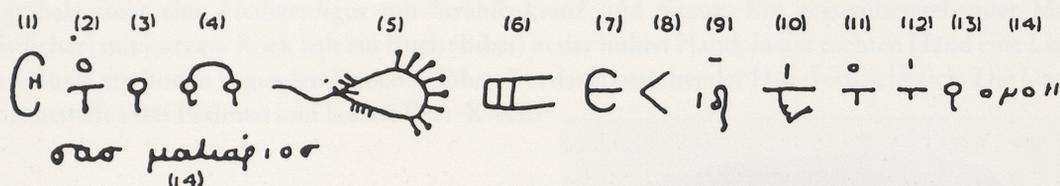


LEGIERUNGSENTWICKLUNG IN DER MITTELALTERLICHEN
STADT NÜRNBERG AM BEISPIEL DES MESSINGS

Wenn man die Legierungsentwicklung in der mittelalterlichen Stadt Nürnberg am Beispiel des Messings betrachten will, so muß man diese Betrachtung in einen größeren Rahmen stellen und zunächst versuchen herauszufinden, wie die Metallhandwerker in Nürnberg im Zeitbereich, der von etwa 1500-1900 gehen soll, gearbeitet haben. Um 1515 hat Albrecht Dürer eine allegorische Zeichnung, die er »Melancholie« nennt, angefertigt. Auf dieser Zeichnung (Abb. 1) kann man einen Tiegel erkennen, der im Feuer steht. Ein derartiger Tiegel wurde in der Burggasse 9 von Nürnberg im damaligen Handwerkerviertel ausgegraben und zur Untersuchung vom Germanischen Nationalmuseum Nürnberg zur Verfügung gestellt¹. Die Abbildung 2 zeigt diesen Tiegel in verschiedener Ansicht. Man sieht inkrustiertes Metall, das leider vollständig korrodiert ist. In den Korrosionsprodukten konnten Zink und Zinn nachgewiesen werden. Man darf, wie später gezeigt wird, annehmen, daß diese Art von Tiegeln etwa um die Zeit Dürers in Gebrauch war. In dieser Zeit waren die Alchimisten und Magier tätig, die sich teilweise auf frühere Zeiten beriefen. So wurde bis zum letzten Jahrhundert z. B. die sogenannte Krebsformel des Zosimos, der im 4. Jahrhundert n. Chr. gelebt hat, unterschiedlich gedeutet. Diese Formel wird wie folgt dargestellt:



Die »Krebsformel« des Zosimos (4. Jahrhundert n. Chr.)

Noch 1899 hat man versucht², eine Deutung dieser Formel zu geben, wobei das erste Symbol bedeuten soll: »Achtung die Botschaft beginnt«. Der zweite Teil ist eine Verkürzung der griechischen Worte τὸ πᾶν und würde bedeuten: »Das All«. Es steht angeblich für eine Legierung von Blei, Kupfer und Zink. Das dritte Zeichen soll eine Kupferlegierung symbolisieren und das vierte wiederholt zweimal das Zeichen für Kupfer und verknüpft beide Zeichen mit dem Symbol für Blei. Der Krebs soll den Prozeß des Weißwerdens darstellen und das achte Symbol ist eine Gewichtseinheit, die wohl mit der Zahl 14, die anschließend folgt, verknüpft ist. Das zehnte Symbol soll sich angeblich ebenfalls auf eine Kupferlegierung beziehen, ebenso das elfte und zwölfte, so daß es sich wohl um einen metallurgischen Prozeß handelt, der aber bis jetzt nicht genau aus der Formel abzulesen ist. Die letzten Buchstaben im Bereich 14 sollen angeblich heißen »Gesegnet wer Verstehen gewinnt«, woraus man entnehmen kann, daß nicht einmal sicher ist, ob Zosimos nun wirklich einen exakten Herstellungsprozeß beschreiben wollte, oder ob sich nur alchemistische Geheimnistuerei in dieser Formel widerspiegelt. Daß die Alchimisten und Magier auch in Nürnberg gut bekannt waren, zeigt ein Rechenpfennig (Abb. 3), der von einem der drei Wolf Laufer hergestellt wurde. Die Laufers, Vater, Sohn und Enkel, haben im Zeitraum zwischen 1554 und 1670 geprägt³. Auf dem Rechenpfennig steht auf dem Avers: »ICH HAB DIE ANGNEME KUNST, DIE

¹ Dem Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg (Dr. W. Pülhorn) sei für Vermittlung gedankt, durch die die Untersuchung der im Tiegel befindlichen Metallreste möglich wurde. – Für die Untersuchung haben die Firmen G. Frank und Gradl und Hinterland, beide Nürnberg,

zahlreiche Rechenpfennige zur Verfügung gestellt, wofür an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

² M. P. E. Berthelot 1889 (zitiert nach A. Coudert 1982, 76; 77).

³ H. Gebert 1917.

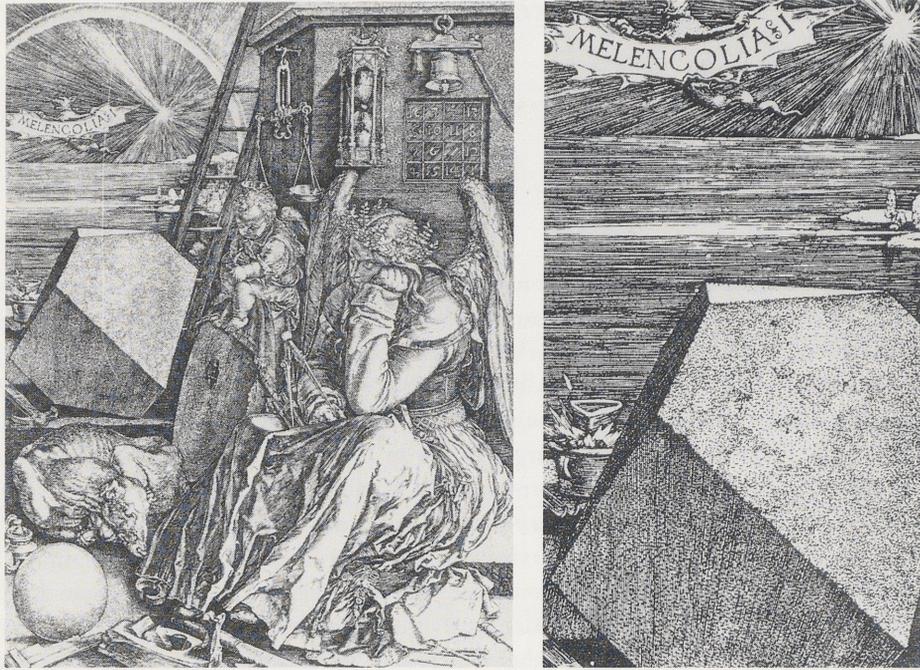
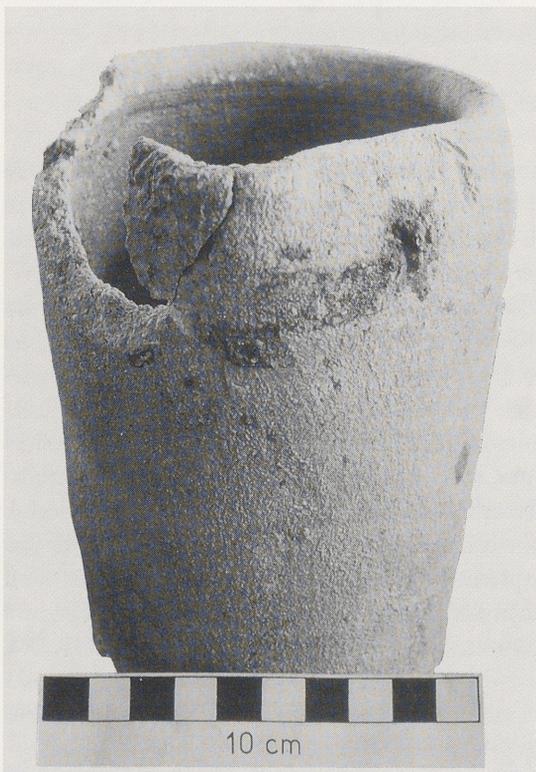


Abb. 1 Zeichnung »Melancholie« von Albrecht Dürer mit dreieckigem Tiegel im Feuer (Vergrößerung rechts).



1



2

Abb. 2 In Nürnberg, Burggasse 9, ausgegrabener Tiegel aus dem Mittelalter mit oxidiertem Metallkrustierung.



Abb. 3 Rechenpfennig, geprägt von einem der drei W. Laufer (1554-1670) mit Magierdarstellung (Vorder- und Rückseite).
M = 2:1.

MACET, GERECHTIKEIT UND GUNST ESAIAS.V.X.CA:«. Es ist ein Magier mit Destillierkolben und anderen Gerätschaften abgebildet. Unten liegt eine Waage. Auf dem Revers steht: »GELT MACHT SCHELK«. Ein Geselle trägt einen Zirkel und einen Winkel mit einem Lot, das die Höhe der Tieflage einer Waagschale einer Waage ausmißt. Diese hängt an der Hand Gottes in einer Wolke. In der oberen Waagschale steht eine Heiligenfigur mit Strahlenkranz und Kreuz. Ein gegenüberstehender Mann (Geistlicher) mit kurzem Rock hält ein Buch (Bibel) in der linken Hand, in der rechten Hand eine Leine, die zu einem am Boden liegenden Knochen führt. Ein darüberstehender Hund erbricht sich. Die Unterschrift betrifft zwei Psalmen und lautet: PSA · X · XLI.

Allgemeine Legierungsentwicklung

Ein bei den Grabungen in Ugarit (Ras Shamra) gefundener Fingerring, der um 1400 v. Chr. datiert wurde, enthielt neben Zinn einen Gehalt von 12% Zink⁴. Wie in einer zusammenfassenden Arbeit berichtet wird⁵, sind sowohl Zink als auch Zinn enthaltende Legierungen mit Zinkgehalten bis zu 23% aus der Zeit zwischen 1400 v. Chr. und 1000 v. Chr. in Palästina gefunden worden. In China wird im 13. Jahrhundert n. Chr. eine messingartige Legierung mit über 35% Zink hergestellt. Im 16. Jahrhundert n. Chr. steigt die Zinkkonzentration noch höher an. In dieser Arbeit wird angenommen, daß in Europa Kunstgegenstände, wenn sie mehr als 30% Zink enthalten, nicht älter als 150 Jahre sein können. Einwandfrei datiert wurden Zinkblöcke mit 98% Zink aus China, die etwa 60 kg wogen und chinesische Schriftzeichen trugen, aus denen hervorging, daß sie aus dem Jahre 1585 stammten. Damit war sichergestellt, daß seit dieser Zeit Kupfer-Zink-Legierungen in beliebiger Konzentration aus Kupfer und Zink hergestellt werden konnten. Libavius Andreas berichtet 1606 in seinem Buch »De Natura Metallorum«, in einer Schiffsladung sei Zink in Holland angekommen. 1617 berichtet der Hüttenmeister Löhneys: »Wenn die Schmelzer beim Schmelzen sind, so sammelt sich in der vorderen Wand unten im Ofen in Klüften, die nicht dicht ausgestrichen wurden, zwischen dem Schieferstein ein Metall, welches von ihnen Zink oder Conterfey genannt wird und das, wenn sie an diese Wand klopfen, in einen Trog, den sie untersetzen, hineinfließt. Dieses Metall ist ähnlich weiß wie Zinn, jedoch härter und weniger geschmeidig als dieses und klingt wie ein Glöcklein. Wird ihm Kupfer zugegeben, so legiert sich ein großer Teil seiner Erde in das Kupfer und nimmt metallische Gestalt an. Es ist eine metallische Substanz, die das Kupfer goldähnlich macht«. Dieser Hüttenmeister war in Goslar tätig, und etwa um diese Zeit wurde dieses Zink

⁴ C. F. A. Schaeffer-Forrer, U. Zwicker u. K. Nigge 1982.

⁵ O. Werner 1970.

Nürnberger
Rechenpfennigschläger
Familie Krauwinckel

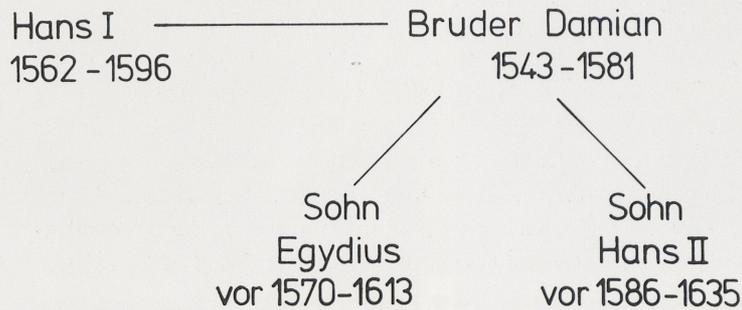


Abb. 4 Mögliche Prägezeiten (Meisterzeiten) der Rechenpfennigschläger der Familie Krauwinckel aus Nürnberg (vgl. Anm. 3).

von den Hüttenknechten für 3 Groschen das Pfund an Kupfergießer verkauft, die daraus Messing herstellten. Auch die Alchimisten bemächtigten sich des Zinks, und der dabei entstehende Mißbrauch seitens dieser Alchimisten, sogenannten Goldmachern, veranlaßte den Herzog Heinrich Julius von Braunschweig, den Verkauf und Versand von Zink zu verbieten. Dieser Herzog ist 1613 gestorben. Sichere Notizen über Zinktransporte nach Nürnberg werden von Joachim Jungius überliefert, der mitteilt, daß um die Mitte des 17. Jahrhunderts größere Mengen von Zink nach Nürnberg gebracht wurden, wo es die Glockengießer und die Stückgießer zur Messingfabrikation verwendeten (vgl. Anm. 5).

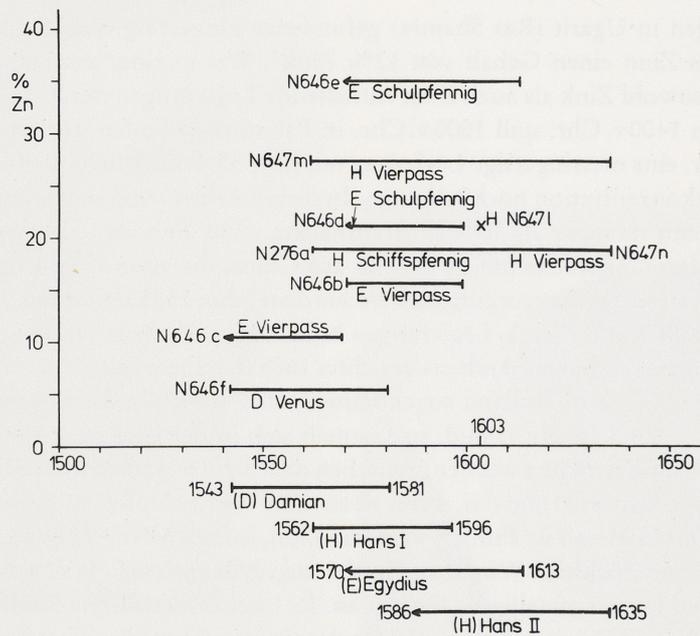


Abb. 5 Zinkgehalte in Rechenpfennigen der Familie Krauwinckel (H = Hans, D = Damian, E = Egidius) in Abhängigkeit von der möglichen Prägezeit.

Man kann den gegenseitigen Wert von Kupfer und Zink etwa über Silber abschätzen. 3 Groschen entsprechen etwa 250 g Zink und damit 1 kg Zink etwa 12 Groschen. 1 Groschen enthält etwa 1 g Silber, so daß 12 Groschen etwa 12 g Silber entsprechen. Aus anderen Hinweisen aus dieser Zeit wissen wir, daß Silber und Kupfer wie eins zu Hundert verhandelt wurden, so daß 10 g Silber etwa 1 kg Kupfer entsprechen sollten. Das Zink war demnach nur wenig teurer als das Kupfer.

Legierungen von Rechenpfennigen aus Nürnberg

Rechenpfennige von verschiedenen Rechenpfennigschlagern konnten untersucht werden, wobei außer Zink auch Gehalte an Silber, Kobalt, Eisen, Nickel, Blei und Zinn mit Hilfe der Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA) bestimmt wurden. Für diese Untersuchung sind die Rechenpfennige am Rand soweit angeschliffen worden (meist weniger als $\frac{1}{2}$ mm²), daß keine durch Korrosion beeinflussten Bereiche mehr vorhanden waren. In diesen rein metallischen Bereichen wurde jeweils an 12 Stellen analysiert und ein Mittelwert gebildet. Einige der Rechenpfennige wurden mit Hilfe der Spektralanalyse (SPA) auf Spuren dieser und anderer Elemente untersucht. Eine Bezeichnung (Nr. LWM) erfolgte am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft (Metalle).

Eine der Nürnberger Familien, aus denen Rechenpfennigschläger entstammen, ist die Familie Krauwinkel. Die möglichen Prägezeiten der Rechenpfennigschläger dieser Familie sind in Abb. 4 wiedergegeben. Es gibt zwei Münzmeister mit Namen Hans Krauwinkel, deren Tätigkeit über einen Bereich von 1562 bis 1635 reicht. Der Bruder von Hans dem Ersten, Damian, prägte wahrscheinlich zwischen 1543 und 1581 und dessen einer Sohn Egidius von 1570-1613. Dieser Egidius mußte öfters vor dem Rat von Nürnberg erscheinen, um sich dort wegen seiner Rechenpfennige, die nicht der Norm der Zunft entsprachen, zu rechtfertigen. Ein von ihm stammender Rechenpfennig (Schulpfennig) enthält 35,4% Zink. In Abb. 5 sind die Zinkgehalte der untersuchten Rechenpfennige der Familie Krauwinkel und die Zeiten der wahrscheinlichen Prägetätigkeit eingetragen. Die Abkürzungen H, E und D beziehen sich auf Hans, Egidius und Damian. Der niedrigste Gehalt wird bei Rechenpfennigen des Damian gefunden und der höchste Gehalt bei solchen des Egidius. Nur einer der untersuchten Rechenpfennige trägt eine Jahreszahl (Abb. 6), nämlich 1603. Es ist ein Rechenpfennig von Hans Krauwinkel II. Er zeigt auf der Vorderseite einen Mann, der einen Stein nach einem Hund wirft, und auf der Rückseite einen auffliegenden Adler mit einem Skorpion im Schnabel. Der Zinkgehalt dieses Pfennigs beträgt 20,9%. Die Abbildung 7 zeigt den Schulpfennig des Egidius Krauwinkel mit dem hohen Zinkgehalt von 35,4%. Ein weiterer Schulpfennig, aus demselben Aversstempel geprägt, jedoch mit etwas anderer Rückseite, ebenfalls von Egidius Krauwinkel, der in Abb. 8 wiedergegeben ist, hat nur einen Zinkgehalt von 22,3% Zink. Es gibt von diesen Schulpfennigen auch einige wenige Exemplare, die eine Jahreszahl besitzen.

Die Ergebnisse an den Nürnberger Schulpfennigen mit Jahreszahl sind solchen mit entweder gar keiner Jahreszahl, also unbekannter Datierung, oder mit Münzmeisterdatierung entsprechend einem größeren Bereich an Jahren in den Tabellen 1a und 1b gegenübergestellt. Bei einem Pfennig konnte diese Analyse nur auf Zink erfolgen, da er als erste Probe untersucht worden war. Es sind aber mit Hilfe der Spektralanalyse einmal an der nicht angeschliffenen Stelle und in einer zweiten Analyse an der angeschliffenen Stelle qualitativ die weiteren Elemente untersucht worden und in der Tabelle 1 mit angegeben. Zwischen den Jahren 1553 und 1590 wird ein Zinkgehalt von $19 \pm 1\%$ gefunden. Mit Ausnahme von Kobalt sind die Elemente Silber, Eisen, Nickel, Blei und Zinn bei den sieben Pfennigen vorhanden. Eine Ausnahme bildet der Pfennig mit dem hohen Zinkgehalt, bei dem kein Silber und kein Zinn mit der Elektronenstrahlmikroanalyse nachgewiesen werden kann. Egidius Krauwinkel muß also für diesen Pfennig ein besonderes Ausgangskupfer und Ausgangszink verwendet haben. Vielleicht hat er auch bereits fertige Zinklegierungen aus China über Holland erhalten. Ein geringer Silbergehalt kann jedoch auch in diesem Pfennig mit Hilfe der Spektralanalyse nachgewiesen werden. Der sehr niedrige Silbergehalt weist deutlich auf eine andere Kupfersorte als bei den sonst verwendeten Pfennigen hin.

Eine andere wichtige Rechenpfennigsorte dieser Zeit sind die Rechenpfennige mit Reichsapfel im sogenannten Dreipaß. Sie sind eine Nachahmung von Goldmünzen, den sogenannten Goldgulden, die zahl-

Jahreszahl Nr. LWM Gewicht	% Metall						
	Ag	Co	Fe	Ni	Pb	Sn	Zn
1553; 3,81 g N 646 (u)	0.03	0.01	0.17	0.17	0.52	0.35	19.6
1559; 3,46 g N 646 (t)	0.03	n.n.	0.33	0.27	0.75	0.41	20.1
1570; 3,81 g N 646 (s)	0.05	0.01	0.20	0.69	1.29	0.47	17.8
1590; 4,07 g N 646 (v)	0.06	n.n.	0.13	0.25	0.16	0.10	19.4

Tab. 1a Analysen von Rechen-(Schul)-Pfennigen aus Nürnberg mit Jahreszahl.

Münzmeister Nr. LWM Gewicht	% Metall						
	Ag	Co	Fe	Ni	Pb	Sn	Zn
Egydius Krauwinckel 1570-1613 N 646 (d); 4,86 g Abb. 8	0.03	n.n.	0.31	0.14	1.05	0.23	20.3
Egydius Krauwinckel 1570-1613 N 646 (e); 4,76 g Abb. 7	n.n.	n.n.	0.07	0.05	0.53	n.n.	35.4
ohne Münzmeister- namen N 276; 2,56 g	SPAI (+++)	SPAI (n.n.)	SPAI (+)	SPAI (+)	SPAI (+)	SPAI (++)	19.1
	SPAI (+)	SPAI (n.n.)	SPAI (+)	SPAI (Sp)	SPAI (+)	SPAI (Sp)	

Tab. 1b Analysen von Rechen-(Schul)-Pfennigen aus Nürnberg ohne Jahreszahl.

reich im 15. Jahrhundert geprägt wurden. Ein entsprechender Rechenpfennig des Hans Krauwinckel ist in Abb. 9 wiedergegeben. Die Gehalte derartiger Rechenpfennige, geordnet nach solchen Pfennigen mit Münzmeisternamen und ohne Münzmeisternamen, zeigen die Tabellen 2a und 2b. In allen Fällen werden Zinkgehalte zwischen 15% und 20% gefunden. Bei einem Rechenpfennig ohne Münzmeisternamen zeigt die Elektronenstrahlmikroanalyse ebenfalls keinen Gehalt an Silber, während die Spektralanalyse noch geringe Gehalte an Silber nachweisen kann. Auch in diesem Falle dürfte es sich möglicherweise ebenfalls um ein sonst in Nürnberg nicht verwendetes Kupfer handeln, das für die Messingherstellung dieses Pfennigs gedient hat. Bei diesem und bei vielen anderen derartigen Pfennigen ist die Umschrift nicht lesbar, wie das Abb. 10, die diesen Pfennig mit dem niedrigen Silbergehalt gibt, zeigt.

Mehr Rechenpfennigschlager als die Familie Krauwinckel hat die Familie Laufer hervorgebracht. Insgesamt wurden 16 Rechenpfennigschlagermeister in den Stammbüchern dieser Innung in den Jahren zwischen 1554 und 1755 eingetragen. Der letzte Pfennigschlagermeister Gottlieb Laufer war gleichzeitig Münzmeister von Nürnberg von 1745 bis 1755. Er hat im Mai 1755 das von den Städten Eichstätt, Bam-

Gewicht Münzmeister Nr. LWM	% Metall						
	Ag	Co	Fe	Ni	Pb	Sn	Zn
1,43 g Wolf Laufer 1554-1663 N 646 (k)	0.03	0.01	0.01	0.07	0.15	n.n.	24.8
1,33 g Hans Krauwinckel 1562-1635 N 646 (o)	0.03	0.06	0.25	0.85	0.13	0.03	27.6
1,57 g Hans Krauwinckel 1562-1635 N 647 (m)	0.05	n.n.	0.36	0.42	0.44	n.n.	21.4
1,97 g Hans Krauwinckel 1562-1635 N 647 (n) Abb. 9	0.04	n.n.	0.21	0.29	0.07	0.08	19.3
1,42 g Egydius Hans Krauwinckel 1570-1613 N 646 (b)	0.06	n.n.	0.38	0.27	0.39	0.69	15.8
1,78 g Egydius Hans Krauwinckel 1570-1613 N 646 (c)	0.01	n.n.	0.06	0.28	0.16	0.10	20.0

Tab. 2a Analysen von Rechenpfennigen mit Dreipaß mit Münzmeisternamen.

Gewicht Nr. LWM Abb.	% Metall						
	Ag	Co	Fe	Ni	Pb	Sn	Zn
1,20 g N 646 (h)	0.03	n.n.	0.05	0.01	0.08	0.02	17.5
1,36 g N 646 (l) Abb. 10	0.02	n.n.	0.03	0.13	0.27	0.02	20.2
1,58 g N 646 (i)	0.06	n.n.	0.26	0.13	0.10	0.03	18.3
1,71 g N 646 (g)	n.n.	n.n.	0.62	0.10	0.28	0.15	19.5
2,05 g N 646 (n)	0.04	n.n.	0.04	0.14	0.31	0.02	20.4
2,22 g N 646 (m)	0.05	n.n.	0.07	0.14	0.21	0.02	15.9

Tab. 2b Analysen von Rechenpfennigen mit Dreipaß ohne Münzmeisternamen.



Abb. 6 Mit 1603 datierter Rechenpfennig des Hans II. Krauwinkel. – M = 2:1.



Abb. 7 Rechen-(Schul)-Pfennig des Egydius Krauwinkel (Zinkgehalt 35,4%) (Vorder- und Rückseite). – M = 2:1.



Abb. 8 Rechenpfennig (Zinkgehalt 22,3%) des Egydius Krauwinkel mit stempelgleicher Vorderseite wie Abb. 7,1, aber unterschiedlicher Rückseite. – M = 2:1.

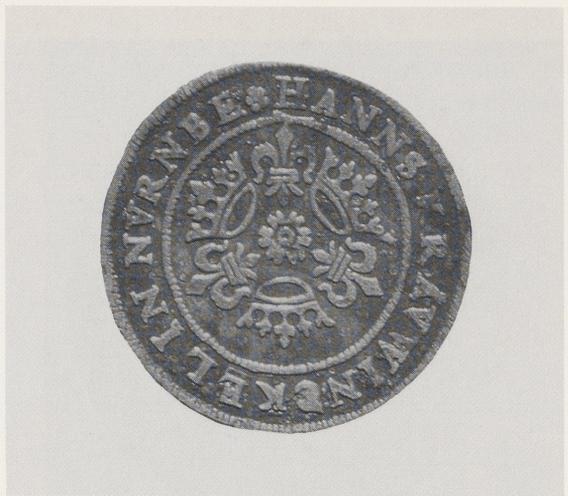


Abb. 9 Rechen-(Dreipaß)-Pfennig des Hans I. oder II. Krauwinckel (Vorder- und Rückseite). – M = 2:1.



Abb. 10 Rechen-(Dreipaß)-Pfennig mit unleserlicher Umschrift (Vorder- und Rückseite). M = 2:1.



Abb. 11 Rechenpfennig mit Portrait Ludwigs XIV. von L. G. Laufer (1633-1709) (Vorder- und Rückseite). – M = 2:1.



Abb. 12 Rechenpfennig auf den Tod Ludwigs XVI. am 11.1.1793 (Vorder- und Rückseite). – M = 2:1.

berg und Schwäbisch Hall zur Ausprägung erhaltene Gold und Silber weggenommen und ist nach Berlin gegangen, bei der dortigen königlichen Münzstätte angestellt worden und etwa um 1790 gestorben. Einen Rechenpfennig der Familie Laufer, der auf der Vorderseite Ludwig den Großen (Ludwig XIV), der 1715 gestorben ist, wiedergibt und der von Ludwig Gottlieb Laufer (1633-1709) geprägt wurde, ist auf Abb. 11 zu sehen. Der Zinkgehalt dieses Pfennigs beträgt 28,2%. Der Tod Ludwigs XVI. am 21. Januar 1793 wird auf vielen Rechenpfennigen festgehalten, die ähnlich dem Exemplar in Abb. 12 geprägt wurden. Zwischen dieser Zeit und 1836 hat der Zinkgehalt noch einmal stark zugenommen. Abb. 13 zeigt einen Rechenpfennig, der für die 200-Jahrfeier der Universität Utrecht 1836 geprägt wurde. Die Gefüge des Pfennigs, in dem das Todesdatum von Ludwig XVI. wiedergegeben ist, und das des Pfennigs der 200-Jahrfeier der Universität Utrecht sind in Abb. 14 und 15 wiedergegeben. Man sieht deutlich, daß der Zinkgehalt stark zugenommen hat. Der ältere Rechenpfennig zeigt nur den Kupfer- α -Mischkristall mit 27,8% Zn (Abb. 14), der jüngere Rechenpfennig ein (α + β)-Gefüge (Abb. 15) mit etwa 40% Zn.



Abb. 13 Rechenpfennig auf die 200-Jahrfeier der Universität Utrecht (1836) (Vorder- und Rückseite). – M = 2:1.

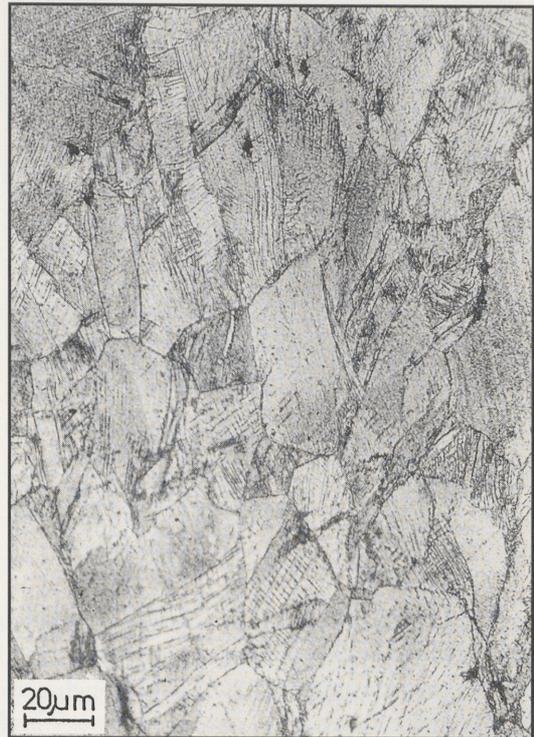


Abb. 14-15 14 α -Kupfermischkristall-Gefüge des Rechenpfennigs der Abb. 12, geprägt nach dem Tode Ludwigs XVI., 1793.
15 α + β -Gefüge des Rechenpfennigs der Abb. 13, geprägt 1836 zur 200-Jahrfeier der Universität Utrecht.

Versuche zur Messingherstellung

Um zu überprüfen, inwieweit Zink aus Zinkoxid, das ja in großen Mengen in den Öfen, die zinkhaltiges Erz verhütet haben, angefallen sein muß, von Kupfer aufgenommen wird, wurden 10g Zinkoxid mit 10g feinst gemahlener Holzkohle gemischt. In dieses Gemisch wurden 8g 0,2mm dicke Kupferblechabschnitte eingelegt. Die Mischung wurde in einem Pythagorastiegel mit größeren Stückchen von Holzkohle bedeckt und mit einem Deckel zugedeckt. Der Tiegel wurde in einen Ofen, der eine Temperatur von 1000°C aufwies, eingestellt und nach 20 Minuten entnommen. Dabei war der Deckel durch abdampfendes Zink, das sich zu Zinkoxid umgewandelt hatte, weitgehend dicht angesintert. Nach dem Abkühlen wurden Messingtropfen (Abb. 16) unterschiedlicher Farbe gefunden. Nur einige wenige Blechstückchen waren noch nicht ganz geschmolzen. Die Auswaage betrug 11,3g, was einem mittleren Zinkgehalt von 29% entsprach. Die einlegierte Menge an Zink betrug 41,3% des Zinkgehaltes des Zinkoxides. Die unterschiedliche Farbe der Messingtropfen wies bereits auf einen unterschiedlichen Zinkgehalt hin. Das Gefüge von zwei derartigen Teilchen zeigt Abb. 17. Der Zinkgehalt in den beiden Proben ist sehr unterschiedlich und steigt in der β -Phase im Innern des kleineren runden Kügelchens und im Außenbereich des birnenförmigen Teilchens bis zu über 40% Zink.

Zeitliche Abhängigkeit des Zinkgehaltes in messingähnlichen Legierungen

In den beiden Abbildungen 18 und 19 ist die zeitliche Abhängigkeit des Zinkgehaltes von Kupferlegierungen aus China und Indien (vgl. Anm. 5) (Abb. 18) der zeitlichen Abhängigkeit des Zinkgehaltes der untersuchten Rechenpfennige (Abb. 19) gegenübergestellt. Während in China während der Ming-Dynastie im 13. Jahrhundert u. U. die Zinkgehalte bereits auf über 30% angestiegen sind, ist dies in Nürnberg

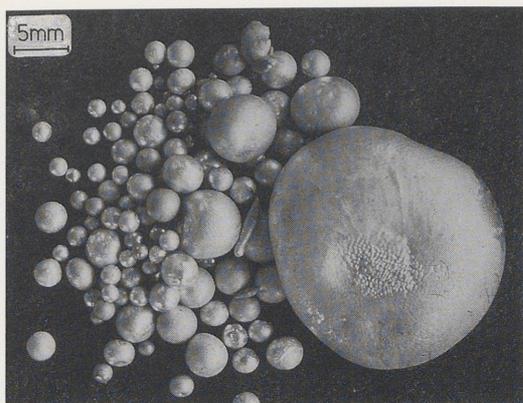


Abb. 16 Messingtropfen unterschiedlicher Farbe und mit verschieden hohem Zinkgehalt durch Reaktion von Kupfer mit Zink und Holzkohle nach 20 min. bei 1000°C entstanden.

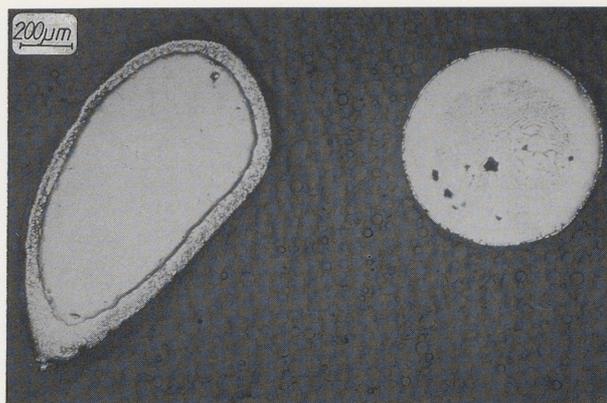


Abb. 17 Gefüge von zwei Messingtropfen aus Abb. 16 mit β -Mischkristall innen (runde Kugel) und außen (ovales Teilchen) mit mehr als 40% Zn.

erst Ende des 16. bzw. Anfang des 17. Jahrhunderts der Fall. Der Zinkgehalt der Rechenpfennige von 20% nimmt im Schnitt zwischen dem 16. und 19. Jahrhundert in Nürnberg zu, während die Anteile der Pfennige mit weniger als 20% Zink abnehmen.

Es ist anzunehmen, daß – wie auch heute – im Mittelalter die Kosten für Zink und Kupfer eine entscheidende Rolle bei der Festsetzung des Zinkgehalts im Messing gespielt haben. Möglicherweise war das Zink in China wesentlich billiger als in Europa, wo bis in das 19. Jahrhundert noch Messing über Galmei hergestellt worden ist. So wird z. B. in einer Beschreibung der Geschichte der englischen Messing- und Kupferindustrie 1967 berichtet⁶, daß etwa um 1680 in den Hütten bei Bristol 36 Öfen in Betrieb waren und daß in jedem dieser Öfen acht Tiegel standen, von denen jeder 10 kg granuliertes Kupfer und 20–30 kg Galmei enthielt. Alle 24 Stunden wurden die Tiegel ausgegossen. Der Betrieb der Blasebälge erfolgte über Wasserräder, die auch die Mühlen zum Pulverisieren des Galmeis und die Hämmer betrieben. Es wurden Platten von etwa 30 kg Gewicht (1,5 m lang, 23 cm breit und etwa 7 cm dick) gegossen. Ein Reduktions-Destillationsprozeß, der offenbar in China und Indien schon seit dem 13. Jahrhundert üblich war, wurde in Europa, d. h. in England (Bristol), erst etwa ab 1740 eingeführt. Sechs Tiegel, die mit Galmei und Holzkohle gefüllt und mit einem Deckel luftdicht abgeschlossen waren, hatten am Boden ein Loch, das über ein Gußeisenrohr den Zinkdampf in Wasser ableitete, so daß sich metallisches Zink bilden konnte. Sechs Tiegel wurden in einem Kreis zusammengesetzt und in einem Ofen in einer geschlossenen Kammer mit Hilfe von Holzkohle auf etwa 1000°C erwärmt. 24 t Holzkohle waren notwendig, um eine Tonne Zink aus leicht reduzierbaren Erzen herzustellen. Erst etwa ab 1807 wurden in Belgien waagerechte Retorten verwendet, wie sie in diesem Jahrhundert noch in England in Gebrauch waren.

Die Analysen der Rechenpfennige zeigen, daß schon zumindest vereinzelt zu Beginn des 17. Jahrhunderts in Nürnberg Messing mit Gehalten von über 30% Zink hergestellt worden ist und daß ab dem 19. Jahrhundert die Gehalte auf über 40% Zink im Messing angestiegen sind. In dieser Zeit konnte der Preis des Zinks gegenüber dem Kupfer auch in Europa durch die Einführung des Destillationsverfahrens zur Herstellung von metallischem Zink stärker vermindert werden, so daß möglichst hohe Zinkgehalte in das Kupfer einlegiert wurden, um die Kosten für die Legierungsmetalle Kupfer und Zink niedrig zu halten.

⁶ H. Hamilton 1967 (zitiert nach R. F. Tylecote 1976, 96).

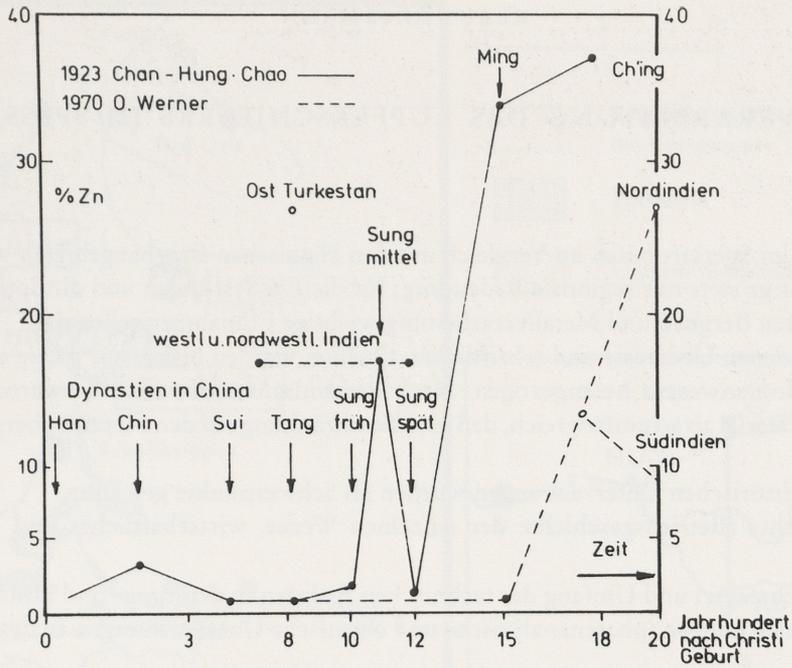


Abb. 18 Zeitliche Abhängigkeit des Zinkgehaltes von Kupferlegierungen in China und Indien.

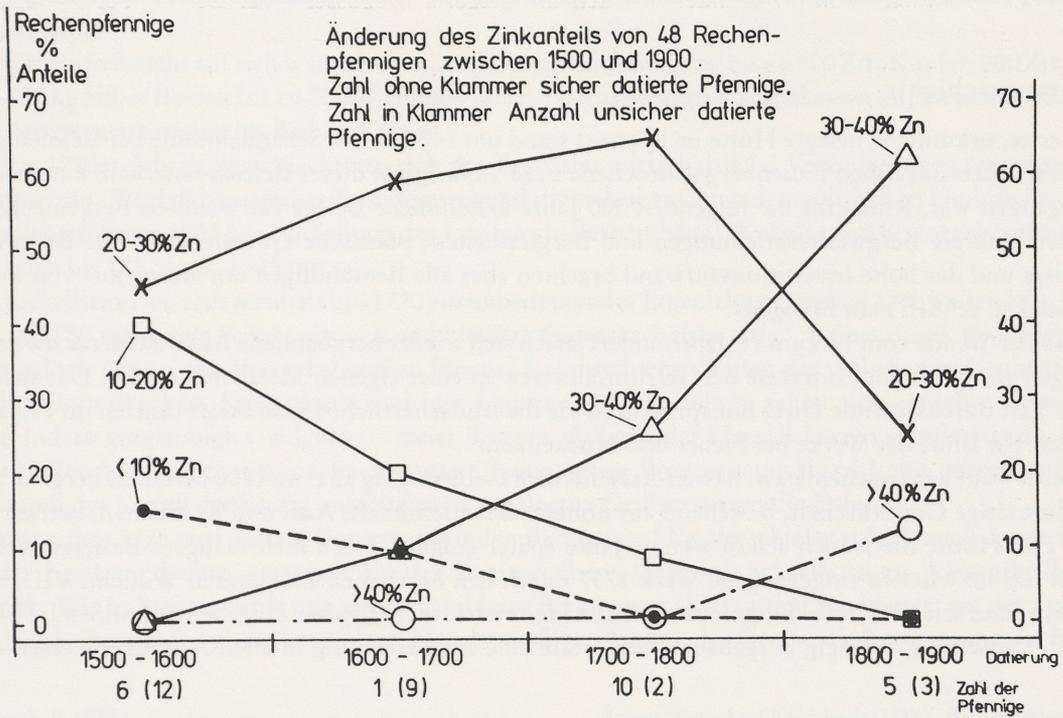


Abb. 19 Zeitliche Abhängigkeit des Zinkgehaltes der untersuchten Rechenpfennige aus Nürnberg.