

**Zeitschrift:** Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte = Revue suisse d'art et d'archéologie = Rivista svizzera d'arte e d'archeologia = Journal of Swiss archeology and art history

**Herausgeber:** Schweizerisches Nationalmuseum

**Band:** 57 (2000)

**Heft:** 3: Vom Karton zum Wandbild : Ferdinand Hodlers "Rückzug von Marignano" : technologische Untersuchungen zum Entstehungsprozess

**Artikel:** Technologische Untersuchungsmethoden

**Autor:** Becker, Thomas / Herm, Christoph

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-169586>

### **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:** 11.01.2026

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

# Technologische Untersuchungsmethoden

von THOMAS BECKER und CHRISTOPH HERM

Anlässlich der Sonderausstellung «Die Erfindung der Schweiz 1848–1998. Bildentwürfe einer Nation» im Schweizerischen Landesmuseum waren die vier Kartons des Hauptbildes zusammen in jener Halle aufgehängt, in dem sich auch das von Hodler ausgeführte Wandgemälde befindet. Aufgrund der einmaligen Gelegenheit, alle fünf Gemälde gleichzeitig am selben Ort untersuchen zu können, war es möglich, Beobachtungen mit Ergebnissen, die vorher oder an einem anderen Gemälde gemacht wurden, zu vergleichen. Dieses Rückuntersuchen, das Überprüfen und Reflektieren der neuen Ergebnisse am Bisherigen erlaubte einen sehr dynamischen Erkenntnisgewinn.

Die Aufgaben der technologischen Untersuchungen an den vier Kartons und den drei Wandmalereien waren

1. die Strukturanalyse, das heisst die Beschreibung des maltechnischen Aufbaus und des Erhaltungszustandes;
2. das Auffinden und Darstellen von heute sichtbaren und nicht sichtbaren Bildelementen und Konzepten;
3. Punktuntersuchungen zur mikroskopischen Struktur und Materialzusammensetzung.

Hinsichtlich der Methoden sind die Aufgabenbereiche 1 und 2 nicht streng voneinander abgegrenzt. Hierfür werden im allgemeinen optische Methoden eingesetzt, die verschiedene Sektoren des elektromagnetischen Strahlungsspektrums nutzen und zerstörungsfrei und zumeist bildgebend sind. Davon zu unterscheiden sind die Punktuntersuchungen (3.), die zwar einen tieferen Einblick in den Aufbau oder die Zusammensetzung des Materials geben, aber stengenommen nur gerade für jene Stelle gelten, an der die Messung stattfindet beziehungsweise die Probe entnommen wurde. Hierbei ist die Unterscheidung angebracht zwischen zerstörungsfreien Methoden und im Mikrobereich nicht zerstörungsfreien Methoden, für die Material aus dem Kunstwerk entnommen werden muss.

Im folgenden werden diejenigen restauratorischen, technischen und naturwissenschaftlichen Methoden aufgeführt, die bei der Untersuchung der vier Entwürfe und der Wandmalereien eingesetzt worden sind. Allgemeines zu den Methoden ist auch im Glossar (Anhang in diesem Heft, S. 269–270) zu finden.

## *Methoden zur Strukturuntersuchung und Abbildung*

- Betrachten mit dem blossen Auge  
Auf Vorderseiten, Rückseiten und an Rändern der Gemälde
- Grossfeld-Stereomikroskopie
- Fotografie  
Kleinbilddias und schwarz-weiss Mittelformat 6×6 im künstlichen Auflicht, Streiflicht und Durchlicht.
- Ultraviolettes Licht (UV)  
Betrachten und Fotografie (Kleinbilddias).  
Verwendete Ausrüstung: Beleuchtung mit Dr. Höne «uvahand 250» (Schwarzlicht 320 bis 400 nm), Aufnahme von Kleinbilddias, kameraseitiger Filter Schott GG455.
- Infrarotreflektografie (IRR)  
Verwendete Ausrüstung: NIR-Videokamera mit Vidikon Bildwandler (Hamamatsu-2006), kameraseitige Langpassfilter Schott RG 780, RG 850 oder RG 1000. Zur Dokumentation wurde der Monitor mit schwarz-weiss-Kleinbildfilm fotografiert.
- Röntgendiffraktionsstrahlung (Radiografie)  
Verwendete Ausrüstung: Gilardoni Röntgengerät («Art-Gil», max. 80 kV/5 mA), Röntgenfilm Agfa Strukturix D4.

Von den Fotografien der heutigen Zustände der Gemälde wurden Schwarzweissabzüge im Massstab 1:12,5 angefertigt. Alle Beobachtungen wurden auf darübergelegte Folien eingezzeichnet. Von den historischen Aufnahmen wurden Reproduktionen angefertigt, ebenfalls im Massstab 1:12,5. So konnten die dokumentierten früheren Zustände mit den heutigen und auch untereinander verglichen werden.

Sehr aufschlussreich waren die Untersuchungen der Rückseiten. Hodler hat überwiegend auf ungrundierten Geweben gearbeitet. Die Malfarben der Linien und Farbflächen sind in die Gewebe eingedrungen und bis auf die Rückseiten transportiert worden. Seitdem sind sie auf der Rückseite sichtbar. So haben sich auch diejenigen Linien erhalten, welche Hodler als erste Konturen und erste Darstellungskonzepte auf die Bildträger aufgebracht hat. Indem diese Linien auf Folien übertragen wurden, konnten sie direkt in Bezug zu den relevanten Abbildern der Vorderseiten gebracht und damit verglichen werden. Dabei zeigten sich Änderungen in Bezug auf die Grösse der Figuren, deren Körperhaltung und Platzierung innerhalb der

Bildanlage, woraus neue Erkenntnisse über frühe Kompositionen Hodlers gewonnen werden konnten.

Eine Ausnahme bildet dabei der Karton III, der einer Wachs-Harzdoublierung unterzogen worden ist. Dabei sind Bildträger und Farbschichtträger vollkommen mit Wachs getränkt und auf ein zweites Gewebe geklebt worden. Alle Informationen, welche die Rückseite hätte liefern können, sind dadurch nicht mehr zugänglich oder wurden gelöscht. Dies ist ein eindrückliches Beispiel, wie eine früher übliche Restaurierungsmethode den Informationsgehalt eines Kunstwerkes empfindlich schmälert; dies um so mehr, als auf Grund des Informationsreichtums der anderen Kartons auch hier mit interessanten Details hätte gerechnet werden können.

Für die Forschungen zum Entstehungsprozess der Kartons und der Wandmalerei<sup>1</sup> wurde nach dem Abschluss der Datenerhebung an den Objekten sämtliches Foto- und Folienmaterial digital gescannt und auf der Basis des Grafikprogramms Adobe Photoshop mit dem DiVisuAL® mapping system bearbeitet.<sup>2</sup> So war es möglich, auf verschiedenen Ebenen relevantes Bildmaterial übereinander zu blenden, zu kombinieren und zu vergleichen. Durch das Herauskopieren einzelner Figurentypen konnten diese isoliert aneinandergereiht und direkt zueinander in Bezug gesetzt werden. Mit Hilfe verschiedener Bearbeitungsmodi war es schliesslich möglich, rekonstruierte Zustände der einzelnen Kartons virtuell zu erfassen und nachzustellen.

### Punktuntersuchungen

Die aus den Gemälden entnommenen Proben wurden generell unter dem Stereomikroskop bei Vergrösserungen bis 100× beurteilt und für die nachfolgend genannten Untersuchungsmethoden sekundär mechanisch beprobt und fallweise präpariert:

#### – FT-IR-Spektrometrie

Diese Methode wurde in der heute üblichen Technik der computergestützten «Fourier-Transform-Infrarotspektrometrie» (FT-IR) angewendet. Die Infrarotspektrometrie beruht auf der Absorption infraroter (IR-) Strahlung durch die chemischen Bindungen in einem Molekül oder Gitter. Deshalb kann man mit der FT-IR-Spektrometrie strenggenommen nicht einzelne Substanzen, sondern nur funktionelle Gruppen identifizieren. Dies hat den Nachteil, dass Stoffe mit Kettenmolekülen, wie beispielsweise Fettsäuren oder Proteine, nicht genau bestimmt und im allgemeinen nur Bindemittelklassen angegeben werden können. Viele anorganische Feststoffe wie zum Beispiel Sulfate (Baryt, Gips, gebrannter Gips) lassen sich mit FT-IR-Spektrometrie sehr gut unterscheiden. Andererseits haben eine Reihe von wichtigen anorganischen Pigmenten wie Oxide und Sulfide im untersuchten IR-Spektrum (4000...580 cm<sup>-1</sup>) keine Absorption, so dass sie grundsätzlich nicht identifiziert werden können. Zur Materialbestimmung wird meist

das gemessene Spektrum mit dem Spektrum von Referenzmaterialien bekannter Zusammensetzung verglichen.

Durch die Kombination mit einem Mikroskop können mittels FT-IR-Spektrometrie sehr kleine Proben gemessen werden (FT-IR-Mikrospektrometrie). Die Probe wird in einer Diamantzelle zu einem dünnen Film zerdrückt, der für die IR-Strahlung durchlässig ist. Die Methode ist für die Probe zerstörungsfrei, so dass diese im Anschluss an die Messung ohne Verunreinigung für weitere Analysen verwendet werden kann. Für die FT-IR-Mikrospektrometrie genügt ein Partikel von 20 bis 30 µm Durchmesser, was einer Masse von ungefähr 30 Nanogramm entspricht. Die grossen Vorteile der FT-IR-Mikrospektrometrie sind Schnelligkeit, geringer Aufwand und geringe Probengrösse.

Verwendete Apparatur: Perkin-Elmer FT-IR System 2000 mit i-Serie-Mikroskop und Diamantzelle High-Pressure-Diamond-Optics M-A-II. Die Messungen wurden in Transmission durchgeführt.

Extraktion: Zur Anreicherung von Bindemitteln wurden ausgewählte Proben mit verschiedenen Lösungsmitteln (Wasser, Methanol-Chloroform-Gemisch, Ethanol, Tetrahydrofuran) extrahiert. Die dekantierten und zur Trocknung eingedampften Extrakte kamen zur FT-IR-Spektrometrie (wie oben). In einigen Fällen (zum Beispiel Mörtelproben von der Wandmalerei) wurden carbonathaltige Bestandteile durch Behandlung mit verdünnter Salzsäure entfernt.

#### – Polarisationsmikroskopie (PLM)

Viele Malmaterialien wie Pigmente, Füllstoffe und Fasern haben charakteristische optische Eigenschaften. Deshalb ist die Durchlichtmikroskopie ein geeignetes Mittel zur Bestimmung dieser Materialien. Der Einsatz von Polarisationsfiltern ermöglicht die Auswertung von kristalloptischen Eigenschaften. Damit können auch Pigmente bestimmt werden, die in der FT-IR-Mikrospektrometrie kein auswertbares Spektrum zeigen. Für die Polarisationsmikroskopie genügt eine winzige Probe, die aus wenigen Pigmentpartikeln oder Fasern bestehen kann. Dank der Einbettung in Kunstharz kann sie dauerhaft präpariert und damit archiviert werden.

Zur Pigmentbestimmung wurden die Malschichtproben oder Querschliffe mit der Wolframnadel sekundär beprobt. Das Bindemittel wurde mit Methanol unter dem mikroskopischen Deckglas unter leichten Scherbewegungen reduziert. Durchlichtpräparate wurden durch Eindecken in das thermoplastische Harz Cargille Melmount (Brechungsindeks  $n_D = 1,662/2^\circ\text{C}$ ) bei ca. 100°C hergestellt.<sup>3</sup>

Zur Faserbestimmung<sup>4</sup> wurden die Garnproben mechanisch in Einzelfasern aufgeteilt und diese ebenfalls in Cargille Melmount eingebettet.

Zur Putzmörteluntersuchung an der Wandmalerei wurde die Polarisationsmikroskopie am mineralogischen Dünnenschliff eingesetzt (siehe unten).

Verwendete Apparatur: Polarisationsmikroskop Olympus BH2-Pol, Vergrösserungen von 100× bis 1000× (Ölim-

mersion). Fotografische Dokumentation der mikroskopischen Bilder mit Kleinbild-Diafilm.

– Mikroskopie am Querschliff

Die Schichtenfolge («Stratigrafie») von Malschichtproben wird üblicherweise an Querschliffen im Auflichtmikroskop bestimmt. Dazu wird die Probe in Kunstharz eingebettet und senkrecht zur Malschicht angeschliffen.

Angewendete Methode:<sup>5</sup> Einbettung der Proben in licht-härtendes Acrylatharz Technovit 2000LC (Kulzer); An-schliff und Politur mit Micromesh-Schleiftüchern (Micro-Surface). Auflicht-Mikroskopie: Leitz Orthoplan mit Ultropak (Auflicht-Dunkelfeldbeleuchtung) bei Vergrösserungen zwischen 100× und 500×. Beleuchtung wahlweise mit 100 W Halogen oder zur UV-Fluoreszenzmikroskopie mit HBO-100 Quecksilberdampflampe (Filter Anregungsseite: Schott UG1, Sperrfilter Schott GG430 oder GG455). Fotografische Dokumentation der mikroskopischen Bilder mit Kleinbild-Diafilm.

Auf die Anwendung von histochemischen Anfärbemethoden wurde wegen ihrer grundsätzlichen Unsicherheit verzichtet.

– Energiedispersive Röntgenfluoreszenzspektrometrie (ED-XRF)

Zerstörungsfreie Methode zur Bestimmung chemischer Elemente mittels Röntgenstrahlen. Mit dem verwendeten Gerät ist sowohl die Untersuchung von isolierten Proben im Labor als auch die zerstörungsfreie Elementanalyse an der Oberfläche von Gemälden möglich. Auf letztere

musste aus technischen und organisatorischen Gründen verzichtet werden.

Verwendete Apparatur: Tracor Spectrace 6000/50, Rhodium-Target, 40 kV/0.3 mA, Messung an isolierten Malschichtproben in der Vakuumkammer.

– Mörtelanalyse

Da die Mörtelanalyse eine der Voraussetzungen zur Beantwortung der Frage war, ob Hodler die Wandgemälde in Fresco-Technik ausgeführt habe, kamen hierfür mehrere Untersuchungsverfahren zur Anwendung:

Für die Polarisationsmikroskopie (PLM) wurden Dünnschliffe (ca. 30 mm Dicke) manuell aus den Querschliffen hergestellt.<sup>6</sup>

FT-IR-Mikrospektrometrie: entsprechend der Analyse der Malfarben. Sie lieferte hier qualitative Angaben zur Zusammensetzung von Mörtel-Bindemittel und -Zuschlag.

Chemische Mörtelanalyse: Zur Bestimmung des Gewichtsverhältnisses von Bindemittel und Zuschlag im Mörtel (B/Z-Wert) wird das Bindemittel aufgelöst und der zurückbleibende Zuschlag gewogen. Wegen des carbonatischen Zuschlags muss nicht die für kalkgebundene Mörtel übliche Salzsäure, sondern ein mildereres Reagens verwendet werden, das den Zuschlag nicht merklich löst. Hierfür gibt es jedoch keine genormte Vorschrift. In dieser Untersuchung wurde ein Komplexbildner (EDTA) verwendet.<sup>7</sup> Der Gesamtgehalt an Carbonat im Zuschlag wurde anschliessend gravimetrisch durch Lösen in Salzsäure bestimmt.<sup>8</sup> Eine Siebanalyse der Zuschläge war wegen der geringen Probengrössen (maximal 0.33 g) nicht sinnvoll.

## ANMERKUNGEN

<sup>1</sup> Siehe den Beitrag: THOMAS BECKER / PAUL MÜLLER, *Von den Kartons zum Wandgemälde – Der Entstehungsprozess*, in diesem Heft, unten S. 197–232.

<sup>2</sup> Das DiVisuAL® mapping system ist ein plattformunabhängiges Konzept zur digitalen, visuellen Dokumentation und Analyse an Objekten und Monumenten. DiVisuAL® mapping system ist eingetragenes Markenzeichen von Atelier Andreas Franz (Küschnacht ZH). Konzept und Methode unterliegen dem Urheberschutz. Die Verwendung des Konzepts wie auch des Markennamens DiVisuAL® ist ausschliesslich den Lizenznehmern von DiVisuAL® vorbehalten. Weiterführende Informationen bei den Autoren vorliegender Arbeit oder unter [www.divisual.net](http://www.divisual.net) und [info@divisual.net](mailto:info@divisual.net).

<sup>3</sup> STEFAN WÜLFERT 1999, S. 201–243.

<sup>4</sup> STEFAN WÜLFERT 1999, S. 273–293.

<sup>5</sup> STEFAN WÜLFERT 1999, S. 173–190.

<sup>6</sup> STEFAN WÜLFERT 1999, S. 185–187 und 190–191.

<sup>7</sup> In Anlehnung an eine persönliche Mitteilung von Dr. R. Ranckers (Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Bauforschung) wurde die folgende Vorschrift angewendet: Die Mörtelprobe wird mit etwa dem 50-fachen Gewicht einer wässrigen Lösung von 0,2 mol/l EDTA-Tetraatriumsalz (Titerkomplex III) 15 Minuten gerührt. Nach dem Filtrieren wird mit reichlich entsalztem Wasser gewaschen und bei 100°C an der Luft getrocknet. Der Bindemittelgehalt berechnet sich aus der Differenz von Mörtelgewicht zu Rückstand (= Zuschlag).

<sup>8</sup> Zur Bestimmung des Carbonats im Zuschlag wurde dieser mit überschüssiger Salzsäure ca. 15% versetzt und der Rückstand nach dem Abklingen der Reaktion dekantiert, wiederholt mit entsalztem Wasser gewaschen und bei 105 °C getrocknet. Der Carbonatgehalt berechnet sich aus der Differenz von Ausgangsgewicht zum salzsäure-unlöslichen Rückstand.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Aufgaben der technologischen Untersuchungen an den vier Kartons und den drei Wandmalereien waren

1. die Strukturanalyse, das heisst die Beschreibung des maltechnischen Aufbaus und des Erhaltungszustandes;
2. das Auffinden und Darstellen von heute sichtbaren und nicht sichtbaren Bildelementen und Konzepten;
3. Punktuntersuchungen zur mikroskopischen Struktur und Materialzusammensetzung.

Hinsichtlich der Methoden sind die Aufgabenbereiche 1 und 2 nicht streng voneinander abgegrenzt. Hierfür werden im allgemeinen optische Methoden eingesetzt, die verschiedene Sektoren des elektromagnetischen Strahlungsspektrums nutzen und zerstörungsfrei und zumeist bildgebend sind. Davon zu unterscheiden sind die Punktuntersuchungen (3.), die zwar einen tieferen Einblick in den Aufbau oder die Zusammensetzung des Materials geben, aber stengenommen nur gerade für jene Stelle gelten, an der die Messung stattfindet beziehungsweise die Probe entnommen wurde. Der Beitrag beschreibt diejenigen restauratorischen, technischen und naturwissenschaftlichen Methoden, die bei der Untersuchung der vier Entwürfe und der Wandmalereien eingesetzt worden sind.

## RÉSUMÉ

Les analyses technologiques effectuées sur les quatre cartons et les trois peintures murales étaient réparties en trois domaines distincts, à savoir :

1. l'analyse de la structure, soit la description des couches picturales superposées et des conditions de conservation;
2. la découverte et la représentation des éléments picturaux et des esquisses visibles et invisibles aujourd'hui;
3. les analyses ponctuelles de la structure microscopique et de la composition des matériaux.

Du point de vue de la méthode, les analyses mentionnées aux points 1 et 2 ne présentent pas de différences très nettes. C'est pour cela qu'on utilise en général des méthodes optiques, qui exploitent les différents domaines du spectre de rayonnement électromagnétique, sont non destructives et fournissent le plus souvent des images. Ces analyses diffèrent de celles indiquées au point 3 qui, tout en observant de plus près la structure ou la composition des matériaux, ne sont appliquées – à proprement parler – qu'aux endroits où s'effectue le mesurage et où le micro-échantillon a été prélevé. Le présent article décrit les méthodes techniques et scientifiques, ainsi que celles de restauration, employées lors de l'examen des quatre esquisses et des peintures murales.

## RIASSUNTO

Le analisi tecnologiche compiute sui quattro abbozzi e sui tre affreschi erano centrate sui seguenti aspetti:

1. l'analisi della struttura, in altre parole la descrizione della struttura della tecnica d'esecuzione e dello stato di conservazione delle opere;
2. la ricerca e la rappresentazione di elementi figurativi e concetti dell'opera visibili e invisibili;
3. le analisi puntuali della struttura microscopica e della composizione dei materiali utilizzati.

Per quanto riguarda i metodi, non è possibile tenere rigorosamente divisi l'un dall'altro i primi due aspetti. A tale scopo, si ricorre in genere a metodi ottici, i quali utilizzano i diversi settori dello spettro delle radiazioni elettromagnetiche, non comportano lesioni all'oggetto esaminato e il cui risultato propone un'idea complessiva dell'opera. Vanno distinte le analisi puntuali (3.), che permettono una visione più profonda della struttura o della composizione del materiale, ma i cui risultati, in fin dei conti, rispecchiano soltanto la situazione nei punti in cui ha avuto luogo una misurazione oppure un prelievo. Il saggio descrive i metodi di restauro, tecnici e scientifici applicati nell'ambito delle analisi dei quattro abbozzi e degli affreschi.

## SUMMARY

The objectives of the technological investigations of the four cartoons and the three murals were:

1. a structural analysis, i.e. description of the painting technique and present state of conservation;
2. finding and representing pictorial elements and concepts that are both visible and not visible today;
3. examination of the microscopic structure and composition of the materials.

In terms of method, points 1 and 2 are not strictly separate. In general, optical methods were employed, using various sectors of the electromagnetic spectrum of radiation, which is not invasive and usually yields pictorial material. The third point is different from the first two: it allows deeper insight into the composition of the material but strictly speaking applies only to the spot that was measured or from which a sample for investigation was taken. The article describes the restoration, and technological and scientific methods involved in the study of the four cartoons and the three murals.