

**Zeitschrift:** Tugium : Jahrbuch des Staatsarchivs des Kantons Zug, des Amtes für Denkmalpflege und Archäologie, des Kantonalen Museums für Urgeschichte Zug und der Burg Zug

**Herausgeber:** Regierungsrat des Kantons Zug

**Band:** 40 (2024)

**Artikel:** Möglichkeiten und Grenzen bildgebender Verfahren : kunsttechnologische Untersuchungen eines Wandmalereizyklus in einem Profanbau (Ägeristrasse 3, Zug)

**Autor:** Stein, Mareike / Tauber, Marianne

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1070629>

### **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>**

# Möglichkeiten und Grenzen bildgebender Verfahren. Kunsttechnologische Untersuchungen eines Wandmalereizyklus in einem Profanbau (Ägeristrasse 3, Zug)

Die unter Täfern und mehreren Kalkanstrichen aufgedeckten Wandmalereien im Zuger Altstadtthaus warfen in ihrer Ausführung und räumlichen Anordnung Fragen auf (vgl. den Beitrag Sommerer/Roth/JeanRichard in diesem Heft, S. 159–182). Die vier mit einer Rahmenmalerei versehenen szenischen polychromen Darstellungen an West-, Nord- und Ostwand wirkten stellenweise von der Rahmung grob beschnitten, weshalb anfängliche Zweifel an der Gleichzeitigkeit von Rahmen- und Binnenmalerei aufkamen. Der Erzengel mit Schwert an der Ostwand und der Krieger an der Westwand angrenzend an die südliche Fensterreihe besitzen hingegen keine Rahmenmalerei und zeichnen sich durch ein sehr grafisches Erscheinungsbild mit allenfalls wenigen Farbakzenten aus. Da die beiden Figuren darüber hinaus durch grosse freie Wandflächen von den übrigen Malereien isoliert sind, stellte sich die Frage, ob diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten entstanden sein könnten. Zugleich zeigten sich Fragmente weiterer Dekorationsmalereien, die es ebenfalls zeitlich einzuordnen galt. Mittels bildgebender Verfahren sollte mehr über den Entstehungsprozess der Malereien in Erfahrung gebracht und die Fragen nach der zeitlichen und maltechnischen Einheitlichkeit der Raumausmalung geklärt werden. Hierfür wurde eine am Kompetenzzentrum für Denkmalwissenschaften und Denkmaltechnologien (KDWT) der Universität Bamberg mittlerweile etablierte Kombination von Multispektralfotografie und aktiver Infrarot-Thermografie angewendet, mit der dem menschlichen Auge verborgene Details, wie Unterzeichnungen und längst verblasste Farbschichten, sichtbar gemacht werden können (Abb. 1).

## Materialtechnologische Voruntersuchungen

Im Vorfeld der bildgebenden Untersuchungsverfahren wurden ausgewählte Materialproben am Kunsttechnologischen Labor der Hochschule für Künste (HKB) in Bern analysiert.

<sup>1</sup> Scherrer/Zumbühl/Lienert 2022, 9.

<sup>2</sup> Dies wurde im Zuge der eigenen Materialanalysen aufgrund eines Pilzbefalls der Leimschicht entdeckt. Mittels FTIR-Analyse liess sich die Schicht als organische und weitgehend mikrobiell verstoffwechselte Substanz aus Oxalaten und wenig Protein identifizieren. – Stein/Tauber 2024.

<sup>3</sup> Scherrer/Zumbühl 2022, 5 f.

<sup>4</sup> Scherrer/Zumbühl 2022, 4.

<sup>5</sup> Scherrer/Zumbühl 2022, 5. – Scherrer 2022, 4.



Abb. 1 Aufbau der Multispektralkamera.

Den Analyseergebnissen zufolge liegen auf einem zweilagigen Kalkputz stellenweise ein bis drei ausgleichende Kalkschlämme auf.<sup>1</sup> Darauf befindet sich ein bräunlicher Überzug, der als Leimschicht identifiziert wurde und voraussichtlich dazu diente, die Saugfähigkeit des Putzes vor dem Farbauftrag herabzusetzen.<sup>2</sup> Darüber liegt eine Kalktünche als Grundierungsschicht, auf der die Malerei ausgeführt wurde. Als Bindemittel der Malschichten wurde mittels Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR) ein Protein mit geringen Mengen Öl nachgewiesen, weshalb die Verwendung einer Tempera vermutet wird.<sup>3</sup> Über weiterführende Pigmentanalysen mittels Lichtmikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (REM-EDX) und Raman-Spektroskopie konnten als Gelb-, Orange-, Braun- und Rotpigmente u. a. an den Darstellungen der roten Ziegeldächer verschiedene Eisenoxidphasen nachgewiesen werden. Bleizinnigelb und Bleimennige kommen im Himmelslicht der Ölbergsszene vor; als Schwarzpigment der Konturzeichnung wurde Kohlschwarz und als Blaupigment u. a. des Mariengewands und des Himmels Azurit identifiziert.<sup>4</sup> Beim Grünpigment handelt es sich um verschiedene Kupferminerale natürlichen Ursprungs mit heterogenen Kupferphasen, wie u. a. Malachit und Brochantit, die in den Rankenmalereien nachgewiesen wurden.<sup>5</sup> Diese Pigmentpalette ist typisch für die Entstehungszeit der Malereien und zeigt in ihrer Vielfalt und grossflächigen Verwendung



zugleich einen gehobenen Anspruch, und das insbesondere für die Innenraumgestaltung eines Profanbaus. Die anhand dieser Analysen ermöglichte Pigmentzuordnung der Farbf Flächen stellte eine wichtige Grundlage für die Auswertung und Interpretation der Multispektralbilder dar.

## Multispektralfotografie und Infrarot-Thermografie als bildgebende Verfahren

Die Multispektralfotografie ist eine gängige kunsttechnologische Methode zur Untersuchung der Verwendung und Verteilung von Pigmenten, organischen Bindemitteln, restauratorischen Eingriffen oder verborgenen Unterzeichnungen. Die multispektrale Bildgebung beruht dabei auf der Wechselwirkung zwischen der Strahlung in verschiedenen Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums und der Materie des Untersuchungsgegenstands.<sup>6</sup> Die auftretende Strahlung kann dabei vom Objekt absorbiert, reflektiert und als Fluoreszenzstrahlung remittiert und das jeweilige Spektralverhalten fotografisch dokumentiert werden.<sup>7</sup> Das hierfür verwendete Equipment aus einer speziell präparierten Digitalkamera mit verschiedenen Filteraufsätzen und einem Leuchtsystem aus je zwei VIS-, IR- und UV-Lampen ermöglicht Aufnahmen in den Spektralbereichen des visuellen Spektrums (VIS: 400–700 nm), des langwelligen Infrarotspektrums (IR: 700–1100 nm) und des kurzwelligen ultraviolett Spektrums (UV: 200–400 nm) in mehreren Kombinationen aus induzierter Strahlung und aufgenommener reflektierter Strahlung bzw. Fluoreszenz.<sup>8</sup> Für die Aufnahme der Wandmalereien wurde der Fokus auf die VIS-Farbfotografie (VIS), UV-Fluoreszenzfotografie (UUVL) und IR-Reflektografie (IRR) gelegt.<sup>9</sup> Bei der UV-Fluoreszenzfotografie wird die Wand mit UV-Strahlung angeregt und die emittierte Strahlung im visuellen Spektrum erfasst.<sup>10</sup> Die entstehenden Bilder können zur Identifikation von organischen Überzügen dienen, aber auch anorganische Pigmente hervorheben, deren Erscheinungsbild bei starker Fluoreszenz heller und bei überwiegender Absorption und Reflektion der Strahlung dunkler erscheint.<sup>11</sup> Die chemische Zusammensetzung und der Alterungszustand der Substanz bestimmen dabei die Intensität und Farbe der auftretenden Fluoreszenz.<sup>12</sup> Die IR-Reflektografie erfasst wiederum die auf die Wand ausgesendete und von dieser reflektierte Strahlung im IR-Spektrum; diese langwellige Infrarotstrahlung ist in der Lage, aufeinanderliegende Schichten zu durchdringen und damit Vorzeichnungen unter Farbschichten sichtbar zu machen.<sup>13</sup> Die Eindringtiefe der Infrarotstrahlung hängt dabei u. a. von den verwendeten Pigmenten, der Farbschichtdicke und der Art des Farbauftrags ab.<sup>14</sup> Im erstellten IR-Reflektogramm erscheinen die IR-Strahlung stark absorbierende Stoffe wie Kohle schwarz, während farbige Pigmente in Graustufen abgebildet werden.<sup>15</sup> Um an einigen Stellen präzisere Ergebnisse bei der Durchdringung der Schichten zu erzielen, wurde als ergänzende Technik die aktive bzw. wärmeinduzierte In-

frarot-Thermografie (IRT) eingesetzt. Hierbei wird die Wand im Lock-in-Verfahren mittels Halogenbaustrahlern periodisch bestrahlt und thermisch angeregt.<sup>16</sup> Die IR-Thermografie-Kamera erfasst dabei in Sekundenschnelle und hunderte Wärmebildern die abgegebene Infrarotstrahlung im mittelwelligen Infrarotbereich (2–5,7 µm) und damit das thermische Verhalten während der Aufwärmungs- und Abkühlungsphasen, welche sich je nach Wärmekapazität, spezifischer Wärmeleitfähigkeit sowie Dichte der Farbschichten stark unterscheiden und im Thermogramm als Kontrast niederschlagen können.<sup>17</sup> Das Thermogramm gibt dabei die Intensität der gemessenen IR-Strahlung und damit der gemessenen Oberflächentemperatur pro Bildpixel in Graustufen oder Falschfarben wieder.<sup>18</sup>

## Untersuchungsergebnisse und Interpretation

Um dem Entstehungsprozess der Malereien auf die Spur zu kommen, wurden diese zunächst mittels Infrarot-Reflektografie (IRR) auf vorhandene Vorzeichnungen untersucht, die mögliche Aussagen zur Anlage der Rahmungen und Bildszenen zulassen könnten. Am Beispiel der Kreuzigungsdarstellung zeigt sich im IR-Reflektogramm, dass sich unter der mit einem breiten Pinselstrich und kräftigem Farbauftrag ausgeführten schwarzen Rahmenkonturlinie keine mit Kohle oder Röteln angelegten Vorzeichnungslinien abzeichnen (Abb. 2). Auch die Binnenmalerei lässt keine Vorzeichnungen erkennen, wobei das Fehlen von Überschneidungen der Zeichnung der perspektivischen Landschaft im Hintergrund und der Figuren im Bildvordergrund vermuten lassen, dass die Figuren vor der umgebenden Landschaft angelegt wurden, was sich bei den weiteren Malereien an West-, Nord- und Ostwand ebenso feststellen liess. Demnach ist davon auszugehen, dass sowohl die Rahmen- als auch die Binnenmalerei ohne Vorzeichnungen von einem oder mehreren geübten Malern ausgeführt wurden. Der Ausschnitt mit Soldat und Schild am linken Bildrand der Kreuzigungsszene wurde

<sup>6</sup> Dyer/Verri/Cupitt 2013, 1.

<sup>7</sup> Dyer/Verri/Cupitt 2013, 2.

<sup>8</sup> Dyer/Verri/Cupitt 2013, 1–5. – Kameraaufbau, Leuchtsystem und Nachbearbeitungssoftware wurden im Rahmen des CHARISMA-Projekts am British Museum in London entwickelt.

<sup>9</sup> Es erfolgten zusätzliche Aufnahmen in UV-Reflektografie (UVR) zur Untersuchung von Bindemitteln, die jedoch aufgrund eines auf den Wandmalereien aufliegenden Kalkschleiers sehr unspezifisch sind. Weitere Aufnahmen der IR-Fluoreszenz (VIL) dienen der Detektion einer geringen Auswahl an Pigmenten, die nicht vorzufinden sind.

<sup>10</sup> Dyer/Verri/Cupitt 2013, 5.

<sup>11</sup> Mairinger 2003, 85.

<sup>12</sup> Mairinger 2003, 80.

<sup>13</sup> Dyer/Verri/Cupitt 2013, 4.

<sup>14</sup> Daffara/Fontana 2011, 691.

<sup>15</sup> Fischer/Kakoulli 2006, 7.

<sup>16</sup> Luib 2021, 47.

<sup>17</sup> Luib 2021, 48, 50 f.

<sup>18</sup> Luib 2021, 31.





Abb. 2 IRR-Aufnahme, Nordwand, Kreuzigung.

zusätzlich mithilfe der Infrarot-Thermografie untersucht, da die vom Rahmen geradezu abgeschnittene Figur die Diskussion um die Gleichzeitigkeit von Rahmen- und Binnenmalerei besonders anregte. Laut Aussage des leitenden Restaurators war hier der schwarze Farbauftrag zudem besonders kräftig.<sup>19</sup> Hier galt es zu klären, ob sich mithilfe der IR-Thermografie die Zeichnung von Helm, Schild und rechtem Bein zumindest in der Anlage auch unter dem Rahmen abzeichnet. Die Intensivierung der Linienführung im Thermogramm zeigt, dass sich jenseits des gemalten Rollwerks innerhalb des Rahmens keine eindeutige Fortführung u. a. des Rad-Musters im Schild erkennen lässt und die Bildszene mit der inneren Rahmenkonturlinie endet, was eine Umzeichnung verdeutlicht (Abb. 3). Die Figur des Soldaten scheint somit keineswegs zunächst vollständig angelegt und zu einem späteren Zeitpunkt übermalt worden zu sein.

<sup>19</sup> Mündliche Aussage von Martin Hüppi vom 30.11.2023.

<sup>20</sup> Mairinger 2003, 64.



Abb. 3 IR-Thermogramm (links) und Umzeichnung (rechts), Nordwand, Kreuzigung (Detail).

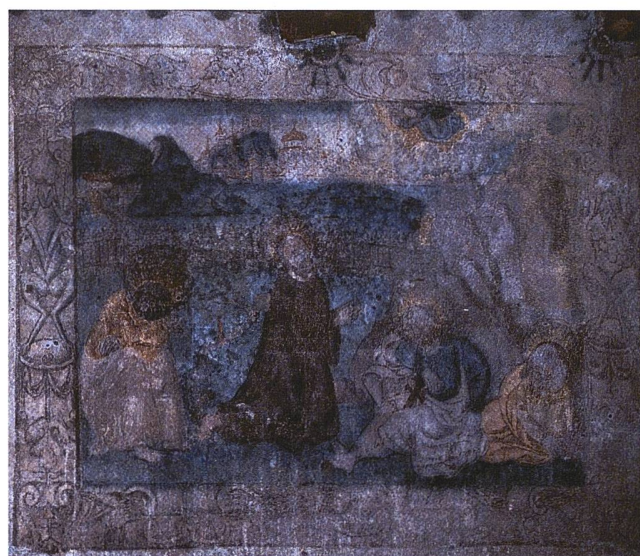


Abb. 4 UVL-Aufnahme, Nordwand, Ölberg.

Weitere Indizien lieferte die Untersuchung der material-spezifischen Fluoreszenz der Farbschichten im UV-Licht (UVL), die sich anhand der vorangegangenen Materialanalysen bestimmten Pigmenten zuordnen lässt. Im Hinblick auf die Frage nach der Zugehörigkeit der Rahmung war das Fluoreszenzverhalten der kupferhaltigen Grün- und Blaupigmente besonders aussagekräftig. Diese haben die Eigenschaft, infolge ihrer starken Absorption und Reflektion von UV-Licht die Fluoreszenz auch beigemischter Pigmente oder Bindemittel zu löschen bzw. zu schlucken, weshalb diese Bereiche tief-schwarz erscheinen.<sup>20</sup> Da diese Kupferpigmente wie in der Ölbergsszene an der Nordwand grossflächig in den Himmels- und Landschaftsdarstellungen aufgetragen wurden, ergeben sich so grosse dunkle Bereiche, die allerdings exakt an der Rahmeninnenlinie enden (Abb. 4). Dies spricht dafür, dass die innere Rahmenkontur bereits bestanden haben muss, als die Binnenmalerei polychrom ausgemalt wurde. Die UVL-Aufnahme der Malerei mit dem Ritter und der umgebenden Rankenmalerei an der Westwand offenbart zudem ein weite-



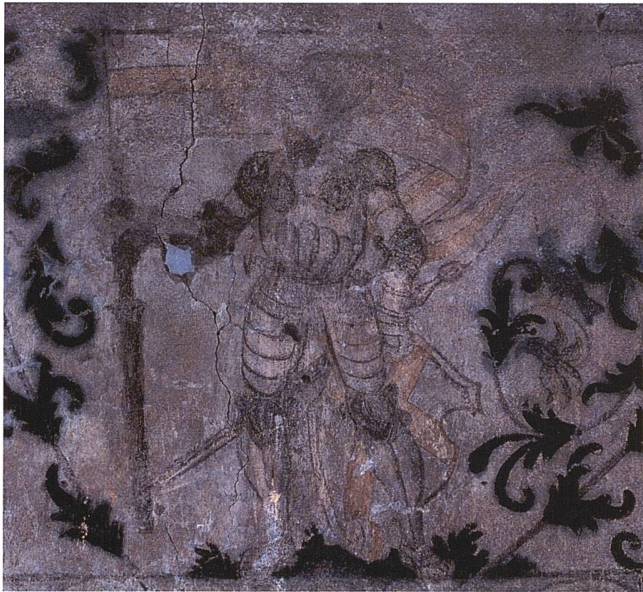


Abb. 5 UVL-Aufnahme, Westwand, Ritter (Detail).



Abb. 6 UVL-Aufnahme, Nordwand, Kreuzigung (Detail).

res maltechnisches Detail (Abb. 5). So lässt sich rechts und links vom Ritter im oberen Bereich der Rankenmalerei ein Ausbluten der Farbe in die umgebende Fläche feststellen, was sich als dunkle Umrandung der Rankenblätter abzeichnet. Da dieses Phänomen zum unteren Bildrand hin abnimmt, ist dies ein Indiz dafür, dass die Malerei zum Teil auf der noch feuchten Kalktünche aufgetragen und die Malerei von oben beginnend nach unten ausgeführt wurde. Während für die blauen und grünen Kupferpigmente insgesamt eine gross-

zügige Verteilung festzustellen ist, lässt sich ein gezielter Einsatz eines Pigments mit intensiv gelber Fluoreszenz beobachten. Hierbei kann auf die Verwendung von gelben und rötlichen Bleipigmenten, wie Bleizinn gelb oder Bleimennige, geschlossen werden, deren charakteristisches Fluoreszenzverhalten in der Darstellung des Himmelslichts, der Nimben, einzelner Gewänder sowie des Kelchs in der Ölbergsszene auftaucht. Dunkle Bereiche in diesen Farbflächen weisen auf eine Beimischung von Eisenoxyd hin, dessen schwärzendes Spektralverhalten charakteristisch ist.<sup>21</sup> In der Kreuzigungsszene lässt dieser Farbkontrast die längst verblichenen Strahlenkränze in den Nimben von Maria und Maria Magdalena wieder sichtbar werden (Abb. 6). Die Verwendung der auch bei Tageslicht intensiven Bleipigmentfarben beschränkt sich im Gegensatz zu den komplementär und vielfach eingesetzten Gelb- und Rotockerfarben lediglich auf die ikonografisch herausgehobenen Bildbestandteile der religiösen Szenen an der Nordwand, aber auch das Georgskreuz auf Georgsschild und Pennon in der Bildszene mit dem Ritter an der Westwand und setzt damit bewusste Akzente innerhalb des Wandmale-reizyklus.

## Weiterführende Materialanalysen

Zuletzt blieb die Frage offen, ob die Engels- und die Kriegerfigur an den jeweils südlichen Wandabschlüssen ebenfalls gleichzeitig entstanden.<sup>22</sup> Auch hier konnten die UVL-Aufnahmen entscheidende Hinweise liefern. Der Erzengel an der Ostwand zeigte im UV-Licht zum einen die bereits bekannte Verschwärzung des Gelbpigments in Haar und Flügeln und zum anderen eine dunkle horizontale Fläche unter den Füßen, die sich bei näherer Betrachtung auch bei Tageslicht grünlich abzeichnete (Abb. 7). Um Gewissheit zu erlangen, dass es sich bei den gelben und grünen Malschichten um die Farbpalette der gerahmten Malereien handelt, wurden Proben entnommen und die davon angefertigten Querschliffe mittels REM-EDX analysiert. Hierbei zeigte sich eine komplexe sowie charakteristische Pigmentzusammensetzung, die die Vermutung bestätigt, dass die Engelsfigur zeitgleich zur übrigen Ausmalung entstand. Auch die Bindemittelanalysen der Proben mittels FTIR bestätigen die Verwendung eines Proteins mit einem geringen Ölanteil analog zu den Proben der HKB aus den gerahmten Malereien. Da der Krieger an der gegenüberliegenden Wand keinerlei Farbigkeit aufweist und kein materialspezifisches Fluoreszenzverhalten zeigt, liessen sich hier keine Zuordnungen über Pigment- und Bindemittelanalysen vornehmen. Es ist jedoch aufgrund der spiegelbildlichen Anlage des Kriegers zur Engelsfigur davon auszugehen, dass auch dieser zeitgleich entstand. Die Multispektralfotografie lieferte dennoch auch hier zusätzliche Infor-

<sup>21</sup> Dieses spezifische Fluoreszenzverhalten entspricht dem der Kupferpigmente in stark abgeschwächter Form. – S. Mairinger 2003, 64.

<sup>22</sup> Stein/Tauber 2024.





Abb. 7 VIS-Aufnahme (links) und UVL-Aufnahme (rechts), Ostwand, Erzengel Michael.

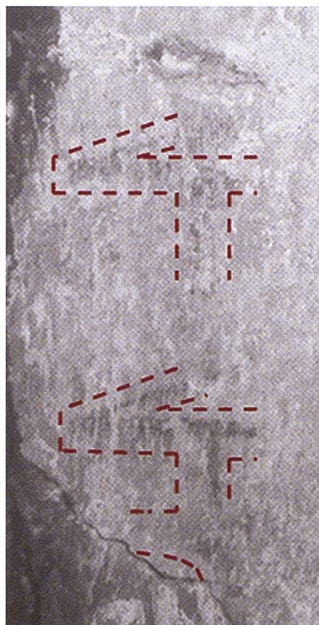


Abb. 8 VIS-Aufnahme (links) und IRR-Aufnahme im Detail (rechts) mit Markierungen, Westwand, Krieger.

mationen, wie eine vermutete Standarte, die sich im IR-Reflektogramm (markierter Bereich) deutlicher abzeichnet als in der VIS-Aufnahme des Kriegers (Abb. 8). Die stratigrafi-

sche Untersuchung und zeitliche Einordnung weiterer Dekorationsmalereien fand ebenfalls über die Anfertigung von Querschliften nachträglich entnommener Proben statt. So konnte der im UV-Licht besonders deutlich zum Vorschein kommende Bollenfries mit Sonnenmotiv unterhalb der Balkendecke, der zum Teil mit der Rahmenmalerei der Ölbergsszene überlappt, einer älteren Gestaltungsphase zugeordnet werden. Eine weitere Dekorationsmalerei in Form einer roten Rankenmalerei am rechten unteren Rahmen der Georgisdarstellung liess sich hingegen einer jüngeren Ausmalungsphase zuweisen.

Schlussfolgernd lässt sich zeigen, dass mithilfe kombinierter bildgebender Verfahren in Ergänzung zu gezielten Materialanalysen entscheidende Informationen gewonnen werden konnten, um den zeitlichen und maltechnischen Zusammenhang der Gesamtausmalung zu belegen. Einzig die Frage nach dem Zweck der freien Flächen an West- und Ostwand liess sich mithilfe der bildgebenden Verfahren nicht beantworten. Eine Anbringung von Schilden oder Wappen ist aufgrund des Fehlens entsprechender Halterungslöcher höchstwahrscheinlich auszuschliessen, was eine Positionierung von Mobiliar vor den freien Wandflächen wahrscheinlich macht. Zur endgültigen Klärung dieser Frage bedürfte es letztlich wohl doch einer Zeitmaschine.

## Literatur

Claudia Daffara und Raffaella Fontana, Multispectral Infrared Reflectography to Differentiate Features in Paintings. In: *Microscopy Microanalyses*, 17, 2011, 691–695.

Joanne Dyer, Giovanni Verri und John Cupitt, Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes. A User Manual. London 2013.

Christian Fischer und Ioanna Kakoulli, Multispectral and hyperspectral imaging technologies in conservation. Current research and potential applications. In: *Studies in Conservation* 51 (Supplement 1), 2006, 3–16.

Anna Luib, Infrarot-Thermographie in der Bauforschung. Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen. Bamberg 2021 (Bamberger Empfehlungen für Bauforschung und praktische Baudenkmalpflege 1).

Franz Mairinger, Strahlenuntersuchung an Kunstwerken. Leipzig 2003 (Bücherei des Restaurators 7).

Nadim Scherrer, Stefan Zumbühl und Brigitte Lienert, Unveröffentlichter Analysebericht HKB22031968Ext (P1–P12). Bern 10.5.2022.

Nadim Scherrer und Stefan Zumbühl, Unveröffentlichter Analysebericht HKB22082042Ext (P13–P20). Bern 11.10.2022.

Nadim Scherrer, Unveröffentlichter Analysebericht HKB22082042Ext – Ergänzung (P15). Bern 23.11.2022.

Mareike Stein und Marianne Tauber, Unveröffentlichter Analysebericht KDWT2024-1. Bamberg 2024.