

## Das Polarisationsmikroskop als analytisches Hilfsmittel bei der Lösung maltechnischer Fragen

Von Prof. Dr. ERNST BAIER und Dr. F. MÜLLER-SKJOLD

Mineralogisches Institut der Technischen Hochschule, Berlin

Physikalisch-Chemisches Laboratorium der Staatlichen Hochschule für bildende Künste, Berlin

Eingeg. 16. Juni 1939

**A**ntike Wandmalereien und Putze, vor allem die campanischen von Pompeji und Herkulaneum, sind schon vielfach Gegenstand eingehender Untersuchung gewesen. Eine zusammenfassende Darstellung der älteren Forschung bis etwa 1928 gibt Eibner<sup>1)</sup>, von neueren Arbeiten mögen die von Grün, Biehl u. Hasak<sup>2)</sup> besonders genannt sein. Dabei lassen sich aber die Ergebnisse der älteren Arbeiten wegen unvollkommener Angaben über Fundort, konservierende Vorbehandlung u. a. häufig nur beschränkt oder mit Vorsicht verwenden. Überhaupt blieben manche technischen Grundfragen noch ungelöst.

Im Laboratorium der Staatlichen Hochschule für bildende Künste sind schon seit geraumer Zeit Untersuchungen im Gange, deren Ziel es ist, zu einer möglichst vollkommenen Rekonstruktion solcher Mal- und Putzschichten zu gelangen; dabei steht günstigerweise genügend Material bekannten Fundorts und bekannter Vorgeschichte zur Verfügung<sup>3)</sup>.

Es zeigte sich bald, daß zur Lösung der gestellten Aufgabe die chemische qualitative und quantitative Makro- und Mikroanalyse keineswegs ausreicht. Jedem, der Gelegenheit hat, den gar nicht so einfachen Aufbau derartiger Objekte zu beobachten, wird dies von vornherein einleuchten. In der Casa di Larario zu Pompeji z. B. wurde gerade beim

Ausbruch des Vesuvs ein Raum neu verputzt und vermauert; die verschiedenen, ungleich weit gediehenen Putzschichten sind auf Abb. 1 deutlich zu unterscheiden. Jede einzelne

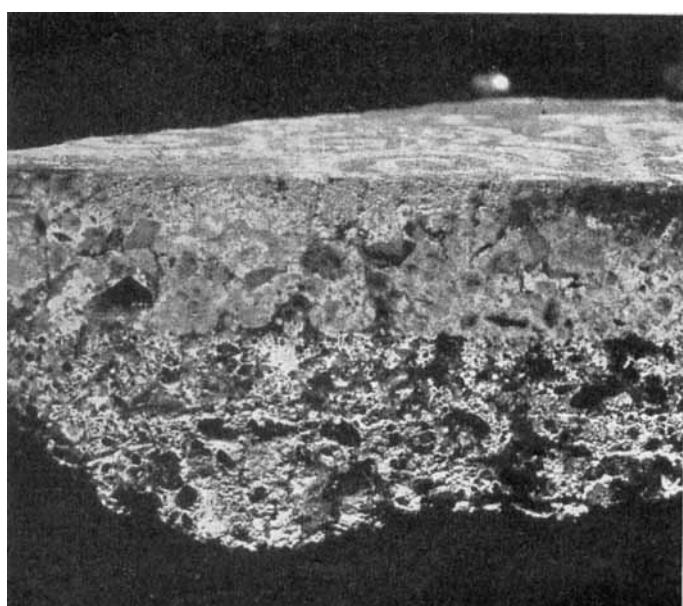


Abb. 2.

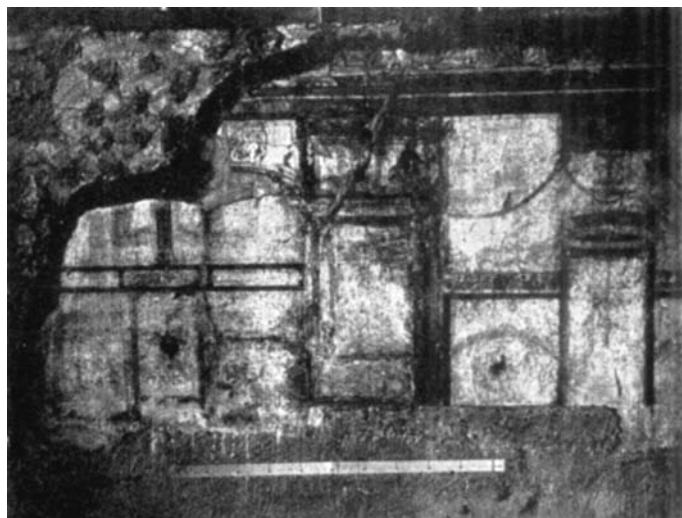


Abb. 1.

hat ihre besondere Zusammensetzung und Funktionen, und man versteht, daß eine chemische Analyse des Schichtverbandes über seine Gesamtmächtigkeit — wie sie früher gang und gäbe war — unmöglich aufschlußreich sein kann.

So hielten wir es für nötig, vor Beginn aller anderen, insbes. auch der chemischen Arbeiten, erst einmal den Schichtenbau der Putze zu klären, und zwar an Hand von Anschliffen (Abb. 2) und Dünnschliffen — vorwiegend quer zur Schichtung. Selbst bei sehr feinschichtigen Putzen ließ sich in der Tat unter dem Mikroskop der Grobaufbau meist einwandfrei verfolgen.

Nachdem mit der Verwendung von Dünnschliffen schon ein wichtiger Schritt zu den von Mineralogie und Petrographie seit altersher gepflegten Verfahren getan war, empfahl es sich von selbst, in dieser Richtung fortzufahren und das Polarisationsmikroskop und seine Hilfsapparate auch für die weitere Untersuchung der in sich einheitlichen Putzschichten dienstbar zu machen.

Abgesehen von zwei Veröffentlichungen<sup>2)</sup> (Dünnschliffuntersuchung alter römischer und deutscher Mörtel durch Biehl; Untersuchung der römischen Wasserleitung bei Köln durch Grün) haben wir über derartige Versuche im sonst so umfangreichen Schrifttum nichts finden können.

<sup>1)</sup> A. Eibner: Entwicklung und Werkstoffe der Wandmalerei. B. Heller, München 1926.

<sup>2)</sup> K. Biehl, Tonind.-Ztg. **51**, 139 [1927]; **52**, 346 [1928]; **53**, 449 [1929]; **54**, 839 [1930]. R. Grün, diese Ztschr. **48**, 124 [1935]. Hasak, Tonind.-Ztg. **49**, 1080, 1385 [1925].

<sup>3)</sup> Das Material stammt aus dem Privatbesitz von Prof. K. Wehlte, Staatliche Hochschule für bildende Künste. Für die Überlassung des Materials danken wir auch an dieser Stelle bestens.

Schon die ersten Ergebnisse an Putzen waren so ermutigend, daß wir die Untersuchungen bald auf eine Reihe verwandter Objekte auszudehnen begannen; weiter unten wird eine kurze Übersicht über die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten gegeben werden.

Auf die seit Jahrzehnten eingeführten und viel beschriebenen Verfahren und ihre theoretischen Grundlagen im einzelnen einzugehen, erübrigt sich hier<sup>4)</sup>, es seien lediglich einige Worte über die Hilfsapparate, die sich in unserem Fall besonders bewährten, beigefügt.

Das einfache Polarisationsmikroskop läßt nur eine Drehung des Schliffes um eine einzige Achse (die Tischachse, die zugleich auch Achse des optischen Systems ist) zu. Um das so wichtige Inbeziehungsetzen optischer und kristallographischer Richtungen zu erleichtern, werden in neuerer Zeit gerne Hilfseinrichtungen angewandt, die den Dünnschliff und damit jeden einzelnen zur Ermessung auserwählten Kristall allseitig im Raum zu drehen erlauben (Theodolitmikroskop, Universaldrehtisch).

Leider kann mit dem Polarisationsmikroskop bei Durchsichtsbetrachtung, vor allem wegen der immer noch beträchtlichen Dicke der Dünnschliffe von ungefähr  $30\mu$ , nur mit bescheidenen Vergrößerungen gearbeitet werden. Es ergibt sich so eine Grenze, welche die Verwendbarkeit etwa bei der Untersuchung von Zementen und vielen feinkörnigen keramischen Werkstoffen stark herabsetzt. Für die Auflichtbetrachtung (Opakilluminator, Erzmikroskop, Ultropakobjektive), besonders wenn es sich um hochlichtbrechende und merklich absorbierende Körner handelt, gilt diese Einschränkung nicht; hier spielen starke Olimmersionen sogar eine besondere Rolle. Falls die Voraussetzungen einigermaßen gegeben sind, empfiehlt es sich also, bei feinkörnigen Massen zur Auflichtbetrachtung von Anschliffen überzugehen.

Oft ist es besonders wichtig, über das Mengenverhältnis der im Schliff ermittelten Mineralarten Bescheid zu wissen. Dies erreicht man besonders bequem mit dem Integrations-tisch, einem Hauptausstattungsstück der Petrographen. Es handelt sich um eine Art Kreuztisch mit selbstregistrierendem Vorschub. Für Bewegungen entlang der einen Kreuzachse steht sogar eine ganze Reihe von Registrierspindeln zum Antrieb zur Verfügung. Die Vermessung geht folgender-

maßen vorstatten: Jeder vorhandenen Mineralart wird eine dieser Spindeln zugeordnet, und solange eines ihrer Körner den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes (Fadenkreuz!) quert, wird die Verschiebung nur durch Drehen eben dieser Spindeln ge-

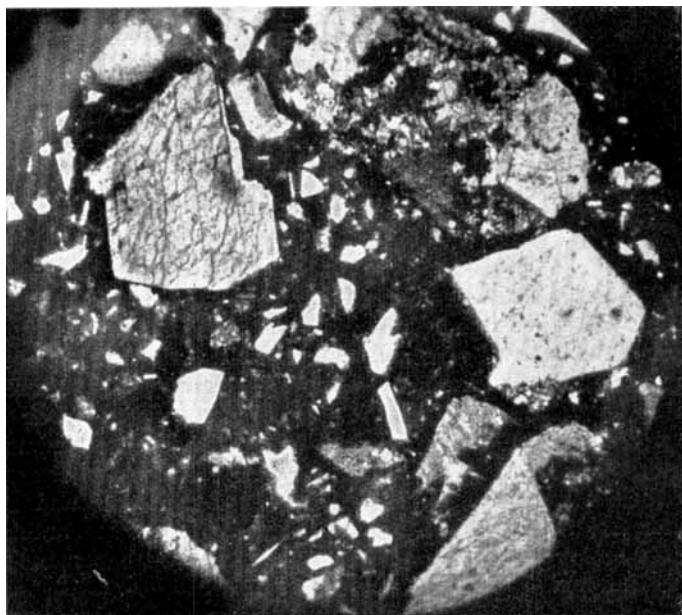


Abb. 4.

tätigt. So läuft das Verfahren darauf hinaus, daß man eine oder besser mehrere Geraden durch den Schliff zieht: die auf die einzelnen Mineralarten entfallenden Teilstrecken verhalten sich dann unmittelbar wie die Volumenanteile. Unter Berücksichtigung der meist bekannten Dichte lassen sich die Gewichtsverhältnisse errechnen. Auch eine größere Porosität kann man auf diese Weise leicht quantitativ festlegen. Ge-wisse Einschränkungen für die praktische Durchführbarkeit der Analyse können sich aus einem streng geregelten Gefüge des Kornverbandes ergeben. Gerade der Integrations-tisch wurde für uns zu einem wichtigen Hilfsmittel.

Es folgt nunmehr eine gedrängte Übersicht über die Aufgaben, zu deren Bewältigung wir die beschriebenen Verfahren mit Nutzen angewandt haben. Die Einzelheiten der Ergebnisse, Analysenzusammenstellung usw., werden in weiteren Aufsätzen, nach Stoffgebieten getrennt, folgen.

### 1. Antike Putze. Klärung des Grobaufbaues (Schichtenbaus) von Putzen und Malschichten. Vergleichende Untersuchung der zum Teil sehr verschieden zusammengesetzten einheitlichen Schichten auf Bindemittel und Zusätze.

Die dem Mauerwerk zunächst liegende Schicht hat z. B. bei den pompejanischen Putzen als Zusätze überwiegend wohlabgerundete Rollstücke dunkler Lavagesteine und vulkanischer Tuffe, daneben häufig auch viel lose Mineralbruchstücke wie Sanidine, Augite und Hornblendens und dann in beträchtlichem Anteil Ziegelschlag (Abb. 3). Gerade das Problem des Ziegelschlags, das schon deshalb interessant ist, weil sich dessen Verwendung nördlich der Alpen bis ins spätere Mittelalter erhalten hat, ging uns besonders nahe. Leider gelang es in diesem Fall nicht, zu voller Klarheit zu kommen. Es bleibt trotz vieler Arbeiten immer noch offen, ob seine Wirkung mehr darin besteht, daß er als kieselsäurreiches Tonerdeprodukt mit dem Kalk als Mörtel zementartig abbindet, oder darin, daß er als Wasserspeicher während des Abbindens dient.

Auf diese innere Putzsicht, oder auch auf mehrere ähnlich gebaute, folgen ein oder zwei Putze, die bei der

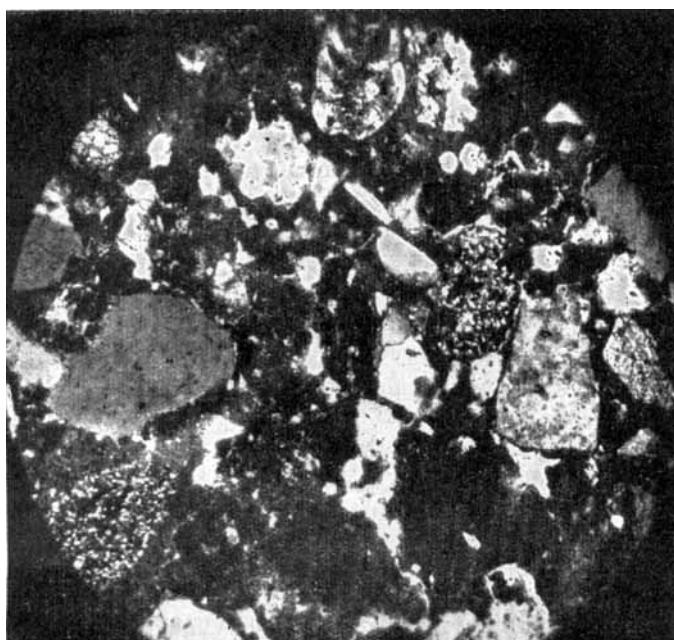


Abb. 3.

<sup>4)</sup> Ambronn-Frey: Das Polarisationsmikroskop, seine Anwendung in der Kolloidforschung und in der Färberei, Leipzig 1926, und Rinne-Berek: Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop, Leipzig 1934.

Analyse 96—98% CaCO<sub>3</sub> ergeben. Anschliff oder Dünnschliff zeigen Calcit in manchmal sehr groben Spaltstücken (Abb. 4) oder in Form feinkristallinen Marmors als Zuschlag. Diese Putze — *Eibner* nennt sie Marmormehlputze — zeichnen sich durch erstaunlich hohe Festigkeit aus; sie ist wohl dadurch bedingt, daß das beim Abbinden entstehende Carbonat an den zugesetzten Kristallen besser haftet als an wesensfremden Körnern. In einer Reihe von Schliffen waren diese Zuschlagkristalle auch von dünnen Anwachszonen umrandet.

Gerade diese Marmormehlputze sind nun ein Musterbeispiel dafür, wie notwendig es ist, nicht ausschließlich mit chemischen Methoden vorzugehen. In der chemischen Analyse können wir zwischen dem kristallin zugesetzten und dem beim Abbinden neugebildeten Calciumcarbonat nicht unterscheiden, und mit dem Analysenergebnis von 98% CaCO<sub>3</sub> ist eigentlich gar nichts anzufangen. Unter dem Polarisationsmikroskop lassen sich hingegen nicht nur die beiden Calcitfolgen einwandfrei auseinanderhalten, unter Heranziehung des Integrationstisches läßt sich sogar ihr gegenseitiges Mengenverhältnis rasch und einfach ermitteln. Wir haben solche Messungen an einer ganzen Reihe möglichst verschiedenartiger Marmormehlputze ausgeführt und kamen zu recht übereinstimmenden und sinnvollen Zahlen für das Verhältnis Zusatzkalk : Bindemittelkalk. Es zeigte sich, daß zu diesen Marmormehlputzen immerhin noch recht fette Mörtelgemische verwendet wurden.

In anderen Fällen läßt die quantitative Vermessung der Putzzusätze nach Korngröße und Mengenanteil noch sicherer als qualitative Vergleiche eine Unterscheidung zwischen Original- und restaurierten Stellen zu.

2. Ermittlung der Farbkörper in Wandmalereien. Hier erlauben die optischen Methoden vielfach eine einwandfreie Bestimmung, wo chemische Methoden vieldeutig bleiben oder ganz versagen.

Bei Kupfergrünen läßt sich klar entscheiden, ob sie als Grünspan, Chrysokoll oder Malachit vorliegen. Ebenso lassen sich bei den Eisenroten, die in den Wandflächen Pompejis eine vordringliche Rolle spielen, natürlicher Roteisenstein und gebrannter Eisenocker auseinanderhalten. Dem bekannten Ägyptischblau, einem kupferhaltigen Calciumsilicat, sind wir mehrfach begegnet. Dies künstliche Schmelzprodukt, das heute nicht mehr hergestellt wird, ist merkwürdigerweise ziemlich grob kristallisiert und kann auf Grund von Doppelbrechung, negativ optischem Charakter bei Einachsigkeit, kräftig blauviolettem Pleochroismus, deutlicher Spaltbarkeit bzw. Absonderung senkrecht zu c stets leicht und sicher bestimmt werden.

Ein kleines Beispiel mag die Brauchbarkeit der kristalloptischen Pigmentforschung vollends erhärten: die Malschicht der Auskleidung eines Badebeckens von Herkulanum enthält als Farbpigment vor allem Ägyptischblau, ist aber zusätzlich mit grüner Erde angefärbt. Dies Ergebnis vermag die chemische Analyse nicht zu liefern; und dabei ist ohne diesen Befund der charakteristische Farbton nicht zu erklären.

3. Mosaiken. Auch hier erhielten wir gute Aufschlüsse. Die Reihenfolge der Mosaikputze kann im Anschliff, ihre Kornzusammensetzung im Dünnschliff mit Vorteil untersucht werden. Zutiefst liegt meist ein Marmormehlputz, es folgt ein Putz mit Gesteinstrümtern und Sand als Zuschlag, die Mosaiksteinchen selbst sind endlich in eine dritte Putzschicht gebettet, deren an sich beträchtlicher Gehalt an Ziegelschlag in Richtung der Mosaikoberfläche merklich zunimmt.

Auch die Mosaiksteine selbst erwiesen sich als dankbarer Gegenstand der Untersuchung. Allerdings überwiegen leicht gefärbte und getrübte Gläser, daneben aber konnten verschiedene Ergußsteine (inbes. Basalte) und im Falle eines bunten Wandmosaiks von Pompeji merkwürdige synthetische Steine mit roten, fast metallisch reflektierenden Kernen und grünen Außenzonen festgestellt werden. Hier geht die Rotfärbung des Kernes auf einen Gehalt an Kupferoxydul, die grüne Farbe auf dessen randliche Umwandlung in Kupfercarbonat zurück.

4. Auch bei der Untersuchung von Tafelbildern leistet das Polarisationsmikroskop wertvolle Dienste. Allerdings halten sich die Möglichkeiten in engeren Grenzen, weil es sich zumeist verbietet, einem Gemälde das zur Dünnschliffherstellung erforderliche Material zu entnehmen.

In Schliffen senkrecht zur Oberfläche des Gemäldes ist der Schichtenaufbau gut verfolgbar und bietet weitgehenden Aufschluß über die Maltechnik des betreffenden Meisters.

Wichtige mechanische und optische Aufgaben übernimmt beim Tafelbild die Grundierung, d. h. die zwischen Bildträger (Holz, Leinwand usw.) und die eigentliche Malschicht eingeschaltete Schicht. Es zeigt sich, daß sie bestimmte Zusätze zu enthalten pflegt, wie etwa groben oder feingemahlenen Gips, Pigmente aller Art, die sich für bestimmte Zeiten und Schulen als charakteristisch erweisen. Bei den auf Holz gemalten Bildern befinden sich zwischen Holztafel und Grundierung oft Fasermaterialien, wie feine Leinwand, Pflanzenbastfasern, die einen Ausgleich zwischen dem stark arbeitenden Holz und den weniger aktiven Malmaterialien gewährleisten sollen. Diese Faserstoffe können nach Art und nach Verteilung im Dünnschliff bestimmt werden.

Bei der Malschicht selbst steht die Ermittlung der Pigmente im Vordergrund; besonders bei Mischtönen ist es oft von Wert, über die mitwirkenden Farbstoffe ins klare zu kommen. Mitunter erlaubt die im Auflichtgerät leicht durchführbare Größenvermessung der Pigmentkörper eine grobe Zeitbestimmung, da grobes und unregelmäßiges Korn auf handgepulverte, feines und gleichmäßiges auf maschinell zerriebene Farben schließen läßt. Mittelbar ergab sich so oft die Möglichkeit zu einer erstaunlich scharfen Unterscheidung zwischen ursprünglichem und restauriertem Zustand einer Schicht.

5. Kurz sei noch erwähnt, daß wir uns des Polarisationsmikroskops mit Nutzen auch zur Untersuchung von Stücken und Vergoldungen bedient haben.

#### Zusammenfassung und Ausblick.

Die Brauchbarkeit des Instrumentes vor allem zur Lösung maltechnischer Fragen der Kunstgeschichte dürfte durch die Beispiele wohl erwiesen sein. Es besteht aber die Hoffnung, mittels der angewandten Verfahren mit der Zeit weit über die gewöhnliche Stoffbestimmung hinaus auch in sonst hoffnungslosen Fällen den Rohstoffbezugsquellen, Lagerstätten und Handelswegen auf die Spur zu kommen. Allerdings setzt die Lösung solcher Aufgaben Gemeinschaftsarbeit zwischen kulturhistorischer, chemischer, mineralogischer und oft auch geologischer Forschung in bisher kaum geübtem Maße voraus.

Der eine von uns (M.) dankt der Fachgruppe Kalkindustrie der Wirtschaftsgruppe Steine und Erden für ihre weitgehende Unterstützung, die die Durchführung dieser Arbeit erst ermöglichte.  
[A. 56.]