

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 96 (1978)  
**Heft:** 1/2

**Artikel:** Beryllium - ein Werkstoff mit Zukunft: Forschungsergebnisse aus dem Pulvermetallurgischen Laboratorium des Max-Planck-Instituts für Metallforschung  
**Autor:** Hintsches, Eugen  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73615>

### **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:** 05.04.2026

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

aller, in der Baupraxis auftretenden Betonkonsistenzen und Anforderungen. Reproduzierbarkeit und relative Empfindlichkeit der Methoden sind verschieden. Bei der Wahl der Methode sollte man den geplanten Einsatzbereich möglichst genau kennen. Es empfiehlt sich, vor der Verwendung auf der Baustelle die zu verwendende Methode unter Laborbedingungen auf die Reproduzierbarkeit bei verschiedenen Konsistenzstufen zu testen.

Die richtig angewandte Methode der Konsistenzmessung kann in der Baupraxis bei der Beurteilung der Betonqualität eine wichtige Rolle übernehmen. Sie kann zur Kontrolle des W/Z-Wertes dienen, was wiederum eine schnelle und frühzeitige Festigkeitsvorhersage ermöglicht. Dieser Weg der Festigkeitskontrolle wurde in der Praxis bereits mit Erfolg angewendet [15].

Die Bedeutung der Kontrolle von Frischbetoneigenschaften wird in der Zukunft sicher zunehmen, da die neuen Verfahren für die Aufbereitung der Zuschlagstoffe und die Mischung und Homogenisierung der Frischbetone die Gleichmässigkeit der Betonqualität noch erhöhen werden. Wenn parallel zur Entwicklung der technischen Aufbereitung der Betone die Messmethoden entsprechend angepasst und verfeinert werden können, ist die Zeit nahe, wo die Qualität des erhärteten Betons durch Messungen am Frischbeton zuverlässig beurteilt werden kann, so dass auf die Bestimmung der 28tägigen Festigkeiten an Probewürfeln verzichtet werden kann.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Gotsch G., Schräml W.: «Zur Verarbeitbarkeit von Zement und Beton – ihre Problematik und die Methoden ihrer Bestimmung». Zement-Kalk-Gips 20, H. 10, S. 468, 1967.  
 [2] Hughes B.P., Bahramian B.: «Workability of Concrete». Journal of Materials 2, No. 3, S. 519, 1967.

- [3] Tattersall G.H.: «The rationale of a two-point workability test». Magazine of Concrete Research, Vol. 25, No. 84, S. 169, 1973.  
 [4] ASTM C-143: «Slump of Portland Cement Concrete». Annual Book of ASTM Standards, Part 10, ASTM 1916 Str., Philadelphia, Pa. 19103, 1973.  
 [5] BS 1881: «Methods of testing concrete». British Standards House, 2 Park Str., London, W. 1.  
 [6] DIN 1048, Blatt 1: «Prüfverfahren für Beton». Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin 30, 1972.  
 [7] Powers T.C.: «Properties of Fresh Concrete». John Wiley & Sons, Inc., 1968.  
 [8] RILEM Tentative Recommendations: «Concrete Test Methods». Materials and Structures Vol. 5, No. 30, 1972; Materials and Structures Vol. 6, No. 35, 1973.  
 [9] RILEM Concrete Permanent Committee: «Comparison of different consistency values». Materials and Structures, No. 45, p. 255, 1975.  
 [10] Betriebsanleitung für LEBA Konsistometergerät. Fa. O. Soder & Cie AG, CH-5702 Niederlenz, Schweiz.  
 [11] Albrecht W., Schäffler H.: «Konsistenzmessung von Beton». Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 158, 1964.  
 [12] VEE-BEE Consistometer Instructions. Fa. AB Vibro-Verken, Solna, Schweden.  
 [13] Bedienungsanleitung zum Rüttelgerät nach Powers, Blatt Nr. 7608. Fa. Chem. Laboratorium für Tonindustrie, Berlin.  
 [14] Betonsonde Humm. Fa. Proceq SA, Zürich.  
 [15] Skarda C.: «Frischbetonkontrolle beim Bau eines Trinkwasser-Reservoirs». Cementbulletin 42, Nr. 21, TFB, Wildegg, 1975.  
 [16] Leeb D., Liechti O.: «Die Qualitätskontrolle von Beton im Vorfabrikationswerk». Schweiz. Bauzeitung, Heft 44, S. 839, 1969.  
 [17] Messung der Betonkonsistenz. Cementbulletin 42, Nr. 42, 1975.

Adresse des Verfassers: T. Dratva, dipl. Ing., c/o «Holderbank» Management und Beratung AG, Materialtechnische Abteilung, 5113 Holderbank.

## Beryllium — ein Werkstoff mit Zukunft

### Forschungsergebnisse aus dem Pulvermetallurgischen Laboratorium des Max-Planck-Instituts für Metallforschung

Ein Werkstoff mit ungewöhnlichen Eigenschaften setzt neue Massstäbe: Beryllium ist genau so fest wie gewöhnlicher Stahl – aber nur ein Viertel so schwer wie dieser und viermal so steif wie Aluminium. «An diesem Werkstoff kommt keine moderne Industrienation vorbei», meint Günter Petzow, der Leiter des Pulvermetallurgischen Laboratoriums in Stuttgart-Büsnau, des Max-Planck-Instituts für Metallforschung, Institut für Werkstoffwissenschaften, der einzigen Einrichtung, die sich in der Bundesrepublik mit Forschungsarbeiten für Beryllium beschäftigt. «Durch metallkundliche Kunst sind in den letzten Jahren grundlegende Fortschritte erzielt worden, die natürlichen Nachteile des Berylliums zumindest teilweise zu überwinden», berichtet Fritz Aldinger vom Pulvermetallurgischen Laboratorium. «Beryllium kann jetzt das meiste, was man von ihm verlangt, nun liegt es an den Konstrukteuren zu lernen, wie man mit diesem aussergewöhnlichen Material umgeht, das enorme Vorteile bringt und neue Massstäbe für Werkstoffe setzt.»

Allerdings, so schränkt Aldinger ein: «Ein Material für Kochtöpfe wird Beryllium niemals werden. Dazu ist es viel zu teuer und verhältnismässig schwierig zu bearbeiten.» Ausserdem kann Beryllium Erkrankungen der Lunge und der Haut verursachen – die Gefahr ist jedoch unter Kontrolle, seitdem man gelernt hat, mit diesem Material umzugehen, ähnlich

wie auch mit anderen gesundheitsschädlichen Stoffen, zum Beispiel mit Asbest, Blei, Quecksilber oder Zink. In den USA, die mit ungefähr 221 Tonnen den grössten Anteil der auf etwa 366 Tonnen im Jahr 1973 (der letzten zugänglichen Statistik) geschätzten Weltproduktion an Beryllium und damit auch die meiste Erfahrung beim Umgang mit diesem Leichtmetall haben, gab es – ebenso wie in der Bundesrepublik – in den letzten fünfzehn Jahren keine akuten Beryllium-Erkrankungen mehr. «Trotzdem müssen wir uns noch immer mit zählebigen Vorurteilen gegen das Beryllium herumschlagen», bedauert Aldinger. Die Wirklichkeit sieht jedoch anders aus: «Beryllium ist allgegenwärtig in der Erdkruste verteilt und kann sich in einigen Pflanzen, zum Beispiel im Tabak, anreichern. In Räumen, in denen geraucht wird, befindet sich deshalb oft mehr Beryllium in der Luft, als wir in den kontrollierten Laborräumen bei der Arbeit mit Beryllium zulassen würden», stellt Aldinger fest.

#### «Geburtsfehler» Sprödigkeit

Vor allem «ein Geburtsfehler des Berylliums» (Petzow) machte den Werkstoff-Forschern bisher zu schaffen: seine Sprödigkeit. Sie verhinderte zum Beispiel, dass man Beryllium – wie die meisten Metalle – gleichzeitig in mehrere Richtungen verformen kann. Bei dieser Behandlung bricht herkömmlich

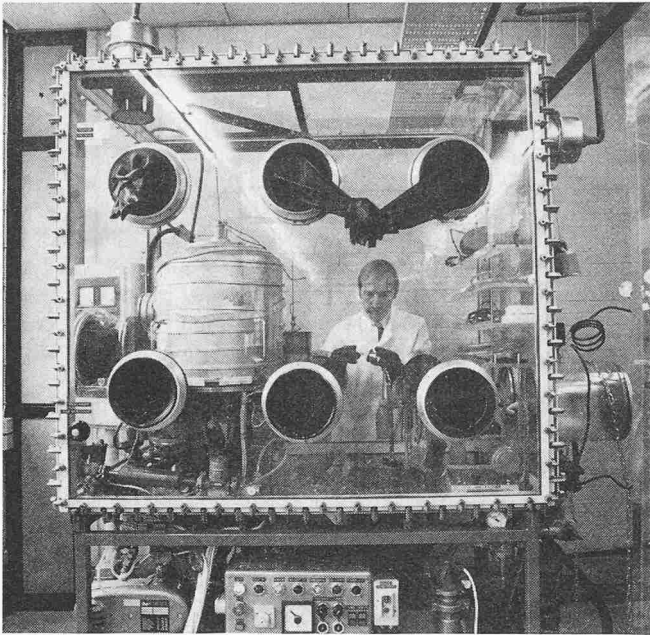


Bild links. Arbeit im Handschuhkasten. Weil Berylliumstaub Erkrankungen der Haut und der Lunge verursachen kann, wird dieses Leichtmetall – wie andere gesundheitsschädliche Werkstoffe – in hermetisch abgeschlossenen Kästen bearbeitet. Die Beryllium-Einkristalle erreichen bei 43 mm Durchmesser bis zu 140 mm Länge

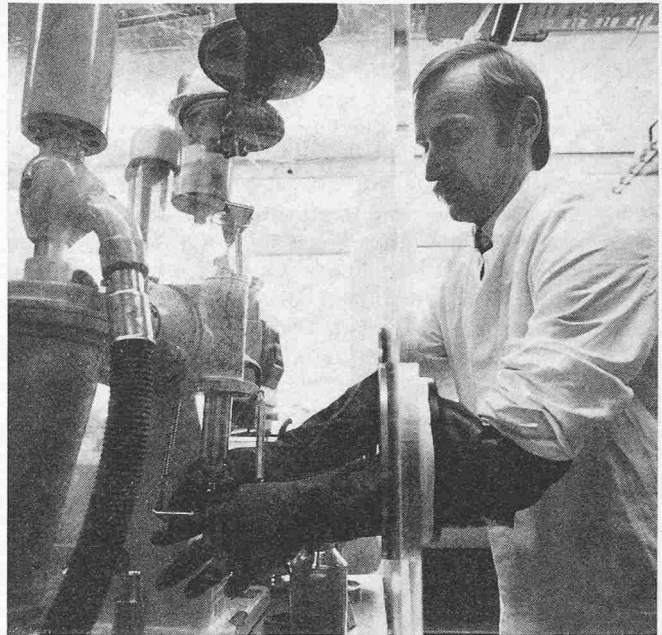


Bild rechts. Fein zermahlenes Berylliumpulver – das Ausgangsmaterial für gesintertes Berylliummetall – wird in der Windsichter genannten Trennanlage nach der Grösse der nur wenige Tausendstelmmillimeter messenden Teilchen sortiert. Um das Entstehen von Berylliumoxid zu vermeiden, findet die Sinterung in ultrareiner Argonatmosphäre statt

verarbeitetes Beryllium schon bei geringen Verformungswerten.

Die Sprödigkeit des Berylliums zu verringern, gelang zuerst den *Pulvermetallurgen*: Sie zermahlen Berylliummetall zu feinen Körnern und sintern dieses Pulver unter der Einwirkung von Druck und Hitze wieder zu Metallblöcken bis zu 6 Tonnen Gewicht und 1,75 Meter Durchmesser – dies ist ein in der Technik erprobtes und bewährtes Verfahren. Solche *Beryllium-Sinterteile* lassen sich dann bei 800 °C mit den bei der Metallverarbeitung üblichen Verfahren wie Walzen, Strangpressen, Ziehen oder Schmieden zu Rohren, Stäben, Blechen, dünnen Folien oder haarfeinen Drähten mit nur 0,05 Millimeter Durchmesser umformen. «In Längsrichtung erreichen wir Verformungsraten bis zu 30 Prozent, hinsichtlich der Dicke allerdings nur knapp 1 Prozent; in isostatisch heissgepresstem Beryllium aber in allen Richtungen ungefähr 5 Prozent. Das sind Werte, die Beryllium deutlich von wirklich spröden Materialien unterscheiden», fasst Petzow zusammen. «Nach einer pulvermetallurgischen Verarbeitung sind also die mechanischen Eigenschaften des Berylliums wesentlich günstiger als die des Gussmaterials, so dass heute fast ausschliesslich pulvermetallurgisch hergestelltes Beryllium verwendet wird.»

Jetzt fanden die Stuttgarter Metallforscher einen Weg, die Sprödigkeit des Berylliums weiter zu verringern: Sie lassen, wie Aldinger mitteilt, den Sinterprozess für Beryllium – vom Zermahlen und Sortieren des Pulvers bis zum Heisspressen bei ungefähr 1000 °C – in hermetisch von der Aussenwelt abgekapselten Kästen, den glove-boxes, ablaufen, die mit ultrareinem Argon-Edelgas gefüllt sind. «Wir haben berechtigte Hoffnungen, dadurch Verformungsraten von mehr als 15 Prozent für Beryllium bei Raumtemperatur zu erhalten», bestätigt Petzow.

#### Kupfer als Rissbremse

Um die Sprödigkeit und ihre Folgen, so vor allem die *Anfälligkeit* des Berylliums für *Sprödrübrüche*, aber noch weiter

einzu-schränken, wurde im Pulvermetallurgischen Laboratorium dem Beryllium Kupfer zugesetzt, das als Bremse für Risse wirkt, die das Beryllium durchqueren wollen. «Entscheidend verantwortlich für die Sprödigkeit des Berylliums ist nämlich der Mechanismus, durch den Risse entstehen und sich ausbreiten», erklärt Aldinger sein «Modell-System». «Der Rissmechanismus funktioniert im Beryllium so gut, weil es – entgegen der immer noch weit verbreiteten Meinung – auf einem bestimmten Gleitsystem sehr leicht abgleitet, es aber nur schwer möglich ist, im Beryllium zusätzliche Gleitsysteme für eine mögliche plastische Verformung zu aktivieren. Es bleibt daher nur ein Weg: Man muss es den Rissen möglichst schwer machen, sich im Beryllium auszubreiten.»

Nur Kupfer lässt sich als geeignete «Rissbremse» in ausreichenden Mengen im Beryllium lösen: Bei 1 bis 1,5 Prozent Kupfergehalt in hochreinem Beryllium, so zeigte die Untersuchung, braucht ein Riss bei Zimmertemperatur bis zu siebenmal mehr Energie, um sich auszubreiten. Nachgewiesen ist der Effekt bisher allerdings nur in *Einkristallen aus hochreinem Beryllium* – das Pulvermetallurgische Laboratorium des Max-Planck-Instituts ist derzeit das einzige Forschungsinstitut auf der Erde, das solche Beryllium-Einkristalle herstellen kann. «Wir haben zwar bestimmte Modell-Vorstellungen, doch fehlt uns noch der eindeutige Beweis, dass Kupferzusätze auch in polykristallinem Beryllium als Rissbremse wirksam sind», bestätigt Aldinger. Dazu sollen jetzt dünne Folien aus Beryllium unter dem Elektronenmikroskop verformt und dabei erstmals direkt beobachtet werden, welche Mikroprozesse im Kristallgitter des Berylliums für die Rissausbreitung verantwortlich sind.

Bei der Anwendung des Berylliums hat ein «Umdenkprozess» eingesetzt. So stellt man «die aussergewöhnlichen Eigenschaften des Berylliums in den Vordergrund und versucht, seine Nachteile durch werkstoffgerechtes Konstruieren auszugleichen». Vor allem bezogen auf sein geringes Gewicht hat Beryllium im Vergleich zu anderen Leichtmetallen wie Aluminium, Stahl oder Titan eine Reihe von Eigenschaften,

die «Extremwerte» darstellen: Das aus Beryllium bestehende Seitenruder eines Phantom-Flugzeugs ist zum Beispiel 11,5 Kilogramm leichter als das gleiche Bauteil aus Aluminium. Seine *grosse Steifigkeit* und sein *geringes Gewicht bei brauchbarer Festigkeit* machen Beryllium aber nicht nur zu einem vielverwendeten Werkstoff bei der *Luft- und Raumfahrt*.

Auch «am Boden» wird Beryllium mehr und mehr vor allem dort verwendet, wo Bauteile *sehr grossen Beschleunigungs- oder Fliehkraften* ausgesetzt sind: zum Beispiel in den mit mehr als 50000 Umdrehungen je Minute rotierenden Kreiseln von *Trägheits-Navigationssystemen* oder den ähnlich schnell drehenden *Scanning-Spiegeln in opto-elektronischen Geräten* wie zum Beispiel *Infrarot-Kameras*, die für das menschliche Auge nicht erkennbare *Wärmestrahlung* sichtbar machen. Zu diesen Anwendungsbereichen des Berylliums zählen auch seine Verwendung in *Hochgeschwindigkeits-Filmkameras*, *Tonabnehmersystemen* und als *Lautsprecher-membranen*. Ausser seinem ausgezeichneten *Spiegelungsvermögen für Strahlung* – für Röntgen- und Gammastrahlen hingegen ist Beryllium durchlässig und deshalb als «Strahlungsfenster» geeignet – kommt dem Beryllium für solche Anwendungen noch eine weitere Eigenschaft zugute: Es verfügt über eine ausgezeichnete *Dimensionsstabilität* unter Last und erleidet unterhalb  $-230^{\circ}\text{C}$ , das heisst bei «Weltraumkälte», keine Formänderungen durch Temperaturschwankungen.

Deshalb wird es vor allem beim Bau von Präzisionsgeräten verwendet.

### Spitzenleistung bei Wärmestössen

Im Vergleich zum Aluminium, das bei etwa  $660^{\circ}\text{C}$  schmilzt, wird Beryllium erst bei  $1280^{\circ}\text{C}$  flüssig. «Einsame Spitze» (Aldinger) ist Beryllium dann, wenn es «Wärmestösse» abzufangen oder vom Ort ihrer Entstehung wegzu-transportieren gilt. Bei der Wärmezufuhr von 200 Kalorien klettert die Temperatur in einem Gramm Titan oder Stahl auf  $1300^{\circ}\text{C}$ , Magnesium und Kupfer beginnen sogar zu schmelzen, Beryllium hingegen erwärmt sich nur auf knapp  $400^{\circ}\text{C}$  – das macht dieses Material für die Verwendung zum Beispiel in *stark beanspruchten Bremsen* oder als «*Wärmesenken*» bei *hochbelasteten Elektronik-Bauteilen* interessant. In der Elektronik ist es aber vor allem das *Oxid* des Berylliums, das verwendet wird, weil es ausser der guten Wärmeleitfähigkeit einen *extrem grossen elektrischen Widerstand* hat. Die besonderen kernphysikalischen Eigenschaften des Berylliums sind ebenfalls von grossem Interesse, zum Beispiel für *Monochromatoren* in der *Neutronenstrahl-Experimentiertechnik*. Hierauf beruht eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Pulvermetallurgischen Laboratorium und dem Max von Laue-Paul Langevin-Institut in Grenoble.

Eugen Hintsches, München

## Umschau

### Waldbrandbekämpfung aus der Luft

Der *Prototyp eines Feuerlöschrüstsatzes für Transall-Flugzeuge* wurde im August in insgesamt drei Löscheinheiten bei der Waldbrandbekämpfung in Südfrankreich erfolgreich eingesetzt. Der Feuerlöschrüstsatz kann in weniger als 25 Minuten in eine Transall eingebracht werden und ist ohne jeden Wartungsaufwand sofort einsatzbereit. Der Löschwasserbehälter ist aus Leichtmetall gefertigt und wird in weniger als 5 Minuten aus zwei Hydranten über vier Feuerwehr-B-Schläuche gefüllt. Die Löschwasserkapazität ist mit 12100 Litern je Abwurf mehr als doppelt so gross wie die des französischen Wasserbombers vom Typ Candair CL 215 mit 5500 Litern. Die in der Transall mitgeführte Löschwassermenge reicht aus, um eine Fläche von  $250 \times 30$  oder  $450 \times 50$  m zu beregnen, wobei die Ablasszeiten 4–8 Sekunden betragen. Die auftreffende Wassermenge ist abhängig von der Geschwindigkeit und dem Anstellwinkel des Flugzeugs während des Abwurfs.

Der Einsatz dieses neuen leistungsfähigen Feuerlöschrüstsatzes hat mit dazu beigetragen, die ausgebrochenen Waldbrände erfolgreich aus der Luft einzudämmen. Nach Ansicht fachkundiger Beobachter aus *Deutschland* und *Frankreich* ist damit die Tauglichkeit des entwickelten Geräts für die Waldbrandbekämpfung bewiesen. Bei einer Besichtigung des Feuerlöschrüstsatzes und der Transall erklärte der Staatssekretär im französischen Innenministerium, Frankreich sei an der Weiterentwicklung bis zur Serienreife ganz besonders interessiert.

Allein bei der *Waldbrandkatastrophe in Niedersachsen* im Jahre 1975 sind 7400 bis 7800 Hektar Mischwald in kürzester Zeit vernichtet worden. Der volkswirtschaftliche Schaden einschliesslich der Wiederaufforstung der abgebrannten Gebiete beläuft sich auf 80 bis 100 Mio. Mark.

## Eidg. Technische Hochschule Zürich

### Wolfgang Pauli-Vorlesungen

Die diesjährigen Wolfgang Pauli-Vorlesungen werden von E. M. Purcell, Professor an der Harvard Universität, Cambridge (Mass.) gehalten. Themen:

«Radioastronomy and Interstellar Communication»

(16. Januar, 20.15 Uhr);

«Physics of the Interstellar Medium»

(17. Januar, 20.15 Uhr);

«Physics of the Bacterial Environment»

(19. Januar, 20.15 Uhr).

Die Vorlesungen finden im Auditorium Maximum des Hauptgebäudes statt. Eintritt frei.

### Abteilung für Architektur

Die Diplomarbeiten der Architekturabteilung der ETH Zürich sind vom 13. Januar bis 24. Februar 1978 im ETH-Hauptgebäude, Rämistrasse 101, 8006 Zürich, ausgestellt. Öffnungszeiten: Montag bis Freitag von 7 bis 21.30 Uhr, Samstag von 7 bis 17 Uhr.

## Buchbesprechungen

**Die griechischen Vasen.** Von Erika Simon, Aufnahmen von Max und Albert Hirmer. 464 Seiten, 52 Farbtafeln, 240 Schwarzweiss tafeln mit 303 Abbildungen. Format  $24,5 \times 31$  cm. Hirmer Verlag München. Preis: 160 DM.

Zu den bekanntesten Hirmer-Bänden gesellt sich ein Werk, das sich von der Beschränkung des thematischen Bereichs her beim ersten Zusehen doch sehr wesentlich von den meisten seiner Vorgänger abhebt. Das verhältnismässig eng umschriebene kunstgeschichtliche Feld, das hier in Text und Bild zur Darstellung gelangt und – so betrachtet – eher das Interesse des in der griechischen Töpferei sich heimisch fühlenden Liebhabers abdecken mag, weitet sich aber unvermittelt zu einem der grossartigsten, kulturgeschicht-