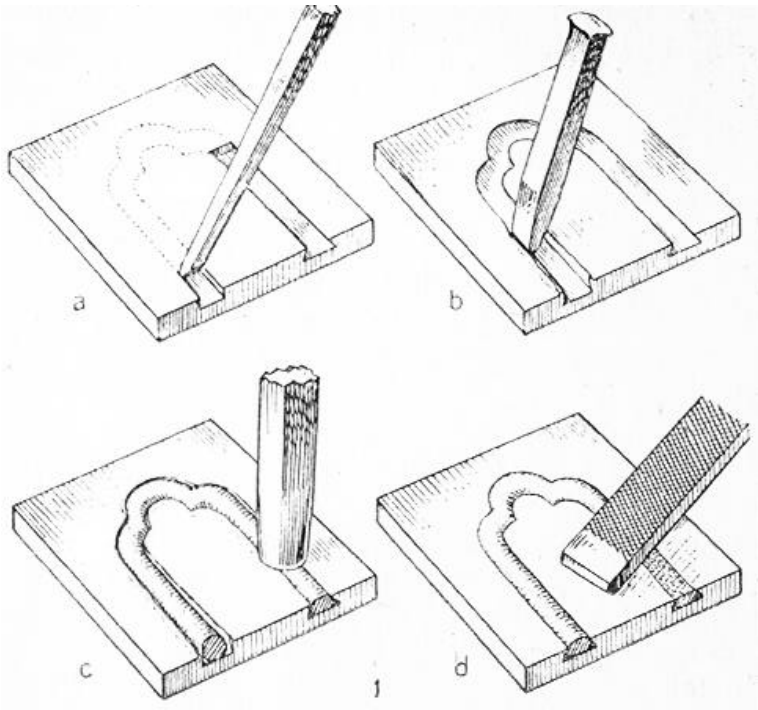

Abbildung 34: Arbeitsbeispiel zum Tauschieren, Aufnahme von einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

1.7.5 Niello [ital. von lat. nigellus, ‚schwärzlich']

Definition/Zweck: Dekortechnik metallener, besonders silberner Gegenstände mit einem schwärzlichen Schmelz. In das Silberblech wird zunächst die Zeichnung tief eingraviert. Dann wird die hauptsächlich aus Schwefel, Silber, Kupfer, Blei und Borax hergestellte Niellomasse in pulverisiertem Zustand auf die Platte gebracht und diese erhitzt, bis die Masse schmilzt und die gravierten Stellen gleichmäßig ausfüllt. Zuletzt wird die Platte abgeschliffen und poliert, wodurch sich die Zeichnung schwarz von der hell glänzenden Fläche abhebt.

Geschichtliches: Das Niello war bereits bei den alten Ägyptern bekannt, wurde im Rom der Kaiserzeit und in der mittelalterlichen Goldschmiedekunst gepflegt. Im 15. Jahrhundert gelangte es zu besonderer Blüte in Italien (Maso Finiguerra), wo es vielleicht mit den Anfängen des Kupferstichs in Verbindung steht. Dann verlor es dem Email gegenüber immer mehr an Bedeutung. Im 19. Jahrhundert wurde durch die Luxusindustrie in Paris und Wien das Niello wieder belebt.

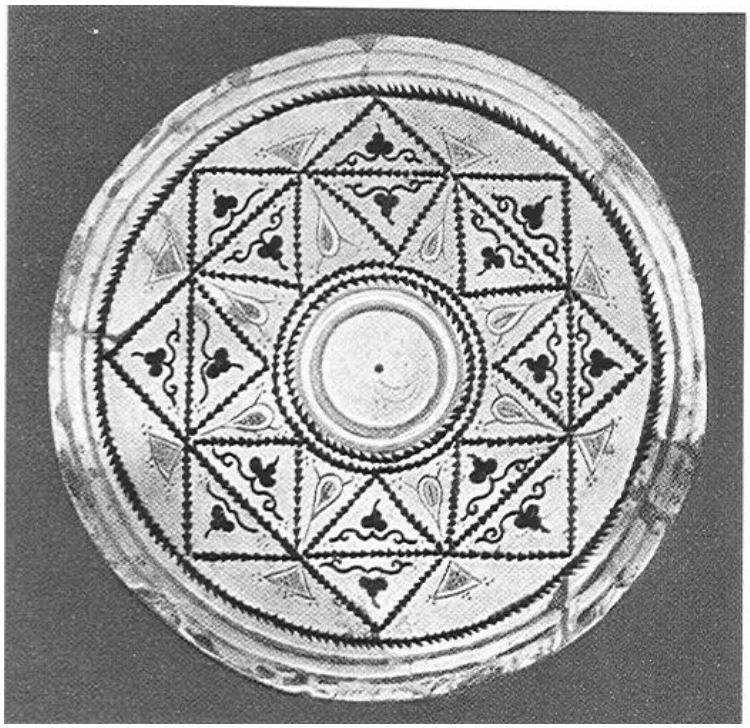

Abbildung 35: Arbeitsbeispiel zum Niello, Aufnahme von einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai.

1.8 Vollendende Techniken der Metallverarbeitung

1.8.1 Schleifen

Definition/Zweck: Beim Schleifen wirken lose oder gebundene Schleifkörper spanend auf das zu bearbeitende Werkstück ein.

Formgebung: gröbere Schleifmittel

Glätten der Oberfläche: feinkörnige Schleifmittel

Bsp. Schleifscheibe: (Besonders intensive Spanabnahme)

Die Tiefe des Angriffs richtet sich nach der Größe der Schleifkörper, die in Bindemittel eingelassen sind. Während der Bearbeitung nutzen sich die Körner ab und werden stumpf, durch den abklingenden Schleifdruck soll das stumpfe Korn herausfallen, um den darunter liegenden spitzen Körnern Platz zu machen. Dafür muss das Bindemittel richtig abgestimmt sein. Ist das Bindemittel zu fest, werden die stumpfen Körner nicht abgegeben, die Scheibe verschmiert und greift somit nicht. Ist das Bindemittel zu leicht löslich, fallen die scharfen Körner vorzeitig ab, und die Scheibe verbraucht sich zu schnell.

Die Beschaffenheit des Metalls hat auch seine Wirkung auf die Scheibe:

weiches Metall: setzt sich fest und hemmt die Schleiffähigkeit,

sprödes Metall: fördert das Abbrechen der Körner.

1.8.2 Schleifmittel:

Diamant C: Diamantpulver, absolut härteste Schleifmittel, leider zu teuer - synthetischer Diamant

Aluminiumoxid: Korund

Korund: aus Bauxit und Kohlenstoff im elektrischen Lichtbogen verschmolzen, Endprodukt hat Verunreinigungen

Elektrokorund: reines Bauxit im Elektroofen geschmolzen

Kieselerde: Panzer von Strahlentierchen und Kieselalgen, Endprodukt Tripel

Schmirgel: graues bis schwarzes Mineral

Siliciumoxid: Quarz (als Quarzmehl wird es zu Sandpapier, Scheuerpulver, Schleifpasten etc. benutzt)

Siliciumcarbid: Zusammenschmelzen von Koks und Quartzsand mit Zusatz von Sägemehl und Kochsalz im Elektroofen

Chromoxid, Zinnoxid, Zinkoxid, Magnesiumoxid etc.

1.8.3 Körnung:

Die Korngröße der Schleifmittel wurden früher nach Nummern angegeben, entsprachen der Maschenzahl eines Siebes bezogen auf die Länge von einem Zoll, durch das das Schleifmittel gerade noch fallen konnte:

Nummer = Anzahl der Maschen / 1 Zoll Länge

1.8.4 Bindung:

Bei festen Schleifkörpern müssen die Schleifkörper durch spezielle Bindemittel zusammengehalten werden, so dass die scharfkantigen, aktiven sicher festgehalten und die stumpfen rechtzeitig abgegeben werden.

1.8.5 Schmirgeln:

Arbeitsvorgang nach dem Feilen, um Werkspuren zu beseitigen und die Oberfläche so weit zu glätten, dass poliert werden kann.

<u>Schmirgelpapier:</u> Feinheit von Korngröße abhängig (Beim Nassschleifen sind Körner mit wasserfesten Kleber aufgebracht - Nichtmetallische Werkstoffe).

<u>Schmirgelhölzer:</u> Holzstäbe jeglicher Form, mit Schleifpapier oder Schleifmitteln beklebt.

Bei beiden gilt: von grob zu fein und der stetige Richtungswechsel (bei gewünschtem Schmirgelstrich kein Richtungswechsel).

Lose Schleifmittel: (Für alle losen Schleifmittel braucht man einen Schleifmittelträger).

Schleifmittel und Träger:

Gröbere Vorarbeiten (z.B. Großsilberbearbeitung) - Bimsmehl

Feinere Arbeiten (z.B. Schmucksachen) - Tripel mit Fettpaste

Die Stoffe werden als Brei angerührt; mit $H_2 0$ vermengt wirken sie stärker, mit Öl / Fett vermengt wirken sie milder.

Schleifen von Hand:

Einfachste Schleifmittelträger sind die Finger oder der Handballen direkt. Mit Schleifmittel und Bindemittel wird über den Gegenstand gescheuert.

Schleifhölzer: (das beste ist das dichte, zähe Holz des Pfaffenhütchens)

Gewünschte Form ist leicht schnitzbar, Hölzer werden in Brei getaucht.

Ziehfäden:

Zopfartiges Bündel aus Fäden. Die Anzahl der Fäden richtet sich nach Größe des Durchbruchs.

Man spannt die Fäden stramm, bestreicht diese mit Fett-Tripel und reibt das Werkstück darüber.

Schleifen mit Maschinen: (auf die konische Spindel der Schleifmaschine werden Zirkularbürsten oder Filze unterschiedlicher Form aufgeschraubt)

Filzscheiben zur Nachbehandlung von Schmirgelspuren und zur Vorbereitung des Poliervorgangs bei ebenen und gewölbten Flächen:

verschiedene Formen der Filzscheiben: zylindrische Scheibe, konischer Ringdorn, Kombination aus beiden, Linsenform, Kegelform.

Technikmotor: zur Nachbearbeitung schwer zugänglicher Bereiche und feiner Formelemente.

1.8.6 Polieren

Definition/Zweck: Die Qualität der Politur hängt entscheidend von der Vorbehandlung ab. Nur wenn die Metalloberfläche einwandfrei geglättet ist, kann die Politur makellos werden. Durch das Polieren wird die Oberfläche mehr und mehr eingeebnet, bis sie ihren metallischen Hochglanz bekommt. Hierbei wird nur minimal bis kein Material abgenommen!

1.8.7 Methoden zum Polieren:

Druckpolieren: mit Polierstahl;

Elektrolytisches Polieren: Abtragen der Oberflächenrauigkeit auf galvanische Weise;

Mechanisches Polieren: Abrieb mit Poliermittel auf Poliermittelträger.

Poliermittelträger und Poliermittel: (lose Präparate auf entsprechenden Trägern)

Bevorzugt werden feine Polierpasten, in denen Poliermittel mit Fettstoffen gebunden sind. Je nach Werkstoff werden verschiedene Polierpasten angeboten.

Polieren von Hand: (ähnlich dem Schleifen)

Bearbeitung mit Polierhölzern oder Ziehfäden, die mit Poliermitteln belegt sind.

Lederfeile: spezielles Polierwerkzeug. (schmales Holzbrettchen mit weichem Leder bezogen) mit etwas Poliermittel bestrichen zur Nachbehandlung nach dem Polierstahl.

1.8.8 Polieren mit Maschinenwerkzeugen.

Gleiche Maschinen wie beim Schleifen, nur mir weicheren Poliermittelträgern.

Nachbehandlung mit Schwabbelscheibe: zahlreiche runde Stoffscheiben oder Lederscheiben, die sich mit wenig Poliermittel bei hoher Drehzahl drehen.

Letzte höchste Politur: Wollrad (Durchbohrter Holzkern, der dicht mit Fäden aus weißer Baumwolle, grauer Schafswolle oder weichem Leder umwickelt ist), wirkt wie schnell rotierendes Poliertuch.

Poliermittel: möglichst keins, die am Werkstoff haftenden reichen völlig aus, ist es zuviel, verschmiert die Oberfläche

Druckpolieren: (Spanlose Metallbearbeitung ohne Poliermittel)

Durch Druck mit glatten Werkzeugen wird die Oberfläche eingeebnet.

Vorteile:

- hoher Glanz
- Oberflächengefüge wird verdichtet
- keine Materialverluste
- Möglichkeit der Abgrenzung zu matten Bereichen.

Nachteile:

- langwieriges und teures Verfahren
- um große Flächen streifenfrei zu bekommen, erfordert es viel Übung
- Drahtkonstruktionen oder Ziselierungen können mit dem Stahl nicht gleichmäßig poliert werden

-nur für glatte Flächen prädestiniert

bei dünnwandigen Gegenständen besteht Beulengefahr.

Polierstahl: hochwertiger, gehärteter Stahl, der entsprechend dem Werkstoff geformt wird und in einem Holzheft befestigt ist (Kanten müssen abgerundet sein).

Polierstein: noch edlerer Glanz möglich, gleiche Formweise wie Stahl (meist Achat).

Behandlung der Werkzeuge:

Die Werkzeuge müssen von Zeit zu Zeit aufpoliert werden, indem man sie mit Korundpulver auf dichtem Sohlenleder und dann mit Zinnoxid auf weichem Leder abzieht.

Arbeitsweise:

-Entfetten des Stahls (sonst schmiert Gegenstand)

-nicht mehr mit der Hand berühren

-feste Unterlage

-möglichst Anfeuchten des Steins oder Stahls - glatter Polierstrich

-Richtungswechsel (sonst entsteht eine Streifenbildung)

Aufbewahrung der Werkzeuge:

Stahl: Büchse mit Sägemehl

Stein: in weiche Tücher einwickeln

1.8.9 Kratzen

Definition/Zweck: An der Kratzmaschine wird der Gegenstand mit der rotierenden Messingdrahtbürste unter ständiger Wasserzufuhr bearbeitet, so entsteht ein Mattglanz.

Die Bezeichnung des Kratzens ist irreführend, da keinesfalls gekratzt wird. Tatsächlich wird die Oberfläche geglättet. Kratzer dürfen keinesfalls entstehen!

1.8.10 Kratzwerkzeuge:

Zirkularbürste: Bürste aus gewelltem Messing oder Neusilberdraht von ca. 0,15 bis 0,25 mm Dicke.

Außer der Normalform gibt es solche für Ringschienen und für Becherinnenseiten. Ebenfalls gibt es schmallange Handbürsten mit Holzgriff, um ohne Maschine arbeiten zu können.

Die Kratzmaschine läuft langsamer als die Poliermaschine, diese kann jedoch bei genauer Drehzahleinstellung auch zum Kratzen benutzt werden.

Arbeitsverfahren:

- die Ware wird mit leichtem Druck an die Zirkularbürste gedrückt
- Streifen werden durch Richtungswechsel vermieden
- Kratzwasser muss kontinuierlich laufen

Handbürste:

- Benutzung wie normale Borstenbürste
- mit wechselnder Richtung über Gegenstand streichen
- Kratzwasser unter Tropfhahn des Kratzkastens (oder Bürste immer wieder in Flüssigkeit tauchen).

1.8.11 Epilog zu Teil 1

Das Studieren von Teil 1 des Lehrbriefes hat Ihren Blick für die Herstellungs- und Fertigungstechniken bei dem Material Metall geschärft. Vielleicht fragen Sie sich jetzt öfter bei einem Grabmal: Handelt es sich um eine Bronze- oder gar um eine Kern- oder Hohlgalvanoplastik? Der Anblick eines Korbgitters an einem Haus vermittelt Ihnen das schwindelerregende Gefühl, wie viele Arbeitsschritte bei der Bearbeitung notwendig waren um aus Stäben dieses Meisterwerk der Schmiedekunst zu fertigen. Die weithin hörbaren Glocken einer Kirche sind im Urformverfahren gefertigt worden. Die den Kirchturm zierenden Knöpfe oder Turmkugeln sind hingegen durch das Drücken im Kaltformverfahren entstanden. Und zum Schluss die bittere Erkenntnis: Auch aufwendige Gravuren und Tauschierungen auf Gewehrläufen machen diese Waffen nicht friedfertiger, höchstens weil ihre Nutzungsfrequenz gegenüber unverzierten Gewehren geringer war.

Kürlektüre zu den Herstellungstechniken des Umformens:

Eberhard Brepohl, Theorie und Praxis des Goldschmieds, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1987.

Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

Peter Heinrichs (Hrsg.), Metallrestaurierung, Callwey Verlag, München 1994.

Rolf Dwenger, Kunsthandwerkliches Zinngießen, Fachbuchverlag Leipzig, 1982.

Rudolf Einsiedel, Kunsthandwerkliche Kupferschmiedearbeiten, Verlag Koehler & Amelang, Leipzig 1986.

2 Teil II: Korrosion und Korrosionsschutzmöglichkeiten

2.1 Prolog

Rost! Schon das Wort klingt wegen seines dunklen Vokals besorgniserregend. Durchrostungsgarantie!. Und dann der niederschmetternde Ausruf des bekannten Altkorrosionisten Dieter Kuron anlässlich einer Metallrestauratorentagung in Bochum im Herbst 1999: „ Korrosion ist etwas gottgewolltes, das können wir sowieso nicht ändern!“

Wie entsteht also Korrosion und was können wir erfolgreich dagegen tun, ohne uns der Blasphemie schuldig zu machen?

Ultraschallbilder kündigen in bestimmten Fällen freudige Ereignisse an. Ein Arzt untersucht uns mit diesen Diagnosegeräten und kann Auskunft über den Zustand der Organe geben ohne z.B. den Bauch aufzuschneiden. Ultraschallgeräte haben auch in der Metallrestaurierung ihren Platz gefunden: Wir untersuchen gern und erfolgreich, nach Möglichkeit zerstörungsfrei. Auf das Kopplungsmittel können wir allerdings bei Metalluntersuchungen mit dem Ultraschallgerät auch nicht verzichten.

Der zweite Teil des Lehrbriefes zeigt Ihnen die häufigsten Schadensursachen und Vermeidungsmöglichkeiten, die für Metalle klassisch sind auf. Eine Darstellung von Untersuchungsmöglichkeiten beschließt diesen Teil.

Lesen Sie bitte zunächst folgende Pflichtlektüre!

Allgemeines zu Korrosion

Volker Koesling, Vom Bakelit zum Feuerstein, Band5/6 Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999, S. 144-157 (bzw. MWR Modul 4).

Definition: Korrosion ist eine Oberflächenzerstörung der Metalloberfläche durch chemische oder elektrochemische Vorgänge.

Folgende Formen der Korrosion sind uns bekannt:

- Gleichmäßige Korrosion (Oxidfilm, Flugrost) = chemischer Vorgang!
- Ungleichmäßige Korrosion (Lochfraß)
- Interkristalline Korrosion
- Transkristalline Korrosion (Spannungsrisskorrosion)
- Ablagerungskorrosion

- Selektive Korrosion (Entzinkung von Messing)
- Elektrochemische Korrosion (mitunter auch gewollt, z.B. Opferanode im Badeofen)
- Selektive Korrosion (Spongiose von Gusseisen= selektive Auflösung von Gefügebestandteilen)
- Korrosionssonderformen (z.B. Zinnpest)

Am häufigsten treffen wir in unserem restauratorischen und nichtrestauratorischen Alltag den **ROST** auf Eisen- und Stahloberflächen an:

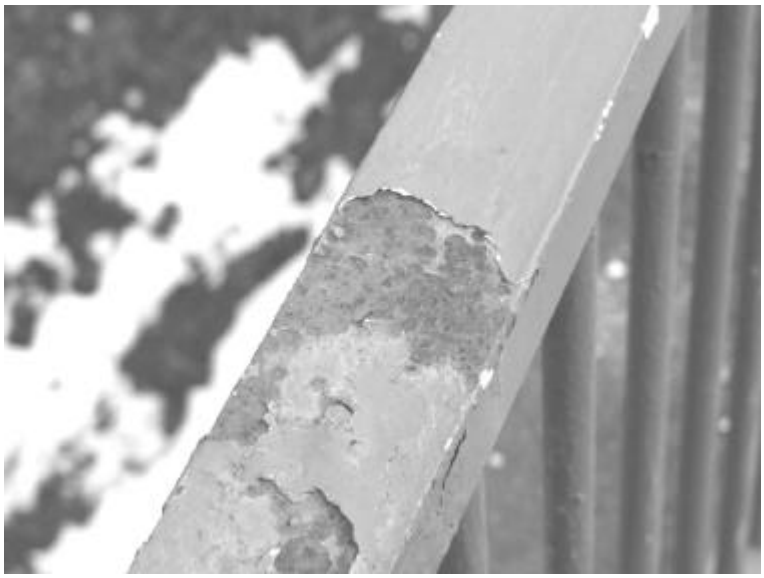

Abbildung 36: Korrodierter Obergurt eines Brückengeländers, Foto von Bernhard Mai.

Abbildung 37. Korrodiertes Scharnier an einem Auto, Aufnahme von Bernhard Mai.

2.2 R O S T

Die Bildung von Rost auf Eisen und Stahloberflächen in Anwesenheit von Feuchtigkeit wird im Allgemeinen mit folgender Funktionsgleichung dargestellt:

$$4Fe + 2H_2O + 3O_2 \Longrightarrow 4FeOOH$$

Feuchtigkeit auf Objektoberflächen entsteht durch:

- Kondenswasser
- Niederschläge
- adhädierte Feuchte (entfällt bei weniger/gleich 60% rel. Luftfeuchtigkeit)

Eine Verstärkung der Korrosionsvorgänge erfolgt durch gelöste Schadstoffe in den Feuchtefilmen auf der Eisen- und Stahloberfläche (auch auf anderen Metalloberflächen!).

Schadstoffe: SO_2, Salze (Cl^-, SO_4^{2-}) reagieren mit Wasser in der Luft folgendermaßen:

$$SO_2 + H_2O \Longrightarrow H_2SO_3 + H_2SO_3 + 1/2\ O_2 \Longrightarrow H_2SO_4$$

Funktionsgleichung für einen zyklischen Korrosionsvorgang bei „saurem Regen“, statt SO_2 kann auch im Prinzip Cl^- stehen,

(1) $SO_2 + H_2O + 1/2\ O_2 \Longrightarrow H_2SO_4$ = Säurebildung
(2) $H_2SO_4 + Fe \Longrightarrow FeSO_4 + 2H$
(3) $H + ½\ O_2 \Longrightarrow H_2O$
(4) $2FeSO_4 + H_2SO_4 + ½\ O2 \Longrightarrow Fe_2(SO_4)_3$
(5) $Fe_2(SO_4)_3 + 4H_2O + 1/2O_2 \Longrightarrow 2FeOOH + 3H_2SO_4$
(6) $2FeOOH \Longrightarrow Fe_2O_3 + H_2O$

ff. nach $2.H_2SO_4 + Fe$ ..endlos zu 4. und 5.

2.3 Korrosionsfaktoren

2.3.1 Luft

Alles, was nicht in reiner Luft vorhanden ist, ist eine Luftverunreinigung.

2.3.2 Luftverunreinigungen

Herkunft	Formen	Stoffe
Verbrennung	Abgase	CO2
Kohle, Gas, Erdöl, Holz	Ruß unverbrannt HC3	SO2, H2S,N2
	Flugasche H2SiO3SO3	
	Cl3, SO3, SO4	
Chemische Produktionsvorgänge in Industrie und Gewerbe	Abgase	Cl2, HCl, H2S, NO2
	Dämpfe NH3	N203
	NH4Cl, organische Lösungsmittel Stäube: Kalziumverbindungen, Karbid, Zement u.a. Mineralien	
Fäulnis organischer Substanzen aus Erdböden, Flüssen und Abwässern	Biogas	Methan, CH4, CO2
Tierische Ausscheidungen	H2S,N Dämpfe NH4 Cl	

Tabelle 1: Korrosionsfaktor Luft

Weitere Faktoren: Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Temperaturschwankungen, Bestrahlungsintensität, Staubgehalt und Staubzusammensetzung.

Achtung! Staub ist ein wesentliches Transportmittel der Schadstoffe.

Eng verbunden mit dem Korrosionsfaktor Luft sind die Korrosivitätskategorien.

2.3.3 Korrosivitätskategorien

Bei der Bewertung von möglichen korrosiven Schädigungen an Metallobjekten ist die Einschätzung der Umgebungsbedingung von entscheidender Bedeutung. Dabei ist nicht nur auf die derzeitige Umgebungsbedingung zu achten, sondern auch ggf. Untersuchungen auf frühere Umgebungsbedingungen im Kontext zur Standzeit des Objektes durchzuführen. Bsp. Eine entindustrialisierte Landschaft, derzeit Korrosivitätskategorie C 2 oder C3, wies vor Jahrzehnten noch eine Klassifizierung von C5 auf. Was steckt nun hinter der C plus Ordnungszahl? Eine vielleicht vermutete französische Automarke jedenfalls nicht.

Die Korrosivitätskategorie wurde noch vor Jahren in der geltenden DIN 55928 Teil 1 in fünf verschiedene Atmosphärentyp eingeteilt:

1. R (Raum)
2. L (Land)
3. S (Stadt)
4. I (Industrie)
5. M (Meer)

Hinter diesen Atmosphärentypen standen flächenbezogene Masseverlustraten (MVR) der Metalle Zink und Stahl.

In der novellierten DIN EN ISO 12944-2 erfolgt ein Austausch der Atmosphärentypen gegen den Begriff Korrosivitätskategorie. Die gemeinsame Grundlage der Einteilung in Bezug ist die flächenbezogene Masseverlustrate (MVR) der Metalle Zink und Stahl im ersten Jahr ist geblieben. Nachfolgend habe ich für Sie eine plakative Übersichtstabelle zu den Korrosivitätskategorien ausgearbeitet:

Korrosivitätskategorie	Beispiele für typische Umgebung in einem gemäßigten Klima	Beispielbilder
C1= unbedeutend Masseverlust bei unlegiertem Stahl g/m^2 <=10 Dickenabnahme in µm <=1,3 Masseverlust bei Zink g/m^2 <=0,7 Dickenabnahme in µm <=0,1	Nur innen! Geheizte Gebäude mit neutraler Atmosphäre, z.B. Büros, Läden, Schulen... Temperiert und oder klimatisiert	 Bsp. Wohnraum Bsp. Museum
C2= gering Masseverlust bei unlegiertem Stahl g/m^2 >10-200 Dickenabnahme in µm >1,3-25 Masseverlust bei Zink g/m^2 >0,7-5 Dickenabnahme in µm >0,1-0,7	Außen: Atmosphären mit geringer Verunreinigung. Meist ländliche Bereiche	 Bsp. ländl. Umgebung

Korrosivitätskategorie	Beispiele für typische Umgebung in einem gemäßigten Klima	Beispielbilder
	Innen: Ungeheizte Gebäude, wo Kondensation stattfinden kann, z.B. Lager- und Sporthallen	Bsp.: Lagerhalle
C3= mäßig Masseverlust bei unlegiertem Stahl g/m^2 >200-400 Dickenabnahme in µm >25-60 Masseverlust bei Zink g/m^2 >5-15 Dickenabnahme in µm >0,7-2,1	Außen: Stadt- und Industrieatmosphäre, mäßige Verunreinigungen durch Schwefeldioxid. Küstenbereiche mit geringer Salzbelastung	Bsp.: Innenstadt
	Innen: Produktionshallen mit hoher Feuchte und etwas Luftverunreinigung, z.B. Anlagen zur Lebensmittelherstellung, Wäschereien, Brauereien, Molkereien	Bsp. : Milchwerk
C4= stark Masseverlust bei unlegiertem Stahl g/m^2 >400-650 Dickenabnahme in µm >50-80 Masseverlust bei Zink g/m^2 >15-30 Dickenabnahme in µm >2,1- 4,2	Außen: industrielle Bereiche und Küstenbereiche mit mäßiger Salzbelastung	Bsp.: Gebäude in Küstennähe
	Innen: Chemieanlagen, Schwimmbäder, Bootschuppen über Meerwasser	Bsp.: NaCl Aufbereitungsanlage
C5-I=sehr stark (Industrie) Masseverlust bei unlegiertem Stahl g/m^2 >650-1500 Dickenabnahme in µm >80-200 Masseverlust bei Zink g/m^2 >30-60 Dickenabnahme in µm >4,2-8,4	Außen: industrielle Bereiche mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre	Bsp. Zuckerfabrik

Korrosivitätskategorie	Beispiele für typische Umgebung in einem gemäßigten Klima	Beispielbilder
	Innen: Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung	Bsp. Maischeaufbereitung in einer Saline
C5-M=sehr stark (Meer) Masseverlust bei unlegiertem Stahl g/m^2 >650-1500 Dickenabnahme in µm >80-200 Masseverlust bei Zink g/m^2 >30-60 Dickenabnahme in µm >4,2-8,4	Außen: Küsten- und Offshorebereiche mit hoher Salzbelastung	Bsp. Offshoreanlage
	Innen: Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung	Siehe Bild C4/Außen

Tabelle 2: Plakativer Überblick zu den Korrosivitätskategorien, Aufnahmen Bernhard Mai.

2.3.4 Korrosion im Wasser

Im reinen Wasser können keine Korrosionsprozesse stattfinden.

Eisen korrodiert in destilliertem Wasser stark durch den hohen Sauerstoffgehalt (daher beim Wässern von Eisen mit NaOH arbeiten).

Die Stärke von normalem Wasser auf das Korrosionsverhalten richtet sich nach den Inhaltsstoffen und ihrer Menge.

Wassertyp	Inhaltsstoffe
Industrieabwässer	Ammoniak, Salze, organische Stoffe
Moorwasser	Humussäure, Salze und Karbonate; Das Moorwasser ist sauer und weich!
Regen und Schneewasser	H_2SO_4, H_2S, CO_2 , gelöste Salze
Meerwasser	2,7 g/l NaCl und –0,8g/l andere Salze, Meerwasser ist schwach alkalisch
Oberflächenwasser	Salze und Karbonate
Mineralwasser	Salze und Karbonate
Trinkwasser	Karbonate und Fluoride
Grundwasser	Ohne freie Sauerstoffe, geringer Gehalt an Salzen, mittlere Härte
Regenwasser	CO_2, neutral, weich, sauerstoffreich
Destilliertes Wasser	neutral, gering elektrisch leitfähig

Tabelle 3: Übersicht zum Korrosionsfaktor Wasser.

Die Zunahme (von links nach rechts) von elektrochemischen Reaktionsvorgängen von Wasserinhaltsstoffen mit Metall:

H_2CO_3	CO_2	O_2	Cl	NH_3	H_2S	NaCl	SO_4	H_2S0_3	HCl	H_2SO_4

2.3.5 Korrosion von Metallen in Böden

Die Korrosion von Metallen in Böden ist abhängig von folgenden Faktoren:

1. physikalischer Aufbau des Bodens
2. Feuchtigkeitsgehalt des Bodens
3. Belüftung des Bodens (Porosität)
4. Anteil der Salze, lösliche und saure Bestandteile
5. Lebensbedingungen der Mikroorganismen im Boden
6. Vorhandensein elektrischer Ströme

Der Aufbau des Bodens wird bestimmt durch die Bodenart, Körnung und Bindigkeit:

Schema zum Bodenaufbau:

A	= Humus
B	= Boden
C	= Gestein

Bodenkomponenten: Sand, Kies, Mergel, Lehm, Ton

Natürliche Böden	Künstliche Böden
anstehender Boden	Durch Menscheneinfluss neu entstandener Boden, z.B. Besiedlung, Bestattungen, Abraum besonders aggressiv - weil diese Böden eine Vielzahl von Komponenten haben, die im natürlichen Boden nicht vorkommen

Die Bodenfeuchtigkeit ist abhängig von der Bodenart, der Bodenstruktur und dem Grundwasserzustand.

Somit unterscheiden wir in wassergeselligen und belüfteten Boden.

Aus technischer Betrachtungsweise gibt es für die Korrosion von Bauten, die sich im Wasser und Erdreich befinden, eine globale Einordnung in drei Korrosivitätskategorien:

Kategorie	Umgebung	Beispiel für Umgebungen und Stahlbauten
Im1	Süßwasser	Flussbauten, Wasserkraftwerke
Im2	Meer- und Brackwasser	Hafenbereich mit Stahlbauten wie Schleusentore, Staustufen, Molen; Offshore-Anlagen
Im3	Erdreich	Behälter im Erdreich, Stahlbundwände, Stahlrohre

Tabelle 4: Übersichtstabelle zur Korrosivitätskategorien bei Wasser, alle Aufnahmen von Bernhard Mai.

Die vorgestellten Korrosionsfaktoren auf der einen Seite und die werkstofftypischen Merkmale auf der anderen Seite sind nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

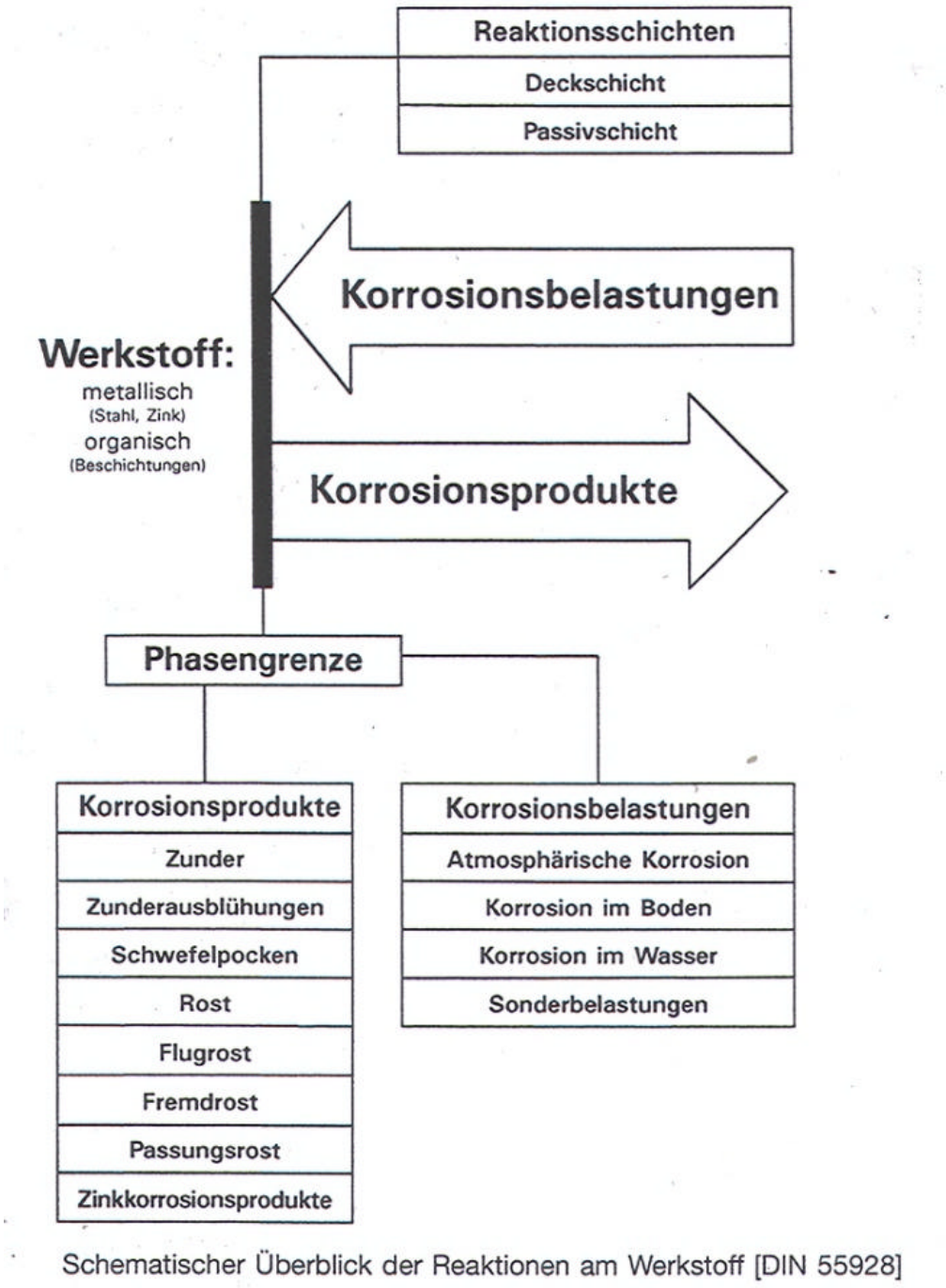

Abbildung 38: Schematischer Überblick der Reaktionen am Werkstoff, aus: Udo Peters, Korrosionsschutz durch organische Beschichtung, Hanser Verlag 1994.

2.4 Korrosionsschutzmethoden

Korrosionsschutz erfolgt dadurch, dass den Korrosionsbelastungen der Zugriff zum Werkstoff, d.h. zur Phasengrenze „Metall“, verwehrt wird. Durch Auftragen eines den Belastungen entsprechenden Korrosionsschutzsystems verschiebt man den Angriff auf die Phasengrenze Überzug und/ oder Beschichtung.

Aktive Korrosionsschutzmethode

- direkter Eingriff in den Werkstoff (Legierungen, z.B. Edelstahl);
- Vermeidung von Kontaktstellen von Metallen mit unterschiedlichen Spannungspotentialen oder Umkehrreaktion.

2.4.1.1.1 Passive Korrosionsschutzmethode

Passiver Korrosionsschutz ist die Verhinderung des Phasendurchtrittes der Metalle in Metallionen und die Verhinderung von Elektrolyten an der Metalloberfläche. Bei dem passiven Korrosionsschutz wird im jeden Falle eine Schutzschicht auf das Objekt aufgebracht. Verfahrenstechnisch betrachtet lässt sich der passive Korrosionsschutz in vier Grundoperationen zuordnen:

- Streichen,
- Spritzen,
- Tauchen,
- Rollen.

Aus restauratorischer Sichtweise unterscheiden wir in permanenten und temporären Korrosionsschutz. Das tun die Korrosionisten auch. Wir haben die Unterscheidungskriterien an den Grundsatz der Reversibilität gelegt, die Korrosionisten an die Grenznutzungsdauer einer Beschichtung/Fassung.

2.4.2 Übersicht zu permanenten Korrosionsschutzüberzügen

metallischer Überzug:

- Galvanisieren,
- Bedampfung (Kadmieren),
- Plattierung,
- Feuerverzinkung,
- Strahlverzinkung.

nichtmetallischer Überzug:

- organische Überzüge:
    - Anstriche,
    - Kunststoffbeschichtung.

-anorganische Überzüge:

- Emaillieren,
- Phospatieren,
- Chromatieren,
- Brünieren.

2.4.3 Temporärer Korrosionsschutz im Sinne der Restauratoren

-Wachse (hoch-und niedermolekulare Wachse),

-Öle (trocknende, d.h. auch alkalisch wirkende Öle),

-Fette (z.B. Wollfett).

Diese Korrosionsschutzüberzüge, insbesondere Wachs, sind des Restaurators liebste Überzüge, denn sie sind transparent, reversibel und zeitlich begrenzt in ihrer Standzeit.

2.4.4 Temporärer Korrosionsschutz im Sinne der Korrosionsschützer

Der temporäre Korrosionsschutz definiert alle pigmentierten und unpigmentierten Beschichtungen als temporär, die eine Schutzdauer unter 15 Jahren haben. Diese wird in der DIN EN ISO 1944-4 wiederum unterteilt in kurz (2-5 Jahre) und mittel (5-15 Jahre).

2.4.5 Korrosionsschutzpigmente

In den pigmentierten Beschichtungsstoffen finden wir zwei Formen von Pigmenten vor. Das sind aktive und passive Pigmente. Die aktiven Pigmente sind grundsätzlich im Grundbeschichtungsstoff eingebaut. Die passiven Pigmente befinden sich in den Zwischen- und Deckbeschichtungsstoffen.

Aktive Pigmente:

Bleimennige; Zinkoxid; Zinkphosphat; Zinkstaub.

Eigenschaften:

-Verbesserung der mechanischen Eigenschaften,

-Beständigkeit möglichst gegen Säuren, Alkalien, höhere Temperaturen, UV-Strahlen,

-chemische Neutralisation von korrosionsfördernden Medien,

-Erhöhung der Alkalität (pH- Wert > 7),

-kathodische Schutzwirkung,

-Inhibierung,

- Seifenbildung und physiologisch unbedenklich bei Einhaltung der jeweiligen Schutzmaßnahmen.

Beispiel zur Wirkungsweise von aktiven Pigmenten

Bsp.: **Bleimennige** (PbO X PbO_2 (Pb_2O_3) + **Filmbildner** (hier jedoch nur Ölfarben bzw. Alkydharzfarben!!!)

$$2FeSO_4 + Pb_2O_3 \Longrightarrow Fe_2O_3 + PbSO_4 = \text{unlöslich in } H_2O$$

$$2\,FeCl_2 + Pb_2O_3 \Longrightarrow Fe_2O_3 + 2PbCl_2 = \text{wenig löslich in } H_2O$$

Wirkungsweise:

- aktive chemische Reaktion mit den Korrosionsstimmulatoren (Sulfate, Chloride).
- passivierende Wirkung durch Basizität (Bleiseifenbildung) = Verbesserung der Wasserbeständigkeit und Neutralisation bei sauren Korrosionsstimulatoren.

Achtung! Der Einsatz von Bleimennige – sehr gesundheitsschädlich beim späteren Entfernen derselben – wird in naher Zukunft nicht mehr möglich sein! Somit wird sich der Kathodenschutz z.B. durch anodische Grundierungen als Zinkstaub oder als metallischer Überzug (Feuerverzinkung oder thermische Spritzverzinkung) im Wesentlichen durchsetzen. Nach der inertisierenden Grundbeschichtung muss eine Deckbeschichtung erfolgen.

Sie hat die Aufgabe:

1. Vergrößerung der Diffusionswege,
2. Abdeckwirkung.

Hier kommen passive Pigmente und Filmbildner zur Anwendung!

Passive Pigmente:

Eisenoxid; Graphit; Eisenglimmer; Aluminiumpigment:

Eigenschaften:

- Reduzierung der Durchlässigkeit für Wasser, Sauerstoff und Korrosionsstimulatoren,
- optimaler Verbund zum Untergrund,
- Verbesserung der mechanischen, chemischen Eigenschaften,
- Erhöhung der Temperatur-, UV-Beständigkeit, Reflexion von Wärmestrahlen.

Nach all der vorangegangenen Darstellung zu Korrosionsschutzmöglichkeiten durch Überzüge bleibt die traurige Gewissheit: Die Schutzdauer der Beschichtung ist in den

meisten Fällen geringer als die vorgesehene Nutzungsdauer des Objektes. Deshalb verstehen sich alle Korrosionsschutzsysteme zugleich als Abnutzungsvorräte.

Die **Pflege und Wartung** von Beschichtungen auf Eisen- und Stahloberflächen sind u. a. an Industrieanlagen und hochwertigen Investitionsgütern (z.B. Auto) eine gängige Maßnahme, um die Lebensdauer des jeweiligen Objektes erheblich zu verlängern.

Unter dem Oberbegriff „Instandhaltung“ finden wir in der DIN 31051 folgende umfassende Erklärung:

> *„Instandhaltung sind alle Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung des Istzustandes von technischen Mitteln eines Systems“.*

Folgen wir dieser DIN-Erläuterung weiter, tritt der Begriff *Abnutzungsvorrat* in Erscheinung. Unter

> *„Abnutzungsvorrat ist die Vorratsmenge an Funktionserfüllung zu verstehen, die einer Betrachtungseinheit, d.h. der geschützte Gegenstand, bei der Herstellung oder der Instandsetzung mitgegeben wurde. Dieser Abnutzungsvorrat verringert sich durch die zeitliche Beanspruchung“.*

Mit der Einführung dieses Begriffes ist es möglich, für die verschiedenen Korrosionsarten und unterschiedliche Schadensfälle den Verlauf des Abbaus quantitativ in eine Variable zu überführen. Dadurch ist auch eine ökonomische Bewertung verschiedener Korrosionsschutzmaßnahmen möglich.

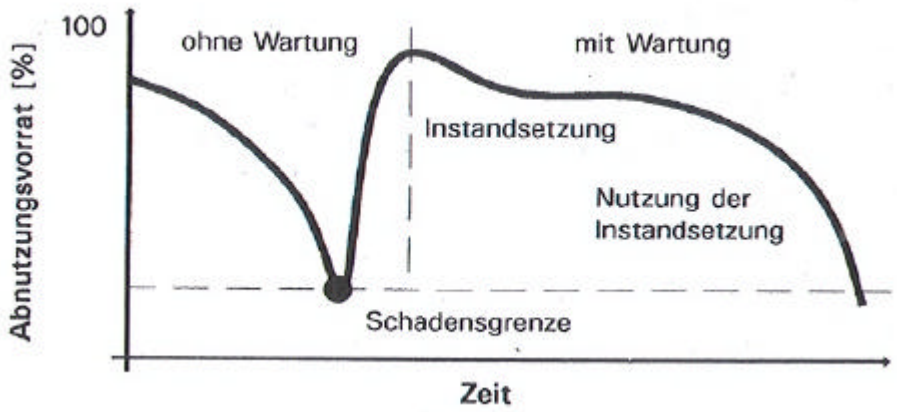

Abbildung 39: Nutzen der Wartung –Abbaukurven des Abnutzungsvorrates, aus: Udo Peters, Korrosionsschutz durch organische Beschichtung, Hanser Verlag, München 1994.

Viele Dinge macht das Diagramm uns sehr deutlich. Wir können z.B. die Lebensdauer von unserem *neuen* Auto bezogen auf den Lack deutlich verlängern. Durch einen Wachsauftrag in der Waschanlage sind wir kurze Zeit sogar über den Wert von 100%. Wir können die uns anvertrauten Objekte auch bei regelmäßiger Pflege und Wartung

bewahren, erkennen aber zugleich die Endlichkeit der Möglichkeiten unseres Handelns. So ist die Suche nach dem richtigen methodischen Ansatz sehr vielfältig bei Planung unserer Konservierungsstrategie.

Zunächst stellt sich die Frage: Korrosion oder Korrosionsschaden?

Nach der Definition der Korrosion unterscheidet man zunächst einmal zwischen Korrosionsreaktion und Korrosionsschaden. Nicht jeder Korrosionsprozess führt notwendigerweise zu einem Schaden. So ist das Rosten massiver Stahlbauteile, z.B. Eisenbahnschienen, eine Korrosion. Der hierbei eintretende Materialabtrag führt aber zu keinem Korrosionsschaden. Ein Korrosionsschaden ist die Beeinträchtigung der Funktion eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems (z.B. Tragsicherheit) durch Korrosion. Die Funktion bedeutet hier eine durch den Verwendungszweck bedingte Aufgabe des Bauteils. Ein Schaden an einem Bauteil liegt also dann vor, wenn die Funktionsfähigkeit in unzulässiger Weise beeinträchtigt ist. Neben einem Werkstoffschaden kann auch eine Beeinträchtigung durch Korrosionsprodukte, z.B. Beeinträchtigung eines geforderten dekorativen Aussehens, als Schaden angesehen werden (z.B. Rostpusteln auf einer lackierten Motorhaube eines PKW).

Abbildung 40: Potpourri verschiedener Diagnosegeräte, im Uhrzeigersinn: Ultraschallgerät, Farbmessgerät, Schichtdickenmessgerät, Gitterschnittgerät, verschiedene Farbfächer, Aufnahme von Bernhard Mai.

2.5 Technische Hilfsmittel

Zur richtigen Bewertung von Beschichtungen/Fassungen und Korrosionsschichten sind eine Reihe von technischen Hilfsmitteln zum möglichen Begleiter des Restaurators geworden.

Das sind Schichtdickenmessgeräte, Ultraschallgeräte, Farbmessgeräte und Farbkarten sowie ein Gitterschnittgerät

Schichtdickenmessgerät:

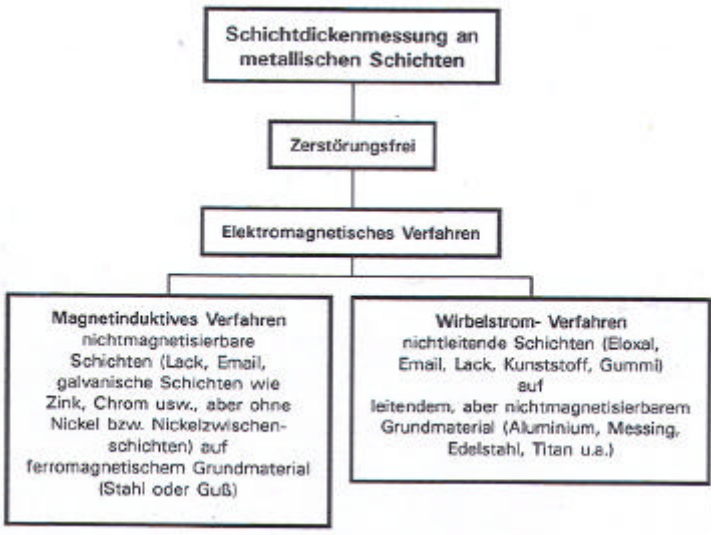

Abbildung 41: Überblick zur Schichtdickenmessung, aus: Udo Peters, Korrosionsschutz durch organische Beschichtung, Hanser Verlag, München 1994.

Funktion und Nutzen im Einzelnen:

Die Benutzung von Schichtdickenmessgeräten zählt zu den zerstörungsfreien Prüfverfahren. Mit ihnen können Schichtstärken von Beschichtungen/Fassungen – neue wie alte – ermittelt werden. Bei der Feststellung von Schichtstärken (Trockenschichtdicke DFT) kann man überschlägig ermitteln, wie viele Beschichtungen das Objekt erhalten hat. Pro Beschichtung wird von einer Trockenschichtdicke DFT von 50 µm ausgegangen. Das hilft bei der Planung zur Anlegung einer Strategraphie. Darüber hinaus sind Schichtdickenmessgeräte zur Bestimmung von Korrosionsschichtdicken wichtig. Z.B. bei der Patinabewertung von Objekten aus Kupfer- und Kupferlegierungen.

Ultraschallprüfgeräte:

Die Verwendung von Ultraschallprüfgeräten zählt wie die Schichtdickenmessgeräte zu den zerstörungsfreien Prüfverfahren. Der Vorteil von Ultraschallprüfgeräten ist, dass sie über die Schichtstärken hinaus auch noch die Wandstärke ermitteln können. Im so genannten B-Bildmodus erfahren wir zudem auch noch, wie die für uns nicht sichtbare Innenseite beschaffen ist.

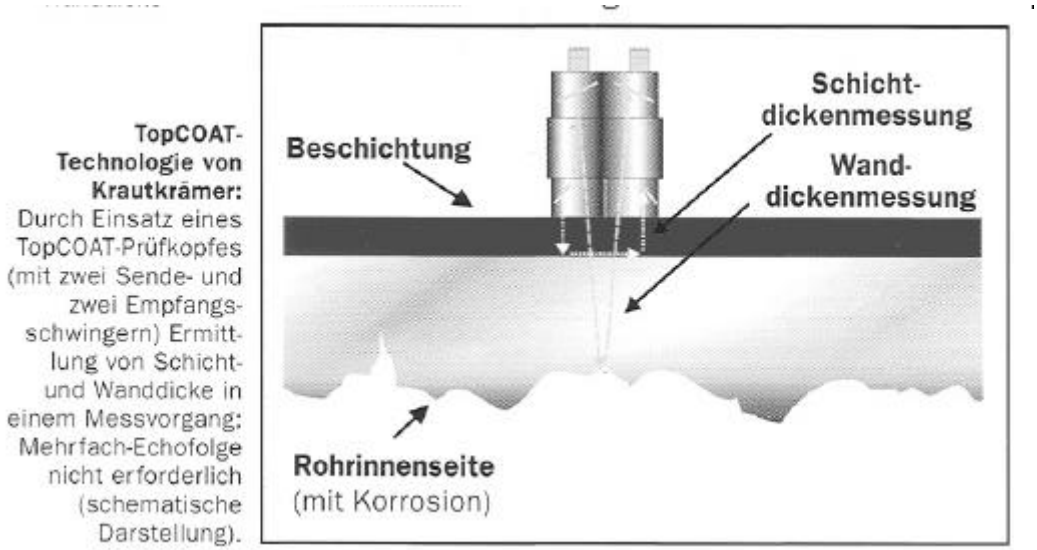

Abbildung 42: Funktionsschemata zur Ultraschallanwendung aus einem Produktprospekt der Fa. Agfa Krautkrämer.

Ein weiteres Messgerät, welches zerstörungsfrei arbeitet, ist ein Farbmessgerät. Dabei handelt es sich um ein fotometrisches Messgerät der Fa. Minolta. Es ermittelt per Knopfdruck unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit – rau bis poliert – der zu messenden Fläche den NCS®- Farbton (NCS®= natural color system, hat 1250 verschiedene Farbtöne, RAL hat dagegen nur 350, es gibt aber auch Übersetzungstabellen RAL zu NCS und umgekehrt). Es ist eine hilfreiche Ergänzung zu den NCS-Farbkarten. Absolute Gewissheit, jedoch nicht zerstörungsfrei, sind natürlich Probeentnahmen der Beschichtungen, die, als Querschliff präpariert, uns ganz deutlich die qualitative und mitunter auch die quantitative Zusammensetzung der Pigmente unter dem Mikroskop aufzeigen.

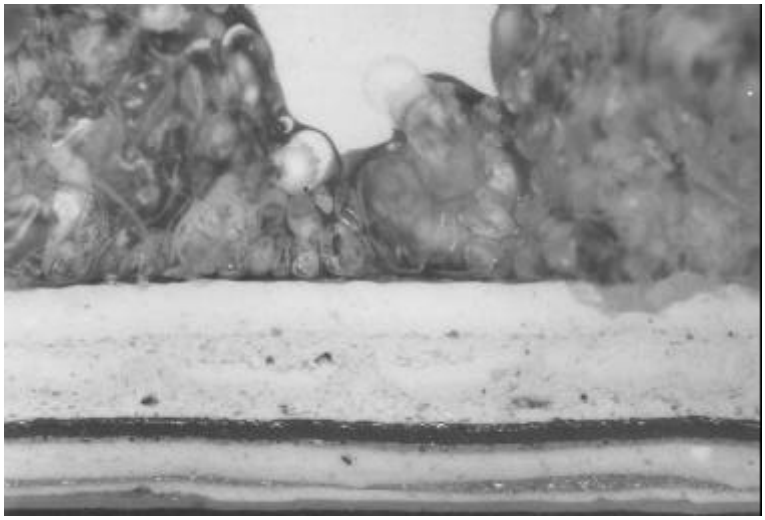

Abbildung 43: Querschliff einer Farbprobe vom Stahlversuchshaus Hugo Junkers in Dessau, 14 Farbschichten + PUR-Schaum, Aufnahme vom Büro für Kunst- und Bauforschung in Erfurt.

2.5.1 Epilog

Nachdem Sie Teil 2 des Lehrbriefes studiert haben, können Sie sicherlich erahnen, dass sich die Aufgabengebiete der Metallrestaurierung in den letzten 2 Jahrzehnten unglaublich erweitert haben. Das mache ich nicht nur an der physischen Größe der Objekte fest, die sich zwangsläufig ergeben, wenn wir die grundsätzlich überschaubaren Bereiche der kunsthandwerklichen Sammlungen der Museen verlassen. Der Korrosionsschutz nach den Regeln der Technik ist nicht mehr zwangsläufig der Feind des Restaurators oder der Restauratorin. In der Baudenkmalpflege ist es schon beinahe Standard geworden, sich sehr streng an die DIN EN ISO 12944 zu halten. Das Optimum an Korrosionsschutz hier anzuwenden ist im Gegensatz zu z.B. frei bewitterten technischem Kulturgut auch wesentlich einfacher. Können wir doch gezielt unter den farbigen Decklacken alles zur Lebensverlängerung des Objektes notwendige an aktiven und passiven Pigmenten bis hin zum Kathodenschutz durch einen anodischen Metallüberzug unterbringen. Dabei helfen moderne Bindemittel und die Kenntnis der aufzubringenden Schichtstärken in Abhängigkeit der ermittelten Korrosivitätskategorien, sehr lange Standzeiten zu erzielen. Der Korrosionsschutz z.B. bei technischem Kulturgut in klimatisierten und unklimatisierten Gebäuden ist auch hinreichend erprobt und somit weitestgehend standardisiert. Hier liegt der Schwerpunkt der zukünftigen Arbeit in der präventiven Konservierung. Dagegen sind die Prognosen für einen im Vergleich zu Baudenkmalen erhofften Langzeitschutz mit transparenten Beschichtungen bei frei bewittertem technischen Kulturgut - beschichtet wie unbeschichtet – bei dem derzeitigen Kenntnisstand und den zur Verfügung stehenden Konservierungsstoffen weniger günstig. Es muss trotz alledem oberstes Ziel bleiben, den Zeitpunkt für eine „ultima ratio“ soweit wie möglich herauszuzögern.

Kürlektüre:

DIN – Taschenbuch 286, Korrosionsschutz von Stahl durch Beschichtungen und Überzüge 4, Beuth Verlag, 1998.

Udo Peters, Korrosionsschutz durch organische Beschichtungen, Carl Hanser Verlag, München 1994.

Karlheinz Baumann, Korrosionsschutz für Metalle, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1993.

AdR-Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Schutz der Metalle gegen atmosphärische Korrosion, Heft 1, 1994.

Todor Stambolov, Rolf-Dieter Bleck, Norbert Eichelmann, Korrosion und Konservierung von Kulturgut aus Metall I, Restaurierung und Museumstechnik – herausgegeben vom Museum für Ur- und Frühgeschichte Thüringen, Weimar 1987.

Todor Stambolov, Rolf-Dieter Bleck, Norbert Eichelmann, Korrosion und Konservierung von Kulturgut aus Metall II, Restaurierung und Museumstechnik – herausgegeben vom Museum für Ur- und Frühgeschichte Thüringen, Weimar 1988.

3 Teil III: Materialbezogene restauratorische Lösungsansätze

3.1 Prolog

Wie sieht der konservatorische und restauratorische Umgang mit Objekten aus Metall in der rauen Wirklichkeit tatsächlich aus? Schaffen wir es, dem Bären das Fell zu waschen ohne ihn nass zu machen? Unter vorgehaltener Hand gebe ich zu: Das Fell wird noch immer etwas nass! Wenn wir bei dieser Metapher bleiben, ist der Grad der notwendigen Wäsche immer abhängig von dem Lebensraum des Bären und seinem Alter. Auch sind Felle von Braunbären, Eisbären, Waschbären und Pandabären recht unterschiedlich.

Weg von der Metapher hin zu den Metallen!

3.2 Kupfer und Kupferlegierungen:

Lesen Sie bitte zunächst folgende Pflichtlektüre:

Allgemeines zu Kupfer

Volker Koesling, Vom Bakelit zum Feuerstein, Band5/6 Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999, S. 170-182 (bzw. MWR Modul 4).

Vorbemerkung: Die hier dargestellten Beispiele sind grundsätzlich Objekte, die einer freien Bewitterung ausgesetzt sind. Daher sind die methodischen Ansätze zur Konservierung und Restaurierung auch auf diese Fallbeispiele bezogen. Würden wir diese Objekte in ein Umgebungsmilieu der Korrosivitätskategorie C1 temperiert und klimatisiert verbringen, würde praktisch ein geringer Handlungsbedarf bestehen. Wir könnten die Objekte so belassen oder dann im Extremfall so bearbeiten wie dargestellt.

Produktbeispiele aus Kupferblech:

Abbildung 44: Kupferblechdach, Aufnahme von Bernhard Mai.

Abbildung 45: Kyffhäuserdenkmal, Aufnahme von Bernhard Mai.

Abbildung 46: Kupfersarkophag von Gräfin Magdalene von Hohenlohe-Langenburg, Aufnahme von Bernhard Mai.

Kupfer (**CUPRUM** = Namensgebung 260 n.Chr.):

Nachfolgend habe ich für Sie eine kleine chronologische Übersicht zu Kupferwerkstoffen zusammengestellt:

Jahr	Darstellung
4800 v. Chr.	Erstes Bearbeiten von gediegenem Kupfer
3900 v. Chr.	Schmelzen von Kupfer aus Malachit
3200-1160 v. Chr.	Ägypter betrieben Bergbau (Malachit und Azurit)
1800-1700 v. Chr.	Kupfersulfidabbau und Verarbeitung bei Salzburg
Um Christi Geburt	Sulfidischer Kupferbergbau und Schmelzen von Kupfer im Römischen Reich bekannt
3000 v. Chr.	Herstellung von Bronze
3000-2500 v. Chr.	Bronzezeitbeginn in China
2500 v. Chr.	Bronzezeitbeginn in Mitteleuropa
2500 v. Chr.	Bronzezeitbeginn in Mitteldeutschland mit eigenem Kupfer- und Zinnabbau
2300 v. Chr.	Mittelmeerländer exportierten Zinn
2100-1800 v. Chr.	Cu-Arsenbronzen in Ägypten Cu-Bleibronzen in Vorderasien
2000 v. Chr.	am Oberen See in Nordamerika Bronze und gediegenes Metall von den Indianern bearbeitet
	Messing
3000 v. Chr.	in Babylon und Asyrien bekannt
1400 v. Chr.	Palästina
- bis Christi Geburt	Herstellungsrezepte für Messing gingen verloren, einher ging der Untergang des römischen Kupferbergbaus

Jahr	Darstellung
400 n. Chr.	Kupferschmieden verarbeiteten Kupferschrott während der Völkerwanderung
500 - 900	In Europa fast kein Kupferbergbau Ausnahme Frankenland, Schlesien und Karpaten, dort wurden kleine Kupferhütten installiert
920-970	Kupfer- und Silberabbau bei Goslar
1190	Entdeckung des Mansfelder Kupferschiefers
1220	Entdeckung des Kupfers in Schweden – Abbau bis heute England und Irland: Aufleben des Kupferbergbaus im Mittelalter
1300	Deutsche Bergleute brachten Erfahrungen im französischen Bergbau ein
1600	Deutschland im Kupferbergbau Nr. 1 Die Fugger beherrschten den Welthandel
1900	Maschinentechnik erhöhte enorm die Nachfrage nach Kupfer
1880	Elektrolytische Raffination des Kupfers

Weitere Kupferlegierung: **Konstantan** (60 % Cu , 40% Ni) Widerstandsdraht, z.Zt. für die Restaurierung ohne Bedeutung

3.2.1 Kupferbleche:

Lösungsansätze zu restauratorischen und konservatorischen Maßnahmen an Objekten aus Kupferblech.

Objekte aus Kupferblech haben den durchaus berechtigten Ruf der ‚Unverwüstlichkeit'. Die Korrosionsgeschwindigkeit ist nach der Bildung der basischen Kupfersulfatschicht sehr gering und somit grundsätzlich zu vernachlässigen. Jedoch sind eine Reihe anderer Schadbilder vorhanden, die restauratorische und konservatorische Arbeiten erforderlich machen.

Metalldächer: Metalldächer aus Kupferblech haben eine vorgesehene Mindesthaltbarkeit von 100 Jahren. Sie halten jedoch mindestens fünfmal so lange. Ein Problem sind immer die Undichtigkeiten, die zu einer Schädigung der darunter liegenden Holzkonstruktionen führen können. Methodischer Ansatz: Soviel Originalsubstanz retten wie möglich bei einer anstehenden Dachsanierung! Besonders wenn es sich um Kupferbleche von vor 1822 handelt. Warum? Unter anderem aus materialhistorischen Aspekten. Weil bis dahin nahezu alle Bleche aus gehämmertem Kupferblech sind. Erst 1822 errichtete man in Rothenburg an der Saale das erste Kupferblechwalzwerk in Deutschland. Damit verschwanden viele Kupferblechschmieden. Ein Teil der Arbeitsplätze ging im Kunsthandwerk und im technischen Apparatebau wieder auf.

Konservierungen: Bei Metalldächern aus Kupferblech nicht notwendig!

3.2.2 Zierrat aus Kupferblech auf Metalldächern:

Fertigungstechnik: Drücken und Treiben

Schadbilder: mechanische Schädigungen durch Beschuss und/oder Deformationen durch eingebrachte Eisenkonstruktionen (Kontaktkorrosion), Verlust der aufgebrachten Fassungen (Ölvergoldung).

Methodischer Ansatz: langfristige Sicherung des Bestandes durch die Beseitigung der mechanischen Schädigungen; Erneuerung der Stützkonstruktionen, auch in Edelstahl möglich. Neufassung der ursprünglich vergoldeten Flächen (2-fach Vergoldung, weil sie 25 + x Jahre lang hält statt 15 Jahre wie bei einer Einfachvergoldung/Grundierung mit 2K-EP)

Abbildung 47: Stützgerüst im Inneren des Kyffhäuserdenkmals, Aufnahme von Bernhard Mai.

Abbildung 48 (rechts): Genius vom Stadttheater in Gera, Aufnahme von Bernhard Mai.

Abbildung 49 (links): Stützgerüst vom Inneren des Genius, Aufnahme von Bernhard Mai.

3.2.3 Herstellungstechniken: Treiben und verschiedene Fügetechniken

Die Schadbilder sind ähnlich wie bei Metalldächern und deren Zierrat.

Methodischer Ansatz: langfristige Sicherung des Bestandes durch die Beseitigung der mechanischen Schädigungen; Erneuerung bzw. Konsolidierung der Stützkonstruktionen durch Korrosionsschutzmaßnahmen, auch völlig neue Stützkonstruktion Edelstahl möglich. Kontaktstellen zwischen Kupferhaut und Stützkonstruktion sind zur Vermeidung von Kontaktkorrosion z.B. durch zwischengeschobenen Bleiblechen zu trennen; Neufassung wie bereits beschrieben!

Kürlektüre zu Fertigungstechniken

Rudolf Einsiedel, Kunsthandwerkliche Kupferschmiedearbeiten, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1986.

3.2.4 Produktbeispiele für Galvanoplastiken

Abbildung 50: Hohlgalvanoplastik Hlg. Georg in Eisenach, Aufnahme von Bernhard Mai.

Abbildung 51: Kerngalvanoplastik vom Friedhof in Weida, Aufnahme von Bernhard Mai.

Hohlgalvanos sind grundsätzlich noch pflegeleichter als Kupferdächer. Sie sollten jedoch gereinigt werden (Nassreinigung, ganz vorsichtiges mechanisches Entfernen der Krusten). Ein Wachsüberzug – Warmwachsen – führt zu einer deutlichen Plastizität des Bildwerkes.

Kerngalvanos sind ernsthaft Sorgenkinder bei der Erhaltung. Das bezieht sich auf den Kern. Dieser Kern aus Gips, oftmals getragen von vielen Eisenarmierungen, ist, solange er keine Feuchtigkeit erfährt, völlig friedlich.

Abbildung 52: Schadbild an einer Kerngalvanoplastik, Aufnahme von Bernhard Mai.

Tritt Feuchtigkeit durch die dünne kupferne Haut der Kerngalvanoplastik ein, korrodiert die Eisenarmierung. Durch die Volumenzunahme der Korrosionsprodukte (Rost) im Verhältnis 1:10 kommt es zu Rostsprengungen, die sich durch Risse an der Kupferhaut deutlich sichtbar machen. Oftmals ist die akute Gefährdung der Standsicherheit die Folge dieses Schadensbildes.

Methodischer Ansatz: Reinigung und Konservierung wie bei der Hohlgalvano. Sicherung der Plastik durch Entnahme oder idealer Weise Teilentnahme von Kernmaterial im Bereich der geschädigten Eisenarmierung. Die fehlende tragende Funktion des Kernmaterials/Eisenarmierung wird durch ein Traggerüst aus Edelstahl/Kupfer oder Schmiedebronze ersetzt. Verbleibendes Kernmaterial und Eisenarmierung sind konservatorisch zu behandeln (Tränkungsverfahren, Korrosionsschutz). Die neuen Fügestellen sind mechanisch und durch Retusche der Oberflächentextur anzupassen.

Kürlektüre zur Restaurierung:

Brigit Meißner, Anke Doktor, Martin Mach, Bronze- und Galvanoplastik, Geschichte – Materialanalyse – Restaurierung, Arbeitsheft 5, Landesamt für Denkmalpflege Sachsen, Dresden 2001.

3.3 Bronze

Fertigungstechnik: Hergestellt grundsätzlich im Urformverfahren, d.h. verlorenes Formverfahren durch Wachsauschmelzverfahren oder im Sandgussverfahren, Oberflächenbearbeitung durch Ziselieren, div. Fügetechniken.

Das Material Bronze ist vom Grundsatz her auch nahezu unverwüstlich.

Methodischer Ansatz: Reinigung und Konservierung erfolgt je nach Oberflächenbeschaffenheit und Schädigungsgrad mechanisch (Skalpelle, Schaber oder Strahlen) oder thermisch (Laserreinigung). Die Konservierung erfolgt im Warmwachsverfahren.

Abbildung 53: Buchenwalddenkmal von Prof. Fritz Cremer kurz vor der Fertigstellung, Archivmaterial der Stiftung Gedenkstätte Buchenwald.

Ein kleiner Praxisbericht soll nachfolgend die verschiedenen Teilaspekte bei der Bearbeitung von Bronzen erläutern.

Das Buchenwalddenkmal von Prof. Fritz Cremer wurde nach mehrjähriger Planung und Herstellung im Jahre 1959 auf dem Gedenkstättenkomplex des ehemaligen KZ Buchenwald unterhalb des Glockenturmes errichtet.

Der Hauptgrund der Restaurierungsarbeiten am Denkmal war es, die Korrosionsschäden an der Trägerkonstruktion zu beheben.

Es war das Ziel aller nachfolgend geschilderten Maßnahmen, dass das Buchenwalddenkmal nach seiner Restaurierung seine ihm zugedachte wesentliche Rolle

im Gedenkstättenkomplex wieder erfährt. Dazu war es vor allem notwendig, die statische Sicherheit des Denkmals wieder herzustellen sowie die Figuren hinsichtlich ihrer individuellen – zumeist herstellungsbedingten – Schädigungen zu behandeln.

Für die Behandlung der Bronzeoberflächen bedeutete das, eine sensible Annäherung an das äußere Erscheinungsbild von 1959 zu schaffen. Die restauratorischen Behandlungsschwerpunkte lagen dabei in der Entfernung der noch verbliebenen Kernformstoffe und der Kerneisen, der Sicherung der Figur des Fahnenträgers mit der Fahne als Sonderfall, das Schließen und Stabilisieren von Brüchen und Rissen infolge von Rost- und Frostsprengungen und das Freilegen, Reinigen und Konservieren der Bronzeoberflächen.

Beginnen wir mit dem letztgenannten Punkt der Oberflächenbearbeitung. Zur Diskussionsgrundlage der Entscheidungsfindung hinsichtlich der Technologie und des Freilegungsgrades diente die Figur des Knaben. Hier wurde in Längsachse die Figur in eine bearbeitete und in eine unbearbeitete Fläche geteilt. Zum besseren Verständnis der durchgeführten Maßnahmen ist an dieser Stelle eine kurze Erläuterung zum Begriff Patina notwendig.

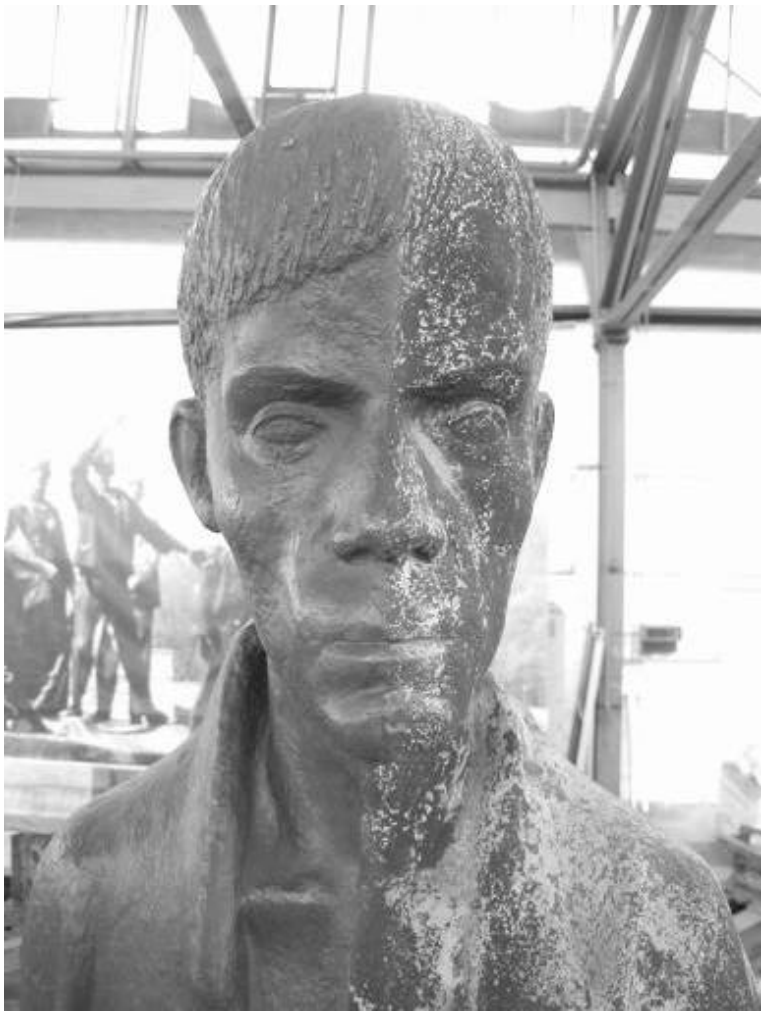

Abbildung 54: Probefläche zur Reinigung an dem „Knaben", Aufnahme von Bernhard Mai.

3.3.1 Probefläche an der Figur des Knaben

Die Figuren und die Plinthe zeichneten sich durch eine unregelmäßige grün-schwarze Oberfläche aus. Diese Oberflächenfärbung wird als Patina bezeichnet. Sie ist eine korrosive Schicht, die sich durch Einwirkung von Chemikalien und Bestandteilen der Luft bildet.

Die Patina bei Kupfer und Kupferlegierungen ist grundsätzlich in Edelpatina oder bösartige Patina zu unterscheiden. Der Geschmack der jeweiligen Zeitepoche bestimmte die oft recht unterschiedlichen Patinatöne. Im 19. Jahrhundert erzeugte man auf Objekten aus Kupfer und Kupferlegierungen zielgerichtet eine künstliche Patina. Auch das Buchenwalddenkmal wurde patiniert. Hierfür war nicht nur der Zeitgeschmack verantwortlich. Die Figuren wurden im sogenannten Teilformverfahren gefertigt. Dieses seit dem 19. Jahrhundert bei Großbronzen übliche Kunstgussverfahren bedeutet, dass Arme, Beine, Rumpf und Kopf der jeweiligen Figur einzeln gegossen und im Nachgang mit speziellen Fügetechniken montiert worden sind. Durch die Verwendung verschiedener Legierungen bei den zu gießenden Einzelteilen – es wurde ausschließlich Altmetall (Schrott) als Gussmaterial verwendet, somit war jede Gattierung eher Zufallsprodukt – war eine Vielfarbigkeit vorprogrammiert. Die Farbpalette reicht dabei von goldgelb bis rot. Daher war der kleinste gemeinsame Nenner ein Dunkelton bei der vorgenommenen Patinierung, um eine wohl gewünschte Einheitlichkeit des Erscheinungsbildes der Figurengruppe zu ermöglichen.

Durch Befragung von Zeitzeugen und vorhandenes Bildmaterial war zu erfahren, dass das ursprüngliche Patinabild zum Zeitpunkt der Aufstellung der Buchenwaldgruppe ein materialsichtiger Braun- bis Schwarzton war.

Die an den noch unbehandelten Figuren sichtbare schwarze Kruste enthält einen großen Anteil von Kupfer(II)-oxid, aber auch Kupfersulfid. Diese Oberfläche entstand maßgeblich durch die natürliche Alterungskorrosion und durch Luftverunreinigungen. Auffällig sind die grünen Patinaflächen. Sie bestehen aus einem hohen Anteil von basischen Kupfersulfaten. Diese langwierige Patinabildung erfolgte nach folgender Reaktion:

(1) $2Cu + \frac{1}{2} 0_2 + H_2SO_4 \Longrightarrow Cu_2O + H_2SO_4$

(2) $2Cu_2O + SO_2 + {}^3/_2\, O_2 + 3\, H_2O \Longrightarrow CuSO_4 \times 3\, Cu(OH)_2$

Das basische Kupfersulfat (Bronchantit $CuSO_4 \times 3\, Cu(OH)_2$) wirkt bei unlegiertem Kupfer praktisch unbegrenzt wie eine Art Schutzschicht.

Durch die Verwendung von Rotguss ist ein vollständiger Überzug der Bronzeoberfläche mit der basischen Kupfersulfatschicht nicht zu erwarten. Ebenso ist die fleckige und scharf abgegrenzte Inselbildung grüner und schwarzer Bereiche die Folge der

ausschließlichen Verwendung von Altmaterial als Gießmaterial. Bei der Verwendung von mehr als 40% Altmaterial bzw. Kreislaufmaterial als Gießmetall tritt das Phänomen der metallurgischen Inzucht mit all seinen Fassetten auf. Grundsätzlich hat Rotguss die gleichen Gusseigenschaften wie eine Zinnbronze. Ein Teil des Zinns wird hierbei jedoch durch Zink und Blei ersetzt. Das Material Rotguss wird bei Gleitlagern, hochbeanspruchten Armaturen und Schneckenrädern eingesetzt.

Die Krustenbildung ist stark und weist Krakelluren auf. Die im Wirbelstromverfahren gemessenen Schichtstärken betrugen bis zu 500 µ. Aus diesem Grund ist ein verstärktes Korrosionsverhalten und damit einhergehender Materialverlust gegeben.

Auf den Vertiefungen der Plinthe sind partiell Lochfraßerscheinungen sichtbar.

Die zu Restaurierungsbeginn so beschriebene Oberfläche ist ein Beleg für mangelnde Pflege und somit nicht untypisch für freibewitterte Plastiken aus Bronze.

Bei der Freilegung von Krusten und Korrosionsprodukten auf Bronzeoberflächen gibt es in der Restaurierung recht unterschiedliche Auffassungen. In Deutschland ist die Freilegung der originalen Oberfläche mit Hilfe von Skalpellen, Schabewerkzeugen und Fasserhämmern eine seit Jahren gebräuchliche Methode. Hinzu gekommen ist in den letzten Jahren das Reinigen der Oberflächen mit Lasergeräten. In Ländern wie den USA und Schweden werden diese Schichten durch Strahlverfahren abgetragen. Bei der Bearbeitung der Buchenwaldgruppe kommen beide Freilegungstechniken zur Anwendung, wobei die Technologie des Strahlenverfahrens eindeutig dominiert.

Abbildung 55: Momentaufnahme bei der Bearbeitung des Buchenwalddenkmals, Aufnahme von Bernhard Mai.

Warum also an dem Objekt dieser Traditionsbruch in der Freilegungstechnologie? Die Anwendung von Skalpellen und Schabewerkzeugen hat ihren festen Platz bei der

Behandlung freibewitterten Metallobjekten aus Bronze der Renaissance bis zum 19. Jahrhundert. Hier finden wir grundsätzlich durch den Ziselierprozess an den Gussstücken eine glatte und nahezu polierte Oberfläche vor. Die genannten Freilegungswerkzeuge nehmen kontrolliert die Krusten bis zur noch vorhandenen originalen Oberfläche ab bei zeitgleicher Verdichtung der unter diesem Niveau liegenden Alterungspatina. Eine Freilegungstechnologie, die sich nicht auf die Buchenwaldgruppe übertragen ließ. Klammern wir mal an dieser Stelle das verwendete ohnehin sehr problematische Gussmaterial aus und gehen auf die Betrachtung der Herstellungsspuren im doppelten Sinne ein.

Herstellungsspur 1:

Prof. F. Cremer modellierte die Figuren, welche zugleich als Gussmodelle dienten, aus Gips. Seine auf dem Gipsmodell dominant hinterlassen Bearbeitungsspuren wurden 1:1 von den Gießereien auf den fertigen Guss übertragen.

Herstellungsspur 2:

Die Gießereien entfernten nach dem Guss die Formstoffe durch Sandstrahlen, ließen die Oberflächen bis auf die Bereiche der Verbindungstechniken völlig unbearbeitet! D.h. die offensichtlich gewollte gussraue Oberfläche zeigt die Spuren beider Herstellungsprozesse in aller Deutlichkeit.

Die Technologie des Strahlens hat sich in den letzten Jahren in atemberaubender Weise gerade auf dem Gebiet der Restaurierung rasant entwickelt. Bei Freilegung der Oberflächen der Buchenwaldgruppe kam ein Niederdruckstrahlgerät mit Mikrostrahlkopf zum Einsatz. Als Strahlgut wurde ein mineralisches Granulat für Nichteisen-Metalle verwendet. Auf die ständig wechselnden Oberflächensituationen konnte man sehr gut durch Strahlabstand, Strahlwinkel und Strahldruck reagieren. Das Freilegungsergebnis war eine kompakte Kupferoxidschicht mit erhaltenen basischen Kupfersulfatflächen.

Nach dem Freilegungsprozess erfolgte ein mehrtägiges Waschen der jeweiligen Figur mit destilliertem Wasser. Dadurch konnte ein Großteil der oberflächennahen löslichen Salze reduziert werden.

Um eine einheitliche Oberflächenformulierung aller Bronzeoberflächen zu erreichen, wurde eine lasurartige Patinierung vorgenommen. Im Nachgang erfolgte ein 2-stufiger Korrosionsschutz. Als erstes wurde die Figur bzw. das behandelte Plinthenteil mit einem Inhibitor (Korrosionshemmer) behandelt. Dabei wird Benzotriazol (BTA) in Ethanol gelöst auf die auf 60° C erwärmte Bronzeoberfläche gebracht. Der 2. Konservierungsschritt war der Prozess des Warmwachsens mit einem mikrokristallinen Wachs. Ein Verdichten des Wachsfilmes auf der Bronzeoberfläche schloss zunächst den Vorgang an dieser Stelle ab.

Neben der Oberflächenbearbeitung erfolgten notwendige statisch sichernde Eingriffe an den Figuren. Der Hauptaugenmerk galt dabei der Ertüchtigung funktionslos gewordener Fügestellen an den Bronzen. Verbindungstechniken wie Schweißnähte und Verschraubungen sind an einem Großteil der Figuren zwischen Plinthe und dem Schuhwerk im System durch Rost und Frostsprengung gestört. Hier galt es diese Stellen durch spezielle Schweißverfahren zu sichern. In drei Figuren sind nach dem Gießprozess die Kernformstoffe mit den dazugehörigen Kerneisen nicht entfernt worden. Hier wurden minimale Zugänge in die Bronze geschaffen. Zunächst wurden die Kernformstoffe, welche aus Lehmsand, Ölsand bzw. Gips-Schamotte bestanden, entfernt. Die unterschiedlichen Kernsande rühren aus den unterschiedlichen Formverfahren der mit der Herstellung der Buchenwaldgruppe beauftragten Gießereien. Die Kerneisen wurden dann im Plasmaverfahren so klein geschnitten, dass sie durch die geschaffenen Zugänge entnommen werden konnten. Das Plasmaverfahren bot nicht nur die Möglichkeit der kleinstmöglichen Zugänge, es konnte auch mit diesem Verfahren ein unnötiger Wärmeeintrag auf die Bronze reduziert werden. Dann wurden auch diese Bereiche durch Schweißen geschlossen. Alle Schweißnähte sind im Nachgang so ziseliert worden, dass eine 100%ige Angleichung der Oberflächenformulierung an den originalen Bestand erreicht werden konnte.

Verschiedenartige Risse, unvollständig ausgebildete Schweißnähte sowie undichte Fügenähte wurden, soweit sie nicht von statischer Bedeutung waren, mit Blei geschlossen. Dazu wurde Walzblei in die Risse eingelegt und mit Ziselierpunzen verstemmt. Im Nachgang erfolgte ein Glätten der Bleioberfläche durch das Anreiben mit einem Polierstahl. Der dabei erzielte Effekt ist vergleichbar mit einer zahnmedizinischen Plombenüberarbeitung. Durch das Anpolieren wird ein korrosiver Angriff der Bleioberfläche reduziert, zugleich wird eine mögliche Kapillarbildung zwischen Blei und Bronze vermieden. Die Vielzahl der originalen Bleiplomben an den Bronzen wurde im gleichen Verfahren in ihrer Funktion ertüchtigt bzw. wie beschrieben ergänzt.

Abbildung 56: Restauriertes Buchenwalddenkmal, Aufnahme von Bernhard Mai.

Die gesamte Spannbreite der Herstellung und Behandlung von Bronzen ist in der nachfolgenden Kürlektüre umfangreich geschildert.

Kürlektüre zur Restaurierung

Martin Mach (Hrsg.) Metallrestaurierung, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 94, Karl M. Lipp Verlag, München 1998.

Birgit Meißner, Anke Doktor, Martin Mach, Bronze- und Galvanoplastik, Geschichte-Materialanalyse-Restaurierung, Arbeitsheft 5, Landesamt für Denkmalpflege Sachsen, Dresden 2001.

Hermann Born, Restaurierung antiker Bronzewaffen, Band 11, Sammlung Axel Guttmann, Verlag Philipp von Zabern, Mainz 1993.

Hermann Born, Archäologische Bronzen + antike Kunst + moderne Technik, Staatliche Museen Preußischer Kulturbesitz, Berlin 1985.

Barbara Irig, Theorien und Konzepte zur Bronzekonservierung von 1860 bis zu Beginn der 40er Jahre, Institut für Museumskunde an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart 1992.

Kürlektüre zu Herstellungstechniken und Kunstgeschichte

Hermann Luer, Technik der Bronzeplastik, Monographien des Kunstgewerbes IV, Verlag von Hermann Seemann Nachf. in Leipzig, 1902.

Hermann Luer, Geschichte des Metallkunst, Erster Band, Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart, 1904.

Reinhard Büll, Vom Wachs, Hoechster Beiträge zur Kenntnis der Wachse, Band 1, Farbwerke Hoechst AG 1959.

Jennifer Motagu, Bronzen, Parkland Verlag, Stuttgart 1963.

Götz Lahuse, Edilberto Formigli, Römische Bildnisse aus Bronze, Kunst und Technik, Hirmer Verlag, München 2001.

3.4 Zink

Lesen Sie bitte die Pflichtlektüre:

Allgemeines zu Zink:

Volker Koesling, Vom Bakelit zum Feuerstein, Band5/6 Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999, S. 191-194 (bzw. MWR Modul 4).

Zink: Zink (Zn) zincum (lat.)

Schmelzpunkt: 419,4° C

Wertigkeit: II

Minerale:

- Zinkblende (Sphalerit) ZnS
- Zinkspat (edler Galmei; Smithsonit) $ZnCO_3$
- Kieselzinkerz (gemeiner Galmei; Hemimorphit) $Zn_4 (OH)_2Si_2O_7 \times H_2O$

Geschichte:

- zum Altertum kein Nachweis,
- erste Zinkblechfunde an der Nordseite der Akropolis,
- in Europa seit dem Ende des Mittelalters bekannt, im Orient früher,
- Ende des 16. Jahrhunderts Export von Indien nach Europa,
- 1617 erste Beschreibung über hüttenmäßige Verwendung in Goslar, (Rammelsberg / im Zusammenhang mit der Bleigewinnung),

- Ende des 18. Jahrhunderts Walzversuche (Blech),
- Patent für Warmwalzen (115-165 C°),
- Dachdeckung (anfangs gelötet – später gewalzt),
- Bedeutung seit 1838 als Architekturteile und Bildwerke in Zinkguss.

Gewinnung : Rösten, Reduktion mit Kohle, Destillation

Farbe: bläulich -weiß

Säuren und Laugen können Zink lösen (heftige Reaktionen!).

Cl, SO_2 Ionen wirken sich schädlich auf Zink aus.

Legierungen: ***Messing, Tombak und Neusilber*** enthalten Zink in Mengen unter 50%. ***Zink-Knet- und Spritzgusslegierungen*** enthalten neben einem Zinkgehalt von über 90% kleine Mengen an Kupfer, Aluminium und Magnesium.

Verwendung heute: Legierungsmetall, zum Verzinken von Eisen und Stahl, Anoden galvanischer Elektrolyte, Bleche

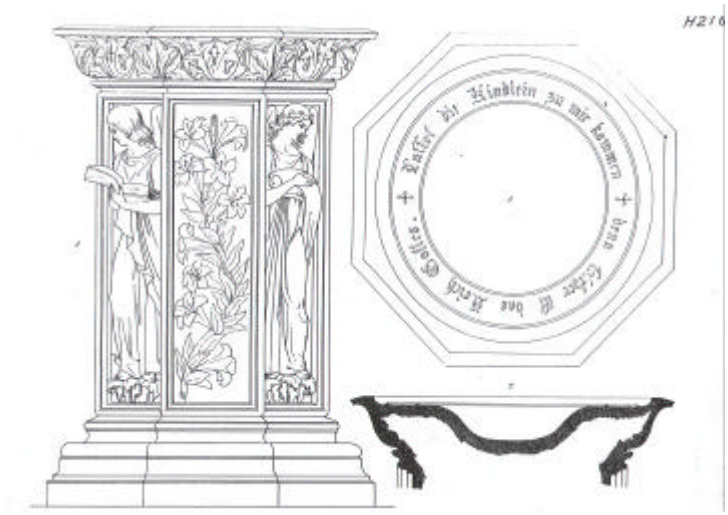

Abbildung 57: Produktbeispiel „Taufbecken" aus dem Katalog von Moritz Geiß 1856.

3.4.1 Herstellungstechniken bei Zinkobjekten:

Die Spannbreite der Herstellungstechniken bei Zinkobjekten ist sehr eng gefasst. Zum einen gibt es die gegossenen Zinkteile, die in verlorenen Formen bzw. Dauerformen gefertigt worden sind. Alle übrigen Zinkobjekte sind aus gewalzten Blechen gefertigt worden. Diese sind durch Treiben, Drücken, Kanten und Rollen in ihre angedachte Form gebracht worden. Das Weichlöten ist die gängige Fügetechnik. Bei Blecharbeiten ist auch das Falzen gebräuchlich.

3.4.2 Oberflächenbehandlung

Grundsätzlich sind alle Zinkobjekte beschichtet/gefasst worden. Dazu kamen ölige Farben bzw. metallische Überzüge (Galvanisieren) zur Anwendung. Gut erhaltene Primärfassungen an Zinkobjekten sind prinzipiell nur in Innenräumen anzutreffen. Hinweise auf die Erstbeschichtungen an frei bewitterten Bauteilen aus Zinkguss bzw. – blech sind zumeist nur an geschützten Bereichen oder an der Rückseite zu finden.

3.4.3 Schadformen

- Mechanische Schäden durch Gewalt, durch das Eigengewicht des Materials;
- Korrosive Schädigungen, dadurch Verlust der Farbfassung.

Konservierung

Die im Innenraum überdauerten Objekte bedürfen kaum einer intensiven Bearbeitung – außer Reinigung, Konservierung und ggf. Retusche oder Sicherung loser Fassungen. Die Zinkobjekte aus Guss wie Blech im frei bewitterten Zustand sind oftmals statisch zu sichern und in den meisten Fällen neu zu beschichten/fassen.

Abbildung 58: Gedenktafel aus Zinkguss und -blech vor restauratorischen Behandlung, Aufnahme von Bernhard Mai.

Abbildung 59: Gedenktafel aus Zinkguss und -blech nach der restauratorischen Behandlung, Aufnahme von Bernhard Mai.

Kürlektüre:

Peter Mottner/Martin Mach (Hrsg.), Zinkguss – Die Konservierung von Denkmälern aus Zink, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 98, München 1999.

3.5 Zinn

Lesen Sie bitte zunächst die Pflichtlektüre:

Allgemeines zu Zinn:

Volker Koesling, Vom Bakelit zum Feuerstein, Band5/6 Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999, S. 189-191 (bzw. MWR Modul 4).

Abbildung 60: Zinnsarkophag aus dem Weißenfelser Erbbegräbnis, Aufnahme von Bernhard Mai.

3.5.1 Herstellungstechniken bei Zinnobjekten:

Grundsätzlich sind und werden nahezu alle Zinnobjekte gegossen. Dieses geschah und geschieht durch Dauerformen aus Holz, Gips, Stein (Schiefer) und Metall. Im verlorenen Formverfahren finden die Sandform und/oder Gipsformen ihre Verwendung.

3.5.2 Oberflächenbehandlung:

Alle Zinnobjekte sind durch z.B. durch Gravieren, Ziselieren und Polieren auf ihren Oberflächen endbehandelt worden. Gelegentlich sind Zinnoberflächen farbig gefasst worden. Beispiele hierfür sind bei Särgen bekannt.

3.5.3 Schadformen:

Mechanische Schäden durch Gewalteinwirkung, durch Übernutzung, durch das Eigengewicht des Materials (sog. Kriechen).

Korrosive Schädigungen durch elektrochemische Korrosionsformen, Verlust der Farbfassung.

3.5.4 Konservierung:

Die im Innenraum überdauerten Objekte bedürfen kaum einer intensiven Bearbeitung – außer Reinigung, Konservierung und ggf. Retusche oder Sicherung loser Fassungen. Eine

Konservierung der Zinnobjekte sollte nur mit temporären Korrosionsschutzüberzügen in Form von Wachsen erfolgen.

Kürlektüre zur Restaurierung und Konservierung von Särgen:

Potsdamer Beiträge zur Konservierung und Restaurierung, Jörg Freitag, Zinnsärge, S. 73-92, FH Potsdam, FB Restaurierung, 2005.

Vom Totenbaum zum Designersarg, Zur Kulturgeschichte des Sarges von der Antike bis zur Gegenwart, Bernhard Mai, Die Restaurierung eines Zinnsarkophages aus dem Weißenfelser Erbbegräbnis, S. 70-75, Museum für Sepulkralkultur 1993.

Kürlektüre zu Herstellungstechniken:

Rolf Dwenger, Kunsthandwerkliches Zinngießen, Fachbuchverlag Leipzig, 1982.

Hanns-Ulrich Haedeke, Zinn, Verlag Koehler & Amelang, Leipzig 1974.

Hermann Luer, Geschichte des Metallkunst, Erster Band, Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart 1904.

3.6 Eisen- und Stahlobjekte

Lesen Sie bitte die Pflichtlektüre:

Allgemeines zu Eisen:

Volker Koesling, Vom Bakelit zum Feuerstein, Band5/6 Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999, S. 158-169.

3.6.1 Grundsätzliches

Objekte aus Eisen und Stahl sind bei freier Bewitterung unsere häufigsten Patienten. Vernachlässigen wir sie, zeigen sich sofort Korrosionserscheinungen. Mechanische Schädigungen sind nur durch Gewalt und Übernutzung der Objekte möglich, aber auch als Folge von Korrosionsschäden.

Herstellungstechniken bei Eisen- und Stahlobjekten: Grundsätzlich sind bei Eisen- und Stahlobjekten alle im Teil 1 dargestellten Herstellungs- und Fertigungstechnologien anzutreffen.

Oberflächenbehandlung: Alle Eisen- und Stahlobjekte sind bis auf wenige Ausnahmen bei einer freibewitterten Exposition aus Gründen des Korrosionsschutzes beschichtet. Objekte aus Eisen und Stahl in Innenräumen (Korrosivitätskategorie C1), wie z.B. Waffen, Uhren, optische Geräte, Beschläge an Möbeln, Maschinen und Anlagen usw., besitzen zumeist nur aus dekorativen Zwecken einen Korrosionsschutzüberzug.

Methodischer Ansatz: Ergänzungen bei frei bewitterten Objekten erfolgen in den klassischen, jeweils objektspezifischen Herstellungs- und Fügetechnologien. Die Korrosionsschutzmaßnahmen sollten grundsätzlich nach dem aktuellen Stand der Korrosionsschutztechnik erfolgen (bei freier Bewitterung). Alternativ sind Dauerpflegemaßnahmen mit temporären Korrosionsschutzüberzügen möglich. Der Verzicht auf jegliche Korrosionsschutzmaßnahme ist auch unter bestimmten Bedingungen möglich.

Abbildung 61: Materialschacht 407 der WISMUT GmbH in Ronneburg, Aufnahme von Bernhard Mai (links), Petersenschacht in Sondershausen (rechts), Aufnahmen von Bernhard Mai.

Die Spannbreite von Verzicht auf aktive Korrosionsschutzmaßnahmen bis zu einem „schweren“ Korrosionsschutz verdeutlicht die oben dargestellten Abbildungen. Links sehen Sie den Materialschacht 407 der WISMUT GmbH. Er wurde als letztes Zeugnis der Uranerzförderung im Rahmen der EXPO 2000 für die Nachwelt erhalten. Auf einen neuerlichen Korrosionsschutz wurde verzichtet, weil das erst 25 Jahre alte Fördergerüst nach den Maßstäben des konstruktiven Korrosionsschutzes errichtet wurde. Ganz anders wurde der „Eiffelturm“ unter den Fördergerüsten der Kaliindustrie behandelt. Das 100 Jahre alte Fördergerüst des Petersenschachtes in Sondershausen (rechte Abbildung) – seit 40 Jahren stillgelegt- erfährt alle 25 Jahre einen neuen „grundhaften“ Korrosionsschutz. Das bedeutet, dass alle Altbeschichtungen und Rost durch Druckstrahlen entfernt wurden. Ein Kathodenschutz erfolgte durch das anodisch aktive Pigmente Zinkstaub in der Grundbeschichtung. In die Zwischenbeschichtungen wurden dann Eisenglimmerpigmente

als passive Pigmente eingebaut. Grund – und Zwischenbeschichtungen basieren auf 2-komponentigen Epoxidharzbeschichtungsstoffen. Die Deckbeschichtung folgte der Traditionsfarbe Blau der Kaliindustrie und ist eine 2-komponentige Polyurethanfarbe.

3.6.2 Spezielles: Präventivmaßnahmen durch ein Schutzdach

Ein großes konservatorisches Aufgabenfeld ist die Unterbringung von Objekten aus einem Umgebungsmilieu der Korrosivitätskategorie C1/Innen-C2/Innen nach außen. Hier kann das Objekt nur durch ein Schutzdach vor der direkten freien Bewitterung geschützt werden. Diese Objekte sind von Haus aus, wenn überhaupt, nur mit einem dekorativen Korrosionsschutz versehen worden. Der Ansatz das Objekt unter ein Schutzdach zu stellen, ist ohne Alternative. Denn: Was wären die Alternative?

1. Verschrottung
2. Aufstellen im Freien, ohne weitere Konservierung, führt rasch zu einem verschrottungswürdigen Zustand
3. Auftrag einer massiven, der jeweiligen Korrosivitätskategorie entsprechenden Korrosionsschutzbeschichtung bedeutet eine Entstellung es Erscheinungsbildes bis zur Unkenntlichkeit

Meine Erfahrung hat gezeigt, dass ein Objekt unter Schutzdach dennoch einer regelmäßigen Pflege und Nachkonservierung bedarf. Wenn diese nicht erfolgt, ist der rasche Verfall nur zeitverzögert im Vergleich mit Variante 2 oben. Was also tun? Wenn der Eigentümer nicht willens oder in der Lage ist, die dringend notwendige Pflege eines Objektes durchzuführen oder durchführen zu lassen, sollte man das nach zwei bis vier Seiten offene Schutzdach mit Wänden schließen. In Vergleich mit der Investitionssumme des Schutzdaches ist das eine relativ kleine Summe mit großer Wirkung. Denn dadurch kommen wir vom Ortsklima her betrachtet der Korrosivitätskategorie C2/Innen sehr nahe.

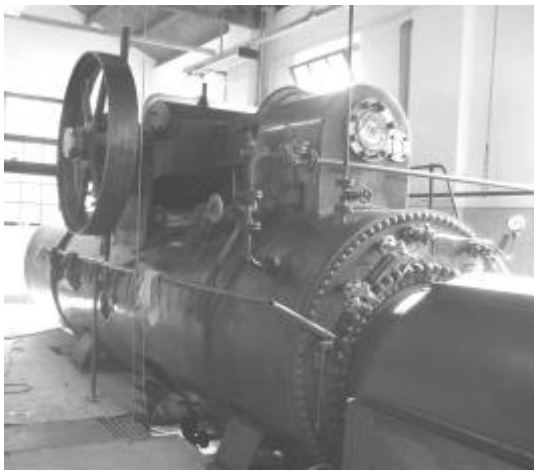

Abbildung 62: Heißdampflokomobile im Maschinenhaus des Sägewerkes in Uhlstädt (links), Lokomobile unter einem Schutzdach in der Kunstmühle in Kleinhettstedt (rechts); Aufnahmen von Bernhard Mai

Kürlektüre zur Restaurierung und Konservierung von Eisenobjekten:

Farbige Eisengitter der Barockzeit, Beiträge zu Geschichte und Funktion, Korrosion und Konservierung, Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege, 2002.

GfKORR-Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V., Erhalt von technischen und musealen Kulturgütern – ist eine nachhaltige Restaurierung möglich? Tagungsband zur GfKORR-Jahrestagung, 2006, ISBN 3-935404-31-2.

Kürlektüre zu Herstellungstechniken:

Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987.

Otto Höver, Das Eisenwerk, Verlag Ernst Wasmuth, Tübingen 1953.

I.H.v. Hefner-Altenbeck, Ornamentik der Schmiedekunst, Orbis Verlag für Publizistik, 2001.

Hermann Luer, Geschichte der Metallkunst, Erster Band, Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart 1904.

3.7 Edelmetalle

Lesen Sie bitte die Pflichtlektüre:

Allgemeines zu Edelmetallen

Volker Koesling, Vom Bakelit zum Feuerstein, Band5/6 Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999, S. 202-214 (bzw. MWR Modul 4).

Schwerwiegende Korrosionsprobleme gepaart mit Erhaltungskonzeptionen von Objekten aus Edelmetallen in freier Bewitterung sind dem Autor aus Mangel an Beispielen nicht bekannt.

Die restauratorische und konservatorische Behandlung bei Objekten aus Gold und Silber ist grundsätzlich abhängig vom Erhaltungszustand und der Art der Nutzungskonzeption. Dieser Behandlungsspagat wird vor allem bei Maßnahmen an liturgischem Gerät (vasa sacra) sichtbar.

3.7.1 Epilog zu Teil III

Nach Lektüre von Teil III werden Sie sich sicherlich in vielen Ansichten und Entscheidungen in Ihrem bisherigen Berufsleben bestärkt fühlen: Die Bewahrung von Kulturgut aus Metall ist vom methodischen Grundsatz her mit Objekten anderer anorganische Materialgruppen vergleichbar. Das mache ich nicht nur an den Schadbildern und Schadereignissen fest, sondern auch an der Spannbreite der möglichen Erhaltungsmaßnahmen.

Kürlektüre zu Herstellungstechniken:

Max Creutz, Kunstgeschichte der edlen Metalle, Erster Band, Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart 1909.

Kilian Anheuser, Im Feuer vergoldet, Geschichte und Technik der Feuervergoldung und der Amalgamversilberung; Band 4, Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Theiss Verlag, Stuttgart 1999.

Eberhard Brepohl, Theorie und Praxis des Goldschmieds, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1987.

Eberhard Brepohl, Theophilius Presbyter und das mittelalterliche Kunsthandwerk, Band 2, Goldschmiedekunst, Böhlau Verlag Köln Weimar Wien, 1999.

Übungsfragen zur Verständnisüberprüfung

Zum Teil I

Seit dem Altertum ist eine Gruppe von Metallen bekannt, die ohne weitere Aufarbeitung verarbeitet werden konnten. Diese Gruppe wird unter dem Begriff „gediegene Metalle“ zusammengefasst! Nennen Sie die Metalle, die zu dieser Gruppe gehören!

Besuchen Sie einen Ort mit vielen Schmiedearbeiten. Fotografieren Sie ein Gitter, Geländer etc. Versuchen Sie die einzelnen Bearbeitungsschritte zur Herstellung eindeutig nachzuvollziehen. Alternativ zum Ausflug geht natürlich auch eine großformatige Aufnahme aus einem Bildband oder ähnlichem.

Erläutern Sie folgende Bearbeitungsformen auf Metalloberflächen: Kratzen, Schleifen und Polieren! Bedienen Sie sich dabei eines fiktiven oder reellen Objektes Ihrer Wahl.

Was verstehen Sie unter dem Begriff Tauschierung?

Zum Teil II

Nennen Sie Arten und Erscheinungsformen von Metallkorrosion. Definieren Sie zunächst den Begriff der Korrosion bei Metallen.

Nennen Sie die wesentlichen Faktoren für eine atmosphärische Korrosion!

Erläutern Sie Vor- und Nachteile permanenter und temporärer Korrosionsschutzüberzüge am Beispiel eines von Ihnen gewählten Objekts. Klassifizieren Sie zunächst diese Überzüge in tabellarischer Form!

Was verstehen Sie unter dem Begriff Spongiose? Wann und wo tritt sie auf?

Was verstehen Sie unter den Begriffen Inhibitor und Inhibition - welche Bedeutung haben sie in der Metallrestaurierung?

Nennen Sie die temporären Korrosionsschutzüberzüge in der Restaurierung und ihre wesentlichen gemeinsamen Eigenschaften.

Nennen Sie die vier möglichen Grundoperationen des Beschichtens von Oberflächen aller Art.

Erklären Sie den Begriff Opferanode!

Im 19. und 20. Jahrhundert diente ein *aktives* Pigment beim Korrosionsschutz von Eisen- und Stahlbauteilen im besonderen Maß dazu, die folgende Korrosionsstimulatoren – Chloride, Sulfide, Sulfate – bei einen Ionendurchtritt durch die Deckbeschichtung in wasserunlösliche Salze bzw. schwerlösliche Salze umzuwandeln. Nennen Sie den Namen des Pigmentes und das dafür notwendige und ausschließliche Bindemittel! Wie lautet die

grundsätzliche Bezeichnung der Pigmente, die in einer Deckbeschichtung vorhanden sind?

Bei der Behandlung von korrodierten Eisenoberflächen werden heute immer noch sogenannte Rostumwandler verwendet. Woraus bestehen diese Rostumwandler grundsätzlich, was ist ihr Wirkprinzip, und warum darf es langfristig gesehen keinen Platz mehr in der Metallrestaurierung und -konservierung für derartige Mittel geben?

Nennen Sie die möglichen zerstörungsfreien Prüfverfahren von Schichtdickenmessungen an Beschichtungen/Fassungen auf Eisen- und Nichteisenmetallenoberflächen. Stellen Sie kurz den praktischen Nutzen der Prüfverfahren in der Konservierung und Restaurierung dar.

Zum Teil III

Nennen Sie Methoden für die mechanische Entfernung von Korrosionsschichten und geben Sie spezifische Arbeitsmittel an!

Wann und wo setzte man sich erstmals wissenschaftlich mit der Restaurierung und Konservierung von frei bewitterten Bronzeplastiken auseinander?

Die Firma WMF in Geißlingen war einer der führenden Produzenten von Galvanoplastiken.

Nennen Sie die zwei Grundarten von Galvanoplastiken und ihre wesentlichen Unterscheidungsmerkmale!

Welche der von Ihnen genannten Arten ist aufgrund seiner Herstellungstechnologie besonders stark bei einer freibewitterten Exposition gefährdet?

Welche Methoden zu Oberflächenreinigung (Schmutz aller Art, lose Korrosionsprodukte) von Galvanoplastiken sind aus Ihrer Sicht geeignet? Begründen Sie Ihre Entscheidung!

Ihr Rat als Restaurator bzw. Restauratorin ist zu folgender fiktiven Situation gefragt!

Eine Sonderausstellung zum Thema **„Gullydeckel – von der Antike bis zur Gegenwart“** ist geplant. Ein Ausstellungsraum widmet sich ausschließlich gusseiserner Gullydeckel der Fa. EISENHAMMER DRESDEN aus dem Zeitraum 1770-1989. Der Veranstalter gibt Ihnen auf Ihre Anfrage nach den konzipierten Raumklimabedingungen in der Ausstellung folgende Angaben:

Relative Luftfeuchtigkeit ist konstant 57,5 %, Raumtemperatur variiert je nach Tageszeit zwischen 18- 21,5 °C.

Sind diese Raumklimabedingungen für die auszustellenden Objekte geeignet oder nicht geeignet? Begründen Sie Ihre Entscheidung!

Verzeichnisse

5.1 Abbildungen

Abbildung 1: Kreislauf der Metalle. ---------- II

Abbildung 2: Dreifaltigkeitssymbol aus: Christliche Ikonographie in Stichworten, 3. Auflage 1988, Verlag Koehler & Amelang, Leipzig, S. 102. ---------- II

Abbildung 3: Steinformen für Äxte; Aufnahme von einen Vorlesungsscript von Bernhard Mai.----------4

Abbildung 4: Beispiel einer Kerngalvanoplastik auf dem Friedhof in Weida, Aufnahme von Bernhard Mai. ----------5

Abbildung 5: Beispiel einer Hohlgalvanoplastik auf dem Friedhof in Weida, Aufnahme von Bernhard Mai. ----------5

Abbildung 6: Engel, Seite 53 aus dem Katalog „Künstlerische Metallarbeiten für den Friedhof“, Württembergische Metallwarenfabrik Geislingen an der Steige, 1935. ----------6

Abbildung 7: Arbeitsbeispiel zum Strecken eines Stabes, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ----------8

Abbildung 8: Arbeitsbeispiel zum Stauchen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ----------8

Abbildung 9: Arbeitsbeispiel zum Schlichten aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ----------9

Abbildung 10: Arbeitsbeispiel zum Breiten, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ----------9

Abbildung 11: Arbeitsbeispiel zum Schärfen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 10

Abbildung 12: Arbeitsbeispiel zum Spitzen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 10

Abbildung 13: Arbeitsbeispiel zum Absetzen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 11

Abbildung 14: Arbeitsbeispiel zum Biegen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 11

Abbildung 15: Arbeitsbeispiel zum Rollen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik Berlin 1987. ---------- 12

Abbildung 16: Arbeitsbeispiel zum Kröpfen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 13

Abbildung 17: Arbeitsbeispiel zum Torsieren, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 13

Abbildung 18: Arbeitsbeispiel zum Kehlen, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 14

Abbildung 19: Arbeitsbeispiel des Gesenkschmiedens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 14

Abbildung 20: Arbeitsbeispiel des Abschrotens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 15

Abbildung 21: Arbeitsbeispiel des Spaltens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 16

Abbildung 22: Arbeitsbeispiel des Abspaltens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik Berlin, 1987. ---------- 16

Abbildung 23: Arbeitsbeispiel des Lochens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 17

Abbildung 24: Arbeitsbeispiel des Schlitzens, aus: Alfred Jahn, Wir schmieden und gestalten, VEB Verlag Technik, Berlin 1987. ---------- 18

Abbildung 25: Skizze zu einer Drückbank, Studentische Belegarbeit von Eve Sautner, FH Erfurt. ---------- 19

Abbildung 26: Prinzipskizze zum Drückvorgang, Studentische Belegarbeit von Eve Sautner, FH Erfurt. ---------- 19

Abbildung 27: Ein Drückermeister bei der Arbeit, Aufnahme von Bernhard Mai. ------- 20

Abbildung 28: Getriebener Turmknopf, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 21

Abbildung 29: Materialquerschnitt bei einer gelungenen Lötung, Aufnahme aus einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai. ---------- 27

Abbildung 30: Arbeitsbeispiel von Treibpunzen; Aufnahme aus einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai. ---------- 27

Abbildung 31: Arbeitsbeispiel vom Gussziselieren, Aufnahme von Bernhard Mai.------ 28

Abbildung 32: Arbeitsbeispiel und Werkzeuge zum Gravieren, Aufnahme aus einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai. ---------- 29

Abbildung 33: Arbeitsbeispiel zum Ätzen, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 30

Abbildung 34: Arbeitsbeispiel zum Tauschieren, Aufnahme von einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai. ---------- 31

Abbildung 35: Arbeitsbeispiel zum Niello, Aufnahme von einem Vorlesungsscript von Bernhard Mai. ---------- 32

Abbildung 36: Korrodierter Obergurt eines Brückengeländers, Foto von Bernhard Mai. 39

Abbildung 37. Korrodiertes Scharnier an einem Auto, Aufnahme von Bernhard Mai. -- 39

Abbildung 38: Schematischer Überblick der Reaktionen am Werkstoff, aus: Udo Peters, Korrosionsschutz durch organische Beschichtung, Hanser Verlag 1994.47

Abbildung 39: Nutzen der Wartung –Abbaukurven des Abnutzungsvorrates, aus: Udo Peters, Korrosionsschutz durch organische Beschichtung, Hanser Verlag, München 1994. ---------- 51

Abbildung 40: Potpourri verschiedener Diagnosegeräte, im Uhrzeigersinn: Ultraschallgerät, Farbmessgerät, Schichtdickenmessgerät, Gitterschnittgerät, verschiedene Farbfächer, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 52

Abbildung 41: Überblick zur Schichtdickenmessung, aus: Udo Peters, Korrosionsschutz durch organische Beschichtung, Hanser Verlag, München 1994.-------- 53

Abbildung 42: Funktionsschemata zur Ultraschallanwendung aus einem Produktprospekt der Fa. Agfa Krautkrämer.---------- 54

Abbildung 43: Querschliff einer Farbprobe vom Stahlversuchshaus Hugo Junkers in Dessau, 14 Farbschichten + PUR-Schaum, Aufnahme vom Büro für Kunst- und Bauforschung in Erfurt.---------- 54

Abbildung 44: Kupferblechdach, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 58

Abbildung 45: Kyffhäuserdenkmal, Aufnahme von Bernhard Mai.---------- 58

Abbildung 46: Kupfersarkophag von Gräfin Magdalene von Hohenlohe-Langenburg, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 59

Abbildung 47: Stützgerüst im Inneren des Kyffhäuserdenkmals, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 61

Abbildung 48 (rechts): Genius vom Stadttheater in Gera, Aufnahme von Bernhard Mai. 61

Abbildung 49 (links): Stützgerüst vom Inneren des Genius, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 61

Abbildung 50: Hohlgalvanoplastik Hlg. Georg in Eisenach, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 62

Abbildung 51: Kerngalvanoplastik vom Friedhof in Weida, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 63

Abbildung 52: Schadbild an einer Kerngalvanoplastik, Aufnahme von Bernhard Mai. -- 64

Abbildung 53: Buchenwalddenkmal von Prof. Fritz Cremer kurz vor der Fertigstellung, Archivmaterial der Stiftung Gedenkstätte Buchenwald. ---------- 65

Abbildung 54: Probefläche zur Reinigung an dem „Knaben", Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 66

Abbildung 55: Momentaufnahme bei der Bearbeitung des Buchenwalddenkmals, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 68

Abbildung 56: Restauriertes Buchenwalddenkmal, Aufnahme von Bernhard Mai. ------- 71

Abbildung 57: Produktbeispiel „Taufbecken" aus dem Katalog von Moritz Geiß 1856.- 73

Abbildung 58: Gedenktafel aus Zinkguss und -blech vor restauratorischen Behandlung, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 74

Abbildung 59: Gedenktafel aus Zinkguss und -blech nach der restauratorischen Behandlung, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 75

Abbildung 60: Zinnsarkophag aus dem Weißenfelser Erbbegräbnis, Aufnahme von Bernhard Mai. ---------- 76

Abbildung 61: Materialschacht 407 der WISMUT GmbH in Ronneburg, Aufnahme von Bernhard Mai (links), Petersenschacht in Sondershausen (rechts), Aufnahmen von Bernhard Mai. ---------- 78

Abbildung 62: Heißdampflokomobile im Maschinenhaus des Sägewerkes in Uhlstädt (links), Lokomobile unter einem Schutzdach in der Kunstmühle in Kleinhettstedt (rechts); Aufnahmen von Bernhard Mai ---------- 80

5.2 Tabellen

Tabelle 1: Korrosionsfaktor Luft ---------- 41

Tabelle 2: Plakativer Überblick zu den Korrosivitätskategorien, Aufnahmen Bernhard Mai. ---------- 44

Tabelle 3: Übersicht zum Korrosionsfaktor Wasser. ---------- 44

Tabelle 4: Übersichtstabelle zur Korrosivitätskategorien bei Wasser, alle Aufnahmen von Bernhard Mai. ---------- 46