

**Zeitschrift:** Minaria Helvetica : Zeitschrift der Schweizerischen Gesellschaft für historische Bergbauforschung = bulletin de la Société suisse des mines = bollettino della Società svizzera di storia delle miniere

**Herausgeber:** Schweizerische Gesellschaft für Historische Bergbauforschung

**Band:** - (1991)

**Heft:** 11a

**Artikel:** Der prähistorische Bronzeguss im Experiment : Erfahrungen anlässlich der Ausstellung Pfahlbauland

**Autor:** Fasnacht, Walter

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1089635>

### 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:** 21.01.2026

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

Walter Fasnacht

DER PRÄHISTORISCHE BRONZEGUSS IM EXPERIMENT:  
ERFAHRUNGEN ANLÄSSLICH DER AUSSTELLUNG *PFAHLBAULAND*

1. Einleitung

Vom 28. April bis 21. Oktober 1990 fand in Zürich-Wollishofen die Ausstellung *PFAHLBAULAND* statt. Ueber 380'000 Besucher zog der Erlebnispark unter dem Motto "Begegnung mit dem Menschen der Stein- und Bronzezeit" an. Hauptattraktion war die originalgetreue Rekonstruktion des frühbronzezeitlichen Pfahlbaudorfes von Zürich-Mozartstrasse. In Werkstätten wurden die verschiedenen handwerklichen Tätigkeiten, welche aus urgeschichtlicher Zeit überliefert sind, auf möglichst authentische Weise nachvollzogen.

Der Autor hatte zusammen mit der Studentenschaft der Abteilung für Ur- und Frühgeschichte der Universität Zürich die Aufgabe übernommen, den prähistorischen Bronzeguss vorzuführen. Bei unseren Vorbereitungsarbeiten stellte sich rasch heraus, dass die Besucher des Pfahlbaulandes, vor allem die Kinder, den Bronzeguss aus Sicherheitsgründen nicht selber durchführen konnten. Auch kleinste Mengen flüssigen Metalls stellen ein nicht zu unterschätzendes Gefahrenmoment dar.

Ein Ausweichen auf moderne Gussverfahren und -apparaturen bzw. die Verwendung von Metallen oder Legierungen mit viel tieferen Schmelzpunkten als Bronze, nur um des Effektes willen, stand von Anbeginn nicht zur Diskussion.

Archäometallurgische Experimente werden zwar schon seit geraumer Zeit durchgeführt, jedoch meist unter Einbezug moderner Technologie. Für die grosszügige Uebermittlung seiner langjährigen Erfahrungen im archäologisch abgestützten Bronzeguss möchten wir uns deshalb bei Herrn Philippe Andrieux, Departements-Archäologe von Val de Marne, Frankreich, herzlich bedanken.

Ueber die Ausstellung hinausgreifend, besteht für uns der Sinn der Experimente darin, aus Fehlern und Misserfolgen zu lernen und die experimentellen "Funde und Befunde" mit den effektiven archäologischen Evidenzen vergleichen zu können. Nebst den Gussobjekten wurden deshalb auch sämtliche Abfallprodukte wie Gusstropfen, Schlacken, ausgediente Tiegel und Düsen sowie verschlackte oder verglaste Ofenfragmente für spätere Analysen aufgesammelt.

Des weiteren liessen wir unseren ersten Schmelzofen einen Winter lang der Witterung ausgesetzt, um festzustellen, wie schnell eine solche pyrotechnische Einrichtung zerfällt. Nur die massiv verschlackten Teile rund um die Düsen - und dies betrifft den

kleinsten Teil des Ofens - hielten Wind und Wetter stand. Die Archäologie kann deshalb nur unter glücklichsten Umständen mit einem interpretierbaren Erhaltungszustand rechnen. Hinzu kommt, dass mit Sicherheit sämtliche wiederverwendbaren Materialien und Einrichtungen vom Handwerker eingesammelt wurden und deshalb eine prähistorische Giesserei schon beim Auflassen kaum je in ihrer Gesamtheit vorliegt.

## 2. Rohstoffe und Rohgüsse

Es mag heutige Giesserei-Technologen erstaunen, aber der Werkstoff, welcher uns am meisten beschäftigte, war nicht das Metall sondern die Keramik. Von allen beteiligten Objekten bietet der Gusstiegel am meisten Probleme, weil er der intensivsten Beanspruchung ausgesetzt ist; sowohl der grössten Hitze wie auch dem grössten Temperaturschock. Mit der Verwendung von neuzeitlichen oder importierten Rohstoffen könnten sämtliche Probleme, die sich im Temperaturbereich von über 1000 Grad Celsius mit unseren lokalen Tonen stellen, umgangen werden. Dies wäre jedoch experimentelle wie archäologische Selbsttäuschung, da mineralogische Untersuchungen an neolithischen Schmelztiegeln aus unseren Seeufersiedlungen gezeigt haben, dass dafür keine speziellen Tone verwendet wurden und die Zusammensetzung der Matrix jener der Gebrauchsgeräte entspricht (Maggetti et al. 1991, 98,99). Die in der Region Zürich anstehenden Lehme und Tone beginnen jedoch bei 1100 Grad zu schmelzen. Um darin Kupfer mit einem Schmelzpunkt von 1083 Grad aufschmelzen zu können, muss das Temperaturmaximum im Schmelzofen gezielt auf das Metall und nicht etwa an die Tiegelaussenseite gerichtet werden. Im Gegensatz zur heutigen Gusstechnik wirkt folglich der Tiegel während des Gussvorgangs als Kühler. Einmal aus dem Ofen gehoben, erstarrt die Schmelze innerhalb von Sekunden.

Anhand dieser archäologischen Vorgaben musste nun der Ofen entsprechend gebaut werden. Man sollte eher von einem Herd als von einem eigentlichen Ofen sprechen, handelt es sich doch um nicht viel mehr als um eine Vertiefung in der Erde mit einer dem Giesser zugewandten Brüstung von ca. 30 cm Höhe (Abb. 1). In der Mitte dieser Brüstung befinden sich "Verschlussteine", welche unmittelbar vor dem Guss entfernt werden, um den Tiegel mittels eines Holzstiels aus dem Feuer zu heben. Ohne künstliche Luftzufuhr bleibt die Temperatur des Holzkohlefeuers in einer solchen Herdstelle bei maximal 800 Grad stehen. Durch zwei in die Ofenwand eingelassene Düsen kann alternierend Luft in die über dem Tiegel aufgehäufte Holzkohle geblasen werden; deren

Temperatur steigt dadurch innert Minuten auf über 1100 Grad. Die Düsen müssen auf den halben Zentimeter genau auf die Tiegelmitte gerichtet sein, da sonst der Tiegelrand und nicht das Metall zu schmelzen beginnt.

Das Thema Brennstoff hätte viel mehr Aufmerksamkeit verdient, als wir ihm schenken konnten. Ohne aktualistischen Prinzipien zu sehr zu verfallen, kann mit einiger Sicherheit gesagt werden, dass auch in der Prähistorie die verfügbaren Energieressourcen optimal genutzt wurden. So gelang es im Verlaufe der sechsmonatigen Experimentierperiode, den Holzkohleverbrauch von anfänglich über 10 kg pro Schmelzgang auf fast einen Fünftel zu reduzieren.

Obwohl in der Literatur zur Archäometallurgie fast ausschliesslich von Holzkohle gesprochen wird, versuchten wir in unserem Herd, Bronze mit Holz aufzuschmelzen. Ueberraschenderweise gelang das Experiment auf Anhieb. Die maximale Temperatur im offenen Holzfeuer betrug 1170 Grad Celsius, dies mit weichem Laubholz (Abb. 2). Durch gezieltes Experimentieren mit verschiedenen Hölzern sowie mit der Grösse, Schichtung und Verbrennungsgeschwindigkeit der Scheiter könnte diese Temperatur bestimmt noch um einiges erhöht werden. Der Nachteil der Verwendung von Holz gegenüber von Holzkohle ist die Anfälligkeit auf Temperaturschwankungen (Abb. 2, Punkt 2). Beim kleinsten Unterbruch der künstlichen Luftzufuhr fällt die Temperatur im Schmelzherd drastisch. Holzkohle, mit nahezu dem doppelten Heizwert von Holz, scheint hingegen als Puffer zu wirken. Die Frage, ob nun in der Prähistorie tatsächlich Holz oder doch Holzkohle verwendet wurde, ist in erster Linie mittels archäologischer Methoden, und nicht experimentell zu beantworten. Dass beim reduzierenden Brand von Keramik Holzkohle anfällt, konnten wir bei Nachbarexperimenten im Pfahlbauland feststellen. Holzkohle und seine Vorzüge dürften also bekannt gewesen sein.

Die Verhüttung von Erzen müsste bezüglich des verwendeten Brennstoffes getrennt von unseren Gussexperimenten besprochen werden. Es herrscht die Meinung vor, dass nur Holzkohle genügend Energie für den Reduktionsprozess liefert.

Die Rekonstruktion unseres Ofens ist völlig hypothetisch, da sich in den Seeufersiedlungen keine Schmelzöfen fanden. Es ist z.B. auch möglich, die Luft aus den zwei Blasbälgen durch eine einzige Düse auf den Tiegel zu richten (freundliche Mitteilung von Achim Werner, Köln). Eine ganz andere Technologie, welche offenbar in der Bronzezeit über den europäischen Kontinent hinaus verbreitet gewesen war, arbeitete mit mundgeblasener Luftzufuhr (Roden 1988). Tönerne Düsen wurden auf das Ende eines Blasrohres gesteckt und direkt auf den mit Holzkohle überhäuften Tiegel

gehalten. Aus der Schweiz ist bis jetzt eine einzige Düse als solche erkannt und publiziert worden, sie stammt aus der frühbronzezeitlichen Siedlung Arbon-Bleiche TG (Roden 1988, 64). Von der gesamten ostschweizerischen Seeufer-Bronzezeit kennen wir keinen einzigen rekonstruierbaren Gusstiegel, und so mussten wir auf neolithische Vorbilder zurückgreifen. Als Vorlage für unsere experimentellen Tiegel diente ein pfynzeitlicher Gusstiegel von Zürich-Mozartstrasse (dendrochronologisch auf ca. 3600 BC datiert, Abb. 3) und ein horgenzeitliches Fragment von Zürich-Seefeld (um 3000 BC, Abb. 4).

Die beiden einzigen bisher bekannten Tiegel aus der Horgener Kultur besitzen einen Tüllengriff, in welchen ein Holzstiel gesteckt werden kann. Dieses Griffschema hat sich in die Bronzezeit fortgepflanzt, wobei die Tüllenöffnung von anfänglich rund über oval auf vierkantig wechselte (Fasnacht 1990, Rageth 1974, Tf. 89,90). Damit wird eine optimale Handhabung erreicht und ein seitliches Abgleiten vom Holzstiel verunmöglicht. Das ältere Pfynerschema mit kantig profiliertem Griff starb bei uns aus, während in Frankreich, auf der Fundstelle Fort Harrouard, ein Tiegel mit typähnlichem Griff mit Bronzezeitkeramik vergesellschaftet zu sein scheint (Mohen et Bailloud, 1987, Pl.104/1). Der Zungengriff des Pfyners Tiegels kann zwischen zwei Aeste geklemmt werden; die Handhabung steht der des Tüllengriffs in nichts nach.

Bronzezeitliche Gussformen aus dem unteren Zürichseebecken sind im Vergleich zu Oefen und Tiegeln gut belegt (Weidmann 1981). In der Vorbereitung für das Pfahlbauland experimentierten wir mit Ton, Sandstein und Lavez als Rohstoffe für unsere Gussformen. Jedes dieser Materialien stellt wieder andere Probleme, welche wir nur oberflächlich verfolgen konnten. Für den täglichen Guss vor Ausstellungsbesuchern ist das Wachsausschmelzverfahren, d.h. der Guss in die verlorene Form, zu aufwendig. Die Herstellung von temperaturresistenten und doch fein abzeichnenden Keramikgussformen zieht sich über Wochen hin, da die organische Magerung zuerst verrotten muss, bis der Ton geschmeidig genug ist. Am rationellsten erwies sich bald einmal der Einschalenguss in die Sandsteinform. Um möglichst authentisch zu bleiben, suchten wir einen Sandstein in der Umgebung. Sehr harte, auch heute noch abgebaute Sandsteine, stehen am oberen Zürichsee an, z.B. am Buechberg zwischen Nuolen und Uznach. Innerhalb ein und desselben Aufschlusses existieren jedoch grosse Qualitätsunterschiede. So gelangen uns in der einen Form problemlos 20 Gütse, bis die Form oder der Gusstrichter ausbrach, während andere Sandsteinformen gleicher Herkunft nicht einen einzigen Guss überstanden. Es erstaunt deshalb nicht, dass

prähistorische Sandsteinformen bis aufs letzte ausgenützt, d.h. oft beidseitig benutzt wurden. Gewiefte Archäologen bemerkten denn auch, dass unsere Gussformen dicker waren als die bronzezeitlichen Originale. Wir argumentieren dahingehend, dass die archäologischen Funde verbrauchte, nach vielfachem Abschleifen und Wiedereinritzen abgenutzte Stücke belegen, während wir Interesse hatten, mit dicken, möglichst noch mehrfach abschleifbaren Formen zu beginnen.

Prädestiniertes urgeschichtliches Objekt für den Einschalenguss in Sandstein ist die Sichel (Abb. 5). Für die serienmässige Herstellung der Negativformen verwendeten wir Stahlmeissel. Immerhin stellten wir an einer Gussform sicher, dass dies durchaus auch mit einem Meissel aus einer 10%-Zinnbronze möglich ist; nur muss das Werkzeug alle paar Minuten nachgeschliffen werden.

Wesentlich einfacher ist die Bearbeitung von Lavez- oder Speckstein, woraus prähistorische Gussformen zwar nicht aus dem Raume Zürich, jedoch im Tessin und in Graubünden nachgewiesen sind. Eine defekte Form kann innert Minuten auf einem Sandstein abgeschliffen und sogar mit einem Holzmeissel nachgezogen werden. Auch beim Speckstein finden sich in derselben Lagerstätte verschiedenste Qualitäten. Auf der Alpe di Magnello, im Valle di Campo TI (Pfeifer 1989, 44), wo wir die Rohlinge für unsere Gussformen aus einem Bachbett auflasen, liegen drei klar verschiedene Härtegrade vor. Erste Untersuchungen an Originalen, z.B. aus Savognin-Padnal, legen die Verwendung des weichen Gesteinstyps nahe.

Die meisten Experimente führten wir mit Reinkupfer und -zinn durch. Arsenlegierungen, wie sie aus der frühen Kupferzeit vorliegen, konnten wir zwar auch aufschmelzen und zu brauchbaren Objekten giessen, jedoch war unser Verlust an Arsen sehr hoch (Abb. 6). Das Milieu in unserem Schmelzherd scheint viel zu oxidierend zu sein. Mit Nickel- und Bleizusätzen erreichten wir auch keine befriedigenden Ergebnisse. Blei scheint stark zu seigern, d.h. während des Erstarrungsprozesses in der Gussform genügend Zeit zu haben, um nach unten zu sinken. Kupfer-Nickellegierungen ergaben äusserst poröse Gussobjekte. So stiegen wir rasch wieder auf Zinnbronze um. Den optimalen Gebrauch von hohen Bleizusätzen, wie sie vor allem in der späten atlantischen Bronzezeit belegt sind, nachzuvollziehen, bleibt einem fortgeschritteneren Experimentierstadium vorbehalten.

Ein archäologisch relevantes Problem beim Aufschmelzen von Bronze ist der Verlust von Zinn durch Wegoxidieren. Da Zinn im schweizerischen Mittelland nicht gerade vor der Haustüre liegt, ist anzunehmen, dass mit diesem Rohstoff äusserst sparsam umgegangen wurde. Mit dem Aufschmelzen von Reinkupfer und

der Zugabe der Zinnkomponente erst im letzten Moment vor dem Guss kann dieser Verlust auf ein Minimum beschränkt werden. Da der Schmelzpunkt der Legierung tiefer liegt als der des Kupfers, erreicht man mit diesem Vorgehen zudem jene Uebertemperatur, welche zum Giessen dringend benötigt wird. So wird eine konstante Qualität der Gussstücke sichergestellt, da auf diese Weise nie auf Gudünken gegossen wird. Beim Wiedereinschmelzen von Altbronze wird wohl der Giesser ebenfalls noch ein Stücklein Zinn beigegeben haben. Dies mag die stark streuenden Zinngehalte von archäologischen Objekten zwischen 4 und 12 % erklären. Wir haben für unsere Experimente das Kupfer-Zinn-Verhältnis bewusst nicht abgewogen, um zu schauen, wie gut wir "aus dem Handgelenk" legieren können. Erste Analysen ergaben relativ konstante Zinngehalte um 6 %, mit einigen "Unfällen" von über 20 %.

### 3. Ausblick

Zwar gingen wir mit dem Schliessen der Tore des Pfahlbaulandes eines idealen Experimentiergeländes verlustig, jedoch sind die Versuche beileibe nicht abgeschlossen. Eine umfassende analytische Nachbearbeitung der experimentellen Gussobjekte ist aufgrund der ersten metallkundlichen Untersuchungen dringend notwendig. Man wird uns entgegenhalten, dass der prähistorische Giesser sich ja mit dem Objekt an sich begnügen musste und nicht in das Metall "hineinschauen" konnte wie wir heute mit Mikroskopen und Röntgenstrahlen. Im Gegensatz zu uns brauchte er dies auch nicht, da er über einen uns längst verloren gegangenen Erfahrungsschatz verfügte, die Qualitätskontrolle also permanent eingebaut war. Um die Homogenität unserer Güsse zu prüfen und mit Originalen zu vergleichen, liessen wir Röntgengrobstrukturanalysen durchführen. Herrn Dir. W. Flury von der Firma IWM, Glattbrugg und Frau Irmgard Bauer, Museum für Urgeschichte, Zug, sei an dieser Stelle herzlich für die Zusammenarbeit gedankt. Nach ersten Vergleichen mit Röntgenbildern von bronzezeitlichen Objekten können wir festhalten, dass unsere Experimentiergruppe zwar die Handhabung des Gussvorgangs im Griff hat, jedoch nicht die Einhaltung einer konstanten Qualität. Die originalen Bronzen bewegen sich bezüglich Porosität, Lunker und Verunreinigungen innerhalb eines wesentlich engeren Rahmens als unsere experimentellen Objekte (Abb. 7). Nur knapp die Hälfte unserer Güsse erfüllt die "prähistorischen Qualitätsanforderungen". In einem zweiten Schritt müssen nun Zusammensetzung und Gefüge untersucht werden, um die verschiedenen Schmelzparameter in ein Gleichgewicht zu bringen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Originalwerkzeuge gegläut und geschmiedet, d.h. rekristallisiert sind, während wir die meisten

unserer Objekte als Gussrohlinge beliessen. Dass der bronzezeitliche Schmied auch diesen letzten Schritt der Fertigung bestens beherrschte, wissen wir von metallographischen Untersuchungen an Nadelspitzen und Schneiden von Rasermessern, Sicheln und Beilen.

Auch die nichtmetallischen Ueberreste unserer Experimente, wie Schlacken und verglaste Ofenwandung, stellen ein unerschöpfliches Reservoir an archäometallurgischen Informationen dar. Ziel der Untersuchungen dieses Materials ist es, das morphologische Spektrum der anfallenden Zeugen aus einem bekannten und kontrollierten pyrotechnischen Prozess zu erfassen und auf die Zusammensetzungen hin zu analysieren. Die daraus gewonnenen Daten dienen anschliessend der Interpretation von meist fragmentarischen Befunden auf archäologischen Ausgrabungen.

Walter Fasnacht  
Abteilung für Urgeschichte  
Universität Zürich  
Künstlergasse 16  
8006 Zürich

#### Bibliographie:

- Fasnacht, W. (1989): Les premiers creusets de la Civilisation de Horgen trouvés en Suisse. *Antiquités Nationales* 21, 11-13.  
*St-Germain-en-Laye*.
- Maggetti, M., Baumgartner, D., Galetti, G. (1991): Mineralogical and Chemical Studies on Swiss Neolithic Crucibles.  
*Archaeometry '90*, 95-104, *Birkhäuser, Basel*.
- Mohen, J.-P. et Bailloud, G. (1987): La vie quotidienne, les fouilles du Fort-Harrouard. L'âge du bronze en France - 4, Picard, Paris.
- Pfeifer, H.-R. (1989): Wenig bekannte Beispiele von ehemaliger Lavez-Ausbeute in den südlichen Alpentälern.  
*Minaria Helvetica* 9, 8-54.
- Rageth, J. (1974): Der Lago di Ledro im Trentino und seine Beziehungen zu den alpinen und mitteleuropäischen Kulturen.  
*Bericht RGK* 55, 73-260.
- Roden, Ch. (1988): Blasrohrdüsen, ein archäologischer Exkurs zur Pyrotechnologie des Chalkolithikums und der Bronzezeit.  
*Der Anschnitt* 40/3, 62-82.
- Weidmann, Th. (1981): Bronzegussformen des unteren Zürichseebeckens. *Helvetia Archaeologica* 45-48, 218-229.

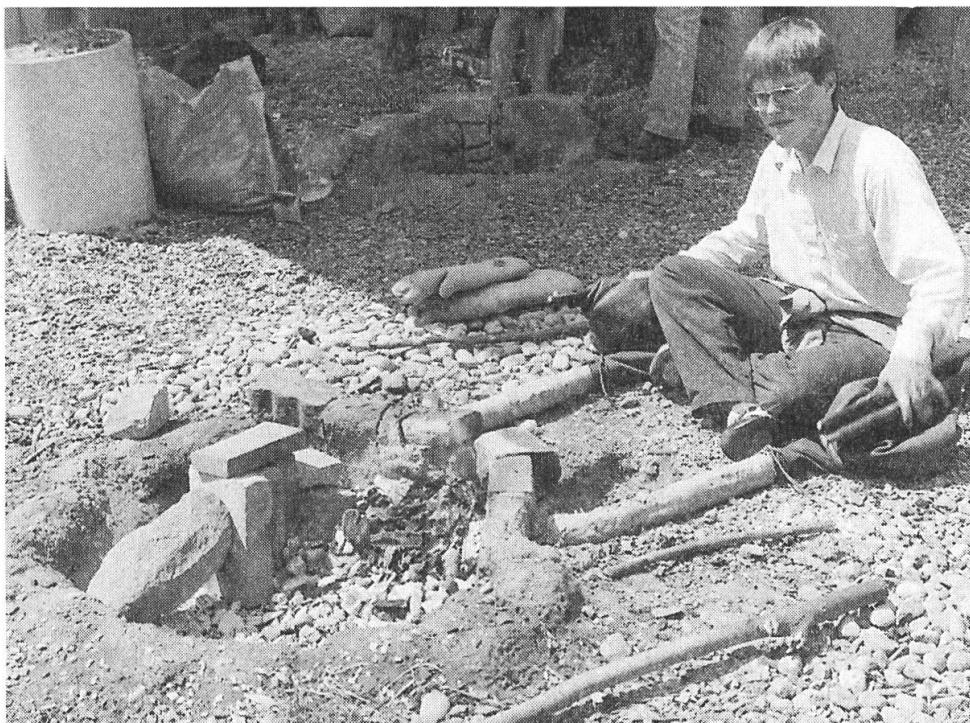


Abb. 1:

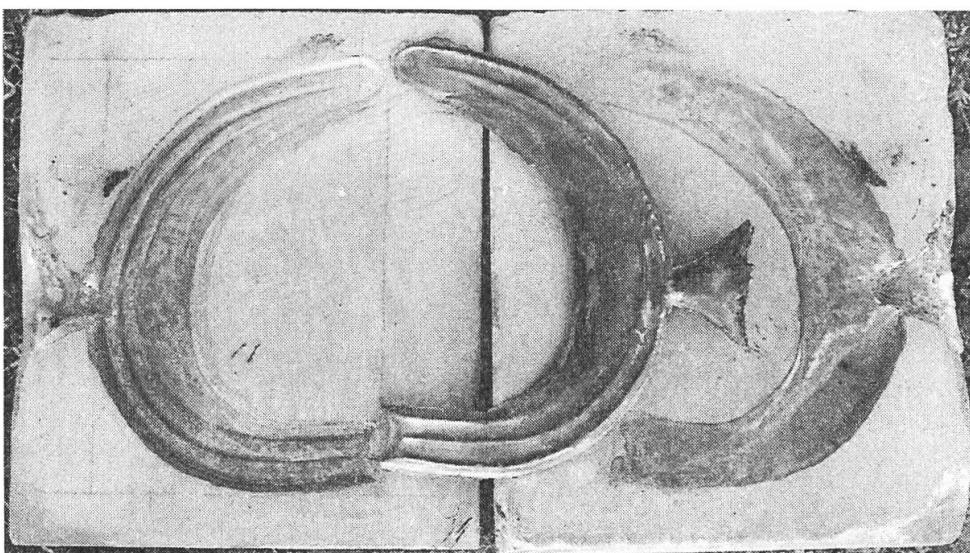


Abb. 5:

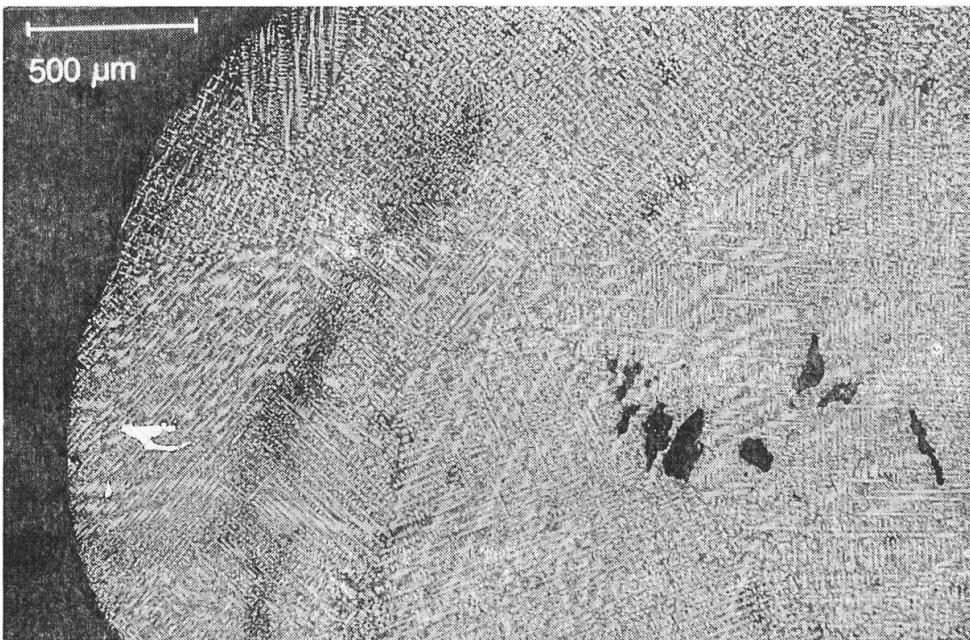


Abb. 6:

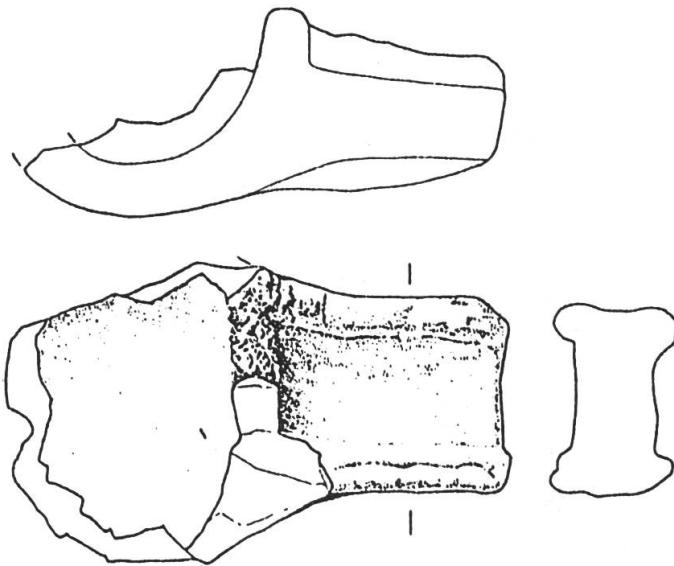


Abb. 3:  
Gusstiegel aus der Grabung  
Zürich-Mozartstrasse,  
pfynzeitlich, ca. 3600 BC.  
(Bildnachweis: E. Gross et. al.  
1987, Tf.5,13)

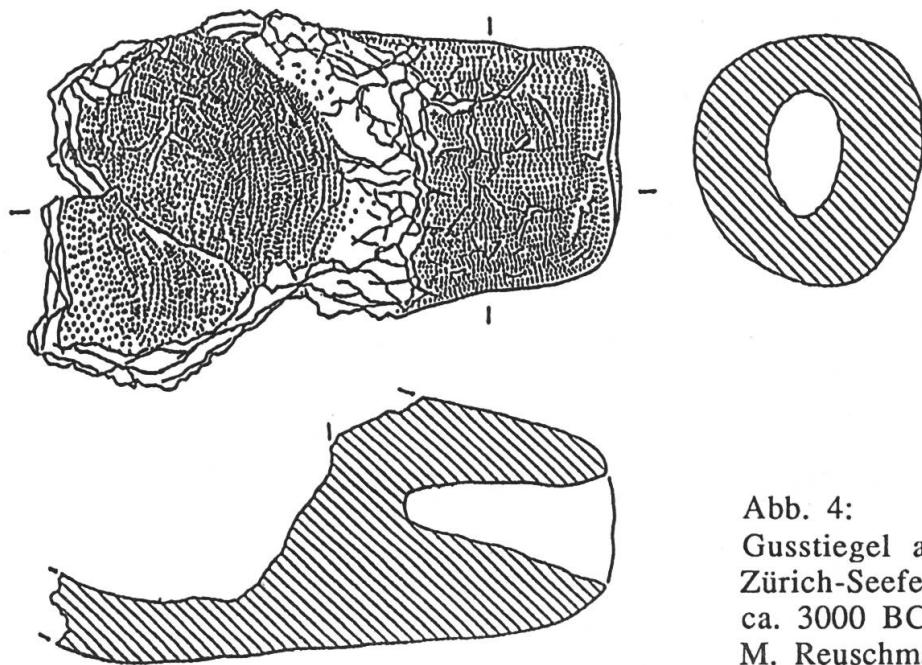


Abb. 4:  
Gusstiegel aus der Grabung  
Zürich-Seefeld, horgenzeitlich,  
ca. 3000 BC. (Zeichnung:  
M. Reuschmann)

Abb. 1: Der Schmelzherd im Betrieb: Mittels lederner Blasbälge wird alternierend Luft auf den mit Holzkohle bedeckten Tiegel geblasen. Die Sandsteingussformen befinden sich zum Vorheizen ebenfalls im Herd. (Photo: E. Brun)

Abb. 5: Experimenteller Sichelguss in die einschalige Sandsteinform. Der Sandstein stammt vom Uzner Berg, Uznach SG. (Photo: W. Fasnacht)

Abb. 6: Mikrogefüge eines Gussabfalls mit ca. 1.5% Arsen. Die aufgeschmolzene Legierung hatte einen Anfangsgehalt von ca. 6% Arsen. Auflichtmikroskopie an poliertem Anschliff, mit Eisenchlorid geätzt. (Photo: W. Fasnacht)

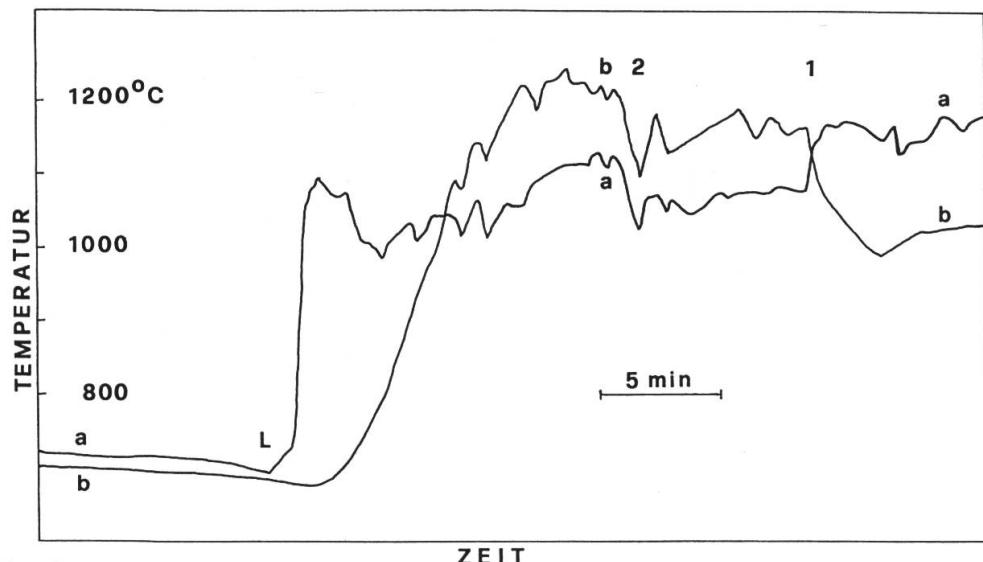


Abb. 2:  
 Temperaturverlauf während eines Schmelzversuchs mit Holz,  
 gemessen mit 2 Thermosonden:  
 Kurve a: Sonde direkt über dem Tiegel;  
 Kurve b: Sonde im Holzstoss, neben dem Tiegel;  
 Punkt L: Beginn der künstlichen Luftzufuhr, ca. 200 l/Min.  
 Punkt 1: Umkippen der Temperatur nach Umwandlung des Holzes  
 in Holzkohle;  
 Punkt 2: Unterbruch von wenigen Sekunden in der Luftzufuhr.

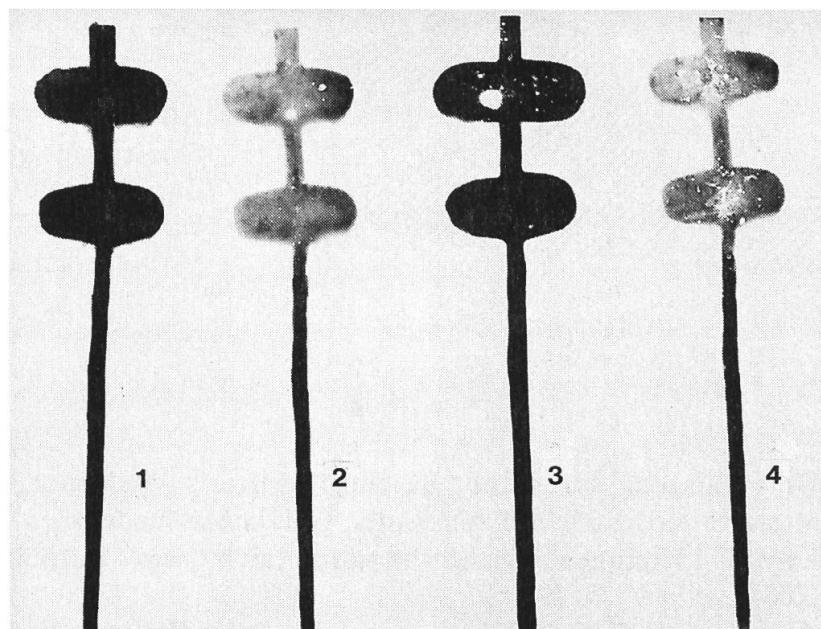


Abb. 7:  
 Röntgengrobstruktur von vier im Pfahlbauland gegossenen  
 Doppelflügelnadeln. Fallender Guss in die einschalige  
 Lavezsteinform. Gussfehler und starke Porosität im Bereich der  
 Flügel (in der Gussform zuunterst) infolge zu rascher Abkühlung  
 des Metalls. (Photo: Firma IWM, Glattbrugg)