Zeitschrift: Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte = Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie = Annuario della Società Svizzera di Preistoria e d'Archeologia

Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte

Band: 58 (1974-1975)

Artikel: Gezogener römischer Draht

Autor: Epprecht, Willfried / Mutz, Alfred

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-115651

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 06.01.2026

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

Willfried Epprecht und Alfred Mutz

Gezogener römischer Draht

Einleitung

Auch Draht, ein oftmals als lästiger Überrest weggeworfenes Ding, hat seine Geschichte. Zwar ist es nicht so, dass das Gebilde, das wir Draht nennen, von der Forschung unbeachtet geblieben wäre. Ganz im Gegenteil. Bei der Verfolgung der Literatur stösst man immer wieder auf Stellen, die sich auf den Draht beziehen. Bereits im achten Gesang bei Homer ist andeutungsweise von Draht die Rede. Nun ist gerade dieser ein vielseitiges und wandelbares Objekt. Die typischste Eigenschaft von Draht ist doch gewiss die, dass seine Dicke in einem extremen Verhältnis zu seiner Länge steht. Das hängt unmittelbar damit zusammen, dass Drähte nur aus metallischen Werkstoffen bestehen können. Nur Metalle haben eine so hohe Duktilität, dass sie sich durch Hämmern oder Ziehen in dem Masse strecken lassen. Derart hergestellte Gebilde können einen Durchmesser haben, der weniger als eine Haardicke beträgt, aber auch weit über Fingerdicke reicht. Trotzdem tragen sie immer noch die gemeinsame Bezeichnung Draht. Drähte werden hergestellt aus Blei, Zinn, Kupfer, Messing, Tombak, Bronze, Aluminium, Silber, Gold, Platin, Eisen, Stahl, Molybdän, Wolfram sowie weiteren Schwermetallen und zahlreichen Legierungen. Und immer behalten selbstverständlich alle diese Metalle ihre spezifischen Eigenschaften auch in der Drahtform bei. Draht kann also teuer oder billig, hart oder weich, geschmeidig oder steif, korrosionsbeständig oder -anfällig, ein guter oder schlechter Wärme- und Stromleiter sein. Er kann verschiedene Querschnittformen haben: kreisrund, oval oder kantig. Auch in profilierteren Formen präsentiert er sich. Dieses Spektrum öffnet dem Draht ungeheuer viele, nicht zu zählende Anwendungsmöglichkeiten. Aus dieser Fülle sei als naheliegendes Beispiel nur das elektrische Licht angeführt. Schon im stromerzeugenden Generator ist die Anwesenheit von Draht unbedingte Voraussetzung, dann wieder zur Fortleitung der Energie in den Leitungen und in den Verbrauchsstellen. Doch hier sind im Gegensatz zu den guten Stromleitern solche Drähte mit genau gegensätzlichen Eigenschaften nötig. Ohne Drähte mit hohen Widerstandseffekten könnte man weder elektrisch kochen noch würde der elektrische Strom Licht spenden.

Draht ist es also durchaus wert, dass man sich etwas mit seiner Geschichte befasst. Es kann sich aber im Rahmen dieses Aufsatzes nicht darum handeln, eine zusammenfassende Darstellung seiner Geschichte zu geben. Das wäre einerseits zu umfangreich und anderseits in diesem Jahrbuch nicht der geeignete Ort. Es kann hier nur ein kleiner, wenn auch überaus wichtiger Abschnitt zur Drahtgeschichte geboten werden; der gezogene Draht zur Römerzeit.

Die zentrale Frage zu diesem Problem ist zweifellos jene nach der Herstellungsart des Drahtes zur Römerzeit. Dazu will dieser Aufsatz einen Beitrag leisten. Schon eingangs wurde angeführt, Draht könne durch Hämmern oder Ziehen erzeugt werden. Das Aushämmern von geeignetem Metall zu drahtförmiger Gestalt ist wohl die naheliegendste und ursprünglichste Methode, doch gleichzeitig auch die zeitraubendste. Der Einwand, es hätte damals den Handwerkern für ihre Arbeit genügend, ja sogar unbeschränkte Zeit zur Verfügung gestanden, kann nicht als allgemeingültig hingenommen werden. Auch in sogenannten primitiven Kulturstufen standen Arbeitsleistungen in einer wirtschaftlichen Relation. Jeder Erzeuger von Waren war sich bewusst, welchen Wert seine Produkte besassen. Ein Gradmesser dafür war gewiss die aufgewendete Zeit. Ohne solche Prinzipien wäre nicht einmal der Tauschhandel denkbar. Es liegt im Wesen jedes technisch denkenden und handelnden Menschen, die Mühen solchen Tuns zu erleichtern. Mit anderen Worten, er ist bemüht, nach Möglichkeiten zu suchen, durch neue Arbeitsmethoden leichter und schneller zum Ziele zu gelangen. Auf dieser Entwicklungslinie ist sicher auch das Drahtziehen entstanden.

Drähte aus dem duktilen Gold sind schon sehr frühzeitig hergestellt worden; so z. B. besteht das berühmte Diadem der ägyptischen Prinzessin Chenement (ca. 1800 v. Chr.), das in dem Grab von Daschur gefunden wurde, aus zehn um den Kopf herumführenden Golddrähten, an denen zahlreiche farbig verzierte Goldblüten angeheftet sind. Diese Drähte sind so glatt und von erstaunlich gleichmässiger Dicke (unter 0,5 mm), dass sie nur durch Ziehen hergestellt werden konnten[1]. Drähte aus anderen Metallen, insbesondere aus Bronze,

[1] Sutherland C. H. V., Gold. Verlag A. Scholl, Wien 1970.

scheinen indessen noch in der späten Bronzezeit nur durch Hämmern hergestellt worden zu sein. Die eigentliche Drahtziehtechnik wurde offenbar erst durch die Römer entwickelt.

Gibt es nun sowohl historische wie technologische Belege, die diese spekulative Meinung stützen könnten? Mit ziemlicher Übereinstimmung in ihren Angaben vermerken sowohl Neuburger[2] wie auch Feldhaus[3] die Existenz eines römischen Bronze-Drahtseiles aus Pompeji. Es hat eine Länge von 4 ½ Metern und bestand aus drei Strängen zu je 15 Drähten. (Feldhaus spricht allerdings von 4,1 Metern; man sieht allein an diesem Beispiel, wie ungenau und widersprechend solche, eigentlich leicht feststellbare Fakten wiedergegeben werden.) Keiner der zitierten Autoren spricht sich jedoch näher über die Herstellungsart dieser Drähte aus. Immerhin erreichen die einzelnen Drähte in diesem Drahtseil eine Gesamtlänge von mehr als 200 Metern, wobei man aber nicht weiss, ob die angegebenen 4 ½ Meter des Drahtstückes die ganze ursprüngliche Länge war. In jedem Falle erforderte dieses einen respektablen Drahtbedarf. Ein besonders grosses Bedürfnis an Drähten sei noch weiter angeführt. Funde von römischen Ketten sind sehr zahlreich. In jedem Museum sind kleinere oder grössere Partien vorhanden. Sie finden sich nicht nur als Zierketten, sondern sehr oft im Zusammenhang mit Schlössern und vor allem auch mit Waagen. Betrachtet man die einzelnen Glieder, so ist festzustellen, dass diese nicht nur sehr kunstvoll zu einer flexiblen Kette verschlungen wurden, sondern oft beträchtliche Längen aufweisen. Aus diesen Beobachtungen kann gefolgert werden, dass zur Herstellung so zahlreicher Ketten eine enorme Produktion von Drähten aller Art bestanden haben musste. Hinzu kommt, dass der Altmeister der griechischen und römischen Technologie-Geschichte, Hugo Blümner[4], neben andern metallverarbeitenden Berufen auch den *aurinetor* = Golddrahtzieher aufführt. Wenn auch Gold mit seiner grössten Duktilität (= Bildsamkeit) sich am besten zur Ziehtechnik eignet, so darf man in diesem Zusammenhang die Analogie annehmen, dass zur Römerzeit dieses praktische Verfahren auch mit anderen Metallen zur Erzeugung von Draht angewendet worden ist. Allgemein ist man doch geneigt, das Niveau der römischen Technik als zu niedrig einzuschätzen.

Weitere Zitierungen zu vorgeschichtlichem und römischem Draht können hier unterlassen werden. Leider geben fast alle Literaturangaben nur aufgrund der äusseren Form an, dass es sich um Draht handelt; die Herstellungsart wird selten erwähnt. Bei so geringen Materialquantitäten, wie dies bei Draht der Fall ist, und aus zusätzlichen Gründen (Korrosion usw.) ist eine Beurteilung der Herstellung aufgrund des Aussehens sehr problematisch, wenn nicht unmöglich.

Moderne Prüfungsmethoden, wie sie für die Kontrolle und Überwachung des inneren Aufbaues der vielfältigsten und hochbeanspruchter Werkstoffe in der heutigen Technik zur Anwendung kommen, bieten sich hier jedoch für die Abklärung archäologischer Fragen an. Dabei kann man sich einen Umstand zu Nutzen machen, der in seiner Aussagekraft unumstösslich ist. Jede Bearbeitungsart hinterlässt bei metallischen Werkstücken und -stoffen ihre typischen Spuren. Bei grösseren Werkstücken geben Werkzeugspuren (Meisselhiebe, Drehrillen, Punzen-Einschläge usw.) oder die technologische Beurteilung der Form wertvolle Hinweise. Wo dies nicht ausreicht, wie in unserem Beispiel beim Draht, liefern metallographische Schliffbilder und weitere Untersuchungsmethoden verlässliche Auskünfte. Bei der Bearbeitung von Metallen wird nämlich nicht nur die äussere Form verändert, es wird auch dessen kristalliner Gefügeaufbau mehr oder weniger stark beeinflusst. Diese Erscheinungen werden auch in sehr langen Zeitläufen nicht verändert, falls nicht starke Wärmeeinflüsse wirksam waren. Entsprechende Untersuchungen liefern eindeutige Aufschlüsse über diese inneren Gefügecharakteristiken. Bei der Technik des Drahtziehens handelt es sich im Grunde genommen um ein ganz einfaches Verfahren, das darin besteht, dass ein dünner Metallstab durch ein hartes Zieheisen gezogen wird. In dem Zieheisen befinden sich eine Anzahl verschieden grosser Löcher. Sie verjüngen sich von beiden Aussenseiten des Zieheisens gegen innen, so dass nur der mittlere zylindrische Teil des Loches das festgesetzte Mass aufweist. Der zu ziehende Draht wird an einem Ende zugespitzt, durch das Loch gestossen und von der anderen Seite durchgezogen. Durch das gewaltsame Durchziehen verringert sich der Querschnitt, und gleichzeitig nimmt die Länge zu. Nach einigen Zügen muss der Draht ausgeglüht werden, weil durch die Kaltbehandlung das Material härter wird. Je nach der Querschnittverringerung und den Materialeigenschaften sind für den Drahtzug ganz erhebliche Kräfte nötig. Härtere Materialien wie Stahl, Eisen, Nickel, Bronze usw. erfordern mehr Zwischenglühungen als die weichen, zu denen Gold, Silber, Blei, Zinn und Zink, aber auch Aluminium, Kupfer und Messing gezählt werden. Das Gesagte wird in Tafel 11, 1 veranschaulicht. Die Angabe von modernen Werten gewährt einen aufschlussreichen Einblick in die erstaunlichen Resultate des Ziehvorganges. «So kann unlegierter Stahldraht mit rund 0,08 % Kohlenstoff (das ist eine weiche Qualität) in 11

[2] Neuburger A., Die Technik des Altertums. Leipzig 1919, S. 42 und 213.

[3] Feldhaus F. M., Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker. München 1965, Nachdruck, Spalte 206.

[4] Blümner H., Die römischen Privataltertümer. München 1911, S. 597.

Tabelle 1. Beschreibung der bearbeiteten Fundstücke

Probenbezeichnung Bilder Inventar-Nr.	Querschnitt	Merkmale	Aussehen der Oberfläche
A Bilder 11. 2, 12. 3 u. 4 I.-Nr.: 1959. 1738	2 mm	grobgliedrige Kette mit quadratischem Querschnitt	vorwiegend hellgrüne Schicht, dunkelgrüne und rotbraune Flecken, dunkelgrüne Stellen liegen über hellgrüner Schicht
B Bild 11. 2 I.-Nr.: 61. 4046	2 mm	grobgliedrig, Querschnitt quadratisch	Korrosionsschicht hellgrün, nicht an allen Stellen vorhanden. Zum Teil ist die Oberfläche braunrot, oder gelbes Messing kommt zum Vorschein.
C Bilder 11. 2 u. 4, 12. 5 I.-Nr.: KA 71. 10191	1 mm	langgestreckte, dünne Glieder, Querschnitt rund	hellgrüne Korrosionsschicht bedeckt ganze Oberfläche, einige dunkel- und hellbraune Stellen sind sichtbar
D Bild 11. 2 I.-Nr.: KA 71. 1899 b	1 mm	kleine, dünne Glieder, in den Gliedern eingeschlossene Drahtknäuel, Querschnitt rund	hellgrüne Korrosionsschicht, eingeschlossene Drahtknäuel dunkelgrün
E Bilder 11. 3, 12. 1 u. 2	2 mm	Draht zur Hälfte aufgerollt, der andere Teil in Spitze auslaufend (Fibel), Querschnitt rund	dunkelgrüne Korrosionsschicht, dunkelbraune Flecken, in den Rillen des aufgerollten Teiles gelbliches Pulver
F Bild 11. 3	1 mm	Fibel, Querschnitt rund	hellgrüne Korrosionsschicht, dunkelgrüne Korrosionsprodukte im aufgewickelten Teil, braune Flecken
G Bild 11. 3	1 mm	kettengliedähnliches Drahtstück mit Bearbeitungsspuren (evtl. Verzierungen)	hellgrüne Oberfläche, darüber stellenweise dunkelbraune Stellen

ununterbrochenen Zügen vom Walzdrahtdurchmesser 5,5 mm auf einen Enddurchmesser von 1 mm gezogen werden. Dies entspricht einem Gesamtabzug von 96%, und der Draht verfestigt sich von rund 38 kg/mm² auf rund 80 kg/mm². Nach Erreichen dieser Verformungsgrenze ist eine Fortsetzung des Ziehprozesses erst nach einer Warmbehandlung (Weichglühen) möglich[5]». Die Reduktion des ursprünglichen Durchmessers von 5,5 mm auf 1,0 mm in 11 Zügen besagt, dass der Draht pro Zug durchschnittlich um 0,4 mm dünner wurde. Mit Handzug ist eine derartige Querschnittverringerung nicht möglich.

Untersuchungen

Zur Abklärung des Herstellungsprozesses römischer Drahtstücke standen sieben Messing- und Bronzeproben schweizerischer Fundstellen zur Verfügung, und zwar vier Kettenglieder von Augst (Tafel 11,2. Proben A bis D) und drei Proben von Avenches (Tafel 11,3. Proben E, F, G). Das Aussehen dieser Proben ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Proben D und G wurden infolge allzustarker Korrosion nicht näher untersucht. Die fünf übrigen Fundstücke wurden zunächst von der EMPA spektralanalytisch untersucht, wobei es sich zeigte, dass es sich um auffallend reine Kupfer-Zink- resp. Kupfer-Zinn-Legierungen handelt, welche nur geringe Spuren von Verunreinigungselementen enthalten (Fe, Al, Ni, Mn, As, Si, P). Anschliessend wurde in der EMPA eine genaue Analyse des Kupfergehaltes ausgeführt, und zwar wurden nach chemischer Auflösung der Korrosionsprodukte kleine Probestücke in Salpetersäure aufgelöst, das Kupfer elektrolytisch abgeschieden und gravimetrisch bestimmt. Die Zinn- resp. Zinkgehalte wurden aufgrund ihres spektralanalytischen Nachweises und des Kupfergehaltes durch Ergänzung auf 100% berechnet. Insgesamt ergaben sich die in Tabelle 2 zusammengestellten *chemischen Zusammensetzungen*. Darnach handelt es sich bei der Probe C um Zinnbronze, bei den Proben A, B, E und F um verschiedene Messingsorten, wobei der Zinkgehalt in der genannten Reihenfolge ansteigt. Bei allen vier Messingproben handelt es sich somit um sog. «α-Messing», d. h. nur aus einerlei Kupfer-Zink-Mischkristallen (= α) bestehende Legierungen.

Alle Proben erhielten wir in korrodiertem Zustand, wobei die Korrosionsschicht (Patina) meist grüne, z. T. auch rotbraune bis gelbliche Töne aufwies. Die Korrosionsprodukte liessen in keinem Fall eine Beurteilung der seinerzeitigen Oberflächengüte des Metalles zu. Nach chemischer Entfernung der Patina war die Oberfläche meistens ziemlich rauh. Im Falle der Probe C (Zinnbronze) zeigten sich zahlreiche *Längsriefen* auf dem ganzen Drahtumfang (Tafel 11, 4). Solche auf grössere Strecken gleichbleibende Riefenanordnungen sprechen

[5] Frischknecht E., Die Entwicklung der Ziehtechnik für Stahldraht, herausgegeben von den Vereinigten Drahtwerken AG, Bern/Biel 1965, S. 3.

Tabelle 2. Chemische Zusammensetzung der untersuchten Drahtstücke

Probe	% Cu	% Zn	% Sn	Spuren (unter 0,1 %)
Messing				
A	80,4	18	–	Fe, Al, Ni, Mn, As
B	79,0	20	–	Fe, Al, Ag, Si
E	75,9	24	–	Fe, Al, Ag, Si
F	69,2	30	–	Fe, Al, Ag, Si, Ni
Bronze				
C	92,6	–	7	Fe, Al, Ag, Si, Ni, Zn, P

dafür, dass der Draht gezogen worden ist, wobei Unregelmässigkeiten im Ziehsteinloch Längsrillen erzeugt haben. Unterschiedlich stark verformte Gefügepartien sprechen unterschiedlich auf Korrosionsprozesse an; im Rillengrund ist stäiker verformtes Material vorhanden (das stärker korrodierte) als an den erhabenen Stellen. Der Korrosionsvorgang verstärkt daher die Riefenstruktur, und es braucht durchaus kein so schartiger Ziehstein verwendet worden zu sein, wie dies die abgebildete, gereinigte Probe vortäuscht. An einigen Stellen fehlen am Bronzedraht C die Längsriefen, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass dort die Greifpunkte des Werkzeuges lagen.

Die Messingproben zeigten nach der Entfernung der Korrosionsprodukte höchstens Andeutungen von Ziehriefen; dies bedeutet jedoch nicht, dass die Messingdrähte nicht gezogen worden sind, können doch bessere Ziehsteine verwendet worden sein, oder aber es wirkte beim Messing die Korrosion nicht so selektiv an den stärkstverformten Stellen wie bei Bronze.

Von den Drähten A, B, C, E und F wurden *metallographische Schliffe* hergestellt, indem Stücke von ihnen in Kunststoff eingebettet und anschliessend Längs- und Querschliffe durch die Drahtstücke angefertigt wurden. Dies geschah mit den üblichen Methoden mittels Diamantpulver, zuletzt solchem der Korngrösse $\frac{1}{4}\,\mu$ ($1\,\mu = {}^{1}/_{1000}$ mm). Da solcherart geschliffene und polierte Metallstücke meist keine deutlichen Gefügemerkmale zeigen, werden sie anschliessend zur Sichtbarmachung derselben geätzt. Für die Bronze wurde als Ätzmittel 10 g Ammoniumsulfat in 100 g Wasser benützt (2 sec. Eintauchzeit), für Messing 10 g Kupferammoniumchlorid in 120 g Wasser mit Ammoniakzugabe (Ätzzeit 7 sec.). Mit diesen Ätzmitteln konnten die Korngrenzen, Zwillingsgrenzen und Gleitlinien (Deformationsspuren) der Metallkristalle einwandfrei sichtbar gemacht werden Tafel 12, 1–5).

Aus der Metallkunde ist bekannt, dass die Metallkristalle bei der Verformung innerlich längs Gleitflächen durchbewegt werden. Die Gleitflächen kann man durch Anätzen im Schliff sichtbar machen (z. B. Tafel 12, 4 und 5), und zwar erscheinen sie als gerade oder leicht gekrümmte «*Gleitlinien*», die meist in parallelen Scharen auftreten. Das Vorhandensein solcher Gleitlinien ist ein einwandfreier Beweis für eine vorausgegangene Verformung (z. B. durch Hämmern, Schmieden, Ziehen usw.). Je stärker die Verformung war, desto mehr Gleitlinien sind nachweisbar, umso stärker verändert sich aber auch die anfänglich mehr oder weniger isometrische Form der Kristalle, die oft auch in kleinere Stücke aufgeteilt werden. Bei Verformungsprozessen sind die oberflächlich liegenden Kristalle häufig stärker deformiert – und mit mehr Gleitlinien erfüllt – als im Materialinnern. Je bildsamer ein Metall ist, und je kräftiger die Durchbewegung war, umso tiefer hinein greift auch die Verformung der Kristallkörner. Beim Drahthämmern erfasst die Verformung den ganzen Querschnitt fast gleichmässig, während beim Ziehen der Ziehstein vorzugsweise die oberflächlicheren Kristalle stark deformiert.

Wird ein Metall nach einer Verformung genügend hoch erhitzt, so werden die verformten – und dabei härter gewordenen – Kristalle durch neue ersetzt, die weicher sind, wieder eine isometrische Form aufweisen und keine Gleitlinien mehr enthalten (Tafel 12, 2). Bei Kupferlegierungen entstehen bei diesem sog. *Rekristallisationsvorgang* neue Kristalle mit breiten, durch parallele Grenzen charakterisierten Zwillingsbändern (Tafel 12, 2, 4 und 5). Letztere können leicht von Gleitlinien unterschieden werden. Liegt bei Kupferlegierungen ein Gefüge vor, das isometrische Körner mit Zwillingslamellen und – oft leicht gewölbte – glatte Korngrenzen aufweist, in welchem Gleitlinien fehlen, so liegt sicher rekristallisiertes Material vor. Sein Gefüge ist übrigens auch vom Gussgefüge eindeutig unterscheidbar.

Die von uns untersuchten Fundstücke weisen alle sowohl eindeutige Verformungsmerkmale wie auch Rekristallisationscharakteristiken auf, wobei die Randpartien stets viel stärker verformt sind als die zentraler gelegenen. In der Drahtmitte ist oft ein eindeutiges, fast reines Rekristallisationsgefüge vorhanden. Die Tafel 12, 1 zeigt z. B. die Randpartie des Querschnittes durch die Messingprobe E. Der oberflächennahe Teil ist sehr feinkörnig und – bei der gewählten Vergrösserung – nicht in Einzelkristalle auflösbar. Gegen innen werden die Kristalle bald grösser und weisen z. T. leicht «zerknitterte» Zwillingslamellen auf. Zuinnerst (Tafel 12, 2) ist das Gefüge grobkörniger und weitgehend im Rekristallisationszustand, z. T. mit Zwillingslamellen. Bei der Messingprobe A sind die aussen liegenden Kristalle stark verformt, weisen viele Gleitlinien auf und sind – wie die Tafel 12, 3 zeigt – längs der Gleitlinien und z. T. auch flächenhaft von Korrosionsprodukten durchsetzt. Die Korrosion greift hier selektiv die stärkstverformten Kristallpartien, insbesondere die Gleitflächen an. Im Drahtinnern erhielten wir (Tafel 12, 4)

noch zahlreiche Gleitlinien (die z. T. korrodiert [= schwarz] sind); die Kristalle sind jedoch noch gross, die Korngrenzen mehr oder weniger glatt und die Zwillingslamellen (rechte Mitte und links der Mitte unten) nur wenig verbogen. Die Drähte E und A sind somit randlich viel stärker verformt als zentral und müssen vor der Verformung rekristallisiert, d. h. weichgeglüht worden sein. Dasselbe gilt auch für die andern Proben. So wies z. B. die Bronzeprobe C zentral nur ganz wenige Gleitlinien auf (Tafel 12, 5, links der Bildmitte), im übrigen jedoch ein weitgehend unverändertes Rekristallisationsgefüge mit Zwillingslamellen.

Die gegenüber dem Drahtinnern verstärkte Verformung des Randgebietes kommt auch in der aussen erhöhten Härte zum Ausdruck. Vermittels mikroskopisch kleiner Eindrücke kann man von sehr kleinen Bereichen die sog. *Mikrohärte* bestimmen. Die Probe A ergab im Querschliff am Rande einen Durchschnittswert von 130 kp/mm², im Zentrum einen solchen von 105 (bestimmt mit einer Drucklast von 100 p; Härtewerte werden mit einem Festigkeitswert angegeben; 1 p = 1 Gramm, 1 kp/mm² = Querschnitt von 1 mm² trägt 1 kg). Die erhöhte Härte der stärker verformten Randpartie ist somit sehr deutlich.

Ganz allgemein gilt, dass die Korngrösse einer bestimmten Legierung bei der Rekristallisation um so kleiner wird, je stärker das Metall vorher verformt worden ist. Bei der Probe E kann z. B. eine deutliche Zunahme der Rekristallisations-Korngrösse von aussen nach innen im Draht festgestellt werden. (Vergleiche z. B. die Mitte von Tafel 12, 1 mit 2). Ähnliches ist bei den andern Proben erkennbar. Dies bedeutet, dass vor dem letzten Verformungsprozess – welcher die Randschicht nochmals stark verformt hat – eine Rekristallisationsglühung von schon früher verformtem Material durchgeführt worden ist. Die untersuchten Drahtstücke lassen somit erkennen, dass sie durch mindestens zweimaliges, wahrscheinlich jedoch mehrfaches Weichglühen und Verformen hergestellt worden sind.

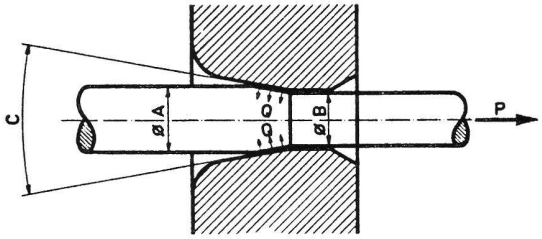
Ausser der Schliffbild-Interpretation gibt es heute noch weitere Methoden, um Verformungs- und Rekristallisationsvorgänge nachzuweisen, welche ein Metallstück im Laufe seiner Geschichte erfahren hat. Eine sehr wichtige solche Methode beruht auf der Beugung von Röntgenstrahlen an den Metallkristallen (sog. *Röntgen-Feinstruktur-Methoden*). Untersuchungen dieser Art wurden an den oben erwähnten Proben ebenfalls durchgeführt. Es würde im Rahmen dieser Arbeit jedoch zu weit führen, näher auf sie einzugehen, weshalb wir nur kurz die Resultate zusammenfassen: alle Proben sind oberflächlich mehr oder weniger stark, im Innern viel weniger stark verformt, und zwar bei den verschiedenen Proben graduell unterschiedlich. Die dünnen Drähte sind innerlich stärker verformt als die dicken.

Die letzte Bemerkung ist besonders interessant, wenn man noch die chemische Zusammensetzung mit der *Dicke* der Messingdrähte in Beziehung setzt. Letztere nimmt nämlich in der Reihenfolge der Proben A, B, E, F ab, der Zinkgehalt in der gleichen Reihenfolge zu. Es ist bekannt, dass Messing umso leichter verformbar ist, je geringer der Zinkgehalt ist. Die Herstellung dikker Drähte durch Ziehen erfordert grössere Ziehkräfte als diejenige von dünnen. Um mit relativ kleinen Ziehkräften auszukommen – wie dies ja die Römer mit ihrer Handarbeit tun mussten – ist es somit günstig, den Zn-Gehalt umso niedriger zu wählen, je dicker die gewünschten Drähte sein sollen. Dies scheinen schon die Römer gemerkt zu haben, jedenfalls ist diese Regel beim untersuchten Fundgut genau erfüllt.

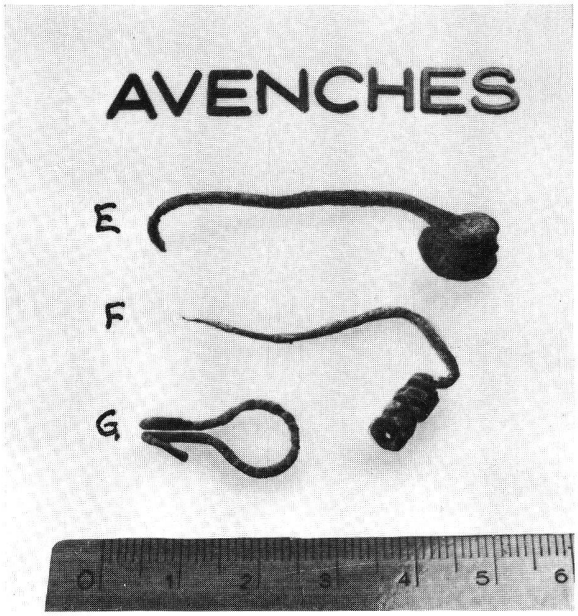
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Form der korrodierten Oberfläche des untersuchten Bronzedrahtes C dafür spricht, dass die Herstellung durch Ziehen erfolgte, während bei den übrigen Proben die Oberflächenform keinen Anhaltspunkt zum Herstellungsverfahren liefert. Der Bronzedraht C und die vier Messingdrähte A, B, E und F zeigen Mikrogefügemerkmale, welche auf die Herstellung durch Ziehen hindeuten; es sind dies die starke innere Verformung der Oberflächenkristalle, die abnehmende Verformungsintensität gegen das Drahtzentrum und die Mikrostruktur rekristallisierter (weichgeglühter) Metalle. Es besteht kein Zweifel, dass die Proben nach einem vorangegangenen – die Aussenschicht am stärksten deformierenden – Formgebungsprozess wieder weichgeglüht und anschliessend nochmals verformt worden sind. Diese Resultate wurden durch Röntgen-Feinstruktur-Untersuchungen bestätigt. Da nur der Ziehprozess mit Zwischenglühungen die gefundene Innenstruktur der Proben erzeugen kann, darf mit Sicherheit gesagt werden, dass die Römer es verstanden, Messing- und Bronzedrähte zu ziehen. Ferner scheint es, dass bereits in römischer Zeit bekannt war, dass Messing mit zunehmendem Zinkgehalt härter wird, und diese Erkenntnis schon damals ausgenützt worden ist, um den Ziehprozess optimal zu gestalten.

Die vorliegenden Untersuchungsresultate wurden einer Semesterarbeit der Werkstoffingenieur-Studenten P. Huber, H. Rutishauser, H. W. Schläpfer und H. Schwitter entnommen. Wir danken ihnen hiemit für ihre Arbeit, ebenso Herrn E. Schaller für die Mithilfe bei der Präparation der Proben. Besonders möchten wir auch der EMPA (Eidg. Materialprüfungs-Anstalt in Dübendorf) für die Ausführung der chemischen Analysen unseren Dank aussprechen.

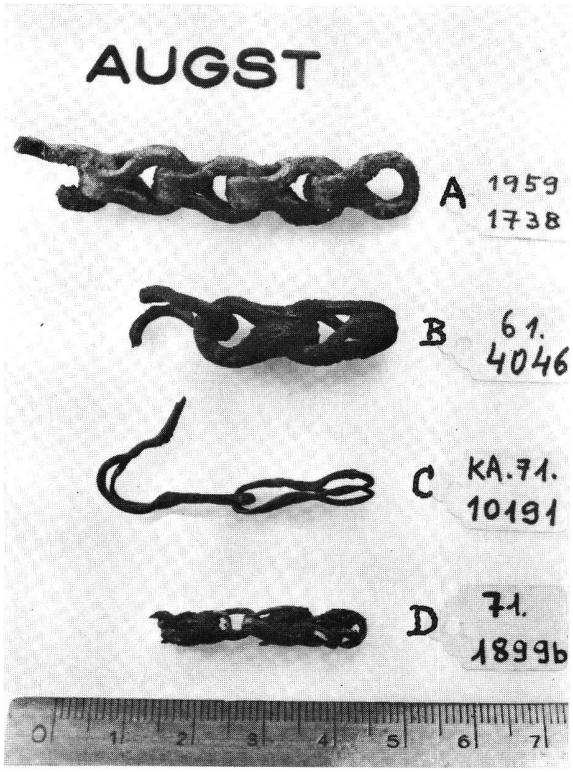
W. Epprecht, Institut für Metallforschung,
ETH-Zürich, Sonneggstr. 3, 8006 Zürich
A. Mutz, Largitzenstr. 84, 4056 Basel



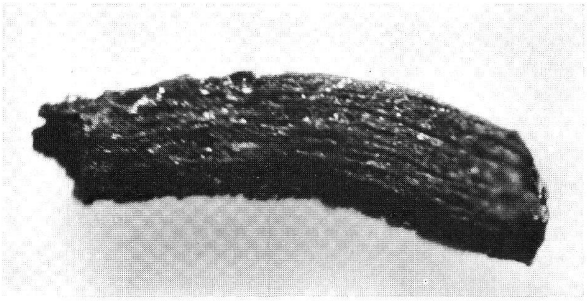
1



3

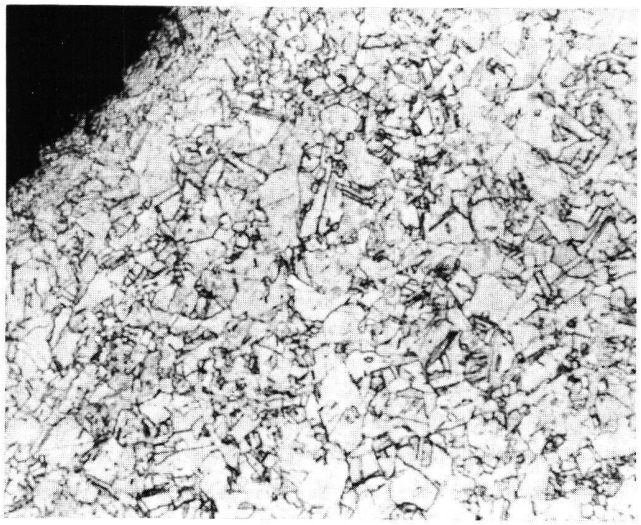


2

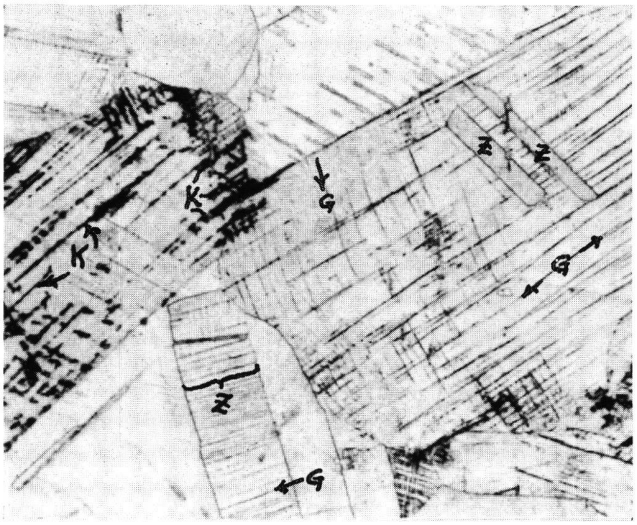


4

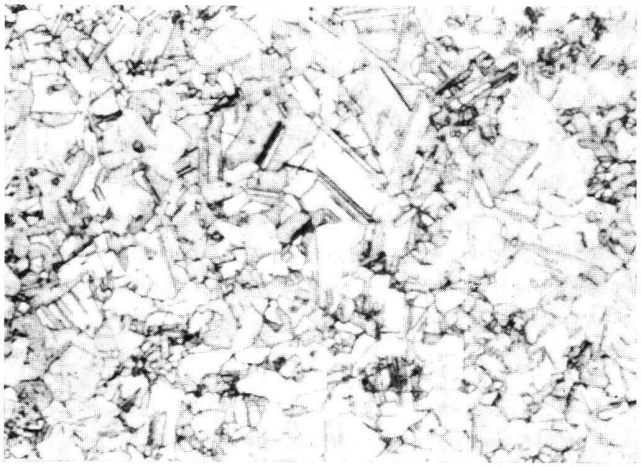
Tafel 11. – 1: ø A = Draht vor dem Zug; ø B = Draht nach dem Zug; P = Längskraft für den Zug; Q = Querkräfte. Das Zusammenwirken aller Kräfte bewirkt die plastische Umformung. – 2: Kettenproben von Kaiseraugst. C = Bronze, übrige Messing. – 3: Untersuchte Proben von Avenches aus Messing. – 4: Stück der Bronzeprobe C nach Auflösung der Korrosionsschicht. Ziehriefen deutlich sichtbar.



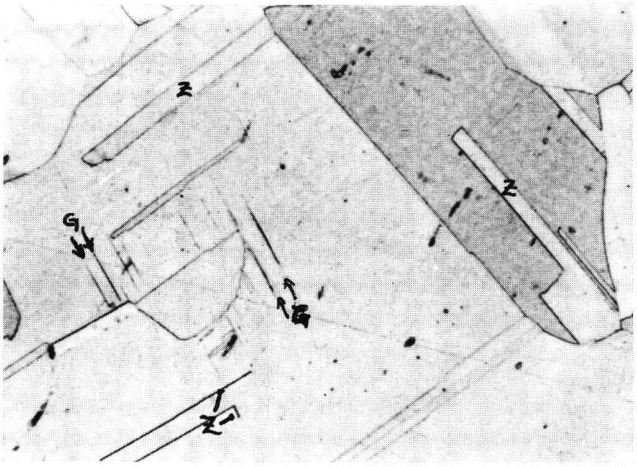
1



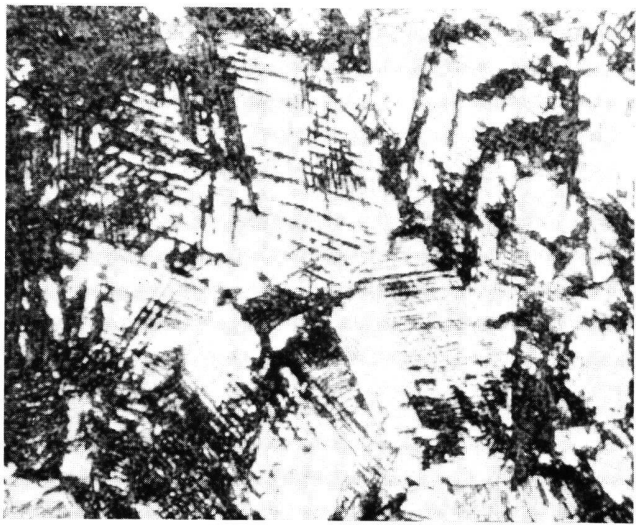
4



2



5



3

Tafel 12. – 1: Randgebiet des Querschliffes durch Messingprobe E. Geätzt. 200fach vergrössert. Links Oberfläche. Randkristalle sehr feinkörnig. – 2: Mitte des Querschliffes durch Messingprobe E. Geätzt. 200fach vergrössert. Kristalle relativ gross mit Rekristallisations-Zwillingslamellen. – 3: Randgebiet der Messingprobe A. Querschliff, geätzt, 200fach vergrössert. Gleitlinien in den Kristallen. Graue Partien = Korrosionsprodukte, welche das Messing ersetzen. – 4: Zentrum des Messingdrahtes A, geätzt. 200fach vergrössert. Grosse Kristalle mit relativ wenig Gleitlinien (G), welche z. T. korrodiert sind (K); Zwillinge (Z), welche nach ihrer Bildung während dem Weichglühen wieder verformt wurden (mit Gleitlinien). – 5: Querschnitt durch Bronzedraht C, Zentrum. Geätzt, 900fach vergrössert. Rekristallisationskristalle mit Zwillingen (Z) und wenig Gleitspuren (G).