

# Degradation von Chromgelb und Cadmiumsulfid an Werken bildender Kunst

## Schadensphänomene, Ursachen und Prävention

Paul-Bernhard Eipper

Die industrielle Farbenproduktion zum Ende des 19. Jahrhunderts begünstigte die Entwicklung und Verbreitung einer zuvor nie gekannten Vielfalt. Wenngleich Langzeiterfahrungen mit den neuen Farben für Künstler nicht gegeben waren, erfreuten sich diese als Tubenfarben weit gehandelten Produkte dennoch hoher Nutzung. Nicht nur bei den großen Malern am Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts, sondern auch bei den unbekannten Künstlern in der Provinz finden wir Chromgelb und Cadmiumsulfid in den Werken der bildenden Künste. Für ihre Degradation sind nicht nur die bisweilen ungeeignete Aufbewahrung und ungünstige Umweltbedingungen der damit gemalten Werke verantwortlich, auch die Pigmente selbst sind keine stabilen Fertigprodukte. Der Beitrag fokussiert sowohl Schadensphänomene und ihre Ursachen als auch praktische präventive Maßnahmen.

*Degradation of chrome yellow and cadmium sulphide on works of fine art.*

*Damage phenomena, causes and prevention*

*Industrial paint production at the end of the 19th century favoured the development and distribution of a previously unknown variety of colours. Although long-term experience with the new colours was not available to artists, these products, widely traded as tube paints, nevertheless enjoyed high usage. Not only among the great painters at the end of the 19th and beginning of the 20th century, but also among the lesser known artists in the provinces, we find chrome yellow and cadmium sulfide in the works of the fine arts. Both, the sometimes unsuitable storage and unfavourable environmental conditions of the works painted with them are responsible for their degradation, and the pigments themselves are not stable finished products. The article focuses on damage phenomena and their causes as well as practical preventive measures.*

Licht ist Energie und infolgedessen löst jede Bestrahlung Prozesse im bestrahlten bzw. erwärmten Ausstellungsgut aus. Licht spielt auch beim Abbau von bestimmten Bindemitteln wie Pigmenten eine Rolle. Allgemein bekannt sind Ausbleichungen bei natürlichen Farbstoffen, wie z. B. Alizarin-Krapplack. Aber auch Pigment-Farben sind gefährdet.<sup>1</sup> Die industrielle Farbenproduktion war eine Voraussetzung für die Verbreitung von Fertigprodukten. Tubenfarben erlangten in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine kaum zu überschätzende kulturgeschichtliche Bedeutung, weil sie den Impressionisten und anderen Freilichtmalern erlaubten, spontan und in der freien Natur umstandslos Ölfarben zu verwenden. So sagte Auguste Renoir: „Die Farbtuben haben es uns ermöglicht, in freier Natur zu malen. Ohne sie hätte es weder einen Cézanne noch einen Manet gegeben, auch nicht den Impressionismus.“ Der amerikanische Maler John Goffe Rand (1801–1873) erhielt für die Tube am 11. September 1841 in den USA ein Patent (Nr. 2252), und im gleichen Jahr in England (Nr. 8863, auf Zinntuben mit Schraubdeckel und zugehöriger Füllmaschine).<sup>2</sup> Er hatte sich über schnell eintrocknende und schlecht transportierbare Farben geärgert und eine Tube aus Blei entwickelt, welche den seit der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts vorproduzierten und in Blasen gehandelten Ölfarben überlegen sein sollte und auch den Malern in ihren Ateliers das Anmischen der Farben vor dem Gebrauch ersparen sollte. 1842 wurde Rands Erfindung durch den Hersteller von Künstlerfarben Winsor & Newton in England verwendet und auf der Londoner Weltausstellung

von 1851 präsentiert. Waren die Tuben zunächst aus Blei, wurden diese später aus Zinn (Stanniol), dann ab 1920 aus Aluminium gefertigt.

Nicht nur bei natürlichen Farben und Farbstoffen kommt es zu Ausbleichungen, auch bei den Barium-, Zink- und Strontiumchromaten auf Gemälden des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts sind irreversible Verdunklungen feststellbar,<sup>3</sup> vor allem aber Chromgelb<sup>4</sup> und Cadmiumsulfid<sup>5</sup> sind von gravierenden Umfärbungen betroffen: Leuchtendes Blei(II)-chromat wandelt sich langsam zu anderen Verbindungen um, wobei dreiwertiges Chrom entsteht und sich das Aussehen – auch uneinheitlich – zu mattem Braun ändert. In den umfangreichen Lieferprogrammen der Künstlerfarbenhersteller Dr. Franz Schoenfeld & Co. (Kataloge 1897–1907) sowie Hermann Schmincke & Co. (Kataloge 1912–1930), beide Düsseldorf, finden sich Bleichromate, Chromgelb und Cadmiumsulfid. Ebenfalls bei den Günther Wagner Pelikan Künstlerfarben (Preislisten 1925–1938) finden sich Bleichromate, Chromgelb und Cadmiumsulfid. Hier wird explizit vor bestimmten Farbmischungen gewarnt: „Ferner ist zu beachten, daß gewisse Farben in Mischungen miteinander zerstörende chemische Einflüsse ausüben. Das Mischen folgender Töne ist daher zu vermeiden: Chromgelb und die mit Chromgelb hergestellten grünen Mischfarben mit Kobalt und Cadmium. Cadmium und Zinnober mit kupferhaltigen Farben sowie mit Berlinerblau, Pariserblau, Preußischblau und Neapelgelb. Neapelgelb mit allen Eisenoxyd enthaltenden Farben, ferner mit Kobalt und Ultramarin.“



1  
Vincent van Gogh, *Zwölf Sonnenblumen in einer Vase*, 1888, Öl auf Leinen, München, Neue Pinakothek

Ultramariningelb mit Cremserweiß, Neapelgelb und allen Kobaltfarbe. Asphalt verwende man nur rein und in dünnsten Schichten.“<sup>6</sup> Die Lothar Schall-Farben (Preisliste 1970) führen noch Cadmiumtöne der Firma Bayer, Leverkusen.<sup>7</sup>

### Chromgelb

Viele Gemälde aus dem 19. Jahrhundert enthalten synthetische Chromgelb-Pigmente (Blei (II)-chromat,  $\text{PbCrO}_4$ ).<sup>8</sup> Es wurde von den Künstlern gerne genutzt, vor allem weil es billiger war als Cadmiumgelb. Wir finden es beispielsweise in Gemälden von Kasimir Malewitsch<sup>9</sup>, Amedeo Modigliani<sup>10</sup>, Georges Seurat.<sup>11</sup> Paul Gauguin<sup>12</sup> und Vincent van Gogh<sup>13</sup> verwendeten das leuchtende Chromgelb, welches je nach Herstellung ein Bleisulfat/Bleichromat (etwa  $2\text{PbSO}_4 \cdot \text{PbCrO}_4$ ) darstellt. Auch hier macht Chromgelb<sup>14</sup> einen Wandel durch, es verschwindet unter UV-Einfluss<sup>15</sup> unter einer immer dunkler werdenden bräunlichen Schicht,<sup>16</sup> wie z. B. bei van Goghs *Ufer der Seine*, 1887, *Sonnenblumen*, 1888, *Les Alyscamps*, 1888, *Ansicht von Arles mit Schwertlilien*, 1888,<sup>17</sup> vor allem dann, wenn es in Öl gebunden wurde. Vincent van Gogh



2  
Vincent van Gogh, *Zwölf Sonnenblumen in einer Vase*, München, Neue Pinakothek, Detail, verbräuntes Cadmiumsulfid

mischte in seinen Sonnenblumenbildern Chromgelb<sup>18</sup> und weißes Bleisulfat mit Cadmiumgelb<sup>19</sup> (Abb. 1, 2). Diese Chromgelbtöne werden bräunlich, wenn Sonnenlicht in den oberen Schichten des Farbauftrags Chrom-IV- zu Chrom-III-Verbindungen reduziert. Ob und wie stark sich die Gelbtöne verfärben, hängt von der chemischen Zusammensetzung und



der Kristallstruktur der Pigmente, sowie deren Aufbewahrung ab. Sulfatreiche und vorwiegend aus orthorhombischen Kristallformen bestehende Chromgelbfarben neigen zur irreversiblen Verbräunung, wie dies auch bei Zinkchromaten festzustellen ist. Hohe Luftfeuchtigkeit-, Schwefeldioxid- und Lichteinwirkung verstärken diese Prozesse.<sup>20</sup> Ursprünglich handelte es sich bei der Farbe um eine Mischung von Bleichromat-, Bleisulfat- sowie Bleichromatsulfat-Partikeln in Leinöl als Bindemittel. Bleisulfat-Teilchen bleiben von der Alterung unbeeinflusst, während sich bei Bleichromatsulfat-Partikeln in einem ersten Schritt des Alterungsprozesses Chromat-Ionen in Mikrowassertröpfchen zwischen den Pigmenten und dem Bindemittel lösen, besonders bei hohem Sulfat- (über 50 %) und geringerem Chrom-Gehalt, da die Chromatome hier weniger stabil ins Kristallgitter integriert sind. So entstehen Teilchen mit einem Kern aus Bleichromatsulfat und einer Schale aus Bleisulfat. Begünstigt durch Lichteinstrahlung reagiert das gelöste Chromat mit dem Leinöl zu unlöslichem Chromoxid  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , das sich dann als dritte Schicht auf der Oberfläche der Partikel ablagert. Lösen sich

weiter Chromat-Ionen aus dem Kern, bleiben am Ende Kern-Schale-Strukturen mit einem Bleisulfat-Kern und einer Chromoxid-Schale übrig. Kleinere Bleichromat-Partikel werden während der Alterung komplett zu Chromoxid reduziert, während bei den größeren ein Kern aus hellem Bleichromat erhalten bleibt, der von einer Schale aus dunklem Chromoxid bedeckt ist – ursprünglich hellgelbe Partien von Gemälden werden dunkelbraun, die Oxidation schreitet von außen nach innen voran.<sup>21</sup> Bei den relativ stabilen Chromgelbfarben des britischen Herstellers Winsor & Newton zeigen lediglich die mittel- und dunkelgelben Farben starke Veränderungen durch eine starke Lichtexposition.<sup>22</sup>

### Cadmiumsulfid

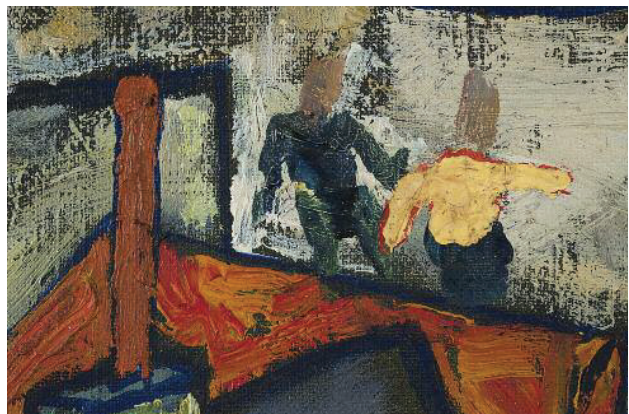
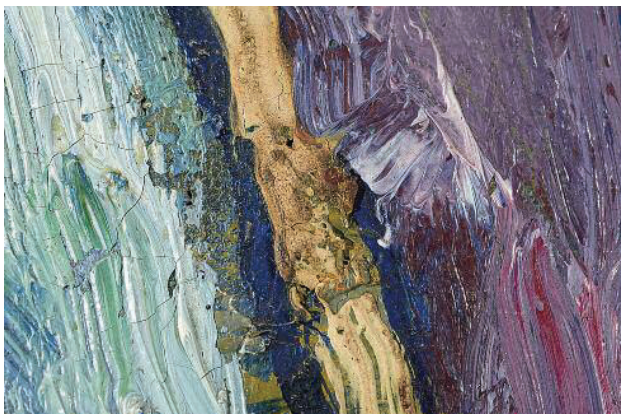
Cadmiumsulfidhaltige Farben<sup>23</sup> wurden u. a. von Jean Colin<sup>24</sup>, James Ensor, Vincent van Gogh<sup>25</sup>, Juan Miró<sup>26</sup>, Claude Monet, Henri Matisse<sup>27</sup>, Piet Mondrian, Edvard Munch<sup>28</sup>, Pablo Picasso<sup>29</sup>, Egon Schiele<sup>30</sup>, Georges Seurat und Jackson Pollock

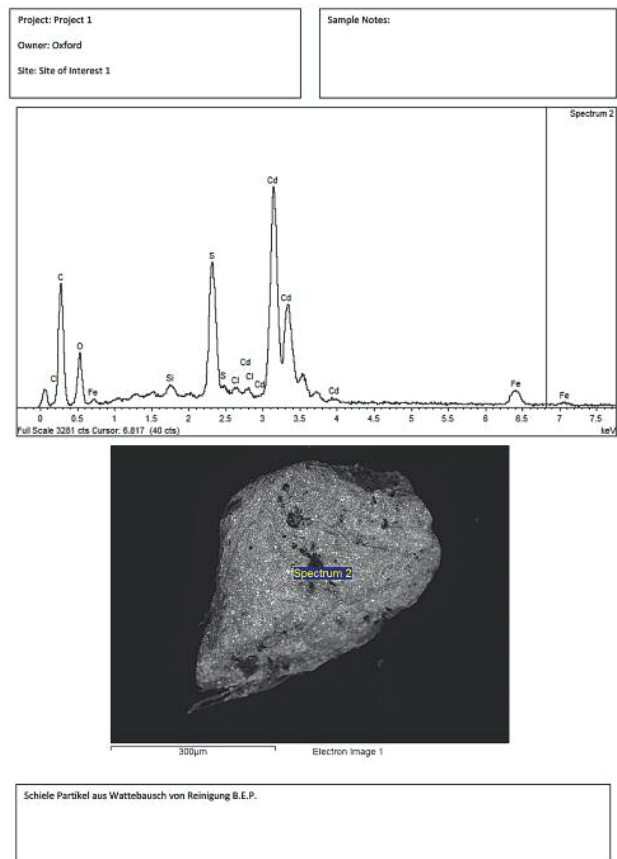
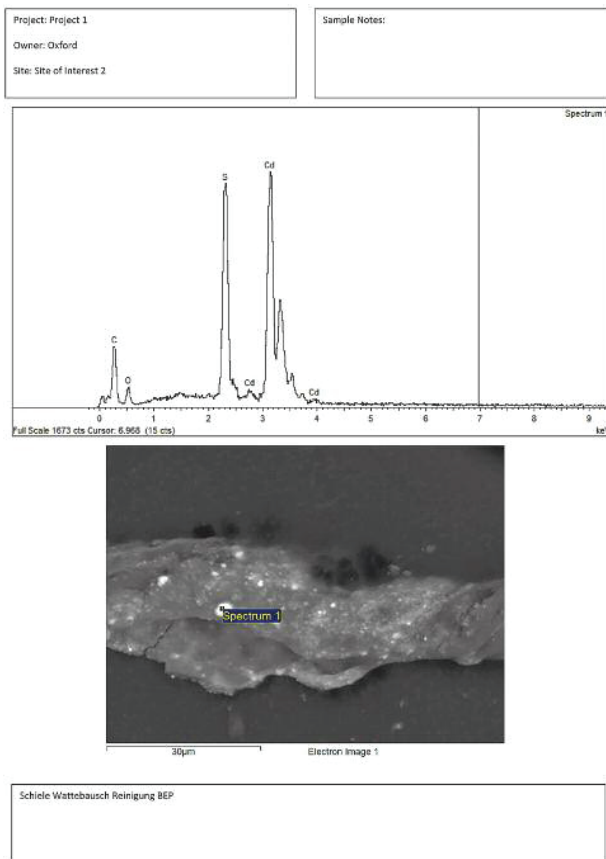


3  
Egon Schiele, *Stadtende/Häuserbogen III*, 1918, Öl auf Leinen, Neue Galerie Graz, Universalmuseum Joanneum, NG Inv.-Nr. I/466

4  
Egon Schiele, *Stadtende/Häuserbogen III*, Detail, verbräuntes Cadmiumsulfid

5  
Egon Schiele, *Stadtende/Häuserbogen III*, Cadmiumsulfid nach Oberflächenabtrag





6, 7

Egon Schiele, *Stadtende/Häuserbogen III*, Spektren von Cadmiumsulfidgelb, Analyse H.-P. Bojar, Mineralogie/UMJ

verwendet.<sup>31</sup> Weisen die verwendeten Farben häufige Defekte in der Kristallstruktur auf, sind sie besonders anfällig für eine Entfärbung. Die Pigmentgröße und die Mischung mit anderen Farben beeinflussen das Alterungsverhalten, welches durch hohe Luftfeuchtigkeit und UV-Bestrahlung beschleunigt wird: Die photokatalytische Oxidation des Bindemittels und die Photokorrosion des zunächst brillanten Cadmiumsulfids, macht sich durch Ausbleichung oder Verdunkelung bemerkbar – wie man es auch bei Egon Schieles Gemälde *Stadtende/Häuserbogen III*, 1918 (Abb. 3 und 4), feststellen kann –, wofür auch die variablen Schwefelanteile verantwortlich gemacht werden.<sup>32</sup> Der unterschiedliche Grad der Degradation von CdS-Mischungen ist durch jeweils verschiedene UV-Fluoreszenzen nachweisbar.<sup>33</sup> Dies gilt auch für die Arsensulfide Realgar ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ) und Auripigment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), welche sich irreversibel – bedingt durch mobile wasserlösliche Komponenten – zu transparenten, weißlichen und zerbröckelnden Farben zersetzen.<sup>34</sup> Interessanterweise weisen die Proben von Picassos *Femme* (Époque des *Demoiselles d'Avignon*), 1907, und Egon Schieles *Stadtende/Häuserbogen III*, 1918, dieselbe Photolumineszenz auf<sup>35</sup> (Abb. 5, 6, 7).

Nicht nur die großen Meister verwendeten synthetische Chromgelb- und Cadmiumsulfid-Pigmente in Tubenfarben – und mischten diese auch untereinander<sup>36</sup> –, auch bei unzähligen weniger bekannten Künstlern können wir mit demselben Material wie auch mit Mischungen desselben rechnen. Unter-

suchungen haben gezeigt, dass unterschiedliche Mischungen verschieden altern. Diese Degradationsprozesse können also auch innerhalb eines Gemäldes unterschiedlich ausfallen und sich durch abpudern, schollig werden, entfärben, Krustenbildung der Farbschicht bemerkbar machen, sind nicht auf den Hersteller der Farbe, sondern auf geeignete und ungeeignete Zumischungen und Verdünnungen des Malers zurückzuführen, wobei auch Grundierungsmaterialien, erfolgte Restaurierungsmaßnahmen und auch ungeeignete Aufbewahrungsbedingungen diese Prozesse unterschiedlich stark beeinflussen.<sup>37</sup> Im Gemälde von Emmy Paungarten<sup>38</sup> *Stilleben mit Sumpfdotterblumen*, um 1914,<sup>39</sup> wurde wie bei Egon Schieles<sup>40</sup> *Stadtende/Häuserbogen III*, 1918<sup>41</sup>, Cadmiumsulfidgelb gefunden. Während die Farbe bei Egon Schieles Gemälde stärker degradiert war, lag die Farbe beim depotgelagerten Gemälde von Emmy Paungarten (Abb. 8, 9 a, 9 b) und einem Gemälde von Rita Passini<sup>42</sup>, *Stilleben*, um 1920<sup>43</sup> (Abb. 10, 11 a, 11 b), nahezu unverfälscht vor. Während Schieles *Stadtende/Häuserbogen III* häufig gezeigt wurde,<sup>44</sup> lagen die beiden letzteren Gemälde wenig verliehen und wenig präsentiert sowie 2020 noch unrestauriert vor. Die Proben wurden von den Gemälden nicht invasiv gewonnen, sondern die bei der partiellen Reinigung dieser Areale mit Wattestäbchen (Wasser mit Champagnerkreidезusatz) gewonnen Abriebe wurden mittels Pulverdiffraktometrie (Bruke D8 Advance) und im Rasterelektronenmikroskop mit energiedispersivem

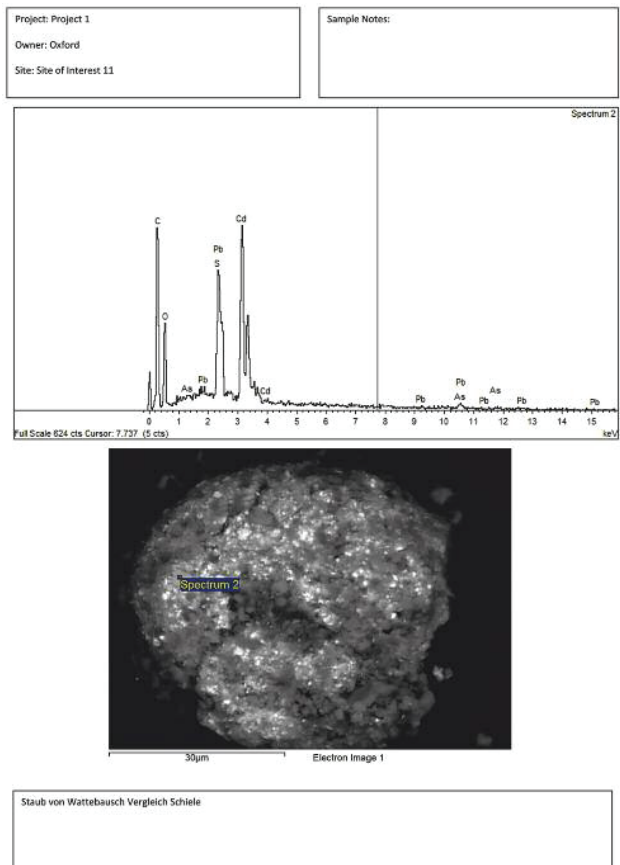
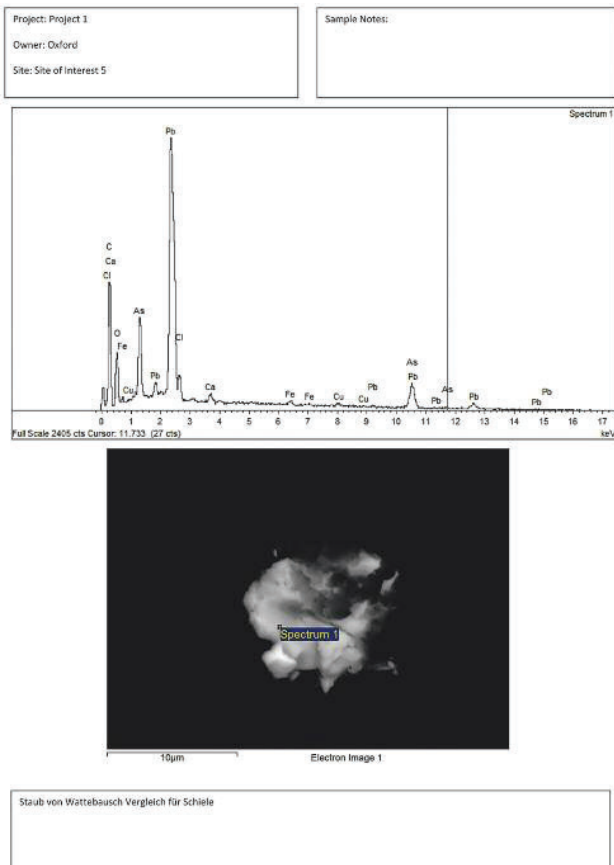




8  
Emmy Paungarten, *Stilleben mit Sumpfdotterblumen*, um 1914, Öl/Leinen, Neue Galerie Graz, Universalmuseum Joanneum, NG Inv.-Nr. I/ 1430

Analysensystem (Jeol 6610 LV mit Oxford EDS) untersucht. Die Diagramme der Pulverdiffraktometrie wurden mit Spektren der ICDD PDF4+ Datenbank verglichen.<sup>45</sup> Die Spektren zeigen Cadmiumsulfid bei Schiele (vgl. Abb. 6) und Paungarten (vgl. Abb. 9 b). Einen Beleg für Mischungen von teurem Cadmiumsulfid und nicht so teurem, ebenfalls gelben Zinkchromat ( $\text{ZnCrO}_4$ ) lieferte uns die Analyse des *Stillebens* von Rita Passini (vgl. Abb. 11 a, b). Die gängige Praxis des Streckens und Mischens von Farben zeigte sich auch in der Vergrößerung des Farbauftrags mit einem 3D-Laserscanning-Mikroskop (Abb. 12 a, 12 b). Zur Oberflächenvermessung wurde das 3D-Digitalmikroskop VHX-7000 der Fa. Keyence<sup>46</sup> verwendet, welches mit dem neuen „optischen Schatteneffekt-Modus“ ausgestattet ist. Eine 4K-Kamera mit einem Objektiv, das eine hohe Tiefenschärfe ermöglicht, und eine vollautomatische Fokussierung auf dem Objektisch verbessern die für Oberflächenanalysen erforderliche Auflösung, wodurch kleinste Kratzer, Vertiefungen und Erhöhungen, die bei geringer (z. B. 20-facher) Vergrößerung schwer erkennbar sind, erfassbar und darstellbar werden. Die kontaktlose, großflächige, wiederholbare Oberflächenmessung (Messbereich 200 x 100 x 50 mm) erfolgt mit weißem Licht. Bei den VHX-7000-Geräten wird nur die Linse mechanisch vertikal verschoben und liefert mehrere Aufnahmen des auf dem beweglichen Objektisch liegenden Objektes, was hervorragende tiefscharfe Kontur-, Ebenheits- und Rauheitsmessungen

9 a, b  
Emmy Paungarten, *Stilleben mit Sumpfdotterblumen*, Spektren von Cadmiumsulfidgelb, Analyse H.-P. Bojar, Mineralogie/UMJ

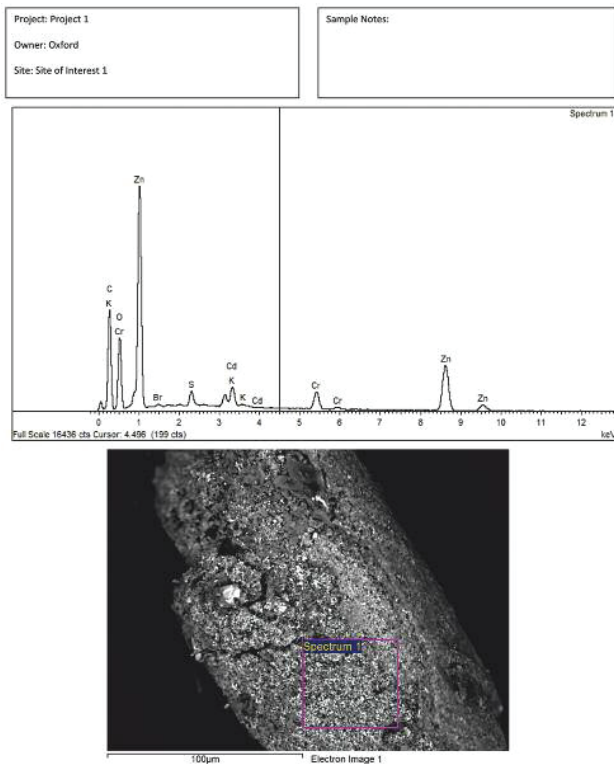




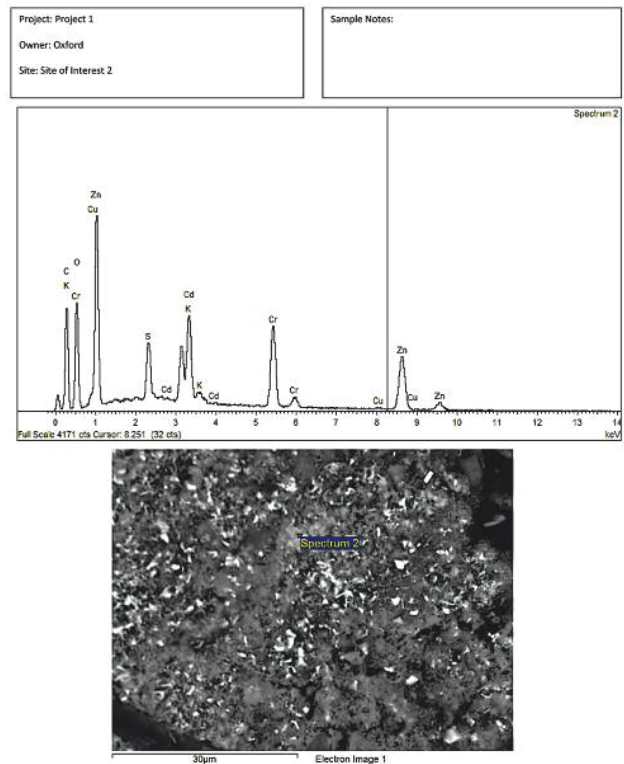


10  
Rita Passini, *Stillleben*, um 1920, Öl/Karton, 42 x 69 cm, Privatbesitz

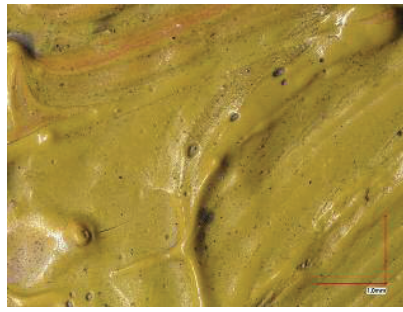
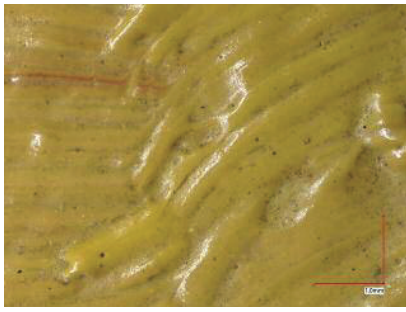
11a, b  
Rita Passini, *Stillleben*, das Spektrum mittels Rasterelektronenmikroskop mit energiedispersivem Analysensystem (Jeol 6610 LV mit Oxford EDS) bestätigt die Mischung von Cadmiumgelb und Zinkchromat, Analyse H.-P. Bojar, Mineralogie/UMJ



00402 Passini Pigment gelb aus Wattebausch



00402 Passini Pigment gelb Wattebausch



12 a, b  
Rita Passini, *Stilleben*, Detailaufnahmen einer gelben Farbstruktur, die 50-fache Vergrößerung mit dem konvokalen 3D-Laserscanning-Digitalmikroskop Keyence VHX-7000 zeigt die Mischung von Chromgelb und Cadmiumsulfid

(mit jeweils 800 000 Datenpunkten) sowie Abbildungen im Bereich eines Mikrometers ermöglicht (Abb. 13). Die im Vergleich zur 3D-Streifenprojektion auf Mikrospiegelbasis reduzierte Mechanik des Gerätes macht dieses robuster. Eine sekundenschnelle Datenerfassung und -analyse mit automatischer Höhen- und Breitenmessung, sowie die Möglichkeit der Messung von feinen Strukturen und Rauheiten macht das Gerät sehr geeignet für Oberflächenbetrachtungen mit bis zu 6000-facher Vergrößerung (vgl. Abb. 12 a, 12 b).

### Präventive konservatorische Maßnahmen

Aufgrund der Licht- und Klimaempfindlichkeit von Chromgelb- und Cadmiumsulfid-Farben, ob sie nun ungemischt oder gemischt vorliegen, wird empfohlen, bei der Beleuchtung Wellenlängen unter 525 nm zu vermeiden und die Beleuchtung dieser Werke prinzipiell auf LED-Licht mit geringsten Blauanteilen umzustellen, die Beleuchtungsdauer einzuschränken sowie Temperatur und Luftfeuchtigkeit eher geringer zu halten (nicht über 20° C und 45 % RF), um diesen Prozess zu verlangsamen,<sup>47</sup> wobei die luftfeuchtigkeitsinduzierte Degradation von höherer Bedeutung ist.<sup>48</sup> Diese Erkenntnis beeinflusst auch die Einschätzung einer tatsächlichen Notwendigkeit wie auch die Durchführung feuchter Reinigungen an solchen Farben.<sup>49</sup> Lichtinduzierte Erwärmungen regen auch die Bewegung von Luft an, wodurch das Exponat ausgetrocknet und im weiteren Verlauf durch den Transport von

Partikeln in der Luft verschmutzt wird.<sup>50</sup> Zur Vermeidung von Schäden ist es am sinnvollsten – sobald keine Besucher im Raum sind –, die Beleuchtung herabzudimmen oder auszuschalten.<sup>51</sup> Eine Hängung nur an Innenwänden, in räumlicher Distanz zu Gebläsen von Klimageräten sowie UV-Schutzverglasungen oder Gemäldevitrinen, sind obligatorisch. UV-Schutzverglasungen können beispielsweise mit Polycarbonathartgläsern (z. B. Makrolon® 281) oder Polymethylmethacrylatgläsern (z. B. ICI-Perspex®, Röhm-Plexiglas®, True Vue: Optium Museum Acrylic)<sup>52</sup> respektive durch mineralische UV-Schutz-Gläser (z. B. Mirogard®) sehr wirksam ausgeführt werden. Normale Gläser bieten lediglich einen 45%igen Schutz vor UV-Strahlen bis 380 nm. Um einen UV-Schutz zu gewährleisten, werden auf die Gläser in der Regel zwischen 4–7 Lagen verschiedener Metalloxide aufgebracht.<sup>53</sup> Neben diesen interferenzentspiegelten Gläsern<sup>54</sup> gibt es Zweischeibensicherheitsgläser, welche den UV-Schutz in Form einer Splitterschutzfolie zwischen den beiden Scheiben haben.<sup>55</sup> Ein UV-Schutz bringt jedoch – je nach Produktionsverfahren – eine leicht gelbliche/bräunliche/gräuliche Farbverschiebung mit sich.

Beispiele für UV-Schutz-Gläser:

- Flabeg<sup>56</sup>: Art Control UV 90 (92 % UV-Schutz), Art Control UV 100 mit Splitterschutz (100 % UV-Schutz).
- Schott<sup>57</sup>: Mirogard®-Gläser: Plus (82 % UV-Schutz), Protect Standard oder Magic (99 % UV-Schutz).
- Berliner Glas<sup>58</sup>: Tegla classic (90,3–91,3 % UV-Schutz), Tegla Galerieglas (91,3 % UV-Schutz).
- Berninger<sup>59</sup>: GB VSG (99 % UV-Schutz), GB UV-Schutzglas (98 % UV-Schutz).
- Groglass<sup>60</sup>: Artglass UV (92 % UV-Schutz), Artglass Protect (100 % UV-Schutz).
- Nielsen<sup>61</sup>: Clear Colour UV 92 (92 % UV-Schutz).
- Trösch<sup>62</sup>: Luxar Classic VSG 2-2-1 Verbundglas (99 % UV-Schutz).
- Tru Vue<sup>63</sup>: Conservation Clear (98 % UV-Schutz), Conservation Reflection Control (98 % UV-Schutz), Museum Glass (99 % UV-Schutz).
- Wybenga<sup>64</sup>: Perfect White Artglass UV 92 (92 % UV-Schutz), Perfect White Artglass Protect (100 % UV-Schutz).

13  
Das 3D-Digitalmikroskop (VHX-7000, Fa. Keyence) am Universalmuseum Joanneum, Abteilung Natur, Botanik





## Dank

Für die Unterstützung bei den Untersuchungen meinen Dank an Daniela Comelli, Marta Ghirardello (Physics Department, ArtIS Laboratory, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci, 32, I-20133 Mailand), Josip Maric (KEYENCE INTERNATIONAL Belgium NV/SA; IZ-NÖ Süd, Straße 15, Objekt 77, 2. OG., Top 4, A-2355 Wiener Neudorf), Hans-Peter Bojar (Mineralogie/Universalmuseum Joanneum, Graz), Kurt Zernig (Botanik/Universalmuseum Joanneum, Graz), Nicolas Lackner (Museumsservice/Universalmuseum Joanneum, Graz) und nicht zuletzt meinen Dank an Dr. Ute Stehr (Berlin) für die redaktionelle Betreuung.

Ass. Prof. Dr. rer. medic. Dipl.-Rest. (FH)

Paul-Bernhard Eipper

Leiter Restaurierung

Universalmuseum Joanneum

Museumsservice

Weinzöttlstraße 16

8045 Graz

paul-bernhard.eipper@museum-joanneum.at

## Anmerkungen

- Bei Vincent van Goghs *Iris und Rosen* entfärbt sich Rosa zu Weiß und Violett zu Blau. CENTENO ET AL. 2017, S. 10 f.
- <https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=8975004> [Zugriff: 17.12.2021]
- FELIX ET AL. 2017, S. 1–13
- Blei(II)-chromat ( $\text{PbCrO}_4$ , auch: Bleichromat, Chromgelb, Narzissengelb, Parisergelb oder Königsgelb) ist ein Bleisalz der Chromsäure. 1797 von Vauquelin in Paris entdeckt, wird das nicht kalkechte Pigment ab 1818 hergestellt und aufgrund seiner außerordentlich hohen Farbstärke bald zur Modelfarbe (Neugelb, Postgelb). Seit der Entwicklung der ersten gelben Azopigmente 1909 durch Hoechst kam das giftige Pigment im Künstlerfarbenbereich schnell außer Gebrauch. [https://de.wikipedia.org/wiki/Blei\(II\)-chromat](https://de.wikipedia.org/wiki/Blei(II)-chromat) [Zugriff: 17.12.2021]; OTERO ET AL. 2017, S. 136; TAN ET AL. 2013, S. 11360–11363
- Cadmiumsulfid (CdS), eine Verbindung aus Cadmium und Schwefel, kommt in Form der Minerale Hawleyit und Greenockit in der Natur vor. 1818 im Labor durch Friedrich Stromeyer als Fällung von Cadmiumsalzen und Schwefelwasserstoff oder Sulfiden entdeckt. <https://de.wikipedia.org/wiki/Cadmiumsulfid> [Zugriff: 17.12.2021]; VAN DER SNICK ET AL. 2009, S. 2600–2610; GIACOPETTI ET AL. 2018, 065202; COMELLI ET AL. 2019, S. 3421–3428; <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.analchem.8b04914> [Zugriff: 17.12.2021]
- WAGNER 1925–1938, Pelikanfarben Preisliste 40, S. 81
- EIPPER 1997, S. 2–21
- Bei Chromgelb liegen Mischkristalle aus Bleichromat  $\text{PbCrO}_4$ , und Bleisulfat  $\text{PbSO}_4$  vor. Chromgelb kommt in drei Modifikationen vor, und zwar in einer hellgelben rhombischen, einer dunkelgelben monoklinen und einer roten tetragonalen Form. MONICO ET AL. 2013, S. 860; <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/chromgelb/1871> [Zugriff: 17.12.2021]
- Kasimir Sewerinowitsch Malewitsch (1878–1935), Maler und Hauptvertreter der russischen Avantgarde, Wegbereiter des Konstruktivismus und Begründer des Suprematismus. Auf seinem Gemälde *Painterly Realism of a Football Player – Color Masses in the 4th Dimension*, 1915, Öl/Leinen, 71 × 44,5 cm, am Art Institute of Chicago wurde Chromgelb gefunden. KOKKORI ET AL. 2016, S. 70 f.

- Z. B. bei Amedeo Modigliani (1884–1920), *Selbstporträt*, 1919, Öl/Leinen, 100 × 65 cm. MAGALHÃES ET AL. 2019, S. 31
- Georges-Pierre Seurat (1859–1891) gilt neben Paul Signac als wichtigster Vertreter des Pointillismus. Auf seinem Gemälde *La Grande Jatte*, 1884, Öl/Leinen, wurde Chromgelb gefunden. CASADIO ET AL. 2011, S. 2919
- Eugène Henri Paul Gauguin (1848–1903) beeinflusste mit seinem postimpressionistischen Werk stark die Nabis und den Symbolismus. Als Mitbegründer des Synthetismus wurde er zu einem Wegbereiter des Expressionismus. In seinem Gemälde *Portrait de Suzanne Bambridge*, 1891, Öl/Leinen, wurde Chromgelb gefunden. DEFY ET AL. 2018, S. 5
- Vincent Willem van Gogh (1853–1890) gilt als einer der Begründer der modernen Malerei. Markant ist sein materialreicher Farbduktus, wengleich er maltechnisch eher konventionell, hauptsächlich mit Ölfarben auf Leinen arbeitete. Die Verwendung verschiedener Künstlerfarben-Fertigprodukte ist belegt. MONICO ET AL. 2014; [https://de.wikipedia.org/wiki/Vincent\\_van\\_Gogh](https://de.wikipedia.org/wiki/Vincent_van_Gogh) [Zugriff: 17.12.2021]
- Chromgelb (Blei (II)-chromat,  $\text{PbCrO}_4$ ) kann auch gemischt mit Berliner Blau in grünen Lacken enthalten sein, wobei es nicht mit Chromoxidgrün ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), verwechselt werden soll. Dieses ist als olivgrünes Pigment bekannt und dient unter anderem als Emaillefarbe, zum Glasfärben und aufgrund seiner Härte wird es in Schleifmitteln eingesetzt.
- Vgl. MONICO ET AL. 2011 a, S. 1214–1224; MONICO ET AL. 2011 b, S. 1224–1231
- Vgl. POHLMANN/SCHÄNING 2011, S. 21–29
- Vgl. CLARRICOATES/DOWDING/GENT 2016, S. 1–138
- gelbes Bleichromat mit einem Sulfatanteil von mehr als 50 %
- MUNOZ-GARCIA/MASSAROA/PAVONE 2016; MOHAMED 2016
- CASADIO ET AL. 2011, S. 2919
- JANSSENS ET AL. 2014, S. 62–63; TAN ET AL. 2013, Vol. 125, S. 43; MONICO ET AL. 2013 b, S. 851
- Vgl. OTERO 2018, S. V, VI; OTERO ET AL. 2017, S. 136
- Man unterscheidet: 1.) Cadmiumgelb, chemisch Cadmiumsulfid CdS, hellgelbes, ungiftiges Pigment, das für die verschiedensten Bindemittel geeignet ist; 2.) Cadmiumrot, chemisch Cadmiumselenid CdSe, das sich, vorzugsweise im Gemisch mit CdS angewendet, durch sehr feurige Farbtöne – von Orange bis Bordeauxrot – sowie durch große Lichtechtheit und Hitzebeständigkeit auszeichnet ist und vor allem in der Malerei und Keramik-Emailleindustrie verwendet wird; 3.) Cadmiumzinnober, orangefarbenes bis rotes Mischpigment aus CdS mit 10 bis 20 % Quecksilbersulfid HgS (Zinnober). <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/cadmumpigmente/1445> [Zugriff: 17.12.2021]
- Jean Colin (1881–1961): *De aanbidding der herders*, 1910, Öl/Leinen, 126 × 151,5 cm, enthält Cadmiumsulfid. AIBÉO ET AL. 2008, S. 1096
- Vincent van Gogh mischte in seinen Sonnenblumenbildern [National Gallery (London), Van Gogh Museum (Amsterdam), Philadelphia Museum of Art, Neue Pinakothek (München), Seiji Togo Memorial Sompō Japan Nipponko Museum of Art (Tokyo)] Chromgelb und Cadmiumgelb mit sulfatreichem ( $\geq 50\%$ ) gelbem Bleichromat und weißem Bleisulfat, welches unter Einwirkung von ultravioletter Licht verbräunt. MUNOZ-GARCIA/MASSAROA/PAVONE 2016, MOHAMED 2016
- Z. B. bei dem Gemälde *Groupe de Personnes*, 1938, 36 × 43 cm. LACMA M.2005.38.8. Miró lehnte Chromgelb ab, da es ihm zu opak erschien. O'DONOGHUE ET AL. 2006, S. 64, 66
- Henri Matisse (1869–1954) *Le Bonheur de vivre*, 1905–1906, The Barnes Foundation. VORAS ET AL. 2015, S. 1015–1030
- LEVIN ET AL. 2017; Cadmiumgelb (in Öl, wie auch in Ei-Kasein gebunden) und Chromgelb, vgl. SINGER ET AL. 2010, S. 275; SANDU ET AL. 2018, S. 1–3
- Dies wurde bei Picassos (1881–1973) *Femme*, um 1907, nachgewiesen. GIACOPETTI ET AL. 2018, 065202; COMELLI ET AL. 2019, S. 3421–3428. Auch bei Picassos *Harlequin Musician*, 1924, National Gallery of Art, Washington, D.C., findet sich CdS, auch in Mischungen. DELANEY ET AL. 2010, S. 588, 592f
- Z. B. bei Egon Schieles *Stadtende/Häuserbogen III*
- Vgl. MONICO ET AL. 2018, S. 11585; Nachweis z. B. zerstörungsfrei durch Infrarot-Lumineszenz-Analyse. THOURY ET AL. 2011, S. 940 f.
- GIACOPETTI ET AL. 2018, 065202; COMELLI ET AL. 2019, S. 3421–3428; LEVIN ET AL. 2017, S. 1
- Referat von Jennifer Mass: „pXRF and IR Fluorescence Imaging Studies of CdS Alteration in Paintings by Edvard Munch and Henri Matisse in Oslo



- and Copenhagen“, auf der Tagung: The Non-Invasive Analysis of Painted Surfaces: Scientific Impact and Conservation Practice, Lunder Conservation Center, ICOM-CC Paintings Working Group, ICOM-CC Scientific Research Working Group, and FAIC, 20.-21.2.2014, Smithsonian American Art Museum, Washington D. C. <https://americanart.si.edu/videos/non-invasive-analysis-painted-surfaces-jennifer-mass-10-14-154016> [Zugriff zuletzt 10.12.2021]
- 34 KEUNE ET AL. 2015, S. 813–827
- 35 Mitteilung von Marta Ghirardello, Gianluca Valentini, Lucia Toniolo und Daniela Comelli, 16.09.2020; COMELLI ET AL. 2019, S. 3421–3428
- 36 Z. B.: bei Picassos *La famille Soler*, 1903. DEFEYT ET AL. 2017, S. 26; bzw. *Harlequin Musician*, 1924, National Gallery of Art, Washington, D.C., findet sich CdS, in Mischungen mit Preußischblau (Berliner Blau), Ultramarinblau, Cobaltblau und Bleiweiß. DELANEY ET AL. 2010, S. 593
- 37 Siehe Anm. 32
- 38 Emmy Paungarten, geb. Emma Freiin von Paungarten (1874–1947), Malerin, Porträtistin.; AUSSTELLUNGSKAT. 2020, S. 178; [https://de.wikipedia.org/wiki/Emmy\\_Paungarten](https://de.wikipedia.org/wiki/Emmy_Paungarten) [Zugriff: 17.12.2021]
- 39 Emmy Paungarten, *Stilleben mit Sumpfdotterblumen*, um 1914, Öl/Leinen, NG Inv.-Nr. I/1430, Universalmuseum Joanneum, Graz
- 40 Egon Schiele (1890–1918), expressionistischer Maler und neben Klimt und Kokoschka der bedeutendste bildende Künstler der Wiener Moderne. Er hinterließ ca. 350 Gemälde und rund 2 800 Aquarelle. BENESCH 1951, S. 3–14; [http://de.wikipedia.org/wiki/Egon\\_Schiele](http://de.wikipedia.org/wiki/Egon_Schiele) [Zugriff: 17.12.2021]
- 41 Egon Schieles *Stadtende/Häuserbogen III*, 1918, Öl auf dünnem, industriell vorgrundiertem, weitmaschigem Leinen in einfacher Leinenbindung, 109,3 x 139,7 cm, NG Inv.-Nr. I/466, Universalmuseum Joanneum, Graz
- 42 Rita Passini (1882–1976), Malerin, Keramikerin, Bildhauerin. AUSSTELLUNGSKAT. 2020, S. 218; [https://archiv.belvedere.at/kuenstler/3106/passini\\_rita](https://archiv.belvedere.at/kuenstler/3106/passini_rita) [Zugriff: 17.12.2021]
- 43 Rita Passini, *Stilleben*, um 1920, Öl/Karton, 42 x 69 cm, Privatbesitz, Eisenstadt
- 44 Zu den Präsentationen des Gemäldes in Graz ab 1956 sind mehrere Ausleihen (Wien 1918, 1925, 1930, 1968, 1985, 2004, Düsseldorf 1959, New York 1965, Bregenz 1971, London 1971, Luzern 1974, München 1975, Hamburg 1981, Venedig 1984, Paris 1986, Bonn 1996, Brüssel 1998) belegt. KALLIR 1990, S. 345; EIPPER 2015, S. 70 und Dokumentationen der Neuen Galerie Graz am Universalmuseum Joanneum
- 45 Analysen: Mag. Dr. Hans-Peter Bojar, Mineralogie, Universalmuseum Joanneum, Graz
- 46 <https://www.keyence.eu/>
- 47 Vgl. MONICO ET AL. 2018; LUNZ ET AL. 2017, S. 301 f.; MONICO ET AL. 2013 a, S. 860–867; BODROGI/KHANH 2014, S. 1–3
- 48 MONICO ET AL. 2020, S. 1
- 49 Eine Korrelation zwischen der Wasserempfindlichkeit von Ölfarben und dem Vorhandensein von extrahierbaren freien Fett- und Dicarbonsäuren und deren entsprechenden Metallseifen (Carboxylate) wurde festgestellt. Zusätzlich beeinflussen die Pigmente selbst und Farbaditive die fortschreitende Wasserempfindlichkeit einer Ölfarbe. BANTI ET AL. 2018, S. 6001
- 50 EIPPER 2002, S. 3621–3627; ders. 2008, S. 7–15 ders. 2009, S. 161–165
- 51 EIPPER 2019, S. 31, 375, 426, 538
- 52 Z. B. zu beziehen über EVONIK. [www.plexiglasshop.de](http://www.plexiglasshop.de)
- 53 Die Metalloxide Titan- und Siliziumdioxid (d. h. TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, SnArH<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, NbOx) vgl. HALBE 2019, S. 30, werden z. B. durch Tauchen und Einbrennen bei Schott, durch Magnetronspütern bei TrueVue aufgebracht.
- 54 Zur Funktionsweise der interferenzspiegelten Gläser: Wenn Licht auf die erste Beschichtungsebene fällt, wird ein Teil davon absorbiert, ein anderer Teil reflektiert und ein Teil tritt hindurch. Erreicht das hindurchtretende Licht die nächste Schicht, passiert dies noch einmal und so fort. Die von jeder Materialschicht reflektierten Wellen interagieren miteinander, was in Abhängigkeit von Energie und Wellenlänge der reflektierten Lichtwellen zu einer Aufhebung der gegenläufigen Lichtwellen führt, wodurch eine farbneutrale Lichttransmission gewährleistet wird. HALBE 2019, S. 28
- 55 Polyvinylbutyral (PVB) Folie, 0,38 mm dick. HALBE 2020, S. 46
- 56 [http://www.flabeg.com/uploads/media/FLABEG\\_ARTControl\\_D.pdf](http://www.flabeg.com/uploads/media/FLABEG_ARTControl_D.pdf)
- 57 [www.schott.com/architecture](http://www.schott.com/architecture)
- 58 [http://www.tegla.de/htdocs\\_de/produkte/index.php?ID=2](http://www.tegla.de/htdocs_de/produkte/index.php?ID=2) (seit 2010 keine Produktion von UV-Schutz-Gläsern mehr)
- 59 [www.tegla.de](http://www.tegla.de)
- 60 [www.groglass.com](http://www.groglass.com)
- 61 [www.nielsen-design.de](http://www.nielsen-design.de)
- 62 [www.glastroesch.ch](http://www.glastroesch.ch)
- 63 [www.tru-vue.com](http://www.tru-vue.com)
- 64 [www.wybenga.de](http://www.wybenga.de)

## Literatur

- AIBÉO ET AL. 2008: Cristina L. Aibéo, Stien Goffin, Olivier Schalm, Geert van der Snickt, Nathalie Laquière, Peter Eyskens, Koen Janssens, Micro-Raman analysis for the identification of pigments from 19th and 20th century paintings. In: Journal of Raman Spectroscopy, 2008 (39), S. 1091–1098; <https://doi.org/10.1002/jrs.1990>
- AUSSTELLUNGSKAT. 2020: Ladies first ! Künstlerinnen in und aus der Steiermark 1850–1950. Ausstellungskatalog, hrsg. v. Gudrun Danzer, Neue Galerie Graz, Universalmuseum Joanneum, Graz 2020 BANTI ET AL. 2018: Donatella Banti, Jacopo La Nasa, Anna Lluveras Tenorio, Francesca Modugno, Klaas Jan van den Berg, Judith Lee, Bronwyn Ormsby, Aviva Burnstock, Ilaria Bonaduce, A molecular study of modern oil paintings: investigating the role of dicarboxylic acids in the water sensitivity of modern oil paints. In: The Royal Society of Chemistry Advanced, 2018, (8), 6001–6012; DOI: 10.1039/C7RA13364B Corpus ID: 54013918 [Zugriff: 10.12.2021]
- BENESCH 1951: Otto Benesch, Egon Schiele als Zeichner, Wien 1951, S. 1–14
- BODROGI/KHANH 2014: Peter Zsolt Bodrogi, Tran Quoc Khanh, Blue and UV content of white LED light sources in comparison with fluorescent lamps, daylight and incandescent light. In: Laboratory of Lighting Technology, Technische Universität Darmstadt 2014, S. 1–3 [https://www.usai-lighting.com/stuff/contentmgr/files/1/2753ce9f7bb62f5acbcc854942e4b161/misc/vangogh\\_bodrogi.pdf](https://www.usai-lighting.com/stuff/contentmgr/files/1/2753ce9f7bb62f5acbcc854942e4b161/misc/vangogh_bodrogi.pdf) [Zugriff: 06.08.2019]
- CASADIO ET AL. 2011: Francesca Casadio, S. Xie, S. C. Rukes, B. Myers, K. A. Gray, R. Warta, Inge Fiedler, Electron energy loss spectroscopy elucidates the elusive darkening of zinc potassium chromate in Georges Seurat's A Sunday on La Grande Jatte—1884. In: Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2011 (399), S. 2909–2920; DOI 10.1007/s00216-010-4264-9 [Zugriff: 8.12.2020]
- CENTENO ET AL. 2017: Silvia A. Centeno, Charlotte Hale, Federico Carò, Anna Cesaratto, Nobuko Shibayama, John Delaney, Kathryn Dooley, Geert van der Snickt, Koen Janssens, Susan Alyson Stein, Van Gogh's Irises and Roses: the contribution of chemical analyses and imaging to the assessment of color changes in the red lake pigments. In: Heritage Science, 2017, S. 1–11; DOI 10.1186/s40494-017-0131-8 [Zugriff: 08.12.2020]
- CLARRICOATES/DOWDING/GENT 2016: Rhiannon Clarricoates, Helen Dowding, Alexandra Gent, Colour Change in Paintings, London 2016
- COMELLI ET AL. 2019: Daniela Comelli, Douglas MacLennan, Marta Ghirardello, Alan Phenix, Catherine Schmidt Patterson, Herant Khanjian, Markus Gross, Gianluca Valentini, Karen Trentelman, Austin Nevin 2019: Degradation of Cadmium Yellow Paint: New Evidence from Photoluminescence Studies of Trap States in Picasso's *Femme (Époque des „Demoiselles d'Avignon“)*. In: Analytical Chemistry, 2019, S. 3421–3428 <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.analchem.8b04914> [Zugriff: 06.08.2019]
- DEFEYT ET AL. 2017: Catherine Defeyt, Etienne Van Vyve, Frederik Leen, Francisca Vandepitte, Bernard Gilbert, Elodie Herens, David Strivay, New Insights on Picasso's Blue Period. Painting *La famille Soler*. In: Studies in Conservation, Routledge 2017 (1), S. 24–35
- DEFEYT ET AL. 2018: Catherine Defeyt, Etienne Van Vyve, Frederik Leen, Francisca Vandepitte, Bernard Gilbert, Elodie Herens, David Strivay, Revealing Gauguin's practice: multi-analytical approach of the Portrait de Suzanne Bambridge. In: Heritage Science, 2018, 1–9; <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0188-z> [Zugriff: 08.12.2020]
- DELANEY ET AL. 2010: John K. Delaney, Jason G. Zeibel, Mathieu Thoury, Roy Littleton, Michael Palmer, Kathryn M. Morales, Rene de la Rie, Ann Hoeningwald, Visible and Infrared Imaging Spectroscopy of Picasso's *Harlequin Musician*: Mapping and Identification of Artist Materials in Situ. In: Applied Spectroscopy, Volume 64, (6), 2010, S. 584–594

- EIPPER 2019: Paul-Bernhard Eipper, Durchschaut. Technologie und Konservierung von Kunstwerken. München 2019
- EIPPER 2015: Paul-Bernhard Eipper, Vier Bilder in einem Bild. Zur Restaurierung von Egon Schieles „Stadtende/Häuserbogen II/III“. In: Egon Schiele Jahrbuch (II/III), Johann Thomas Ambrózy, Carla Carmona, Eva Werth (Hrsg.), Wien 2015, S. 70–94
- EIPPER 1997: Paul-Bernhard Eipper, Vier Künstlerfarben- und Malmaterialhersteller zwischen 1900 und 1970. Die Reinigung von Gemäldeoberflächen mit wässrigen Systemen. Bern 1997, S. 1–115
- FELIX ET AL. 2017: Marta Felix, Vanessa Otero, Joana Pinto, Marcia Vilarigues, Leslie Carlyle, Maria João Melo, Vanessa Matias, Barium, zinc and strontium yellows in late 19th–early 20th century oil paintings. In: Heritage Science, 2017, 1–13, DOI 10.1186/s40494-017-0160-3 [Zugriff: 08.12.2020]
- GIACOPETTI ET AL. 2018: Laura Giacometti, Austin Nevin, Daniela Comelli, Gianluca Valentini, Marco Buongiorno Nardelli, Alessandra Satta, First principles study of the optical emission of cadmium yellow: Role of cadmium vacancies. In: AIP ADVANCES (8), 2018, S. 065202; <https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/1.5018512> [Zugriff: 08.12.2020]
- HALBE 2019: David Halbe, Mythos Glas – Das Museumsglas, in: Restauro (8) 2019, S. 28–31
- HALBE 2020: David Halbe, Mythos Glas – Praxistipps. In: Restauro (1) 2020, S. 46–49
- JANSENS ET AL. 2014: Koen Janssens, Letizia Monico, Costanza Miliani, Geert Van der Snickt, Stijn Legrand, Frederik Vanmeert, Matthias Alfeld, Brunetto Giovanni Brunetti, Marine Cotte, Gerald Falkenberg, X-Ray Based Imaging and Spectroscopy of Paintings by V. Van Gogh from the dm to the nm Level. In: ChemCH 2014 Third International Congress on Chemistry for Cultural Heritage, July 1–5, 2014, Academy of Fine Arts Vienna. Book of Abstracts, Wiesinger, R., Schreiner, M. (Hg.), Wien 2014, S. 62–63
- KALLIR 1990: Jane Kallir: Egon Schiele. The Complete Works. New York 1990
- KEUNE ET AL. 2015: Katrien Keune, Jennifer Mass, Florian Meirer, Carol Potasch, Annelies van Loon, Alyssa Hull, Jonathan Church, Emeline Pouyet, Marine Cottegh, Apurva Mehtai, Tracking the transformation and transport of arsenic sulfide pigments in paints: synchrotron-based X-ray microanalyses. In: Journal of Analytical Atomic Spectrometry (3), 2015, S. 813–827; <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/JA/c4ja00424h#divAbstract> [Zugriff: 08.12.2020]
- KOKKORI ET AL. 2016: Maria Kokkori, Stephanie D'Alessandro, Kristin Lister, Francesca Casadio, Materials and Meanings: Analyzing Kazimir Malevich's Painterly Realism of a Football Player – Color Masses in the 4th Dimension. In: Smithsonian Contributions to Museum Conservation, Washington D. C., 2016, S. 65–75
- LEVIN ET AL. 2017: Barnaby D.A. Levin, Kayla X. Nguyen, Megan E. Holtz, Marcie B. Wiggins, Malcolm G. Thomas, Eva S. Tveit, Jennifer L. Mass, Robert Opila, Thomas Beebe, David A. Muller, Detection of Cds Nanoparticles and Implications for Cadmium Yellow Paint Degradation in Edvard Munch's The Scream (c. 1910, Munch Museum). In: Microscopy Society of America (23), 2017, [https://www.researchgate.net/publication/319013129\\_Detection\\_of\\_CdS\\_Nanoparticles\\_and\\_Implications\\_for\\_Cadmium\\_Yellow\\_Paint\\_Degradation\\_in\\_Edvard\\_Munch%27s\\_The\\_Scream\\_c\\_1910\\_Munch\\_Museum](https://www.researchgate.net/publication/319013129_Detection_of_CdS_Nanoparticles_and_Implications_for_Cadmium_Yellow_Paint_Degradation_in_Edvard_Munch%27s_The_Scream_c_1910_Munch_Museum) [Zugriff: 08.12.2020]
- LUNZ ET AL. 2017: Manuela Lunz, Elise Talgorn, Jannie Baken, Wiebe Wage-mans, Dirk Veldman, Can LEDs help with art conservation? Impact of different light spectra on paint pigment degradation“, in: Studies in conservation (5), London 2017, S. 294–303
- MAGALHÃES ET AL. 2019: Ana Gonçalves Magalhaes, Marcia de Almeida Rizzuto, Dalva Lúcia Araújo de Faria, Pedro Herzilio Ottoni Viviani de Campos, Tracing the material history of MAC USP's Self-Portrait by Amedeo Modigliani. In: Anais do Museu Paulista São Paulo, Nova Série, vol. 27, 2019, S. 1–37; Doi: 10.1590/1982-02672019v27e11d1
- MOHAMED 2016: Osman Mohamed, Unstable Dye Blamed for Van Gogh's Fading Sunflowers. In: Chemistry World, April 5, 2016, <https://www.scientificamerican.com/article/unstable-dye-blamed-for-van-gogh-s-fading-sunflowers/> [Zugriff: 08.12.2020]
- MONICO ET AL. 2011a: Letizia Monico, Geert Van der Snickt, Koen Janssens, Wout De Nolf, Costanza Miliani, Johan Verbeeck, He Tian, Haiyan Tan, Joris Dik, Marie Radepon, Marine Cotte, Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Synchrotron X-ray Spectromicroscopy and Related Methods. 1. Artificially Aged Model Samples. In: Analytical Chemistry (83), 2011 (4), S. 1214–1224
- MONICO ET AL. 2011b: Letizia Monico, Geert Van der Snickt, Koen Janssens, Wout De Nolf, Costanza Miliani, Johan Verbeeck, He Tian, Haiyan Tan, Joris Dik, Marie Radepon, Marine Cotte, Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Synchrotron X-ray Spectromicroscopy and Related Methods. 2. Original Paint Layer Samples“. In: Analytical Chemistry (83), 2011 (4), S. 1224–1231
- MONICO ET AL. 2013 a: Letizia Monico, Koen Janssens, Costanza Miliani, Geert Van der Snickt, Brunetto Giovanni Brunetti, Mariangela Cestelli Guidi, Marie Radepon, Marine Cotte, Degradation Process of Lead Chromate in Paintings by Vincent van Gogh Studied by Means of Spectromicroscopic Methods. 4. Artificial Aging of Model Samples of Co-Precipitates of Lead Chromate and Lead Sulfate. In: Analytical Chemistry (85), 2013, American Chemical Society, S. 860–867
- MONICO ET AL. 2013 b: Letizia Monico, Koen Janssens, Costanza Miliani, Brunetto Giovanni Brunetti, Manuela Vagnini, Frederik Vanmeert, Gerald Falkenberg, Artem Abakumov, Yinggang Lu, He Tian, Johan Verbeeck, Marie Radepon, Marine Cotte, Ella Hendriks, Muriel Geldof, Luuk van der Loeff, Johanna Salvant, Michel Menu, Degradation process of lead chromate in paintings by Vincent van Gogh studied by means of spectromicroscopic methods. 3. Synthesis, characterization, and detection of different crystal forms of the chrome yellow pigment“. In: Analytical chemistry (85), no. 2, 2013, S. 851–859
- MONICO ET AL. 2014: Letizia Monico, Koen Janssens, Ella Hendriks, Brunetto G. Brunetti, Costanza Miliani, Raman study of different crystalline forms of PbCrO<sub>4</sub> and PbCr<sub>1-x</sub>S<sub>x</sub>O<sub>4</sub> solid solutions for the noninvasive identification of chrome yellows in paintings: a focus on works by Vincent van Gogh. In: Journal of Raman Spectroscopy 2014, S. 1–12; <https://doi.org/10.1002/jrs.4548>
- MONICO ET AL. 2018: Letizia Monico, Annalisa Chieli, Steven De Meyer, Marine Cotte, Wout de Nolf, Gerald Falkenberg, Koen Janssens, Aldo Romani, Costanza Miliani, Role of the Relative Humidity and the Cd/Zn Stoichiometry in the Photooxidation Process of Cadmium Yellows (CdS/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S) in Oil Paintings. In: Chemistry A European Journal (24), 2018, S. 11584–11593; <https://doi.org/10.1002/chem.201801503> [Zugriff: 08.12.2020]
- MONICO ET AL. 2020: Letizia Monico, Laura Cartechini, Francesca Rosi, Annalisa Chieli, Chiara Grazia, Steven De Meyer, Gert Nuyts, Frederik Vanmeert, Koen Janssens, Marine Cotte, Wout De Nolf, Gerald Falkenberg, Irina Crina Anca Sandu, Eva Storevik Tveit, Jennifer Mass, Renato Pereira de Freitas, Aldo Romani, Costanza Miliani, Probing the chemistry of CdS paints in *The Scream* by in situ noninvasive spectroscopies and synchrotron radiation x-ray techniques. In: Science Advanced, 2020, S. 1–11; DOI: 10.1126/sciadv.aay3514
- MUNOZ-GARCIA/MASSAROA/PAVONE 2016: Ana B. Muñoz-García, Arianna Massaroa, Michele Pavone, Ab initio study of PbCr(1-x)SxO4 solid solution: an inside look at Van Gogh Yellow degradation. In: Chemical Science (7), 2016
- O'DONOGHUE ET AL. 2006: Elma O'Donoghue, Ashley M. Johnson, Joy Mazurek, Frank Preusser, Michael Schilling, Marc S. Walton, Dictated by Media: Conservation and Technical analysis of a 1938 Joan Miro Canvas Painting. IIC Congress Munich: The Object in Context: Crossing Conservation Boundaries. 28.08.–01.09.2006. In: Studies in Conservation (51), 2006, S. 62–68
- OTERO 2018: Vanessa Otero Matias, Historically accurate reconstructions of Amadeo's chrome yellows: an integrated study of their manufacture and stability. Dissertation, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa 2018
- OTERO ET AL. 2017: Vanessa Otero, Joana Pinto, Leslie Carlyle, Marcia Vilarigues, Marine Cotte, Maria João Melo, Nineteenth century chrome yellow and chrome deep from Winsor & Newton. In: Studies in Conservation (3, 4), 2017, S. 123–149
- POHLMANN/SCHÄNING 2011: Albrecht Pohlmann, Anke Schäning, „Flying Colours“, Lichtechtheitstests an Künstlerfarben im 18. und 19. Jahrhundert – und heute. In: Restauro, (7) 2011, S. 21–29
- SANDU ET AL. 2018: Irina Crina Anca Sandu, Thierry Ford, Costanza Miliani, Koen Janssens, Geert Van der Snickt, Jana Striova et alii, The „Scream“ by Edvard Munch – same motif, different colours, different techniques



- and approaches – a novel non-invasive comparative study of two of its versions. Book of Abstracts: ChemCH2018 5th International Congress Chemistry for Cultural Heritage Bucharest, July 3-7, 2018, S. 1–3
- SINGER ET AL. 2010: Brian Singer, Trond E. Aslaksby, Biljana Topalova-Casadiago, Eva Storevik Tveit, Investigation of Materials Used by Edvard Munch. In: Studies in conservation (3), 2010, S. 274–292
- VAN DER SNICKT ET AL. 2009: Geert van der Snickt, Joris Dik, Marine Cotte, Koen Janssens, Jakub Jaroszewicz, Wout de Nolf, Jasper Groenewegen, Luuk van der Loeff: Characterization of a Degraded Cadmium Yellow (CdS) Pigment in an Oil Painting by Means of Synchrotron Radiation Based X-ray Techniques. In: Analytical Chemistry, Band 81, Nr. 7, American Chemical Society, 2009, S. 2600–2610; <https://doi.org/10.1021/ac802518z> [Zugriff: 08.12.2020]
- TAN ET AL. 2013: Haiyan Tan, He Tian, Jo Verbeeck, Letizia Monico, Koen Janssens, Gustaaf Van Tendeloo, Nanoscale Investigation of the Degradation Mechanism of a Historical Chrome Yellow Paint by Quantitative Electron Energy Loss spectroscopy Mapping of Chromium Species. In: Angewandte Chemie, Volume 125, Issue 43, Weinheim 2013, 11360–11363; [https://www.academia.edu/12424248/Nanoscale\\_Investigation\\_of\\_the\\_Degradation\\_Mechanism\\_of\\_a\\_Historical\\_Chrome\\_Yellow\\_Paint\\_by\\_Quantitative\\_Electron\\_Energy\\_Loss\\_spectroscopy\\_Mapping\\_of\\_Chromium\\_Species](https://www.academia.edu/12424248/Nanoscale_Investigation_of_the_Degradation_Mechanism_of_a_Historical_Chrome_Yellow_Paint_by_Quantitative_Electron_Energy_Loss_spectroscopy_Mapping_of_Chromium_Species) [Zugriff: 30.11.2020]
- THOURY ET AL. 2011: Mathieu Thoury, John K Delaney, René de la Rie, Michael Palmer, Kathryn Morales, Jay Krueger, Near-Infrared Luminescence of Cadmium Pigments: In Situ Identification and Mapping in Paintings. In: Applied Spectroscopy (8), 2011, S. 939–951; [https://www.academia.edu/23849486/Near-Infrared\\_Luminescence\\_of\\_Cadmium\\_Pigments\\_In\\_Situ\\_Identification\\_and\\_Mapping\\_in\\_Paintings](https://www.academia.edu/23849486/Near-Infrared_Luminescence_of_Cadmium_Pigments_In_Situ_Identification_and_Mapping_in_Paintings) [Zugriff: 08.12.2020]
- VORAS ET AL. 2015: Zachary Voras, Kristin deGhetaldi, Marcie Wiggins, Barbara Buckley, Brian Baade, Jennifer Mass, Thomas Beebe, ToF-SIMS Imaging of Molecular-Level Alteration Mechanisms in „Le Bonheur de vivre“ by Henri Matisse. In: Applied Physics (121) 2015, S. 1015–1030
- WAGNER 1925–1938: Günther Wagner (Hrsg.), Kataloge der Firma Pelikan, Hannover 1925–1938

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1: Neue Pinakothek, München, wikipedia commons  
 Abb. 3, 5, 8, 10: Nicolas Lackner/UMJ  
 Abb. 2, 4, 12a, 12b, 13 : Paul-Bernhard Eipper  
 Abb. 6, 7, 9a, 9b, 11 a, 11 b: Hans-Peter Bojar, Mineralogie/UMJ