TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

STUDIENGANG RESTAURIERUNG, KUNSTTECHNOLOGIE UND KONSERVIERUNGSWISSENSCHAFT

Bachelor of Arts

Konsolidierungsmethoden an Gemälden mit BEVA®371

HELENA ERNST

Bachelor's Thesis

Bearbeitungszeitraum: 03. Juni – 26. August 2013

Prüfer: Prof. Dipl. Restaurator ERWIN EMMERLING

Betreuerin: Dipl. Restauratorin Univ. SIMONE MILLER

Kurzfassung: Konsolidierungsmethoden an Gemälden mit BEVA®371

Der Heißsiegelkleber BEVA®371 (BERGERs Ethylenvinylacetat) wurde 1970 von GUSTAV A. BERGER entwickelt und ist seitdem aus der restauratorischen Praxis nicht mehr wegzudenken. BEVA®371 wird im deutschsprachigen Raum vor allem für Doublierungen und Randanstückungen eingesetzt.

In vorliegender Bachelor's Thesis wird die im deutschsprachigen Raum weniger bekannte Einsatzmöglichkeit von BEVA®371 zur Malschichtfestigung an Gemälden vorgestellt. Im ersten Teil der Arbeit wird das Material BEVA®371 theoretisch behandelt. Schwerpunkte sind hier die Entwicklungsgeschichte und Produkte sowie die chemische Zusammensetzung und die materialspezifischen Eigenschaften, die Änderung der ursprünglichen Formulierung von BEVA®371 im Jahr 2010 und die Alterung von BEVA®371.

Nach einem kurzen Überblick über die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten wie Doublierung, Facing, Imprägnierung und Festigung, folgt der praktische Teil dieser Thesis: eine Fallstudie zur Festigung des Gemäldes „*Composition*" (1961) von SERGE POLIAKOFF (Pinakothek der Moderne, München). Um eine geeignete BEVA®371-Lösung zu finden, wurden Zugversuche durchgeführt. Darauf wurden Festigungs-Teststellen am Gemälde „*Composition*" angelegt.

Als Ergebnis dieser Arbeit wird festgehalten, dass die Malschichtfestigung mit BEVA®371 zufriedenstellend ist und für bestimmte Schadensbilder durchaus eine Alternative zu anderen Festigungsmitteln, wie z. B. Hausenblase, darstellt. Eine Benutzung der BEVA®371-Lösung muss anhand verschiedenster Kriterien abgewogen werden. Diese werden in der Bachelor's Thesis behandelt.

Abstract: Methods of consolidation for painting layers with BEVA®371

The heat-seal-adhesive BEVA®371 (Berger ethylene-vinyl-acetate) was developed in 1970 by GUSTAV A. BERGER and became indispensable for the restoration practice. In German-speaking countries BEVA®371 is used especially for linings and strip-linings.

This Bachelor's Thesis discusses the – in German-speaking countries – lesser-known possibility of using BEVA®371 as a consolidant for flaking paint layers. In the first section the material BEVA®371 is introduced theoretically. Key priorities include the development history, products, the chemical composition, the resulting specific properties of the material and the modification of the original formulation of BEVA®371 in 2010 as well as the aging of BEVA®371.

The brief overview of the most common methods of treatments with BEVA®371 such as lining, facing, impregnation and consolidation is followed by the practical part of this thesis: a case study of consolidation of the painting "*Composition*" (1961) by SERGE POLIAKOFF (Pinakothek der Moderne, Munich). To find a

suitable BEVA®371-solution, tensile tests were carried out. Afterwards, consolidation test samples were created on the painting "*Composition*".

Result of this work is that the flaking paint layer consolidation with BEVA®371-solution is satisfactory and that it is an alternative to other consolidants such as sturgeon glue for certain damage patterns. However, different criteria should be assessed before starting a consolidation treatment with BEVA®371-solution. These are developed in the Bachelor's thesis.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelor's Thesis selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Texten entnommen sind, wurden unter Angabe der Quellen (einschließlich des World Wide Web und anderer elektronischer Text- und Datensammlungen) und nach den üblichen Regeln des wissenschaftlichen Zitierens nachgewiesen. Dies gilt auch für Zeichnungen, bildliche Darstellungen, Skizzen, Tabellen und dergleichen. Mir ist bewusst, dass wahrheitswidrige Angaben als Täuschungsversuch behandelt werden und dass bei einem Täuschungsverdacht sämtliche Verfahren der Plagiatserkennung angewandt werden können.

München, den 26. August 2013

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

2 BEVA®371 – Entwicklungsgeschichte und Produkte ... 3

2.1 GUSTAV A. BERGER – Biographie ... 3
2.2 BEVA®371 Produkte ... 5

3 Eigenschaften von BEVA®371 ... 8

3.1 Chemische Zusammensetzung ... 8
3.2 Eigenschaften als Klebemittel ... 13
3.3 Filmbildung und -aktivierung ... 15
3.4 Änderung der Formulierung ... 17
3.5 Alterungseigenschaften ... 19

4 Anwendungsmöglichkeiten ... 23

4.1 Doublierung ... 23
4.2 Facing ... 28
4.3 Imprägnierung ... 29
4.4 Festigung ... 31

5 Fallstudie: SERGE POLIAKOFF, „*Composition*" (1961) ... 35

5.1 SERGE POLIAKOFF – Leben und Werk ... 35
5.2 Maltechnik ... 39
5.3 SERGE POLIAKOFF, „*Composition*", 1961 – Zustandsdokumentation ... 45
5.4 Zugversuch ... 53
5.5 Festigungskonzept ... 62

6 Schlussbemerkung und Ausblick ... 68

7 Literatur ... 70

7.1 Literatur ... 70
7.2 Weiterführende Literatur ... 74

8 Abbildungen ... 75

9 Tabellen ... 79

Anhang ... 80

I. Querschliff, SERGE POLIAKOFF, „*Composition*", 1961 ... 80
II. Zugversuch ... 87
III. Malschichtfestigung mit BEVA®371 ... 92
IV. Verwendete Materialien ... 97

„An artist has the right to express his feelings and experience in his work. When artists sometimes do this without concern for the durability or survival of their work, then it becomes the task of the conservator to preserve for future generations such seemingly fleeting expressions of the spirit of our time."[1] (G. BERGER)

1 Einleitung

Diese Bachelor's Thesis wurde am 26. August 2013 an der Technischen Hochschule München dem Lehrstuhl für Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft vorgelegt.[2]

BEVA®371 ist ein Material, das aus der restauratorischen Praxis nicht mehr wegzudenken ist. Nach seiner Entwicklung 1970 durch GUSTAV A. BERGER wurde dieser Heißsiegelkleber vor allem für Leinwanddoublierungen eingesetzt. Im Laufe der Jahre entwickelte sich der Trend allerdings weg von der Doublierung. Die Anwendung von BEVA®371 wurde auf mehreren Konferenzen, Tagungen und in der Literatur diskutiert und dessen Verwendung am Vakuum-Heiztisch kritisch hinterfragt. Im deutschsprachigen Raum wird BEVA®371 heute hauptsächlich für Randanstückungen bei textilen Bildträgern eingesetzt.

Während eines Praktikums in einer privaten Restaurierungswerkstatt in New York lernte die Verfasserin das Material BEVA®371 und dessen Verwendung auf eine neue Art und Weise kennen. In den USA wird BEVA®371 neben Randanstückungen auch zur Festigung von v. a. wasserlöslichen Malschichten eingesetzt. So ließ sich bei den im Rahmen des Praktikums durchgeführten Konservierungen und Restaurierungen BEVA®371-Lösung gut unter beispielsweise gelockerte Malschichtschollen geben. Nach dem Trocknen des Klebemittels konnte mittels Wärme die Malschichtscholle gut am Malgrund fixiert werden.

In dieser Bachelor's Thesis beschäftigt sich die Verfasserin mit den Konsolidierungsmethoden an Gemälden mit BEVA®371. Die Arbeit geht auf die Entwicklung von BEVA®371 ein und erläutert welche Produkte dem Restaurator/in heute zur Verfügung stehen. Anschließend wird im Rahmen der Literaturrecherche die

[1] BERGER 1990, S. 1.

[2] Geprüft wurde die Thesis von Herrn Prof. Dipl. Restaurator Erwin Emmerling. Ein besonderer Dank bei der Betreuung der Arbeit gebührt Frau Dipl. Restauratorin SIMONE MILLER vom Doerner Institut München. Ein Dankeschön an alle, die mich bei meiner Bachelor's Thesis unterstützt haben: Herrn Prof. Dipl. Restaurator ERWIN EMMERLING, Ordinarius am Lehrstuhl für Restaurierung der TU München, Frau Dipl. Restauratorin IRENE GLANZER für die Ermöglichung der praktischen Fallstudie am Doerner Institut. Für die anregende Diskussion gilt mein Dank Frau URSULA BAUMER und Herrn Dr. sc. nat. PATRICK DIETEMANN. Frau Dr. Dipl. Restauratorin CRISTINA THIEME unterstützte mich dankenswerterweise bei der Querschliff-Untersuchung am Auflicht-, UV- und Rasterelektronen-Mikroskop. Für ihre Kooperation bei dieser Thesis und Bereitstellung von Bildmaterial danke ich dem Doerner Institut. Für die Unterstützung bei den Zugversuchen danke ich dem Lehrstuhl für Medizintechnik der TU München.

chemische Zusammensetzung von BEVA®371 beschrieben und im Hinblick auf die daraus resultierenden Eigenschaften ausgewertet. Dabei wird auch auf die Änderung der Formulierung von BEVA®371 im Jahr 2010 eingegangen. Zur Alterung von BEVA®371 werden Informationen aus der Literatur zusammengestellt. Um die Verwendung und Eigenschaften von BEVA®371 besser verstehen zu können, wird nicht nur auf die Festigung eingegangen, sondern zuvor ein Überblick über die unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten gegeben. Es folgt eine Fallstudie zur Festigung des Gemäldes „*Composition*" (1961) von SERGE POLIAKOFF (Pinakothek der Moderne, München). Im Rahmen des praktischen Teils dieser Bachelor's Thesis wurden Zugversuche gemacht.

Ferner wird die wichtigste Literatur über die Entwicklung, Eigenschaften und Anwendung von BEVA®371 genannt und ausgewertet. Mit Hilfe der Ergebnisse der Literaturrecherche sowie den praktischen Beobachtungen werden positive wie auch negative Aspekte der Festigung an Malschichten mit BEVA®371 gegenüber gestellt.

2 BEVA®371 – Entwicklungsgeschichte und Produkte

2.1 GUSTAV A. BERGER – Biographie

Der Gemälderestaurator GUSTAV A. BERGER wurde am 28. Juli 1920 in Wien, Österreich, geboren und ist dort aufgewachsen.[3] Seinen Eltern gehörten ein Antiquitätenladen und eine Reparatur-Werkstatt. Dort durfte BERGER schon im Kindesalter kleine Restaurierungsarbeiten an Miniaturen und gefassten Möbeln durchführen.[4]

BERGER studierte in Palästina Bauingenieurwesen am Haifa Technical Institute. 1940–46 diente er in der British Army und war von 1943–46 in der Allied Forces' Army of Occupation in Italien. Als die Lage Mitte 1945 ruhiger wurde, durften Soldaten beruflichen Tätigkeiten nachgehen. BERGERs Vater empfahl seinem Sohn eine Restauratorenausbildung zu beginnen. Zuerst lernte BERGER bei PODIO in Bologna. Hier führte er u. a. italienische Kleister-Doublierungen nach SECCO SUARDO aus. Im Juli 1946 musste BERGER nach Palästina zurück[5] und diente von 1947–48 der Israelischen Verteidigungskraft. Er wurde in Photogrammmetrie ausgebildet[6], wertete Luftbilder des Photogrammetrischen Instituts in Jerusalem aus und wurde Kartograph für das Israelische Ministerium für Landwirtschaft. Ab 1948 arbeitete er außerdem in der Restaurierung sowie Werbe- und Gebrauchsgrafik.[7] BERGER erklärte 1976 in einem Interview als Fellow of the American Institute for Conservation (FAIC): „*Photogrammetry is very good training for restoration. As a map maker you must have tremendous control of line drawing; photogrammetry is really perspective*."[8]

1954 zog BERGER mit seiner Frau nach New York[9] und arbeitete für mehrere gewerbliche Restaurierungsfirmen, wie z. B. JULIUS LOWYS. Von 1956–64 lernte er bei MARIO MODESTINI, der die Alte Meister Sammlung der Samuel H. Kress Foundation restaurierte.

1955 wurde der Vakuum-Heiztisch erfunden.[10] Dank BERGERs technischem Wissen baute er 1961 für MODESTINI einen der ersten Vakuum-Heiztische in den USA,[11] nachdem er einen auf der Ausstellung „*Exposition of Paintings Conservation: Materials, Methods, Machines*" im Brooklyn Museum (22.–26. Oktober 1962) gesehen hatte. Grund für den Eigenbau war, dass er vor Ort verfügbare Materialien benutzte und somit defekte Teile leichter ausgetauscht werden konnten. MODESTINI beauftragte BERGER die neue Technik zu erproben, wodurch BERGER anfing sich mit den Problemen von strukturellen Verstärkungen textiler Bildträger auseinanderzusetzen. BERGER doublierte einige Gemälde auf dem Vakuum-Heiztisch mit Wachs.

[3] STONER 2006, S. 155.
[4] BERGER & RUSSELL 2000, S. 1.
[5] BERGER & RUSSELL 2000, S. 2.
[6] STONER 2006, S. 155.
[7] BERGER & RUSSELL 2000, S. 2.
[8] STONER 2006, S. 155.
[9] STONER 2006, S. 155.
[10] BERGER & RUSSELL 2000, S. 2 f.
[11] STONER 2006, S. 155.

Von 1964–67 arbeitete BERGER im Atelier von WILLIAM SUHR, Chefrestaurator der FRICK Collection in New York. Hier erlernte er die Technik Holzbildträger zu pressen und die Oberfläche dabei durch ein Facing zu schützen.

1966 trat BERGER der IIC-American Group bei. Zu diesem Zeitpunkt lernte er ORRIN RILEY, Chefrestaurator des Guggenheim Museums, ALAIN BOISSONNAS, der für den New Yorker Kunsthändler KNOEDLER arbeitete, und MARGARET WATHERSTON, eine freischaffende Restauratorin, die für das Whitney Museum arbeitete, kennen. BERGER stellte die drei PIERO MANNONI und Kollegen von MODESTINIs und SUHRs Atelier vor und alle zusammen bildeten eine Gruppe, die sich mit Bildträgerverwerfungen beschäftigte.

SUHR fragte BERGER um Rat als er Probleme hatte, ein Klebemittel zu finden, das auf schwerem, glattem, fettigem, öligem Grund haftet. Zur gleichen Zeit arbeitete GAWELEK an einem Gemälde, auf dem Leim nicht haften blieb und Wachs die lose Malschicht nicht dauerhaft fixieren konnte.[12] BERGER: „*Since I had gained the reputation of a trouble shooter, SUHR asked me to formulate an adhesive that would be stronger than wax, free of the hazards of aqueous glue-paste, stick to oil paint, and be reversible.*“[13] SUHR ließ ihn während der Arbeitszeit daran arbeiten. Als SUHR nach einem Jahr aufgab, wollte BERGER dennoch weiter forschen. 1967 erhielt er einen zweijährigen Forschungsprojekt-Zuschuss der Kress Foundation[14] und gründete sein erstes eigenes Atelier.[15] Im Jahr 1970 entwickelte er die Formel von BEVA®371[16] (BERGERs Ethylenvinylacetat, Abb. 1)[17]. Das neue Material BEVA®371 wurde in der amerikanischen IIC Workgroup für Klebemittel diskutiert und 1972 wurde auf der IIC Tagung „*Conservation of Paintings and Graphic Arts*“ in Lissabon die Entwicklungsarbeit und Zusammensetzung des neuen Klebemittels vorgestellt. Im selben Jahr begann die Entwicklung des BEVA®Firnisses und 1973 erhielt BERGER den Auftrag einen Papierkleber zu entwickeln. 1974 wurden auf der IIC Tagung in Greenwich Doublierungstechniken vorgestellt und diskutiert, wo auch BEVA®371 ein großes Thema war.[18] Laut einer Studie von GERRY HEDLEY vom Courtauld Institute of Art in London wurde BEVA®371 bis 1984 zum meist verwendeten Klebemittel in der Gemälderestaurierung. BERGER erhielt mindestens 16 weitere

Abb. 1 MIRA und GUSTAV BERGER stellen BEVA®371 auf einer AIC Tagung 1970 vor.

[12] BERGER & RUSSELL 2000, S. 3 f.
[13] BERGER & RUSSELL 2000, S. 5.
[14] BERGER & RUSSELL 2000, S. 5.
[15] STONER 2006, S. 155.
[16] BERGER & RUSSELL 2000, S. 5.
[17] STONER 2006, S. 155.
[18] MAGNUSSON 1999, S. 1.

Forschungszuschüsse und veröffentlichte über 60 Publikationen. Im Jahr 2000 wurde sein bekanntestes Werk „*Conservation of Paintings. Research and Innovations*" mit WILLIAM H. RUSSELL bei Archetype Publications veröffentlicht. BERGER hielt über 20 Jahre lang Workshops in Kanada, Großbritannien, Italien, Österreich, Spanien, den Niederlanden, Brasilien und den USA und bildete Studenten aus.
Er erhielt 1982 für die Konservierung des „*Atlanta Cyclorama*"[19] den Georgia Governor's Award for Excellence sowie das österreichische Ehrenzeichen für Kunst und Wissenschaft erster Klasse. Weitere Auszeichnungen bekam BERGER von der Art Restorers Association of The Netherlands, der IIC-Gruppe Spaniens und in Polen für die Restaurierung des „*Panorama von Raclawice*". 1991 wurde BERGER Ehrenmitglied des AIC. Am 5. März 2006 verstarb BERGER im Alter von 86 Jahren.[20]

2.2 BEVA®371 Produkte

Im Handel sind verschiedene BEVA®371-Produkte unterschiedlicher Hersteller erhältlich: BEVA®371 von C.T.S. (Italien), CPC (USA) und 87035 Heißsiegelkleber von Lascaux (Schweiz).[21] Nicht alle Hersteller haben jedoch eine Lizenz BEVA®371 zu produzieren. Das folgende Unterkapitel soll einen Überblick über die Hersteller und Produkte von BEVA®371 geben.

Ein Grund BEVA®371 industriell herzustellen ist, dass die dafür benötigten Materialien v. a. für Einzelpersonen schwer zu besorgen sind, da sie oft nur in großen Mengen gehandelt werden.[22] In älteren Quellen findet man die Angabe, dass BEVA®371 von Adam Chemical Company und Lascaux produziert und verkauft wird.[23] Herr CHLUDZINSKI von Conservator's Products Company bestätigte in einer schriftlichen Mitteilung, dass zuerst Adam Chemical Company BEVA®371 herstellte. Allerdings wurde deren Lizenz durch BERGER entzogen.[24] Kurz darauf wurde 1986 CPC[25] in Flanders, New Jersey, USA[26] gegründet, um die Produktion von BEVA®371 sicherzustellen. Zuerst konzentrierte sich die Herstellung auf BEVA®371-Film und -Lösung. Später wurden weitere Produkte in Zusammenarbeit mit BERGER und anderen Restauratoren entwickelt und auf den Markt gebracht.[27] Adam Chemical Company gaben im Dezember 1988 bekannt, dass sie weiterhin einen Klebefilm unter dem Namen ADAM™ EVA FILM verkaufen werden. Der Präsident von CPC. schrieb um Missverständnisse zu klären: „*BEVA® is a registered trademark. Our company has the license for the exclusive use of this trademark. Therefore BEVA®371 film is*

[19] Das „*Cyclorama of the Battle of Atlanta*" wurde von der American Panorama Company in Milwaukee, Wisconsin im Jahr 1885 angefertigt. Es handelt sich hier um ein Ölgemälde auf textilem Bildträger (13 x 106 m). BERGER bezeichnet es als sein wichtigstes Projekt (BERGER & RUSSELL 2000, S. 227 f.).
[20] STONER 2006, S.155 f.
[21] EIS 2013a.
[22] RAFT 1973, S. 38.
[23] BERGER 1975, S. 146.
[24] CHLUDZINSKI 2013b.
[25] CPC 2012a.
[26] CPC 2012b.
[27] CPC 2012a.

available exclusively from our company."[28]

CPC arbeitet mit C.T.S. in Italien zusammen, die eine Lizenz für die Produktion von BEVA®371 in Europa besitzen. CPC stellt den BEVA®371-Film her, während C.T.S. die BEVA®371-Lösung produziert.[29]

C.T.S. produziert BEVA®371 seit dem 7. Juni 1990. Da es auch heute noch viele nicht autorisierte Imitationen auf dem Markt gibt, die nicht immer die reinen Inhaltsstoffe bzw. die Originalformulierung verwenden, änderte BERGER den Namen zu „Gustav Berger's Original Formula 371".[30]

Lascaux produzierte ebenfalls BEVA®371.[31] 1996 musste Lascaux aus patentrechtlichen Gründen die Produktbezeichnung zu Heißsiegelkleber 375 ändern. Die Rezeptur habe sich laut einer Mitarbeiterin nicht verändert.[32]

BEVA®371 ist in unterschiedlichen Formen zu erwerben:

- CPC bietet *BEVA®Lösung*, *BEVA®Film*, *BEVA®Tex*, *BEVA®D-8 Disperison*, *BEVA®Firnis (finishing und matt)* und *BEVA®gesso an*.[33]
- C.T.S. bietet *BEVA®Original Formula D-8 Dispersion*, *BEVA®Original Formula Lösung*, *BEVA®Original Formula 371 Film*, *Gustav Bergers Original Formula Isolating PVA spray varnish*, *Gustav Bergers Original Formula PVA inpainting medium*, *Gustav Bergers Original Formula 371 (BEVA®371)* und *Gustav Bergers Original Formula Line* an.[34]
- Kremer-Pigmente verkauft *BEVA®D-8 Dispersion*, *BEVA®Isolierfirnis*, *BEVA®371 Heißsiegelkleber*, *BEVA®371 Film (dünn, dick)* und *BEVA®TEX*.[35]
- Lascaux stellt weiterhin *Heißsiegelkleber 375*, *Heißsiegelkleber 375 Film* und *Trockenmischung* her.[36]

In dieser Arbeit wird vor allem auf BEVA®371-Lösung eingegangen. Für die Testreihen (Vgl. Kap. 5.4) wurde BEVA®371 Heißsiegelkleber von Kremer-Pigmente verwendet, die diesen von C.T.S. beziehen.

[28] Abbey Newsletter 1989.
[29] CHLUDZINSKI 2013b.
[30] C.T.S. (o. J.).
[31] BERGER 1975, S. 146.
[32] BOSSOTTO 2013.
[33] CPC 2012c.
[34] CPC 2012c.
[35] Kremer-Pigmente 2013.
[36] Lascaux (o. J.), S. 1 f.

3 Eigenschaften von BEVA®371

Bevor im Detail auf die chemische Zusammensetzung und die technischen Klebemittel-Eigenschaften von BEVA®371 eingegangen wird, werden zuerst die wichtigsten Fakten, die auf den Datenblättern zu BEVA®371 angegeben werden, zusammengestellt. Es ist wichtig, sich mit der Handhabung und den Sicherheitsregeln von BEVA®371 vor Benutzung auseinanderzusetzen, da sonst die eigene Gesundheit bzw. die von Personen im gleichen Raum gefährdet werden könnte.[37]

Die BEVA®371-Lösung und der BEVA®371-Film werden speziell für den Künstler- und Restauratorenbedarf hergestellt.[38] Während der Film eine feste Form hat und eine hell-transparente Farbe sowie kunststoffartigen Geruch aufweist,[39] ist die Lösung eher opalartig und weist einen charakteristischen Geruch auf, der vor allem durch die Lösemittel zustande kommt.[40] Der Schmelzbereich von BEVA®371-Film liegt zwischen 65–75 °C und der Flammpunkt bei 260 °C.[41] Die BEVA®371-Lösung besitzt einen Siedepunkt zwischen 120–150 °C und der Flammpunkt ist > 21 °C (DIN 51 758). Bei 235 °C entzündet sich die Lösung von selbst. Die Dichte beträgt 0,92 g/cm^3. BEVA®371 ist in Wasser unlöslich und in aromatenhaltigen Lösemitteln löslich.

Wird BEVA®371-Lösung wie in den Sicherheitsdatenblättern beschrieben gelagert und angewendet, sind keine gefährlichen Reaktionen bekannt. Der Kontakt mit Oxidationsmitteln, Alkalien und starken Säuren sollte vermieden werden. Gefährliche Zersetzungsprodukte, wie z. B. Kohlensäuremonoxid, Kohlensäuredioxid und Stickoxide können bei zu hohen Temperaturen entstehen.

[37] BEVA®371-Lösung ist auf Grund der enthaltenen Lösemittel Leichtentzündlich (F), Gesundheitsschädlich (Xn) und Umweltgefährlich (N). Es sind folgende R-Sätze: Leichtentzündlich (R11), Gesundheitsschädlich beim Einatmen (R20), Toxisch für Wasserorganismen (R 51/53) sowie S-Sätze: Behälter an einem gut gelüftetem Ort aufbewahren (S 9), von Zündquellen fernhalten – nicht rauchen (S 16), Dampf nicht einatmen (S 23), Berührung mit der Haut und den Augen vermeiden (S 24/25), nicht in die Kanalisation gelangen lassen (S 29) zu beachten. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass ab dem 01.06.2015 nicht mehr R- und S-Sätze bei Gemischen, sondern H- und P-Sätze angegeben werden müssen (PFATTHEICHER & WÜNSCHE 2011). BEVA®371-Lösung ist wassergefährdend (Wassergefährdungsklasse: WGK 2). Während der Arbeit mit BEVA®371-Lösung ist Haut- und Augenkontakt zu unterlassen und die Dämpfe sollten nicht eingeatmet werden. Bei der Anwendung und Lagerung von BEVA®371-Lösung dürfen sich keine Zündquellen in der Nähe befinden. Der Kontakt mit Oxidationsmitteln, Alkali und starken Säuren ist zu vermeiden und Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen sind vorzunehmen. Nach der Benutzung sollte der Lagerbehälter immer dicht verschlossen und an einem gut gelüfteten Ort bei 4–40 °C aufbewahrt werden. Zugang sollten nur befugte Personen haben. BEVA®371-Lösung gehört zur Lagerklasse (VCI): 3 A und wird zu den entzündlichen flüssigen Stoffen gezählt. Da der Flammpunkt unter 21 °C ist, wird BEVA®371 in VbF-Klasse: A I geführt. Wegen der Inhaltsstoffe Toluol, Oktane, Isomere und Kohlenwasserstoffmischung ist die Anwendung von BEVA®371-Lösung nur in gelüfteten Räumen zulässig und die Expositionszeit der Arbeitnehmer ist zu überwachen. Zur persönlichen Schutzausrüstung gehören Schutzkleidung, Atemschutz je nach Belastungsart (kurzzeitige/geringe Exposition) oder ein Umluft unabhängiges Atemschutzgerät (intensive/längere Exposition). Es sollten eine Schutzbrille und geeignete Schutzhandschuhe (nach EN 374) getragen werden. Wird das Arbeiten unterbrochen oder beendet, müssen die Hände gründlich gewaschen werden. Am Arbeitsplatz darf weder geraucht noch gegessen werden (Kremer-Pigmente 2006).
[38] Kremer-Pigmente 2006.
[39] Kremer-Pigmente 2003.
[40] Kremer-Pigmente 2006.
[41] Kremer-Pigmente 2003.

Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit und Muskelschwäche sind Anzeichen für eine Vergiftung. Bei zu langer und wiederholter Überexposition kann es zu Irritationen des Atemsystems und zu Schädigungen der Nieren und des zentralen Nervensystems kommen.
Abfall muss gereinigt und unter Berücksichtigung der behördlichen Vorschriften bei einer geeigneten Deponie oder Abfallverbrennungsanlage entsorgt werden. Ist es nicht möglich die Verpackung zu reinigen, ist diese sowie der sich darin befundene Stoff zu beseitigen.[42]

Bei der Anwendung von BEVA®371-Film müssen keine besonderen Sicherheitsmaßnahmen beachtetet werden, da in dem ausgehärteten Film kein Lösemittel mehr vorhanden ist.

3.1 Chemische Zusammensetzung

Auf dem Sicherheitsdatenblatt zum Trockenharz BEVA®371 von CPC ist folgende Zusammensetzung angegeben: 60 % Ethylenvinylacetat, 27 % Cyclohexanon Homopolymer, 9 % Paraffinwachs und 4 % Phthalat-Ester des Hydroabietylalkohols.[43]

Die BEVA®371-Lösung wird von CPC in zwei Päckchen zum Anmischen verkauft, da die Transportkosten für gebrauchsfertige BEVA®371-Lösung zu groß wären.

- Päckchen A beinhaltet 500 g Elvax®150 (DuPont), 300 g Laropal®K80 (BASF)[44](vor 1979[45] Keton N (BASF)[46]) und 40 g Cellolyn™21 (Hercules). Diese Inhaltsstoffe werden mit 1000 g Toluol und 250 g Naphtha[47] gemischt, erwärmt und im Wasserbad so lange gerührt, bis es klumpenfrei ist.
- In Päckchen B befinden sich 170 g A-C™ Copolymer 400 (Allied Chemical) und 100 g Paraffin (Ölfrei, Schmelzpunkt 65 °C), die man zusammen im Wasserbad erwärmt bis es klumpenfrei ist.
- Dann wird Lösung B zu Lösung A hinzugegeben. Beides wird gut verrührt und im Wasserbad langsam abgekühlt.[48]

[42] Kremer-Pigmente 2006.
[43] Talas 2003.
[44] CPC (o. J.), S. 5.
[45] KOLLER & BAUMER 2001, S. 30.
[46] RAFT 1973, S. 37.
[47] Der Begriff Naphtha wird in Kapitel 5.4 näher erläutert.
[48] CPC (o. J.), S. 5.

Vergleicht man die Angaben zum Trockenharz BEVA®371 mit denen der BEVA®371-Lösung erhält man folgende Tabelle:

Tab. 1 Chemische Zusammensetzung von BEVA®371 (CPC).

BEVA®371-Lösung (%)			**Trockenharz BEVA®371**
(g)	(%-Angabe bezogen auf gesamte Lösung)	(%-Angabe bezogen auf Trockenharz)	(%)
A-C™ Copolymer 400 (170 g) Elvax®150 (500 g)	A-C™ Copolymer 400 (5,84 %) Elvax®150 (17,18 %)	A-C™ Copolymer 400 (15,32 %) Elvax®150 (45,05 %)	Ethylenvinylacetat (60 %)
Laropal®K80 (300 g)	Laropal®K80 (10,31 %)	Laropal®K80 (27,03 %)	Cyclohexanon Homopolymer (27 %)
Paraffin (100 g)	Paraffin (3,44 %)	Paraffin (9 %)	Paraffin (9 %)
Cellolyn™21 (40 g)	Cellolyn™21 (1,37 %)	Cellolyn™21 (3,6 %)	Phtalat-Ester des Hydro-abitylalkohols (4 %)
Naphtha (800 g) Toluol (1000 g)	Naphtha (27,49 %) Toluol (34, 36 %)	Trockenharz enthält keine Lösemittel	Trockenharz wird 40 %ig in Lösemitteln angesetzt → 60 % Lösemittelanteil

Anmerkungen zur Tabelle:
Quelle der Grammangaben der BEVA®371-Lösung: CPC (o. J.), S. 5.
Quelle der Prozentangaben des BEVA®371-Trockenharz: Talas 2003.

Die gebrauchsfertige BEVA®371-Lösung besteht zu 38,15 % aus Feststoffen und zu 61,85 % aus Lösemitteln. Das Trockenharz soll 40 %ig in Lösemitteln angesetzt werden. Beim Trockenharz sind die Angaben etwas allgemeiner gehalten und werden durch die Angaben der BEVA®371-Lösung ergänzt.

Zum Vergleich ist hier die Zusammensetzung des BEVA®371-Film (Kremer-Pigmente) aufgeführt. Der BEVA®371-Film wird als „*Harzmischung auf silikonbeschichtetem Polyester mit einem silikonbeschichtetem Zwischenblatt*" beschrieben. Die Harzmischung beinhaltet Ethylenvinylacetat Copolymer, Cyclohexanonharz, Phthalat-Ester des Hydroabietylalkohol und Paraffinwachs.[49] Diese Angaben stimmen mit denen von CPC überein. Als Unterschied zur Lösung ist bei dem Film der Lösemittelanteil bereits verflüchtigt.

[49] Kremer-Pigmente 2003, S. 1.

Bei der BEVA®371-Lösung gibt Kremer-Pigmente zusätzlich folgende Lösemittel an: 20–30 % Toluol, 10–20 % Oktane und Isomere, 5–10 % Kohlenwasserstoff Mischung (Benzen < 0,1 %) und 10–20 % Kohlenwasserstoff Mischung (Benzen < 0,1 %).[50]

Im Folgenden wird auf die einzelnen Inhaltsstoffe von BEVA®371 näher eingegangen.

Ethylenvinylacetat

Ethylenvinylacetat (EVA), auch Polyethylenvinylacetat genannt, bezeichnet eine Gruppe von Copolymeren. Ethylen ist mit einem Anteil von 80–60 % das Haupt-Comonomer.[51] Die Copolymerisation mit Ethylen ist in beliebigen Mengenverhältnissen als Emulsion oder in Lösung möglich.[52] In Vinylacetat (VAC) können funktionelle Gruppen eingebaut werden, wodurch Copolymere und Terpolymere mit modifizierbaren Eigenschaften entstehen.[53]

Die Eigenschaften von EVA werden durch das Verhältnis von Ethylen und Vinylacetat bestimmt. Ist weniger als 30 % VAC enthalten, ist es teilkristallin und thermoplastisch. Ist VAC zwischen 40–70 % enthalten ist es amorph und kautschukartig.[54] VAC setzt somit die Kristallinität von EVA herab und erhöht die Löslichkeit.[55] Je mehr VAC enthalten ist, desto größer sind Dichte, Flexibilität, Aufnahmevermögen für Pigmente und Füllstoffe, Witterungsbeständigkeit und Verträglichkeit mit anderen Bindemitteln. Schmelztemperatur, Härte und Chemikalienbeständigkeit sinken dagegen bei ansteigendem VAC-Gehalt. Bei 70–95 % VAC besitzt das Polymer eine geringe Wasserdampf- und Gasdurchlässigkeit. Wird das Produkt nur als Zusatz in geringen Mengen eingesetzt, verbessert es die Haftfestigkeit.[56] Wenn EVA-Polymere bis zu 10 % der Gesamtmasse ausmachen, wirken sie mattierend.[57]
Im Allgemeinen liegt die Glasübergangstemperatur (T_g-Wert) von VAC unter 0 °C;[58] der T_g-Wert von EVA liegt bei -24 °C. [59]
Homopolymere PVAC-Dispersionen sind hart und spröde, während Copolymere vergleichsweise weich sind. Deswegen empfiehlt EIPPER beide je nach Anforderungen zu mischen und Härte sowie Elastizität einzustellen. Werden Homopolymere zu Copolymeren PVAC gemischt, erhöht dies den Widerstand gegenüber Zugbelastungen und macht Filme unflexibler und spröder.[60]

[50] Kremer-Pigmente 2006.
[51] HORIE 1987, S. 87.
[52] RÖMPP 1998, S. 209.
[53] EIPPER 1997, S. 23.
[54] EIPPER 1997, S. 23.
[55] HORIE 1987, S. 87.
[56] RÖMPP 1998, S. 209.
[57] HORIE 1987, S. 106.
[58] HORIE 1987, S. 87.
[59] HORIE 1987, S. 182.
[60] EIPPER 1997, S. 24.

Der VAC-Anteil in EVA bewirkt außerdem, dass die Tendenz zum Vernetzen bei der Alterung unter UV-Licht herabgesetzt wird.[61] Die Stabilität beträgt über 100 Jahre.
In der Restaurierung wird EVA seit 1966 benutzt.[62] Die Hauptanwendung ist bei den Heißsiegelklebern zu finden.

Von den in BEVA®371 verwendeten Inhaltsstoffen enthält Elvax®150 ca. 33 % und A-C™ Copolymer 400 ca. 15 % VAC.[63]
Elvax® (DuPont) wird mit unterschiedlichen Benennungsnummern wie Elvax®Resin grade 40, 150, 210, etc. benannt. Die Nummern stehen für die unterschiedliche Molekulargewichte und Vinylacetatanteile sowie die Anteile an Copolymeren von Polyethylen und Polyvinylacetat. Der Erweichungspunkt von Elvax®150 liegt zwischen 65–95 °C. Der Erweichungspunkt von A-C™ Copolymer 400 liegt bei 83 °C.[64]

Ketonharze

Ketonharze gehören zu den mittelharten Harzen. Allgemein entstehen sie durch Polykondensation aus Cyclohexanon oder Methylcyclohexanon oder durch Mischkondensation aus Ketonen und Formaldehyd.[65]
Laropal®K80 (Synonym Ketonharz N (BASF)) entsteht als Kondensationsprodukt durch das Erhitzen von Cyclohexanon.[66]
Ketonharze sind hell und unverseifbar. Ihr T_g-Wert liegt zwischen 80–130 °C[67] (Keton N (BASF) 75–90 °C)[68] und sie trocknen physikalisch. Ketonharze sind in den meisten organischen Lösemitteln löslich und können mit anderen Kunstharzen gemischt werden.[69] Die Polymere sind hart und auf Grund ihres niedrigen Molekulargewichtes spröde.[70]
Ketonharz absorbiert Licht und ist auf Grund der Hydroxylgruppen gegenüber Oxidation anfällig. Alterungstests zeigen, dass unter UV-Licht Sauerstoff absorbiert wird, wodurch beim Lösen stärker polare Lösemittel benötigt werden. Außerdem vergilben Ketonharze mit der Zeit im Dunkeln.[71] Die Stabilität von Cyclohexanonpolymeren (z. B. Ketonharz) schwankt zwischen 20–100 Jahren.
Seit 1930 wird Cyclohexanon industriell hergestellt und seit 1952 in der Restaurierung verwendet.[72] Ketonharz N wurde von 1960–1979 von BASF hergestellt.[73] 1979 wurde der Handelsname Ketonharz N zu Laropal®K80 geändert. Das „K" steht für Ketonharz und die „80" für den Erweichungspunkt.[74]

[61] HORIE 1987, S. 87.
[62] HORIE 1987, S. 182.
[63] HORIE 1987, S. 89.
[64] BERGER 1972, S. 191.
[65] RÖMPP 1998, S. 322.
[66] HORIE 1987, S. 116.
[67] RÖMPP 1998, S. 322.
[68] BERGER 1972, S. 191.
[69] RÖMPP 1998, S. 322.
[70] HORIE 1987, S. 116.
[71] HORIE 1987, S. 116.
[72] HORIE 1987, S. 183.

Phthalat-Ester

Das in BEVA®371 enthaltene Cellolyn™21 ist ein Phthalat-Ester des Hydroabietylalkohols. Es ist ein blasses, klebriges Harz. Sein Erweichungspunkt liegt bei 65 °C.[75] Cellolyn™21 ist im Hinblick auf die Alterungseigenschaften ein relativ stabiles Harz.[76]

Allgemein können Harze wie Weichmacher wirken und die Glasübergangstemperatur von Polymeren herabsetzen. Die Art und Weise, wie ein Harz das entsprechende Polymer beeinflusst, ist abhängig von dem Löslichkeitsparameter. Des Weiteren haben Harze in Klebemitteln Einfluss auf das Fließ- und Kriechverhalten sowie die Klebstoffviskosität. Z. B. ermöglicht eine durch Harzzusatz verursachte geringere Klebstoffviskosität einen höheren Festkörpergehalt. Dadurch ist der Lösemittelanteil kleiner und die Trocknungs- bzw. Abbindezeiten werden kürzer. Auf Grund des geringen Molekulargewichts wird die Kohäsion verringert und die Adhäsion verbessert.[77]

Paraffin

Paraffin ist ein mikrokristallines Wachs. Für BEVA®371 wird ölfreies Paraffin verwendet. Der Schmelzpunkt liegt bei 65 °C. BERGER verwendete Essowax 4610 von dem Hersteller Humble Oil and Refining Co.[78]

Allgemein verbessern Wachse als Klebemittelzusatz die Adhäsion, Klebrigkeit und Stabilität und vermindern die Schmelzviskosität.[79] Wenn mikrokristallines Wachs bis zu 47 % der Gesamtflüssigkeit ausmacht, wirkt es mattierend.[80]

[73] KOLLER & BAUMER 2001, S. 28.
[74] KOLLER & BAUMER 2001, S. 30.
[75] BERGER 1972, S. 191.
[76] HORIE 1987, S. 149.
[77] HABENICHT 1997, S. 145.
[78] BERGER 1972, S. 191.
[79] HABENICHT 1997, S. 146.
[80] HORIE 1987, S. 106.

3.2 Eigenschaften als Klebemittel

Nachdem im letzten Kapitel die chemische Zusammensetzung dargestellt wurde, soll nun betrachtet werden, welche Klebemittel-Eigenschaften von BEVA®371 durch die einzelnen chemischen Inhaltsstoffe verursacht werden.

BEVA®371 besteht aus einer Mischung von hoch und niedrig molekularen Polymeren.[81] Die Inhaltsstoffe mit hohem Molekulargewicht sind die Ethylenvinylacetate A-C™ Copolymer 400 und Elvax®150.[82]
Wie in Kapitel 3.1 erwähnt, enthält Elvax®150 ca. 33 % und A-C™ Copolymer 400 ca. 15 % VAC.[83] Dies bedeutet, dass sie teilkristallin und thermoplastisch sind.[84] Der VAC-Anteil reduziert die Kristallbildung und erhöht die Flexibilität und Löslichkeit.[85]
A-C™ Copolymer und Elvax®150 haben hohe Erweichungstemperaturen von 83–95 °C[86] und sorgen für Gestalt-, Zäh-[87] und Haftfestigkeit.[88] Da es auf Grund der hohen Erweichungstemperaturen keinen Kaltfluss bei Raumtemperatur gibt, bleiben die Klebeverbindung und somit niedergelegte Malschichtschollen fixiert.[89]
Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Ethylenvinylacetate entscheidend für die Ausbildung heißsiegelfähiger Klebemittel-Eigenschaften sind und neben Flexibilität und Löslichkeit auch für die Klebekraft sorgen.

Laropal®K80 besitzt ein niedriges Molekulargewicht[90] und eine Erweichungstemperatur von 75–90 °C.[91] Dadurch verringert es die Zähflüssigkeit (Klebstoffviskosität) sowie die Glasübergangstemperatur von BEVA®371 und modifiziert somit die Festigkeit. Bei der Aktivierungstemperatur verhält sich Laropal®K80 wie ein Lösemittel, das die EVA-Polymere auflöst und eine Benetzung der Fügeteile ermöglicht, was für eine gute Verbindung wichtig ist.[92] Als Harz übernimmt es in der Zusammensetzung von BEVA®371 ebenfalls Aufgaben eines Klebemittels.

Cellolyn™21 und Paraffinwachs haben beide einen Erweichungspunkt von 65 °C, verringern dadurch den Gesamterweichungspunkt von BEVA®371 und verstärken die Benetzung.[93] Sie wirken somit als Weichmacher, sind jedoch bei Raumtemperatur fest und gehen keine Wechselwirkungen mit sich selbst oder

[81] BERGER 1975, S. 126 f.
[82] KRONTHAL et al. 2003, Kap 2.1.
[83] HORIE 1987, S. 89.
[84] EIPPER 1997, S. 23.
[85] MAGNUSSON 1999, S 2.
[86] BERGER 1972, S. 191.
[87] KRONTHAL et al. 2003, Kap 2.1.
[88] RÖMPP 1998, S. 209.
[89] BERGER 1975, S. 126 f.
[90] HORIE 1987, S. 116.
[91] BERGER 1972, S. 191.
[92] KRONTHAL et al. 2003, Kap 2.1.
[93] KRONTHAL et al. 2003, Kap 2.1.

anderen Materialien ein. Anders als bei Haftklebstoffen[94] entweicht bei BEVA®371 nicht der (im aktivierten Klebemittelzustand) flüssige Anteil, wodurch Klebekraftverlust eintreten würde. Dringt die flüssige Komponente von Haftklebstoffe in das Materialgefüge ein, wird die Gefahr von Fleckenbildung erhöht. Die Weichmacher in Haftklebstoffen beginnen mit sich selbst und anderen Materialien zu vernetzen, wodurch die Gesamtstruktur brüchiger wird. Tritt eine Vernetzung zwischen Klebemittel und zu verklebendem Material ein, können beide nicht mehr ohne Verluste voneinander getrennt werden. Dies kann bei BEVA®371 nicht passieren.[95]
Das Paraffinwachs beeinflusst zudem die Abbindegeschwindigkeit.[96] Cellolyn™21 erhöht durch seine Klebrigkeit die Klebefestigkeit.[97]
In Bezug auf die Alterung stellt Cellolyn™21 ein außerordentlich stabiles Harz dar.[98] Auch Paraffinwachs soll einer Vernetzung entgegenwirken[99] und die Löslichkeit erhalten, wodurch beide Materialien einen großen Einfluss auf die Wiederanlösbarkeit (Reversibilität) von BEVA®371 haben.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Klebefestigkeit v. a. durch die Ethylenvinylacetate und das Cyclohexanon Homopolymer (Ketonharz) sowie zusätzlich dem Phthalat-Ester gegeben ist.
Die Flexibilität, die u. a. durch die Ethylenvinylacetate gegeben ist, ist wichtig, damit sich das behandelte Material weiterhin „natürlich" bewegen kann. Paraffinwachs und Phthalat-Ester sind wichtig für die Siegeltemperatur und die Reversibilität.
Die Lösemittel dienen zu Verarbeitungszwecken und spielen bei der Filmbildung eine Rolle (Vgl. Kap. 3.3).

Das Besondere an BEVA®371 ist, dass es – im Gegensatz zu wässrigen Klebemitteln – keine Schrumpfung, Ausdehnung oder Erweichung des Materials, auf das es aufgetragen wird, auslöst.[100] Es dringt nur minimal in das Material, auf das es appliziert wird ein bzw. kann das Penetrationsvermögen eingestellt werden. Trotzdem bildet BEVA®371 einen starken nap-bond[101] aus.[102] Dadurch kann man BEVA®371 auf empfindliche Oberflächen, wie beispielsweise empfindliche Malschicht, applizieren (Vorteil u. a. für Facings). Das Schrumpfen und die Formänderung beim Heißsiegeln sind minimal.[103]

[94] Definition Haftklebstoffe: „*Viskoelastische Klebstoffe, deren abgebundener, trockener Film bei Raumtemperatur permanent klebrig ist und klebfähig bleibt. Die Klebung erfolgt durch leichten Anpressdruck sofort auf fast allen Substraten*." (ONUSSEIT 2013).
[95] BERGER & RUSSELL 2000, S. 119.
[96] KRONTHAL et al. 2003, Kap 2.1.
[97] BERGER 1972, S. 191.
[98] HORIE 1987, S. 149.
[99] KRONTHAL et al. 2003, Kap 2.1.
[100] BERGER 1975, S. 126 f.
[101] Definition nap-bond: Zur Herstellung der Klebeverbindung ist nur ein minimaler Oberflächenkontakt zwischen dem Klebemittel und der zu verklebenden Oberfläche notwendig (STANIFORTH & BOMFORD 1985, S. 68).
[102] KRONTHAL et al. 2003, Kap. 3.1.
[103] BERGER 1975, S. 126 f.

3.3 Filmbildung und -aktivierung

Bei der Anwendung von BEVA®371 ist besonders die Filmbildung für die Hafteigenschaften und Klebekraft der Klebung ausschlaggebend. Deswegen ist es notwendig, auf den Begriff „*Filmbildung*" näher einzugehen.

Filmbildung allgemein

Ein Filmbildner ist nach DIN 55945 „*derjenige Bestandteil des Bindemittels, der für das Zustandekommen des Films wesentlich ist*."[104] Der Filmbildner ist der wichtigste Bestandteil in einem Bindemittel. Die Filmbildung wird nach zwei Gruppen unterschieden: Filmbildung nach chemischer Reaktion (z. B. modifizierte Naturharze) und nach physikalischer Filmbildung (z. B. Cellulosederivate, Proteine, etc.).[105]
Bei der chemischen Filmbildung reagieren gleiche oder unterschiedliche reaktionsbereite Monomer- bzw. Prepolymermoleküle in der Klebefuge miteinander zur polymeren Klebeschicht. Dies findet zeit- und/oder temperaturabhängig und eventuell unter der Anwendung von Druck statt.[106] Dabei erfolgt eine Molekülvergrößerung.
Bei der physikalischen Filmbildung liegt der Filmbildner bereits in einer höhermolekularen Form chemisch fertig vor.[107] Die schon bestehenden Polymerverbindungen werden durch Lösemittelsysteme oder erhöhte Temperaturen in einen benetzungsfähigen Zustand gebracht bzw. bilden durch Druck Adhäsionskräfte mit den Fügeteiloberflächen aus. Es findet keine chemische Reaktion mehr in der Klebefuge statt,[108] sondern es muss nur noch das Lösemittel verdunsten.[109]

Reaktive Schmelzklebstoffe stellen eine Kombination der chemisch und physikalisch abbindenden Systeme dar (Kombinationshärtung). Sie werden warm auf die Fügeteile aufgetragen, ergeben nach Abkühlung eine ausreichende Handhabungsfestigkeit der Klebung und härten abschließend über chemische Reaktion vollständig aus.[110] Hierzu zählen z. B. Wachs-Harz-Mischungen.[111]

Filmbildung bei BEVA®371

BEVA®371 zählt zu den Heißsiegelklebstoffen, die von BERGER wie folgt definiert werden: „*The use of heat reactivation to prepare a joint with a thermoplastic material present, as a thin layer, on the adherends, bringing adherend surfaces to their melting point and bonding under pressure (SHIELDS)*."[112] Diese wärmeaktivierbaren Klebstoffe werden als Lösung, Emulsion, Dispersion oder Schmelze auf die Fügeteile

[104] KITTEL 1998, S. 137.
[105] KITTEL 1998, S. 137 ff.
[106] HABENICHT 1997, S. 7.
[107] KITTEL 1998, S. 138 f.
[108] HABENICHT 1997, S. 7.
[109] KITTEL 1998, S. 138 f.
[110] HABENICHT 1997, S. 7 f.
[111] BERGER 1978, S. 44.
[112] BERGER 1978, S. 44.

aufgetragen[113] und zusammen mit den Lösemittelklebstoffen aufgeführt.[114] Lösemittelklebstoffe binden physikalisch ab, da sich die Polymere bereits in ihrem molekularen Endzustand befinden und das Lösemittel ausschließlich zum Auftragen des Klebemittels dient. Im Gegensatz zu anderen Lösemittelklebstoffen[115] müssen bei Heißsiegelklebstoffen alle vorhandenen Lösemittel verflüchtigen, bevor der verbleibende nichtklebrige Klebstofffilm durch Wärme aktiviert wird.[116] BEVA®371 erreicht 95 % seiner Haftfestigkeit erst nach einer Trockenzeit von 18 Stunden[117] bei einer Aktivierungstemperatur von 65–70 °C. Das Heißsiegeln kann auch noch Tage bis Wochen nach der 18-stündigen Mindesttrockenzeit erfolgen, wodurch man z. B. Malschichtschollen in Ruhe in ihre ursprüngliche Position bringen kann. Durch die lange Trockenzeit verflüchtigen die Lösemittel und die Gefahr von Haftfestigkeitsversagen und Fleckenbildung wird herabgesetzt. Dagegen müssen noch nicht ganz durchgetrocknete BEVA®371-Schichten während ihrer Aktivierung beobachtet werden, da die noch vorhandenen Lösemittel in Risse und Malschichtporen eindringen und Farbveränderungen hervorrufen können.[118]

Einfluss der Siegeltemperatur

BEVA®371 verhält sich bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich. Bei ca. 55 °C beginnt BEVA®371 eine große Klebrigkeit zu sich selbst und anderen weichen Materialien zu bekommen. Bei dieser Temperatur gibt es keine Gefahr der Fleckenbildung und BEVA®371 kann für u. a. Textilien, Papier und Randanstückungen genutzt werden.[119] Jedoch ist die Klebekraft des Klebemittels noch nicht stark genug um ein deformiertes Gemälde zu doublieren. Die Mindesttemperatur für eine Gemälde-Doublierung liegt bei der Aktivierungstemperatur von 65 °C. Bei dieser Temperatur wird BEVA®371 flüssig, da der T_g-Wert überschritten wurde. Nun hat BEVA®371 seine maximale Klebekraft erreicht. Diese bleibt eine Weile bestehen, da ein erwärmtes und aktiviertes hochmolekulares Material Zeit braucht, um wieder zu erstarren und fest zu werden. Harzhaltige Malschichten werden bei dieser Temperatur weich und formbar und ermöglichen es dem Restaurator die Malschicht wieder in ihre Originalposition zu bringen.
Zwischen 65–70 °C bekommt BEVA®371 eine honigartige Konsistenz und wird sehr klebrig.
Warme BEVA®371-Lösung kann sogar an silikonbeschichteten Oberflächen haften, während BEVA®371-Film dies nicht tut.[120] Zur Senkung der Aktivierungstemperatur von BEVA®371 kann der Klebefilm mit Lösemitteln besprüht werden.[121]

[113] ONUSSEIT 2013.
[114] HABENICHT 1997, S. 176.
[115] HABENICHT 1997, S. 172.
[116] HABENICHT 1997, S. 176.
[117] BERGER 1975, S. 141.
[118] BERGER 1975, S. 142.
[119] BERGER & RUSSELL 2000, S. 94.
[120] BERGER & RUSSELL 2000, S. 95.
[121] BERGER 1975, S. 126 f.

Die Siegeltemperatur ist somit eine wichtige Eigenschaft der Heißsiegelklebstoffe. Durch das Erweichen der Klebschicht wird das Klebemittel flüssig, aktiviert und benetzt die Fügeteile. Auf Grund der Abkühlung unter Druck setzt eine sofortige Verfestigung ein und die Fügeteile sind miteinander verklebt.[122]

Einfluss der Filmdicke

KRONTHAL et al. beobachteten, dass die Haftfestigkeit von BEVA®371 verdoppelt oder sogar verdreifacht werden kann, wenn die Schichtdicke des Klebemittels verdoppelt wird. Z. B. könne die gleiche Haftfestigkeit, die bei 70 °C Siegeltemperatur erzielt wird, bei einer doppelten Schichtdicke schon bei einer Siegeltemperatur von 65 °C erreicht werden.[123]

Einfluss des Lösemittels

Die Filmbildung kann auch durch die Lösemittel beeinflusst werden. Die Wahl der richtigen Lösemittel für einen Lösemittelklebstoff ist von großer Bedeutung. Damit organische Lösemittel Polymere lösen können, müssen die Lösemittelmoleküle in der Lage sein die physikalischen Kräfte zwischen den Makromolekülen außer Kraft zu setzen.[124] Z. B. wird die Löslichkeit gesteigert, je näher die Werte des Löslichkeitsparameters des Polymers und Lösemittels liegen. Polymere mit niedrigem Molekulargewicht sind in mehr Lösemitteln löslich. Polymere mit kristalliner Molekülanordnung sind schwerer löslich als amorphe.[125] BEVA®371 lässt sich gut in aromatischen Kohlenwasserstoffen wie u. a. in Naphtha und Toluol lösen.[126]

Die Verdunstungsgeschwindigkeit spielt ebenfalls eine Rolle. Wird der BEVA®371-Film zu spröde oder pudrig, können im flüssigen Zustand aromatische Lösemittel hinzugegeben werden. Mit Toluol trocknet die BEVA®371-Lösung z. B. schneller und Xylol verlangsamt den Abbindeprozess. Durch die aromatischen Komponenten wird das Vermögen der Regulierung des Filmniveaus verbessert.[127]

3.4 Änderung der Formulierung

Schon BERGER erkannte, dass manche Inhaltsstoffe von BEVA®371 mit der Zeit nicht mehr erhältlich sein könnten. Deswegen suchte er 1990 mit CPC zusammen nach Alternativen für jeden der fünf Inhaltsstoffe. Die ersten BEVA®371-Klebstoffe enthielten Keton N, welches durch Laropal®K80 ausgetauscht wurde.[128] HORIE erwähnt, dass Laropal®K80 ein Synonym von Ketonharz N (BASF) sei (Vgl. Kap. 3.1).[129]

[122] HABENICHT 1997, S. 198 f.
[123] KRONTHAL et al. 2003, Kap. 3.2.1.
[124] HABENICHT 1997, S. 172.
[125] HABENICHT 1997, S. 173.
[126] CHLUDZINSKI 2010.
[127] BERGER 1975, S. 147.
[128] CHLUDZINSKI 2010.
[129] HORIE 1987, S. 116.

2010 informierte CPC in einem Schreiben von GEORGE R. CHLUDZINSKI, Präsident von CPC, dass sich die Zusammensetzung von BEVA®371 verändert hatte: 2008 stellte BASF die Herstellung des Ketonharzes Laropal®K80 ein und CPC wählte als Ersatz ein Aldehydketonharz aus. Die neue Version wird unter dem Handelsnamen BEVA®371b vertrieben.[130] GREG CHLUDZINSKI teilte der Verfasserin mit: „*The change from Ketone N (made by DuPont) to Laropal K80 (made by BASF) is really a change in brands. They are both cyclohexanone resins. The formula only changed once with the replacement by the aldehyde ketone resin in 2010.*"[131]

Es wurden künstliche Alterungstests zu BEVA®371b durchgeführt und die Ergebnisse ließen darauf schließen, dass die Eigenschaften denen von BEVA®371 gleichen. Weiter wurden u. a. Tests zu Zugkraft, Aktivierungstemperatur, Reversibilität durchgeführt.[132] GREG CHLUDZINSKI verwies in BERGERs Buch „*Conservation of paintings*" auf das Kapitel in dem BERGER seine Testreihen zur Entwicklung von BEVA 371 beschreibt.[133] Es ist deshalb zu vermuten, dass BEVA®371b nach BERGERs Testreihen getestet wurde.
Auch in dem offiziellen Schreiben wird darauf hingewiesen, dass Eigenschaften wie Festigkeit, Elastizität, Haftvermögen an unterschiedlichsten Materialien (z. B. Leinwand, Metall, Holz, Kunststoff, etc.) sowie Abziehfestigkeit, Reversibilität mit Wärme und Lösemitteln unverändert geblieben seien. Auch die thermische und chemische Dauerhaftigkeit sind laut CPC gleichbleibend. Weiterhin besteht eine gute Löslichkeit in Kohlenwasserstofflösemitteln wie Naphtha und Toluol. Die Aktivierungstemperatur von 65 °C ist identisch. Ein Unterschied besteht in der Farbigkeit. Das Aldehydketonharz ist gelber als das Ketonharz, wodurch auch BEVA®371b-Produkte gelblicher sind. BEVA®371b ist als Lösung und Trockenharz zu erhalten. Die Folie wird weiterhin mit Altbeständen aus BEVA®371 hergestellt.[134]

Kremer-Pigmente zufolge ist die Löslichkeit verändert. Das frühere BEVA®371 sei mit aromatenfreiem Benzin verdünnbar, während die neue Rezeptur von BEVA®371 dabei weißfarben werde und sich nur mit Aromaten klar verdünnen ließe. Kremer-Pigmente sei durch den Hersteller nicht über die Änderung der Zusammensetzung von BEVA®371 informiert worden. Erst nachdem die Löslichkeitsänderung durch Kremer-Pigmente nachgewiesen worden ist, habe man den Hersteller befragt, was geändert worden sei. Da der europäische Hersteller C.T.S. den Namen BEVA®371 weiterhin verwendet, hat auch Kremer-Pigmente den Namen nicht geändert.[135] Im Gegensatz zu den USA, wo die neue Version durch den Zusatz „b" klar gekennzeichnet ist, kann in Europa zwischen beiden Rezepturen anhand der Nomenklatur nicht eindeutig unterschieden werden.

[130] CHLUDZINSKI 2010.
[131] CHLUDZINSKI 2013b.
[132] CHLUDZINSKI 2013a.
[133] Kapitel VIII.
[134] CHLUDZINSKI 2010.
[135] EIS 2013a.

3.5 Alterungseigenschaften

BEVA®371 gibt es erst seit 43 Jahren. Deshalb ist es schwer gesicherte Aussagen bezüglich der natürlichen Alterung auf Grund von Beobachtung und Erfahrung zu treffen.

In der Literatur wird immer wieder die gute Reversibilität von BEVA®371 angesprochen. BEVA®371 kann durch Lösemittel wieder in Gel-Form gebracht und ohne Fleckenbildung entfernt werden. So ist es möglich beispielsweise Fehler noch im Nachhinein leicht zu korrigieren.[136] KAREN und ADAM RAFT schreiben bereits 1973 in ihrem Artikel, dass BEVA®371 reversibel bleibe, da es nicht zum Vernetzen neige. BEVA®371 bleibe in Testbenzin, Kohlenwasserstoff oder Toluol löslich. Der Vorteil dieser Lösemittel sei, dass sie für die meisten Materialien und Werkstoffe unschädlich seien. Weiter erwähnen sie, dass BEVA®371 durch Kohlenwasserstoff-Dämpfe in eine Gel-Form übergehe, die keine Flecken verursache. Dadurch, dass das Klebemittel in Gel-Form seine Klebekraft verliere, sei es selbst von fragilen Materialien leicht zu entfernen.[137] Da der Artikel bereits drei Jahre nach der Entwicklung von BEVA®371 verfasst wurde, ist anzuzweifeln, wie fundiert diese Aussagen sind. Die Reversibilität von BEVA®371 bezieht sich vermutlich auf die gerade erst erfolgte Anwendung und nicht auf das gealterte Material.
KRONTHAL et al. schreiben 30 Jahre später, dass BEVA®371 während der Alterung chemisch stabil bleibe und z. B. im Laufe der Zeit keine schädlichen Dämpfe freigebe oder an Klebekraft nachlasse.[138]

In der Literatur ist generell wenig über die Alterung von mit BEVA®371 behandelten Kunstwerken zu finden. BERGER erwähnt in einem Artikel von 1980 das Gemälde „*Le Soleil Rouge*" von JEAN MIRÓ („*Industriefarbe*"[139] auf Leinwand). Dieses Gemälde wurde mit BEVA®371 doubliert, um u. a. die schüsselige Malschicht niederzulegen. Es hing sechs Jahre in der Phillips Collection in Washington ohne eine erneute Schüsselbildung zu bilden.[140] Aber auch hier beschränkt sich der Untersuchungszeitraum auf nur sechs Jahre.

KRONTHAL et al. untersuchten 40 Leder-Objekte, an denen zwischen 1985–2000 Rissverklebungen mit BEVA®371 ausgeführt wurden. 2003 waren bei nur drei Objekten alte Schäden wieder zu sehen. Es ist jedoch anzumerken, dass die schadhaften Objekte u. a. als Ausleihen gereist sind und somit mehr beansprucht wurden, als die intakten Objekte. Bei den intakten Objekten waren die mit BEVA®371 behandelten Stellen noch immer flexibel und bei keinem konnten Farbveränderungen oder ähnliches beobachtet werden.

[136] BERGER 1975, S. 126 f.
[137] RAFT 1973, S. 33.
[138] KRONTHAL et al. 2003, Kap. 3.1.
[139] BERGER 1980, S. 53.
[140] BERGER 1980, S. 53.

Als Ergebnis wurde von KRONTHAL et al. festgehalten, dass die neuen Schäden vermutlich nicht auf chemische Probleme des Klebemittels zurückzuführen sind, sondern eher auf eine ungeeignete Anwendungsmethode von BEVA®371 durch den Restaurator. An den Objekten, wo BEVA®371 sichtbar war, konnten keine Vergilbungen oder andere farbliche Veränderungen des Klebemittels beobachtet werden.[141]

Für die Entwicklung von BEVA®371 untersuchte BERGER eine Vielzahl alter und neuer Klebstoffe[142] in Zusammenarbeit mit dem Conservation Center of New York University, Institute of Fine Arts und mit finanzieller Unterstützung der Samuel H. Kress Foundation.[143] BERGER führte im Rahmen dieses Forschungsprojektes auch künstliche Alterungstests durch. Die Alterungstests wurden bei erhöhter Temperatur im Dunkeln durchgeführt. Versprödungen sind bei den meisten getesteten Klebemitteln nach anhaltender Hitze vorgekommen. Nach den Untersuchungen des Barrow Research Laboratory entspricht eine 14 Monate lange Alterung bei 54 °C ungefähr 50 Jahre natürlicher Alterung. Da der Schmelzpunkt der getesteten Klebemittel so niedrig liegt wurde bei 55 °C gealtert. Modelldoublierungen wurden 3 und 14 Monate gealtert und keine der konventionellen wie auch der neuen Klebemittel versagte komplett. Nach 14 Monaten künstlicher Alterung hatte das schwächste Klebemittel der EVA-Typen immer noch 10 mal mehr Haftfestigkeit als mikrokristallines Wachs.[144] Nach den Alterungstests wurden die Testkörper, die beim ersten Zugversuch vielversprechend aussahen, erneut durch Zugversuche getestet.[145]

BEVA®371 war im Rahmen der Klebemittel-Tests von BERGER deutlich stärker, elastischer und resistenter gegen Oxidation als alle anderen vorherigen Klebemittel, die in der Restaurierung verwendet wurden. Es kann auf die dünnsten und empfindlichsten Oberflächen aufgetragen werden, ohne diese zu penetrieren. Die richtige Anwendung ist jedoch Voraussetzung um alle angegeben Eigenschaften zu garantieren.[146]

Das Canadian Conservation Institute (CCI) testete im Rahmen des „Adhesive Testing Program" die Klebemittel-Eigenschaften von BEVA®371 vor und nach künstlicher Alterung im Dunkeln und bei Lichteinwirkung. Die Ergebnisse zeigten, dass der pH-Wert vor und nach künstlicher Alterung im akzeptablen Bereich war. Die BEVA®371-Klebemittelschicht war außerdem vor und nach der künstlichen Alterung flexibel. Es konnte lediglich beobachtet werden, dass sich eine geringe Menge an Bestandteilen

[141] KRONTHAL et al. 2003, Kap. 4.2.
[142] Zu den getesteten Klebstoffen zählen beispielsweise: Fischleim, Gelatine, Hasenleim, mikrokristallines Wachs, Wachs-Harz-Mischungen, unterschiedliche Polyvinylacetate, Thermogrip, etc. (BERGER & RUSSELL 2000, S.133 ff.).
[143] RAFT 1973, S. 31.
[144] BERGER 1972, S. 187.
[145] BERGER & RUSSELL 2000, S. 129.
[146] BERGER 1972, S. 188.

verflüchtigte. DALY HARTIN et al. veröffentlichte 1993 eine Untersuchung an natürlich gealterten BEVA®371-Proben und stellte fest, dass die Klebekraft nicht nachlässt.[147]

BERGER bemerkt in seinen Texten zur künstlichen Alterung, dass weitere Entwicklung und Forschungsarbeit nötig ist.[148] Künstliche Alterung kann auch mit „beschleunigter Alterung" bezeichnet werden. Durch sie kann das Verhalten eines Materials abgeschätzt, aber nicht vorhergesagt werden. Bei thermischen Reaktionen kann es z. B. passieren, dass durch die Temperaturerhöhung Reaktionen nicht nur beschleunigt werden, sondern auch bei der natürlichen Alterung nicht relevante Reaktionen ausgelöst werden. Bei der Lichtalterung treten ebenfalls Probleme auf. Wichtige Einflussfaktoren sind z. B. das Lichtspektrum, da verschiedene Wellenlängen unterschiedliche Reaktionen auslösen können, und die Lichtdosis. Ganz gleich, ob eine Alterung durch Wärme oder Licht erfolgt, wird es immer Abweichungen von der natürlichen Alterung geben. Die natürliche Alterung von Materialien erfolgt durch komplexe Reaktionen, die thermisch, lichtinduziert und von anderen Parametern abhängig sind. Diese komplexen Reaktionen im Labor nachzustellen ist schwierig. Zudem werden Alterungstests meist unter konstanten Bedingungen beobachtet und dadurch mechanische sowie chemische Belastungen durch Temperatur- und Luftfeuchtigkeits-schwankungen bzw. den Tag-Nacht-Zyklus (Bestrahlung) vernachlässigt.[149]
Bei BEVA®371 sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass dieses Klebemittel eine Mischung vieler unterschiedlicher Materialien mit sehr unterschiedlichen Alterungseigenschaften ist. Hier stellt es sich als besonders schwierig heraus, die richtigen Parameter für einen Alterungstest zu finden, da mehrstufige Reaktionen zu erwarten sind, die alle eine unterschiedliche Aktivierungsenergie benötigen. Durch künstliche Alterung können Reaktionen ausgelöst werden, die unter natürlichen Bedingungen eventuell nicht stattfinden würden.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Interpretation von Alterungstests vorsichtig erfolgen sollte. In den eben beschriebenen Alterungstests von u. a. BERGER setzte sich BEVA®371 durch seine überzeugenden Eigenschaften durch. Es ist jedoch in den nächsten Jahren weiterhin zu beobachten, wie dieses Klebemittel (auch in Kombination mit anderen Materialien) natürlich altert. Weiterer Forschungsbedarf besteht darin, zu überprüfen, ob beide BEVA®371 Versionen, vor und nach der Änderung der Formulierung im Jahr 2010, gleiche natürliche Alterungseigenschaften aufweisen.

Im Jahr 2011 wurde auf dem CCI Symposium IIC in Ottawa, Canada, eine längerfristige Forschungsarbeit in dem Artikel „*Lining and Consolidating Adhesives: Some New Developments and Areas of Future Research"* vorgestellt. Im Rahmen dieses Projektes werden die Lichtalterungseigenschaften von Heißsiegelklebstoffen

[147] KRONTHAL et al. 2003, Kap. 2.2.
[148] BERGER & ZELIGER 1984, S. 14.
[149] DIETEMANN 2011, S. 61 ff.

untersucht, die als Lösung aufgetragen werden. Denn während der Entwicklung von BEVA®371 sei z. B. nicht die photochemische Stabilität untersucht worden. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden BEVA®371 und BEVA®371b sowie weitere neue Heißsiegelklebstoffe getestet. So ist ein Teil des neuen Forschungsprojektes neu entwickelte Oligomere, Wachse und Polymere und ihr Verhalten als Heißsiegelkleber vergleichend zu testen. Endergebnisse des Forschungsprojektes stehen noch aus. Als bisheriges Testergebnis wurde festgehalten, dass die Proben mit Laropal®K81 und Regalrez 1085 in bestimmten Eigenschaften stabiler waren als Proben mit BEVA®371 und BEVA®371b.[150]

[150] MCGLINCHEY et al. 2011, S. 1 ff.

4 Anwendungsmöglichkeiten

BEVA®371 kann für viele unterschiedliche Methoden verwendet werden. Hauptanwendung der BEVA®371-Lösung und des BEVA®371-Films ist das Doublieren. Aber auch Malschichtfestigung, temporäre und endgültige Klebeeingriffe[151] sowie Randanstückungen[152] und Facings gehören dazu.[153]

Die BEVA®371-Lösung wird wie in Kapitel 3.1 beschrieben mit Lösemitteln verdünnt, wodurch je nach Anwendungserfordernissen das Klebemittel durch unterschiedliche Mischverhältnisse modifiziert werden kann.[154]

BEVA®371-Film gibt es in dünn (25 µm) und dick (65 µm). Eingesetzt wird er z. B. in der Konservierung von Kunstwerken aus Papier, dem Zusammenfügen von Collagen und dem Aufziehen von Kunstwerken auf Papier. Der Film ist frei von Lösemitteln. Dank seiner festen Form kann man den Film auf eine genau definierte und kleine Stelle auflegen und arbeitet zudem mit einer dünnen Klebschicht. Da der Film auf einer durchsichtigen Unterlage (Vgl. Kap. 3.1) aufgebracht ist, kann man sich ein Stück genau zurechtschneiden und auf die zu verklebende Fläche auflegen. Das Klebemittel des Films ist inaktiv und fängt erst an zu kleben, wenn seine Siegeltemperatur (65 °C) erreicht oder er durch Lösemittel aktiviert wurde. BEVA®371-Film lässt sich mit Hexan und Aceton anquellen und ist somit wiederanlösbar.[155]

4.1 Doublierung

Textile Bildträger altern im Laufe der Jahre und werden schwächer bzw. sind so geschädigt, dass sie ihre Aufgabe als Bildträger nicht mehr erfüllen können. In diesem Fall wurden oft Doublierungen durchgeführt. Der originale Bildträger wird dabei mit einem neuen textilen Bildträger zur Verstärkung hinterklebt.
Doublierungen sind in der Restaurierung seit dem 17. Jahrhundert bekannt.[156] Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch nur auf das Doublieren mit BEVA®371 eingegangen, das besonders bei matten Malschichten geeignet sei, da es nicht durch den textilen Bildträger an die Malschichtoberfläche gelange.[157]

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten mit BEVA®371 zu doublieren. BERGER bereitet die BEVA®371-Standard-Lösung wie folgt vor: In einer Dose BEVA®371 ist ca. 40 % Festkörperanteil vorhanden. Um eine 30 %ige Lösung[158] zu erhalten, wird 1/8 entfernt und mit der gleichen Menge VM&P Naphtha oder Xylol

[151] C.T.S. (o. J.).
[152] Lascaux (o. J.), S. 1.
[153] CPC (o. J.), S. 4.
[154] BERGER 1975, S. 147.
[155] Kremer-Pigmente 2013.
[156] NICOLAUS ~ 1998, S. 117.
[157] ALTHÖFER 1985, S. 103.
[158] Anmerkung: Kremer-Pigmente gibt die Auskunft, dass dieser Vorgang eine 37 %ige Lösung ergibt (KREMER (o. J.), S. 1).

oder einer Mischung aus beiden aufgefüllt. Die Dose wird bedeckt, aber nicht vollständig geschlossen und unter Rühren erwärmt, bis die Lösung flüssig und klar ist. Am besten erfolgt der Auftrag der BEVA®371-Lösung mit einem Roller auf den originalen und/oder neuen Bildträger. Wie schon in Kapitel 3 erwähnt, sollten alle Arbeiten mit BEVA®371 in einem gut durchlüfteten Raum stattfinden.[159]

Nach BERGERs Empfehlungen sollte bei einer Doublierung mit Vakuum-Heiztisch besonders sauber gearbeitet werden, da schon die kleinsten Unebenheiten wie z. B. Verschmutzungen durch den Vakuum-Druck vergrößert werden und für Unregelmäßigkeiten auf der Gemäldeoberfläche sorgen („*The princess and the pea effect*").[160] Lose Malschicht muss vorher gefestigt und Facings vorher abgenommen werden. Es empfiehlt sich, das Schwundverhalten des textilen Bildträgers vorher zu testen. Zur Vorbereitung gehören auch, dass Risse zusammengefügt und in Löcher Intarsien eingesetzt werden. Fehlstellen in Bereichen mit hohem Impasto können vor der Doublierung vorgekittet werden, da die weiche Kittung durch das Doubliermittel in den Bildträger gepresst und zusätzlich befestigt wird. Nach der Doublierung wird sie durch Nachkitten an die sie umgebende Oberflächenstruktur angepasst.

Während der Vorbereitungsmaßnahmen wird das Gemälde ausgerahmt, abgespannt und mit der Malschicht nach unten auf eine saubere Unterlage (z. B. silikonbeschichtetes Papier) gelegt, um die Spannkanten zu glätten. Hierfür empfiehlt BERGER eine Dampfbehandlung. In manchen Fällen ist die Malschicht so lose, dass ein Facing (Vgl. Kap. 4.2) während der Doublierung aufgebracht wird. Sind von früheren Restaurierungsarbeiten umfangreiche, dicke Übermalungen sowie fehlerhafte Kittungen vorhanden, werden diese vorher abgenommen. Alter Firnis muss nicht entfernt werden, da er nach BERGER wie eine Schutzschicht wirke und nach der Doublierung oft leichter abzunehmen sei. BERGER empfiehlt sogar manche Gemälde vor der Doublierung zu firnissen. Dabei solle es von Vorteil sein, BEVA®371-Film als Zusatz oder als Ersatz zum Firnis zu nutzen. Es entstehe eine dickere Schicht, die leichter zu entfernen sei. Der Firnis oder die BEVA®371-Schicht wird nach der Doublierung und dem Wiederaufspannen mit Lösemitteln entfernt.[161]

Vor der Doublierung wird die Rückseite gereinigt und geglättet, damit auch diese eben ist. Dabei ist darauf zu achten Beschriftungen auf der Rückseite zu erhalten. Wenn der textile Bildträger zu fragil ist, wird er nach BERGER entsäuert oder durch eine Imprägnierung (Vgl. Kap. 4.3) verstärkt.[162]

[159] BERGER & RUSSELL 2000, S. 88 f.
[160] BERGER & RUSSELL 2000, S. 85 f.
[161] BERGER & RUSSELL 2000, S. 86 f..
[162] BERGER & RUSSELL 2000, S. 88 f.

Doublierungen können mit unterschiedlichen neuen textilen Bildträgern erfolgen. Möchte man keine flexible, sondern eher starre Unterlage, ist es möglich, anstatt einem neuen Bildträger mehrere Schichten zur Stabilisierung des Gemäldes anzubringen.

Zu Beginn (1970er Jahren) fügte BERGER nur bei empfindlichen und gerissenen Gemälden zusätzlich eine „Sandwich–Zwischenschicht" ein. Ab den 1980ern jedoch bei jeder Doublierung, da Forschungen ergeben hatten, dass eine steifere Unterlage positiv für die Erhaltung des Gemäldes sei. Die „Sandwich–Zwischenschicht" steht in direktem Kontakt mit dem originalen textilen Bildträger und habe die Aufgabe gegen Belastungsveränderungen durch Schwankungen der Umgebungsbedingungen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) entgegenzuwirken. BERGER verwendete Polyester Monofilament (DuPont).[163]

Bei einer Doublierung nach BERGER wird auf den Vakuum-Heiztisch zuerst das Doubliergewebe gelegt und darauf die Zwischenschicht aus Hostaphanfolie[164] sowie die „Sandwich–Zwischenschicht" (z. B. Polyester Monofilament). Zum Schluss folgt der originale Bildträger (Abb. 2).[165]

Abb. 2 Schichtenaufbau bei einer Doublierung nach BERGER.

Die Zwischenschicht sowie die „Sandwich–Zwischenschicht" können vorher vorbereitet und gelagert werden. Die Hostaphanfolie sollte immer erst kurz vor Verwendung vorbereitet werden.[166]

[163] BERGER & RUSSELL 2000, S. 91.
[164] Im englischen Originaltext „Mylar".
[165] BERGER & RUSSELL 2000, S. 93.
[166] KREMER (o. J.), S. 2.

Die Vorbereitung des Doubliergewebes und der „Sandwich–Zwischenschicht" sind ähnlich. Auf beiden wird BEVA®D-8[167] (1:3 oder 1:4 in Wasser) aufgetragen. Dies erfolgt mit Spray oder einem Schwamm. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die „Sandwich–Zwischenschicht" von beiden Seiten, während das Doubliergewebe nur auf der inneren Seite besprüht wird. BEVA®371 D-8 wird so lange waag- und senkrecht aufgetragen, bis die Oberfläche leicht feucht und klebrig ist.[168]

Die Zwischenschicht erfüllt nach BERGER drei Aufgaben: Sie soll stark genug sein Deformationen entgegenzuwirken, soll die Spannung der „Sandwich–Zwischenschicht" und des Bildträgers halten und als Dampf- und Feuchtigkeitsbarriere dienen. Um sie anzufertigen wird schwere Hostaphanfolie (5,0–7,5 mil) 5–8 cm größer als das Gemälde ausgeschnitten[169] und von beiden Seiten mit einem Roller mit BEVA®371 beschichtet. Die mit BEVA®371 bestrichene Hostaphanfolie wird danach so zu recht geschnitten, dass sie etwas kleiner als das Gemälde ist.

Vor der Doublierung wird der Vakuum-Heiztisch gereinigt, damit die unterschiedlichen Schichten glatt darauf gelegt werden können. Denn, wie schon erwähnt, zeichnet sich jede Unebenheit später auf der Malschicht-Oberfläche ab. Als erstes wird der Vakuum-Heiztisch mit Hostaphanfolie (1,0–1,5 mil dick) bedeckt. Darauf folgt das Doubliergewebe (die BEVA®371-Schicht muss nach oben zeigen). Die Hostaphanfolien-Zwischenschicht wird darauf gelegt und haftet bereits leicht aufgrund der BEVA®371-Schicht. Von der Mitte heraus sollte nun alles geglättet werden. Die „Sandwich–Zwischenschicht" folgt als nächstes und wird ebenfalls geglättet. Das originale Gemälde wird auf das ganze Schichtenpaket mit der Malschicht nach oben gelegt und ausgerichtet. Zusätzlich können Entlüftungsventile an die Gemäldeecken angebracht werden. Als abschließende Schicht wird alles mit einer Membran bedeckt (dünn mit Silikon beschichtete Hostaphanfolie (0,5 mil). Dann wird zuerst das Vakuum gestartet und nach einer Überprüfung, ob alles richtig liegt, die Wärme zugeschaltet. Hitze und Vakuum können durchgehend reguliert werden.[170]
Sobald die Wärme eingeschaltet ist wird diese mit mehreren Papierthermometern überprüft. (Vor allem rote und schwarze Bereiche reagieren schnell auf Wärme.) Pro Wärmedecke werden mindestens fünf Thermometer platziert. Eines im Zentrum und die anderen ca. 5–10 cm von den Ecken entfernt, aber nie mehr als 40–50 cm voneinander entfernt. Dieses Muster wird so lange wiederholt, bis auf dem ganzen Gemälde Papierthermometer verteilt sind. An jeder Stelle sollten zwei Papierthermometer liegen, eines für 60 °C und das andere für 70 °C. Bei empfindlichen Malschichten können auch Papierthermometer für 40–50 °C platziert werden. Bei den dunklen Bereichen wird die Membran zusätzlich mit Zeitungspapier oder Stoff bedeckt. Die Abdeckung wird abgenommen sobald die untere Temperatur erreicht wurde, um den

[167] Anmerkung: Kremer-Pigmente verwendet statt BEVA D-8 eine dünne BEVA®371-Lösung (KREMER (o. J.), S. 2).
[168] BERGER & RUSSELL 2000, S. 89 f.
[169] BERGER & RUSSELL 2000, S. 89 f.
[170] BERGER & RUSSELL 2000, S. 92 f.

Aufwärmungsprozess zu verlangsamen. Sobald die ersten Bereiche die erwünschte Temperatur erreicht haben und andere noch nicht, können die Bereiche die noch mehr Wärme brauchen, bedeckt werden.
Sobald die Wärme ausgeschaltet ist, kühlt das Gemälde natürlich ab. Dadurch erfolgt weniger Belastung. Eine schnellere Variante wäre mit Ventilatoren.[171]

Wenn die Doublierung mit BEVA®371 nicht mit einer Zwischenschicht im Sandwich-Verfahren verwendet wird, sollte es sowohl auf den alten wie auch den neuen Bildträger aufgetragen werden, damit eine gute Haftung gewährleistet ist.[172]

Wenn man das Gemälde auf seine Wärmeempfindlichkeit testet (Heißluftgebläse) und es auf Wärme reagiert, ist eine Doublierung nur mit Vakuum-Druck und ohne Membran zu empfehlen. Ist nur ein Bereich wärmeempfindlich kann das Gemälde so platziert werden, dass dieser Bereich in den kälteren Bereichen des Vakuum-Heiztisches aufliegt (z. B. den kühleren Ecke auf der Aluminiumplatte).[173]

Eine besondere Variante der Doublierung ist die transparente Doublierung. Sie wird vor allem bei Gemälden mit Rückseiten angewendet, die wichtige Informationen wie z. B. Signatur des Künstlers, Aufkleber mit Hinweisen zur Provenienz, Skizzen oder sogar eine weitere Malschicht beinhalten. Im Rahmen dieser Arbeit ist es nicht möglich detaillierter auf diese Technik einzugehen. GUSTAV A. BERGERS Publikation „*Transparent Lining of Paintings*" (1996) beschreibt diese Doubliertechnik ausführlich.

Weiterführende Literatur zu dem Thema Doublierung:

- Fallstudien mit unterschiedlichen Problematiken werden in dem Artikel „*Moderne Konservierung zeitgenössischer Kunst*" (1980) von BERGER erläutert.
- Auch in den Artikeln „*Unconventional treatments for unconventional paintings*" (1976) und „*More unconventional treatments for unconventional art*" (1990) beschreibt BERGER verschiedene Anwendungsmöglichkeiten von BEVA®371 an Kunstwerken.
- Testreihen zu unterschiedlichen Doublierungstechniken mit BEVA®371 werden in dem Artikel „*The Mechanical Behaviour and Environmental Response of Paintings to Three Types of Lining Treatment*" (2001) von CHRISTINA YOUNG und PAUL ACKROYD erläutert.

[171] BERGER & RUSSELL 2000, S. 97 f.
[172] ALTHÖFER 1985, S. 103.
[173] BERGER & RUSSELL 2000, S. 96.

Die Restaurierungsmethode des Doublierens stellt einen großen Eingriff in das Gefüge des Kunstwerks und seine Originalität dar. Deshalb sollten davor alle anderen Möglichkeiten wie z. B. Randanstückung und Rissverklebung abgewogen werden.[174]

4.2 Facing

Als Facing bezeichnet man ein dünnes, wasserfestes Papier, dass meist vor der Konsolidierung temporär zum Schutz loser Malschichtschollen mit einem reversiblen Klebemittel auf die Malschicht aufgebracht wird. Bei kleineren Schäden auf einer Öl- bzw. Tempera-Malschicht, wie Beulen und leichten Abhebungen, wurde laut BERGER gerne „colette" oder Fischleim angewandt. Auf Grund des hohen Wassergehalts kann es jedoch bei größeren Flächen zur Ausdehnung/Einziehen des Papieres kommen, wodurch gelockerte Malschicht bricht oder von ihrem ursprünglichen Platz verschoben wird. BERGER empfiehlt deswegen für größere Stellen BEVA®371, Polyvinylacetate und sogar Wachs. Wenn die Malschicht mit Wachs gefestigt wird, ist der Vorteil eines BEVA®371 Facings, dass es nicht bei der Anwendungstemperatur von Wachs schmilzt und dadurch die Schollen an ihrem Platz hält. Das Facing ist leicht wieder abzunehmen, da BEVA®371 leicht mit niedrig-aromatischen Lösemitteln zu entfernen ist. Im Vergleich mit anderen Klebemitteln, die mit einer Wachs-Festigung kombiniert werden können, weist nach BERGER BEVA®371 die geeignetste Klebemittelstärke auf.[175]

Bevor BEVA®371 als Klebemittel verwendet wird, sollte die Verträglichkeit der Malschicht mit dem Festigungsmittel, z. B. ob Verfärbungen oder Schäden auftreten, getestet werden.[176] Auch gegenüber Hitze und Lösemittelbeständigkeit sollten Tests durchgeführt werden. Wird ein Facing auf eine zu weiche Malschicht geklebt, kann das Klebemittel zu tief in die Malschicht dringen und dann besteht die Gefahr, dass beim Entfernen die Malschicht und deren Struktur verloren geht. BERGER empfiehlt in so einem Fall, aber nur wenn absolut notwendig, einen Zwischenfirnis anzuwenden.[177]

Um ein Facing herzustellen wird ein feines, wasserfestes Papier mit unverdünnter BEVA®371-Lösung mit Hilfe einer Rolle beschichtet. Nach 12 Stunden Trockenzeit können je nach Beschaffenheit der Malschicht und Bedürfnissen der zu sichernden Bereiche weitere BEVA®371-Schichten aufgesprüht werden. Damit es später nicht am Vakuum-Heiztisch anklebt, wird das Facing nach dem Trocknen mit der BEVA®371-Schicht nach oben auf Silikonpapier gelegt. Da BEVA®371 bereits bei 50 °C klebrig wird, reicht diese Temperatur aus, um das Facing zu fixieren. Das Facing wird auf dem Gemälde ausgerichtet und von der Mitte der

[174] DOERNER 2007, S. 393.
[175] BERGER & RUSSELL 2000, S. 25.
[176] BERGER & RUSSELL 2000, S. 24.
[177] BERGER & RUSSELL 2000, S. 24 f.

Schadensbereiche heraus fixiert. Währenddessen werden lose Malschicht, Intarsien, etc. ausgerichtet. Sobald eine kleine Fläche fixiert ist, wird das Klebemittel in diesem Bereich des Facings mit 65 °C aktiviert. Nachdem alle gefährdeten Stellen mit dem Facing gesichert sind, kann nochmals die gesamte Fläche mit Wärme und Druck behandelt werden.
Meistens reicht es aus, die Größe des Facings an den Schadensbereich anzupassen. Muss die gesamte Malschichtoberfläche gesichert werden, so wird ein Facing verwendet, das 15 cm größer als das Originalgemälde ist. Dieses wird auf ein Holzbrett befestigt, damit es sich während der Vorbereitung nicht verzieht. Das Gemälde, mit Spannrändern, wird 2 cm zu groß auf das Facing eingezeichnet und dieser Bereich, wie oben beschrieben, mit BEVA®371 beschichtet. Zusätzlich wird das Gemälde, nachdem das Facing wie oben beschrieben fixiert wurde, unter dem Vakuum-Heiztisch bei 65 °C und leichtem Druck behandelt.[178]

Um Falten zu vermeiden ist empfehlenswert viele kleine Facings aufzubringen. Gibt es Impasto, kann man zum Schutz z. B. ein Polyestergewebe außen herum legen.[179]

Zum Entfernen bzw. Auswechseln des Facings nennt BERGER drei unterschiedliche Möglichkeiten. Erste Möglichkeit ist das Facing und die Schutzfolie bei nicht zu loser Malschicht gleichzeitig zu entfernen. Dies erfolgt während das Festigungsmittel noch nicht ausgehärtet ist. Die zweite Möglichkeit tritt ein, wenn bei der ersten das Facing haften bleibt. Dann werden Facing und Schutzfolie einzeln abgenommen. Stellt man während der zweiten Möglichkeit fest, dass die Schutzfolie nicht mehr schadenfrei entfernt werden kann, wird das Gemälde auf dem Vakuum-Heiztisch getrocknet. Die untere Folie kann danach von der Rückseite abgezogen werden und das Gemälde wird eine Woche getrocknet. In getrocknetem Zustand sollte sich die silikonbeschichtete Schutzfolie in einem Stück abziehen lassen. Falls dies nicht möglich ist, werden bei einer oder zwei Ecken mit einem Pinsel Naphtha unter die Schutzfolie aufgetragen. Durch die Kapillarwirkung verteilt sich das Lösemittel und die Schutzfolie ist nach ein paar Minuten in kleinen Abschnitten entfernbar.[180]

4.3 Imprägnierung

Im vorhinein wird bei diesem Kapitel auf die Begriffe Konsolidierung, Imprägnierung und Festigung eingegangen. BERGER definiert den Begriff „*Consolidation*" wie folgt: „*Conservation treatment using a variety of adhesives to readhere loose paint or broken parts of the support, and to prevent recurrence of*

[178] BERGER 1975, S. 133 f.
[179] BERGER & RUSSELL 2000, S. 25.
[180] BERGER & RUSSELL 2000, S. 27.

delamination."[181] „*Impregnation*" bzw. „*penetration*" grenzt er wie folgt ab: „*Infusion of an adhesive into layers of a painting*."[182] Bei der im folgenden beschriebenen Technik wird nicht wie bei einer Festigung (Vgl. Kap. 4.4) partiell Klebemittel unter einzelne Malschichtschollen gegeben, sondern die gesamte Fläche des textilen Bildträgers mit dem Klebemittel eingestrichen und durchtränkt.

Die Imprägnierung erfolgt in der Regel nach dem Facing. Als Eindringhilfen werden z. B. Wärme und Vakuumdruck verwendet. Früher wurden Harzwachse und mikrokristallines Wachs zum Imprägnieren verwendet. Es sollten jedoch Klebemittel mit einer stärkeren Klebekraft ausgewählt werden. BEVA®371 stellt nach BERGER die erforderlichen Eigenschaften eines Imprägnierungsmittels dar. Acrylemulsionen und tierische Leime haben nach BERGER den Nachteil, dass sie bei einem späteren Wiederanlösen aggressivere Lösemittel und höhere Temperaturen benötigen, als es bei BEVA®371 der Fall sei.[183]
Für eine Imprägnierung mit BEVA®371 auf dem Vakuum-Heiztisch sollte der textile Bildträger flach sein, da sonst die Gefahr besteht, dass der Bildträger oder die Malschicht beschädigt werden. Eventuell muss der textile Bildträger vorher geglättet werden.
Das Gemälde erhält ein Facing mit einer BEVA®371-Lösung (5–10 %) und wird über Nacht trocknen gelassen. Die Abdeckung des Vakuum-Heiztisches erfolgt mit einer Trennfolie aus dicker Hostaphanfolie (0,0762 mm) und einem silikonbeschichtetem, dickem, offen gewebtem Fiberglas oder Polyester, um einen gleichmäßigen Abtransport der Luft zu gewährleisten. Das Gemälde wird mit der Malschicht nach unten auf den Vakuum-Heiztisch gelegt. Die Erwärmung erfolgt auf 40–50 °C. Anschließend wird die Rückseite mit der warmen BEVA®371-Lösung bestrichen, bis der textile Bildträger durchtränkt ist und nichts mehr absorbieren kann. Das Gemälde wird umgedreht, sodass die Malschicht nach oben zeigt und ein dicker Anstrich BEVA®371-Lösung (5–10 %) wird auf die Oberfläche aufgetragen. Das ganze wird mit einer Schutzfolie aus dünner silikonbeschichteter Hostaphanfolie (0,0127 mm) bedeckt. Die Silikonbeschichtung verhindert, dass die Malschicht haften bleibt. Der Vakuum-Heiztisch wird für 10 Minuten angeschaltet. Falls eine starke Imprägnierung erfolgen soll, wird das Gemälde gedreht und die Rückseite nochmals mit BEVA®371-Lösung bestrichen.
Aus heutiger Sicht sind Imprägnierungen und Tränkungen äußerst kritisch zu hinterfragen. Es handelt sich nicht nur um einen irreversiblen Eingriff in die Originalsubstanz, sondern das Kunstwerk wird zudem ästhetisch verändert.

Im Laufe der Zeit haben Restauratoren unterschiedliche BEVA®371-Konsolidierungsmethoden entwickelt. DR. ERASMUS WEDDIGEN festigte mit BEVA®371 empfindliche Malschichten. Er arbeitete mit einer dünnflüssigen BEVA®371-Lösung, die nur auf die Rückseite aufgestrichen wurde und von dort die

[181] BERGER & RUSSELL 2000, S. 342.
[182] BERGER & RUSSELL 2000, S. 343.
[183] BERGER & RUSSELL 2000, S. 25 f.

Leinwand durchdrang, aber dickflüssig genug war, um nicht noch weiter zu fließen. Die Festigung bzw. Imprägnierung erfolgte nur auf den Bereichen mit auf/-abblätternder Malschicht. Die Malschicht wurde durch das bei der Trocknung schrumpfende BEVA®371 Richtung Bildträger an seine ursprüngliche Position gezogen.
THOMAS BRACHERT (1972) arbeitete mit einer ähnlichen Methode, bei der er jedoch die BEVA®371-Lösung nur auf die Malschicht auftrug. Es waren keine Farbveränderungen erkennbar.[184]
WEDDIGEN und BRACHERT imprägnierten demnach nicht mehr die gesamt Malschichtoberfläche, sondern wandten die Imprägnierung schon partiell an. Hier ist der Übergang zur Festigung nahezu fließend.

BERGER habe, nachdem er Anfangs BEVA®371 als imprägnierendes Klebemittel nutzte, später seinen Wert und Vorteil als nicht-imprägnierendes Klebemittel erkannt.[185]

4.4 Festigung

Wie im letzten Kapitel angesprochen ist der Unterschied zwischen Imprägnieren und Festigen vor allem, dass, anders als bei der Imprägnierung, das Festigungsmittel nicht flächig aufgetragen wird und alle Malschichten durchdringt, sondern partiell unter die Malschichtschollen.

Ein Gemälde sollte gefestigt werden, wenn auf Grund von Schichtentrennungen, Verwerfungen und/oder Fehlstellen ein Risiko für Malschicht-Verlust besteht.[186] Gründe für diese Schichtentrennung und Instabilität sind u. a. schon innewohnende Mängel, schwankende Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur, mechanische Schäden, mikrobiologischer Befall, Schädlingsbefall oder versagende ältere Restaurierungsmaßnahmen.[187] Um ersten Verlust vorzubeugen, kann vor der Festigung ein Facing (Vgl. Kap. 4.2) aufgebracht werden.
Durch die Festigung soll die Kohäsion innerhalb der Malschicht und die Adhäsion zu anderen Schichten wieder hergestellt werden. Durch das Festigungsmittel werden die Malschichtschollen weicher und können so bestmöglich in ihre Originalposition zurück gebracht werden. Es dürfen dadurch keine neuen Spannungen in der Malschicht auftreten. Dabei soll das Festigungsmittel stark und elastisch zugleich sein, um spätere „natürliche" Spannungen entgegenzusetzen. Um weiteres Abblättern und Reißen der Malschicht zu vermeiden, muss es eine hohe Klebekraft besitzen und um den Druck, der durch Ausdehnung und Zusammenziehen der Malschicht entsteht, abdämpfen und aufnehmen zu können, muss es weicher sein als die Malschicht.

[184] BERGER & RUSSELL 2000, S. 26 ff.
[185] HACKNEY et al. 2012, S. 433.
[186] BERGER & RUSSELL 2000, S. 23.
[187] GOLTZ et al. 2012, S. 369 f.

In der Restaurierung sollte alles immer möglichst reversibel sein. Da aber das Festigungsmittel unter die Malschichtscholle dringt, ist es unmöglich es wieder vollständig hinaus zu bekommen. Unter anderem deswegen sollte das Festigungsmittel eine gute Stabilität besitzen.[188] Wichtiger als die Reversibilität ist die Wiederkonservierbarkeit eines Kunstwerkes.[189]

Bevor ein Kunstwerk gefestigt wird, wird der Malschichtaufbau untersucht und die Empfindlichkeit der Malschicht gegenüber Lösemitteln, Wärme und Feuchtigkeit getestet. Außerdem wird beobachtet wie stark, porös und flexibel die Malschicht ist. Auch welche Malschicht sich von was ablöst und welche Bereiche besonders betroffen sind, ist von Bedeutung. Im Vorhinein sollte auch über die Einbringungsmethode und -stelle nachgedacht werden.[190]

Festigungsmittel dürfen die Malschicht nicht verfärben oder ihren Oberflächenglanz verändern.[191] Deswegen stellen bei der Auswahl des Festigungsmittels v. a. poröse, absorbierende Malfarben wie z. B. Gouache, Pastell und hoch verdünnte Ölfarbe[192] sowie Kunstwerke mit keiner oder saugfähiger Grundierung eine Herausforderung dar.[193] Festigungsmittel können eine imprägnierende Wirkung haben und so das Kunstwerk schädigen. Auch können chemische Wechselwirkungen zwischen dem Festigungs- und Malmittel auftreten. BEVA®371 sei ideal für die Festigung absorbierender Malschichten.[194]

BERGER erwähnt, dass bevor mit der Festigung begonnen wird, die Malschicht auf die Verträglichkeit mit dem Festigungsmittel, z. B. ob Verfärbungen, Schäden auftreten, getestet werden sollte.[195] BERGER empfiehlt an einer kleinen, unauffälligen Probestelle einen Tropfen Heptan, Naphtha oder im Falle besonders empfindlicher Malschichten (z. B. Gouache) BEVA®371 (in Naphtha 5–6 %ig) aufzugeben und trocknen zu lassen. Auf Grund der Deckfähigkeit von trockenem BEVA®371 kann es sein, dass erste Entfärbungen wieder verschwinden. Ist das Testergebnis positiv sollte ein anderes Festigungsmittel verwendet werden.
Da auch Wärme bei der Anwendung von BEVA®371 eine Rolle spielt, sollte die Malschicht auch gegenüber Hitze und Lösemittelbeständigkeit getestet werden. Für diesen Test wird nach BERGER ein Wattestäbchen oder Löschpapier in Lösemittel getränkt und auf die Probestelle gelegt und mit einer Dampfbarriere, z. B. Hostaphanfolie, bedeckt. Mit einer Heizspachtel (70 °C) wird die Folie 1–2 Minuten leicht angedrückt. Es sollen weder Malschicht an der Watte oder dem Löschpapier noch Fasern an der Malschicht haften bleiben. Ist man sich nicht sicher, ob jede Farbe gleich empfindlich ist, sollte jede einzeln getestet werden, beginnend

[188] BERGER & RUSSELL 2000, S. 23.
[189] GOLTZ et al. 2012, S. 370.
[190] GOLTZ et al. 2012, S. 372.
[191] BERGER & RUSSELL 2000, S. 195.
[192] BERGER & RUSSELL 2000, S. 8.
[193] BERGER & RUSSELL 2000, S. 195.
[194] BERGER & RUSSELL 2000, S. 8.
[195] Dies empfiehlt sich auch vor der Doublierung, dem Facing und der Imprägnierung.

mit den hellen Farben. Bei empfindlicher Malschicht sollte zunächst ein Lösemitteltest ohne Wärme durchgeführt werden.[196]
Als nächstes sollte der textile Bildträger, auch wenn kein Wasser angewendet wird, auf möglichen Schwund getestet werden. Denn dies kann auch durch Hitze ausgelöst werden.[197]

Wenn BERGER über „*consolidation*" schreibt, beschreibt er meist eine Imprägnierung, z. B. in „*Conservation of Paintings*" (2000), Kapitel 2. In dem Artikel „*More unconventional treatments for unconventional art*" (1990) beschreibt er jedoch auch eine Technik, die der Festigung im heutigen Sinne nah kommt. Hier wird das Festigungsmittel BEVA®371 (8 %ig) in einen Malschichtriss eingegeben, um die lose Malschicht zu festigen. Die BEVA®371-Lösung wurde zuvor im Wasserbad und die Malschicht durch ein Heißluftgerät mit schwachem Gebläse erwärmt. Das BEVA®371 wurde mit einem dünnen Pinsel aufgetragen und anschließend mit den Fingerspitzen und einer Spitze aus Silikonpapier unter die Malschichtscholle „massiert".[198] Durch mehrmaliges Einbringen des Festigungsmittels wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass genug Festigungsmittel unter die lose Malschicht eindringen kann.[199]
Auch CPC erwähnt unter den Anwendungsmöglichkeiten von BEVA®371 Malschichtfestigung. Hier wird eine warme BEVA®371-Lösung in Naphtha (1:3) mit der Pinselspitze unter Malschichtschollen gegeben und nach 24 Stunden Trockenzeit mit einer Heizspachtel niedergelegt. Zwischen Malschicht und Heizspachtel befindet sich Silikonpapier.[200]

Eine weitere Festigungsmethode, die wieder Ähnlichkeiten mit einer Imprägnierung hat, ist warmes und hoch verdünntes BEVA®371 lokal oder auf die gesamte Oberfläche und Rückseite des textilen Bildträgers aufzutragen. Nachdem das BEVA®371 getrocknet ist, kann die lose Malschicht erwärmt und niedergelegt werden. Entweder erfolgt dies mit einer Heizspachtel oder am Heiztisch. Durch die erwärmte Malschicht wird das Penetrationsvermögen des Festigungsmittels zusätzlich gesteigert. Es ist wichtig, die gefestigten Bereiche während des Trocknungsprozesses zu beschweren. Diese Festigungsmethode kann mit einer Feuchtigkeitsbehandlung kombiniert werden.[201]
Ähnlich ist die Methode mit einem Saugtisch zu festigen. Hier wird erwärmtes Festigungsmittel auf die Rückseite eines erwärmten Gemäldes aufgetragen. Dies erfolgt mit dem Pinsel oder einer Spritzpistole. Unmittelbar darauf folgend wird das Gemälde auf den Saugtisch gelegt und langsam trocknen gelassen. Wenn nötig kann der gesamt Vorgang wiederholt werden.[202]

[196] BERGER & RUSSELL 2000, S. 24 f.
[197] BERGER & RUSSELL 2000, S. 25.
[198] BERGER 1990, S. 2.
[199] GOLTZ et al. 2012, S. 370.
[200] CPC (o. J.), S. 4.
[201] GOLTZ et al. 2012, S. 377.
[202] TOMKIEWICZ et al. 2012, S. 405.

BERGER schreibt außerdem in seinem Buch „*Consolidation of Paintings*" über die Methode mit einer BEVA®371-Klucel®Mischung zu festigen (z. B. Gouache und Tempera Malerei). Der Wasseranteil im Cellulosederivatanteil soll die Malschicht erweichen und BEVA®371 soll für die Haftung sorgen. Meistens sind keine Veränderungen der Malschicht zu erkennen. Nachdem das Festigungsmittel getrocknet ist, können BEVA®371 Überschüsse mit Lösemitteln wie Hexan oder Naphtha entfernt werden.[203]
BERGER setzte Klucel®J folgendermaßen an: „*Klucel J mixture for the removal of old glue (Hercules Inc), consists of 10 parts of Klucel J (by weight), 50-60 parts of water, and 40-30 parts of ethanol (could also be iso-propylalcohol). This mixture is best prepared cold. The water and methanol are kept in the refrigerator for 2-3 hours. The solvents are put in a mixing bowl and stirred while the Klucel J is added slowly to make sure that no lumps are formed. It is good to let the mixture stay overnight, until all the grains of the Klucel J are completely dissolved, and the mixture is clear and gelled. Klucel J has a detergent action and, for this reason it is exceptionally useful for the removal of water-soluble substances from water-sensitive materials.*
The above mixture can be added to thin solutions of BEVA 371 in toluene (5-8 %). This combination will provide the moisture required to soften gouache, casein, etc. without staining them, while the BEVA will supply the adhesion. Used in our studio successfully to consolidate loose paint in water colors and gouaches (primitives)."[204]

BEVA®371 wird nicht nur in der Gemälderestaurierung zum Festigen verwendet, sondern beispielsweise auch in der Wand-[205], Möbel-[206] und Lederrestaurierung[207].

[203] BERGER & RUSSELL 2000, S. 195.
[204] BERGER & RUSSELL 2000, S. 336.
[205] HENSICK et al. 1997.
[206] CHEWNING & MAILAND 1993.
[207] KRONTHAL et al. 2003 & PHILLIPS 1984.

5 Fallstudie: SERGE POLIAKOFF, „*Composition*“ (1961)

5.1 SERGE POLIAKOFF – Leben und Werk

SERGE POLIAKOFF wurde am 8. Januar 1906 in Moskau, Russland, geboren und wuchs in einem traditionsgebundenen und wohlhabenden Elternhaus auf. Dort lernte er die aristokratische Gesellschaft kennen.[208] Mit seiner religiösen Mutter besuchte POLIAKOFF täglich die Kirche, wodurch seine Vorliebe zur Meditation entstand und er schon als Kind mit russischen Ikonen in Berührung kam.[209] Dem Kunstkritiker JOHN RUSSEL zu folge ist POLIAKOFFs Malerei von den Ikonen beeinflusst. 1918 ging er während der Oktober-Revolutionswirren mit seiner Tante nach Konstantinopel[210] und gelang 1923 über Sofia, Belgrad, Wien und Berlin nach Paris (Abb. 3). 1930 besuchte er Malerei-Unterricht an der Académie Frochot und der Grande-Chaumière.[211] Ab 1935 besuchte POLIAKOFF zuerst die Chelsea School of Art[212] und danach die Slade School of Art in London. Zu dieser Zeit interessierte ihn vor allem italienische und ägyptische Malerei.[213] In London heiratete er MARCELLE PERREUR-LLOYD.[214]

Abb. 3 SERGE POLIAKOFF und sein Onkel DIMITRI, Kaukasus um 1919.

1937 kehrte er nach Paris zurück,[215] wo er mehrere Jahrzehnte lebte. POLIAKOFF zeigte gerne seine Werke, war aber nicht um ein Gespräch über diese bemüht und wollte weder Meinungen noch Anerkennungen hören. Die Malerei war seine Ausdrucksmöglichkeit „(...) *seine Sprache, daß jede andere Äußerung daneben von Natur aus unvollkommen sein müsste*.“[216] Anfangs konnte er nicht von seiner Malerei leben und verdiente seinen Unterhalt durch Gitarre spielen in russischen Cafés und Cabarets. Er arbeitete mit mittleren Formaten bei Ölgemälden und kleinen bei Gouache. Auch als er berühmter wurde, änderte er weder seinen Lebens- noch seinen Malstil.[217] In Paris lernte er neben WASSILY KANDINSKY auch OTTO FREUNDLICH kennen und nahm an den Malabenden („*jour fixe*“[218]) von ROBERT und SONJA DELAUNAY teil. Obwohl POLIAKOFF sich noch Mitte der 30er Jahre die Abstrakte Malerei nicht

[208] DOMNICK 1965, S. 3.
[209] SCHNEIDER 2000, S. 77.
[210] READ (o. J.), S. 792.
[211] SCHNEIDER 2000, S. 77.
[212] SCHMIED 1963, o. S.
[213] DOMNICK 1965, S. 4.
[214] SCHNEIDER 2000, S. 77.
[215] DOMNICK 1965, S. 4.
[216] SCHMIED 1963, S. 5.
[217] SCHMIED 1963, S. 5 f.
[218] SCHNEIDER 2000, S. 77.

zugetraut hatte, malte er bereits 1938, nach der Begegnung mit KANDINSKY,[219] sein erstes ungegenständliches Gemälde.[220] 1939 stellte er sein erstes abstraktes Gemälde in der Galerie Le Niveau in Paris aus und beteiligte sich von 1938–45 an den Ausstellungen des Salon des Indépendence.[221] 1942 wird sein Sohn ALEXIS geboren.[222] 1945 wurde er Mitglied im Salon Réalités Nouevelles. Es folgte 1946 eine Gruppenausstellung der damaligen Avantgarde und er wurde im Salon Mai vertreten.[223]
Die ersten abstrakten Gemälde POLIAKOFFs sind grau-monochrom und es ist kaum Farbigkeit zu finden. Erst 1945 entdeckte er die Freude an der Farbigkeit, die aber schnell wieder abklang.[224] Bei POLIAKOFFs Abstraktionen ist der Bildraum flach und Tiefe wird kaum dargestellt. Meist handelt es sich um eckige Formen, die ineinander greifen und sich manchmal überschneiden, um eine räumliche Illusion zu erzeugen.[225] Er schaffte es, dass nicht mehr die lineare Konturierung die Form umgrenzt, sondern der sie umgebende Raum.[226] 1946 folgte eine Reihe einfarbiger Gemälde.[227]

1947 erhielt er den Kandinsky-Preis, der erst seit dem vorherigen Jahr von NINA KANDINSKY gestiftet wurde. 1948 hatte er seine erste Ausstellung im Ausland, in Kopenhagen.[228] 1949 erreichte POLIAKOFF den Durchbruch und hatte seine eigene Farbigkeit gefunden.[229] Ab 1951 malte er mit leuchtenden kontrastierenden Farben und Klarheit: Oft scheine es so, dass ein Licht hinter den Formen zum Vorschein komme und an den Kanten vorbei strahle.[230]

Abb. 4 SERGE POLIAKOFF.

1952 konnte POLIAKOFF im Alter von 46 Jahren durch einen Vertrag mit der Galerie Bing in Paris seine Nebentätigkeit als Musiker aufgeben (Abb. 4). Im selben Jahr wurden seine Arbeiten das erste Mal in New York ausgestellt. 1953–54 fand eine große Wanderausstellung durch Belgien statt, wodurch POLIAKOFF im darauf folgenden Jahr an vielen Ausstellungen beteiligt war. 1956 erhielt er den Lissone-Preis und seine erste Monographie wurde veröffentlicht. 1958 war der Höhepunkt des Künstlers mit Einzelausstellungen in französischen, schweizer, deutschen, englischen und skandinavischen Museen erreicht.[231] 1958 beteiligte er

[219] DOMNICK 1965, S. 4 ff.
[220] READ (o. J.), S. 792.
[221] SCHNEIDER 2000, S. 77.
[222] SCHMIED 1963, o. S.
[223] DOMNICK 1965, S. 4.
[224] SCHMIED 1963, S. 8.
[225] READ (o. J.), S. 792.
[226] SCHMIED 1963, S. 8.
[227] READ (o. J.), S. 792.
[228] SCHNEIDER 2000, S. 78.
[229] SCHMIED 1963, S. 8.
[230] READ (o. J.), S. 792.
[231] SCHNEIDER 2000, S. 78.

sich in der Ausstellung „50 Ans d'Art Moderne" auf der Weltausstellung in Brüssel und 1959 nahm er an der documenta II in Kassel teil.[232] 1962 erhielt POLIAKOFF die französische Staatsbürgerschaft und stellte in einem eigenen Saal auf der Biennale von Venedig aus.[233] In diesen Jahren wurde die Farbe wieder etwas zurückgenommen und differenzierter.[234] Viele Gemälde aus dieser Zeit sind monochrom: „(...) *aber in wieviel Nuancen spielt nun eine orange-monochrome Fläche! Oder es sind zwei Farben, aus deren Verzahnung das Bild sich aufbaut die ineinander fragen und antworten, ein Gelb-Weiß und ein Grau-Weiß oder Grün-Weiß. Das eine dient dem anderen als sichtbar bleibende Untermalung und umgekehrt. So decken die tonig gesetzten Farben einander ohne zu verschmelzen*."[235]
1964 war POLIAKOFF bei der documenta III dabei.[236] 1965 erhielt er den Internationalen Preis der Biennale von Tokio. Im selben Jahr erlitt POLIAKOFF seinen zweiten Herzinfarkt (der erste war 1957). In dieser Zeit entstanden vor allem kleine Formate. 1966 erhielt er den Großen Preis der Biennale von Menton und das Kunstmuseum St. Gallen widmete ihm eine große Retrospektive. 1968 folgte die erste POLIAKOFF Retrospektive in Frankreich in Le Maison de la Culture in Caen.
POLIAKOFF stirbt im Jahr 1969 mit 63 Jahren im Musée d'Art Moderne, Paris, während einer Ausstellungsvorbereitung. Die Ausstellung fand 1970 posthum statt.[237]

POLIAKOFFs Gemälde „*wachsen nach innen, nicht nach außen*."[238] Dieses Zitat von WIELAND SCHMIED hat eine doppelte Bedeutung: Erstens auf die Gesamtheit des Bildes bezogen und zweitens auf den dimensionalen Raum der Kunst.
Das Gemälde baue sich auf, indem POLIAKOFF vom Bildrand beginnend Vorzeichnungen anfertige und sich langsam in die Bildmitte vortaste. Diese müsse bei jedem Gemälde neu gesucht werden, da kein Bild die gleiche Mitte habe. Diese langsame Definition der Formen ergebe aber noch nicht das Gesamtbild, sondern erst mit der Abstufung der Tonwerte sei es vollständig. Denn es sei erst „(...) *der Zusammenklang der Farbtöne, der die einzelnen Flächen belebt und miteinander harmonisch zum Klingen bringt*."[239] 1954 sind das erste Mal runde Formen in POLIAKOFFs Bildern zu finden und die Mitte scheine sich auszubreiten: „*Die Mitte dehnt sich weiter aus, bis das ganze Bild – in den reifsten Werken von 1959 an – nur noch „Mitte" ist*."[240] In der Mitte von POLIAKOFFs Bildern „(...) *entscheidet sich das eigentliche Bildereignis und damit Gestalt und Bewegung des Ganzen*."[241] Die Mitte sei somit mehr als ein „*idealer Treffpunkt*". Seine Formen sehen nicht konstruiert aus, sondern seien mit dem Leben verbunden. Sie erinnern an Naturformen,

[232] SCHMIED 1963, S. 4.
[233] SCHNEIDER 2000, S. 79.
[234] READ (o. J.), S. 792.
[235] SCHMIED 1963, S. 8.
[236] DOMNICK 1965, S. 4.
[237] SCHNEIDER 2000, S. 79.
[238] SCHMIED 1963, S. 10.
[239] SCHMIED 1963, S. 10.
[240] SCHMIED 1963, S. 10.
[241] MEYER 1957, o. S.

Gesteinsprofile und Prähistorisches. Jede Form habe ihre eigene Lebendigkeit und ihren eigenen Tonwert, Farbe und Textur. POLIAKOFFs Art des Farbauftrags variiert zwischen leuchtend und stumpf, flachgestrichen, getupft oder schlierig transparent.[242]

Auch der dimensionale Raum der Kunst gehe nach innen. POLIAKOFFs Werke seien abstrakt und von der Natur entfernt.[243] Nach SCHMIED verweisen POLIAKOFFs Gemälde auf nichts was außerhalb sei, haben keinerlei Zeichen. Sie laden den Betrachter zur Versenkung und Meditation ein. Eine Qualität liege in der Stille der Bilder. POLIAKOFF (Abb. 5) selber nannte sie „*große Musik*".[244] „*Wenn ein Bild schweigsam ist, bedeutet es für mich einen großen künstlerischen Erfolg. Einige meiner Bilder fangen mit großem Tumult an, sie sind explosiv, aber ich bin nicht eher zufrieden, bis ich Stille in das Bild gebracht habe.*"[245]

Abb. 5 POLIAKOFF in seinem Atelier.

Der Zugang zu POLIAKOFFs Werk sei demnach nicht leicht: „*Viele der Vermittlungen, die bei einem weiten Publikum dem Verständnis mancher ungegenständlicher Künstler dienlich waren, versagen bei ihm: er ist kein „abstrakter" Stimmungsmaler, der das literarisch bestimmte Gefühl anspricht, seine Form ist zudem nicht dekorativ und so nicht im Sinn des mechanischen Rhythmus erlebbar, und sie ist auch nicht, aus dem ihm fremden Erbe des mediterranen Kubismus heraus, architektonisch strukturell. Alle diese versteckten Beziehungen zur Gegenständlichkeit gibt es nicht bei Poliakoff.*"[246] Dennoch gehe aus den Bildern diese tiefgreifende Faszination auf den Betrachter aus, der durch die Bildmotive zur Meditation angeregt werde.
Die Gemälde wirken harmonisch, obwohl die Komposition unsymmetrisch und unregelmäßig sei. POLIAKOFF schaffe es Gewicht und Tonwerte der Formen und Farben so zu arrangieren, dass das asymmetrische ins Gleichgewicht komme. Dadurch, dass manches sich überlappt, erinnern die Gemälde an Collagen.[247] Sein erster Biograph MICHEL RAGON schrieb: „*Das Wunderbare bei Poliakoff ist, wie er das Schweigen zum Klingen bringt.*"[248]

[242] MEYER 1957, o. S.
[243] SCHMIED 1963, S. 10.
[244] SCHMIED 1963, S. 10.
[245] SCHMIED 1963, S. 13.
[246] MEYER 1957, o. S.
[247] DOMNICK 1965, S. 6 ff.
[248] DOMNICK 1965, S. 14.

5.2 Maltechnik

ALEXIS POLIAKOFF, der Sohn von SERGE POLIAKOFF, begann mit 13 Jahren, nach dem ersten Herzinfarkt seines Vaters, im Atelier zu helfen. Er half beim Vorbereiten des Malgrundes und dem Anreiben der Farben und bekam somit einen Einblick in POLIAKOFFs Maltechnik, die er in einem Aufsatz beschrieb.[249] Anfangs malte POLIAKOFF vermutlich auf Holz, wechselte dann aber zum textilen Bildträger, auf dem der Großteil seiner Arbeiten entstand.[250] Als Farbmittel nutzte er vor allem Ölfarbe oder Tempera, der er manchmal Ei zugab. Auf Reisen arbeitete er mit Gouache. Da Tubenfarben meist beim Trocknen ihren Farbton verändern, experimentierte POLIAKOFF mit selbst angeriebenen Farben. Hierzu rieb er Pigmente auf einer Glasplatte mit Öl und Wasser an. Als Farbmittel verwendete er „*zwei Grün-, zwei Blau-, zwei Rottöne, ein Gelb, Weiß und Schwarz. Auf dieser Grundlage entstanden durch Schichtung oder Mischung sämtliche Farbschattierungen seiner Malerei.*"[251]

Abb. 6 SERGE POLIAKOFF mit Pinseln und Spachtel.

Als Blauton habe POLIAKOFF mit Kaolin verschnittenes Ultramarin benutzt.[252] Genauere Pigment- und Bindemittelanalysen wurden von KOLLER und BURMESTER für das Gemälde „*Composition without Title*" (späte 1950er Jahre) gemacht: In roten Farbbereichen wurde vor allem Alizarin auf einem Substrat aus Aluminium und Calcium (Pigment Red 83) gefunden. In den dunkelroten Bereichen wurde nur Alizarin nachgewiesen, während in den helleren Farbbereichen Toluidin Rot (Pigment Red 3) dominiert. Als Gelbpigment verwendete POLIAKOFF Chromgelb und ein wenig Preußischblau. Die grünen Farbbereiche bestehen aus einer Mischung aus Cobaltgrün, Preußischblau, Chromgelb und Titanweiß. Agglomerate von Titanweiß wurden auch in den hell- und dunkelroten sowie gelben Bereichen nachgewiesen. Das Titanweiß ist mit Zinkweiß verschnitten, was ungewöhnlich für Ölbindemittel ist.[253] Nach ALEXIS POLIAKOFF nahm sein Vater für Schwarz und Weiß neben Pigmenten auch Zeichenkohle und Kreide.

Den Farbmitteln fügte POLIAKOFF gerne Zusätze wie beispielsweise Sand hinzu. Während ALEXIS POLIAKOFF im Atelier seines Vaters arbeitete, habe dieser nie Wachs verwendet. Beim Malen arbeitete POLIAKOFF direkt aus den Behältern in denen er die angeriebene Farbe aufbewahrte und verdünnte diese zusätzlich mit z. B. Öl oder Wasser. Er malte demnach nicht mit einer Palette. Die Farbe trug POLIAKOFF auf

[249] Der erste Teil des folgenden Kapitels bezieht sich v. a. auf Informationen aus dem Aufsatz „*Zur Maltechnik von Serge Poliakoff*" von ALEXIS POLIAKOFF.
[250] POLIAKOFF 2007, S. 111.
[251] POLIAKOFF 2007, S. 112.
[252] HONS et al. 2005, S. 32.
[253] KOLLER & BURMESTER 1990, S. 138.

zwei bis drei Zentimeter breiten (Borsten-) Pinseln auf (Abb. 6). Auch Messer soll er beim Malprozess verwendet haben.[254] Er arbeitete mit Überlagerungen und Durchscheinen des Untergrundes, da so die Farbe mehr „*Klang und Fülle*"[255] erhält. POLIAKOFF firnisste seine Gemälde nicht, da er der Meinung war, dass dieser die Farbe „töte". Gegen einen Schutz mit Glas hatte er nichts einzuwenden. Generell mochte er es lieber, wenn seine Gemälde nicht zu stark beleuchtet wurden. Die Farben seien im dämmrigen Licht noch kraftvoller. [256]

Malschicht-Ausblühungen

Bei POLIAKOFF weisen zahlreiche ungefirnisste Gemälde auf der Malschichtoberfläche Kristall-Ausblühungen auf. Sie haben ästhetische Auswirkungen, da sie die Farbintensität und den Hell-Dunkel Kontrast vermindern.[257] Zudem konnte beobachtet werden, dass sich in solchen Bereichen die mechanischen Eigenschaften wie z. B. die Adhäsion der Malschicht verschlechtern. KOLLER und BURMESTER sowie HONS et al. und ZUMBÜHL et al. beschäftigten sich mit dieser Thematik. Die Forschungsergebnisse dieser drei Arbeiten werden im Folgenden zusammengefasst.

Mittels GC/MS-Analysen fanden KOLLER und BURMESTER heraus, dass die Malschicht viele ungesättigte flüssige und gesättigte feste freie Fettsäuren enthält, die an die Oberfläche wandern. Die gesättigten Fettsäuren bilden dann Kristall-Strukturen aus, während die ungesättigten Fettsäuren durch Oxidationsprozesse abgebaut werden.[258] In manchen Fällen handle es sich bei den Ausblühungen auch um Metallseifen.[259]

Abb. 7 POLIAKOFF, „*Komposition ohne Titel*", 1959, Kristall-Ausblühungen, REM-Aufnahme.

Bei dem Gemälde „*Composition without Title*" (späte 1950er Jahre), von POLIAKOFF, waren alle Farbbereiche, außer die grünfarbene Malschicht, von solchen Ausblühungen betroffen. Vor allem im hellroten Bereich gab es viele Ausblühungen sowie ein stark ausgebildetes Craquelé, lose Malschichtschollen und Fehlstellen. Die Ausblühungen lagen oberflächlich auf und hatten eine nadelförmige Struktur.[260] Betrachtet man die Malschicht-Ausblühung bei Gemälden von POLIAKOFF unter dem REM, sind dünne, aufstehende Häutchen mit großer Oberfläche zu erkennen (Abb. 7), durch die das Licht gut gestreut wird und eine starke optische Beeinträchtigung erfolgt.[261] Sie sind

[254] POLIAKOFF 2007, S. 113.
[255] POLIAKOFF 2007, S. 112.
[256] POLIAKOFF 2007, S. 114.
[257] HONS et al. 2005, S. 32.
[258] KOLLER & BURMESTER 1990, S. 138.
[259] HONS et al. 2005, S. 32.
[260] KOLLER & BURMESTER 1990, S. 139.
[261] ZUMBÜHL et al. 2004, S. 63.

weißfarben oder durchsichtig, relativ weich, haben einen niedrigen T_g-Wert, lassen sich problemlos mit einem Skalpell abnehmen und sind in beispielsweise Hexan löslich.

GC/MS-Analysen, die an dem Gemälde „*Composition without Title*" von KOLLER und BURMESTER durchgeführt wurden, ergaben, dass die Ausblühungen aus einer Mischung von Palmitin- und Stearinsäure bestehen, die zu den festen Fettsäuren zählen. Beide Säuren liegen als Mischung und nicht als Einzelkomponenten vor. Dies lässt sich auf Grund ihres Verhältnisses zueinander (2:1) begründen, denn eutektische Mischungen der Palmitin- und Stearinsäure haben ein ähnliches Verhältnis (70:30). Dadurch erklärt sich zusätzlich der niedrige T_g-Wert (8–15 °C) der Ausblühungen.[262]

Durch weitere GC/MS-Analyse der dunkelroten Malschicht wurde neben den festen gesättigten Fettsäuren auch eine flüssige ungesättigte Fettsäure, nämlich Ölsäure, gefunden. Diese liegt sogar in einer größeren Menge als Palmitin- und Stearinsäure gemeinsam vor. Da Ölsäure eine flüssige Fettsäure ist, ist sie in der Lage in Malschichten zu migrieren. Auch Palmitin- und Stearinsäure sind auf Grund des Mischungsverhältnisses und des somit niedrigen T_g-Wertes bei Raumtemperatur bereits flüssig und können ebenfalls migrieren.

Palmitin- und Stearinsäure verändern sich beim Altern kaum und ihre charakteristischen Profile können zur Identifizierung von Ölen herangezogen werden. Da Analysen die gleichen Fettsäureprofile in den Ausblühungen, den freien Fettsäuren, den Triglyceriden und den Metallseifen der darunter liegenden Malschicht nachwiesen, kann sicher gesagt werden, dass die Fettsäuren in den Ausblühungen aus der Malschicht stammen.

Durch GC/MS-Analysen des Bindemittels wurde herausgefunden, dass 50 % mehr Bindemittel verwendet wurde, als die Pigmente für die Verarbeitung gebraucht hätten. Analysen ergaben, dass in allen Malschichtbereichen mit Ausblühungen als Bindemittel Leinöl-Standöl und nur in den grünen Farbbereichen kalt gepresstes Leinöl verwendet wurde. Da in kalt gepresstem Leinöl u. a. nur geringe Mengen an freien Fettsäuren enthalten sind, könnte dies der Grund sein, warum im grünen Farbbereich keine Ausblühungen auftraten.

Leinöl-Standöl beinhaltet auf Grund des Herstellungsprozesses viele freie Fettsäuren. Basische Pigmente, wie Bleiweiß, reagieren mit den freien Fettsäuren zu Seifen. Sind solche Pigmente nicht vorhanden, bleiben die freien Fettsäuren beweglich in der Malschicht und können an die Oberfläche migrieren. Die flüssigen, ungesättigten Fettsäuren unterliegen Oxidationsprozessen. Manche Oxidationsprodukte verflüchtigen und andere, wie Azelainsäure, bleiben in fester Form auf der Oberfläche zurück. Die festen gesättigten Fettsäuren kristallisieren aus. Das erklärt, warum Standöl-Leinöl einer der Gründe für Ausblühungen sein kann. Durch die Beschreibung dieser Vorgänge ist jedoch noch nicht geklärt, warum freie Fettsäuren an die Oberfläche wandern.

[262] KOLLER & BURMESTER 1990, S. 139.

Ausblühungen treten bei POLIAKOFF vor allem in den Bereichen mit Alizarin auf. Auch wenn ein anderes Farbmittel lasierend über rote Malschicht gemalt wurde, gibt es Ausblühungen. Nur rote Bereiche, die dick mit der grünen Malschicht übermalt sind, zeigen keine Ausblühungen. Demnach könnte Alizarin ein weiterer Auslöser für Malschicht-Ausblühungen sein. Laut EIBNER ruft Alizarin Probleme in Ölbindemitteln hervor. Es braucht viel Öl, ca. 60–70 % mehr als andere Pigmente, und verzögert den Trocknungsprozess. Wenn Alizarin nicht mit Bleiweiß ausgemischt wird, neigt es zur Rissbildung (v. a. Krähenfüße). Da es noch keine Untersuchungen zum Verhalten von Alizarin in gealterten Malschichten gibt, konnte dieser Aspekt von KOLLER und BURMESTER nicht weiter verfolgt werden.
Das zweite rote Farbmittel, Toluidin, kann in organischen Lösemitteln ausbluten und zeigt schlechte Trocknungseigenschaften in Öl. Ausblühungen sind oft vorzufinden, wenn dieses Pigment zusammen mit lufttrocknenden Bestandteilen verarbeitet wird.[263]

Daraus geht hervor, dass die Migrationsprozesse freier Fettsäuren in Abhängigkeit vom Farb- und Malmittel stehen. Die Beschreibung von Transportvorgängen in Malmitteln wird von ZUMBÜHL et al. mit Hilfe des erweiterten makroskopischen Modells der „Freien Volumen Theorie" erläutert.
Wie Beobachtungen verdeutlichen, hängt die Bildung von Ausblühungen mit Wasserdampfpermeation durch das Malschichtgefüge zusammen.[264] Bereiche mit geringer Wasseraffinität zeigten stärkere Ausblühungen als Bereiche mit wasserlöslichen Fettsäureseifen. Wie erwähnt begünstigt eine Mischung von Palmitin- und Stearinsäure im Verhältnis 2:1 die Mobilität auf Grund der Nähe zum eutektischen Punkt und dem dadurch niedrigen T_g-Wert. Da keine chemischen Reaktionen bei der durch Wasserdampfpermeation begünstigten Fettsäuremigrationen auftreten, besitzen die diffundierenden Stoffe eine geringe chemische Affinität.

Abb. 8 Schematische Darstellung der Fettsäuremigration durch Wasserdampfpermeation. Das Matrixgefüge wird durch die Linien dargestellt. Die kleinen, schwarzen Punkte stellen die Fettsäuren und die großen, grauen Punkte die Wasser-Cluster dar.

Ist die Adsorptionseigenschaft einer hydrophoben Struktur limitiert, so können sich durch eintretenden Wasserdampf Wasser-Cluster bilden. Diese lösen eine Plastifizierung der amorphen Polymermatrix aus. Der T_g-Wert wird durch die Zunahme des positiven freien Volumens gesenkt und die Beweglichkeit der Polymersegmente und somit die Permeabilität der niedermolekularen Stoffe erhöht. Es entsteht eine

[263] KOLLER & BURMESTER 1990, S. 140 ff.
[264] ZUMBÜHL et al. 2004, S. 61 f.

gerichtete Dichtefluktuation (Abb. 8). In den Hohlräumen, die durch die Wasser-Cluster gebildet wurden, können bereits im Matrixgefüge mobilisierbare Komponenten, wie freie Fettsäuren, transportiert werden. Durch die Wasserdampfpermeation wird also eine Codiffusion von Fettsäuren bzw. eine gekoppelte Diffusion durch den hygrischen Sekundärfluss erzeugt.[265]

Abb. 9 Schematische Darstellung der thermischen Diffusionsvorgänge. Die linke Abbildung zeigt die Polymermatrix vor der IR-Bestrahlung. In der zweiten Abbildung werden die einseitige Bestrahlung und der dadurch entstehende Temperaturgradient dargestellt. Durch die Dichtefluktuation entstehen thermische Transportvorgänge.

ZUMBÜHL et al. schreiben, dass, wenn zusätzlich thermische Diffusionsvorgänge (Abb. 9) auftreten, diese Prozesse begünstigt werden. Da die unterschiedlichen Farbbereiche unterschiedliche thermische Lichtabsorptionen aufweisen, unterliegen sie einem dementsprechend unterschiedlichen thermischen Eintrag. Gemälde von POLIAKOFF zeigen deshalb z. B. in blauen Bereichen mehr Ausblühungen. Die Ausblühungen bilden durch die thermische Diffusion keine Kristalle, sondern eher Agglomerate und flächige Anlagerungen durch zusammengeschmolzene Fettsäuren, die keinen großen optischen Schaden erzeugen. Das quantitative Ausmaß ist temperaturabhängig. Durch die Erwärmung der Malschicht wird im Querschnitt ein unterschiedlicher Temperaturgradient erzeugt. Je wärmer die Gefügematrix wird, desto mehr steigt die Anzahl und Größe der thermisch erzeugten Hohlräume an. Die Dichtefluktuation ist an der Oberfläche demnach stärker ausgebildet. Diese heterogene Dichtefluktuation begünstigt thermische Transportvorgänge von freien Fettsäuren, die an der Oberfläche lokale Anreicherungen bilden.[266]

In der Literatur werden viele Methoden zur Abnahme und Regenerierung von Kristall-Ausblühungen erwähnt. Hierzu zählen: trockene Abnahme mit einem Borstenpinsel, weichen Tüchern oder Watte oder mechanisch in deionisiertem Wasser (mit anionischem Tensid), Speichel oder leicht flüchtigen, aliphatischen Lösemitteln (z. B. Siedegrenzbenzin 100/140). Lose aufliegende Kristalle können abgesaugt werden. Zur Regeneration wird die Malschicht mit Ölen, Firnissen oder Wachsimprägnierungen genährt oder die Kristalle eingeschmolzen (Heißluft-Gerät mit ca. 65–70 °C, 20 Sekunden lang).[267]

[265] ZUMBÜHL et al. 2004, S. 63.
[266] ZUMBÜHL et al. 2004, S. 65 ff.
[267] HONS et al. 2005, S. 34 f.

Anhand von Proben, die nach POLIAKOFFs Maltechnik ausgeführt wurden, untersuchten HONS et al. die verschiedenen Abnahmetechniken genauer. Unter dem REM zeigte sich, dass durch die Abnahme mit dem Borstenpinsel nicht alle Kristalle abgetragen wurden und zudem in der weichen Malschicht Kratzer von dem Pinsel entstanden (Abb. 10, A). Die Watte und Tücher verschmierten die Kristalle auf der Oberfläche und Absaugen stellte sich als ungeeignet heraus, da die Kristalle auf der Malschicht hafteten. Die wässrigen Reinigungsmittel (Wasser und Speichel) zeigten zwar einen guten Reinigungseffekt, jedoch wurden die Kristallisationsherde nicht mitentfernt, wodurch erneut Kristalle ausblühen können (Abb 10, B). Nach der Reinigung mit unpolaren Lösemitteln sind die Ausblühungen zum Teil sogar noch stärker wieder gekommen. Siedegrenzbenzin 100/140 (Abb. 10, C) zeigte, wie die wässrigen Reinigungsmittel, einen guten Reinigungseffekt. Aber auch hier konnten die Kristallisationsherde nicht vollständig entfernt werden. Durch Einschmelzen sollten die Kristalle wieder „zurück" in die Malschicht diffundieren. Negativ bei diesem Verfahren ist jedoch, dass sich der Oberflächenglanz und die Farbsättigung verändern, da der Großteil der Kristalle zu einem klaren Film eingeschmolzen wird (Abb. 10, D). Es ist zudem nicht möglich, ausgewanderte Malschichtbestandteile wieder zurück zu diffundieren. Die Migrationsprozesse werden durch die Wärme sogar begünstigt. Imprägnierungen würden die optischen Eigenschaften der Malschichtoberfläche verändern und Ausblühungen nur eine bestimmte Zeit lang eindämmen, die dann auf Grund der immer noch stattfindenden Migrationsprozesse wieder wachsen könnten.

Abb. 10 REM-Aufnahmen der getesteten Abnahmetechniken von Kristall-Ausblühungen.

Ein vollkommen zufriedenstellendes Verfahren zur Behandlung von Ausblühungen konnte demnach bisher nicht gefunden werden. Die Reinigung mit Siedegrenzbenzin 100/140 wurde am besten bewertet und sollte durch präventive Maßnahmen unterstützt werden. Denn so lange mobile Bindemittelbestandteile im Gefüge vorhanden sind und Diffusionsprozesse stattfinden, wird es immer wieder zu neuen Kristall-Ausblühungen kommen.[268]

[268] HONS et al. 2005, S. 36 f.

5.3 SERGE POLIAKOFF, „*Composition*", 1961 – Zustandsdokumentation

Identifizierung

Künstler:	SERGE POLIAKOFF
Titel:	Composition
Datierung:	1961
Technik:	Ölmalerei auf textilem Bildträger
Maße (ohne Rahmen):	89,7 x 116,3 x 2,5 cm
Inv. Nr.:	MES 201
Werkverzeichnis Nr.:	0319
Provenienz:	MICHAEL und ELEONORE Stoffel Stiftung, Köln
Eigentümer:	Bayerische Staatsgemälde-sammlungen[269]

Abb. 11 POLIAKOFF, „*Composition*", Vorderseite, Vorzustand.

Beschreibung

SERGE POLIAKOFF schuf „*Composition*" im Jahr 1961 (Abb. 11). Es handelt sich um ein hochrechteckiges Ölgemälde auf textilem Bildträger, vermutlich Leinwand mit den Maßen 89,7 x 116,3 x 2,5 cm. Der Ölfarbe wurden vermutlich Zusätze zugemischt und die ungefirnisste Malschicht wirkt matt.

Das Bild ist in acht Felder aufgeteilt, die sich durch Farbe und Oberflächenstruktur unterscheiden. Die Farbgebung wird vor allem von Schwarz und Rot dominiert. Zudem gibt es ein weißfarbenes und ein gelbfarbenes Farbfeld. Die Oberflächenstruktur wirkt durch unterschiedlich dicken Farbauftrag und Pigmentagglomerationen rau und körnig. Die Farbschichten überlappen sich teilweise und vermischen sich in manchen Bereichen, da POLIAKOFF partiell nass-in-nass gearbeitet hat.

[269] (2008 als Leihgabe der Michael und Eleonore Stoffel Stiftung Köln).

Material und Technik

Keilrahmen

Der textile Bildträger ist auf einen Keilrahmen mit Mittelstreben aufgespannt (Abb. 12). Die Breite der Keilrahmenleisten beträgt 6 cm und die Tiefe 2 cm. Alle 12 Keile sind vorhanden. Die Holzleisten sind vermutlich aus Nadelholz und die Keile aus Laubholz gefertigt. Die Herstellung erfolgte maschinell.

Abb. 12 POLIAKOFF, „*Composition*", Rückseite, Vorzustand.

Auf dem Keilrahmen befinden sich sieben Aufkleber. Sortiert man die Aufkleber chronologisch, so sind zuerst zwei Aufkleber von der Galerie Louis Carré in Paris zu nennen. Zwei weitere Aufkleber geben in französischer Sprache u. a. als Material Öl auf Leinwand an. Der nächste Aufkleber ist von einer Transportfirma namens „Delamare & Cie". Das Gemälde scheint von Paris nach Bonn in die Galerie Pudelko gekommen zu sein. Der wohl neuste Aufkleber stammt von der Transportfirma „Hasenkamp" und bezeichnet bereits die Bayerische Staatsgemäldesammlungen als Leihgeber für die Ausstellung Sammlung Stoffel. Dank der Informationen der Aufkleber lässt sich die Provenienz des Gemäldes über die Sammlung Stoffel und die Galerie Pudelko bis hin zur Galerie Louis Carré in Paris zurückverfolgen.

Bildträger

Bei dem textilen Bildträger handelt es sich vermutlich um Leinwand. Die Herstellung des Gewebes in Leinenbindung erfolgte industriell. Sowohl die Kett- als auch die Schussfäden haben einen Z-Drill und eine Stärke von ca. 1 mm. Das Gewebe weist 14 Kettfäden und 14 Schussfäden pro cm^2 auf. Es konnte auf Grund einer fehlenden Webkante nicht bestimmt werden, ob die Schussfäden horizontal oder vertikal verlaufen.
Die Spannkante ist an allen Seiten erhalten. Auf der unteren Spannkante haften Papierreste.
Der textile Bildträger wurde in regelmäßigen Abständen mit Nägeln im Bereich des seitlichen Leinwandumschlages aufgespannt. Vermutlich handelt es sich um die ursprüngliche Aufspannung.

Roter Voranstrich

Es gibt keine Grundierung auf dem textilen Bildträger, aber einen rotfarbenen, dünnen Voranstrich. Das Bindemittel ist vermutlich ölhaltig und dem der Malfarbe ähnlich bzw. identisch. Die rote Malfarbe wurde mit einem Pinsel aufgetragen, dessen Duktus an den Spannkanten zu erkennen ist. Die Vermutung, dass der gesamte textile Bildträger vorgestrichen wurde, wird dadurch bestätigt, dass von der Rückseite durch den gesamten textilen Bildträger rote Farbe hindurch kommt (Abb. 13). Ob es sich hierbei um eine Art Imprimitur handelt oder der „Voranstrich" zum Malprozess für die Kompositionsfindung gehört, ist nicht eindeutig zu sagen. Bei dem Gemälde „*Komposition ohne Titel*" (1959) wird ebenfalls eine rote Farbschicht, die direkt auf der Leinwand liegt, angesprochen (Vgl. Kap. 5.2). Hier handelt es sich um eine „*rote, ölgebundene Farbschicht ohne hohen Fettsäuregehalt*"[270].

Abb. 13 POLIAKOFF, „*Composition*", Rückseite, Detail des roten Voranstrichs.

Malschicht

POLIAKOFF verwendete bei dem Gemälde „*Composition*" rote, schwarze, weiße und gelbe Malfarben. Die Malschicht wirkt matt. Das Bildmotiv wurde nicht über die Spannkante hinaus gemalt. Stellenweise, vor allem an der unteren und linken[271] Spannkante, ist der rotfarbene Voranstrich auf der Leinwand zu erkennen.

Der Aufbau der Malschicht erfolgte in Schichtentechnik. Hierdurch entwickelte POLIAKOFF seine Komposition und baute den erwünschten Farbton auf (Vgl. Kap. 5.2). Oft wurde das Farbmittel dabei nass-in-nass vermalt, wodurch sich Farbtöne mischen und Hell-Dunkel-Abstufungen entstehen. Dabei erzeugte er pastose, deckende Malschichtbereiche sowie Bereiche in denen die darunter liegenden Farbtöne durchscheinen. Der Auftrag erfolgte vermutlich mit Borstenpinseln in unterschiedlichen Breiten und mittels Spachteln. POLIAKOFFs Sohn zufolge waren die Pinsel zwei bis drei Zentimeter breit.[272] Bei dem Gemälde „*Composition*" variiert die Breite des erkennbaren Duktus zwischen drei und vier Zentimetern, was dadurch zu erklären ist, dass die Pinsel durch den Druck beim Malen breiter wurden.
Die Strukturen in den verschiedenen Farbbereichen sind unterschiedlich. Auf Grund vieler feiner Partikel, die über die gesamte Oberfläche verteilt sind, wirkt der rote Bereich wie Sandpapier. In den schwarzfarbenen sowie schwarz-rotfarbenen Bereichen setzte er vermehrt die Spachtel ein. Dadurch erzeugte er glatte

[270] HONS et al. 2005, S. 32.
[271] Betrachtungsrichtungen werden in dieser Thesis immer vom Betrachter aus angegeben.
[272] POLIAKOFF, S. 113.

Strukturen, die im Kontrast zu dem eher reliefartigen Pinselduktus stehen. In der weißen Malschichtoberfläche erzeugte POLIAKOFF mit Hilfe des Pinselduktus eine ausgeprägte Struktur. Auch der gelbfarbene Bereich hat eine ausgeprägte Pinselstruktur.

Auf der gesamten Malschichtoberfläche befinden sich Pigmentagglomerate (Abb. 14). POLIAKOFF baute sie bewusst in die Komposition ein. Betrachtet man die Malschichtoberfläche genauer, ist zu vermuten, dass die Pigmentagglomerate mit der Spachtel geschoben und in die Malschicht hinein gearbeitet wurden. Dadurch erzeugte POLIAKOFF unterschiedliche Strukturen in den Farbfeldern. KOLLER und BURMESTER vermuten, dass solche Agglomerate auf Grund der Kombination von miteinander unverträglichen Materialien entstehen könnten und nennen in diesem Zusammenhang Toluidin Rot.[273]

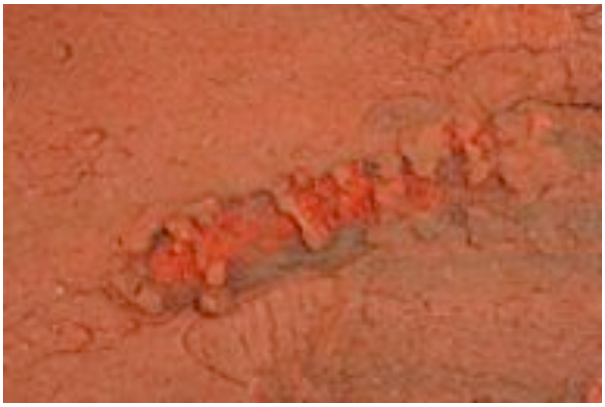

Abb. 14 POLIAKOFF, „*Composition*", Vorderseite, Detail, beschädigtes Pigmentagglomerat.

Die Schichtenabfolgen der roten, schwarzroten, schwarzen, weißen und gelben Farbfelder konnten nur an Fehlstellen der Malschicht betrachtet werden. Wie erwähnt, wurde der gesamte textile Bildträger mit einem rotfarbenen Farbmittel dünn vorgestrichen.
Bei den rotfarbenen Bereichen folgte auf diesen Voranstrich eine grünfarbene Schicht und darauf wieder Rot und eine Mischung aus grünem und schwarzem Farbmittel. Auf diese Farbschichten wurden dann sowohl die rote wie auch die weiße Form gemalt. Da im Weiß auch rote Farbe ist, trug er beide Formen vermutlich zeitnah auf und arbeitete mit dem rotfarbenen Pinsel auch im Weiß. Ein weiterer Hinweis, dass er die Formen nass-in-nass malte, ist, dass manchmal das Rot über dem Weiß und dann wieder das Grau-Weiß über dem Rot liegen.
Die schwarzrote Form hat als Unterschichten den roten Voranstrich, darauf vermutlich noch eine rote Malschicht und die grüne Schicht. Als oberste Schicht folgt eine Mischung aus schwarz-rotem Farbmittel. Da oft die rote Farbe unter der schwarzen liegt, wurde wahrscheinlich zuerst die rote Farbe gemalt und – als diese noch feucht war – die schwarzfarbene.
Unter der schwarzfarbenen Form konnte anhand der Fehlstellen kein roter Voranstrich und keine grüne Farbschicht gefunden werden. Hier liegt ein kräftiges Rot unter der obersten, schwarzen Malschicht. Zuerst vermischten sich beide Schichten. Um den Schwarzton zu erlangen, malte er vermutlich noch eine schwarzfarbene Farbschicht über die eher rotschwarze Farbschicht.

[273] KOLLER & BURMESTER 1990, S. 142.

Die gelbe Form wurde über das oberste schwarz der zuletzt beschriebenen Schichtenabfolge gemalt. Hier vermischten sich die Farben nicht.
In allen Formen sind auch immer wieder Verbesserungen zu sehen, vermutlich um die Konturierung der im Malprozess gefundenen Formen noch besser herauszuarbeiten und zu verdeutlichen.

Die Literaturrecherche zeigt, dass bei POLIAKOFFs Gemälden vor allem die rote Malschicht interessant ist. Das Doerner Institut stellte einen am untersuchten Gemälde entnommenen Querschliff (Anhang I) zur Verfügung, anhand dessen genauere Untersuchungen durchgeführt werden konnten.[274]

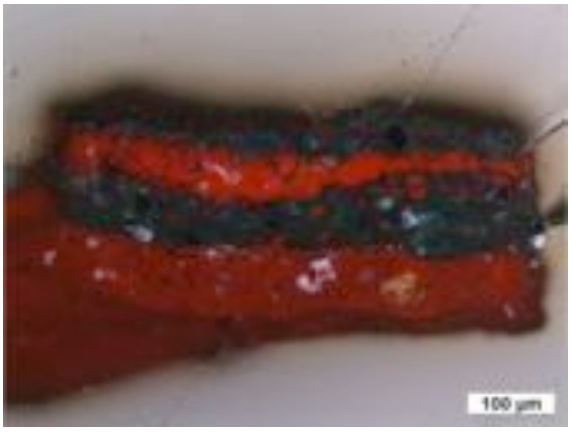

Abb. 15 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Auflicht im visuellen Bereich.

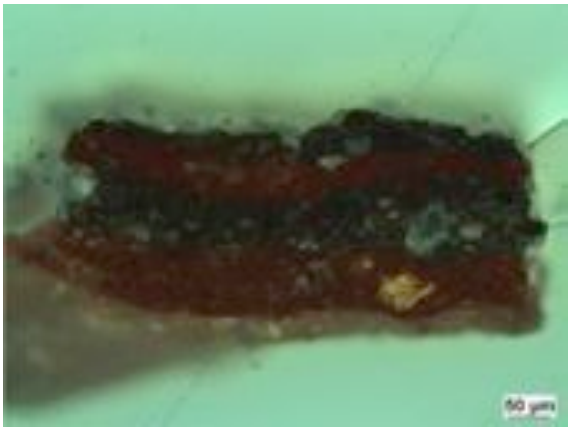

Abb. 16 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Auflicht im ultraviolettem Bereich.

Die Schichtenreihenfolge der entnommenen Malschicht ist: rote, grüne, wieder rote und direkt darauf grüne Malschicht. Der rote Voranstrich ist nicht im Querschliff zu sehen (Abb. 15). Die oberste Farbschicht wirkt mit bloßem Auge betrachtet schwarzfarben. Dieser Eindruck entsteht vermutlich durch das Übereinanderschichten der vielen Malfarben. Anhand des Querschliffes stellt sich heraus, dass die beiden grünen Malschichten wahrscheinlich identisch sind. Dagegen ist deutlich zu erkennen, dass die roten Malfarben unterschiedlich sind. Die untere rote Malschicht ist grobkörniger und wurde mit feinen, hellen Partikeln ausgemischt. Zum Teil sind in der unteren, rotfarbenen Schicht auch größere, helle Partikel mit eingeschlossen. Die obere rote Malschicht ist dagegen sehr feinkörnig. In den beiden grünen Malschichten befinden sich blaue und schwarze Farbpartikel. Rote Partikel gelangten vermutlich durch den Malprozess in die grünen Malschichten (nass-in-nass Technik). Die Partikel hingen entweder noch an dem Pinsel oder wurden durch den Malprozess in die darüber liegende Malschicht mitgenommen. Dass die Schichten unregelmäßige Oberflächen haben, spricht ebenfalls dafür, dass die untere Malschicht noch nicht durchgetrocknet war, bevor die nächste folgte. Der Riss, der im Querschliff zu erkennen ist, ist durch den

[274] Die Probe wurde am 19.06.2008 durch Dipl. Restauratorin IRENE GLANZER aus dem rot-schwarzfarbenen Feld entnommen (34,5 cm von unten, 0,03 cm von links).

Dampfdruck des Einbettungsmittels entstanden. Dies ist anhand der rasterelektronischen Untersuchung noch deutlicher zu erkennen. Dass jedoch der Riss nicht zwischen zwei Malschichten entstanden ist, sondern in der unteren roten Malschicht, spricht dafür, dass die Kohäsionskräfte dort niedrig sind. Unter UV-Strahlung (Abb. 16) konnten keine fluoreszierenden Farbstoffe oder sonstige Bestandteile erkannt werden.

Zur Analyse der roten Malschicht wurde die Probe mit dem REM-EDX des Lehrstuhls für Restaurierung, Konservierungswissenschaften und Kunsttechnologie mit Hilfe von Dr. Dipl. Restauratorin CRISTINA THIEME untersucht (Anhang I). Es wurden jeweils zwei Messpunkte in den beiden roten Malschichten genommen. Die vielen Hintergrundgeräusche und organischen Elemente sprechen für einen Farbstoff. Es ist allerdings schwierig, eine genaue Aussage zu treffen um welchen Farbstoff es sich handelt. KOLLER und BURMESTER haben bei POLIAKOFF Alizarin auf einem Substrat aus Aluminium und Calcium (Pigment Red 83) und Toluidin Rot (Pigment Red 3) nachgewiesen.[275] Da sowohl Aluminium wie auch Calcium in der roten Malschicht des Gemäldes „*Composition*" (1961) vorhanden sind, könnte es sich auch hier um ein Aluminium-Calcium-Substrat handeln. Betrachtet man die Summenformeln von Alizarin ($C_{14}H_8O_4$) und Toluidin (C_7H_9N) genauer, so fällt auf, dass nur in Toluidin Stickstoff vorkommt. Bei der Auswertung der Elemente im REM-EDX weist nur die obere Malschicht größere Mengen an Stickstoff auf. Es kann demnach vermutet werden, dass es sich hier um Toluidin handelt, welches außerdem die Bildung von Pigmentagglomeraten (Vgl. Kap. 5.2) begünstigt. Die untere Malschicht ist eventuell Alizarin. Dafür spricht auch, dass in der unteren Malschicht ein größerer Anteil an Aluminium und Calcium-Elementen vorgefunden wurde als in der oberen Malschicht. Die Vermutungen, dass es sich vor allem um Alizarin in der unteren und Toluidin in der oberen Malschicht handelt, müsste jedoch nochmal genauer untersucht werden.

Als Bindemittel verwendete POLIAKOFF vermutlich Ölfarbe mit Zusätzen, die er selber anrieb. Das Bindemittel konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht analysiert werden. Jedoch ist auf Grund der Malschicht-Ausblühungen davon auszugehen, dass es sich auch hier um eine Malschicht mit vielen freien Fettsäuren handelt (Vgl. Kap. 5.2)

Signaturen

Rechts unten auf der Vorderseite befindet sich die Signatur POLIAKOFFs (7 cm von unten, 20,5 cm von rechts gemessen). Die Signatur ist schwarzfarben und wurde mit der Malfarbe in die noch nasse rote Farbe geschrieben. Eine weitere Signatur befindet sich großflächig rechts oben auf der Rückseite. Bei beiden Signaturen schrieb POLIAKOFF seinen Namen aus: „Serge Poliakoff".

[275] KOLLER & BURMESTER 1990, S. 138.

Firnis

Die Malschichtoberfläche ist nicht gefirnisst.

Schäden und Veränderungen

Die Malschichtoberfläche sowie Rückseite und Keilrahmen sind verstaubt. Zudem weißt die Malschichtoberfläche starke Schollenbildung auf und viele Partien sind lose. Auf Grund der abblätternden Malschicht gibt es kleinere Malschichtverluste. Die Pigmentagglomerate sind teils beschädigt. In Kapitel 5.2 wurde beschrieben, dass auf Grund der Maltechnik rote Bereiche bei Gemälden von POLIAKOFF besonders ausgeprägtes Craquelé aufweisen. Dies kann auch bei diesem Gemälde beobachtet werden.

Abb. 17 POLIAKOFF, „*Composition*", Schadenskartierung.

Abb. 18 POLIAKOFF, „*Composition*", Vorzustand im Streiflicht.

In der Schadenskartierung (Abb. 17) wurden große Fehlstellen (hellblau), glänzender Festigungsmittelüberschuss (dunkelblau), matter Festigungsmittelüberschuss (orange) sowie der am stärksten von den Ausblühungen betroffene Bereich (grün) dokumentiert.

Fast die gesamte Malschichtoberfläche ist stark von weißen Kristallausblühungen betroffen (Abb. 19). Ausblühungen sind bei Gemälden von POLIAKOFF, wie im Kapitel 5.2 beschrieben, ein typisches

Schadensbild. Bei „*Composition*" sind die Ausblühungen vor allem in den dunklen Bereichen zu erkennen und mindern den ästhetischen Eindruck (Abb. 17). Die Ausblühungen befinden sich auch unter den Malschichtschollen (Abb. 20).

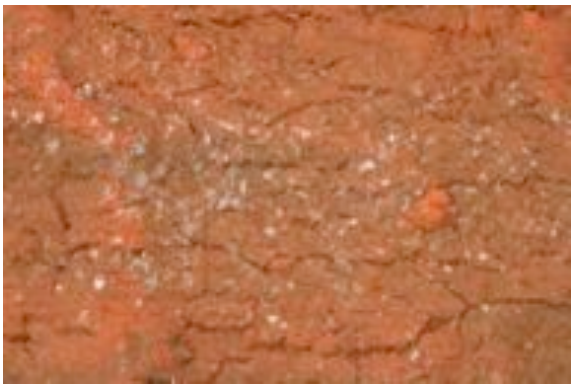

Abb. 19 POLIAKOFF, „*Composition*", Kristallausblühungen auf der Malschicht.

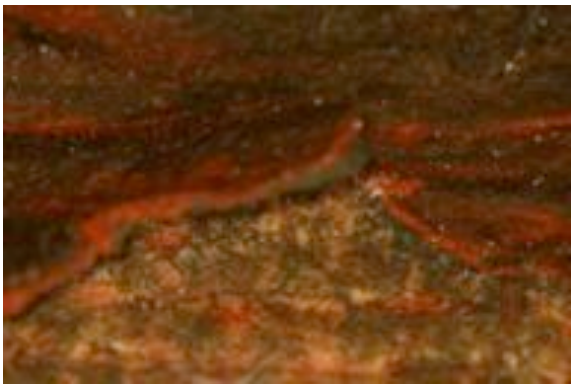

Abb. 20 POLIAKOFF, „*Composition*", Kristallausblühungen unter der Malschicht.

Weiterführende Fragen zu der Abblätterung der Malschicht sind, ob diese nur auf Grund der maltechnisch bedingten Ausblühungen entstanden ist oder auch mit der Schichtdicke zusammen hängt. Haben die unbehandelte Leinwand und der rote Voranstrich ebenfalls einen Einfluss auf das Malschichtverhalten? Wie sehen die Oberflächenstrukturen der einzelnen Malschichten sowie die Haftung untereinander aus? Und welchen Einfluss hat dies auf die Schollenbildung? In diesem Zusammenhang müsste geklärt werden, welche Fließeigenschaften die Farbe während des Auftrages hatte. Eine thixotrope Farbe kann z. B. eine stärkere Bindung mit darunter liegenden Schichten ausbilden, als eine viskosere Farbe.[276]
Obwohl es noch viele zu klärende Fragen gibt, lässt sich allgemein festhalten, dass Bereiche mit Ausblühungen ein größeres Schadensbild (Craquelé und Abblätterungen) aufweisen (Vgl. Kap. 5.2). Die Ausblühungen wurden an dem Gemälde „*Composition*" auch unter den Malschichtschollen gefunden.

Bei vorherigen Restaurierungsmaßnahmen wurde vergeblich versucht, die Malschicht zu festigen. Die Oberfläche wurde bei diesen Maßnahmen, noch bevor das Gemälde in den Bestand der Bayerischen Staatsgemäldesammlungen eingegliedert wurde, mit Festigungsmittel, oft wachshaltig, durchtränkt und gesättigt. Das Erscheinungsbild hat sich ästhetisch stark verändert, was besonders im Streiflicht deutlich wird (Abb. 18). Die Pigmentagglomerate sind teils beschädigt.

[276] Die noch zu klärenden Fragen kamen während eines Gespräches mit Dr. sc. nat. DIETEMANN und Frau BAUMER (Doerner Institut) auf.

Konservierungskonzept

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Konzept zur Malschichtfestigung erstellt. Von Schollenbildung, etc. betroffene Bereiche sind zu festigen und niederzulegen, um weiterem Verlust originaler Farbsubstanz entgegen zu wirken. Für die Auswahl eines geeigneten Festigungsmittels ist beim vorliegenden Kunstwerk neben einer ausreichenden Klebekraft und Viskosität der Glanz entscheidend, wie vorhergehende, zu glänzende und schwache und daher optisch störende Festigungsversuche deutlich machen. Das Festigungsmittel sollte alterungsbeständig sowie gegenüber Mikroorganismen resistent sein. Auch die Reversibilität bzw. Wiederkonservierbarkeit spielen eine Rolle bei der Wahl des Festigungsmittels.
Durch das Festigungsmittel sollte sich das optische Erscheinungsbild der Malschicht nicht verändern. Bei vorherigen Festigungsmaßnahmen erwies sich z. B. Störleim als zu schwach. Nach drei bis vier Wochen hoben sich die Malschichtschollen erneut vom Malgrund ab. Außerdem ist Störleim auf Grund seines Glanzes nicht geeignet. Hydroxypropylcellulosen (Klucele®) in unterschiedlichen Lösemitteln gelöst, fielen zwar nicht durch ungeeigneten Glanz auf, jedoch mangelte es an Klebekraft.
So wurde entschlossen, Festigungstestreihen mit BEVA®371 durchzuführen. Da es viele unterschiedliche Möglichkeiten gibt, BEVA®371 anzusetzen und zu applizieren (Vgl. Kap. 4.4), sollten durch Zugversuche ein geeignetes Festigungsmittel sowie eine geeignete Festigungsmethode gefunden werden.

5.4 Zugversuch

Für die Bachelor's Thesis wurden Testkörper für einen Zugversuch nach ASTM D903-49 mit unterschiedlichen BEVA®371-Lösungen gefertigt. Daran sollten unterschiedliche Festigungsansätze getestet werden, um eine Tendenz über die Haftung der gefestigten Malschicht aufstellen zu können. Die Ergebnisse sollten bei der Auswahl eines geeigneten Festigungsmittels für das Gemälde „*Composition*" (1961) von SERGE POLIAKOFF (Pinakothek der Moderne, München) behilflich sein.

Um BEVA®371 zu entwickeln, untersuchte BERGER eine Vielzahl alter und neuer Klebstoffe in Zusammenarbeit mit dem Conservation Center of New York University, Institute of Fine Arts und mit finanzieller Unterstützung der Samuel H. Kress Foundation (Vgl. Kap. 2.1).[277] Als die Forschungen an einem neuen Klebemittel 1967 begannen, gab es nur wenig Literatur über Doublierungsklebemittel und Tests an ihnen. Deswegen musste man sich an ähnlichen Fachbereichen orientieren.[278] Im Hinblick auf ein Klebemittel ist v. a. die mechanische Wirkung sowie die Entfernung des Klebstoffes zu testen. Mechanische Wirkungen sind v. a. das Anhaften an Malschichten und an unterschiedlichsten Arten von Doublierträgern, der Kaltfluss und die Starrheit der Klebeschicht. Um geeignete Materialien zu finden musste ein

[277] RAFT 1973, S. 31.
[278] BERGER & RUSSELL 2000, S. 119.

umfangreiches Prüfsystem aufgestellt werden. Es gibt zwei Parameter für Restaurierungs-Klebemittel: Potentielle Risiken für das zu behandelnde Kunstwerk und Effektivität und Alterung der Klebewirkung.

Folgende Tests wurden von BERGER durchgeführt:

1. Zugversuche zur Prüfung der Dauerhaftigkeit der Klebeverbindung[279] und Aussagen zur Widerstandsfähigkeit eines Klebemittels hinsichtlich der Schichtenablösung.[280]
2. Scherfestigkeitsprüfung (Messung des Kaltflusses).
3. Biegefestigkeitsprüfung, vor und nach künstlicher Alterung, um Biegefestigkeit zu testen.

Bei der Wahl der Klebemitteltests ist zwischen zwei Klebemittel-Gruppen zu unterscheiden: Malschichtfestigungsmittel und Doublierungsklebemittel.

Abb. 21 Zugversuch.

Bei der Testreihe für Festigungsmittel entschied man sich für Zugversuche, da hier Zugbelastung und Abschälen simuliert werden. Die gleichen Kräfte können u. a. zu Schichtentrennung führen.[281]

Beim Zugversuch wird ein flexibler Streifen mit dem zu testenden Klebemittel auf eine steife oder starre Oberfläche geklebt. Die Probe wird so zwischen zwei Spannbacken gespannt, dass der flexible Streifen um 180° gebogen und unter Spannung ist. Die obere Spannbacke bewegt sich von der unteren in einer konstanten Geschwindigkeit weg und verursacht ein Abschälen. Gemessen wird die Widerstandskraft bzw. die Belastung in N/mm, was in einer Kurve dargestellt wird. Die Zuggeschwindigkeit kann selber bestimmt werden, wobei die Schichtenablösung in einem geringen Tempo erfolgen kann.

[279] BERGER 1972, S. 173.
[280] BERGER & RUSSELL 2000, S. 122.
[281] BERGER 1972, S. 173 f.

In BERGERs Testreihe wurde die Klebekraft von alten und neuen Malschichten auf Baumwollstreifen einen Monat nach Anfertigung getestet. Als Testkörper wurden bei den folgenden Testreihen, wie bei BERGERs Testreihen, 150 x 12,7 mm[282] große Leinwandstreifen verwendet.

Wahl der Lösemittel

In der Literatur werden vor allem Toluol, Xylol und Naphtha als Lösemittel für BEVA®371 genannt (Vgl. Kap. 3.1). In einem Festigungs-Rezept für BEVA®371-Lösung wird angegeben, dass BEVA®371-Lösung mit einer Mischung aus langsam trocknenden Lösemitteln verdünnt wird, z. B. Xylol und Naphtha (1:10). Wie in Kapitel 3.3 beschrieben wird der Trocknungsprozess umso langsamer, je mehr Xylol zugegeben wird.[283] Mit Toluol trocknet es dagegen schneller.[284]
Für Verwirrungen sorgt der englische Begriff „Naphtha", denn es gibt keine klare Definition für die Zusammensetzung dieses Lösemittels und somit ist es schwer, in Deutschland einen gleichwertigen Ersatz zu finden. Nach Wikipedia ist Naphtha ein „*Fachbegriff für Erdölfraktionen, die reich an Cycloalkanen (Cycloparaffinen) sind*."[285] In der englisch-sprachigen Version wird beschrieben, dass Naphtha aus einem komplexen Gemisch von Kohlenwasserstoffmolekülen mit 5–12 C-Atomen[286] bestehe.[287]

ALAN PHENIX geht genau auf die Problematik des Begriffes „Naphtha" ein. Unter anderem schreibt er, dass der Aromatengehalt je nach Naphtha-Art von niedrig bis hoch variieren kann. „*The main* (...) *is that 'naphtha' might be used to describe solvents that contain zero, some, or all aromatic hydrocarbon compounds. It is important, therefore, to distinguish between aromatic-free, aromatic-containing and wholly-aromatic naphthas. The aromatic naphthas will have appreciably higher solvent power, but also tend to present greater health risk.*"[288] Betrachtet man den Aromatengehalt von Naphtha VM&P HT[289], so besitzt dieses maximal 1 Vol.-% Aromaten.[290] Shellsol A[291] beinhaltet dagegen fast 100%.
Als Alternative für Naphtha wurde Siedegrenzbenzin 100/140 (Kremer-Pigmente) verwendet. Denn Siedegrenzbenzin 100/140 ist ein „*Gemisch aus paraffinischen und naphthenischen Kohlenwasserstoffen im Bereich von C7–C9*" und einer Siedetemperatur von 90–165 °C.[292] Die Kohlenstoffketten sind etwa gleich lang wie bei Naphtha und die Siedetemperatur ist ungefähr gleich hoch. Wie im Naphtha VM&P HT sind kaum Aromaten enthalten.

[282] BERGER & RUSSELL 2000, S. 143.
[283] BERGER & RUSSELL 2000, S. 26.
[284] BERGER 1975, S. 147.
[285] http://de.wikipedia.org/wiki/Naphtha; Stand: August 2013.
[286] Dabei unterscheide man zwischen „*Light Naphtha*" mit 5–6 C-Atomen und einem Siedepunkt von 30–90 °C und „*Heavy Naphtha*" mit 6–12 C-Atomen und einem Siedepunkt von 90–200 °C (Wikipedia 2013).
[287] Wikipedia 2013.
[288] PHENIX 2007.
[289] Naphtha-Art, die von BERGER verwendet wurde (BERGER 1975, S. 147).
[290] Shell Chemicals 2005.
[291] Von Kremer-Pigmente empfohlenes Lösemittel zum Verdünnen von BEVA®371.
[292] Kremer-Pigmente 2012, S. 2.

Testreihen

Es wurden fünf BEVA®371-Lösungen angefertigt. Als Lösemittel wurden Toluol, Xylol und Siedegrenzbenzin 100/140 verwendet. Eine weitere Variante war ein von BERGER erwähntes Festigungsrezept mit BEVA®371 in Toluol und Klucel®J (Vgl. Kap. 4.4).[293] Der Wasseranteil im Cellulosederivatanteil soll die Malschicht erweichen und BEVA®371 soll für die Haftung sorgen.[294] Da Klucel®J in Deutschland nicht erhältlich ist, wurde Klucel®G verwendet. Eine 10 %ige Klucel®J-Lösung (wie von BERGER verwendet) entspricht einer 3, 5 %-igen Klucel®G-Lösung (Abb. 22).

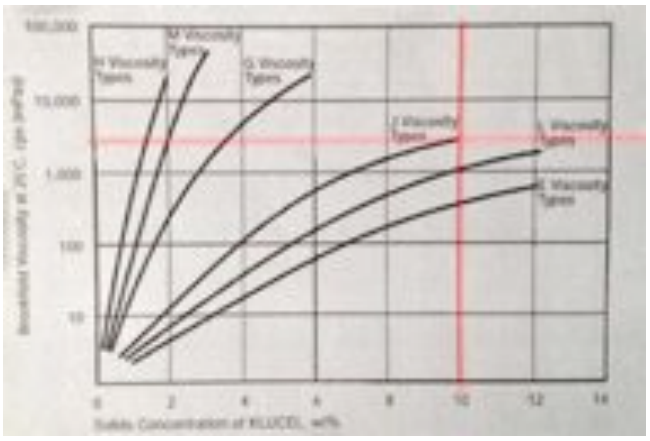

Abb. 22 Viskosität/Feststoffkonzentration von verschiedenen Klucel®Typen.

Testkörper

Jede Variante der BEVA®371-Lösung wurde 8 %ig hergestellt, da in der Literatur Angaben von 5–10 %igen Ansätzen als Festigungsmittel zu finden sind[295] (7,5 % ≙ Mittelbereich).

Eine gealterte Malschicht kann sich entweder durch nachlassende Adhäsionskräfte vom Bildträger oder von darunter liegenden Malschichten ablösen. Zur Simulierung dieser zwei Phänomene wurden für den ersten Fall zwei grundierte Leinwandstreifen (150 x 12,7 mm)[296], für den zweiten Fall grundierte auf ungrundierte Leinwandstreifen mit einer Überlappungslänge von 50 mm aufeinander geklebt (Abb. 23, 24). Die Grundierung bestand aus Bologneser Kreide und 7 %igem Hasenleim. Nachdem die Leinwand mit 7 %igem Hasenleim abgesperrt wurde, erfolgte der Auftrag der Grundierung.

Abb. 23 Grundierter und ungrundierter Leinwandstreifen.

Abb. 24 Beispiele der Testkörper der Versuchsreihen a–c und d–f.

[293] BERGER & RUSSELL 2000, S. 95.
[294] BERGER & RUSSELL 2000, S. 195.
[295] BERGER & RUSSELL 2000, S. 26.
[296] BERGER & RUSSELL 2000, S. 143.

auf / BEVA®371 in... (8 -%ig)		Toluol	Xylol	Toluol/Siede-grenzbenzin 100/140 (1:10)	Xylol/Siede-grenzbenzin 100/140 (1:10)	Toluol/ Klucel®G (1:1)
Grundierte	Ohne Gewicht	1a	2a	3a	4a	5a
Leinwand	Sandsack	1b	2b	3b	4b	5b
	Gewicht	1c	2c	3c	4c	5c
Ungrundierte	Ohne Gewicht	1d	2d	3d	4d	5d
Leinwand	Sandsack	1e	2e	3e	4e	5e
	Gewicht	1f	2f	3f	4f	5f

Anmerkung zur Tabelle: Während des Erstarrens des Filmes wurden die Testkörper mit keinem Gewicht, einem Sandsack (3,0 g/cm^2) oder einem Gewicht (11,6 g/cm^2) beschwert.

Tab. 2 Systematik der Testkörper

Zum Herstellen der BEVA®371-Lösungen wurde zuerst die benötigte Gewichtsmenge Lösemittel in ein Gefäß gegeben und dann die entsprechende Gewichtsmenge Stammlösung BEVA®371-Lösung (40 %ig), um eine 8 %ige Lösung zu erhalten. Das nach BERGER[297] hergestellte Klucel® wurde 1:1 mit BEVA®371 in Toluol (8 %ig) gemischt und vor dem Aufstreichen gut verrührt.

Die Lösungen wurden auf einer Heizplatte unter Rühren erwärmt, bis sich das BEVA®371 vollständig gelöst hat und die Lösung klarer wurde. Dann wurden, in möglichst gleich starken Schichten, die Lösungen mit einem Pinsel auf die Leinwandstreifen gestrichen. Je Testkörper wurde nur ein Leinwandstreifen mit BEVA®371-Lösung bestrichen. Bei den Testreihen a–c wurde ein grundierter Leinwandstreifen („Malschicht") und bei den Testreihen d–f ein ungrundierter Leinwandstreifen („textiler Bildträger") beschichtet. Es soll dadurch simuliert werden BEVA®371 bei der Festigung auf den textilen Bildträger bzw. die Malschicht aufzutragen.
Die beschichteten Leinwandstreifen trockneten für 18 Stunden, da nach BERGER nach dieser Zeit die Filmbildung abgeschlossen ist und die maximale Klebekraft bei Aktivierung erreicht wird. Nach 18 Stunden sinkt auch die Wahrscheinlichkeit von Fleckenbildung (Vgl. Kap. 3.3).[298]

[297] „*Klucel J mixture for the removal of old glue (Hercules Inc), consists of 10 parts of Klucel J (by weight), 50-60 parts of water, and 40-30 parts of ethanol (could also be iso-propylalcohol). This mixture is best prepared cold. The water and methanol are kept in the refrigerator for 2-3 hours. The solvents are put in a mixing bowl and stirred while the Klucel J is added slowly to make sure that no lumps are formed. It is good to let the mixture stay overnight, until all the grains of the Klucel J are completely dissolved, and the mixture is clear and gelled. Klucel J has a detergent action and, for this reason it is exceptionally useful for the removal of water-soluble substances from water-sensitive materials. The above mixture can be added to thin solutions of BEVA 371 in toluene (5-8%). This combination will provide the moisture required to soften gouache, casein, etc. without staining them, while the BEVA will supply the adhesion. Used in our studio successfully to consolidate loose paint in water colors and gouaches (primitives).*" (BERGER & RUSSELL 2000, S. 336).
[298] BERGER 1975, S. 142.

Beide Leinwandstreifen (einer mit und einer ohne BEVA®371-Film) wurden aufeinander gelegt. Der BEVA®371-Film wurde mit einer Heizspachtel mit einer Temperatur von ca. 65–70 °C aktiviert. In diesem Temperaturbereich erreicht BEVA®371 nach BERGER eine honigartige Konsistenz und ist klebrig bzw. erreicht seine maximale Klebestärke (Vgl. Kap. 3.3).[299] Beide Streifen wurden mit möglichst gleichbleibendem Druck fünf Minuten lang zusammengebügelt. Um auf der BEVA®371-Schicht 65–70 °C zu erreichen, musste die Engelbrecht Heizspachtel auf 170 °C eingestellt werden. Messungen mit einem Oberflächentemperatur-Messgerät (Greisinger OMH 3350) dienten zur Überprüfung. Wurde die Heizspachtel von der zu erwärmenden Fläche genommen, wie es während des Klebemittelaktivierungsvorgangs passiert, sinkt die Temperatur auf bis zu 30–50 °C und heizt bei erneutem Kontakt mit der Heizspachtel schnell auf 70–80 °C hoch. Während des Klebevorgangs ist demnach mit Unregelmäßigkeiten bei der Temperaturzugabe zu rechnen. Die Probekörper trockneten mehrere Tage und wurden dabei unterschiedlich beschwert (Tab. 2).

Zugversuche

Die Zugversuche erfolgten am Lehrstuhl für Medizintechnik, TUM. Es wurde an einer einsäuligen Prüfmaschine „Zwick/Roell Z2.5" gearbeitet, die speziell für niedrige Prüfkräfte ausgelegt ist. Die maximale Prüfkraft beträgt 2,5 kN. Der Typ des Kraftaufnehmers lautet Typ KAF-TC, Fa. A.S.T.

Der Leinwandstreifen mit der BEVA®371-Schicht wurde in die festsitzende Spannbacke (unten) mit einem verstärkenden Holzplättchen[300] eingespannt. Der darauf geklebte Leinwandstreifen wurde um 180° gebogen und mit der oberen Spannbacke befestigt (Abb. 21). Der Klemmenabstand bzw. die Einspannlänge betrug 91,3 mm. Die obere Spannbacke wurde mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min nach oben bewegt und zog die Leinwandstreifen auseinander. Die Maschine wurde gestoppt, sobald die Leinwandstreifen komplett voneinander abgelöst waren. In der Messkurve wird dargestellt, in welcher Beziehung die Parameter Prüfkraft (N) und Weg (mm) zueinander stehen (Anhang II).

Ergebnisse der Testreihen

Auswertung der BEVA®371-Lösungen per Augenschein

BEVA®371 gelöst in Toluol und Xylol ergab klare, leicht gelbfarbene Lösungen und das Klebemittel löste sich vollständig auf. Dagegen ergab BEVA®371, gelöst in Toluol bzw. Xylol mit Siedegrenzbenzin 100/140, eine weißfarbene Mischung. Während die Lösung erkaltet, setzen sich BEVA®371-Reste am Boden ab. BEVA®371 in Toluol mit Klucel®G gemischt verband sich nicht und ergab zwei Phasen.
Die Leinwandstreifen konnten mit allen Lösungen aufeinander geklebt werden. Auch die Klebekraft der Lösemittel-Mischungen reichte aus, um die Leinwandstreifen zu fixieren.

[299] BERGER & RUSSELL 2000, S. 95.
[300] BERGER & RUSSELL 2000, S. 125.

Ergebnisse der Testreihen

Bei der Auswertung von Klebemittel-Zugversuchen spielt vor allem die maximal aufgewandte Prüfkraft eine Rolle. In Tabelle 3 ist für jeden Testkörper die maximale Prüfkraft (N) eingetragen. Die Systematik der Testkörperbenennung ist in der Durchführung der Testreihen beschrieben.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Durchschnitt**
a	6,5 N	4,45 N	4,6 N	6,5 N	9,2 N	**6,25 N**
b	4,8 N	4,1 N	9,2 N	6,4 N	9 N	**6,7 N**
c	4 N	1,55 N	8,5 N	0,9 N	2,5 N	**3,49 N**
d	3,3 N	0,6 N	2,7 N	6 N	0,3 N	**2,58 N**
e	4,9 N	0,95 N	2,2 N	2,9 N	0,45 N	**2,28 N**
f	3,5 N	1,1 N	4,2 N	4,1 N	1,15 N	**2,81 N**
Durch-schnitt	**4,5 N**	**2,125 N**	**5,23 N**	**4,46 N**	**3,77 N**	

Tab. 3 Maximale Prüfkraft

Weiter wurde beobachtet, nach welchem Weg (mm) beide Leinwandstreifen vollständig voneinander gelöst waren (Tab. 4).

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Durchschnitt**
a	81 mm	75,5 mm	97,5 mm	65,5 mm	61 mm	**76,1 mm**
b	42 mm	61,5 mm	66 mm	42 mm	41 mm	**50,5 mm**
c	95 mm	53 mm	62 mm	13,5 mm	12 mm	**47,1 mm**
d	82,5 mm	42 mm	85 mm	85 mm	11,6 mm	**61,22 mm**
e	85 mm	(7,7 mm)	87 mm	48 mm	8,4 mm	**47,22 mm**
f	96 mm	80mm	63 mm	96 mm	47 mm	**76,4 mm**
Durch-schnitt	**80,25 mm**	**(44,12 mm) 62,4 mm**	**76,75 mm**	**58,33 mm**	**30,17 mm**	

Tab. 4 Maximal zurückgelegter Weg

Auswertung der Klebekraft der Festigungsmittel

Als Tendenz lässt sich bei den BEVA®371-Lösungen mit Toluol (Nr. 1, 3)[301] und Xylol (Nr. 2, 4) festhalten, dass die Testkörper erst gerissen sind, als von der oberen Spannbacke ein Weg von mehr als 5 cm zurückgelegt wurde.

Bei BEVA®371 gelöst in Toluol ist der benötigte Weg länger als bei BEVA®371 gelöst in Xylol (Nr. 2, 4). Bei den reinen BEVA®371-Lösungen ohne Siedegrenzbenzin 100/140 (Nr. 1, 2) wurde ein längerer Weg als bei den Mischungen (Nr. 3, 4) benötigt.

Ähnliche Beobachtungen lassen sich mit der maximal aufgewandten Kraft aufstellen. Bei den Testkörpern mit BEVA®371 gelöst in Xylol wurde meist eine höhere Kraft erreicht als bei den Testkörpern mit BEVA®371 gelöst in Toluol.[302]
Bei den BEVA®371-Lösungen mit Siedegrenzbenzin 100/140 wurde eine geringere Maximalkraft erreicht als bei den reinen BEVA®371-Lösungen. Allerdings sind hier die Werte von BEVA®371 gelöst in Xylol im Durchschnitt höher als die von BEVA®371 gelöst in Toluol.

Betrachtet man die Testkörper mit der Mischung mit dem Klucel®G-Zusatz (Nr. 5), so fällt auf, dass die Leinwandstreifen hier im Durchschnitt bei 30,17 mm und somit am frühesten abgerissen sind. Auch der durchschnittliche Kraftaufwand von 3,77 N ist relativ gering.

Deutung der Klebekraft der Festigungsmittel

BEVA®371 gelöst in Toluol und Xylol rissen erst, nachdem ein Weg > 5 cm zurückgelegt wurde. Da die Klebefläche 5 cm lang war, bedeutet das, dass die Leinwandstreifen gedehnt werden mussten, bevor sie rissen. BEVA®371 gelöst in Xylol schnitt hierbei schlechter ab als BEVA®371 gelöst in dem sich schneller verflüchtigenden Toluol. Bei den in Toluol gelösten BEVA®371-Lösungen hat das Bindemittel vermutlich weniger Zeit in das Gefüge einzudringen und bildet schneller eine BEVA®371-Schicht aus. Die Klebemittel-Schichten der Testreihen mit Toluol haben die Tendenz elastischer zu sein als die Klebemittel-Schichten der Testreihen mit Xylol.

Wurden die reinen Lösemittel mit Siedegrenzbenzin 100/140 vermischt, hielten die BEVA®371-Klebemittelfilme der Kraft nur einen kürzeren Weg stand. Dies bedeutet, dass echte Lösungen eine höhere Elastizität von BEVA®371 bewirken als eine Mischung aus zwei Phasen.

[301] Alle Probennummern beziehen sich auf die Tabellen 2–4.
[302] Bei Testreihe 2 ist die Streuung vermutlich so groß, dass die Ergebnisse bei der Auswertung nicht mit einbezogen wurden.

Die Auswertung der maximal aufgewandten Kraft zeigt die Tendenz, dass BEVA®371 gelöst in Xylol eine etwas stärker Kraft zum Lösen der Leinwandstreifen braucht als BEVA®371 gelöst in Toluol.

Die Klebemittelfilme aus BEVA®371 gelöst in Siedegrenzbenzin 100/140 kleben vermutlich geringer als die Klebemittelfilme aus BEVA®371 gelöst in reinen Lösemitteln, da das BEVA®371 nicht vollständig gelöst wird.

Die Ergebnisse der Klebemittelfilme der BEVA®371-Lösung mit Klucel®G fielen negativ aus. Vermutlich beeinträchtigt das Klucel® die Klebekraft des BEVA®371. Beide Komponenten vermischen sich nicht vollständig und liegen als ein zwei Phasen Gemisch vor. Eventuell beeinflusst auch die Wasserkomponente des Klucel® die Klebekraft von BEVA®371. Ein weiterer Nachteil ist, dass in diesem Festigungsgemisch viele unterschiedliche Komponenten enthalten sind, die sich alle gegenseitig negativ beeinflussen können.

Bei der Auswertung der Klebekraft der Lösemittel lässt sich als Tendenz festhalten, dass sich BEVA®371 in Toluol und in Xylol gelöst nur minimal unterscheiden. Die maximal erreichte Prüfkraft bei Testreihe a ist etwas geringer als bei Testreihe c, jedoch ist der maximal erreichte Weg bei Testreihe a länger. Toluol hat den Vorteil schneller zu verdunsten, wodurch es vermutlich nicht so tief ins Gefüge eindringen kann. Zudem scheint hier der BEVA®371-Film elastischer zu sein. Klebemittelfilme der Xylol-Lösungen halten dagegen einer größeren Kraft stand.

Auswertung der Oberflächenbeschaffenheit

Die Ergebnisse zeigen die Tendenz, dass eine größere maximale Kraft benötigt wird um grundierte Leinwand von grundierter Leinwand zu trennen, als ungrundierte von grundierter Leinwand.
Der maximal erreichte Weg ist bei beiden etwa gleich lang.

Deutung der Oberflächenbeschaffenheit

Vergleicht man die Art der Oberflächenbeschaffenheit der Testkörper, so haftet grundierte Leinwand auf grundierter Leinwand besser als grundierte auf ungrundierter Leinwand. In den Testreihen d–f (grundierte auf ungrundierte Leinwand) konnte das Festigungsmittel vermutlich zu tief in die Leinwand eindringen und deshalb keinen gleichmäßigen Film auf der Oberfläche ausbilden. Deshalb wird eine geringere Kraft für das Auseinanderreißen benötigt.

Auswertung der Beschwerung

Während des Erstarrens des Filmes wurden die Testkörper mit einem Sandsack (3,0 g/cm^2), einem Gewicht (11,6 g/cm^2) oder nicht beschwert. Hier konnte keine aussagekräftige Tendenz gefunden werden, außer, dass

tendenziell der Wert der maximal aufgewandten Kraft bei den beschwerten Testkörpern größer als ohne irgendeine Beschwerung war.

Schrumpfungsverhalten von BEVA®371

Zusätzlich zu den Zugversuchen wurden die BEVA®371-Lösungen auf Hostaphanfolie aufgestrichen, um ihr Schrumpfverhalten während der Trocknung zu beobachten. Alle Ergebnisse fielen positiv aus und keine der Folien zog sich zusammen.

Schlussfolgerung der Zugversuche

Um gesicherte Ergebnisse zu erhalten, müssten wegen der hohen Streuung bei den Testreihen von Klebemitteln mehr Testkörpern (5–7 pro Testkörper) angefertigt werden. Im Rahmen dieser Bachelor's Thesis war dies aus Zeitgründen nicht möglich. So ist als Schlussfolgerung nur das Formulieren von Tendenzen möglich.
Für die Festigung des Gemäldes „*Compostition*" von SERGE POLIAKOFF wurde BEVA®371 gelöst in Toluol (Nr. 1) verwendet. Dieses Klebemittel zeigte in den Zugversuchen tendenziell die besten Werte.
Bei der Beschwerung wurden zufriedenstellende Ergebnisse mit Sandsäcken erreicht. Ein Vorteil gegenüber Gewichten ist, dass Sandsäcke sich der Malschicht anpassen und auch bei pastoser Malschicht gleichmäßig Druck ausüben.

5.5 Festigungskonzept

Anhand der Maltechnik-Untersuchung (Vgl. Kap. 5.3) und der Zugversuche (Vgl. Kap. 5.4) wurde für das Gemälde „*Composition*" (1961) von SERGE POLIAKOFF ein Festigungskonzept entwickelt. Da die Malschicht stark abblättert und vorherige Festigungstests erfolglos waren, wurden mehrere Teststellen ausgewählt und mit BEVA®371 in 10 %, 15 % und 20%iger Lösung in Toluol gefestigt.

Die Festigung erfolgte wie folgt: Zunächst wurde die BEVA®371-Lösung in Toluol angesetzt und mindestens einen Tag stehen gelassen. Hierdurch sollte sich das BEVA®371 gut im Lösemittel lösen.
Vor der Festigung am Gemälde wurde dessen Hitzeempfindlichkeit getestet und das Verhalten der Malschicht gegenüber Lösemitteln überprüft. Die Hitzeempfindlichkeit wurde mit Hilfe eines Heißluftgerätes (70 °C) getestet. Die Malschicht wurde wieder weich und formbar. Manche Stellen mit altem Festigungsmittel wurden durch die Hitzeeinwirkung glänzend. Dieser Glanz verschwand nach der Abkühlung wieder. Die Ausblühungskristalle wurden durch die Hitze eingeschmolzen. Die Oberfläche in solchen Bereichen weist danach nur noch wenige oder gar keine Kristalle mehr auf und wirkt vom Farbton her gesättigter. Wie in Kapitel 5.2 angesprochen, können die Kristalle nicht zurück diffundieren und werden

nach einer Weile wahrscheinlich verstärkt wieder kommen. Dieser Aspekt darf nicht vernachlässigt und muss weiterhin beobachtet werden.

Lösemitteltests wurden mit Siedegrenzbenzin 100/140 und Toluol angefertigt (Abb. 25). Je Farbbereich wurde ein in Lösemittel getränktes Wattestäbchen über die Malschichtoberfläche gerollt. Wattestäbchen mit Siedegrenzbenzin 100/140 verfärbten sich nur bei der roten Malschicht. Mit Toluol wurde aus allen Farbbereichen Rot herausgelöst. Optische Beobachtungen konnten jedoch keine Veränderung der Malschicht feststellen.

Abb. 25 Lösemitteltest mit Toluol und Siedegrenzbenzin 100/140.

Der Einfluss von Lösemitteln auf Malschichten wird oft unterschätzt. An dieser Stelle wird auf den Artikel „*Lösemittelsensitivität moderner Ölfarben – Empfindlichkeit synthetisch organischer Pigmente in Künstlerfarben des 20. Jahrhunderts*" von BLUMENROTH et al. verwiesen. Hier wird ein neues, komplexes Thema der Restaurierungspraxis untersucht: die Löslichkeit vieler synthetisch organischer Pigmente in organischen Lösemitteln. Lösemittelempfindlichkeiten lassen sich nicht nur anhand der chemischen Struktur ableiten, da die Struktur- und Oberflächenmodifikationen der Partikel gezielt zur Ausbildung bestimmter Eigenschaften eingesetzt werden (z. B. physikalische oder chemische Adsorption von bestimmten Verbindungen oder Auftragen von Beschichtungen). Einen wichtigen Aspekt bei der Bewertung der Lösemittelempfindlichkeit stellen auch die umgebende Bindemittelmatrix und das Quellverhalten des Gesamtsystems dar. Bei den Testreihen, die BLUMENROTH et al. durchführten, zeigte sich, dass einige

Pigmente löslich waren. In gebundener Form war die Löslichkeit sowohl von der Solvatisierungseigenschaft des Pigments wie auch von dem Quellverhalten der Bindemittelmatrix abhängig. Besonders Chloroform löste die Pigmente an, aber auch Aceton und Toluol.
BLUMENROTH et al. untersuchten u. a. die Strukturveränderungen der Farbschicht an einer gealterten, stark löslichen Ölfarbe. Mit Hilfe der Infrarotspektroskopie FTIR-ATR kann man die Pigmentkonzentration an Oberflächen nach dem Einwirken eines Lösemittels messen. Nach einer Immersionszeit von einer Minute konnten optisch keine Veränderungen festgestellt werden. Die Messungen ergaben jedoch, dass sämtliches Pigment an der Oberfläche weggelöst wurde. Weitere praxisnahe Wischtests mit mechanischer Belastung zeigten, dass unabhängig von der Löslichkeit und nur auf Grund der Feinteiligkeit bei allen Ölfarben Farbmittel herausgelöst wurden. Dies bedeutet, dass durch das Lösemittel nicht das Bindemittel der Malfarbe gelöst wird und dadurch die Pigmentpartikel ungebunden vorliegen, sondern, dass der Farbstoff aus dem Pigment gelöst wird.
Da moderne Ölfarben aus vielen Gründen eine höhere Lösemittelempfindlichkeit aufweisen als klassische Ölfarben, werden neue Probleme in der Restaurierungspraxis deutlich.[303]

In Bezug zu dem Gemälde „*Composition*" ist diese Thematik interessant, da auch, wie von BLUMENROTH et al. beschrieben, nach dem Herauslösen des roten Farbstoffes durch Toluol optisch keine Veränderungen wahrgenommen wurden.

[303] BLUMENROTH et al. 2013, S. 127 ff.

Auf Grund der Zugversuche wurde für die Festigung BEVA®371 in Toluol getestet. Da Toluol die rote Malschicht anlöst, sollte jedoch darauf geachtet werden, bei der Abnahme des Festigungsmittel-Überschusses nur minimale Lösemittelmengen anzuwenden.

Abb. 26 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamtaufnahme, Teststellen zur Erstellung des Festigungskonzeptes.

Um ein Festigungskonzept zu entwickeln, wurden drei Teststellen mit 10 %iger BEVA®371-Lösung gefestigt (Abb. 26, Teststellen 3–4, grüne Felder). Eine im roten und eine weitere im schwarzfarbenen Bereich. Da beide Bereiche schon einmal bei früheren Maßnahmen gefestigt wurden, wurde eine weitere Teststelle in einem Bereich ohne vorherige Restaurierungsmaßnahmen angelegt. Dieser Bereich weist zudem starke Ausblühungen auf (Abb. 26, Teststelle 4).

Da die Malschicht zum größten Teil stark hochsteht und vermutlich eine hohe Eigenspannung aufweist, wurden zusätzlich 15 %ige (Abb. 26, Teststelle 2, orangenes Feld) und 20 %ige (Abb. 26, Teststelle 1, lila Feld). BEVA®371-Lösung an je einer Teststelle im schwarzfarbenen Bereich getestet.

Durchführung

Das Festigungsmittel wird unter die Malschichtschollen gegeben. Mit Hilfe eines Color-Shapers wurde die zu festigende Malschichtscholle auf und ab bewegt und die Kapillarkräfte aktiviert. Dadurch wurde das Festigungsmittel gleichmäßig unter der Malschicht verteilt. Der Vorgang wurde zwei bis dreimal wiederholt.

Die BEVA®371-Lösung muss 18 Stunden lang im Malschichtgefüge trocknen. Wie in Kapitel 3.3 beschrieben ist diese Zeit wichtig, damit sich der BEVA®371-Film bilden kann und die maximale Klebekraft ausgebildet wird.

Einen Tag später wurden die Malschichtschollen niedergelegt. Davor wurde bereits Festigungsmittel-Überschuss mit einem in Toluol getränkten Wattestäbchen abgenommen. Die Malschichtschollen wurden mit einem Heißluftgerät (Schego Optimal) bei niedriger Luftgeschwindigkeit und 70 °C mit Hilfe eines Color-Shapers niedergelegt. Durch Erreichen der Siegeltemperatur wurde das BEVA®371 in einen flüssigen Zustand gebracht und die Klebekraft aktiviert. Sobald ein Bereich niedergelegt war, wurde er mit einem Sandsack (17,86 g/cm^2) für 10–15 Minuten beschwert. Der Festigungsmittel-Überschuss wurde mit einem in Toluol getränkten Wattestäbchen abgenommen.

Am darauf folgenden Tag wurden alle gefestigten Malschichtschollen mit Hilfe des Color-Shapers überprüft. Es gab viele lose Bereiche und es wurde beschlossen das Klebemittel wieder mit Wärme zu aktivieren und diesmal die Sandsäcke über Nacht auf der Malschicht zu lassen. Zunächst wurde dies an einer kleinen Teststelle durchgeführt.

Am nächsten Tag war das Ergebnis zufriedenstellend. Die gesamten Teststellen wurden nochmals erwärmt und über Nacht mit einem Sandsack beschwert.

Nach weiteren fünf Tagen wurden alle gefestigten Malschichtschollen mit Hilfe des Color-Shapers nochmals überprüft. Wenige Bereiche waren noch immer lose und wurden mit Papierpfeilen gekennzeichnet. An diesen Stellen wurde nochmals BEVA®371-Lösung unter die Malschichtschollen gegeben und der Festigungsablauf wiederholt.

Danach waren alle Malschichtschollen der Teststellen niedergelegt und zufriedenstellend gefestigt. Es kann festgehalten werden, dass die 20 %ige BEVA®371-Lösung einen zu hohen Viskositätsgrad besaß und nur schwer in die Malschicht eingebracht werden konnte. Die Malschichtoberfläche wirkte nach der Festigung gesättigter. Teststellen mit 10 %igem BEVA®371 führten zu einem guten Ergebnis (Abb. 27, 28; Abbildungen aller Teststellen: Anhang III).

Nach vier Wochen wurden die gefestigten Bereiche nochmals überprüft. Die Festigung der Malschichtschollen war erfolgreich.

Abb. 27 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 4, Detail, Streiflicht, Vorzustand.

Abb. 28 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 4, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 10 %iger BEVA®371-Lösung.

Während der Festigungstests wurde festgestellt, dass das Beschweren der erkaltenden BEVA®371-Lösung von großer Bedeutung für den Festigungserfolg ist. Deswegen wird bei einer Festigung mit BEVA®371, eine Beschwerung über Nacht empfohlen. Erst am darauf folgenden Tag wird der BEVA®371-Überschuss entfernt.

Die roten Malschichtbereiche haben sich bei der Festigung anders verhalten als die schwarzen. Das Festigungsmittel ging schneller und vermutlich tiefer unter die Malschichtschollen als im schwarzfarbenen Bereich. Dies liegt vermutlich daran, dass die rote Malschicht unterbunden sein könnte. Es ist die Frage, ob das Festigungsmittel nur zwischen den Malschichtschollen liegt oder von den Malschichtschollen etwas aufgesogen wurde.
Nach dem Entfernen des BEVA®371-Überschuss waren vor allem auf der roten Malschicht Wattefasern. Diese wurden mit einer Pinzette und dem Color-Shaper entfernt.

Beobachtungen

Bei einer Festigung ist nicht nur die Verträglichkeit von Gemäldeaufbau und Festigungsmittel (hier BEVA®371) zu beobachten, sondern auch das Verhalten von Malschicht und verwendetem Lösemittel. Auch Druck und Hitze sind wichtige Faktoren bei der Auswahl eines Festigungsmittels und seiner speziellen Festigungsmethode.

Trockene Farbe lässt sich oft erst mit Wärme und Lösemitteln verformen. Sie wird dann meist wieder weich und gut bearbeitbar. Jedoch ist die richtige Menge an Wärme und Lösemittel wichtig, damit die Malschicht auch unter Druck ihre ursprüngliche Struktur behält.[304] Zusätzlich ist bei Gemälden von POLIAKOFF der Einfluss der Wärme auf die Ausblühungen zu beachten. Wie in Kapitel 5.2 erläutert, werden die Kristalle durch Hitze eingeschmolzenen und bilden einen Film auf der Oberfläche. An dieser Stelle können nach einiger Zeit vermehrt erneute Kristall-Ausblühungen auftreten. Da durch die Anwendung von Hitze bei der Aktivierung des BEVA®371-Films Kristalle teils eingeschmolzen wurden, ist dieses Problem vor einer Festigung abzuwägen.

Das Problem der Lösemittelsensitivität moderner Ölfarben wurde auch bei dem Gemälde „*Composition*" beobachtet. Diese neue Problematik in der Restaurierungspraxis wird zur Zeit erforscht.

[304] BERGER 1980, S. 51.

6 Schlussbemerkung und Ausblick

Im Gegensatz zu vielen anderen Klebemitteln wurde der Heißsiegelkleber BEVA®371 u. a. durch BERGER auf Hinblick der unterschiedlichsten Eigenschaften hin getestet und die Ergebnisse veröffentlicht. Vorteil des Klebemittels BEVA®371 ist seine große Einsatzflexibilität, wodurch es für viele Bereiche angepasst und mit vielen unterschiedlichen Methoden verwendet wird. Z. B. wird das Penetrationsverhalten von BEVA®371 je nach den erwünschten Erfordernissen eingestellt. Selbst wenn das Klebemittel nicht in das Material eindringt, härtet es mit nur geringem Druck aus und bildet eine gute Haftkraft mit den meisten Materialien aus. Das besondere an BEVA®371 ist, dass es keine Schrumpfung, Ausdehnung oder Erweichung der Materialien, auf die es aufgetragen wird, auslöst und somit auch auf empfindliche Oberflächen appliziert werden kann. Das Heißsiegeln kann auch noch Tage bis Wochen nach dem Auftrag erfolgen, wodurch z. B. Malschichtschollen in Ruhe in die ursprüngliche Position gebracht werden können. Es muss jedoch die Mindesttrockenzeit von 18 Stunden auf Grund der Filmbildung und Ausbildung der maximalen Haftkraft beachtet werden.
Die Lösemittel sind u. a. auf Grund der Verdunstungsgeschwindigkeit wichtig, die die Filmeigenschaften beeinflusst. Auch die angewandte Temperatur und der Druck während der Aushärtung haben einen Einfluss auf die spätere Klebung. Nur bei richtiger Anwendung von BEVA®371 wird der maximale Klebeerfolg erzielt.

BEVA®371 bleibt weich und flexibel, wodurch sich das behandelte Material weiterhin natürlich bewegen kann. Bisher wurde beobachtet, dass BEVA®371 mit Wärme (Siegeltemperatur von 65–70 °C) oder Lösemitteln wieder aktiviert bzw. erweicht werden kann. Auf Grund dessen können während der Anwendung Fehler leicht korrigiert werden. Es ist jedoch fraglich, wie sich diese Eigenschaft des Wiederanlösens im Laufe der Jahre entwickelt.
Bisher fielen die Beobachtungen an gealterten BEVA®371-Anwendungen an Kunstwerken positiv aus und auf Grund seiner überzeugenden Eigenschaften wird es häufig in der Restaurierungspraxis verwendet. Da es aber ein relativ neues Material in der Konservierung und Restaurierung ist und sich zudem aus einer Mischung vieler unterschiedlicher Materialien mit sehr unterschiedlichen Alterungseigenschaften zusammensetzt, müssen weitere Untersuchungen zu dem Thema Alterung durchgeführt werden. Es ist weiter zu beobachten, wie dieses Klebemittel (auch in Kombination mit anderen Materialien) natürlich altert. Weiterer Forschungsbedarf besteht darin, zu klären, ob die Änderung der Formulierung von BEVA®371 im Jahr 2010 mögliche Auswirkungen auf die Klebemittel-Eigenschaften hat.

Wird eine Malschichtfestigung mit BEVA®371 in Erwägung gezogen, ist vorher zu überprüfen ob es keine geeigneteren Alternativen gibt. Je nach Schadensbild kann BEVA®371 durchaus das besten geeignete

Festigungsmittel darstellen. Vor allem bei Festigungen von Malschichten, die eine große Klebekraft brauchen und matte, wasserempfindliche Oberflächen haben, bietet sich BEVA®371 an.
Nach ersten Beobachtungen stellt BEVA®371 für das Gemälde „Composition", 1961 von SERGE POLIAKOFF eine geeignete Festigungsmethode dar. Hier war vor allem das Problem, dass vorherige Festigungen versagten und ein Festigungsmittel gefunden werden musste, welches u. a. auf Wachs hält.
Gegen eine Festigung mit BEVA®371 spricht, dass die Malschicht mit Hilfe von Wärme und Lösemitteln behandelt wird. Die Wärme stellt besonders bei den Ausblühungen ein Problem dar, die auf Grund der Migrationsprozesse freier Fettsäuren bei Gemälden von POLIAKOFF entstehen. Durch die Wärmeeinwirkung werden die Kristalle eingeschmolzen und die Oberfläche ästhetisch verändert. Ob die Kristalle wieder wachsen bzw. wie mit solchen Ausblühungen umzugehen ist, muss weiter diskutiert und erforscht werden.
Die Lösemittelsensitivität moderner Ölfarben, die auch bei der Anwendung von BEVA®371 eine große Rolle spielt, ist ein aktuelles Forschungsthema, dass zur Zeit näher untersucht wird.

7 Literatur

7.1 Literatur

Abbey Newsletter 1989 — Abbey Newsletter: *Products & Services*, Vol. 13, 7/1989, (http://cool.conservation-us.org/byorg/abbey/an/an13/an13-7/an13-718.html, Stand: August 2013).

ALTHÖFER 1985 — HEINZ ALTHÖFER (Hrsg.): *Restaurierung moderner Malerei. Tendenzen – Material – Technik*, München 1985.

BERGER 1972 — GUSTAV A. BERGER: *Testing adhesives for the consolidation of paintings*, in: Studies in Conservation, Vol. 17, London 1972, pp. 173–194.

BERGER 1975 — GUSTAV A. BERGER: *Heat-seal lining of a torn painting with BEVA 371*, in: Studies in Conservation, Vol. 20, London 1975, pp. 126–151.

BERGER 1978 — GUSTAV A. BERGER: *On hot-melt, heat-seal and hot-set adhesives*, in: Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 18, 1/1978, pp. 44–45.

BERGER 1980 — GUSTAV A. BERGER: *Moderne Konservierung zeitgenössischer Kunst*, in: Maltechnik Restauro, Heft 1, München 1980, S. 50–66.

BERGER 1990 — GUSTAV A. BERGER: *More unconventional treatments for unconventional art*, in: Studies in Conservation, Vol. 35, London 1990, pp. 1–14.

BERGER & RUSSELL 2000 — GUSTAV A. BERGER & WILLIAM H. RUSSELL: *Conservation of Paintings. Research and Innovations*, London 2000.

BERGER & ZELIGER 1984 — GUSTAV A. BERGER & HAROLD I. ZELIGER: *The procedure of developing an adhesive for paintings: the importance of valid tests*, in: IIC Preprints of the Contributions to the Paris Congress: *Adhesives and Consolidants*, Paris 1984, pp. 13–17.

BLUMENROTH et al. 2013 — DIANA BLUMENROTH, STEFAN ZUMBÜHL, NADIM C. SCHERRER & WOLFGANG MÜLLER: *Lösemittelsensitivität moderner Ölfarben – Empfindlichkeit synthetisch organischer Pigmente in Künstlerfarben des 20. Jahrhunderts*, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 1, Worms am Rhein 2013, S. 127–135.

BOSSOTTO 2013 — THERESA BOSSOTTO, C.T.S., schriftliche Mitteilung vom 05. Juni 2013.

CHLUDZINSKI 2010 — GEORGE R. CHLUDZINSKI: *Announcement. BEVA 371 reformulated in 2010*, Flanders (http://www.conservators-products.com/pr01.htm, Stand: August 2013).

CHLUDZINSKI 2013a — GREG CHLUDZINSKI, Conservator's Products Company, schriftliche Mitteilung vom 23. Juni 2013.

CHLUDZINSKI 2013a — GREG CHLUDZINSKI, Conservator's Products Company, schriftliche Mitteilung vom 10. Juni 2013.

CPC 2012a — Conservator's Products Company (CPC): *Company Profile*, Flanders 2012 (http://www.conservators-products.com/company_profile.htm, Stand: August 2013).

CPC 2012b — Conservator's Products Company (CPC): *Contact Information*, Flanders 2012, (http://www.conservators-products.com/contact_us.htm, Stand: August 2013).

CPC 2012c — Conservator's Products Company (CPC): *Product Summary*, Flanders 2012, (http://www.conservators-products.com/products.htm, Stand: August 2013).

CPC (o. J.) — Conservator's Products Company: *Instructions for use of BEVA 371 solution*, Flanders (o. J.), (http://www.conservationresources.com.au/html/home/help_info/downloads/Beva_371_instructions.pdf, Stand: August 2013).

C.T.S (o. J.) — C.T.S.: *Gustav Berger's line*, Altavilla Vicentina (o. J.), (http://www.ctseurope.com/catalogo.asp?lingua=ENG&gruppo=10&capitolo=5&paragrafo=2, Stand: August 2013).

DIETEMANN 2011 — PATRICK DIETEMANN: *Chemie und Physik der Konservierungsmittel*, München 2011, [= unveröffentlichtes Manuskript, TU München].

DOERNER 2007 — MAX DOERNER/ THOMAS HOPPE (Hrsg.): *Malmaterial und seine Verwendung im Bilde*, 22. Aufl., Stuttgart 2007.

DOMNICK 1965 — OTTOMAR DOMNICK: *Serge Poliakoff*, Galerie Im Erker, St. Gallen 1965, [=Ausstellungskatalog].

EIPPER 1997 — PAUL-BERNHARD EIPPER: *Die Polyvinylacetate (PVAC)*, in: Arbeitsblätter für Restauratoren, (Gruppe 27 Gemälde), 2/1997, S. 23–24.

EIS 2013a — EVA EIS, Kremer-Pigmente, schriftliche Mitteilung vom 4. Juni 2013.

EIS 2013b — EVA EIS, Kremer-Pigmente, schriftliche Mitteilung vom 26. Juni 2013.

GOLTZ et al. 2012 — MICHAEL VON DER GOLTZ, INA BIRKENBEUL, ISABEL HOROVITZ, MORWENNA BLEWETT & IRINA DOLGIKH: *Consolidation of flaking paint and ground*, in: JOYCE HILLS STONER & REBECCA RUSHFIELD (Hrsg.): *Conservation of easel paintings*, Abingdon (u. a.) 2012, pp. 369–383.

HABENICHT 1997 — GERD HABENICHT: *Kleben. Grundlagen, Technologie, Anwendungen*, 3. Aufl., Heidelberg 1997.

HACKNEY et al. 2012 — STEPHEN HACKNEY, JOAN REIFSNYDER, MIREILLE TE MARVERLDE & MIKKEL SCHARFF: *Lining Easel Paintings*, in: JOYCE HILLS STONER & REBECCA RUSHFIELD (Hrsg.): *Conservation of easel paintings*, Abingdon (u. a.) 2012, pp. 415–452.

HONS et al. 2005 — SANDRA HONS, JOHANNA VON STOCKHAUSEN & STEFAN ZUMBÜHL: *Migrationsprozesse freier Fettsäuren in Malmittelfilmen. Untersuchungen zur Entfernung von Ausblühungen und Überlegungen zur präventiven Konservierung*, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 1, Worms am Rhein 2005, S. 32–38.

HORIE 1987 — CHARLES VELSON HORIE: *Materials for Conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*, Bodmin 1987.

KITTEL 1998 — H. KITTEL: *Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen. Geschichte, Grundlagen, Naturstoffe, anorganische Bindemittel*, Bd. 1, KLAUS–DIETRICH LEDWOCH (Bd.-Hrsg.), 2. Aufl., Stuttgart (u. a.) 1998.

KOLLER & BAUMER 2001 — JOHANN KOLLER & URSULA BAUMER: *Kunstharzfirnisse. Teil III: Die niedermolekularen (nichtpolymeren) Kunstharzfirnisse*, in: Restauro. Zeitschrift für Kunsttechniken, Restaurierung und Museumsfragen, Heft 1, München 2001, S. 26–38.

KOLLER & BURMESTER 1990 — JOHANN KOLLER & ANDREAS BURMESTER: *Blanching of unvarnished modern paintings: a case study on a painting by Serge Poliakoff*, in: IIC Preprints of the Contributions to the Brussels Congress: *Cleaning, retouching and coating*, Brüssel 1990, pp. 138–143.

KREMER (o. J.) — GEORG KREMER: *87030 & 87031 BEVA®371. Gebrauchsanweisung*, Aichstetten/ Allgäu (o. J.), (http://www.kremer-pigmente.com/media/files_public/87030.pdf, Stand: August 2013).

Kremer-Pigmente 2003 — Kremer-Pigmente: *Sicherheitsdatenblatt. 87050–87051 BEVA®371 Film*, Aichstetten/ Allgäu 2003, (http://www.kremer-pigmente.com/media/files_public/87050-87051shd.pdf, Stand: August 2013).

Kremer-Pigmente 2006 — Kremer-Pigmente: *Sicherheitsdatenblatt. 87030–87031 BEVA®371*, Aichstetten/ Allgäu 2006, (http://www.kremer-pigmente.com/media/files_public/87030shd.pdf, Stand: August 2013).

Kremer-Pigmente 2012 — Kremer-Pigmente: *Sicherheitsdatenblatt. 70400–Siedegrenzbenzin 100/140*, Aichstetten/ Allgäu 2012, (http://www.kremer-pigmente.com/media/files_public/70400_SHD_DEU. pdf, Stand: August 2013).

Kremer-Pigmente 2013 — Kremer-Pigmente: *BEVA®Produkte*, 2013, (http://www.kremer-pigmente.com/de/search.html?page=search&page_action=query&desc=on&sdesc=on&keywords=beva, Stand: August 2013).

KRONTHAL et al. 2003 — LISA KRONTHAL, JUDITH LEVINSON, CAROLE DIGNARD, ESTHER CHAO & JANE DOWN: *BEVA 371 and its use as an adhesive for skin and leather repairs: background and a review of treatments*, in: Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 42, 2/2003, pp. 341–362.

Lascaux (o. J.) — Lascaux Colours & Restauro: *Lascaux Kleber und Klebewachse*, Brüttisellen (o. J.), (http://lascaux.ch/pdf/de/produkte/restauro/58370_01_Kleber_und_Klebewachse.pdf, Stand: August 2013).

MAGNUSSON 1999 — YNGVE MAGNUSSON: *BEVA 371*, München 1999, [= unveröffentlichte Seminararbeit, TU München].

MCGLINCHEY et al. 2011 — CHRISTOPHER MCGLINCHEY, REBECCA PLOEGER, ANNALISA COLOMBO, ROBERTO SIMONUTTI, MICHAEL PALMER, OSCAR CHIANTORE, ROBERT PROCTOR, BERTRAND LAVÉDRINE & RENÉ DE LA RIE: *Lining and Consolidating Adhesives: Some New Developments and Areas of Future Research*, in: CCI Symposium: *Adhesives and Consolidants for Conservation: Research and Applications*, Ottawa 2011, pp. 1–20.

MEYER 1957 — FRANZ MEYER: *Serge Poliakoff*, Moderne Galerie Otto Stengel, München 1957, [= Ausstellungskatalog].

NICOLAUS ~ 1998 — KNUT NICOLAUS: *Handbuch der Gemälderestaurierung*, Köln o. J. [~ 1998].

ONUSSEIT 2013 — HERMANN ONUSSEIT: *RÖMPP online*, (http://www.roempp.com.eaccess.ub.tum.de, Stand: August 2013).

PFATTHEICHER & WÜNSCHE 2011 — RITA PFATTHEICHER & KLAUS WÜNSCHE: *Gefahrstoffkennzeichnung GHS*, Universität Erlangen, Sachgebiet Arbeitssicherheit, Erlangen 2011, (http://www.uni-erlangen.de/einrichtungen/arbeitssicherheit/gefahrstoffe/daten/GHS_02_2011.pdf, Stand: August 2013).

PHENIX 2007 — ALAN PHENIX: *Source for Naphtha sought, Conservation DistList*, (o. O.) 2007, (http://cool.conservation-us.org/byform/mailing-lists/cdl/2007/0028.html, Stand: August 2013).

POLIAKOFF 2007 — ALEXIS POLIAKOFF: *Zur Maltechnik von Serge Poliakoff*, in: CHRISTIANE LANGE & NILS OHLSEN (Hrsg.): *Serge Poliakoff – Retrospektive*, München 2007, [= Ausstellungskatalog], S. 111–114.

RAFT 1973 — KAREN & ADAM RAFT: *BEVA 371, ein neues Klebemittel für Restauratoren*, in: Maltechnik Restauro, Heft 1, München 1973, S. 31–39.

READ (o. J.) — HERBERT READ: *Poliakoff Serge*, in: GERMAIN BAZIN et al. (Hrsg.): *Kindlers Malerei Lexikon*, Bd. 4, Köln (o. J.), S. 792.

RÖMPP 1998 — HERMANN RÖMPP/ ULRICH ZORLL (Hrsg.): *Römpp Lexikon*: *Lacke und Druckfarben*, Stuttgart (u.a.) 1998.

SCHMIED 1963 — WIELAND SCHMIED: *Serge Poliakoff*, Hannover 1963, [= Ausstellungskatalog].

SCHNEIDER 2000 — GÉRARD SCHNEIDER: *Serge Poliakoff – Im Reich der Farbe,* Galerie Francaise, München 2000, [= Ausstellungskatalog].

Shell Chemicals 2005 — Shell Chemicals: VM&P Naphtha HT, Sicherheitsdatenblatt, (o. O.) 2005, (http://www.conservationsupportsystems.com/system/assets/msds/VMPHTdatasheet. pdf, Stand: August 2013).

STANIFORTH & BOMFORD 1985 — SARAH STANIFORTH & DAVID BOMFORD: *Lining and Colour Change: Further Results,* in: National Gallery Technical Bulletin , Vol. 9, London 1985, pp. 65–69.

STONER 2006 — JOYCE HILL STONER: *In Memoriam*, in: Studies in Conservation, Vol. 51, London 2006, pp. 155–156.

Talas 2003 — Talas: *Health and safety data sheet. BEVA 371 dry resins*, New York 2003, (http://talasonline.com/photos/msds/MSDS%20BEVA%20371%20DRY%20RESINS.pdf, Stand: August 2013).

TOMKIEWICZ et al. 2012 — CAROLYN TOMKIEWICZ, MIKKEL SCHARFF & RUSTIN LEVENSON: *Tear mending and other structural treatments of canvas paintings*, in: JOYCE HILLS STONER & REBECCA RUSHFIELD (Hrsg.): *Conservation of easel paintings*, Abingdon (u. a.) 2012, pp. 384–414.

Wikipedia 2013 — Wikipedia: *Naphtha*, (o. O.) 2013, (http://en.wikipedia.org/wiki/Naphtha, Stand: August 2013).

ZUMBÜHL et al. 2004 — STEFAN ZUMBÜHL, SANDRA HONS & JOHANNA VON STOCKHAUSEN: *Migrationsprozesse freier Fettsäuren in Malmittelfilmen – I. Induzierte Migration durch Wasserdampfpermeation, II. Thermodynamische Diffusion durch heterogene Dichtefluktuation*, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 1, Worms am Rhein 2004, S. 61–70.

7.2 Weiterführende Literatur

BERGER 1976 — GUSTAV A. BERGER: *Unconventional treatments for unconventional paintings*, in: Studies in Conservation, Vol. 21, London 1976, pp. 115–128.

BERGER 1996 — GUSTAV A. BERGER: *Transparent Lining of Paintings*, in: ICOM–CC 11th Triennial Meeting Edinburgh 1996, pp. 239–244.

CHEWNING & MAILAND 1993 — CECELIA CHEWNING & HAROLD F. MAILAND: *Treatment of an American 19th-century upholstered chair*, in: Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 32, 2/1993, pp. 119–128.

HENSICK et al. 1997 — TERI HENSICK, KATE OLIVIER & GIANFRANCO POCOBENE: P*uvis de Chavannes's allegorical murals in the Boston Public Library: History, Technique, and Conservation*, in: Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 36, 1/1997, pp. 59–81.

KATZ 1985 — KENNETH B. KATZ: *The quantitative testing and comparisons of peel and lap/ shear for Lascaux 360 H.V. and BEVA 371*, in: Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 24, 2/1985, pp. 60–68.

PHILLIPS 1984 — MORGAN W. PHILLIPS: *Notes on a method for consolidating leather*, in: Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 24, 1/1984, pp. 53–56.

YOUNG & ACKROYD 2001 — CHRISTINA YOUNG & PAUL ACKROYD: *The Mechanical Behavior and Environmental Response of Paintings to Three Types of Lining Treatment*, in: National Gallery Technical Bulletin , Vol. 22, London 2001, pp. 85–104.

8 Abbildungen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 MIRA und GUSTAV BERGER stellen BEVA®371 auf einer AIC Tagung 1970 vor. 4
Abb. 2 Schichtenaufbau bei einer Doublierung nach BERGER. 25
Abb. 3 SERGE POLIAKOFF und sein Onkel DIMITRI, Kaukasus um 1919. 35
Abb. 4 SERGE POLIAKOFF. 36
Abb. 5 POLIAKOFF in seinem Atelier. 38
Abb. 6 SERGE POLIAKOFF mit Pinseln und Spachtel. 39
Abb. 7 POLIAKOFF, „*Komposition ohne Titel*", 1959, Kristall-Ausblühungen, REM-Aufnahme. 40
Abb. 8 Schematische Darstellung der Fettsäuremigration durch Wasserdampfpermeation. Das Matrixgefüge wird durch die Linien dargestellt. Die kleinen, schwarzen Punkte stellen die Fettsäuren und die großen, grauen Punkte die Wasser-Cluster dar. 42
Abb. 9 Schematische Darstellung der thermischen Diffusionsvorgänge. Die linke Abbildung zeigt die Polymermatrix vor der IR-Bestrahlung. In der zweiten Abbildung werden die einseitige Bestrahlung und der dadurch entstehende Temperaturgradient dargestellt. Durch die Dichtefluktuation entstehen thermische Transportvorgänge. 43
Abb. 10 REM-Aufnahmen der getesteten Abnahmetechniken von Kristall-Ausblühungen. 44
Abb. 11 POLIAKOFF, „*Composition*", Vorderseite, Vorzustand. 45
Abb. 12 POLIAKOFF, „*Composition*", Rückseite, Vorzustand. 46
Abb. 13 POLIAKOFF, „*Composition*", Rückseite, Detail des roten Voranstrichs. 47
Abb. 14 POLIAKOFF, „*Composition*", Vorderseite, Detail, beschädigtes Pigmentagglomerat. 48
Abb. 15 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Auflicht im visuellen Bereich. 49
Abb. 16 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Auflicht im ultraviolettem Bereich. 49
Abb. 17 POLIAKOFF, „*Composition*", Schadenskartierung. 51
Abb. 18 POLIAKOFF, „*Composition*", Vorzustand im Streiflicht. 51
Abb. 19 POLIAKOFF, „*Composition*", Kristallausblühungen auf der Malschicht. 52
Abb. 20 POLIAKOFF, „*Composition*", Kristallausblühungen unter der Malschicht. 52
Abb. 21 Zugversuch. 54
Abb. 22 Viskosität/Feststoffkonzentration von verschiedenen Klucel®Typen. 56
Abb. 23 Grundierter und ungrundierter Leinwandstreifen. 56
Abb. 24 Beispiele der Testkörper der Versuchsreihen a–c und d–f. 56
Abb. 25 Lösemitteltest mit Toluol und Siedegrenzbenzin 100/140 53
Abb. 26 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamtaufnahme, Teststellen zur Erstellung des Festigungskonzeptes. 65
Abb. 27 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 4, Detail, Streiflicht, Vorzustand. 66
Abb. 28 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 4, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 10 %iger BEVA®371Lösung. 66
Abb. 29 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamtaufnahme mit Entnahmestelle der Querschliffprobe. 79
Abb. 30 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Auflicht im visuellen Bereich (VIS). 80
Abb. 31 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Auflicht im ultravioletten Bereich (UV). 80
Abb. 32 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Detail aller vier Malschichten (Auflicht im visuellen Bereich). 81
Abb. 33 POLIAKOFF, „*Composition*", Detail, Querschliff, Malschicht 2 (Auflicht im visuellen Bereich). 82
Abb. 34 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Detail, Malschicht 1 (Auflicht im ultravioletten Bereich). 82
Abb. 35 Malschicht 1, REM-EDX-Aufnahme, Detail mit Messausschnitt. 83
Abb. 36 Malschicht 1, REM-EDX-Aufnahme, Detail mit Messpunkten. 83
Abb. 37 Malschicht 1, Messpunkt 1, Elementverteilung (Kurve). 83
Abb. 38 Malschicht 1, Messpunkt 2, Elementverteilung (Kurve). 83
Abb. 39 Malschicht 1, Messpunkt 1, Elementverteilung (Balkendiagramm). 84
Abb. 40 Malschicht 1, Messpunkt 2, Elementverteilung (Balkendiagramm). 84

Abb. 41 Malschicht 3, REM-EDX-Aufnahme, Detail mit Messausschnitt. 84
Abb. 42 Malschicht 3, REM-EDX-Aufnahme, Detail mit Messpunkten. 84
Abb. 43 Malschicht 3, Messpunkt 1, Elementverteilung (Kurve). 84
Abb. 44 Malschicht 3, Messpunkt 2, Elementverteilung (Kurve). 85
Abb. 45 Malschicht 3, Messpunkt 1, Elementverteilung (Balkendiagramm). 85
Abb. 46 Malschicht 3, Messpunkt 2, Elementverteilung (Balkendiagramm). 85
Abb. 47 Zugversuch 1a..... 86
Abb. 48 Zugversuch 1b..... 86
Abb. 49 Zugversuch 1c..... 86
Abb. 50 Zugversuch 1d..... 86
Abb. 51 Zugversuch 1e..... 86
Abb. 52 Zugversuch 1f..... 86
Abb. 53 Zugversuch 2a..... 87
Abb. 54 Zugversuch 2b..... 87
Abb. 55 Zugversuch 2c..... 87
Abb. 56 Zugversuch 2d..... 87
Abb. 57 Zugversuch 2e..... 87
Abb. 58 Zugversuch 2f..... 87
Abb. 59 Zugversuch 3a..... 88
Abb. 60 Zugversuch 3b..... 88
Abb. 61 Zugversuch 3c..... 88
Abb. 62 Zugversuch 3d..... 88
Abb. 63 Zugversuch 3e..... 88
Abb. 64 Zugversuch 3f..... 88
Abb. 65 Zugversuch 4a..... 89
Abb. 66 Zugversuch 4b..... 89
Abb. 67 Zugversuch 4c..... 89
Abb. 68 Zugversuch 4d..... 89
Abb. 69 Zugversuch 4e..... 89
Abb. 70 Zugversuch 4f..... 89
Abb. 71 Zugversuch 5a..... .90
Abb. 72 Zugversuch 5b..... 90
Abb. 73 Zugversuch 5c..... 90
Abb. 74 Zugversuch 5d..... 90
Abb. 75 Zugversuch 5e..... 90
Abb. 76 Zugversuch 5f..... .90
Abb. 77 POLIAKOFF, „*Composition*“, Gesamtaufnahme mit Teststelle 1, Normallicht. 91
Abb. 78 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 1, Detail, Normallicht, Vorzustand. 91
Abb. 79 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 1, Detail, Streiflicht, Vorzustand..... 91
Abb. 80 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 1, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 20 %iger BEVA®371-Lösung. 91
Abb. 81 POLIAKOFF, „*Composition*“, Gesamtaufnahme mit Teststelle 2, Normallicht. 92
Abb. 82 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 2, Detail, Normallicht, Vorzustand. 92
Abb. 83 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 2, Detail, Streiflicht, Vorzustand..... 92
Abb. 84 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 2, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 15 %iger BEVA®371-Lösung. 92
Abb. 85 POLIAKOFF, „*Composition*“, Gesamtaufnahme mit Teststelle 3, Normallicht. 93
Abb. 86 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 3, Detail, Normallicht, Vorzustand. 93
Abb. 87 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 3, Detail, Streiflicht, Vorzustand..... 93
Abb. 88 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 3, Detail, Streiflicht, nach der Festigung..... 93
Abb. 89 POLIAKOFF, „*Composition*“, Gesamtaufnahme mit Teststelle 4, Normallicht. 94
Abb. 90 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 4, Detail, Normallicht, Vorzustand. 94
Abb. 91 POLIAKOFF, „*Composition*“, Teststelle 4, Detail, Streiflicht, Vorzustand..... 94

Abb. 92 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 4, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 10 %iger BEVA®371Lösung. 94
Abb. 93 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamt-aufnahme mit Teststelle 5, Normallicht. 95
Abb. 94 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 5, Detail, Normallicht, Vorzustand. 95
Abb. 95 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 5, Detail, Streiflicht, Vorzustand. 95
Abb. 96 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 5, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 10 %iger BEVA®371-Lösung. 95

Abbildungsnachweis

Abb. 1 aus: JOYCE HILL STONER: *In Memoriam*, in: Studies in Conservation, Vol. 51, London 2006, p. 155.
Abb. 2 aus: GUSTAV A. BERGER & WILLIAM H. RUSSELL: *Conservation of Paintings. Research and Innovations*, London 2000, p. 93.
Abb. 3 aus: CHRISTIANE LANGE & NILS OHLSEN (Hrsg.): *Serge Poliakoff – Retrospektive*, München 2007, [= Ausstellungskatalog], S. 184.
Abb. 4 aus: GÉRARD SCHNEIDER: *Serge Poliakoff – Im Reich der Farbe,* Galerie Francaise, München 2000, [= Ausstellungskatalog], S. 8.
Abb. 5 aus: CHRISTIANE LANGE & NILS OHLSEN (Hrsg.): *Serge Poliakoff – Retrospektive*, München 2007, [= Ausstellungskatalog], S. 193.
Abb. 6 aus: GÉRARD SCHNEIDER: *Serge Poliakoff – Im Reich der Farbe,* Galerie Francaise, München 2000, [= Ausstellungskatalog], S. 9
Abb. 7 aus: STEFAN ZUMBÜHL, SANDRA HONS & JOHANNA VON STOCKHAUSEN: *Migrationsprozesse freier Fettsäuren in Malmittelfilmen – I. Induzierte Migration durch Wasserdampfpermeation, II. Thermodynamische Diffusion durch heterogene Dichtefluktuation*, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 1, Worms am Rhein 2004, S. 63.
Abb. 8 aus: STEFAN ZUMBÜHL, SANDRA HONS & JOHANNA VON STOCKHAUSEN: *Migrationsprozesse freier Fettsäuren in Malmittelfilmen – I. Induzierte Migration durch Wasserdampfpermeation, II. Thermodynamische Diffusion durch heterogene Dichtefluktuation*, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 1, Worms am Rhein 2004, S. 63.
Abb. 9 aus: STEFAN ZUMBÜHL, SANDRA HONS & JOHANNA VON STOCKHAUSEN: *Migrationsprozesse freier Fettsäuren in Malmittelfilmen – I. Induzierte Migration durch Wasserdampfpermeation, II. Thermodynamische Diffusion durch heterogene Dichtefluktuation*, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 1, Worms am Rhein 2004, S. 63.
Abb. 10 SANDRA HONS, JOHANNA VON STOCKHAUSEN & STEFAN ZUMBÜHL: *Migrationsprozesse freier Fettsäuren in Malmittelfilmen. Untersuchungen zur Entfernung von Ausblühungen und Überlegungen zur präventiven Konservierung*, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 1, Worms am Rhein 2005, S. 36.
Abb. 11 HAYDAR KOYUPINAR, Dauerleihgabe der Michael und Eleonore Stoffel-Stiftung, Bayerische Staatsgemäldesammlungen.
Abb. 14 IRENE GLANZER, Dauerleihgabe der Michael und Eleonore Stoffel-Stiftung, © Doerner Institut, Bayerische Staatsgemäldesammlungen.
Abb. 18 HAYDAR KOYUPINAR, Dauerleihgabe der Michael und Eleonore Stoffel-Stiftung, Bayerische Staatsgemäldesammlungen.
Abb. 19 IRENE GLANZER, Dauerleihgabe der Michael und Eleonore Stoffel-Stiftung, © Doerner Institut, Bayerische Staatsgemäldesammlungen.
Abb. 20 IRENE GLANZER, Dauerleihgabe der Michael und Eleonore Stoffel-Stiftung, © Doerner Institut, Bayerische Staatsgemäldesammlungen.
Abb. 22 von: EVA EIS, Kremer-Pigmente, schriftliche Mitteilung vom 26. Juni 2013.

Abb. 12 – 13, 27 – 28, 47 – 75, 78 – 80, 82 – 84, 86 – 88, 90 – 92, 94 – 96: Verfasserin, Dauerleihgabe der Michael und Eleonore Stoffel-Stiftung, Bayerische Staatsgemäldesammlungen.
Abb. 15, 16, 30 – 46: Verfasserin, Dauerleihgabe der Michael und Eleonore Stoffel-Stiftung, © Doerner Institut, Bayerische Staatsgemäldesammlungen.
Abb. 17, 26, 29, 77, 81, 85, 89, 93: HAYDAR KOYUPINAR, Dauerleihgabe der Michael und Eleonore Stoffel-Stiftung, Bayerische Staatsgemäldesammlungen; von der Verfasserin bearbeitet.
Abb. 21, 23 – 25: Verfasserin.

9 Tabellen

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Chemische Zusammensetzung von BEVA®371 (CPC)..... 9
Tab. 2 Systematik der Testkörper..... 57
Tab. 3 Maximale Prüfkraft..... 59
Tab. 4 Maximal zurückgelegter Weg..... 59
Tab. 5 Beschreibung des Querschliffs..... 81
Tab. 6 Ergebnis und Interpretation der Elementverteilung..... 86
Tab. 7 Verwendete Materialien..... 96

Tabellennachweis

Tab. 1 – 7: Von der Verfasserin erstellt.

Anhang

I. Querschliff, SERGE POLIAKOFF, „*Composition*“, 1961

Identifizierung

Kunstwerk: „Composition“, SERGE POLIAKOFF.
Datierung: 1961.
Herkunft, Inv. Nr.: Sammlung Stoffel, MES 201.

Beschreibung der Probe:
- Malschichtpartikel wurde aus dem rot-schwarzen Farbfeld entnommen.
- Vier Schichten erkennbar:
  - Erste (untere) Schicht, evtl. Voranstrich
  - Zweite grünliche Schicht, Malschicht
  - Dritte rötliche Schicht, Malschicht
  - Vierte (obere) grünliche Schicht, Malschicht.

Fragestellung zur Probe:
- Wie sieht der Aufbau der Malerei aus?
- Gibt es anhand des Querschliffs Hinweise auf die Maltechnik?
- Wie setzt sich die schwarzfarbene Schicht zusammen?
- Woraus besteht die rote Malschicht?

Probenentnahme durchgeführt von: URSULA BAUMER, IRENE GLANZER.
Entnahmestelle: Maße: von unten ca. 34,5 cm von links ca. 0,03 cm.

Abb. 29 POLIAKOFF, „*Composition*“, Gesamtaufnahme mit Entnahmestelle der Querschliffprobe.

Analyse durchgeführt von: Dr. Dipl. Restauratorin CRISTINA THIEME und HELENA ERNST.
Untersuchungsmethode: Auflicht- und UV-Mikroskopie (Leica DMLM) und im Rasterelektronenmikroskop (Phenom Pro-x).

Photographische Dokumentation

Mikroskop: Leica DMLM, Auflicht-Hellfeld.
Aufnahmegerät: Leica DFC 290.

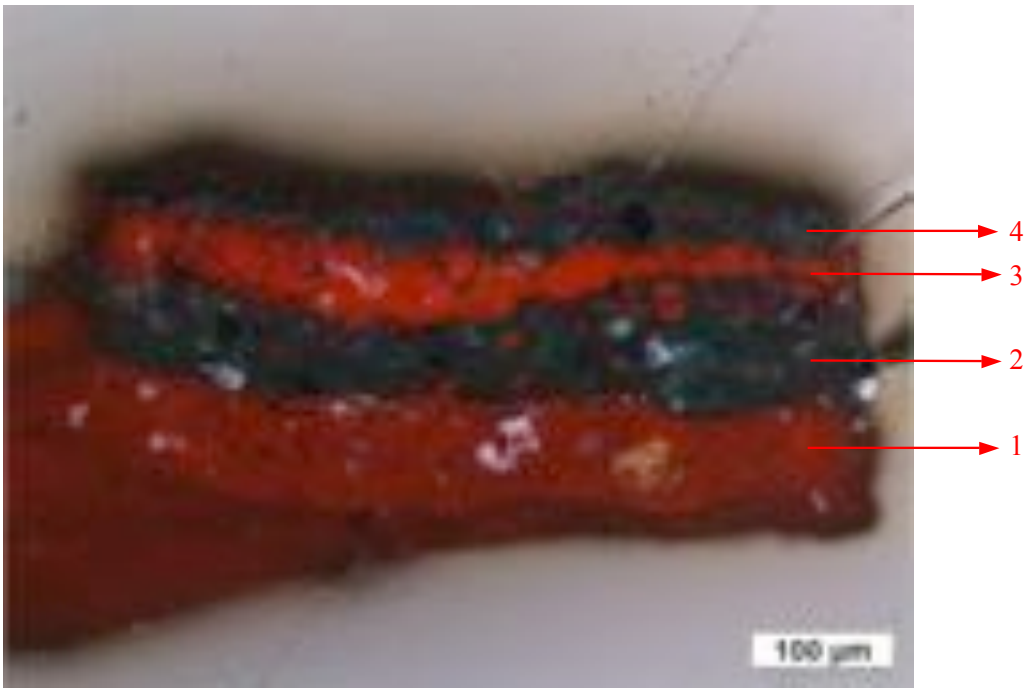

Abb. 30 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Auflicht im visuellen Bereich (VIS).

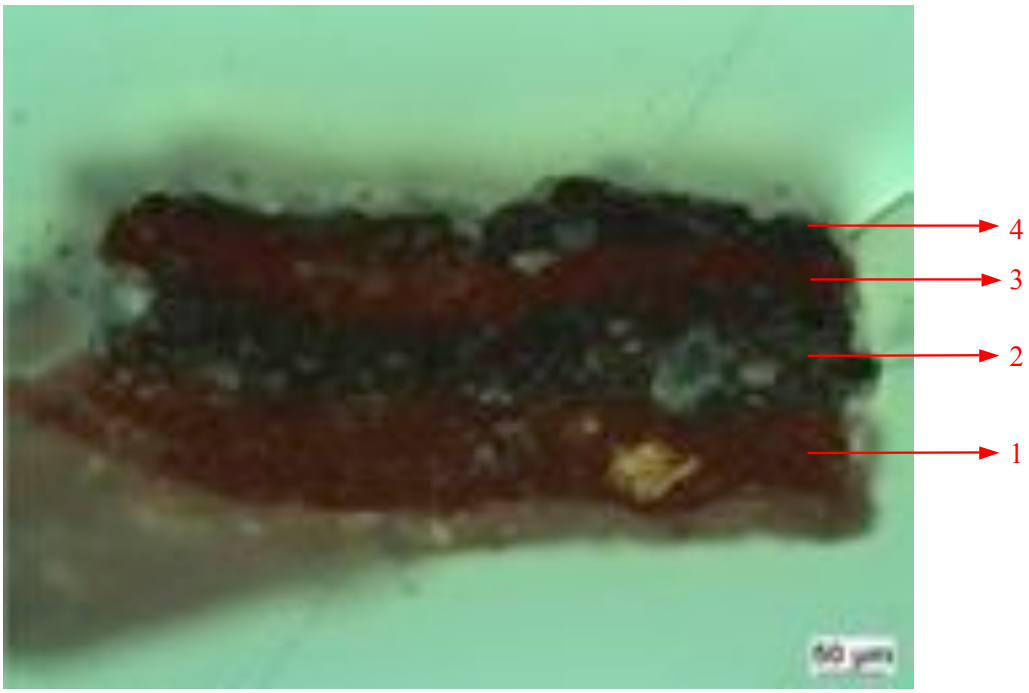

Abb. 31 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Auflicht im ultravioletten Bereich (UV).

Tabelle 5 Beschreibung des Querschliffs

Malschicht	Beschreibung	UV-Anregung	Interpretation
4	Inhomogene grünliche Schicht mit großen blauen und schwarzen Partikeln sowie roten Partikeln	Unterschiedliche Partikel deutlicher erkennbar	Malschicht
3	Rötliche sehr fein pigmentierte und homogene hellrote Schicht	–	Malschicht
2	Inhomogene grünliche Schicht mit großen blauen und schwarzen Partikeln sowie roten Partikeln	Unterschiedliche Partikel deutlicher erkennbar	Malschicht
1	Rötliche fein pigmentierte und inhomogene dunkelrote Schicht	Feine, helle Partikeln unter UV-Licht erkennbar	Voranstrich oder Malschicht

Betrachtet und beschrieben von:	HELENA ERNST
Datum:	05. August 2013

Detailaufnahmen

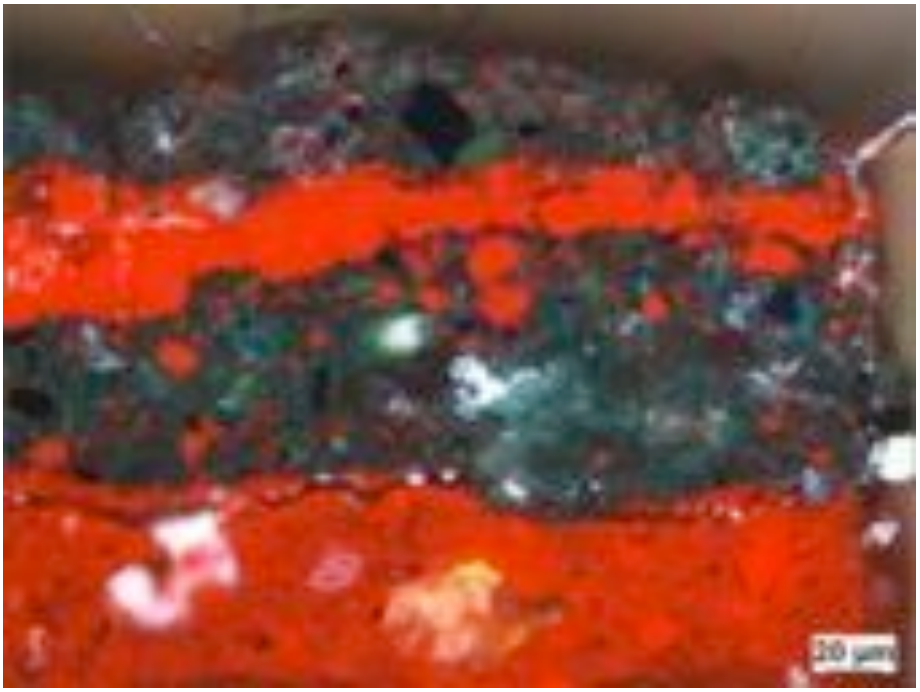

Abb. 32 POLIAKOFF, „*Composition*“, Querschliff, Detail aller vier Malschichten (Auflicht im visuellen Bereich).

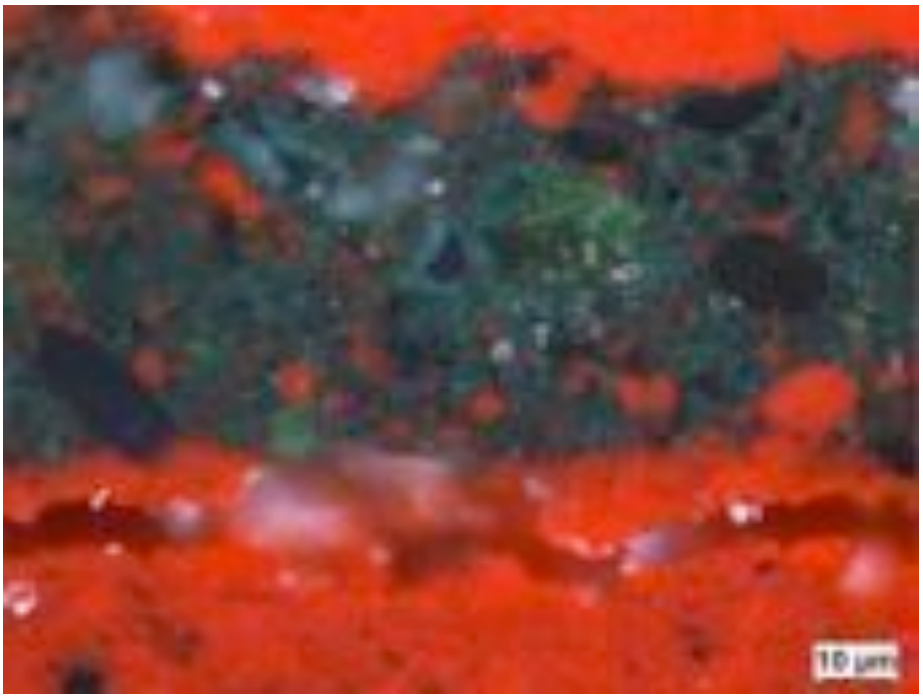

Abb. 33 POLIAKOFF, „*Composition*", Detail, Querschliff, Malschicht 2 (Auflicht im visuellen Bereich).

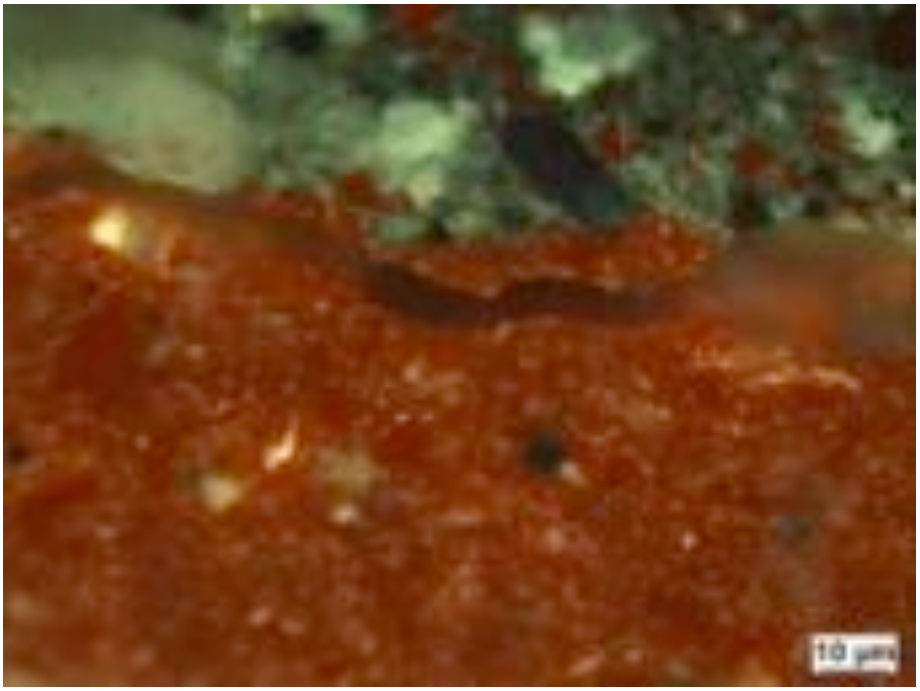

Abb. 34 POLIAKOFF, „*Composition*", Querschliff, Detail, Malschicht 1 (Auflicht im ultravioletten Bereich).

Elementverteilung der roten Malschichten im REM-EDX

Malschicht 1

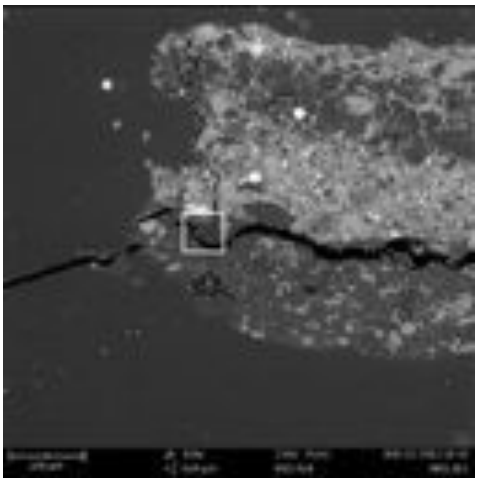

Abb. 35 Malschicht 1, REM-EDX-Aufnahme, Detail mit Messausschnitt.

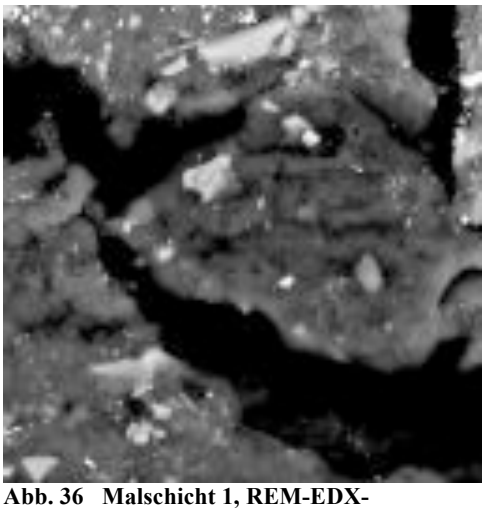

Abb. 36 Malschicht 1, REM-EDX-Aufnahme, Detail mit Messpunkten.

Elementverteilung in den Messpunkten

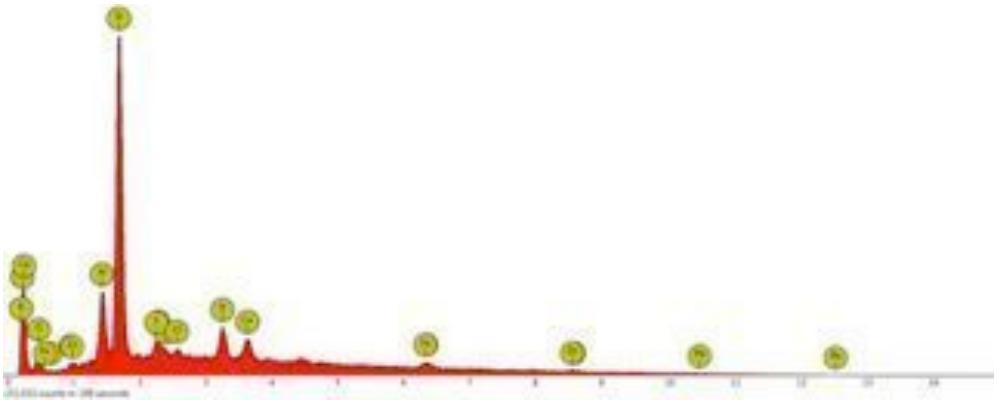

Abb. 37 Malschicht 1, Messpunkt 1, Elementverteilung (Kurve).

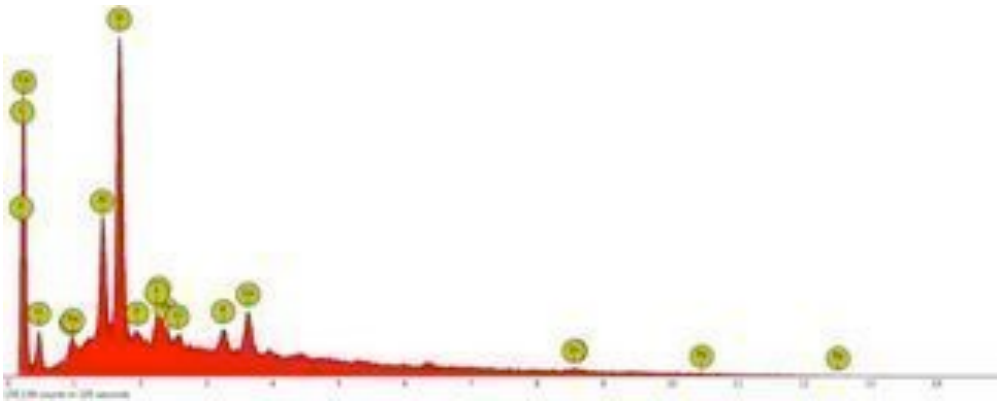

Abb. 38 Malschicht 1, Messpunkt 2, Elementverteilung (Kurve).

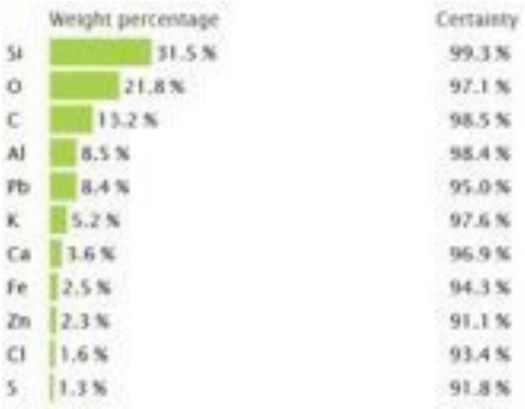

Abb. 39 Malschicht 1, Messpunkt 1, Elementverteilung (Balkendiagramm).

Abb. 40 Malschicht 1, Messpunkt 2, Elementverteilung (Balkendiagramm).

Malschicht 3

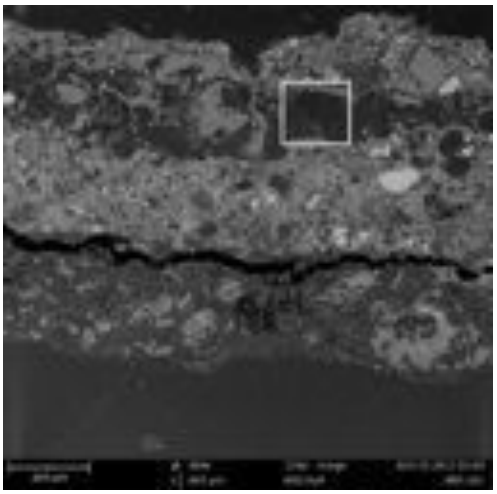

Abb. 41 Malschicht 3, REM-EDX-Aufnahme, Detail mit Messausschnitt.

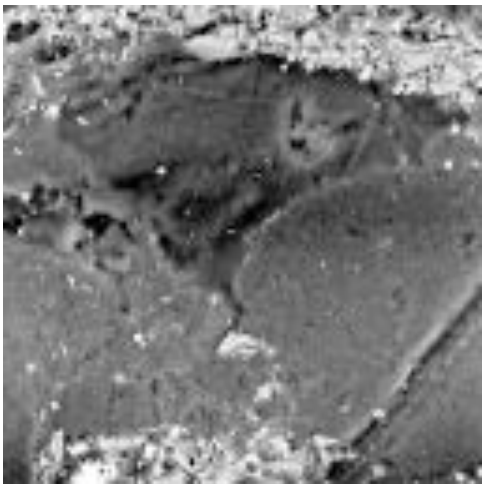

Abb. 42 Malschicht 3, REM-EDX-Aufnahme, Detail mit Messpunkten.

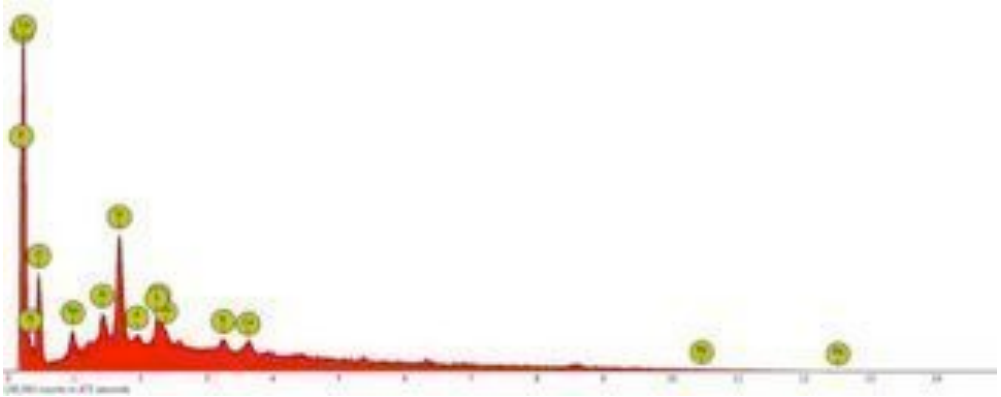

Abb. 43 Malschicht 3, Messpunkt 1, Elementverteilung (Kurve).

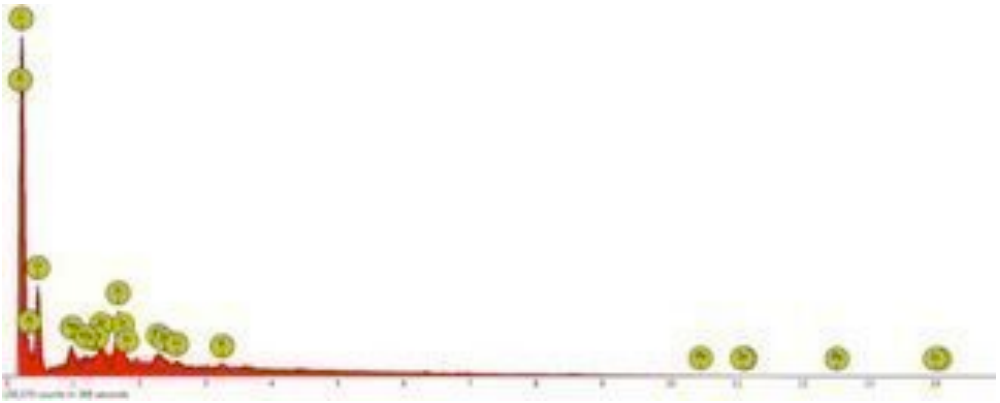

Abb. 44 Malschicht 3, Messpunkt 2, Elementverteilung (Kurve).

Abb. 45 Malschicht 3, Messpunkt 1, Elementverteilung (Balkendiagramm).

Abb. 46 Malschicht 3, Messpunkt 2, Elementverteilung (Balkendiagramm).

Tabelle 6 Ergebnis und Interpretation der Elementverteilung

Schicht	Identifizierte Elemente	Interpretation
3 (Messpunkt 1)	Sauerstoff (O), Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Blei (Pb), Silizium (Si), Natrium (Na), Aluminium (Al), Calcium (Ca), Kalium (K), Schwefel (S), Phosphor (P)	Farbstoff, auf Grund der Hintergrundgeräusche. Vermutlich Toluidin (C_7H_9N), da nur hier Stickstoff nachgewiesen wurde.
3 (Messpunkt 2)	Sauerstoff (O), Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Natrium (Na), Blei (Pb), Silizium (Si), Aluminium (Al), Selen (Se), Magnesium (Mg), Strontium (Sr), Chlor (Cl), Kalium (K)	
1 (Messpunkt 1)	Silizium (Si), Sauerstoff (O), Kohlenstoff (C), Aluminium (Al), Blei (Pb), Kalium (K), Calcium (Ca), Eisen (Fe), Zink (Zn), Chlor (Cl), Schwefel (S)	Farbstoff, auf Grund der Hintergrundgeräusche. Vermutlich Alizarin ($C_{14}H_8O_4$) auf Al-Ca-Substrat.
1 (Messpunkt 2)	Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Silizium (Si), Blei (Pb), Aluminium (Al), Calcium (Ca), Natrium (Na), Zink (Zn), Kalium (K), Phosphor (P), Chlor (Cl), Schwefel (S)	

Betrachtungsmethode:	Phenom Pro-x
Elementbestimmung durchgeführt von:	CRISTINA THIEME, HELENA ERNST
Beschrieben von:	HELENA ERNST
Datum:	5. August 2013

II. Zugversuch

Auf den folgenden Kurven sind mit Hilfe der blauen Linien der Maximalwert der Prüfkraft und der zu dem Zeitpunkt erreichte Weg eingezeichnet. Diese Werte wurden in die Tabelle 3 (Vgl. Kap. 5.4) eingetragen und ausgewertet. Am Ende jeder Kurve ist auf der y-Achse der insgesamt zurückgelegte Weg zu erkennen. Diese Werte wurden in die Tabelle 4 (Vgl. Kap. 5.4) eingetragen und ausgewertet.

Testreihe 1

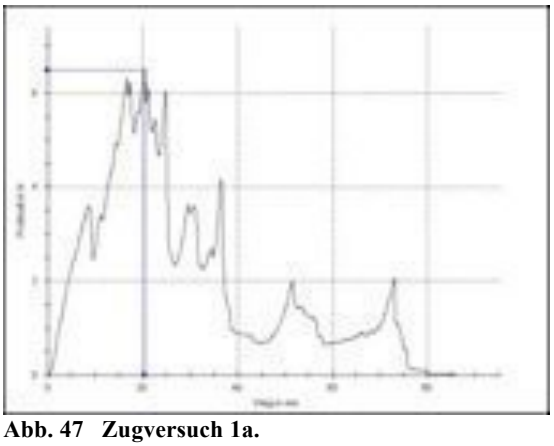

Abb. 47 Zugversuch 1a.

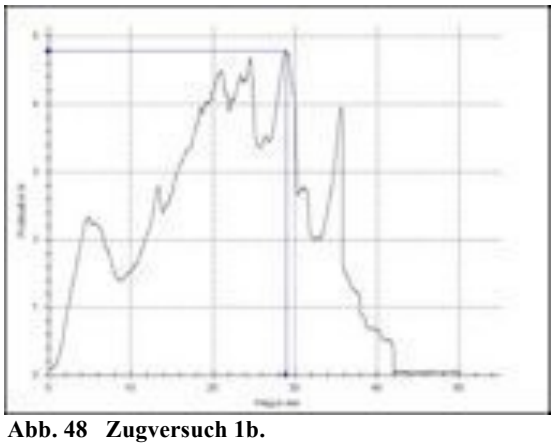

Abb. 48 Zugversuch 1b.

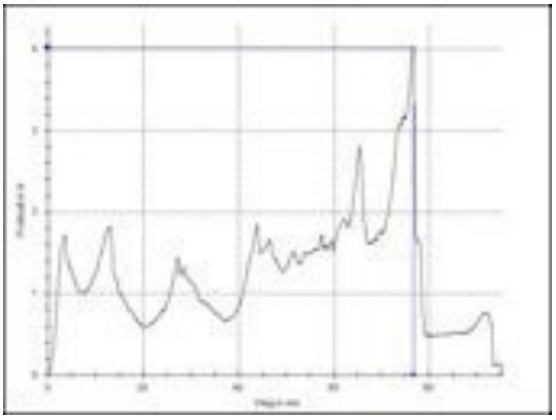

Abb. 49 Zugversuch 1c.

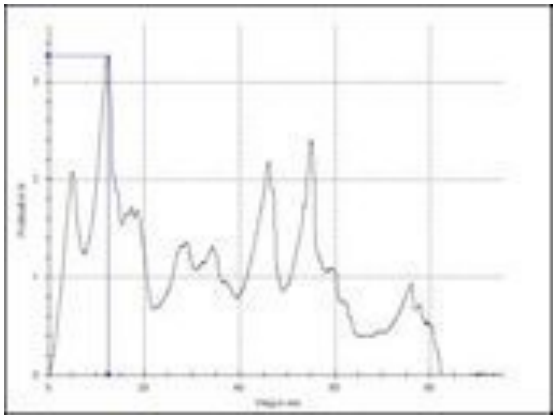

Abb. 50 Zugversuch 1d.

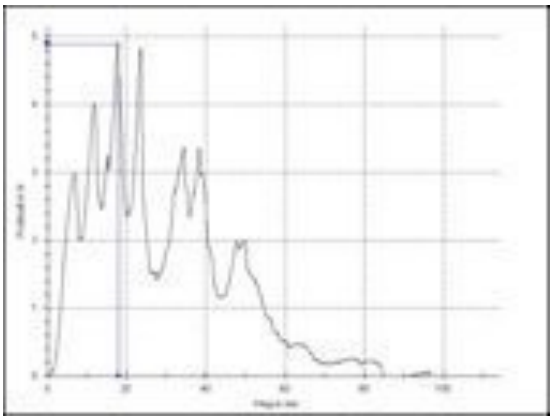

Abb. 51 Zugversuch 1e.

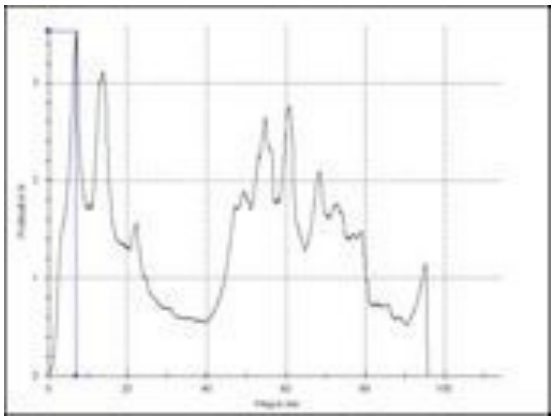

Abb. 52 Zugversuch 1f.

Testreihe 2

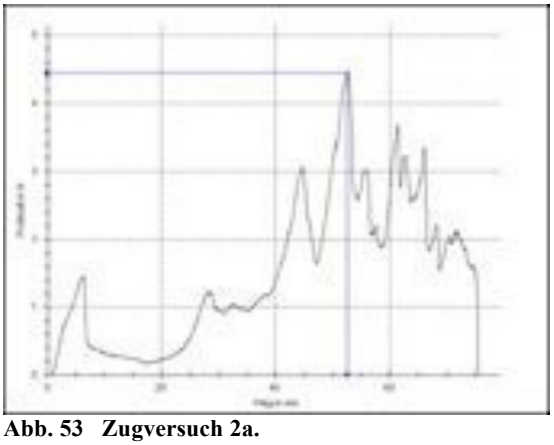

Abb. 53 Zugversuch 2a.

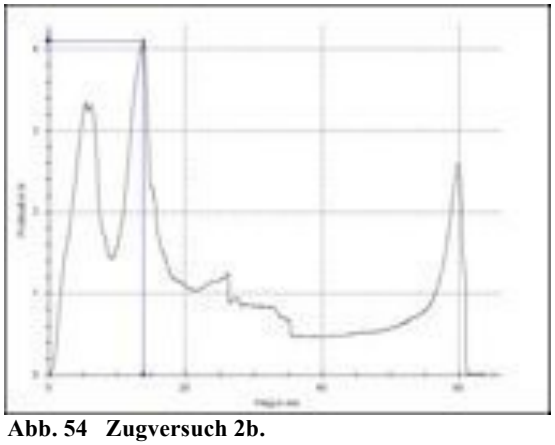

Abb. 54 Zugversuch 2b.

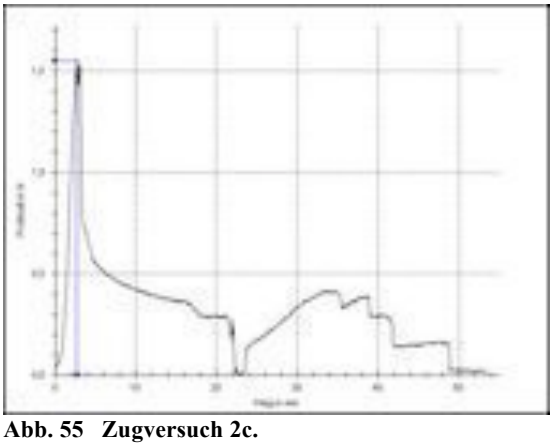

Abb. 55 Zugversuch 2c.

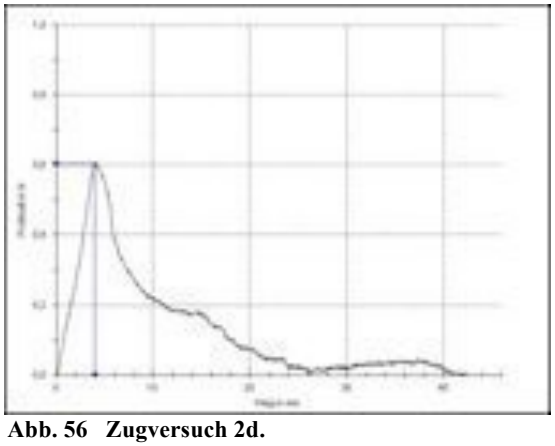

Abb. 56 Zugversuch 2d.

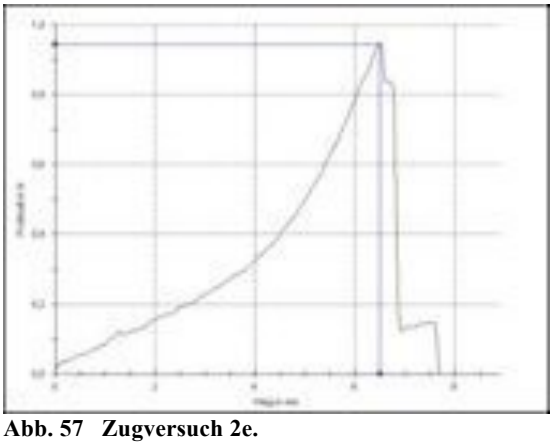

Abb. 57 Zugversuch 2e.

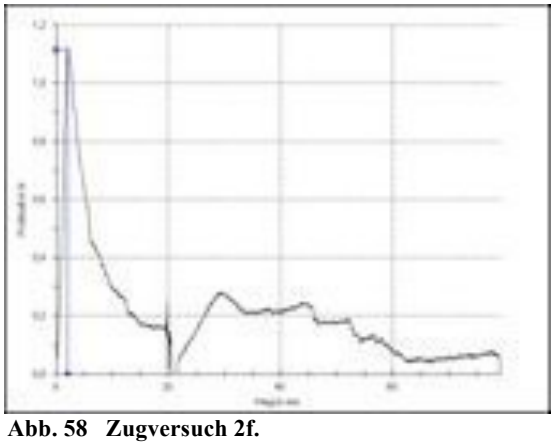

Abb. 58 Zugversuch 2f.

Testreihe 3

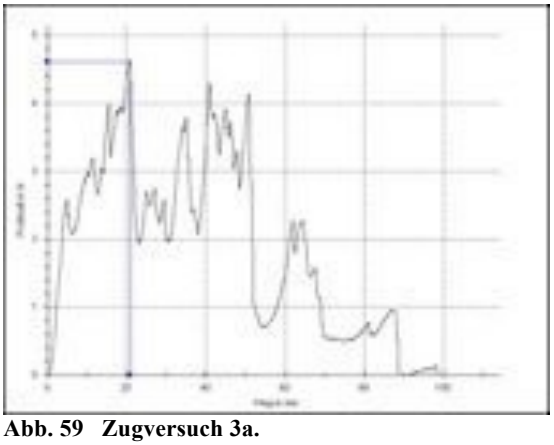

Abb. 59 Zugversuch 3a.

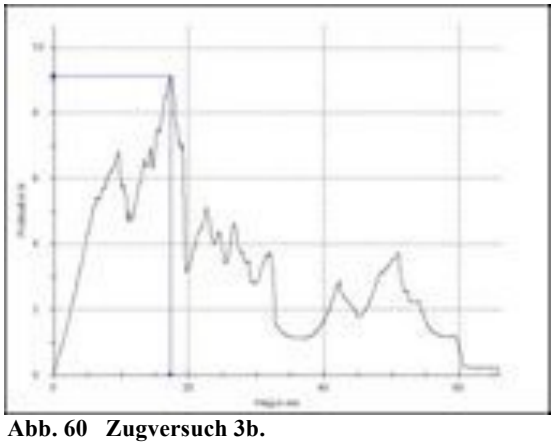

Abb. 60 Zugversuch 3b.

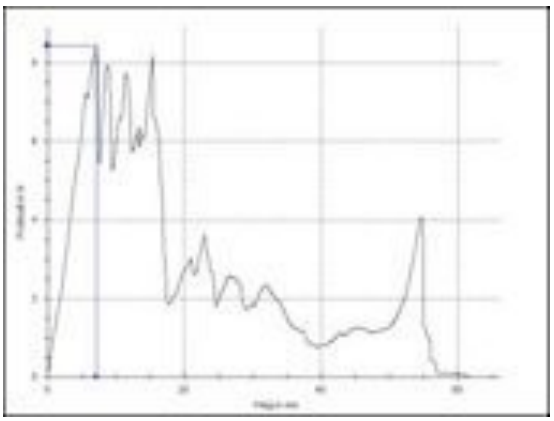

Abb. 61 Zugversuch 3c.

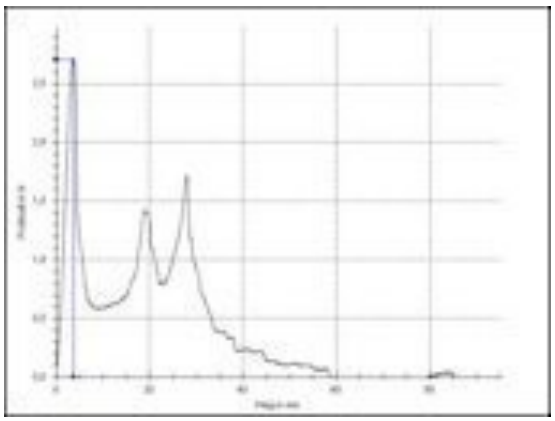

Abb. 62 Zugversuch 3d.

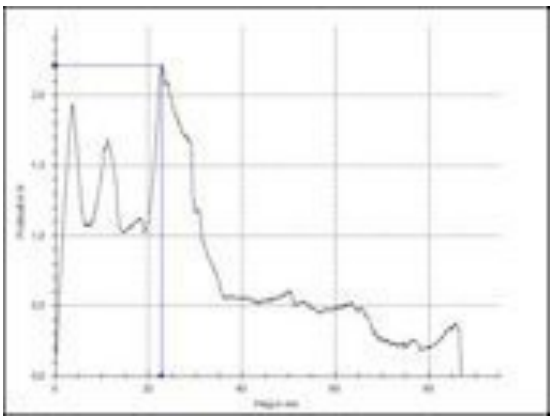

Abb. 63 Zugversuch 3e.

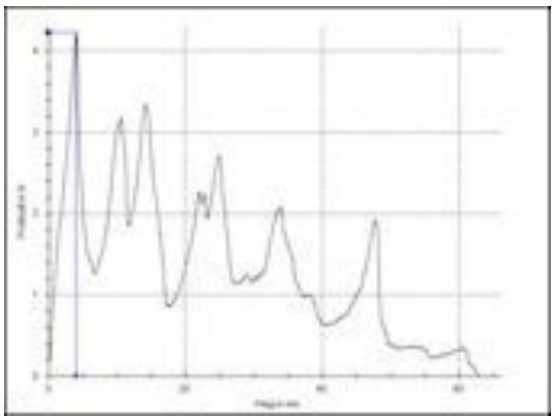

Abb. 64 Zugversuch 3f.

Testreihe 4

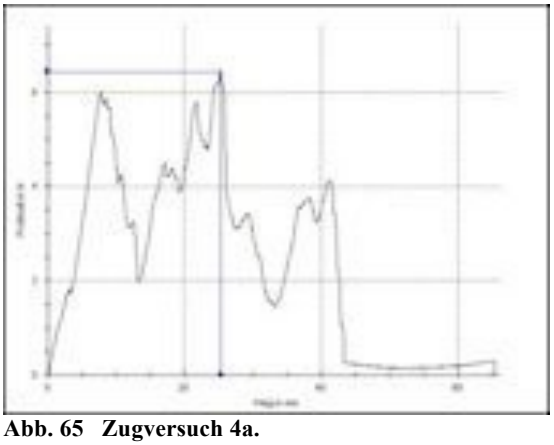

Abb. 65 Zugversuch 4a.

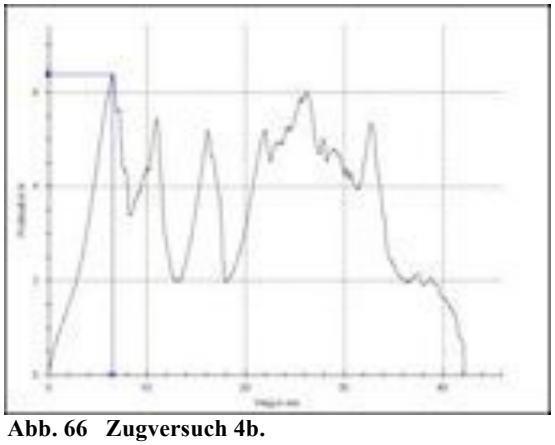

Abb. 66 Zugversuch 4b.

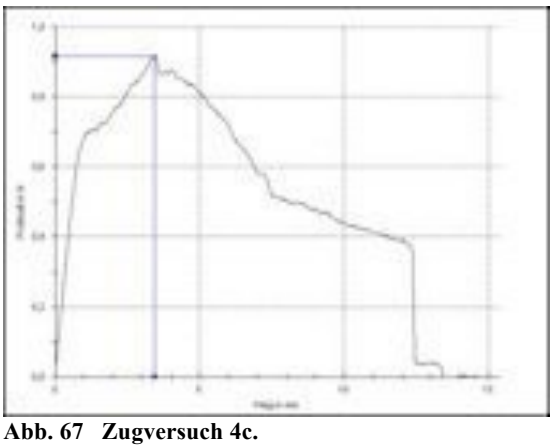

Abb. 67 Zugversuch 4c.

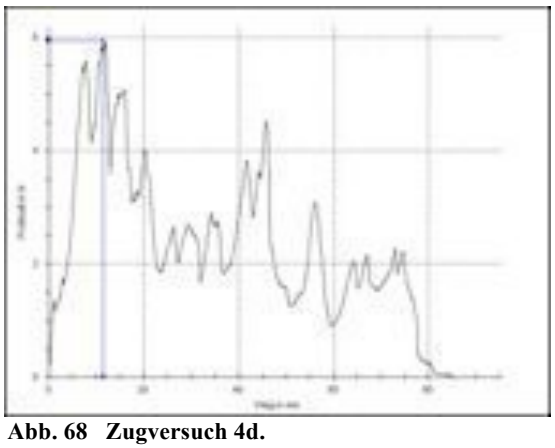

Abb. 68 Zugversuch 4d.

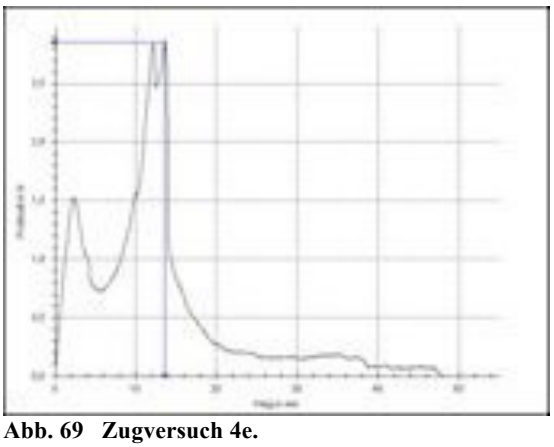

Abb. 69 Zugversuch 4e.

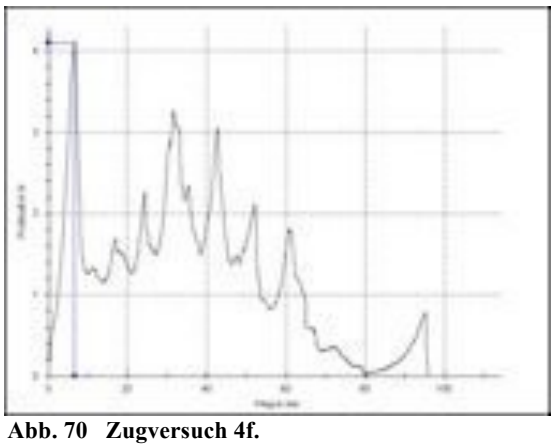

Abb. 70 Zugversuch 4f.

Testreihe 5

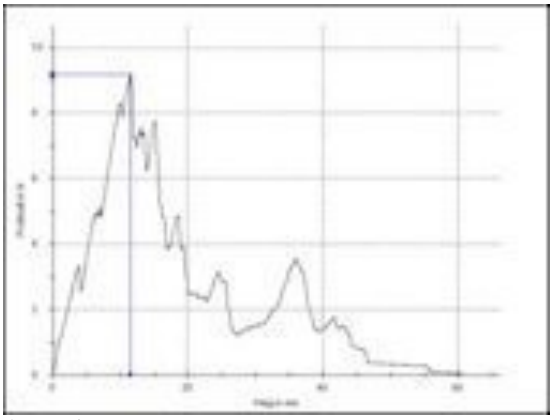

Abb. 71 Zugversuch 5a.

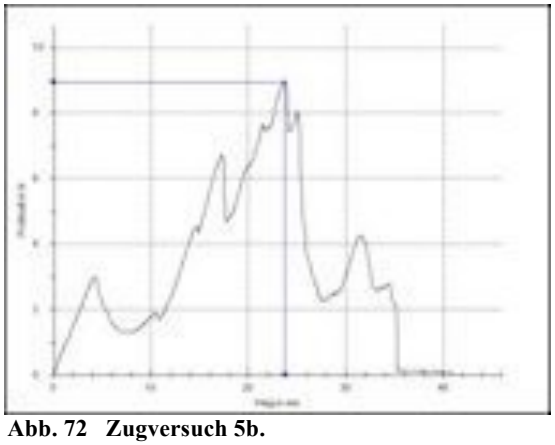

Abb. 72 Zugversuch 5b.

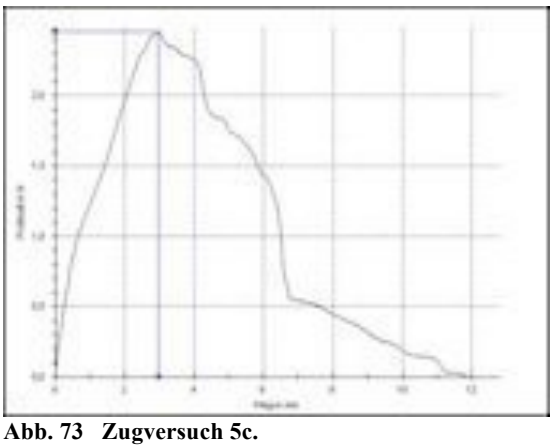

Abb. 73 Zugversuch 5c.

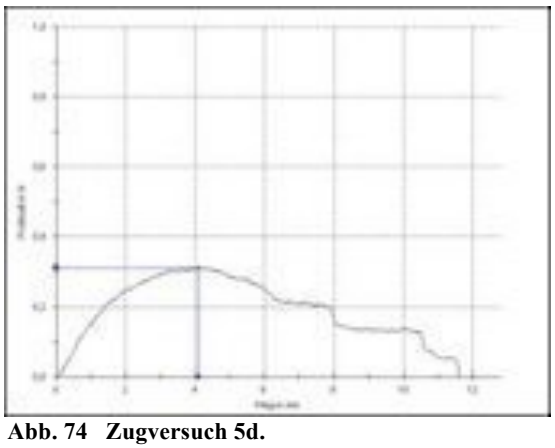

Abb. 74 Zugversuch 5d.

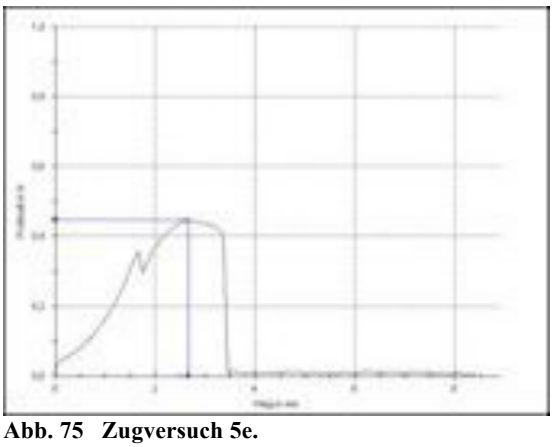

Abb. 75 Zugversuch 5e.

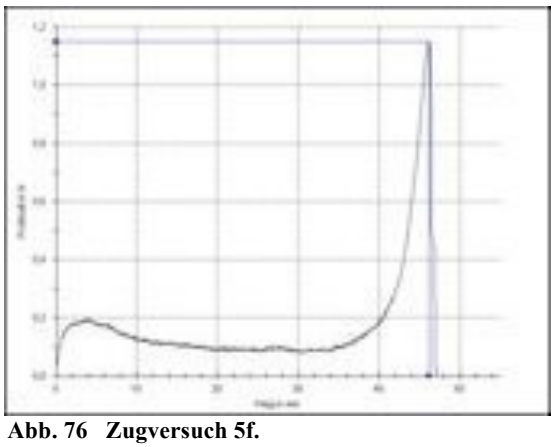

Abb. 76 Zugversuch 5f.

III. Malschichtfestigung mit BEVA®371

Teststelle 1

Abb. 77 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamtaufnahme mit Teststelle 1 , Normallicht.

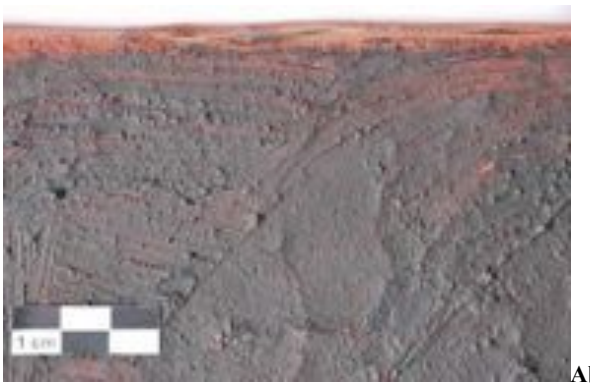

Abb. 78 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 1, Detail, Normallicht, Vorzustand.

Abb. 79 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 1, Detail, Streiflicht, Vorzustand.

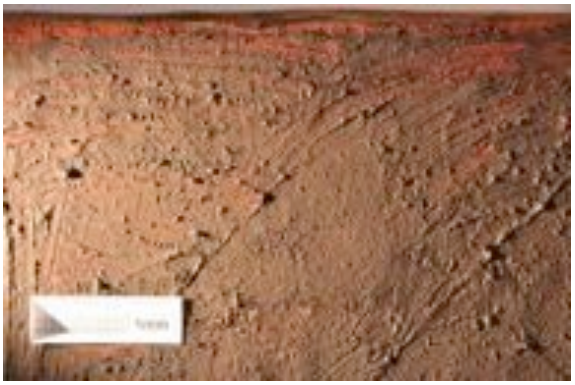

Abb. 80 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 1, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 20 %iger BEVA®371-Lösung.

Teststelle 2

Abb. 81 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamtaufnahme mit Teststelle 2, Normallicht.

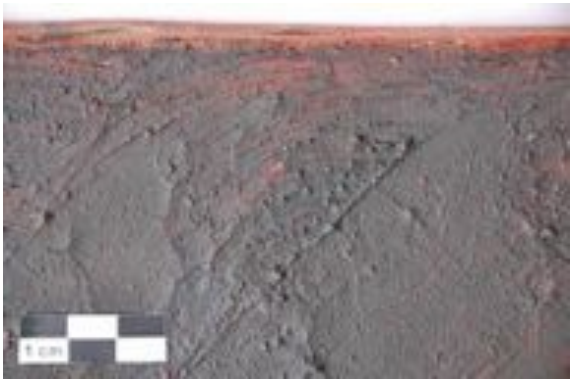

Abb. 82 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 2, Detail, Normallicht, Vorzustand.

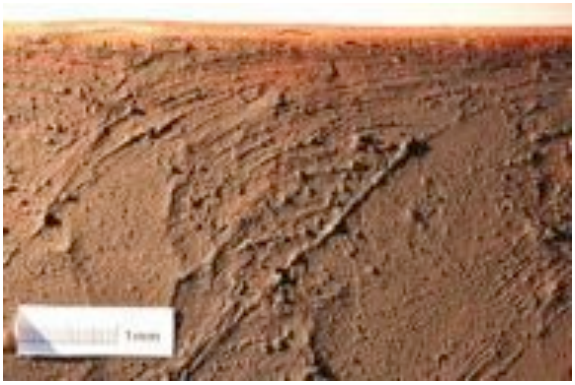

Abb. 83 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 2, Detail, Streiflicht, Vorzustand.

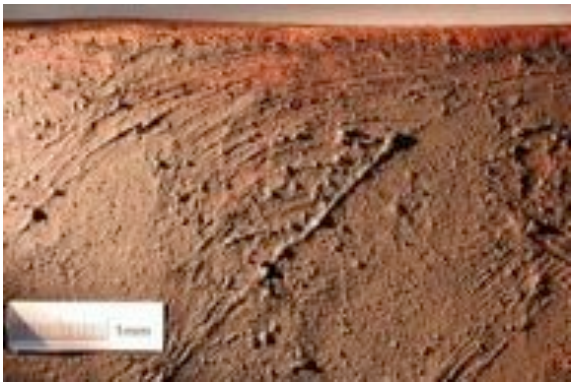

Abb. 84 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 2, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 15 %iger BEVA®371-Lösung.

Teststelle 3

Abb. 85 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamtaufnahme mit Teststelle 3, Normallicht.

Abb. 86 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 3, Detail, Normallicht, Vorzustand.

Abb. 87 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 3, Detail, Streiflicht, Vorzustand.

Abb. 88 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 3, Detail, Streiflicht, nach der Festigung.

Teststelle 4

Abb. 89 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamtaufnahme mit Teststelle 4, Normallicht.

Abb. 90 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 4, Detail, Normallicht, Vorzustand.

Abb. 91 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 4, Detail, Streiflicht, Vorzustand.

Abb. 92 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 4, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 10 %iger BEVA®Lösung.

Teststelle 5

Abb. 93 POLIAKOFF, „*Composition*", Gesamtaufnahme mit Teststelle 5, Normallicht.

Abb. 94 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 5, Detail, Normallicht, Vorzustand.

Abb. 95 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 5, Detail, Streiflicht, Vorzustand.

Abb. 96 POLIAKOFF, „*Composition*", Teststelle 5, Detail, Streiflicht, nach der Festigung mit 10 %iger BEVA®371-Lösung.

IV. Verwendete Materialien

Verwendungszweck	Material	Bezugsquelle
Zugversuche: Probekörper	Textiler Bildträger	Unbekannt (aus den Beständen des Lehrstuhls für Restaurierung, TU München)
	Bologneser Kreide, fein	Kremer-Pigmente
	Hasenleim, Körner	Deffner & Johann
	BEVA®371	Kremer-Pigmente
	Klucel®G	Kremer-Pigmente
	Ethanol	Kremer-Pigmente
	Wasser	Leitungswasser
	Toluol	Kremer-Pigmente
	Xylol	Roth
	Siedegrenzbenzin 100/140	Kremer-Pigmente
Fallstudie: Malschichtfestigung	BEVA®371	Kremer-Pigmente
	Toluol	Kremer-Pigmente

Tab. 7 Verwendete Materialien