

ihm, dem Alleinstehenden, ohne Eltern und Geschwister, so sehr fehle.

Vergnügt reiste er nach Tübingen zurück. Nichts deutete die schwere psychische Erkrankung an, die ihn schon kurz nach der Rückkehr in Tübingen befiel und die ihn veranlaßte, sich monatelang einer Kur in einer Nervenheilanstalt zu München zu unterziehen. Durch die absolute Ruhe, der er sich dann den ganzen Winter hingab, schien eine nahezu völlige Wiederherstellung erzielt zu sein, so daß ihm der Arzt Anfang März 1902 eine Erholungsreise nach Meran und Rapallo in Begleitung alter Freunde gestattete. Nach und nach stellte sich jedoch eine Verschlimmerung seines Zustandes ein. Schlaflosigkeit, Kongestionen, Angstgefühl, schwere Melancholie nahmen in dem Maße zu, als der Ablauf des Urlaubs und der Beginn des Sommersemesters herannahte.

Wir hatten vereinbart, uns auf seiner Rückreise von Rapallo an den oberitalienischen Seen zu treffen, um dort noch einige Zeit zusammen zu verbringen. In Bellagio fand ich aber ein Telegramm vor, das mir seine sofortige Rückkehr nach Tübingen meldete und in dem er mich dringend bat, doch sofort nach Mailand zu kommen, um noch wenigstens einen Abend mit ihm zusammen zu sein.

Er sah relativ gut aus, freute sich zuerst auch sichtlich über unser Zusammentreffen, klagte dann aber über schlechtes körperliches und seelisches Befinden. Nach und nach verfiel er in tiefe Melancholie, Schweigsamkeit und Vorsichhinbrüten. Trotz eifrigsten Bemühens gelang es mir nicht, ihn aus diesem traurigen Zustand herauszubringen und ihn zu veranlassen, sich mir zu offenbaren. Ich beschwor ihn, nicht nach Tübingen zurückzukehren, sondern bei uns zu bleiben oder in die Heilanstalt zurückzugehen. Alles vergeblich. Er bestand auf seinem Entschluß und reiste am nächsten Morgen mit dem Nord-Süd-Expreß nach Tübingen weiter. Auch der Arzt, den er in München konsultierte, vermochte ihn nicht zum Bleiben zu bewegen.

Als ich ihn in Mailand zur Bahn brachte und er von mir in einer Weise rührenden Abschied nahm, wie ich es sonst nicht bei ihm gewohnt war, ersah ich aus seinem umflorten tieftraurigen Blick, was er zu tun beschloss. Bei der Schwere der Melancholie, die ihn erneut befallen, war ich außer Stande zu versuchen, den Lauf der Dinge aufzuhalten. Auch seine Tübinger Freunde, die genau wußten, welchen Weg er zu gehen für gut hielt, sie konnten ihn nicht von seinem Vorhaben abbringen. So zogen die Schatten des Todes ihn immer fester in ihren Bann, und sonniger Tag wurde zur ewigen Nacht. Nachdem er bei seiner Rückkehr nach Tübingen noch einige Tage und Nächte grübelnd an seinem Schreibtisch gesessen, fand man ihn am 19. April 1902, schlafend mit blühenden Wangen, aber tot, auf dem Ruhebett seines Fremdenzimmers im alten Laboratorium.

Der große Forscher und Experimentator, der ausgezeichnete Lehrer, der den Ruf Tübingens neu begründet, der edle Freund, er war nicht mehr. Das war sterblich an ihm war, es ruht auf dem hiesigen Friedhof, frische Blumen, die Sinnbilder treuer Liebe und Verehrung, sie schmücken heute wie damals sein stilles Grab.

Friede seiner Asche.

Nachdem fünf Jahre seit diesem tragischen Ereignis vergangen, soll aber nicht Trauer und Betrübnis mehr uns umwehn. Ein Tag des Gedächtnisses zwar soll der heutige sein, aber frei von Schwermut und Beklommenheit. Wir wollen ausschließlich dessen gedenken, was an Hans v. Pechmann unsterblich war und unsterblich bleiben wird. In die Tafeln der Geschichte der organischen Chemie sind seine Verdienste mit ehernem Griffel eingegraben. Unser gemeinsamer Freund und Kollege, Wilhelm Koenigs, der leider vor einem Jahr seinem Altersgenossen schon gefolgt ist, er hat unserem Hans v. Pechmann in den Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft ein Denkmal aus tönendem Erz gesetzt, das den gegenwärtigen und kommenden Geschlechtern ein wahres Bild der geistigen Bedeutung dieses trefflichen Mannes überliefert.

Damit die Nachwelt auch sichtbar an den bedeutenden Forscher und Lehrer erinnert wird, haben seine Freunde, Schüler und Verehrer sich zusammengetan. In ihrem Auftrage hat Prof. Floßmann, obgleich nur einige wenige Momentphotographien zur Verfügung standen, meisterhaft die charaktervollen Züge des teuren Freundes in Marmor verewigt.

Indem ich im Namen und Auftrage des geschäftsführenden Ausschusses allen, welche die Aufstellung des herrlichen Kunstwerkes ermöglicht haben, also in erster Linie dem Künstler und seinen Beratern, sowie den Freunden und Schülern für ihre Spenden herzlichsten Dank sage, übergebe ich hiermit das schöne Marmorrelief dem hiesigen chemischen Universitätslaboratorium zum dauernden Andenken an den Leiter des alten und Begründer des prachtvollen neuen Laboratoriums. Ich bitte den Direktor und Erbauer des neuen Instituts, Herrn Prof. Wislicenus und alle Nachfolger, das edle Kunstwerk zu hüten und zu wahren. Möge es alle Kollegen und Studierenden, die sich seines Anblicks erfreuen, stets daran erinnern, daß Hans v. Pechmann nicht nur ein bedeutender Chemiker, sondern auch ein edler Mensch, ein hilfreicher Lehrer und ein guter treuer Freund gewesen ist.

## Chemie und Archäologie.

### I. Kupferlegierungen.

Von Prof. Dr. BERNH. NEUMANN, Darmstadt.

(Eingeg. d. 21./9. 1907.)

Seit etwa zehn Jahren mehren sich erfreulicherweise die Anzeichen dafür, daß man in weiteren Kreisen dem Studium der Geschichte der Naturwissenschaften ein erhöhtes Interesse entgegenbringt. Auch auf dem Gebiete der Chemie erscheinen von Zeit zu Zeit geschichtliche Beiträge. Es harren jedoch noch eine große Menge Fragen der Beantwortung, die nicht nur rein wissenschaftliches Interesse haben würden; sie betreffen namentlich das Gebiet der chemischen Technologie. Einen sehr interessanten Beitrag in dieser Beziehung hat vor einiger Zeit Le Chatelier mit seiner archäo-

logisch-keramischen Untersuchung geliefert, die in dieser Zeitschrift<sup>1)</sup> veröffentlicht ist. Neben dem keramischen Gebiete ist es namentlich das Gebiet der metallurgischen Technik, auf dem eine Bereicherung unserer Kenntnisse sehr wünschenswert sein würde.

Bei der Geschichtsforschung auf allen naturwissenschaftlichen Gebieten, soweit es die Geschichte der Alten betrifft, macht sich allgemein der Übelstand bemerkbar, daß bisher meist Archäologen und Philologen als Bearbeiter der einschlägigen Fragen auftraten, die ihr Urteil mehr oder weniger auf rein äußere Merkmale bzw. willkürliche Deutung von Schriftstellen gründeten, ohne die technische Seite des Gebietes genügend zu beherrschen. Auch bei der Erforschung der Geschichte der Metalle ist in dieser Beziehung vielfach gesündigt worden. Es werden da leicht Vermutungen als Tatsachen ausgegeben, die irrig sein müssen, weil sie hüttenmännische oder mechanisch-technologische Unmöglichkeiten in sich bergen.<sup>2)</sup> Es wird deshalb Zeit, daß wir gegen diese freundlichst geübte Bevormundung protestieren; wir können uns auf unserem eigenen Gebiete ganz gut selbst helfen.

Nachstehend soll an der Hand eines konkreten Beispiels erläutert werden, wie sich die chemische Analyse unter sachgemäßer Berücksichtigung der metallurgischen Kenntnisse und Fertigkeiten der Alten verwenden läßt, um bei Beurteilung antiker Kunstgegenstände Auskunft zu geben. Als Beispiel soll dabei die Untersuchung eines alten Bronzekopfes dienen, der vor längerer Zeit am Main gefunden wurde.

Das praktische Interesse konzentriert sich in solchen Fällen immer auf die Frage: Ist das Stück echt? Damit soll ausgedrückt sein: Liegt ein antikes Kunstwerk vor? Welcher Zeit gehört es an? Welchen Ursprungs kann es sein? Handelt es sich vielleicht nur um eine Nachbildung oder um einen Guß aus neuerer Zeit?

Zur Beantwortung derartiger Fragen wird man sich am besten zunächst folgende Punkte klar machen:

I. Was wissen wir über die Metallurgie des Kupfers und dessen Legierungen bei den Alten?

II. Wie weit kann die Zusammensetzung der Legierung Anhaltspunkte für das Alter und den Ursprung der Legierung geben?

III. Gibt die angewandte Technik beim Guß irgend welchen Aufschluß?

IV. Was ist aus der Beschaffenheit der Patina zu schließen?

Daß außerdem noch andere Merkmale: Form, Tracht, Fundpunkt usw. in Betracht gezogen werden müssen, um ein richtiges Urteil zu gewinnen, ist selbstverständlich.

# I. Die Gewinnung des Kupfers, die Kupfersorten und Legierungen bei den Alten.

Über den Kupferhüttenprozeß der Alten sind wir weniger genau unterrichtet als über die Gewinnung anderer Metalle, auch gehen unsere Kennt-

nisse nicht viel weiter wie bis zum Anfang unserer Zeitrechnung zurück. Wir sind dabei genötigt, uns in der Hauptsache auf die spärlichen Nachrichten von Plinius, Dioskorides, Galen und einiger anderer zu stützen und diese Angaben mehr dem Sinne als dem Wortlaute nach zu benutzen, denn Plinius hat seine Quellen vielfach mißverständlich benutzt, und für die anderen waren die Angaben metallurgischer Operationen nur Nebensache. Hierzu tritt als weitere Schwierigkeit, daß die Alten keinen genauen Unterschied zwischen den verschiedenen Kupfersorten und den Kupferlegierungen machen konnten. Immerhin ergibt sich aus den Nachrichten, gefundenen Resten von Öfen, Hüttenprodukten usw. folgendes Bild von der Kupfergewinnung<sup>3)</sup>. Als Ausgangsmaterial dienten, wie heute noch, in der Hauptsache Schwefelerze, obwohl den Alten auch die Oxyd- und Carbonaterze bekannt waren. Das eigentliche Kupfererz war der lapis aërosus, χαλκίτης oder χαλκίτης λίθος, daneben noch der lapis pyrites, λίθος πυρίτης. Aus den angegebenen Eigenschaften läßt sich mit ziemlicher Sicherheit schließen, daß unter Chalkites ein reinerer Kupferglanz oder reines Buntkupfererz, unter Pyrites ein mit Schwefelkies verunreinigter Kupferkies zu verstehen ist. Die von Plinius für ein Kupfererz angegebene Cadmia ist kein Kupfererz, sondern Galmei; der Grund für diese Verwechslung wird sich bei Besprechung der Legierungen ergeben.

Die Erze wurden, wie jetzt auch noch, zuerst geröstet und zwar in Haufen. Dioskorides sagt: „Die Kupferschmelzer behandeln den Pyrites, als ob sie Kalk brennen wollten, sie bauen daraus Öfen auf, welche sie anzünden und viele Tage lang brennen lassen, bis er eine rein rote Farbe annimmt.“ Das Verschmelzen geschah in hohen Schachtöfen, die durch zwei Stockwerke gingen. Durch eine seitliche Chargieröffnung wurden schichtenweise die gerösteten Erze und Holzkohle eingetragen; den zur Verbrennung nötigen Wind lieferten von Menschen bediente Blasebälge. Der Einrichtung nach waren die Öfen Tiegelöfen, sie besaßen jedenfalls eine Art Vorherd. Als Produkte der Schmelzung gibt Plinius an: Kupfer, Schlacken, Flugstaub, (Ofenbruch) und Diphryges. Nun ist bei der ersten Schmelzung ganz sicher nicht direkt Kupfer erhalten worden, sondern erst bei wiederholtem Schmelzen des gerösteten Kupfersteins mit geröstetem Erz oder für sich. Etwas unklar ist die Natur des von Plinius und anderen Schriftstellern mit dem Namen Diphryges bezeichneten Produktes. Am besten noch sind die Stellen technisch verständlich, wenn man sich unsern Kupferstein darunter vorstellt. Das bei den Schmelzungen erhaltene Metall war natürlich kein reines Produkt, sondern ein Schwarzkupfer; es war spröde und von schlechtem Aussehen, ließ sich gießen, aber nicht schmieden, esieß, ebenso wie noch bei uns, nach der Farbe *aes nigrum*, χαλκός μέλας. Plinius wußte aber schon, daß man die Qualität dieses Produktes durch öfteres Umschmelzen verbessern kann; er sagt, gallisches Kupfer sei deshalb so schlecht und brüchig, weil man es nur einmal durchschmelze. Ob auch das indische Kupfer, von dem Strabo erzählt, die Inder hätten

<sup>1)</sup> 20, 517 (1907.)

<sup>2)</sup> Vgl. diese Z. 16, 253 (1903).

<sup>3)</sup> Vgl. auch Neumann, Die Metalle, S. 83. Knapp, Halle a. S.

nur gegossene und nicht geschmiedete Kupfergefäße, die, wenn sie hinfallen, wie irdene zerbrechen, auch nur als unreines Rohkupfer zu denken ist, ist nicht sicher. Man scheint dort kein besseres zu erzeugen verstanden zu haben, denn auch Kunstgegenstände, Sessel, Tische usw. waren aus diesem Metall und wurden sogar mit Steinen verziert.

Etwas besser wie das Schwarzkupfer war das durch öfteres Umschmelzen erzeugte Rohkupfer, *aes caldarium*, *χρὸν* oder *τροχέον*, Scheibenkupfer. Es wurde durch Aufgießen von Wasser auf das im Vorher befindliche Kupfer in der Form von Scheiben abgehoben, wie es bei uns später beim Garmachen geschah. Es ließ sich ebenfalls nur zu Gußwaren verwenden, hatte aber schon Kupferfarbe.

Das Garmachen dieser Kupfersorten geschah in besonderen Öfen, nämlich kleinen Herden, indem man durch ein Gebläse einen Luftstrom auf die Oberfläche des Metallbades wirken ließ. Hierdurch entstand das *aes regulare*, *ἐλατόν*, ein dehnbares, hämmerbares Kupfer. Nebenbei bemerkt, war der ganze Schmelzprozeß der Alten in bezug auf das Ausbringen sehr mangelhaft, denn die gefundenen Kupferschlacken sind sehr reich an Kupfer; wahrscheinlich machte es Schwierigkeiten, genügende Hitzegrade zu erzeugen.

Plinius war nun der Ansicht, daß gewisse Kupfersorten von Natur sehr vortrefflich sind (*ex hactenus nobilitas in aere naturalis se habet*), andere aber erst künstlich in solche Sorten verwandelt werden mußten (*reliqua genera artificio constant*). Den Unterschied zwischen *aes regulare* und *aes caldarium* beschreibt er wie folgt: „Das *aes caldarium* wird nur geschmolzen und ist unter dem Hammer brüchig, das *aes regulare* aber ist hämmerbar, weshalb es auch einige dehnbar (*ductile*) nennen, und so beschaffen ist alles cyprische. Auf anderen Bergwerken unterscheidet sich das *aes regulare* und *aes caldarium* durch die Behandlung (*cura distat*). Alles Kupfer nämlich, welches durch das Feuer und durch Umschmelzen von seinen Unreinigkeiten (*vitiis*) sorgfältig gereinigt ist, ist das *regulare*. Unter den anderen Kupfersorten hat das *campanische* den Vorzug. Ähnliches wird auch in Italien und den Provinzen gefunden, des Holzmangels wegen wird es aber mit 8 Teilen Blei zusammengeschmolzen. Welche großen Unterschiede durch den Schmelzer hervorgebracht werden, kann man in Gallien sehen. Man schmilzt dort Kupfer zwischen glühenden Steinen, erhält aber, wenn die Glut zu stark ist, (*exurente enim coctura*) ein schwarzes, brüchiges Kupfer. Übrigens schmelzen sie es dort nur einmal, aber je öfter man es schmilzt, desto besser wird es.“

Plinius rechnet zu den Kupfersorten auch das *aes coronarium*, das Kranzkupfer. Dieses Metall ließ sich ebenfalls schmieden, es wurde zu dünnen Blechen ausgeschlagen, die mit Ochsen-galle gefärbt zu Kränzen für die Schauspieler, an Stelle von Gold, verwendet wurden. Dieses goldfarbige Metall war natürlich keine eigentliche Kupfersorte, sondern eine Legierung, nämlich unser Messing. Der Irrtum kam dadurch zustande, daß man dem Kupfer durch Behandeln mit Galmei und Kohle unbedeutenderweise Zink einverleibte; man sah wohl die Wirkung, hielt die Veränderung aber nur für eine

Färbung des Kupfers. Dadurch wird auch verständlich, warum Plinius die *cadmia* als Kupfererz aufführt, eine Substanz, die einerseits natürlichen Galmei, andererseits künstlich erzeugtes Zinkoxyd (Ofenbruch) vorstellt (worunter an einzelnen Stellen offenbar auch Kieselgalmei und Blende zu verstehen ist). Zweifellos hat man zur Erzeugung des gelben Metalles auch direkt Gemische von Kupfer- und Zinkerzen verschmolzen, was Plinius auch anführt. Diese gelbe, zinkhaltige Kupferlegierung bezeichnete man mit dem Namen *Aurichalcum*. Plinius braucht das Wort auch vom Erz und meint dann ein dem Aurichalcit ähnliches Erz. Seine Angaben über das *Aurichalcum* sind allerdings sehr unbestimmt und unklar. Bei Aufzählung der besten Kupfersorten sagt er: „Das *Aurichalcum* sah man lange als ein Kupfer erster Güte an, findet es aber schon lange nicht mehr, weil die Erde davon erschöpft ist (hier meint er offenbar den cyprischen Aurichalcit). Dem Sallustinischen (Kupfer) in der Gegend der Centronischen Alpen (kleiner St. Bernhard) wurde der zweite Grad von Güte zuerkannt. Bald aber schätzte man das Livianische, welches man in Gallien findet, höher, gegenwärtig schätzt man das marianische, auch *cordubensische* genannt, am höchsten. Nächst dem Livianischen nimmt es die *Cadmia* am besten auf und gleicht dem *Aurichalcum* an Güte (*cadmiam maxime sorbet et orichalcum bonitatem imitatur*).“ Hier wird also das *Aurichalcum* als eine besonders wertvolle Art von Kupfer bezeichnet, die zu allerlei Gebrauchsgegenständen, Münzen, Gewichten usw. Verwendung fand. Der Wert war, wie sich später zeigen wird, der doppelte von gewöhnlichem Kupfer.

Da Kupfer allein für verschiedene Zwecke (Guß usw.) ungeeignet war, so verwendete man vielfach Legierungen und zwar länger und viel häufiger als die Messinglegierung die leichtflüssige Bronze. Es bestanden berühmte Bronze gießereien, auch an Orten, wo keine hüttenmännische Gewinnung von Kupfer und Zinn stattfand. Überhaupt kam das Zinn nur durch Handel nach Griechenland und Italien, da nur wenige Zinnquellen im Altertume bekannt waren<sup>4)</sup>. Es wäre auch nicht unmöglich, daß auch später noch — zu den Phönizierzeiten war es ganz sicher so — direkt Bronzemischungen verhandelt wurden. (In Abessinien ging sogar Messing, also das *Aurichalcum*, in Barren als Münze.)

Plinius führt nun einige griechische Bronzen an, er kennt davon aber auch nicht viel mehr wie den Namen. Er sagt: „In alten Zeiten war die delische Bronze die berühmteste; man machte auch Statuen von Göttern und Menschen aus ihr. Nach dieser Zeit war die beliebteste Bronze die äginetische“. Weder auf Delos noch in Ägina waren Kupferbergwerke, sondern nur berühmte Gießereien. Die berühmteste Bronze war jedoch auch noch zu Plinius Zeiten die sogen. korinthische. Je weniger zuverlässiges über die wirkliche Zusammensetzung dieser Modebronze bekannt war, desto mehr war der Boden für Erstehung von Wundern geeignet. Plinius erzählt davon auch einige: danach wäre die korinthische Bronze beim Brande bzw. der Zerstörung Korinths durch M u m m i u s (146) durch Zusammenschmelzen von

<sup>4)</sup> Vgl. Neumann, Die Metalle, S. 233.

Gold, Silber und Kupfer entstanden. Je nach dem Vorherrschen des einen Metalles wären dann weißliche, goldgelbe oder bronzefarbene Metallmischungen entstanden. Das ist natürlich nur Sage, denn korinthische Bronzen gab es im Handel schon vor der Zerstörung von Korinth, und andererseits sind in eigentlichen Bronzen nie größere Mengen Gold oder Silber gefunden worden. Der Name korinthische Bronze ist also weiter nichts wie der Ausdruck für eine besonders schöne Modelegierung. Wenn Plinius als besondere (4.) Art dieser korinthischen Bronze eine solche mit einer schönen Leberfarbe, Hepatizon genannt, anführt, so handelt es sich hier jedenfalls um eine besondere Art der Behandlung der Oberfläche.

Plinius gibt auch Rezepte für verschiedene Bronzemischungen, die aber auch einer sachgemäßen Erläuterung bedürfen. Um Statuen und Tafeln zu gießen, verfährt man folgendermaßen: Die Masse wird zuerst in Fluß gebracht, und hierauf setzt man ein Drittel schon gebrauchtes und zusammengedrücktes *aes* (also Bruchbronze) hinzu, was treffliche Dienste leistet. An anderer Stelle sagt er vom campanischen Kupfer, daß man zuletzt auf 100 Pfund Kupfer 10 Pfund *Plumbum argentarium* zusetze, wodurch es zähe werde und eine hübsche Farbe annähme. Bei anderen Mischungen betragen die Zusätze 8 bzw.  $12\frac{1}{2}$  Teile. Eine besonders schöne Legierung (*temperatura formalis*), mit einem Farbenton wie die griechischen Bronzen (*color graecanicus*), das *aes tenerimum*, erhielt man durch Versetzen des Kupfers mit  $\frac{1}{10}$  Teil Blei (*nigri plumbi decima portio*) und  $\frac{1}{20}$  *Plumbum argentarium* (*argentaria vicesima*). Für Gefäßguß, *Ollaria* genannt, nahm man 3—4% *Plumbum argentarium*. Versetzt man cyprisches Kupfer mit Blei, so erhält man eine purpurfarbige Bronze.

Würde man nach diesen Angaben des Plinius die Zusammensetzung einer römischen Bronze berechnen wollen, so käme man zu einem ganz falschen Schlusse. Zunächst gibt Blei und Kupfer überhaupt keine Bronze. Die Schwierigkeiten liegen in der Deutung des Ausdrucks *massa acris* und der Natur des *Plumbum argentarium*. Am verständlichsten wird die Sache, wenn man unter *massa acris* nicht reines Kupfer, sondern schon eine mit Zinn versetzte Legierung versteht. Der Zusatz von Bruchbronze deutet auf große empirische Erfahrung, denn durch diesen Zusatz neigt die Bronze weniger zum Aussaigern und Fleckigwerden. Was ist nun *Plumbum argentarium*? Plinius bezeichnet unser Zinn mit *Plumbum album*, das Blei mit *Plumbum nigrum*. Man hat fast allgemein *Plumbum argentarium* mit Silberblei übersetzt, also vielleicht an eine Art Werkblei gedacht, die Übersetzung ist aber ganz sicher falsch, denn man hat weder größere Silbermengen in Bronzen gefunden, noch kann man aus Kupfer und Werkblei eine Bronze machen. Hier hilft uns eine andere Stelle des Plinius, wo er sich über die Verfälschung des Zinns beklagt: „man fälscht es, indem man gleiche Teile Zinn und Blei mischt, was man *argentarium* nennt; zwei Teile Blei und ein Teil Zinn heißt *tertiarium*.“ Versteht man also unter *Argentarium* ein bleihaltiges Zinn, dann wird die Bronzemischung verständlich. Eine prozentische Zusammensetzung läßt sich aber trotzdem nicht aus den Rezepten berechnen, da ein

großer Teil des Bleies sich dabei oxydieren muß. Vielfach hat jedenfalls das Blei nur als Oxydationsmittel zur Beförderung des Garmachens bei der Verwendung unreiner Kupfersorten gedient. Allerdings weisen gerade römische Bronzen häufig auch erhebliche Bleigehalte auf.

Aus den bisherigen Betrachtungen ergibt sich, daß am Anfang unserer Zeitrechnung den Alten die Kunst vollständig geläufig war, durch Variation der Zusammensetzung und ebenfalls durch Färbung Kupferlegierungen (Bronzen) mit verschiedenen Farbeffekten herzustellen. Sie wußten, daß durch verschiedenen große Zinnzusätze Bronzen von dunklem Ton bis zum Weiß (Spiegel mit 25—32% Zinn) sich erzielen ließen, sie kannten den Einfluß des Bleies und verstanden, durch Behandlung mit Galmei auch goldgelbe Mischungen zu erzeugen. Da keine Methode der Analyse bekannt war, so spielte die Erfahrung einzelner Meister eine große Rolle. Der Wert der Legierungen richtete sich größtenteils auch nach dem der Mode unterworfenen Farbeffekte. Daß dabei Gerüchte über angebliche Gold- und Silbergehalte Glauben fanden, kann nicht Wunder nehmen.

## II. Die Zusammensetzung antiker Legierungen.

Da sich aus den nicht immer sehr klaren Nachrichten antiker Schriftsteller über die Legierungen keine genügenden Unterlagen für eine Beurteilung der Zusammensetzung ergeben, so ist man darauf angewiesen, Analysenmaterial antiker Bronzen und sonstiger Legierungen zu sammeln und hieraus seine Schlüsse zu ziehen.

Bis jetzt ist nun allgemein immer behauptet worden, die Analyse könne keinen Aufschluß über Herkunft oder Zeit eines Gegenstandes geben. Die Behauptung ist in gewissem Sinne sicher richtig; die Analyse eines Einzelstückes besagt natürlich nicht viel. Aus vielen Analysen von Gegenständen verschiedener Völker und verschiedener Zeiten ergeben sich aber doch bestimmte Fingerzeige, und es lassen sich charakteristische Unterschiede in der Zusammensetzung erkennen.

Werfen wir einen Blick auf die Zusammensetzung der alten Bronzen, so finden wir bei den meisten Völkern eine sehr weitgehende Übereinstimmung in dem Mischungsverhältnissen. Der Zinnzusatz bewegt sich fast ganz gleichmäßig, soweit dies den Alten technisch möglich war, um ungefähr 12% herum. Diese außerordentliche Gleichmäßigkeit ist nur so zu erklären, daß in den ältesten Zeiten die Phönizier allein ein Monopol für die Herstellung der Bronzemischungen besaßen, weil sie den Zinnhandel ganz in der Hand hatten. Sie versorgten die ganze bekannte Welt mit ihrer Metallmischung und vertrieben dieselbe auch bis zum Norden Europas. Andere Bronzen, die nicht phönizischen Ursprungs sind, sondern anderen Bronzezentren angehören (chinesische usw.), weisen auch andere Mischungsverhältnisse auf. Die tschudischen Bronzen (vom Altai) haben beispielsweise durchschnittlich 20% Zinn.

Alle alten ägyptischen, griechischen, keltischen, germanischen Bronzen zeigen weiter das eine charakteristische Merkmal, daß sie gar kein Blei oder nur verschwindende Mengen enthalten. Hier-

von unterscheiden sich sehr scharf die jüngeren römischen, die mit bedeutenden Mengen Blei versetzt sind. Es ist nicht anzunehmen, daß es sich hierbei um eine Verwechslung von Zinn und Blei handelt; es spielt dabei entweder die zunehmende Verfälschung des Zinns durch Blei eine Rolle, oder viel wahrscheinlicher war der Bleizusatz ein ganz absichtlicher.

Von den römischen bleihaltigen Bronzen heben sich wieder ganz deutlich die merovingischen Bronzen ab, die neben höheren Zinngehalten (14—18%) außerordentlich starke Bleizusätze (30—40%) aufweisen.

So bietet der Bleigehalt der Bronzen schon eine Reihe Anhaltspunkte. Durch die Wiederverwendung von Bruchbronze und die Benutzung von Zinnbleimischungen unbestimmten Gehaltes ist bei den späten römischen Bronzen das starke Schwanken der Zusammensetzung erklärlich.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal verschiedener Bronzen ist der Zinkgehalt, worauf später noch genauer eingegangen werden wird. Hier sei zunächst nur festgestellt, daß die zinkhaltigen Bronzen und Messinglegierungen viel jünger sind als die eigentlichen Bronzen. Ihr Alter reicht im allgemeinen nicht viel weiter zurück wie unsere Zeitrechnung.

Wie erhält man nun Anhaltspunkte für das Alter einer Legierung? Material hierfür liefern Ausgrabungen alter Städte, die zu bekannten Zeiten zerstört wurden (was früher immer sehr gründlich besorgt wurde), und andererseits Münzen.

Daß sich die Münztechnik überall die Fortschritte der metallurgischen Technik zunutze macht, ist eigentlich einleuchtend, wird aber an der Hand eines modernen Beispiels noch verständlicher werden. Angenommen, es gräbt im Jahre 2500 jemand einen Gegenstand aus Neusilber oder reinem Nickel aus, und es entsteht die Frage, wie alt der Gegenstand sein kann, so kann man, auch wenn man sonst nichts über die Anfänge der technischen Nickelgewinnung oder der Neusilberindustrie<sup>5)</sup> weiß, auf Grund der Münzgeschichte behaupten, daß der Gegenstand keinesfalls viel älter sein kann, als die Münztechnik sich des Nickels zu bedienen begann, nämlich als das Jahr 1850. Der Fehler der Schätzung beträgt also im ungünstigsten Falle etwa 25 Jahre. Wäre der Gegenstand nun nicht reines Nickel, sondern nur mit Nickel plattiert gewesen, so käme für ihn nicht das Alter der ersten technischen Verwendung von Nickel in Frage, sondern er muß jünger sein, weil für eine derartige Erfindung ein gewisser Zeitraum für die technische Vervollkommenung nötig ist. Wir werden dieselbe Erscheinung nachher bei den silberplattierten römischen Münzen beobachten können.

Ehe man irgendwo an die Darstellung von Bronze gehen konnte, mußte die Kupfergewinnung schon mit hinreichender Fertigkeit betrieben werden, außerdem war die Bronzeerzeugung in den ältesten Zeiten wegen der Seltenheit der Zinnvorkommen<sup>6)</sup> nicht überall möglich. Die ältesten gefundenen

Gegenstände aus Kupfer bestehen daher überall aus reinem Kupfer, welches nur die durch die Natur der Erze bedingten Verunreinigungen enthält. Berthelot zeigte das für Chaldäa; auch in Ägypten läßt sich diese Erscheinung nachweisen. Das Szepter von P e p i I. (6. Dynastie) besteht aus fast reinem Kupfer. Die Bronze wurde in Ägypten erst während der 12. oder 18. Dynastie eingeführt. In Griechenland war zu Homers Zeiten (ca. 900 v. Chr.) die Bronze noch sehr selten. Die griechischen und trojanischen Helden benutzten (1194—1184 v. Chr.) jedenfalls noch fast reines Kupfer für Panzer, Schwerter, Messer, Lanzen spitzen usw.

Schliemann hat in Troja Kupfergegenstände ausgegraben, welche 98,7% Kupfer, aber noch kein Zinn enthielten. Daneben fand Schliemann allerdings auch Streitäxte, die bereits einen geringen Zinngehalt (3,8—5,7%) hatten, der nicht mehr zufällig hineingekommen sein kann. Mykenische Waffen und Geräte zeigen dann schon den bei allen späteren griechischen Bronzen üblichen Satz von 10—14% Zinn. Blei fehlt in griechischen Bronzen bis 400 v. Chr. vollständig. Ebenso tritt Zink in griechischen und macedonischen Bronzen nur in so geringen Mengen auf (0,0—0,7%), daß an einen absichtlichen Zusatz nicht zu denken ist.

In Rom enthalten die ältesten als Geld und zu Geräten verwendeten Kupferstücke schon 6,3% Zinn, aber ebenso wie die griechischen Bronzen kein Blei. Der Bleizusatz erscheint mit der Einführung des *aes signatum*, zwischen 429 und 451 v. Chr.; er dauert bis zum Tode Cäsars. Neben 5—8% Zinn finden sich ganz erhebliche Bleimengen, 16—29%. Die Verschlechterung der Bronze mit solchen Bleimengen bezeichnet auch Mommsen als spezifisch römisch! Der Bleigehalt nimmt erst in der letzten Zeit der Republik stark ab. In den republikanischen Münzen fehlt Zink fast gänzlich; es erscheint kurz vor Anfang unserer Zeitrechnung, dann aber gleich in bedeutenden Mengen, 10—15%, auch 20%. Auch Mommsen erklärt, daß sich Zink „bekanntlich nicht vor der römischen Kaiserzeit dem römischen Kupfer beigemengt findet.“ v. B i b r a, welcher sich außerordentlich viel mit der Zusammensetzung antiker Kupferlegierungen beschäftigt hat, hält alle auf dem Kontinent gefundenen zinkhaltigen antiken Kupferlegierungen für „römischen Import.“ In den Münzen verschwindet um 250—350 n. Chr. der Zinkgehalt wieder langsam.

Zu Anfang der Kaiserzeit unterschied man ganz scharf zwischen Kupfer, der dunkleren Bronze und dem gelben Messing, bzw. der hellgelben Bronze. Augustus ließ Scheidemünzen herstellen und verordnete, daß Sesterz und Dupondius aus Aurichalcum, die Asse und die kleineren Nominale aus Kupfer geschlagen würden<sup>7)</sup>. Die Untersuchung dieser Münzen ergibt nun, daß in der guten Kaiserzeit Sesterzen und Dupondien Zinkgehalte von 16—21%, neben ganz wenig Zinn (1%) aufweisen, während die Asse aus ganz reinem Kupfer bestehen. Wenn hierzu weiter verordnet wird: *ne quis in aes publicum quid indat neve immisceat quo id pejus fiat*, so zeigt das, daß die Einführung des Zinks als Ver-

<sup>5)</sup> Vgl. Neumann, diese Z. 16, 225 (1903).

<sup>6)</sup> Vgl. Neumann, Die Metalle, S. 69 u. 233. Knapp, Halle a. S.

<sup>7)</sup> Mommsen, Gesch. d. röm. Münzwesens 1860, 170.

besserung angesehen wurde. Aus den Angaben der Schriftsteller über die Liebhaberwerte, die für die goldgelbe Legierung bezahlt wurden, wie aus dem Wertverhältnis der einzelnen Metalle in den Münzsorten, ergibt sich der höhere Wert des Aurichalcums gegen das Kupfer. Das Aurichalcum erschien sogar wertvoll genug, um Stücke (Eisen, seltener Blei) mit Messing zu plattieren<sup>8)</sup>.

Über die Natur des Aurichalcums sind wir weiter noch durch einen Fund eines Plättchens aus zinkhaltiger Bronze bei Basel-Augst unterrichtet. Das Plättchen ist 6 Zoll lang, 3 Zoll breit, es befand sich am Fuße einer Götterstatue und trägt die Inschrift: Deo invicto typum aurichalcum solis. Es stammt aus der Zeit des Augustus. Diese als Aurichalcum bezeichnete Metallegierung besteht nach Analyse Fellenbergs aus 86% Kupfer, 10,6% Zink, 2,42% Zinn, 1,0% Eisen. Auch andere Analysen goldgelber Legierungen zeigen immer neben größeren Zinkgehalten ziemlich erhebliche Zinnmengen und etwas Blei. Will man nicht annehmen, daß durch Zusatz von Bruchbronze die anderen Metalle in die Legierung gekommen sind, so muß man zugeben, daß die Alten offenbar wußten, daß der Zusatz von Zinn zu einer messingartigen Legierung den Schmelzpunkt erniedrigt und das Metall dichter macht, wodurch es sich besser gießt; außerdem entsteht, wenn das Mengenverhältnis des Zinns zum Blei gering ist, ein schöneres Gelb, als es Messing allein gibt.

Bezüglich des Zinkgehaltes ist nun festzustellen, daß es den Alten nicht möglich war, ein Messing mit ähnlich hohem Zinkgehalte herzustellen, wie es heute

im Handel ist. Die Messingherstellung mit Hilfe von Galmei wurde noch bis in unsere Zeit, bis etwa 1850, in fast genau derselben Weise betrieben. Dadurch wissen wir, daß mit Galmei oder Ofenbruch der Zinkgehalt im Messing nicht höher als auf 27—28% zu bringen ist. (Karsten gibt folgendes Beispiel: 40 Teile Kupfer, 65 Teile Galmei, 25 Teile Kohlenstaub geben 51 Teile Messing mit 26% Zink.) Höhere Zinkgehalte können nur durch Zusatz metallischen Zinkes bewirkt werden. Gegenstände, welche also 30% Zink oder mehr enthalten, sind noch keine 100 Jahre alt.

Aus der Zeit des Septimius Severus findet sich ein goldgelbes Stück, welches als korinthisches aes bezeichnet ist, es besteht aus 79,27% Kupfer, 20,43% Zinn, 0,80% Zink, 2,70% Silber, 0,30% Nickel (Bibra).

Das für römische Münzen verwendete Silber ist bemerkenswert fein:  $\frac{965-990}{1000}$ . Die ersten Silbermünzen wurden in Rom 267 v. Chr. geschlagen, silberplattierte Kupferstücke treten häufiger erst von 216 v. Chr. an auf. Unter Commodus fiel die Plattierung auch noch weg, und man griff zum Weißsieden ganz silberarmer Kupfermünzen.

Für einen ev. Vergleich ist es nun auch wichtig zu wissen, wie neuzeitliche Bildbronzen zusammengesetzt sind. Bei bronzartigem Messing oder gelblichen Bronzen ist der Zinn- und Bleigehalt nur untergeordnet, er erhebt sich meist nicht über 3%; der Zinkgehalt beträgt kaum 10%. Nachstehend ist die Zusammensetzung der Metallmischung einiger bedeutender Kunstgüsse der letzten Jahrhunderte angeführt:

	Kupfer %	Zink %	Zinn %	Blei %	Eisen %	Nickel %
Mars & Venus, München 1585 . . . . .	94,12	0,30	4,77	0,67	—	0,48
Reiterstatue Ludwig IV, Paris 1699 . . . . .	91,40	5,53	1,70	1,37	—	—
Großer Kurfürst, Berlin 1703 . . . . .	89,09	1,64	5,82	2,62	0,13	—
Germanicus, Potsdam 1820 . . . . .	89,78	2,35	6,16	1,33	—	0,27
Friedrich d. Große, Berlin . . . . .	88,3	9,5	1,4	0,7	—	—
Bavaria, München . . . . .	91,55	5,50	1,70	1,30	—	—
Melanchthon, Wittenberg . . . . .	89,55	7,46	2,99	—	—	—

Von dieser Bronzezusammensetzung der Neuzeit weichen die römischen zinkhaltigen Bronzen sehr wesentlich ab.

### III. Die Technik der Gießerei bei den Alten.

Über die Technik der Gießerei bei den Alten haben uns die Schriftsteller leider keine sehr eingehenden Nachrichten hinterlassen. Wir können uns aber immerhin aus diesen Andeutungen, aus der Untersuchung von Gußstücken und der Betrachtung einzelner gefundenen Formen ein Bild hiervon entwerfen.

Es ist einleuchtend, daß die ersten Anfänge im Guß immer Vollgußgegenstände sind, und zwar zunächst nur mit einseitiger verzierter Fläche; ein weiterer Schritt ist die zwei- oder mehrteilige Lehmform<sup>9)</sup>. Der Hohlguß setzt schon große technische Kenntnisse voraus. Die Alten haben es aber auch

darin zu einer außerordentlichen Fertigkeit gebracht, wie erhaltene Statuen in unseren Museen beweisen.

Um den Anfang unserer Zeitrechnung herum entfaltete sich in Griechenland und Rom eine Statuenwut, die ihren Ausdruck sowohl in der Menge, wie in den Dimensionen der Standbilder fand. Zu Plinius' Zeiten standen in Rhodus noch 3000 Bildsäulen, in Athen, Delphi und Olympia sollen es nicht weniger gewesen sein. In Rom standen, als Marcus Severus Aedil war, auf einem einzigen Theater soviel. Von den Kolossen sei nur folgendes erwähnt. Lucullus brachte einen 45 Fuß hohen Apollon aus Apollonia nach Rom, der zu Plinius' Zeiten auf dem Kapitol stand. Im Tempel des Augustus stand ein 50 Fuß hoher tuskanischer Apollon. In Tarent stand ein von Lysippus gegossener Jupiter von 60 Fuß, den Fabius Verucosus wegen seiner Größe nicht wegschleppen konnte. Der von Chares gegossene Koloß von Rhodus hatte 70 Fuß Höhe. Zenodorus goß den Arvernern einen Merkur, der  $3\frac{3}{4}$  Mill. Mark kostete. Von demselben Künstler stammt auch das 110 Fuß hohe Standbild des

<sup>8)</sup> Eckhel und Neumann, Nummi vet.

<sup>9)</sup> Vgl. Blümmner, Technol. der Griechen u. Römer I, 279.

Nero. Auf der nicht ganz 22 Quadratmeilen großen Insel Rhodus sollen übrigens noch 100 andere Kolosse gestanden haben.

Diese Riesenstatuen waren natürlich aus mehreren Stücken zusammengesetzt.

Das von den Alten beim Hohlguß angewandte Verfahren war dasselbe, was wir heute als Guß mit verlорener Wachsforn bezeichnen. Das Verfahren wurde nach Angaben Benvenuto Cellinis auch im ganzen Mittelalter angewandt, es reicht selbst bis in die neuere Zeit; man ist allerdings jetzt fast gänzlich davon abgegangen. Bei diesem Verfahren formt man zunächst roh einen Kern der Figur, darauf trägt man Wachs in der Stärke, die das Metall später haben soll, und arbeitet darin das Modell vollständig aus. Auf das Wachs kommt zur Erzeugung des Mantels ein Überzug von ganz feingeschlammtem Zierlehm, der nach und nach auf 2½—5 cm verstärkt wird; auf diesen kommt eine kräftige Schicht größeren Lehms, dann wird das Ganze mit eisernen Ankern und Bändern umzogen, um die nötige Festigkeit zu erreichen. Ist das ganze Stück trocken, so wird das Wachs durch Feuer ausgeschmolzen, und der Kern steht, durch Anker gehalten, frei in der Form, den leeren Raum für das Metall freilassend. Vorher sind natürlich auch mit Überlegung die Gußröhren für das Metall und die Windpfeifen angebracht worden. Die Form wird nun mit Metall gefüllt, nach dem Erkalten zerschlagen, die Anker abgesägt und die Figur ev. ziseliert. Dieses Verfahren hat allerlei Übelstände. Das Ausbrennen der Form ist eine langwierige und beschwerliche Sache. Außerdem ist der Künstler sehr vom Zufall abhängig, da er die Form vor dem Gusse nicht übersehen kann, und jede Veränderung der Lage eines Ankers den Kern verrückt. Es passierte deshalb bei dünnen Güssen außerordentlich häufig, daß der Kern an der Seite irgendwo zum Vorschein kam; der Guß war verloren.

Diese unsichere Methode ist jetzt durch eine andere ersetzt. Man macht ein Gipsmodell, bringt darauf feinsten Formsand und hintergießt die einzelnen Formsandstücke mit einer 7—10 cm starken Gipschicht. In diesem Falle stellt man also zuerst den Mantel aus einzelnen Stücken her, dann formt man um ein Kerneisen den Kern, indem man an die zusammengesetzten Mantelstücke nach vorherigem Bepudern mit Kohlenstaub Formsand andrückt und mit Gips hintergießt. Nach Entfernung der Mantelformen hat man also das Bild in Formsand mit der Unterlage von Gips und Zieglern vor sich. Man schabt nun von der den Kern überziehenden Formsandschicht so viel herunter, wie die Stärke des späteren Gusses betragen soll, stellt die Mantelstücke wieder um den beschnittenen Kern zusammen und gießt später den entstandenen Hohlraum mit Metall aus.

Bei der letzten Methode bleiben an den Stellen, wo die Mantelstücke zusammenstoßen, sichtbare Gußnähte stehen. Ein nach der alten, zuerst beschriebenen Methode hergestellter Guß hat dagegen keinerlei Guß-, Stemm- oder Löttnähte.

#### IV. Die Patina auf antiken Bronzen.

Hausding definiert die Patina auf Bronzegegenständen wie folgt: „Schöne antike Patina ist eine durch Zeit und äußere Einflüsse eintretende

chemische und physikalische Veränderung der reinen Metalloberfläche, indem das ursprünglich gelbrote Metall ins Grüne oder Braune übergeht und gleichzeitig allmählich eine glatte, eigentümlich reizvolle, mattglänzende, durchscheinende, fast speckige Oberfläche annimmt, welche über das darunter befindliche Metall keinen Zweifel läßt.“ Schließen wir hier noch die Worte Webers über die Entstehung der Patina an, so haben wir eine klare Beschreibung der Natur einer echten Patina. „Die auf der Metalloberfläche sich zuerst bildenden zarten Beschläge von rötlichem Kupferoxydul, welche die Metallfarbe noch durchschimmern lassen, verstärken sich allmählich zu einer dunkeln, nicht mehr transparenten Schicht, und aus dieser entsteht endlich der malachitgrüne Beschlag, der um so ähnlicher dem natürlichen Mineral wird, je langsamer der Bildungsprozeß verläuft.“

Zur Bildung einer schönen natürlichen Patina, lediglich durch Einwirkung der Luft, ist eine sehr lange Zeit, die nach Jahrhunderten zählen kann, nötig. In der Nähe von Wasser oder am Meere erfährt die Oxydation allerdings eine Beschleunigung. Je nachdem nun Bronzen in Torfschichten, im Wasser oder in feuchter Erde gelegen haben, sind auch die Patinaschichten verschieden. Bronzen, welche im Wasser lagen, haben nur einen dünnen Überzug von Kalksinter, die Farbe des Metalles schimmert noch durch. In Schlamm können auch schwarze, schwefelhaltige Überzüge entstehen. Die in der Erde gefundenen Bronzen zeichnen sich durch eine grüne, mehr oder weniger dunkle Patina aus. Nimmt man die grüne Patina durch verdünnte Schwefelsäure weg, so erscheint die rötliche Schicht des Kupferoxyduls; entfernt man diese durch Ammoniak, so kommt das ursprüngliche Metall zum Vorschein. Dieses Verhalten ist charakteristisch für eine durch langsame Oxydation in feuchter Erde entstandene Patina. Bei dem Bildungsprozesse gehen durch Angriff des Metalles nicht nur feinere Verzierungen verloren, es können dabei die metallischen Eigenschaften auch ganz verschwinden, was bei Wasser-Bronzen nicht eintritt.

Künstlich erzeugte Patinierung zeigt die Ausbildung der verschiedenen Oxydationsschichten meist gar nicht. Die Stärke und Festigkeit der Patinaschicht gibt ebenfalls Anhaltspunkte zur Unterscheidung. Gelingt der chemische Nachweis organischer Säuren, dann ist ein sicheres Kennzeichen für die künstliche Erzeugung der Patina<sup>10)</sup> gegeben.

#### V. Nutzanwendung.

Nachdem wir uns über die metallurgischen Kenntnisse der Alten in bezug auf das Kupfer und seine Legierungen, über ihre Legierungstechnik und ihr Gießverfahren orientiert haben, können wir versuchen, an einem anscheinend antiken Gegenstande Merkmale zu sammeln, die für oder gegen die antike Herstellung sprechen.

Als Beispiel soll ein prächtiger, etwas über lebensgroßer Frauenkopf aus Bronze dienen, der mir vor längerer Zeit vorgelegt wurde. Der Kopf war das Bruchstück eines größeren Gusses und zwar entweder einer Büste oder einer vollständigen

<sup>10)</sup> Vgl. Vanino u. Seitter, Die Patina. Hartleben, Wien.

Frauenfigur; er war ganz unbeschädigt, nur der Hals bewies durch seine zackige Begrenzung, daß der Kopf mit Gewalt vom Schulterstück getrennt worden war. Das Gesicht zeigte einen edlen, griechischen Schnitt, ein Stirnband lief um die in der Mitte gescheitelte, hinten zu einem Knoten vereinigte Frisur und hielt dieselbe zusammen. Gesichtsschnitt und Haartracht wiesen zweifellos auf griechische Vorbilder.

An den Halsbruchrändern war die grüne erdige Patina, die den Kopf innen und außen ziemlich gleichmäßig überzog, abgerieben; an solchen Stellen kam ein helles, rotgelbes Metall zum Vorschein. Die Wandstärke des Gusses betrug nur 2—3 mm; es handelte sich also um einen sehr dünnwandigen Kunstguß.

Zum Zwecke der Untersuchung der Bronzemischung wurden von der Innenwand des Kopfes einige Metallkügelchen abgetrennt und nach Entfernung der Patina analysiert. Die Analyse der Bronze ergab folgendes Resultat:

Kupfer	66,00%
Zink	26,55%
Zinn	3,89%
Blei	2,64%
Eisen	0,93%
Gold	0,06%

Die Legierung ist also eine sehr stark zinkhaltige Bronze. Außer dem bedeutenden Zinkgehalt ist bemerkenswert der Gehalt an Blei und der Goldgehalt. Diese verhältnismäßig hohe Bleimenge ist

Gefäß . . . . .	} von Worms . . . . .
Gürtelschnalle . . . . .	
Ring von Wehrgehänge . . . . .	
Fibel von Mainz . . . . .	
Fibel vom Rhein . . . . .	
" " " . . . . .	

Die Analysen stimmen natürlich nicht genau mit der zuerst angegebenen Analyse überein, was auch nicht zu erwarten ist, denn einerseits braucht Statuenbronze nicht die Zusammensetzung der Bronze zu haben, die man für kleinere Gebrauchsgegenstände benutzte, und andererseits können die Gegenstände und die Büste oder Statue in ganz verschiedenen Werkstätten gegossen und über die Alpen zu uns gekommen sein. Die Vergleichsanalysen sollen nur zeigen, daß in den einst von Römern besetzten Gegenden Deutschlands solche jüngere, hoch zinkhaltige Bronzen nicht unbekannt sind.

Untersuchen wir nun einmal den Kopf auf die bei seinem Gusse verwendete Methode der Formherstellung. Am ganzen Kopfe ist keinerlei Gußnaht oder Stemmnaht zu entdecken; er ist deshalb sicher nach der alten Methode mit verlenerer Wachsforn hergestellt worden. Einen direkten Beweis dafür ergab die Beobachtung, daß auch bei diesem Gusse der Kern sich etwas verschoben, hat und daher der Guß an einer Stelle so dünn geworden war, daß man eine kleine Stelle geflickt hat. Die Ansätze der Gußkanäle sind nur im Innern sichtbar.

Wenn nun der Guß seiner analytischen Zusammensetzung nach kein griechisches Erzeugnis sein kann, wie kommt die Statue dann zu der griechi-

keine zufällige Beimengung, sondern ein absichtlicher Zusatz. Nach ihrem Blei- und Zinkgehalte muß die Zusammensetzung auf römischen Ursprung hinweisen. Woher stammt nun der merkwürdige Goldgehalt. Gegen die Annahme, daß derselbe aus dem Kupfererz stamme, spricht die Höhe des Gehaltes, außerdem fehlt dann der sonst übliche Silbergehalt vollständig; von einer Vergoldung kann er eben so wenig stammen, denn die Probe wurde an der Innenwand genommen. Entweder ist hier wirklich der Legierung Gold zugesetzt worden, um vielleicht einen besonders edlen Bronzeton zu bekommen (ähnlich wie man gerüchweise im Mittelalter den Glocken Silber zur Verbesserung des Klanges zugesetzt haben soll), oder es müßten größere Mengen stark vergoldeter Bruchbronze verwendet worden sein. Die Sache ist jedenfalls bemerkenswert, da in Bronzen Goldgehalte bisher nicht beobachtet worden sind. (Die Analyse wurde deshalb zur Sicherheit wiederholt.)

Die Analyse zeigt nun, daß die Bronzemischung mit der Zusammensetzung der neueren Statuenbronze (Seite 2024) gar nichts zu tun hat. Ist die Bronzemischung eine römische, und zwar des hohen Zinkgehaltes wegen eine solche aus der ersten Kaiserzeit, dann muß man fragen, sind denn noch mehr Gegenstände aus Legierungen mit ähnlicher Zusammensetzung bekannt? Gewiß! Da der Kopf hier im Taunus gefunden worden ist, so gebe ich nachstehend eine Anzahl Analysen von jüngeren römischen Gegenständen, die in unserer Gegend, in Hessen, am Rhein, gefunden worden sind.

77,79% Cu	15,78% Zn	4,67% Sn	1,27% Pb	0,37% Fe
81,81	14,61	1,57	1,86	0,13
76,76	10,00	7,86	4,88	0,36
75,07	24,45	0,20	—	0,28
84,45	12,31	1,72	1,44	0,08
86,45	11,03	1,35	0,31	—

schen Tracht? Die Antwort hierauf ist auch nicht schwer. Wie wir durch Überlieferung wissen, waren auch in der römischen Kaiserzeit noch, die Verfertiger aller berühmteren Bronzestatuen Griechen, es nimmt daher nicht Wunder, wenn diese ihre Modelle den heimatlichen klassischen Vorbildern entlehnten.

Kann nun der Guß keine Nachahmung sein? Dem widerspricht zunächst die Beschaffenheit der Patina. Die derbe grüne, ziemlich starke Patinarinde, die den Kopf innen und außen überzieht und mit ihm verwachsen ist, macht durchaus den Eindruck der langsamen, natürlichen Entstehung; an verschiedenen Stellen waren auch die rotbraunen Oxydulbeschläge sichtbar. Der Nachweis einer künstlichen Patinierung auf chemischem Wege verlief vollständig negativ.

Andererseits, würde man einer Imitation in relativ erheblicher Menge Gold zusetzen? Sicher nicht. Außerdem widerspricht die Fundgeschichte der Annahme, daß es sich um eine betrügerische Imitation handeln könnte.

Da der Bronzekopf in einer Gegend gefunden wurde, wo lange Zeit ein großes römisches Kastell bestand, und da wir auch sonst aus Funden usw. wissen, daß sich im Taunus, namentlich im zweiten



und der ersten Hälfte des dritten Jahrhunderts, römisches Leben und römische Kunst in voller Pracht entfaltet, so ist um so weniger auffällig, daß dieses römische Kunstwerk sich in deutschem Boden fand.

Was also durch chemische Analyse der Legierung und der Patina und durch Betrachtung der Gießmethode wahrscheinlich gemacht wurde, bestätigen hier die Nebenumstände: es handelte sich um eine echte römische Bronze aus der Kaiserzeit.

D a r m s t a d t, September 1907.

### Ein neuer Destillierapparat für Stickstoffbestimmungen mit Luftkühlung

ausgeführt nach genauen Angaben des Adjunkten  
der Lehrkanzel für chem. Technologie an der K. K.  
Hochschule für Bodenkultur in Wien

JOSEF SCHMIDT.

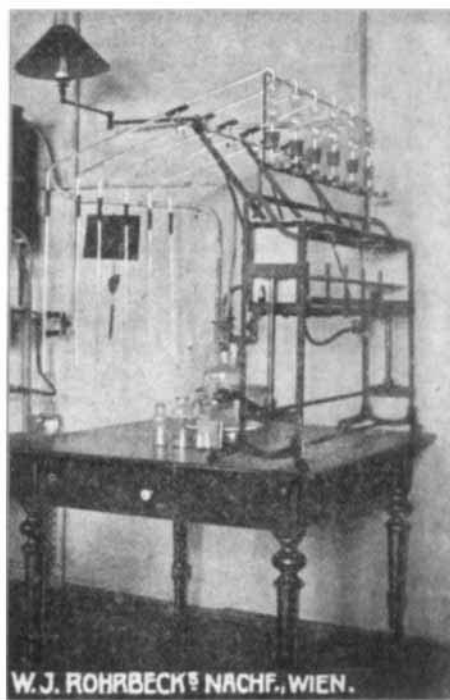
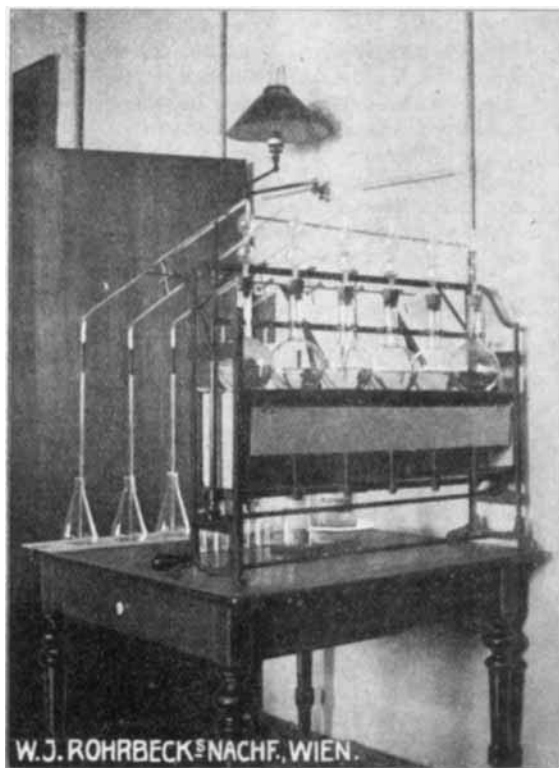
(Eingeg. 4.9. 1907.)

Zur Erläuterung des Baues, der Handhabung  
und der Vorteile des, durch nebenstehende Abbildungen im „Arbeits-“ und „Ruhe“zustande auf-

Schraubenspindeln, zum Teil an einer gemeinsamen Antriebswelle, welche durch eine Kurbel in Drehung versetzt werden kann, betätigen die ersten und gestatten so, den Brenntisch auf beliebige Höhe zu stellen. Mit diesem fix verbunden, also mit ihm gleichzeitig verschiebbar, sind die Träger der Übersteigrohre, mittels sog. „Nüsse“ auf einem gemeinsamen Rundstab, der von drei Stützen getragen wird, montiert. „Nüsse“ wurden gewählt, um jederzeit die Enden der Eintauchrohre in eine Ebene einstellen zu können, was ansonsten, bei ungleicher innerer Lichte der Kolbenhälse oder Ungleichheit der Kautschukpfropfen nicht immer der Fall wäre. Zum Festhalten der Destillierkolben auf dem Brenntische dienen messingene Klemmen, welche bloß durch ihre Federkraft wirken und sich kleinen Variationen in den Dimensionen der Kolbenhälse leicht anpassen. Gebaut ist der Apparat für 1 Literkolben (Firma Schott & Gen., Jena)<sup>1)</sup>.

Der Brennersatz besteht aus sechs „Finkener“-brennern, deren Gas- und Luftzufuhr so eingerichtet ist, daß sie bei Kleinsteellung eine schwache Rußflamme geben, wodurch eine gleichmäßige Erwärmung erzielt und eine Überhitzung der Kolbenböden, welche von der Flamme direkt getroffen werden, vermieden wird.

Um die Flamme vor Luftzug zu schützen und



genommenen Apparates möge die folgende kurze Beschreibung dienen.

In einem aus Winkeleisen gefertigten Rahmen ist an zwei mit flachem Gewinde versehenen Schraubenspindeln, heb- und senkbar ein sechsteiliger Brenntisch montiert.

Zwei Kegelradpaare, zum Teil an den beiden

ein gleichmäßig ruhiges Brennen derselben zu sichern, ist der Brenntisch mit Asbestzement, sog. „Eternit“-Schiefer umkleidet und die Vorder-

<sup>1)</sup> In Österreich unterhält die Firma W. J. RohrbECKs Nachfolger, Wien, davon Lager.