

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	95 (1977)
Heft:	48
Artikel:	Kernphysiker auf Herodots Spuren: Untersuchung eines archaischen Silberschatzes im Heidelberger Mondstein-Laboratorium
Autor:	Gerwin, Robert
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-73496

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: 08.02.2026

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

Die Koeffizienten $r_y, r_{xy}, s_y, s_{xy}, c_y, c_{xy}$ können der Tabelle auf Seite 869 entnommen werden, unter Beachtung, dass die Bedingungen (44) und (44') erfüllt sind.

Die erforderlichen Armierungsquerschnitte erhält man:

Obere Bewehrung:

$$(45) \quad \text{erf } f_{ex}^o = \frac{\bar{n}_x^o}{\text{zul } \sigma_e}; \quad \text{erf } f_{ey}^o = \frac{\bar{n}_y^o}{\text{zul } \sigma_e}$$

Untere Bewehrung:

$$(45') \quad \text{erf } f_{ex}^u = \frac{\bar{n}_x^u}{\text{zul } \sigma_e}; \quad \text{erf } f_{ey}^u = \frac{\bar{n}_y^u}{\text{zul } \sigma_e}$$

Sonderfall der orthogonal armierten Schale

Wir gehen wieder von den nach Gleichungen (38) (39) (40) bzw. (38') (39') (40') ermittelten Hilfsschnittkräften aus. Die Bemessungsschnittkräfte ergeben sich aus den Gleichungen (41) (42) (43) bzw. (41') (42') (43') mit den Koeffizienten gemäß Tabelle Seite 869 für $\alpha = 0$:

$$\begin{aligned} (41a) \quad \bar{n}_x^o &= n_x^o + |n_{xy}^o| \\ (42a) \quad \bar{n}_y^o &= n_y^o + |n_{xy}^o| \\ (43a) \quad \bar{n}_d^o &= -2 |n_{xy}^o| \\ (41'a) \quad \bar{n}_x^u &= n_x^u + |n_{xy}^u| \\ (42'a) \quad \bar{n}_y^u &= n_y^u + |n_{xy}^u| \\ (43'a) \quad \bar{n}_d^u &= -2 |n_{xy}^u| \end{aligned}$$

Bei dieser Schreibweise mit den Absolutbeträgen von n_{xy}^o bzw. n_{xy}^u ist die Bedingung $\bar{n}_d^o \leq 0$ bzw. $\bar{n}_d^u \leq 0$ automatisch erfüllt. Erforderliche Armierungsquerschnitte:

Obere Bewehrung

$$(45a) \quad \text{erf } f_{ex}^o = \frac{\bar{n}_x^o}{\text{zul } \sigma_e}; \quad \text{erf } f_{ey}^o = \frac{\bar{n}_y^o}{\text{zul } \sigma_e}$$

Untere Bewehrung

$$(45'a) \quad \text{erf } f_{ex}^u = \frac{\bar{n}_x^u}{\text{zul } \sigma_e}; \quad \text{erf } f_{ey}^u = \frac{\bar{n}_y^u}{\text{zul } \sigma_e}$$

11. Zusammenfassung

Das vorliegende Verfahren zur praktischen Bemessung der Netzbewehrung von Flächentragwerken beruht auf einer *Fachwerkanalogie*. Es erlaubt, mit Hilfe der in Abschnitt 4 bis 10 entwickelten Formeln und der Tabelle auf Seite 869, die zweibahnige, beliebig schiefwinklige Bewehrung von Scheiben, Platten und Schalen auf äußerst einfache und übersichtliche Weise zu berechnen. Die so ermittelten Werte für die erforderlichen Armierungsquerschnitte liegen in jedem Fall auf der sicheren Seite. Für die zulässige Beanspruchung des Betons von netzbewehrten Platten werden einfache Kriterien angegeben. Das Bemessungsverfahren geht von den auf ein einheitliches x-y-Achsenystem bezogenen Scheibenschnittkräften bzw. Plattenmomenten aus, wobei sich die x-Richtung stets mit einer der beiden Bewehrungsrichtungen deckt. Die Kenntnis der Hauptbeanspruchungen ist nicht nötig. Die Orthogonalarmierung ist in dem Verfahren als Sonderfall eingeschlossen.

Literaturverzeichnis

- [1] Leonhardt F.: «Vorlesungen über Massivbau», 2. Teil, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1975.
- [2] Baumann Th.: «Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken». Der Bauingenieur, Heft 10, 1972.
- [3] Scholz G.: «Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken». Beton- und Stahlbetonbau, Heft 10, 1958.

Adresse des Verfassers: S. Steckner, Ing. SIA, Leiter der Statik-Abteilung, Ingenieurbüro Holinger AG, 4410 Liestal.

Kernphysiker auf Herodots Spuren

Untersuchung eines archaischen Silberschatzes im Heidelberger Mondgestein-Laboratorium

Noch heute – nach zweieinhalb Jahrtausenden – lässt sich in allen Einzelheiten rekonstruieren, woher das *Silber* für die ersten Münzen am Anfang der Geldwirtschaft stammt. Mit Hilfe *hochempfindlicher Nachweismethoden*, wie sie in den letzten Jahren für die Analyse der Mondgesteinproben entwickelt worden sind, rückten Heidelberger Kernphysiker einem 1969 gefundenen archaischen Silberschatz zu Leibe.

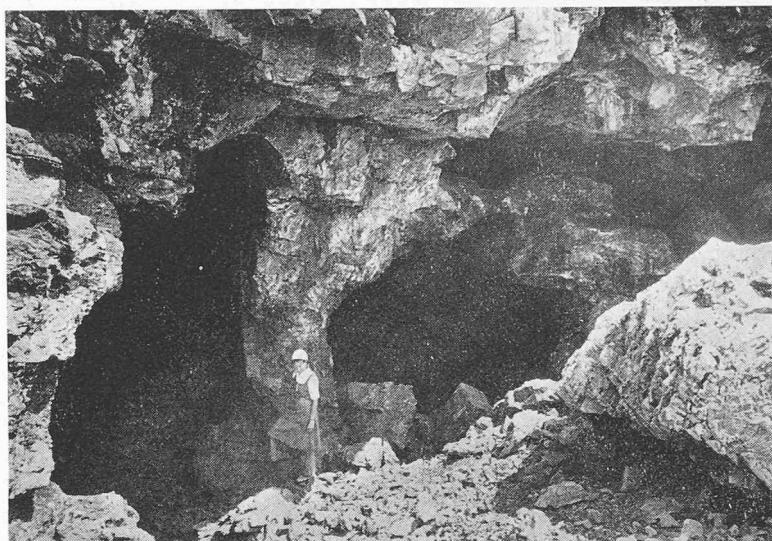
In Zusammenarbeit mit deutschen, griechischen und türkischen Archäologen, Bergbauspezialisten und Naturwissenschaftlern der verschiedensten Disziplinen konnten sie die im *östlichen Mittelmeerraum* gelegenen *alten Silbergruben* aufspüren, aus denen das Erz des Schatzes stammt, und die Verarbeitung zu reinem Münz-Silber verfolgen. Wolfgang Gentner, ehemaliger Direktor des Max Planck-Instituts für Kernphysik in Heidelberg und Vizepräsident der Max Planck-Gesellschaft, seit Jahren begeisterter Amateur-Numismatiker und Initiator dieses Forschungsprojekts, gab jetzt einen ersten Einblick in die noch laufenden Untersuchungen.

Im Jahre 1969 entdeckten drei Arbeiter – ob zufällig oder bei einem Grabraub ist nicht geklärt – etwa 300 km südlich von Kairo bei der alten ägyptischen Hauptstadt *Asyut* 900 sehr alte griechische Münzen. Auf geheimen Wegen gelangte der Schatz ins Ausland und wurde den Münzkundlern, den

Numismatikern, zugängig. Aus der Prägung der Münzen konnten sie rekonstruieren, dass der ursprüngliche Besitzer den Schatz bereits im Jahr 475 vor Null vergraben hatte – also zur Zeit des griechischen Geschichtsschreibers *Herodot* und etwa *fünf Jahre nach der Schlacht von Salamis*, als die Perser zum endgültigen Rückzug aus Griechenland gezwungen wurden. Erst etwa 85 Jahre zuvor hatte das Münzwesen begonnen, waren in *Athen*, *Korinth* und *Ägina* überhaupt die ersten Münzen geprägt worden. Man hatte also Geld aus der allerersten Epoche der Geldwirtschaft in Händen. Trotzdem war der Fund für die Numismatiker enttäuschend: Alle Münzen tragen tiefe Kerben, die vom ursprünglichen Besitzer des Schatzes wohl angebracht worden waren, um die Silberqualität zu prüfen. Ihm – wahrscheinlich ein Silberschmied – war es offenbar nur auf den Metallwert der Münzen angekommen. Sie sollten nur Rohmaterial für seine Schmiedearbeiten sein.

Aussagekräftiges Material

Für Gentner erwies sich die Beschädigung der Münzen – und darum ihr zum Teil geringer numismatischer Wert – als ein grosser Vorteil. So war es ihm möglich, für sein Forschungsprojekt mit Mitteln der *Stiftung Volkswagenwerk* 120 besonders stark zerstörte Münzen zu einem verhältnismässig



Links. Die Eule, das Wappentier Athens, schmückt auch die vor knapp zweieinhalb Jahrtausenden dort geprägten Silbermünzen. Dank der Beschädigung am linken unteren Rand konnte die archäometrische Arbeitsgruppe des Heidelberger Max-Planck-Instituts für Kernphysik diese und die anderen für die physikalisch-chemischen Untersuchungen benötigten Silbermünzen aus dem Schatz von Asyut zu einem erträglichen Preis aufkaufen.

Rechts. Herodots Grube auf der Insel Sifnos, das Silberbergwerk aus archaischer Zeit, ist erstaunlich gut erhalten und kann über weite Strecken noch begangen werden. Gemeinsam mit Fachleuten des Deutschen Bergbaumuseums in Bochum haben die Heidelberger Kernphysiker des Max-Planck-Instituts das alte Stollensystem im Detail untersucht.

billigen Preis zu kaufen. Dem chemischen Analytiker *Otto Müller* und dem Geologen *Günter Wagner*, die bisher im Heidelberger Max-Planck-Institut für Kernphysik überwiegend Mondproben und Meteoriten untersucht hatten, stand damit ein sehr aussagekräftiges Untersuchungsmaterial zur Verfügung. 120 verschiedene Münzen erlauben bereits eine gute statistische Übersicht. Bei der Untersuchung von Einzel-exemplaren kann man nämlich nie sicher sein, wie weit Zufälligkeiten mitspielen und das Ergebnis verfälschen.

Wie wurde nun untersucht? – Datierungsmethoden auf der Basis langdauernder radioaktiver Zerfallsprozesse, wie sie heute in der Archäologie vielfach angewendet werden, funktionieren bei Metall nicht und mussten hier ausscheiden. Stattdessen wurde weitgehend von der *Aktivierungsanalyse* Gebrauch gemacht, bei der die zu untersuchende Probe im *Neutronenstrahl eines Kernreaktors künstlich zur Radioaktivität angeregt* wird. Aus der Art des radioaktiven Zerfalls kann man dann den Anteil der verschiedenen Bestandteile ermitteln. Worauf es bei diesen Untersuchungen ankommt, sind ja gerade die *Verunreinigungen des Silbers*, weil sie über dessen Herkunft und Verarbeitungsgeschichte Auskunft geben.

Eine andere Untersuchungsmethode besteht darin, bis auf tausendstel Teile eines Prozents genau im Silber den Gehalt an verschiedenen *Blei-Isotopen* zu bestimmen. Entsprechend ihrer geologischen Vorgeschichte herrscht in jeder Erzgrube eine ganz bestimmte, nur für diesen Fundort charakteristische Bleizusammensetzung. Man kann also auch aus der *Bleiverunreinigung* einer alten Münze ermitteln, woher sie stammt, wenn man das betreffende Bergwerk kennt und dort die entsprechenden Untersuchungen an den noch vorhandenen Schlacken und Erzresten im Abraum durchgeführt hat. Da Silber vielfach aus dem Mineral *Bleiglanz* gewonnen wird, enthalten selbst die besten Silbermünzen immer noch Spuren von Blei. An der *Universität von Oxford* (Großbritannien) gibt es ein Isotopen-Laboratorium, das sich auf Blei spezialisiert hat und in dem so extrem genau gemessen werden kann. Es wurde in der Arbeitsgemeinschaft dieses Projektes mit einbezogen.

So konnte die archäometrische Arbeitsgruppe des Heidelberger Instituts darangehen, die 120 Münzen des Silber-

schatzes auf Grund ihres unterschiedlichen Gehalts an Spuren-elementen und *Beimischungen von Kupfer, Gold und Blei* in Gruppen einzuteilen. Damit wurde geklärt, welche Münzen – unabhängig vom Prägeort – aus der gleichen Metallquelle, aus dem gleichen Erzbergwerk stammen.

Aus drei Quellen

In der nächsten Stufe des Forschungsprojekts mussten nun – diese Arbeit ist noch nicht abgeschlossen – die alten Erzgruben gefunden und untersucht werden, um sie auf Grund gleicher Konzentration der Verunreinigungen in den Abfällen den richtigen Münzengruppen zuzuordnen. Dabei zeigte sich, dass das Münzsilber jener Zeit im wesentlichen aus drei Quellen stammte, nämlich aus *Laurion* an der Südspitze der Athen vorgelagerten *Halbinsel Attika*, aus der zur *Kykladengruppe* gehörenden Insel *Sifnos* sowie aus der *Goldwäscherei des Flusses Paktolos* in Kleinasien in der Nähe von *Sardes*, der damaligen Hauptstadt Persiens. Das in den Windungen des Paktolos gefundene silberhaltige Gold, das Metall *Elektron*, war die Grundlage für den sagenhaften Reichtum des Königs *Krösus*.

Wie in Laurion das Silber aus Bleiglanz gewonnen wurde, war in Sardes das Elektron mit ungefähr 80 Prozent Gold und 20 Prozent Silber das Ausgangsmaterial für die Münzherstellung. Die ersten Münzen, mit denen überhaupt gehandelt wurde, bestanden noch aus diesem hellgelben Elektron-Metall. Später trennte man das nach damaliger Auffassung edlere Silber vom «unedlen» Gold ab. Das geschah in durchaus moderner Weise durch Einwirkung des aus Meersalz gewonnenen, für Silber besonders reaktionsfreudigen Chlors. Doch auch das so abgetrennte Münzsilber enthielt immer noch geringe Spuren von Gold.

Als erstaunlich klein am Asyut-Schatz erwies sich dagegen der Anteil von Münzen aus *spanischem Silber*. Der griechische Geschichtsschreiber Herodot erwähnt im Jahre 452 in einem Atemzug die reichen Silbererzvorkommen Spaniens und den Reichtum des *Sostratos* auf der Insel *Ägina* im *Saronischen Golf*. Man hat daraus geschlossen, Sostratos habe das Silber aus Spanien in die Handelsmetropole Ägina gebracht.

Die archäometrischen Untersuchungen Gentners und seiner Mitarbeiter haben jedoch eindeutig geklärt, dass die Ägineten zumindest zu jener Zeit ihr Münzsilber nicht aus Spanien bezogen haben. Sostratos muss also auf andere Weise beim Handel mit Spanien reich geworden sein, vielleicht durch den Handel mit Kupfer, Blei oder Zinn.

Ein grosser Teil des Silbers für die Münzen in Ägina kam dagegen aus dem Bergwerk der *Insel Sifnos*. Daraus kann man schliessen, dass die Ägineten damals Sifnos beherrschten. Das wurde zwar auch früher schon vermutet, lässt sich jetzt aber mit grösserer Bestimmtheit sagen. Ein kleinerer Teil der äginetischen Münzen besteht aus Silber von Laurion, das die Grundlage für den Reichtum der Athener bildete. Gentner folgert daraus, dass die Athener den Ägineten von ihrem Silber abgegeben haben, als sie daran interessiert waren, sie für ihre Feldzüge gegen die Perser zu gewinnen.

In unmittelbarer Nähe des antiken Silberbergwerks in Laurion entdeckten die Heidelberger Wissenschaftler ein mit Vertiefungen versehenes kreisförmiges Gerinne, das offenbar der Trennung des reinen Erzes von Verunreinigungen diente. Sklaven mussten das geförderte Erz zu Staub zertrümmern, der dann – ganz ähnlich wie bei modernen *Flotationsverfahren* – mit Wasser aufgeschwemmt wurde. Diese Brühe liess man die Rinne entlangströmen, so dass sich der schwerere Silberanteil zuerst absetzte und in den Vertiefungen sammelte. Der restliche Schlamm floss in einen Teich gleichfalls zum Absetzen, so dass sich das Wasser wiederverwenden liess.

Holzkohle im Schlamm

Über das anschliessende *Verhüttungsverfahren* hat die Arbeitsgruppe bisher noch nicht viel in Erfahrung bringen können. Man fand in einem Schlammhaufen Holzkohle, offenkundig ein Überbleibsel eines Verhüttungsprozesses. Doch als man das Alter dieser Kohlestücke mit Hilfe der C-14-Methode bestimmte, erwiesen sie sich als einige Jahrhunderte zu jung. Offenbar handelte es sich dabei um Überbleibsel aus römischer Zeit. Statt selbst nach Silbererz zu graben, haben die Römer die Schlacken und sonstigen Erz-Rückstände der griechischen Zeit mit verbesserten Techniken noch einmal aufgearbeitet.

In letzter Zeit hat sich das Interesse der von der Stiftung Volkswagenwerk finanzierten Forschungsarbeit vor allem auf die Insel Sifnos konzentriert. Von ihr schrieb Herodot, dass sie für längere Zeit eine der reichsten Inseln in Griechenland überhaupt gewesen sei. Das wird auch bestätigt durch das

Schatzhaus von Sifnos, das im Jahr 525 vor Null in *Delphi* auf dem Gelände der alle Griechen verbindenden religiösen Kultstätte errichtet wurde und eines der schönsten und reichhaltigsten seiner Art war. Wie berichtet wird, schickten die Bewohner der Insel jedes Jahr ein goldenes Ei nach Delphi. Als sie jedoch eines Jahres versuchten, die Götter durch ein goldbezogenes Bleiei zu täuschen, wurde Gott Apoll so zornig, dass er das Bergwerk der Insel voll Wasser laufen liess.

Nur noch ein Bleiei

Wolfgang Gentners Deutung dieser Geschichte ist allerdings etwas prosaischer: Das antike Silberbergwerk – im Volksmund als Herodots Grube bezeichnet – liegt nicht weit vom Meer entfernt. Als man hier im vierten Jahrhundert vor Christi Geburt den Abbau forcierte und zu tief in den Untergrund vorstieß, brach das Grundwasser ein, und weil man noch keine wirkungsvollen Pumpen kannte, musste man das Bergwerk aufgeben. Erst dann entschloss man sich, der Not gehorrend, den Göttern nur noch ein Bleiei zu opfern.

Unterdessen hat die Heidelberger Arbeitsgruppe zusammen mit Fachleuten des *Deutschen Bergbaumuseums* in *Bochum* unter Leitung des Museumsdirektors, *Hans-Günter Conrad*, den Vorstoss in das zweieinhalb Jahrtausende alte, aber noch erstaunlich gut erhaltene Stollensystem des archäischen Bergwerks auf Sifnos gewagt. Noch heute ist gut zu erkennen, wie sich die Bergleute damals vorgearbeitet haben, den Erzadern gefolgt sind und die ausgebeuteten Stollen mit dem Abraummaterial aus den neuen Stollen wieder aufgefüllt haben. An den Wänden sieht man noch die Russflecken, wo damals die Bergleute ihre Öllampen abgestellt haben.

So ermöglichen hochempfindliche chemische und physikalische Analysetechniken heute nicht nur, Zusammensetzung und Herkunft von ausserirdischem Material zu bestimmen. Man kann mit ihrer Hilfe auch ein gutes Stück in die Kulturgeschichte der Menschheit zurückleuchten, zurück bis in die Anfänge des Geldwesens und moderner Staatsstrukturen. Wer im Altertum Macht gewinnen wollte, brauchte dazu nicht zuletzt Geld. Die Ruderer der Kriegsflotten und die Söldner der welterobernden Heere mussten entlohnt werden. Das ging nur, indem man ihnen je Tag oder Woche eine Drachmenmünze beziehungsweise eine Tetradrachme in die Hand drückte. Dazu Gentner: «Deshalb glaube ich, dass es von einem Interesse ist, etwas über den Anfang unseres Geldhandels zu erfahren, diese allererste Zeit, als die Menschen das Glück oder Unglück hatten, mit Geld umzugehen.»

Robert Gerwin, München

Umschau

Verbundwerkstoffe in atomarer Schichtung

Synthetische Materialien mit neuartigen Eigenschaften

Mit Hilfe der «Planar-Magnetron-Aufdampftechnik» können Elemente, die in der Natur niemals zusammen vorkommen, zu synthetischen Schichtwerkstoffen mit einzigartigen magnetischen, elektronischen und optischen Eigenschaften kombiniert werden. Das Verfahren wurde von Dr. Troy W. Barbee jr., Direktor des Instituts für Materialforschung der Stanford-Universität (Kalifornien), und L. Keith entwickelt.

Wie Experimente gezeigt haben, lassen sich mindestens 65 der 92 Elemente des Periodischen Systems in hauchdünnen Schichten auf einer neutralen Unterlage – z.B. Glas oder Plastikfolie – deponieren. Die Schichtdicke kann zwischen 5 und 5000 Angström liegen. Die abwechselnde Beschichtung mit zwei verschiedenen Elementen in nur wenigen «Atomlagen» hat in vielen Fällen eine Veränderung der

ursprünglichen physikalischen Merkmale der Ausgangselemente zur Folge. Ein Beispiel: abwechselnd wird Wolfram mit Kohlenstoff in 20 Angström dicken Schichten aufgetragen, so ergibt sich bei dem synthetischen Produkt eine Erhöhung der sogenannten Sprungtemperatur – d.h. jenes Temperaturpunktes, an dem der elektrische Widerstand plötzlich auf einen nicht mehr messbaren Wert absinkt und das Material superleitfähig wird.

Bei dem erwähnten Schichtmaterial steigt die Sprungtemperatur von 0,01 auf 3 Grad Kelvin. Die Möglichkeit zur Anhebung der Sprungtemperatur bestimmter Werkstoffe um fast 3 Grad Kelvin ist von grosstem Interesse für die Technik. Denn überall ist man auf der Suche nach geeigneten supraleitfähigen Materialien mit höheren Sprungtemperaturen, Materialien, die für Stromleitungen, Elektromagnete und andere Anlagen verwendet werden sollen, um Grösse und Gewicht elektrischer Anlagen stark zu reduzieren, ihren Leistungsbereich zu vergrössern und ihren Eigenverbrauch an Energie zu senken. Manche der neuen Schichtkombinationen wiesen eine aussergewöhnlich hohe mechanische Festigkeit bei auffallend guter Verformbarkeit auf. Die Festigkeitswerte lagen oft nahe bei den theoretischen Grenzen, die man für Metalle errechnet hat.