

Zeitschrift: Jahresbericht / Schweizerisches Landesmuseum Zürich
Herausgeber: Schweizerisches Landesmuseum Zürich
Band: 68-69 (1959-1960)

Artikel: Das chemisch-physikalische Laboratorium
Autor: Mühlethaler, Bruno
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-395317>

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: 14.01.2026

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

DAS CHEMISCH-PHYSIKALISCHE LABORATORIUM

VON BRUNO MÜHLETHALER

I. Die Einrichtungen. Im Tätigkeitsbericht des Jahres 1958 wurden Aufgabe und Gestaltung dieses neuen Dienstzweiges am Landesmuseum kurz umrissen. Bereits im Laufe des Oktobers 1958 wurden mit vorhandenen Mitteln alle für den Betrieb der Instrumente erforderlichen Anschlüsse, Steuer- und Überwachungseinrichtungen entworfen und gebaut, damit die mit stark verzögerten Lieferfristen eintreffenden Apparate unverzüglich in Betrieb genommen werden konnten. Gleichzeitig damit erfolgte die systematische Durcharbeit der einschlägigen Literatur über Konservierung und Materialkunde. Als Ergebnis verfügt das Laboratorium am Ende des Berichtsjahres über eine Sammlung von 950 Separaten, Photokopien und Auszügen, 160 Handbüchern und Tabellenwerken über folgende Gebiete:

Museumstechnik (Heizung, Belüftung, Beleuchtung, Reinhaltung usw.),

Materialkunde und Stoffeigenschaften (Handwerk, Kunsthandwerk, Technologie u. ä.),

Konservierung und Restaurierung,

Untersuchung, Analyse und technologische Prüfung von Stoffen (insbesondere zerstörungsfreie Untersuchungen, Spurenanalyse u. a. m.).

Dazu gesellt sich eine Sammlung von 2500 Literaturauszügen, die vom International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works herausgegeben wird. Zu diesem wertvollen Werk leistet das Personal des Labors, zusammen mit dem Schweiz. Institut für Kunstwissenschaft in Zürich und dem Doerner-Institut in München, einen Beitrag durch Bearbeitung der deutschsprachigen Literatur.

Das gesammelte Material ist durch eine Schlüsselkartei zugänglich.

Mit dem Anlegen einer Sammlung von Vergleichsproben aller Art wurde begonnen. Die Notwendigkeit dafür ergab sich aus der Einsicht, dass der Befund, der als unmittelbares Ergebnis jeder chemischen und physikalischen Untersuchung resultiert, nur dann eine eindeutige Beziehung zum untersuchten Fundobjekt oder Kunstgegenstand erhält, wenn er richtig interpretiert werden kann. Das ist vielfach nur möglich, wenn sich dieser Befund an zahlreichen unter sich vergleichbaren Gegenständen wiederholt. Gleichzeitig gewinnt dabei sein Aussagewert an Gewicht. Der Nutzen einer solchen Sammlung wächst natürlich beträchtlich mit ihrem Umfang.

Der vorhandene Raum von 230 m² wurde wie folgt aufgeteilt und eingerichtet:

- | | |
|----------------------|--|
| Raum I: | <i>Physikalische Prüfungen</i> (künstliche Alterung, Beobachtung und Messung der Einflüsse von Licht, Feuchtigkeit, Wärme, Dämpfe auf das Material; Vorbereiten von Untersuchungsmaterial, Einbetten, Schleifen, Polieren, Ätzen). |
| Raum II: | <i>Chemisches Laboratorium</i> (Entwicklung von Konservierungsmethoden, präparative Arbeiten, chem. Untersuchungen, Holzuntersuchungen).
Versuchs-Anlage für Holzkonservierung mit Kunstharzen.
Versuchs-Anlage für Holzkonservierung mit Polyäthylenglykolen. |
| Raum III: | <i>Bureau</i> des Leiters mit Karteien für Versuche, Vergleichssammlung und Korrespondenz. |
| Raum IV: | Schreibarbeiten und Besprechungen, Handbibliothek und Separatensammlung. |
| Raum V:
(Bild 1) | Laboratorium für Mikroskopie und Mikrophotographie, Mikrospektralphotometrie und Arbeitsraum der Assistentin. |
| Raum VI:
(Bild 2) | Spektralphotometrie, Papierchromatographie, Elektrophorese und pH-Metrie (vergleichende Untersuchungen an Gläsern, Keramiken, Papier, Geweben und andern organischen Oberflächenschichten). |



Bild 1. Mikroskopieraum; v. l. n. r. Binokularlupe f. halbmikrochem. Untersuchungen, Leuchtkasten mit Binokularmikroskop und monochromatischen Lichtquellen für Gewebeuntersuchungen. In der Ecke Universalmikroskop mit Leica- und Plattenkamera, sowie Mikrospektralphotometer (im Bilde nicht dargestellt). Rechts daneben Mikrohärtemessgerät.

Raum VII: *Emissionsspektralanalyse* (quantitative Spurenanalyse von Metallen, Gläsern, Keramik, Pigmenten und anorganischen Bestandteilen in organischen Stoffen).
(Bild 3)

Raum VIII: *Röntgenfeinstrukturuntersuchungen* (zerstörungsfreie Bestimmung der chemischen Zusammensetzung und des Kristallzustandes (Struktur) der verschiedensten Stoffe und Gegenstände. Röntgenphotographie).
(Bild 4)

Raum IX: Dunkelkammer.

Ferner sind an beweglichen Einrichtungen vorhanden:

Hochvakuumpumpe für Gefriertrocknungsversuche und Vakuum-spektroskopie.

Kühltruhe.

II. Grundlagen naturwissenschaftlicher Methoden und ihre Anwendung im Museum. Für das Verständnis der Möglichkeiten, die das neue Laboratorium dem Museum eröffnet, ist es notwendig, einige physikalische Zusammenhänge zu erläutern. Wir brauchen dabei nur auf das einzugehen, was die Ausarbeitung von Untersuchungsmethoden ermöglicht, die wir auf die Gegenstände des Museums anwenden dürfen. Es gibt nur wenige Gegenstände, von denen Materialmengen in der Grösse einiger Gramme weggenommen werden dürfen. Soviel benötigt man meistens für eine erschöpfende chemische Analyse. Dabei gewinnt man aber noch keinerlei Auf-

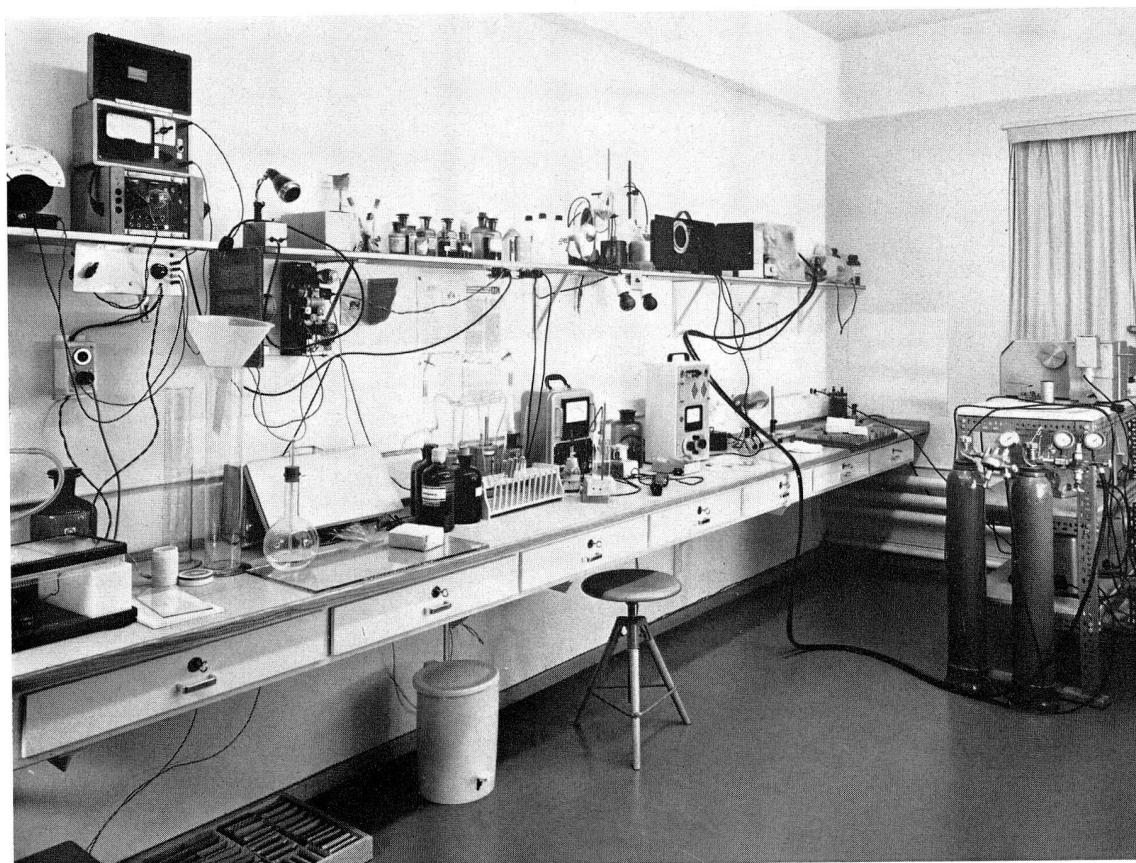


Bild 2. Labor für Spektralphotometrie; v. l. n. r. Papierelektrophorese für Farbstoff- und Bindemitteluntersuchungen; Leitfähigkeitsmessgerät z. Kontr. von Waschwässern und Konspraparate f. Holzkonservierung und Metallkonservierung; pH-Messgeräte; darüber Quarzlampen. Freistehend: Absorptionsspektralanalyse.

schluss über die Struktur des Materials. Die meisten Objekte, wie Münzen, Gläser, Keramik, Kunstwerke, Bodenfunde, gestatten gar keine Entnahme von Proben, im günstigsten Falle dürfen einige Tausendstel Gramm abgenommen werden.

Unsere Aufgabe ist es, trotz dieser strengen Einschränkung möglichst viel über den Chemismus und die Struktur des Materials zu erfahren. Es ist dabei zunächst ganz gleichgültig, ob es sich darum handelt, darauf ein zuverlässiges Konservierungsverfahren aufzubauen, eine Frage nach der zeitlichen Einordnung zu beantworten oder einen Echtheitsnachweis zu liefern.

Für die Lösung unserer Aufgabe sind vor allem jene Methoden besonders geeignet, die sich durch geringen Materialbedarf, hohe Nachweisempfindlichkeit und Nachweissicherheit kennzeichnen. Zerstörungsfreie Methoden, verbunden mit kleinem Zeitaufwand, werden vorgezogen, weil sie eine rasche und sichere Beurteilung von den Gegenständen erlauben, die dem Landesmuseum zum Ankauf angeboten werden.

Für die Erfüllung der besprochenen Anforderungen erweist sich die Spektralanalyse als besonders geeignet. Das Prinzip der Spektralanalyse wurde von Kirchhoff und Bunsen in Heidelberg vor genau hundert Jahren zum ersten Mal klar erkannt und formuliert: Jedes chemische Element sendet, wenn es von einer geeigneten Lichtquelle angeregt wird, wiederum Licht (Spektrallinien) aus, deren Wellenlänge und Intensität für dieses Element so charakteristisch sind, dass es daran mit Sicherheit erkannt werden kann.

In bezug auf ihre praktische Anwendung in unserem Laboratorium unterscheiden wir drei voneinander abgegrenzte Arbeitsrichtungen: Die Spektrochemie der chemischen Elemente. Sie

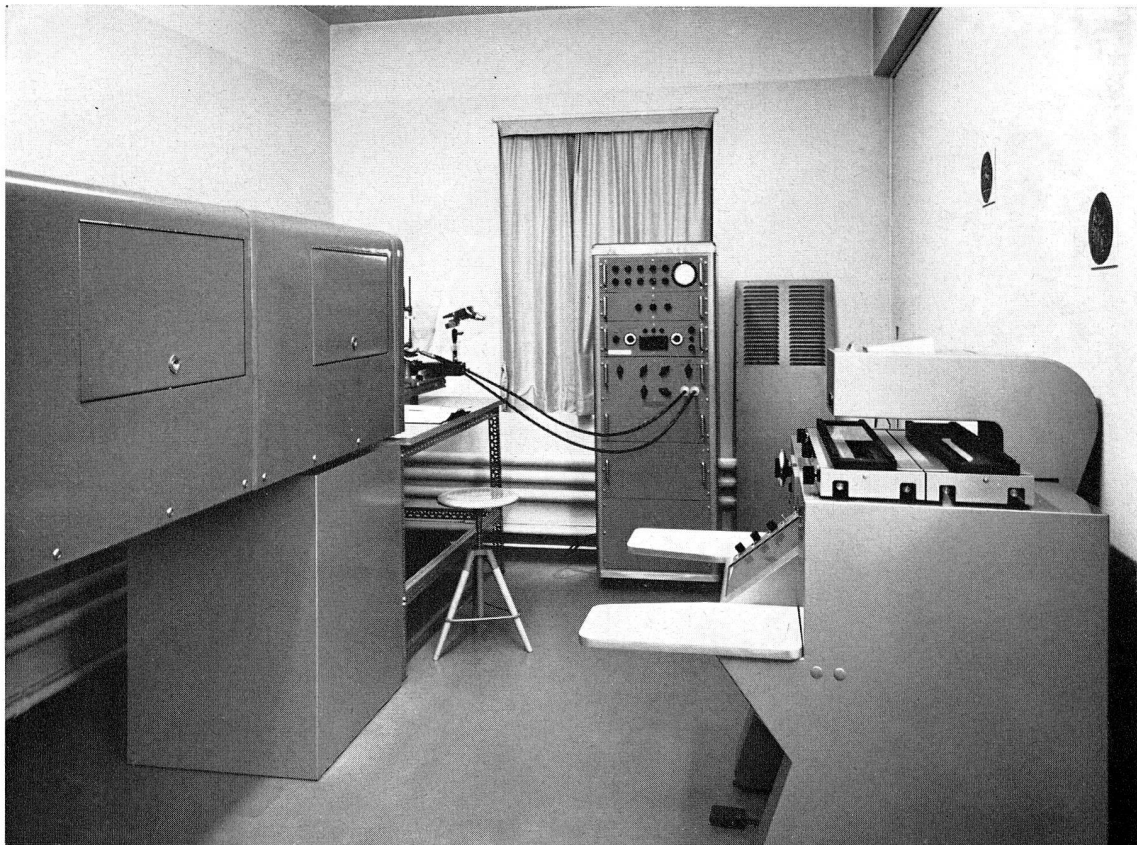


Bild 3. Labor für Emissionsspektralanalyse; v. l. n. r. Plangitterspektrograph, Mikrofunkenzustand mit Einstellmikroskop; hinten mitte Stromerzeuger; recht Auswertegerät für die Spektrogramme.

wird auch *Emissionsspektralanalyse* (Atomspektroskopie) genannt, weil die Substanzprobe im elektrischen Funken oder Lichtbogen verdampft wird, wodurch sie zur *Aussendung* von Licht angeregt wird. Sie ist besonders wichtig, wenn wir wissen wollen, welche chemischen Elemente (*Atomsorten*) in Metallen, Erzen, Gläsern u. a. m. vorhanden und in welcher Menge sie darin ganz genau enthalten sind.

Die *Absorptionsanalyse* (Molekülspektroskopie), bei welcher unser Stoff mit einer besonderen Lichtquelle durch- oder angestrahlt wird und dabei dieses Licht in ganz charakteristischer Weise verändert.

Sie gestattet uns festzustellen, in welchem Zusammenhang die einzelnen Atome stehen, also welche *Atomverbände*, d. h. chemische Verbindungen, in einem Stoff enthalten sind. Diese Art Analyse ist besonders wichtig für die Untersuchung von organischen Stoffen, wie Bindemitteln und Firnissen bemalter Gegenstände (Harze, Öle), von Leimen, Kitten, Pechen und Überresten von Häuten, Geweben (bei Bodenfunden, wenn diese jene ursprünglichen Struktureigentümlichkeiten verloren haben, durch die man sie sonst mit dem Mikroskop identifizieren könnte).

Beide Methoden beruhen also auf einer für den jeweils untersuchten Stoff charakteristischen Brechung oder Reflexion des ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Lichtes. Ferner haben sie in zahlreichen Fällen den Verlust der Substanzprobe zur Folge oder diese muss zur Vorbereitung mechanisch oder chemisch verändert werden.

Die *Röntgenfeinstrukturanalyse* dagegen erlaubt die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung und der Struktur der meisten Stoffe, ohne dass diese die geringste Veränderung er-

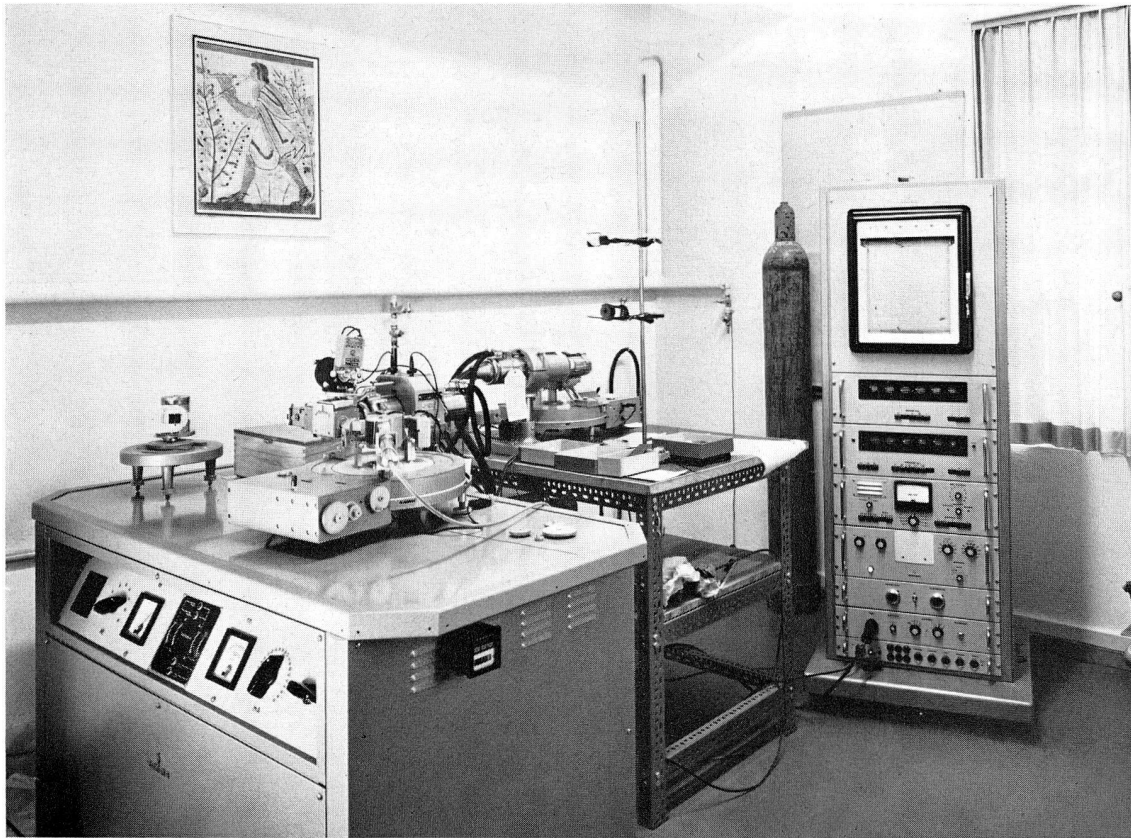


Bild 4. Röntgenfeinstrukturanlage. Vorne links: Hochspannungserzeuger, darauf aufgebaut, waagrecht mit Schlauchzuführungen die Röntgenröhre, auf derselben aufgesetzt die Kamera für Pulverdiagramme mit ihrem Antriebsmotor (vergleiche die Erklärung in Bild 9). Hinterer Tisch mit Röntgenröhre und Röntgenspektrograph. Freistehend das Messgerät, mit Diagrammschreiber, für die am Untersuchungspräp. abgebeugten Röntgenstrahlen.

fahren müssen. Bei dieser Art Spektralanalyse wird die Brechung, Reflexion und Emission im Bereiche der mit unserem Auge nicht sichtbaren Röntgenstrahlen studiert.

III. Mit dem folgenden Beispiel soll gezeigt werden, zu welchen Ergebnissen man durch Anwendung der besprochenen Methoden kommt.

Eine thronende Madonnenfigur mit Kind von Raron aus dem 12. Jahrhundert wurde untersucht. Auf Grund der Fundumstände bestand kein Zweifel an der Ursprünglichkeit der vorgefundenen Fassung. Gewand und Mantel von Kind und Madonna waren von einer 0,05–0,1 mm dicken, braungelb gewordenen Firnissschicht überdeckt, welche die ursprüngliche farbige Wirkung völlig aufhob. An zahlreichen Stellen fanden sich lose Teilchen der Fassung. Eines davon wurde zweigeteilt und auf einen Plexiglasstreifen geklebt. Bild 5 zeigt die Grösse der Teilchen, welche für solche Untersuchungen erforderlich ist (Vergleich mit dem Bein einer Stubenfliege).

Von der oberen Hälfte (Bild 5, a) wird ein kleiner Splitter abgetrennt und dann nach dem Einbetten in ein wasserklares Kunsthazklötzchen ein Querschnitt hergestellt (Bild 6). Solche Querschnitte durch die Malschicht vermitteln ein aufschlussreiches Bild vom Aufbau der Fassung, dessen Prinzip aus der Legende (Bild 7) hervorgeht. Man erkennt die Kreidegrundierung (1), darüber die eigentliche Malschicht, bestehend aus einer mit weiss gehöhten Untermalung (2) und dem tiefen Blau des Mantels (3). Darüber liegt der schmutzige Firnis (4).

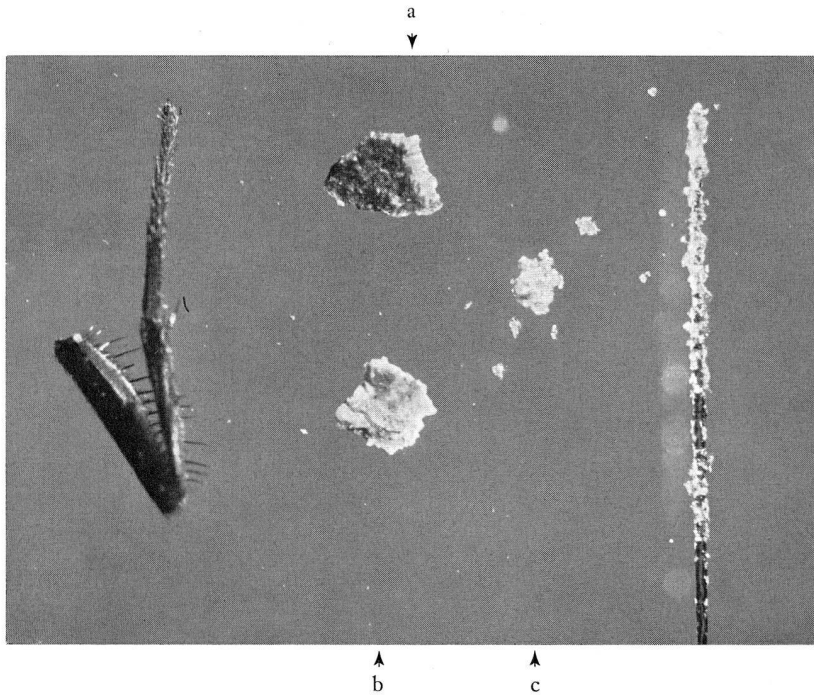
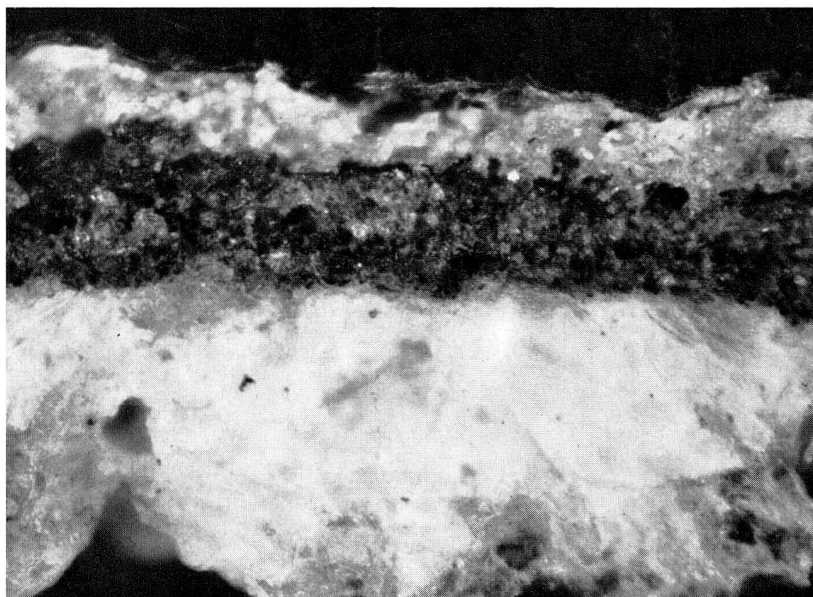


Bild 5. Madonna von Raron. Abgelöstes Teilchen der Fassung (a), wovon ein kleiner Splitter abgetrennt und für die Herstellung eines Querschnittes (Bild 6, unten) verwendet wurde. (b) zeigt dasselbe Teilchen nach der Abnahme des blauen Pigmentes (c), das schliesslich auf den dünnen Glasfaden (rechts aussen) aufgetragen wurde.



- ◀ Firnis 4
- ◀ Blau des Mantels 3
- ◀ Untermalung 2
- ◀ Präparation
(Kreidegrund) 1

Bild 6. Madonna von Raron. Querschnitt durch die Fassung des Mantels.

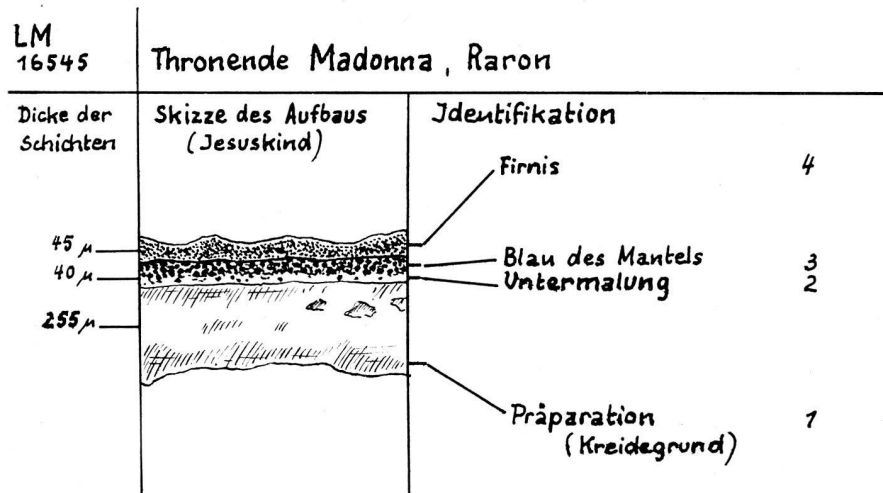


Bild 7. Legende zu Bild 6 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Fassung. Solche Skizzen werden für jeden Querschnitt angefertigt. In Ergänzung zur Photographie (Bild 6), die mit allen Zufälligkeiten des gewählten Präparates belastet ist, soll die Zeichnung nur das Wesentliche des Aufbaus und das Eigentümliche einer bestimmten Fassung herausheben.

Unter dem Mikroskop wurde nun das Verhalten dieses Firnisses gegenüber verschiedenen Lösungsmitteln beobachtet. Dabei wurde festgestellt, dass sich dieser in schwach ammoniakalischem Wasser löste. Die Malschicht selbst verhielt sich gegenüber diesem Lösungsmittel resistent. Zur Identifizierung der geringen Menge abgelösten Firnisses wurde mit mikrochemischen Nachweismethoden die Anwesenheit von Aminosäuren festgestellt. Diese Beobachtung erlaubte den Schluss, dass es sich bei diesem Firnis um einen Leimanstrich handelt. Eine genauere Identifizierung wird erst mit der Entwicklung spezifischer Mikromethoden möglich. Die Ausarbeitung solcher mikrochemischen Identifizierungsmethoden gehört zu den wichtigsten Aufgaben des Laboratoriums.

Nach der Abnahme des Firnisses erschien die prächtige blaue Farbe des Mantels. Zur Identifizierung des blauen Pigmentes wurde die entsprechende Schicht von Teilchen b (Bild 5) mit dem Skalpell abgetragen und ein Teil davon (c in Bild 5) auf einen dünnen Glasfaden aufgetragen. Das derart bereitete Präparat wurde nun nach Bild 8 mit Hilfe der Röntgenfeinstrukturanalyse untersucht.

Ein Röntgenstrahlenbündel Rr trifft das Präparat P (unser blaues Pigment). Dabei werden die Röntgenstrahlen durch das Präparat derart gebeugt, dass sie nach Austritt aus dem Präparat auf Kegel von verschiedenen Öffnungswinkeln zu liegen kommen. Ein zylindrisch um den Glasfaden gelegter photographischer Film F wird von diesen Strahlenkegeln so getroffen, dass die beleuchteten Stellen als konzentrische Kreise auf dem entwickelten Film erscheinen.

Der gegenseitige Abstand dieser Kreislinien und ihre relative Schwärzung lassen ganz charakteristische Aussagen über das Präparat machen. Im vorliegenden Fall wurde festgestellt, dass auf dem Film Linien erscheinen, die nach Vergleich mit Aufnahmen von bekannten Präparaten gesicherter Herkunft einerseits zu dem echten Ultramarin, dem Lapis Lazuli, gehören und zum andern Teil von beigemischtem Bleiweiss herrühren. Bild 9 zeigt den Vergleich des Präparates vom Mantel unserer Skulptur mit Lapis Lazuli (oben) und Bleiweiss (unten).

In gleicher Weise wurde die Kreide des Grundes identifiziert.

Man bezeichnet die in Bild 9 wiedergegebenen Aufnahmen als Pulverdiagramme, weil die Proben in der Regel als feines Pulver vorliegen müssen. Die Struktur der Linien hängt sehr stark von der Korngrösse dieser Pulverproben ab. Man kann daher aus der Linienstruktur auf die Korn-

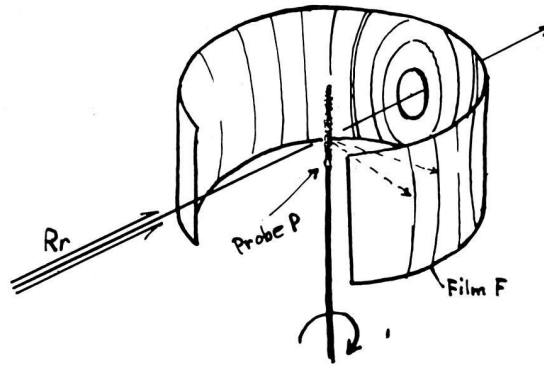
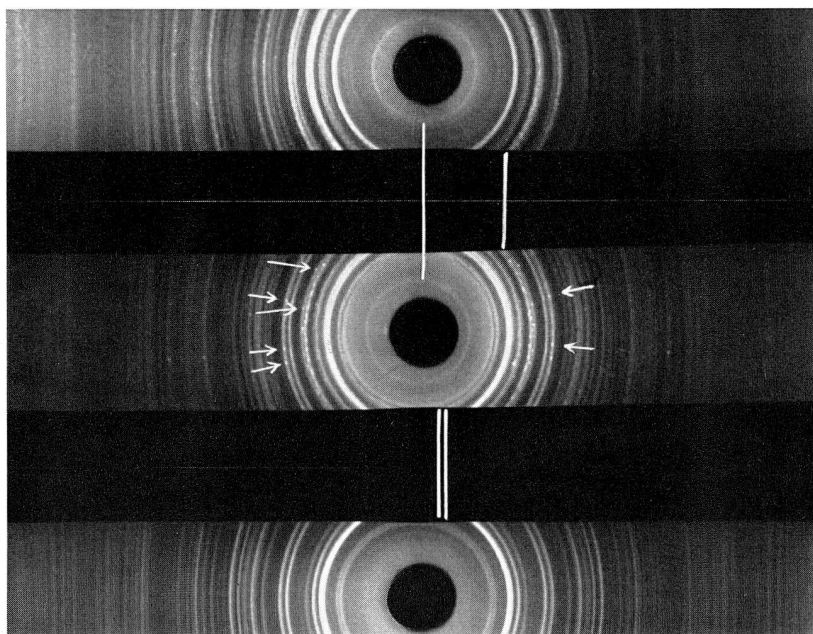


Bild 8. Prinzip der Röntgenfeinstrukturanalyse. Ein Röntgenstrahl Rr trifft das Präparat P (unser blaues Pigment) auf dem Glasfaden. Die Röntgenstrahlen Rr werden durch das Präparat P in charakteristischer Weise abgelenkt und erzeugen da, wo sie auf den zylindrisch um das Präparat gelegten photographischen Film auf-
treffen, Schwärzungsringe.



Pulveraufnahme von echtem
Lapislazuli

Pulveraufnahme vom Blau
des Mantels

Pulveraufnahme
von Bleiweiss

Bild 9. Pulverdiagramme von Lapislazuli (oben), in der Mitte Präparat P (Blau vom Mantel der Madonna) und Bleiweiss (unten). Die Pfeile bezeichnen die körnige Struktur der Linien, welche durch die groben Körner des echten, alten Lapislazuli verursacht ist.

grösse des Pigmentes Rückschlüsse ziehen. Im Diagramm des Bleiweisses ist die Stärke der Linien gleichmässig, weil Bleiweiss auf Grund seines Herstellungsweges feinteilig anfällt und mühelos noch feiner gerieben werden kann. Der Lapislazuli dagegen, in der Antike meist nur als Schmuckstein bekannt, Lazurit oder «Lasurstein», musste, um als Farbe verwendet werden zu können, zuerst soweit zerkleinert werden, wie es mechanisch möglich war. Durch einen mühseligen Knetprozess mit Hilfe eines etwa aus Wachs, Kolophonium und Leinöl bestehenden Kittes gelang es, das reine Blau vom Begleitmineral abzuscheiden. Diese Technik dürfte im 12. Jahrhundert vervollkommen worden sein. Echtes Lapislazuli enthält daher stets Beimengungen dieses farblosen Begleitminerals (Sodalith). Tatsächlich lassen sich diese meistens im Mikroskop feststellen. Die genaue Ausmessung des Pulverdiagrammes vom Blau der Madonna (Bild 9, Mitte) beweist, dass dieses Mineral auch in der Probe vorhanden ist.

Weil die Zerkleinerung damals nicht so weit getrieben werden konnte, wie es heute mit Farb-Mühlen und Walzenstühlen möglich ist, verblieb ein grobes Farbpulver, das die körnige Struktur der Linien im Diagramm zur Folge hat (in Bild 9 mit —> bezeichnet).

Bei den Untersuchungen, über die wir jetzt berichtet haben, muss berücksichtigt werden, dass ihre Ergebnisse streng genommen nur für jene Stelle des Gegenstandes gelten, von der wir die Probe entnommen haben. Man muss daher bei der Anwendung solcher Erkenntnisse auf den ganzen Gegenstand mit der gleichen Sorgfalt und Vorsicht vorgehen, wie es bei der Untersuchung der Probe gemacht werden muss.

IV. In ähnlicher Weise, wie es bei unserer Madonnenfigur geschehen ist, kommt man zu sicheren Grundlagen für die Konservierung des nassen Holzes und Leders. Mikroskop, Mikroröntgenphotographie und Spektralphotometer helfen, die Wechselwirkung zwischen Holzstruktur und Konservierungsmittel aufzuklären. Daraus können die besten Bedingungen für die Behandlung jeder der verschiedenen Arten und Erhaltungszustände der Hölzer abgeleitet werden. Für die Konservierung der Textilien sind Studien begonnen worden. Mit ultraviolettem Licht und Feucht-Trockenwechsel-Prüfungen wird unter zahlreichen Möglichkeiten nach einer kleinen Auswahl von Mitteln gesucht, welche das stabilste Verhalten zeigen und die dann für die Konservierung der Textilien geprüft werden.

Bild 10. Mikroröntgenphotographie (ca. 80fach) eines Dünnschnittes durch die Auflagerungen an einem alamannischen Schwert aus Oberwinterthur.
Unten, ganz links: Reste der hölzernen Scheide; darüber (weiss) dünne Lederlamelle; Bildmitte und oben: Reste zweier verschiedener Gewebe.



