

Kölner Beiträge
zur Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut
Digitale Edition
Band 3

**Entwicklung eines Restaurierungskonzeptes
für ein Glasobjekt mit schwach gebundener Farbschicht
von Rebecca Horn**

Lisa Schiller

Kölner Beiträge zur Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut
Digitale Edition, Band 3

2017

Herausgeber:

Technische Hochschule Köln
Cologne Institute of Conservation Sciences
Ubierring 40, D-50968 Köln

Satz / Realisierung des Layouts: Lisa Schiller

Dieser Band basiert auf der Masterarbeit von Lisa Schiller (2013), betreut durch Prof. Dr. Gunnar Heydenreich und Silke Zeich (Museum Folkwang)

© Lisa Schiller

Kurzzusammenfassung

LA FERDINANDA (in der Mitte des Ozeans...), ein 1981 von Rebecca Horn bemaltes Glasobjekt ist aufgrund seines Erhaltungszustandes nicht mehr ausstellungsfähig. Aufbauend auf Untersuchungen zu künstlerischem Kontext, verwendeten Materialien, Werkprozess und Erhaltungszustand wurde ein Restaurierungskonzept entwickelt. Den Schwerpunkt der Arbeit stellt die Konsolidierung des schwach gebundenen Farbauftrages auf dem Glasträger dar. Hierfür wurden umfangreiche Versuchsreihen angelegt und bewertet. Die besten Ergebnisse konnten mit einem Konsolidierungsmittel auf Basis des siliciumorganischen ORMOCER-G in Mischung mit Paraloid B72 erzielt werden. Die Applikation erfolgte mit einem Dosiergerät.

Abstract

LA FERDINANDA (in der Mitte des Ozeans...), a glass object painted in 1981 by Rebecca Horn, can no longer be exhibited due to its current condition. Based on studies of the artistic context, materials used, production process, and the current condition, a concept of conservation has been developed. This concept focuses on the consolidation of the weakly bonded paint layer on the glass support. For this purpose extensive tests were carried out and evaluated. The best results were achieved with a consolidating agent based on the organosilicon ORMOCER-G mixed with Paraloid B72, which was applied with a dosing device.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während des zwei jährigen Masterstudiums und im Rahmen einer Kooperationspartnerschaft zwischen dem CICS und dem Museum Folkwang in Essen. Die Untersuchungen an dem Kunstwerk, welches von der Stadtparkasse Essen zur Verfügung gestellt wurde, konnten in der Restaurierungswerkstatt für Gemälde und Skulptur des Museums Folkwang durchführt werden. Für diese Möglichkeit geht mein ausdrücklicher Dank an das Museum Folkwang, seinerzeit unter der Leitung von Herrn Hartwig Fischer sowie an die Stadtparkasse Essen.

Mein besonderer Dank gilt außerdem:

Herrn Prof. Dr. Heydenreich und Silke Zeich (Museum Folkwang) für die engagierte und sehr bereichernde Betreuung im Masterstudium und der vorliegenden Arbeit.

Frau Dipl.-Rest. Petra Demuth für den unermüdlichen Einsatz, mich mit konstruktiven Ideen zu unterstützen. Frau Dipl.-Rest. Frederike Breder (Museum Folkwang) für die vielfältige Hilfestellung bei der Untersuchung und beim Entstehungsprozess der vorliegenden Arbeit. Frau Prof. Dr. Jägers, Dipl.-Rest. Annegret Seger, und Sandra Uckermann für die Hilfe bei den Materialanalysen und der künstlichen Alterung.

Allen großzügigen und hilfsbereiten Personen, die durch die Bereitstellung von Material und Gerätschaften mein Weiterkommen gefördert sowie Anregungen und Informationen an mich herangetragen haben. Insbesondere sei Herrn Prof. Dr. Raue in Berlin und Frau Gabriele Ulm vom Frauenhoferinstitut für Silicatiforschung in Würzburg gedankt.

Anna Bannach (M.A.), Jenny Nieberle (M.A.) und Dr. Tim Münninghoff für die gewissenhafte Unterstützung während der Korrekturphase.

Schließlich meiner Familie und guten Freunden für ihre Unterstützung und die fortwährende Ermunterung während des gesamten Studiums.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Einleitung | 7 |
| 2. | “LA FERDINANDA (in der Mitte des Ozeans ...)” von Rebecca Horn | 9 |
| 2.1. | Objektidentifikation und Provenienz | 10 |
| 2.2. | Beschreibung | 11 |
| 2.3. | Künstlerischer Kontext..... | 12 |
| 3. | Bestandsanalyse | 16 |
| 3.1. | Material und Technik..... | 16 |
| 3.1.1. | <i>Objektbestandteile und verwendete Materialien</i> | 16 |
| 3.1.2. | <i>Entstehungsprozess</i> | 26 |
| 3.2. | Erhaltungszustand | 26 |
| 4. | Strategische Überlegungen zu Erhaltung und Präsentation | 34 |
| 4.1. | Problemstellung..... | 35 |
| 4.2. | Optionen und Grenzen der Restaurierung | 35 |
| 4.3. | Zielsetzung der Restaurierung | 40 |
| 5. | Anforderungsprofil und Materialauswahl für die Konsolidierung | 41 |
| 5.1. | Glas als Trägermaterial | 41 |
| 5.1.1. | <i>Optische Eigenschaften</i> | 41 |
| 5.1.2. | <i>Haftungsproblematik</i> | 41 |
| 5.2. | Der Farbauftrag | 46 |
| 5.2.1. | <i>Fragilität</i> | 46 |
| 5.2.2. | <i>Löslichkeitsverhalten</i> | 47 |
| 5.3. | Löslichkeitstests | 47 |
| 5.3.1. | <i>Lösemittel und Lösemittelgemische</i> | 47 |
| 5.3.2. | <i>Lösemitteldämpfe und Aerosole</i> | 51 |
| 5.4. | Überprüfung des Benetzungsvermögens | 52 |
| 5.5. | Auswahlkriterien | 54 |
| 5.6. | Vorauswahl der Löse- und Klebemittel | 55 |
| 6. | Technische Prüfung der Vorauswahl | 59 |
| 6.1. | Festlegung der Applikationstechnik..... | 59 |
| 6.1.1. | <i>Versuche mit dem Ultraschallvernebler</i> | 59 |
| 6.1.2. | <i>Versuche mit dem Dosiergerät</i> | 60 |
| 6.2. | Untersuchungen künstlich gealterter Klebemittelfilme..... | 64 |

| | |
|---|------------|
| 6.2.1. Untersuchung der optischen Veränderungen..... | 67 |
| 6.2.2. Prüfung des Adhäsionsvermögens | 71 |
| 6.3. Zusammenfassung der Ergebnisse | 77 |
| 7. Restaurierungskonzept | 78 |
| 7.1. Konsolidierung des Farbauftrages | 78 |
| 7.2. Reinigung der Glasflächen | 81 |
| 7.3. Remontage des Pendels | 83 |
| 7.4. Anforderungen und Empfehlungen für die Montage und die Ausstellungssituation..... | 85 |
| 7.5. Empfehlungen für Wartung und Handling..... | 89 |
| 8. Zusammenfassung und Ausblick | 90 |
| 9. Verzeichnisse | 93 |
| 9.1. Literaturverzeichnis | 93 |
| 9.2. Normative Verweise..... | 100 |
| 9.3. Abkürzungen | 101 |
| 9.4. Abbildungsnachweis | 102 |
| 9.5. Tabellennachweis | 106 |
| 10. Anhang..... | 108 |
| 10.1. Ergänzende Abbildungen | 108 |
| 10.2. Ergänzende Daten zu ausgewählten Vergleichsobjekten..... | 111 |
| 10.3. Kartierung | 114 |
| 10.4. Ergänzende Tabellen | 115 |
| 10.5. Analysen zur Materialidentifizierung | 116 |
| 10.5.1. FTIR- Spektren..... | 116 |
| 10.5.2. Dünnschichtchromatografie..... | 117 |
| 10.6. Ergänzende Protokolle und Tabellen zu den Versuchsreihen | 122 |
| 10.6.1. Löslichkeitstests mit Lösemittelgemischen | 122 |
| 10.6.2. Löslichkeitstests mit Lösemitteldämpfen und Aerosolen..... | 124 |
| 10.6.3. Applikationsversuche mit dem Ultraschallvernebler..... | 131 |
| 10.6.4. Ergänzende Daten zur künstlichen Alterung | 133 |
| 10.6.5. Farbmessungen | 137 |
| 10.7. Datenblätter | 144 |
| 10.8. Verwendete Materialien und Gerätschaften | 150 |

1. Einleitung

Das Glasobjekt mit dem Titel *LA FERDINANDA (In der Mitte des Ozeans...)* der Künstlerin Rebecca Horn aus dem Jahre 1981 stellt den Ausgangspunkt der vorliegenden Masterarbeit dar. Die gläserne Kastenkonstruktion ist im Innern sowohl bemalt als auch beschriftet. Außerdem ist im Kasteninnenraum ein Schwerkraftpendel montiert. Durch den aktuellen Erhaltungszustand hat das Kunstobjekt seine Präsentationsfähigkeit eingebüßt. Die ausschlaggebenden Faktoren dafür sind das sehr schwach gebundene und dadurch extrem instabile Farbmateriale der Bemalung sowie das herabgefallene Pendel.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, ein Maßnahmenkonzept zur Restaurierung des Kunstwerkes zu entwickeln, um die Präsentationsfähigkeit wieder herzustellen. Der Themenschwerpunkt der Untersuchung ist die Konsolidierung der schwach gebundenen Farbschicht auf dem Glasträger. Das originale Farbmateriale besitzt komplizierte Löslichkeitseigenschaften und ist extrem fragil, was die Konsolidierung auf dem Glasträger zu einer großen konservatorischen Herausforderung macht. Neben der Frage, welche Klebemittel bei der Verwendung auf Glas überhaupt ausreichende Adhäsionskräfte ausbilden können, muss das Material zusätzlich transparent und farblos sein. Außerdem gilt es sicherzustellen, dass die Konsolidierungslösung verträglich mit dem Farbmateriale und kompatibel mit der infrage kommenden Applikationsmethode ist.

Im Verlauf der eigenen Recherchen entstand die Erkenntnis, dass bisher keine Forschungsergebnisse zu einem vergleichbaren konservatorischen Fall publiziert sind. Daher wurde Literatur zu materialverwandten Themen herangezogen. Dazu zählt Restaurierungsliteratur aus dem Bereich der Hinterglasmalerei, der historischen Glasmalerei, aber auch aus dem Gemäldebereich bzw. zu speziellen Applikationsmethoden oder der Konservierungsproblematik bei pudernden Malschichten.

Die Arbeit ist inhaltlich in vier Teile gegliedert. Im ersten Teil werden Objekt und Künstlerin vorgestellt. Zudem folgt die Bestandsanalyse, um verwendete Materialien zu identifizieren sowie den technischen Aufbau und den aktuellen Erhaltungszustand zu dokumentieren.

Im zweiten Teil wird ein Themenbereich aufgegriffen, der sich durch die Kontaktaufnahme zu der noch lebenden Künstlerin entwickelt hat. Dabei geht es um den Konflikte der entsteht, wenn Künstler den Anspruch erheben Restaurierungsarbeiten an ihren Kunstwerken eigenhändig durchzuführen. Diese

Thematik wird im Zusammenhang mit der Zielsetzung für die Restaurierung behandelt.

Der dritte Teil beinhaltet die Charakterisierung derjenigen Objektbestandteile, die bei der Konsolidierung involviert sind, wodurch ein Anforderungsprofil für die Maßnahme erstellt wird. Infolge dessen lassen sich objektspezifische Auswahlkriterien ableiten, mit Hilfe derer die Vorauswahl geeigneter Konsolidierungsmittel getroffen werden kann. Durch empirische Versuche werden neben der geeigneten Applikationsmethode, optische Veränderungen im Zuge der Alterung und die Haftungseigenschaften der verschiedenen Konsolidierungsmittel auf Glas überprüft.

Das Konzept für die Restaurierung wird im vierten Teil dargestellt. Es beinhaltet den technischen Maßnahmenvorschlag, mit dem Fokus auf der Konsolidierung des Farbauftrages. Des Weiteren werden Forderungen und Empfehlungen für den künftigen Umgang mit dem Kunstwerk aufgeführt.

2. “LA FERDINANDA (in der Mitte des Ozeans ...)” von Rebecca Horn

Anstatt im Querformat aufgestellt wird das Glasobjekt aktuell liegend gelagert. Die Bemalung befindet sich in dieser Position auf der inneren Unterseite, der eigentlichen Schauseite des Werkes (siehe Abb. 1). Das herabgefallene Schwerkraftpendel wird außerhalb des Objektkastens aufbewahrt (siehe Abb. 2).¹



Abbildung 1: Gesamtaufnahme des liegenden Objektes; Die Standfläche befindet sich vorne bzw. die Rückseite oben.



Abbildung 2: Einzelaufnahme des herabgefallenen Pendels; Das Pendel war innen an der oberen Scheibe befestigt; Von vorne betrachtet hing das Pendel rechtsseitig im Objektkasten herab.

¹ Ergänzende Abbildungen des Kunstwerkes befinden sich in Anhang 10.1, Abb. 38 – 40.

2.1. Objektidentifikation und Provenienz

| | |
|---|--|
| Künstler/in: | Rebecca Horn |
| Titel: | „LA FERDINANDA (In der Mitte des Ozeans...)“ |
| Datierung: | 1981 |
| Künstlersignatur: | „8-8-1981 R.Horn“ |
| Beschriftung: | „in der Mitte des Ozeans - wo sich Afrika von Südamerika gelöst hat - beginnen die Vögel zu kreisen - sie suchen ihr Land“ |
| Objektart: | Installation/Objektkunst |
| Technik: | Malerei auf Glas |
| Beschreibung: | Ein rechteckiger Glaskasten mit schwarzer Metallfassung wurde im Inneren bemalt und beschrieben. Zugehörig ist außerdem ein Schwerkraftpendel, welches innen herabhängend befestigt wurde. |
| Maße Objektkasten (H x B x T in cm): | 69,8 x 99,8 x 16,8 |
| Eigentümer: | Stadtsparkasse Essen |

Das Kunstwerk wurde vermutlich unmittelbar nach seiner Entstehung vom 09.08.1981 bis zum 13.09.1981 in der Ausstellung *LA FERDINANDA Sonate für eine Medici-Villa* in der Staatlichen Kunsthalle Baden-Baden gezeigt.² Bei dieser Ausstellung wurde der gleichnamige Film von Rebecca Horn vorgeführt und eine darauf bezogene Rauminstallation präsentiert. Der zugehörige Ausstellungskatalog enthält eine Auflistung Werke, die in diese Rauminstallation integriert waren. Jedoch wird auf die Angabe von Titeln und Abbildungen verzichtet. Dieser Auflistung lässt sich entnehmen, dass 20 Glaskästen in der gleichen Größe wie das zu bearbeitende Objekt zu der Rauminstallation gehörten.³ Laut Ausstellungskatalog befinden sich alle aufgeführten Arbeiten in Privatbesitz.⁴ In diesem Zusammenhang äußerte der Rechtsanwalt und Kunstsammler Prof. Dr. Peter Raue, dass einige der Objekte, die in der Ausstellung gezeigt wurden als

² Frdl. mündliche Mitteilung, Prof. Dr. Peter Raue, Rechtsanwalt und Kunstsammler, Berlin (25. 04.2013).

³ HORN 1981, k.A.

⁴ HORN 1981, k.A.

persönliche Schenkungen der Künstlerin an Privatpersonen übergegangen seien.⁵ Es handelte sich dabei um eine Art Dankesgeste für Geldspenden, die für die Finanzierung des Filmes genutzt wurden.⁶ Ob das zu bearbeitende Kunstwerk eines dieser Geschenke war, ist nicht nachvollziehbar. Bei den Recherchen zur Objektgeschichte konnten, rückwirkend gesehen, die ältesten Informationen von der Firma ARTAX Kunsthandel KG eingeholt werden. ARTAX erhielt das Werk aus dem Nachlass eines Privatsammlers, dessen Erbgemeinschaft es verkaufte, ohne Hintergrundinformationen zu der Arbeit zu erläutern.⁷ Im Jahr 1998 erwarb ein Essener Privatsammler das Werk und verkaufte es im Jahr 2006 an die Sparkasse Essen.⁸ Seitdem befand sich das Objekt in einem Bürogebäude der Stadtsparkasse Essen. Im September 2011 wurde das Kunstwerk dem Museum Folkwang Essen als Forschungsgegenstand zur Verfügung gestellt.

2.2. Beschreibung

Das Grundelement des Kunstwerkes ist ein schwarz gerahmter Glaskasten. Dieser Glaskasten wird rechteckig im Querformat präsentiert. Auf der inneren, dem Betrachter zugewandten Seite, befindet sich der grau-braune hauchdünne, lasurartige Farbauftrag. Kreis- und Spirallinien sowie ungegenständliche Flecken bilden die zeichnerische Darstellung. Auf der inneren, hinteren Seite am oberen Rand steht in brauner Farbe und Schreibschrift folgendes geschrieben: „In der Mitte des Ozeans - wo sich Afrika von Südamerika gelöst hat - beginnen die Vögel zu kreisen - sie suchen ihr Land“. In der gleichen Farbe und in Druckschrift befinden sich Datierung und Signatur innen auf der unteren Scheibe: „8-8-1981 R.Horn“. Ein Schwerkraftpendel mit einem hölzernen Pendelkörper, in Form eines Drehkreisels, ist vorderseitig betrachtet oben rechts herabhängend montiert. Der Pendelkörper hängt an einer Kordel und ist unleserlich mit schwarzen Buchstaben beschriftet. Das Pendel ist herabgefallen und wird momentan separat aufbewahrt.

⁵ Frdl. mündliche Mitteilung, Prof. Dr. Peter Raue, Rechtsanwalt und Kunstsammler, Berlin (25. 04.2013).

⁶ Frdl. mündliche Mitteilung, Prof. Dr. Peter Raue, Rechtsanwalt und Kunstsammler, Berlin (25. 04.2013).

⁷ Frdl. schriftliche Mitteilung, Herr Kleinsimlinghaus, ARTAX Kunsthandel KG, Düsseldorf (27.05.2013).

⁸ Frdl. schriftliche Mitteilung, Herr Kleinsimlinghaus, ARTAX Kunsthandel KG, Düsseldorf (27.03.2013), Frau Dr. Katharina Schmidt-Ewig, Sparkasse Essen, Abteilung Kommunikation, Essen (15.04.2013).

2.3. Künstlerischer Kontext

Rebecca Horn wurde 1944 im Odenwald geboren. Sie studierte an der Hochschule für Bildende Künste in Hamburg und der St. Martin`s School of Art in London. Später übernahm Rebecca Horn Lehrtätigkeiten am California Art Institute, an der University of San Diego und zuletzt an der Hochschule der Künste in Berlin. Heute lebt die Künstlerin unter anderem in Berlin und Paris.⁹ Rebecca Horn begann in den 70er Jahren¹⁰ mit Performances, die stets filmisch dokumentiert wurden. Schließlich schrieb und produzierte sie ganze Spielfilme.¹¹ Ihre Kunstobjekte, wie skulpturale Rauminstallationen, Zeichnungen oder Fotoübermalungen, gewannen mehr und mehr an Bedeutung, indem diese in die Filme integriert wurden.¹²

Für die Einordnung des zu bearbeitenden Werkes in den künstlerischen Kontext ist der Objekttitle *LA FERDINANDA (In der Mitte des Ozeans...)* der erste Hinweis auf die Verbindung zum Film *La Ferdinanda: Sonate für eine Medici-Villa* 13 von 1981. Der Film spielt in der Medici Villa La Ferdinanda in Antimino unweit von Florenz.¹⁴ In dem Film gastieren eine Hochzeitsgesellschaft sowie diverse Urlaubsgästen in der Villa. Die Geschichten der Personen sind mehr oder weniger miteinander verstricken. Neben den Personen sind sowohl Tiere, als auch zahlreiche Objekte und Installationen in die Szenen integriert. Selten wird in poetischen Mono- und Dialogen gesprochen. Der zu bearbeitende Glaskasten oder ein vergleichbares Objekt sind in dem Film nicht zu sehen. Ein weiterer Hinweis auf die Verbindung zum Film wird durch die Objektbeschriftung gegeben.

⁹ REBECCA HORN < <http://www.rebecca-horn.de> > (08.04.2013). s.v. Biografie. Ganzer Absatz.

¹⁰ Die erste filmisch dokumentierte Performance ist vermutlich Einhorn von 1970. REBECCA HORN < <http://www.rebecca-horn.de> > (22.05.2013). s.v. Filmografie.

¹¹ Der Eintänzer (1978) , La Ferdinanda: Sonate für eine Villa-Medici (1981), Buster`s Bedroom (1990). REBECCA HORN < <http://www.rebecca-horn.de> > (08.04.2013). s.v. Filmografie.

¹² HAENLEIN 1997, S. 15.

¹³ Informationen zum Film: 35mm, Farbe, Ton, 85 Minuten, in deutscher Sprache und Spielfilmlänge, eine Koproduktion mit dem Westdeutschen Rundfunk, Köln; Buch und Regie: Rebecca Horn. REBECCA HORN < <http://www.rebecca-horn.de> > (08.04.2013). s.v. Filmografie.

¹⁴ Die Villa wurde im Jahre 1594 im Auftrag des Großherzog Ferdinando I von Bernardo Buontalenti (*15.12.1531 †0.6.16.08) erbaut. SAUR AKL 1997, s.v. Buontalenti. Heute wird die Villa als Veranstaltungsort für Bankette, Kongresse und Meetings genutzt. ARTIMINO <www.artimino.com> (05.07.2013).

Die Objektbeschriftung enthält Segmente eines Spruches der in dem Film aufgesagt wird. So lautet die Objektbeschriftung: „in der Mitte des Ozeans - wo sich Afrika von Südamerika gelöst hat - beginnen die Vögel zu kreisen - sie suchen ihr Land“. In einer Szene im letzten Filmabschnitt heißt es: „In der südlichen Hemisphäre unserer Erde existiert eine verhältnismäßig gewöhnliche Art von Wandervögeln. [...] Vor kurzem hatte ein englischer Ornithologe festgestellt, dass in der Mitte des Ozeans, genau dort, wo [...] sich vor Millionen von Jahren Afrika von Südamerika gelöst hat, diese Vögel zu kreisen beginnen. Sie suchen ihr Land [...]. Ihr Millionen von Jahren übertragener Instinkt führt sie erschöpft in den Tod... ...nur die Sensibelsten erreichen den Kontinent.“¹⁵

Zwischen den Spruchsegmenten und der zeichnerischen Darstellung im Objektkasten ist eine eindeutige Beziehung zu erkennen (siehe Abb. 3). So erinnern die Spiral- und Kreislinien an die kreisenden Vögel und die abstrakten Flecken an den Ozean und/oder, wie es im Spruch heißt, die auseinandergerissenen Kontinente Afrika und Amerika. Laut Prof. Dr. Raue könnten die beschriebenen Assoziationen mit Rebecca Horns Intention übereinstimmen, denn die Künstlerin hatte die Absicht mit Hilfe der verschiedenen Glaskästen Szenen aus dem Film zu paraphrasieren.¹⁶

¹⁵ Das Drehbuch zum Film im Ausstellungskatalog beinhaltet weder eine Nummerierung der einzelnen Szenen noch Seitenzahlen. HORN 1981.

¹⁶ Frdl. mündliche Mitteilung, Prof. Dr. Peter Raue, Rechtsanwalt und Kunstsammler, Berlin (25. 04.2013).



Abbildung 3: Rückseitige Aufnahme der zeichnerischen Darstellung auf der inneren Schauseite.

Vergleichsobjekt

Ein passendes Vergleichsobjekt konnte in der Privatsammlung Peter Raue in Berlin gefunden werden.¹⁷ Es handelt sich um einen Glaskasten der laut Prof. Dr. Peter Raue in der Ausstellung von 1981 zu sehen war.¹⁸ Die Bemalung im Innenraum des Glaskastens stimmt motivisch mit dem zu bearbeitenden Objekt überein (siehe Abb. 4). Die zeichnerische Darstellung mit den Kreis- und Spirallinien, den Flecken sowie das herabhängende Pendel zeigen die unverkennbare Ähnlichkeit zu dem vorliegenden Werk.

¹⁷ Ergänzende Detailaufnahmen des Vergleichsobjektes „Objekt zu La Ferdinanda“ (1981) aus der Sammlung Peter Raue, Berlin befinden sich in Anhang 10.1. Außerdem sind in Anhang 10.2 weitere ähnliche Werke von Rebecca Horn aus der Sammlung Peter Raue, Berlin aufgeführt.

¹⁸ Frdl. mündliche Mitteilung, Prof. Dr. Peter Raue, Rechtsanwalt und Kunstsammler, Berlin (25.04.2013).



Abbildung 4: Gesamtaufnahme des Vergleichsobjektes „Objekt zu La Ferdinanda“ (1981) aus der Sammlung Peter Raue, Berlin.

3. Bestandsanalyse

Die Analyse des Objektbestandes dient dazu, alle relevanten das Objekt betreffenden Informationen zusammenzutragen. Hierdurch wird die Grundlage für die Entwicklung des Restaurierungskonzeptes geschaffen

3.1. Material und Technik

Die Ausführungen zu den verwendeten Materialien und angewendeten Techniken basieren auf eigenen technologischen Untersuchungen. Darüber hinaus wurden naturwissenschaftliche Analysen durchgeführt.

3.1.1. Objektbestandteile und verwendete Materialien

Prinzipiell können vier Objektelemente voneinander unterschieden werden: Der Objektkasten, der Farbauftrag, die Objektbeschriftung und das Schwerkraftpendel.¹⁹

Objektkasten

Der Objektkasten besteht aus sechs 0,5 cm starken Flachglaselementen. Fünf dieser Elemente werden durch silikonähnliches Material zusammengehalten (siehe Abb. 5, Nr. I) und bilden den Kasten. Die sechste Glasscheibe fungiert als Deckel. Sowohl der Glaskasten als auch die Deckelscheibe sind in ein schwarz lackiertes Metallsystem eingerahmt. Dieses Metallrahmensystem wurde vermutlich aus diversen Eisenschienen²⁰ zusammen geschweißt. Allerdings können aufgrund der schwarzen Lackierung keine Schweißnähte lokalisiert werden. Der gläserne Kasten wurde in das Rahmensystem eingelassen und durch silikonähnliches Material und jeweils zwei Metallhaken pro Seite in dem Metallrahmensystem fixiert (siehe Abb. 5, Nr. II). Die Deckelscheibe wurde in gleicher Weise in dem separaten Rahmenelement befestigt. Um den Objektkasten zu öffnen bzw. zu schließen, sind an der oberen Kante des Metallrahmensystems zwei aushängbare Scharniere installiert. An den Metallrahmen des Deckels wurde das Gegenstück geschweißt, so dass der Deckel problemlos eingehängt werden kann (siehe Abb. 5, Nr. III). Der Deckel ist an der unteren Kante des Metallrahmensystems mit zwei Schrauben fest verschließbar (Abb. 5, Nr. IV). In die rechte Metallrahmenleiste wurde rückseitig

¹⁹ Die technischen Daten zu allen Objektelementen befinden sich in Anhang 10.4, Tab. 20.

²⁰ Das Metall liegt an einigen Stellen frei und ist korrodiert. Als Korrosionsprodukt ist Rost zu erkennen, was auf die Verwendung von Eisen schließen lässt; Vgl. Kapitel 3.2.

mit einem spitzen Gegenstand die römische Ziffer IX oder XI eingeritzt (siehe Abb. 5, Nr. V).

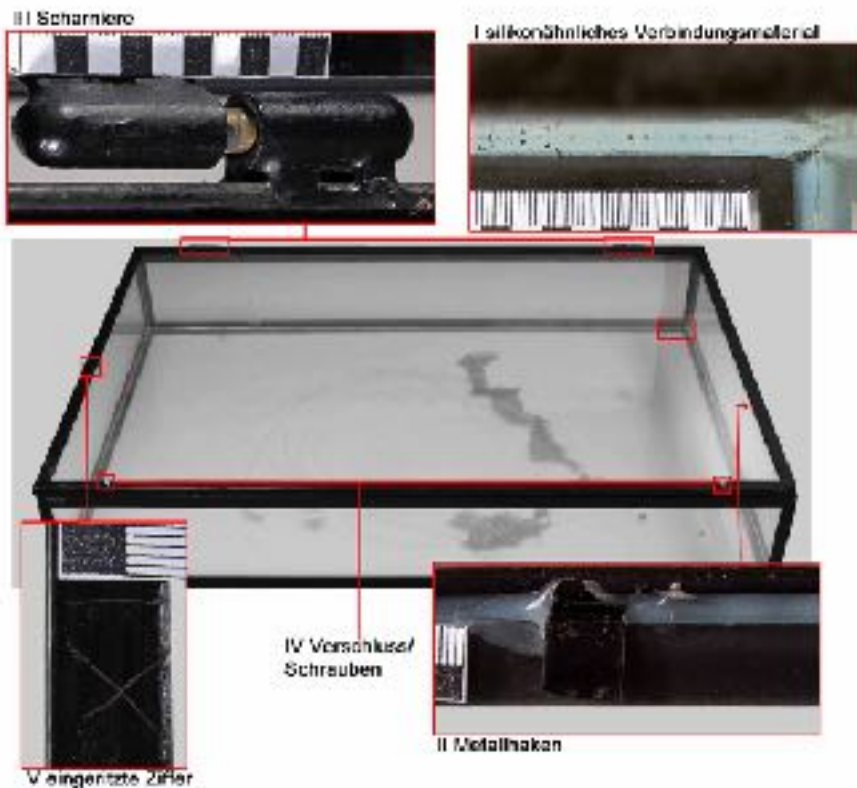


Abbildung 5: Fotocollage aus Aufnahmen des Objektkastens; Exemplarisch sind verschiedene Einzelelemente des Objektkastens abgebildet und deren Position markiert.

Die Glasscheiben bestehen aus handelsüblichem Flachglas. Vermutlich wurde das sogenannte „Floatglas“ verarbeitet, dessen Verwendung seit 1952 üblich ist.²¹ Der Begriff „Floatglas“ bezieht sich auf die technische Verarbeitung der Glasschmelze bei der Glasherstellung. Beim „Floaten“ wird die Glasschmelze auf ein flüssiges Zinnbad geleitet und breitet sich bei Temperaturen bis zu 1000°C flach aus.²² Durch eine mechanische Einrichtung erfolgt die Einstellung der gewünschten Dicke und schließlich die kontinuierliche spannungsfreie Abkühlung in einem Kühllofen.²³

²¹ MATERIAL ARCHIV <<http://www.materialarchiv.ch>>, s.v. Floatglas, (25.05.2013).

²² MATERIAL ARCHIV <<http://www.materialarchiv.ch>>, s.v. Floatglas, (25.05.2013).

²³ MATERIAL ARCHIV <<http://www.materialarchiv.ch>>, s.v. Floatglas, (25.05.2013).

Generell sind Gläser ungeordnet aus Atomen und Ionen aufgebaut.²⁴ Bei Massengläsern für die Herstellung von Flachglas handelt es sich in der Regel um Kalk-Natron-Gläser, die der Gruppe der Alkali-Erdalkali-Silicatgläser angehören. Durch das Verschmelzen der Hauptbestandteile Quarzsand, Soda und Kalk bildet sich ein Silikatnetzwerk. Dieses besteht aus einem hohem Anteil Siliciumdioxid und kleineren Anteilen Natriumoxid und Calciumoxid. Zur Beeinflussung verschiedener optischer und physikalischer Eigenschaften können weitere Bestandteile eingebunden werden. Einen Überblick der üblichen Zusammensetzung bzw. der Verhältnisse dieser zueinander gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung typischer Massengläser. Nach: RICHTER et al., S. 93 und MATERIAL ARCHIV <<http://www.materialarchiv.ch>> (25.05.2013), s.v. Floatglas.

| Anteil in % | Summenformel | |
|-------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 71 - 73 | SiO ₂ | |
| 13 - 15,5 | Na ₂ O | Natron/ Alkalimetalloxide |
| 0 - 1 | K ₂ O | |
| 06,5 - 12 | CaO | Kalk/ Erdalkalimetalloxide |
| 2 - 4,5 | MgO | |
| 0 - 1,8 | Al ₂ O ₃ | |
| 0 - 5 | Beimischungen | |

Farbauftrag

Der grau-braune Farbauftrag erfolgte hauchdünn und lasurartig. Die Schichtdicke des Farbmaterials ist unregelmäßig. Die gezeichneten Linien haben dabei die geringste Schichtstärke, während das Material in den Flächen unterschiedlich dick verteilt ist. Bei der visuellen Betrachtung wird deutlich, dass es sich nicht um einen durchgängigen Farbfilm handelt, sondern vielmehr um unzählige einzelne Farbteilchen, die mehr oder weniger aneinander haften. Dadurch wirkt der Farbauftrag matt und porös (siehe Abb. 6). Bei mikroskopischer Vergrößerung können orange längliche und blaue kugelige Teilchen voneinander unterschieden werden (siehe Abb. 6).

²⁴ RICHTER et al. 1988, S. 12.



Abbildung 6: Fotocollage aus Aufnahmen des Farbauftrages; Links unten ist die raue Oberflächenwirkung und rechts unten der strukturellen Aufbau des Farbauftrages (Maßstab: 0,25 mm) deutlich erkennbar.

Hinsichtlich der Größenverhältnisse lässt sich festhalten, dass die orangen Teilchen eine Länge im Millimeterbereich haben können. Demgegenüber sind die einzelnen blauen Teilchen, mit den zur Verfügung stehenden Methoden, nicht messbar. Die verschiedenen Teilchenarten differieren auch in ihrer Anordnung: Die orangen Teilchen liegen einzeln vor während die blauen Teilchen Agglomerate bilden (siehe Abb. 7). In der Regel haften die blauen Agglomerate an den einzelnen orangen Teilchen. Außerdem liegen die blauen zumeist auf den orangen Teilchen auf (siehe Abb. 7).

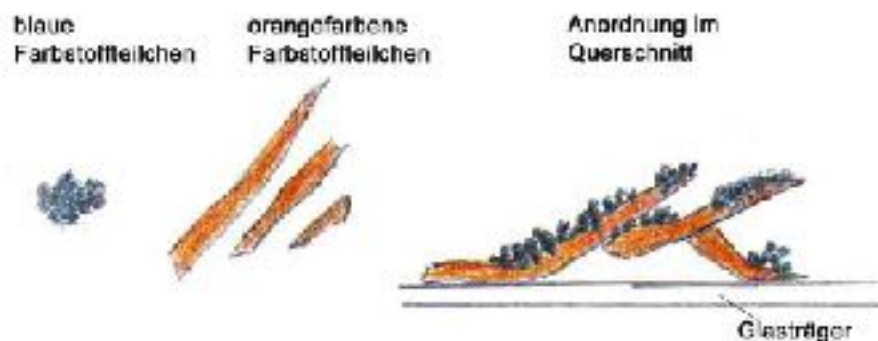


Abbildung 7: Skizze mit der schematischen Darstellung der verschiedenen Farbstoffteilchen und deren Anordnung auf dem Glasträger.

Verhältnismäßig sind wesentlich mehr blaue als orange Teilchen vorhanden. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass die einzelnen Teilchen umso größer sind, je dicker der Farbauftrag ist. Das bedeutet, dass beispielsweise an den sehr fein gezeichneten Linien sehr kleine Farbstoffteilchen vorliegen. Im Gegenteil dazu sind die Farbstoffteilchen in dicker aufgetragenen Farbflächen größer. Verdeutlicht werden die Größenunterschiede durch den Vergleich von Abb. 8 und 9, die im gleichen Maßstab angefertigt wurden.

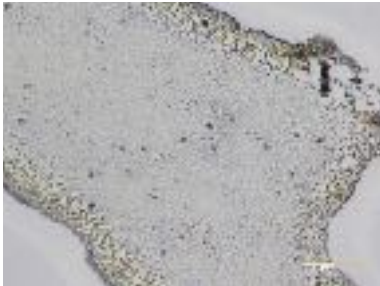


Abbildung 8: Detailaufnahme der fein gezeichneten Kreis- und Spirallinien (Maßstab: 0,25 mm).

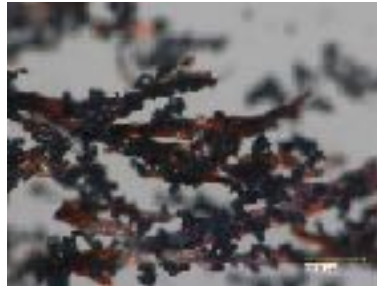


Abbildung 9: Detailaufnahme der dick aufgetragenen Flecken (Maßstab: 0,25 mm).

Um das Material zu identifizieren, wurde herabgefallenes originales Farbmateriale entnommen und untersucht.²⁵ Der erste Schritt war, ein einfacher Löslichkeitstest mit Wasser. Dabei stellte sich heraus, dass ein Tropfen Wasser auf einigen Partikeln des originalen Probenmaterials ausreicht, um die spontane Lösung desselben herbeizuführen (siehe Abb. 10). Deutlich wird außerdem dass die orangefarbenen Farbstoffteilchen in Lösung gelb erscheinen. Dieser Test beweist, dass es sich bei dem originalen Farbmateriale um die Ausmischung von mindestens zwei Farbstoffen handeln muss.²⁶

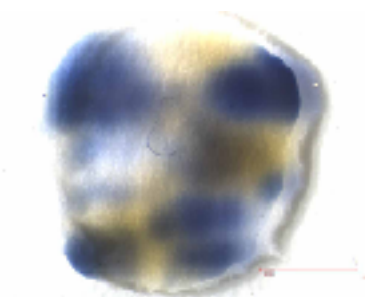


Abbildung 10: Mikroskopaufnahme des Ergebnisses des Löslichkeitstest mit Wasser (dest.); Das gelöste blaue sowie gelbe Farbmateriale ist eindeutig erkennbar (Maßstab: 2mm).

²⁵ Die herabgefallenen Farbstoffteilchen sind nicht rekonstruierbar und können daher als Probenmateriale verwendet werden.

²⁶ Würde es sich um Pigmente handeln, wären diese bei der Berührung mit Wasser nicht spontan in Lösung gegangen.

Mit Hilfe der Dünnschichtchromatografie (DC)²⁷ konnten die beiden Farbstoffe eindeutig voneinander getrennt werden (siehe Abb. 11).²⁸ Der leichte gelbliche Schleier der im Trennzwischenraum zu erkennen ist, könnte verschiedene bedeuten: Zum einen, ist die Anwesenheit eines weiteren gelben Farbstoffes oder eines geringen Bindemittelanteils denkbar. Zum anderen, könnte es sich um Laufspuren handeln, die aus einem nicht unvollständigen Trennvorgang resultieren.²⁹ Neben dem Originalmaterial (siehe Abb. 12, Nr. 1) wurden vier Vergleichsmaterialien chromatografiert (siehe Abb.12). Bei diesen handelt es sich um zwei schwarze Schreibtinten (Nr. 2: Brilliant - Schwarz TP/6, Pelikan, Nr. 3: schwarz 1, Faber - Castell, hochfeine Tinte), eine schwarze Wasserfarbe (Nr. 4: flüssige Wasserfarbe, schwarz, Royal Talens) und eine schwarze Tusche (Nr. 5: Indian Ink, chinesische Tusche, schwarz, Talens,). An dem Chromatogramm lässt sich ablesen, dass die beiden schwarzen Schreibtinten (siehe Abb. 12, Nr. 2-3) hinsichtlich der blauen und gelben Farbstoffe Ähnlichkeiten mit dem Originalmaterial (siehe Abb. 12, Nr. 1) aufweisen. Allerdings unterscheidet sich das Löslichkeitsverhalten in dem verwendeten Fließmittel, weswegen eine andere Farbformation entsteht. Die schwarze Wasserfarbe (siehe Abb. 12, Nr. 4) hingegen beinhaltet nicht eindeutig trennbare orangefarbene und blaue Farbstoffe. Mithilfe der verwendeten Fließmittel lässt sich kein Chromatogramm mit der schwarzen Tusche (siehe Abb. 12, Nr. 5) herstellen, womit ein Vergleich mit dem Originalmaterial nicht möglich ist.³⁰

²⁷ Die Dünnschichtchromatografie ist eine physikalisch- chemische Trennmethode bei der zu trennende Substanzen in einem Fließmittel als flüssige Phase durch unterschiedliche Wandergeschwindigkeiten auf einer festen Oberfläche, einer stationären Phase, getrennt werden können. Vgl. SCHRAMM, HERING 1995, S. 218.

²⁸ Ein Versuchsprotokoll der Dünnschichtchromatografie befindet sich in Anhang 10.5.2.

²⁹ Frdl. mündliche Mitteilung, Sandra Uckermann, chemisch technische Assistentin, Fachhochschule Köln, Köln (24.04.2013).

³⁰ Auch mit den Fließmitteln Wasser (dest.), Methanol, Aceton, Chloroform, Ethanol mit 3 Tropfen Schwefelsäure 18 mol/l (96%) und Ethanol : Methanol (1:1) ließ sich das Material nicht auftrennen.



Abbildung 11: Aufnahme eines DC-Chromatogrammes mit Originalmaterial; Die deutlichste Trennung der blauen und gelben Farbstoffe konnte mit Ethanol als Fließmittel erreicht werden.

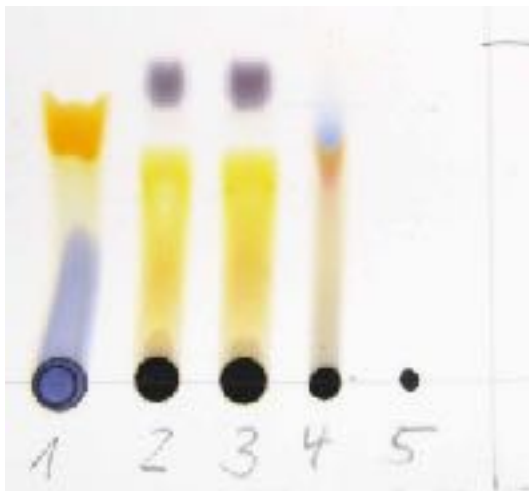


Abbildung 12: Aufnahme eines DC-Chromatogrammes mit allen Testsubstanzen und Ethanol als Fließmittel; Die Farbformationen der Vergleichssubstanzen (Nr. 2-5) zeigen keine Übereinstimmung mit der des Originalmaterials (Nr. 1).

Des Weiteren wurde originales Probenmaterial im Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer (FTIR)³¹ untersucht.³² Das Analysespektrum weist lediglich auf braune Farbe hin und kommt im Abgleich mit der Datenbank einem nicht permanenten schwarzen Filzstift am nächsten. Ein Bindemittel konnte mit der FTIR-Analyse nicht ermittelt werden.

Die Ergebnisse der beschriebenen Untersuchungen sprechen für die Verwendung einer Tinte als Farbstoffmaterial. Erste Hinweise dafür gibt die

³¹ Mit der FTIR-Spektroskopie lassen sich qualitativ chemische Verbindungen bestimmen. Bei dem Verfahren werden die Bindungen der funktionellen Gruppen der anwesenden stofflichen Verbindungen durch bestimmte Energiewellen der infraroten Strahlung (800 – 50000 nm) in Schwingung versetzt. Die eingebrachte Strahlung wird von den Verbindungen unterschiedlich absorbiert, wodurch für jede Verbindung ein charakteristisches Absorptionsspektrum, bzw. FTIR-Spektrum, erstellen werden kann. MATTEINI, MOLES 1995, S. 146 f.

³² Die Analysespektren des FTIR befinden sich in Anhang 10.5.1.

Verwendung von Farbstoffen. Literatur und entsprechende ISO-Norm weisen darauf hin, dass Schreibtinten üblicherweise mehrere Farbstoffe enthalten.³³ Eine Zeichentusche hingegen würde ausschließlich Rußschwarz als farbgebendes Mittel beinhalten.³⁴ Durch den Vergleich der Chromatogramme sind weitere Indizien für die Verwendung einer Tinte gegeben, da die Mischung von gelben und blauen Farbstoffen bei schwarzen Tinten (z.B. der Firmen Pelikan und Faber-Castell) üblich zu sein scheint (siehe Abb.12). Die Firma Hoechst³⁵ beispielsweise gibt an, dass sich bei schwarzen Schreibtinten die Mischung von gut wasserlöslichen Farbstoffen besser eignet, als die Verwendung von reinen schwarzen Farbstoffen.³⁶ Die Richtrezepturen des Farbstoffherstellers beinhalten dementsprechend gelbe, rote und blaue oder blaue und orangefarbene Farbstoffe, wobei durch geringfügige Modifikationen der Rezeptkomposition verschiedene Schwarzsattierungen einzustellen sind.³⁷ Üblicherweise werden zur Einstellung der Viskosität, Oberflächenspannung und Benetzung ca. 5% Fließ- und Netzmittel und zusätzlich Konservierungsmittel zugegeben.³⁸ Bei dem Fließ- und Netzmittel kann es sich beispielsweise um Glykol, aber auch um bindemittelhaltige Lösungen, die z.B. Gummiarabikum enthält, handeln.³⁹ Durch die Einbeziehung der Richtrezepturen der Firma Hoechst wird deutlich, dass bei Schreibtinten unter Umständen auf Bindemittel verzichtet wird. Infolgedessen ist das FTIR-Spektrum, welches kein Bindemittel anzeigt, nachvollziehbar. Letzteres

³³ FUCHS 2010, S. 27. Nach ISO 9957 – 2 ist Zeichentinte eine wässrige Zeichenflüssigkeit. Farbgebende Mittel sind ein oder mehrere Farbstoffe, Dispersionsfarbstoffe oder feinste organische Pigmente usw.

³⁴ FUCHS 2010, S. 27. Zeichentusche enthält nach ISO 9957 – 1 lediglich Rußschwarz als farbgebendes Medium.

³⁵ Heute Industriepark Höchst; Farbstoff-, Arzneimittel- Kunststoffhersteller.

³⁶ HOECHST 1993, S. 14.

³⁷ HOECHST 1993, S. 14.
Richtrezepturen für schwarze Schreibtinten als Beispiel:
1. 0,6 % Duasyn-Säuregelb XX
3,4 % Duasyn-Säureponceau 4RC
2,6 % Duasyn-Säureblau AE 02
oder
2. 2,5 % Duasyn-Tintenblau R
1, 2 % Duasyn-Säureorange GG
0, 1 % Aquamollin BC Plv.

³⁸ HOECHST 1993, S. 13.

³⁹ HOECHST 1993, S. 14.

kann allerdings auch auf Abbaureaktionen des Bindemittels zurückzuführen sein. Abschließend ist festzuhalten, dass Schreibtinten ihrem Verwendungszweck, also der Applikation auf saugenden Papierunterlagen, angepasst sein dürften und daher Bindemittel nicht zwangsläufig erforderlich sind. Auf Grund der formulierten Schlussfolgerungen, wird im fortlaufenden Text der Begriff Tinte für das originale Farbmateriale verwendet.

Objektbeschriftung

Die Spruchsegmente (siehe Abb. 13, Nr. I-II) sowie Signatur und Datierung (siehe Abb. 13, Nr. III) scheinen mit demselben Schreibutensil geschrieben worden zu sein. In mikroskopischer Vergrößerung zeigt sich ein feiner transparenter bräunlicher Farbfilm. An den Rändern der einzelnen Linien haben sich hofartige Materialansammlungen gebildet



Abbildung 13: Fotocollage aus Aufnahmen des Objektkastens und der Beschriftung auf den Scheiben; Dargestellt werden eine Partie der innen liegenden Objektbeschriftung (Nr. I und II) und der Datierung / Signatur (Nr. III) sowie deren Position im Objektkasten.

Für die Beschriftung des Objektes wurde augenscheinlich ein wasserfester Faserschreiber verwendet.⁴⁰ Dafür spricht die scheinbar gute Adhäsion auf dem Glasträger. Dies weist auf die Verwendung von filmbildenden Bindemitteln hin. Permanente Faserschreibertinten werden mit natürlichen oder synthetischen

⁴⁰ Faserschreiber können wässrige Tinten und lösemittelbasierte Tinten enthalten. Bei wasserfesten Faserschreibern sogenannten „permanent Makern“ sind lösemittelbasierte Tinten gebräuchlich. DEMUTH 1994, S. 20.

Harzen versetzt, damit sie auf nicht saugenden Substraten, wie z.B. Glas, angewendet werden können.⁴¹

Pendel

Bei dem symmetrisch geformten hölzernen Pendelkörper handelt es sich um einen Wurfkreisel. Umlaufend sind in die glatt geschliffen Oberfläche 15 linienförmigen Rillen eingearbeitet (siehe Abb. 14). Auf dem Holzkörper steht in schwarzen Buchstaben: „[...] OCCHI ESTA [...]“ (siehe Abb. 14). An der Unterseite ragt ein kleiner Metallstab aus dem Pendelkörper (siehe Abb. 14). Der Pendelkörper hängt an einer Kordel aus Naturfasermaterial. Die Kordel ist relativ locker aus zwei groben Faserbündeln gedreht und ist oben und unten um das Pendel herumgeschlungen und zusätzlich mit jeweils einem Nagel fixiert (siehe Abb. 14). Der untere Teil des Holzkörpers und der Kordel (ca. 2 cm von unten) sind mit schwarzer Farbe bedeckt (siehe Abb. 14). Das obere Ende der Kordel ist um eine Holzleiste geknotet (siehe Abb. 15), in welche eine 1,8 cm breite Aussparung eingearbeitet wurde. Die Holzleiste ist mit schwarzer Farbe bestrichen und klebte rückwärtig betrachtet oben links an der Glasscheibe. An der Unterseite der Leiste befinden sich großzügig applizierte Klebereste (siehe Abb. 15).



Abbildung 14:
Detailaufnahme des
Pendelkörpers (bzw.
Wurfkreisels).



Abbildung 15: Fotocollage aus Aufnahmen der
Aufsicht (oben) und der Unteransicht (unten) der
Befestigungsleiste des Pendels.

⁴¹ DEMUTH 1994, S. 23.

3.1.2. Entstehungsprozess

Die gläserne Kastenkonstruktion mit der Metallrahmung ist vermutlich gewerblich vorgefertigt. Für diese Vermutung spricht, dass Rebecca Horn immer wieder Glaskästen dieser Art verwendete, deren Formate und Größen sich gleichen.⁴²

Das Pendel diente als Malutensil bei der Gestaltung der inneren Schauseite. Es ist davon auszugehen, dass die feinen Linien mit dem Metallstift gezeichnet wurden, der sich am unteren Teil des Pendelkörpers befindet. Die Tintenreste am unteren Teil des Pendelkörpers und der Kordel dürften durch das Eintauchen in das Malmaterial entstanden sein. Der Holzkörper bzw. der Wurfkreisel wurde vermutlich gewerblich an einer Drehbank hergestellt, wofür auch die akkurat umlaufenden linienförmigen Rillen sprechen. Die simple Befestigung der Kordel an dem an dem Holzkörper dürfte eine händische Konstruktion sein.

Während der Bemalung lag der Glaskasten auf der Schauseite. Der Deckel wurde vermutlich erst nach der Bemalung und Beschriftung eingehängt. Hinsichtlich des Ablaufes der Bemalung kann folgende Hypothese aufgestellt werden: Die Tinte wurde in Lachen aufgegossen und das Pendel bzw. der Metallstift kreisend durch die noch flüssige Tinte gezogen. Somit entstanden die Kreis- und Spirallinien, indem die Tinte von dem Metallstift des Pendels aus den Lachen gezogen wurde. Da die Tinte keine Laufspuren gebildet hat, kann davon ausgegangen werden, dass das Objekt bis zum Abschluss des Trocknungsprozesses der Tinte gelegen hat.

Der nächste Arbeitsschritt war vermutlich die Objektbeschriftungen, also die Spruchsegmente sowie Datierung und Signatur. Der Deckel dürfte zu diesem Zeitpunkt noch nicht eingehängt gewesen sein. Ansonsten wäre die Beschriftung der Deckel- sowie der Kasteninnenseiten sehr umständlich gewesen.

Im nächsten Arbeitsschritt könnte das Pendel an die schwarz bestrichene Holzleiste geknotet und diese Holzleiste wiederum an die Glasscheibe geklebt worden sein.

Schließlich wurde der Deckel eingehängt und mit Schrauben verschlossen.

3.2. Erhaltungszustand

Das Kunstwerk ist aus zwei Gründen nicht mehr präsentationsfähig: Zum einen ist der Farbauftrag extrem instabil, sodass das Objekt nicht aufgestellt werden

⁴² Beispielsweise wurden bei der Rauminstallation der bereits erwähnte Ausstellung von 1981 La Ferdinanda: Sonate für eine Medici-Villa 20 Glaskästen mit dem gleichen Format gezeigt. HORN 1981, k.A.

kann, da es ansonsten zu erheblichem Substanzverlust kommen würde. Zum anderen ist das Schwerkraftpendel herabgefallen, so dass in der Ausstellungssituation ein wichtiges Element des Objektes fehlen würde. Die Verschmutzung der Glasscheiben beeinträchtigt zusätzlich das visuelle Erscheinungsbild. Des Weiteren ist es zu optischen Veränderungen des Farbauftrages und der Objektbeschriftung gekommen.

Verschmutzung der Glasscheiben

Alle Glasscheiben sind sowohl innen als auch außen verschmutzt. Durch die Verschmutzung wirken die Scheiben milchig (siehe Abb. 16). An den Außenseiten der Scheiben hat sich ein Schmutzfilm gebildet der teilweise fest anhaftet. Es lassen sich Wischspuren, Fliegenexkremete und Fingerabdrücke erkennen (siehe Abb. 16). Die Innenseiten der Scheiben sind in ähnlichem Zustand, allerdings ist der Verschmutzungsgrad durch lose aufliegenden Schmutz wesentlich höher. Dies dürfte daran liegen, dass die Außenseiten in der Vergangenheit regelmäßig gereinigt wurden.



Abbildung 16: Seitenansicht (links) des Objektkastens im Durchlicht; Die Verschmutzung der Scheiben ist aus dieser Perspektive deutlich zu erkennen; Links im Bild (obere Scheibe) zeichnet sich die Fügefläche des Pendels auf dem Glas ab.



An der oberen Scheibe befinden sich Klebstoffreste und vereinzelt schwarze Farbreste. Es handelt sich dabei um die Fügestelle an der die Holzleiste klebte (siehe Abb. 17).

Abbildung 17: Detailaufnahme der Fügefläche des Pendels mit alten Klebstoff- und Farbresten an der oberen Scheibe (innen).

Mechanische Schäden am Metallrahmen

Die lackierte Metallrahmung weist diverse kleine mechanische Schäden auf. Darunter fallen einzelne Bereiche mit Bereibungen und Abriebstellen (siehe Abb. 18, Nr. I und III). Des Weiteren können einige kleinere Abplatzungen des Lackes verzeichnet werden. (siehe Abb. 18, Nr. II). Hier hat sich an einzelnen metallstichtigen Stellen Rost gebildet (siehe Abb. 18, Nr. IV.). An allen vier Ecken der Unterseite befindet sich starker Abrieb bis zur Metallstichtigkeit (siehe Abb. 19).

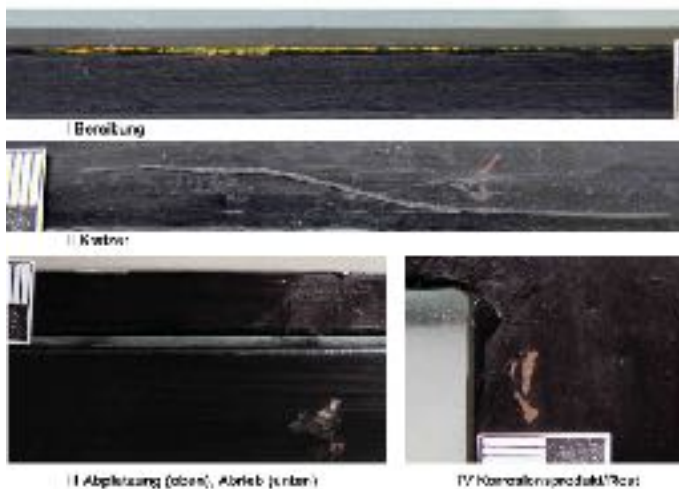


Abbildung 18: Fotocollage aus Detailaufnahmen des Metallrahmens; Exemplarisch sind Beispiele für die mechanische Beschädigung an der schwarzen Metallrahmenfassung zu sehen.



Abbildung 19: Detailaufnahme der linken vorderen Ecke an der Standfläche; Erkennbar ist der Abrieb bis auf den Metallträger.

Als Ursachen für die benannten Schäden kommen prinzipiell mechanische Einflüsse durch Umlagerung, Transport, Reinigung etc. in Frage. Die metallstichtigen Bereiche an der Unterseite resultieren vermutlich aus der Nutzung als Standfläche derselben. Bei den Rostspuren handelt es sich um Korrosionsprodukte, welche durch Umgebungseinflüsse wie Feuchtigkeit und Luftsauerstoff auf das freiliegende Eisen entstehen.

Haftungsverlust des Farbauftrages

Die Farbstoffteilchen liegen einzeln und in großen Teilen schwach gebunden vor. Bei mikroskopischer Vergrößerung ist gut zu erkennen, wie spröde und spannungsreich das Farbmateriale ist; die einzelnen Teilchen bzw. Agglomerate stehen mehr oder weniger senkrecht hoch. Außerdem geraten die Farbstoffteilchen bei der kleinsten mechanischen Beanspruchung in Bewegung.⁴³ Stellenweise ist es bereits zum Verlust von Farbmateriale gekommen.⁴⁴ Dies ist eindeutig an der Ablagerung von Farbmateriale an den Scheiben und in den Ecken des Glaskastens zu erkennen (siehe Abb. 20).



Abbildung 20: Detailaufnahme der Innenseite (unten) des Objektkastens; An der Glasscheibe und in den Ecken befinden sich unzählige Partikel des heruntergefallenen Originalmaterials.

Die einzelnen herabgefallenen Farbstoffteilchen sind zu klein, um die entstandenen Fehlstellen im Detail zu lokalisieren. Jedoch können durch den Vergleich verschiedener Farbflächen unten links vier Flecken mit erheblichem Verlust der originalen Substanz ausgemacht werden (siehe Abb. 21, Nr. II). Je dicker die Farbschicht aufgetragen wurde, desto ausgeprägter ist das beschriebene Schadensbild. Dies betrifft vor allem einige größere Farbflächen und die Randbereiche. (siehe Abb. 21, Nr. I und IV). An den sehr dünn gezeichneten Kreis- und Spirallinien sowie den teilweise dünn ausgegossene Flecken hat sich das Material bisher nicht vom Glasträger gelöst.

⁴³ Vgl. Kapitel 3.1.1.

⁴⁴ Eine Kartierung zum Erhaltungszustand des Farbauftrages befindet sich in Anhang 10.3. In dieser ist verzeichnet welche Bereiche des Farbauftrages bereits Substanz verloren haben und welche Bereiche des Farbauftrages akut instabil sind.

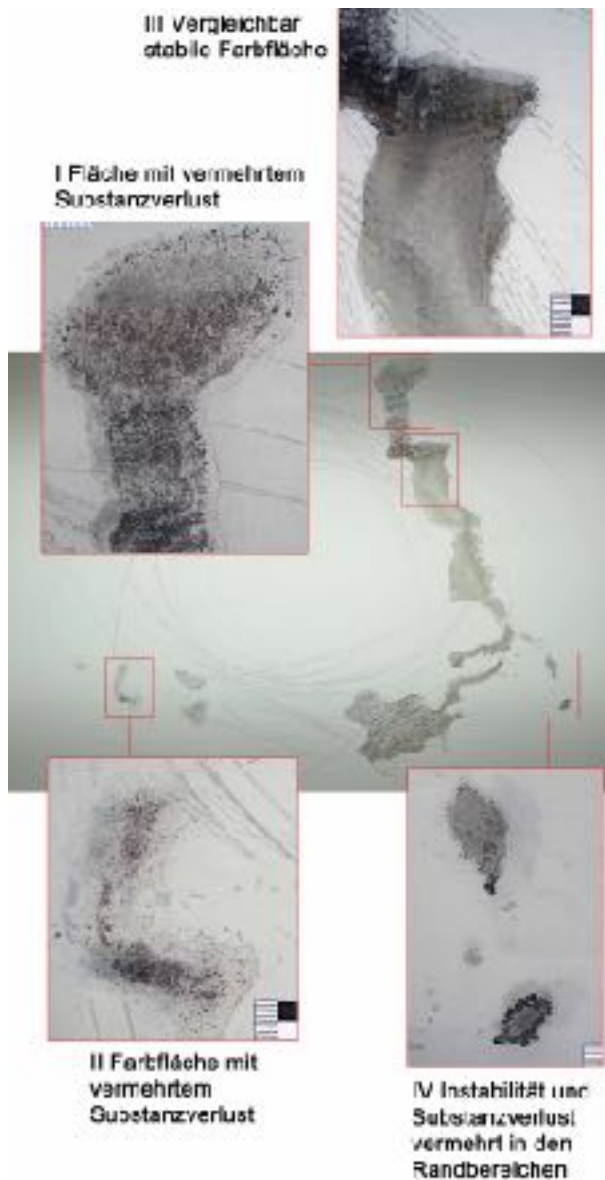


Abbildung 21: Fotocollage aus Aufnahmen des Farbauftrages; Erkennbar sind Detailaufnahmen der verschiedenen Stadien des Erhaltungszustand sowie deren Lokalisierung am Objekt.

Die Ursache für das Schadensbild sind der Kohäsionsverlust innerhalb der Farbschicht bzw. zwischen den einzelnen Farbstoffteilchen und der zusätzliche Adhäsionsverlust zwischen Farbauftrag und Glas. Generell kommen für den Erhaltungszustand des Farbauftrages folgende Ursachen infrage:

1. maltechnische Ursachen: Problematisch ist die Verwendung von Tinte als Malmaterial auf Glas, weil diese nur sehr wenig oder gar kein Bindemittel enthält.⁴⁵ Aufgrund des Mangels an Bindemittel können kaum ausreichende adhäsive Kräfte zwischen Farbauftrag und Glasträger hergestellt werden. Nach dem Auftrocknen der Tinte, verbleiben fast

⁴⁵ Vgl. Kapitel 3.1.1.

ausschließlich Farbstoffe auf dem Glasträger. Zusätze wie Fließ- und Netzmittel oder Konservierungsmittel werden Tinte nur geringfügig zugegeben, so dass diese die adhäsiven Mechanismen auf dem Glas nicht unterstützen können.

2. klimatische Ursachen: Besonders empfindlich ist die Tinte gegenüber Schwankungen der relativen Luftfeuchte. Ein Vorversuch ergab, dass das originale Material bei einer Temperatur von 22 °C und einer relativen Luftfeuchte von 75,9 % in Lösung geht.⁴⁶ Die vorherige Quellung der Farbstoffe ist demnach schon bei geringeren Werten der relativen Luftfeuchte zu erwarten. Durch den Einfluss erhöhter relativer Luftfeuchte ist neben den Quell- und Lösevorgängen auch das Ablösen des Farbmaterials vom Glasträger die Folge. Den gleichen Effekt würde Kondenswasser auf den Scheiben auslösen. Ein weiterer einflussreicher Faktor ist die Schwankung der Umgebungstemperatur, z. B. durch Sonneneinstrahlung. Da Farbschicht und Glasträger bei der Erwärmung unterschiedlich reagieren, können Spannungen entstehen, die schließlich zur Abhebung der Farbstoffteilchen führen.

Optische Veränderung des Farbauftrages

Da keine entstehungszeitlichen Abbildungen existieren, kann nur gemutmaßt werden, dass sich der Farbauftrag optisch verändert hat. Dies bezieht sich auf das raue, poröse Erscheinungsbild, welches aus dem Kohäsionsverlust der Farbstoffteilchen untereinander resultiert. Es ist anzunehmen, dass die Fläche ursprünglich aus einem geschlossenen Farbfilm bestanden hat. Augenscheinlich hat sich eine Farbveränderung in Form von bräunlich erscheinenden Flecken ergeben (siehe Abb. 22). Dies ist auf die kreisförmige Ansammlung der orangen Farbstoffteilchen zurückzuführen.

⁴⁶ Vgl. Kapitel 5.3.2.

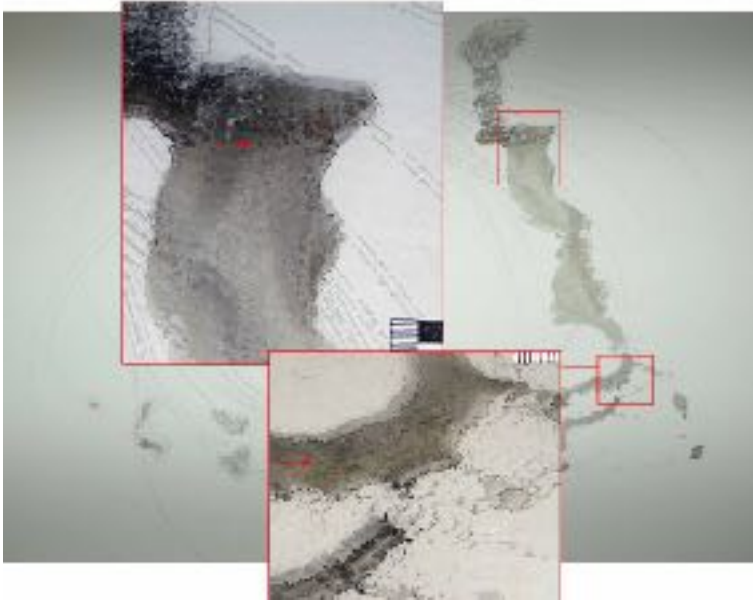


Abbildung 22: Fotocollage aus Aufnahmen des Farbauftrages; Die Pfeile weisen auf die optischen Veränderungen bzw. die Bereiche mit den bräunlichen Flecken hin.

Optische Veränderung der Objektbeschriftung

Die Ursache kann an dieser Stelle nicht ermittelt werden. Der Vergleich mit *Objekt zu „La Ferdinanda“* aus der Sammlung Peter Raue in Berlin verdeutlicht allerdings, dass hier ähnliche Prozesse stattgefunden haben müssen: Die bräunlichen Bereiche haben sich an diesem Objekt ebenfalls gebildet. Infolge dieser Beobachtung ist für die optische Veränderung eine Ursache zu vermuten, die mit dem verwendeten Malmaterial zusammenhängt. Prinzipiell kommen für das Ausbleichen und/oder Farbveränderungen bei Farbstoffen photochemische Vorgänge wie z.B. photolytische Prozesse und/oder Oxidationsreaktionen unter Einfluss von UV-Strahlung und sichtbarem Licht infrage.

Die Beschriftung ist an einigen Stellen kaum noch zu lesen, was dafür spricht das diese stark ausgebleicht ist (siehe Abb. 23 und 24). Ähnlich wie beim Farbauftrag dürfte dieses Erscheinungsbild die Konsequenz aus photochemischen Prozessen sein.



Abbildung 23: Detailaufnahme eines gut lesbaren Bereiches der Objektbeschriftung.



Abbildung 24: Detailaufnahme eines ausgeblichenen Bereiches der Objektbeschriftung.

Herabgefallenes Pendel

Das Pendel ist herabgefallen, weil sich die Verklebung zwischen Holzleiste und Glas gelöst hat. Die Ursache hierfür ist der Verlust der Adhäsionskräfte zwischen dem Klebstoff der benannten Verklebung und dem Glasträger. Durch Einlagerung von Feuchtigkeit zwischen dem Glas und dem Klebstoff oder unterschiedliche Spannungsverteilung durch Temperaturschwankungen könnte das Lösen der Verklebung begünstigt worden sein. Zusätzlich wurde die Fügestelle durch das Gewicht des Schwerkraftpendels belastet.

4. Strategische Überlegungen zu Erhaltung und Präsentation

Der Erhalt und die Rückgewinnung der Präsentationsfähigkeit gelten als übergeordnete Ziele bezüglich der Bearbeitung des Objektes. Hinsichtlich einer strukturierten Vorgehensweise wird das *decision-making model* als Orientierung angewendet. Das *decision-making model* wurde 1999 im Rahmen des Symposiums *Modern art: Who cares?* präsentiert.⁴⁷

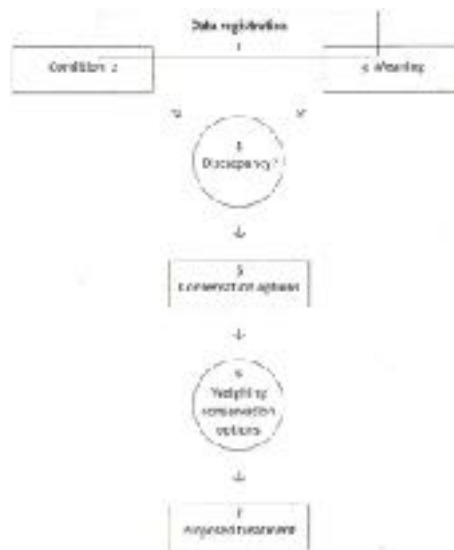


Abbildung 25: decision-making model. © 1999 Foundation for Conservation Modern Art Amsterdam, Netherlands.

Mit Hilfe dieses Modells kann der Entscheidungsprozess bezüglich der konservatorischen, restauratorischen Bearbeitung unter Berücksichtigung diverser, relevanter Aspekte systematisch durchgeführt werden. Dieser Entscheidungsprozess findet auf Basis der Zusammenstellung aller objektrelevanten Daten, unter Berücksichtigung der Künstlerintention bzw. des künstlerischen Kontextes und der Untersuchung des aktuellen Erhaltungszustandes statt. Entsprechend des Strukturgerüsts des *decision-making models* (siehe Abb. 25) werden mögliche Diskrepanzen zwischen dem aktuellen Erhaltungszustand des Kunstwerkes und der Intention der Künstlerin untersucht und in Bezug zur Konservierungsproblematik gesetzt.

⁴⁷ HUMMELEN, SILLÉ 1999, S. 164 ff.

4.1. Problemstellung

Das Kunstwerk von Rebecca Horn ist durch den Verlust von Farbmateriale und durch das herabgefallene Schwerkraftpendel bereits geschädigt. Die Verschmutzung der Scheiben beeinträchtigt das ästhetische Gesamtbild. Zudem schreitet der Substanzverlust des originalen Farbmateriale weiter voran. Auch die kontinuierliche Farbveränderung und weitere Verblässung des Farbauftrages und der Objektbeschriftung durch den Einfluss von UV-Strahlung sind zu erwarten. Zukünftig bedeutet das die Veränderung des Objektes durch den Wandel und den Zerfall bestimmter Objektelemente. Damit drohen die Beeinträchtigung und/oder gar der Verlust des ästhetischen Charakters, der Authentizität, der Funktionalität und schließlich der Historizität durch das Fehlen charakteristischer Merkmale und originaler Substanz. Die Diskrepanz zwischen dem aktuellen Erhaltungszustand und der Künstlerintention ist primär durch den Verlust der Präsentationsfähigkeit gegeben.

4.2. Optionen und Grenzen der Restaurierung

Die Durchführung von erhaltenden Maßnahmen ist definitiv notwendig, um die fortschreitende Degradation zu verhindern bzw. die zuvor beschriebene Diskrepanz zwischen aktuellem Erhaltungszustand und der Künstlerintention aufzuheben. Die entscheidende Frage ist, welche Art Eingriff unter restaurierungsethischen Gesichtspunkten angebracht ist, respektive wie dieser definiert werden soll.

Konservierung oder Restaurierung?

Um diesen Aspekt restaurierungsethisch zu beleuchten, werden die Richtlinien verschiedener Verbände hinzugezogen: Dabei werden auf internationaler Ebene der *International Council of Museum* (ICOM) und die *European Confederation of Conservator-Restorers` Organisation* (ECCO) und auf nationaler Ebene der *Verband der Restauratoren* (VDR) berücksichtigt. In diesen Richtlinien wird dem Restaurator die Verantwortung gegenüber dem Kunstwerk, welches das materielle Zeugnis des kulturellen Erbes darstellt, zugesprochen. Der Restaurator ist dafür zuständig Inhalt und Material eines Kunstwerkes zu bewahren. Maßnahmen am Objekt werden wie folgt definiert und damit differenziert⁴⁸:

⁴⁸ Zusammengetragen aus: ICOM <www.icom.museum> (29.05.2013), s.v. Berufsrichtlinien. ECCO <www.encore-eu.org> (29.05.2013), s.v. Berufsrichtlinien. VDR <www.restauratoren.de> (29.05.2013), s.v. Berufsrichtlinien.

1. Präventive Konservierung: Es werden indirekte Maßnahmen ergriffen. Ziel ist es, den Verfall aufzuhalten, weitere Schäden zu verhindern und optimale Bedingungen für den Erhalt schaffen.
2. Praktische Konservierung: Es werden direkte Maßnahmen ergriffen. Ziel ist es, den Verfall aufzuhalten.
3. Restaurierung: Es werden direkte Maßnahmen ergriffen. Ziel ist es, die Lesbarkeit des geschädigten Kunstwerkes zu verbessern.

Unter Berücksichtigung dieser Definitionen wird im Zusammenhang mit der Konzeptentwicklung für das Kunstobjekt von Rebecca Horn der Begriff Restaurierung verwendet. Begründet wird die Begriffswahl dadurch, dass die jeweiligen Eingriffsmöglichkeiten als Stufensystem von der passivsten (Präventive Konservierung) bis zur aktivsten (Restaurierung) Stufe verstanden werden. Je aktiver der Eingriff ist, desto mehr beinhaltet er die darunter liegenden Stufen. Auf das Objekt bezogen, ist durch die Remontage des Pendels, ein direkter Eingriff, im Sinne einer Restaurierung, zur besseren Lesbarkeit notwendig. Auch die Ausstellungsfähigkeit, kann nur durch den direkten Eingriff, die Konsolidierung des Farbauftrages, wieder erlangt werden. Gleichzeitig beinhaltet beispielsweise die Konsolidierung auch die praktische Konservierung mit dem Ziel, den weiteren Verfall aufzuhalten. Um den Farbauftrag und die Objektbeschriftung vor weiteren Veränderungen zu schützen, sind hingegen präventive Maßnahmen zu ergreifen.

Kontoverse: Künstler, Eigentümer, Restaurator

Ein weiterer Aspekt der die Überlegungen hinsichtlich der Bearbeitung beeinflusst, ist das Anliegen der Künstlerin ihr Werk selbst zu restaurieren.⁴⁹ Leider fand weder eine Begutachtung des Objektes, noch ein Austausch zu einem Restaurierungskonzept der Künstlerin statt. Letzteres bedeutet, dass sowohl eine minimal-invasive Maßnahme, als auch eine maximal-invasive Maßnahme, z.B. die Neugestaltung der Darstellung, in Betracht gezogen werden müssen. Diese Situation wird unter Einbeziehung der Rechtslage in

⁴⁹ Frdl. Schriftliche Mitteilung, Karin Weyrich, Assistentin von Rebecca Horn, 29.03.2012.

Deutschland⁵⁰ beleuchtet, welche sich aus einem komplexen Zusammenspiel verschiedener Normen ergibt. Kunstwerke gelten vor dem Gesetz sowohl als Geistigesgut persönlicher Schöpfung als auch als Sachgegenstand. Aus diesem Grund greifen auch verschiedene Gesetze: Zum einen das Immaterialgüterrecht, welches vornehmlich im Urheberrechtsgesetz (UrhG)⁵¹ oder ggf. in anderen gewerbliche Schutzrechten⁵² verankert ist. Zum anderen greift das Sachenrecht, welches im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB)⁵³ festgeschrieben ist. Beide Rechte schützen auf unterschiedlichen Ebenen: Während das Immaterialgüterrecht die persönlichen und verwertungsrechtlichen Interessen schützt,⁵⁴ regelt das Sachenrecht die körperliche Integrität, den Zugang und die Benutzung.⁵⁵

Aus dieser Situation lassen sich vier Kernfragen ableiten:

1. Ist die Künstlerin berechtigt zu verlangen, die Restaurierung selbst durchzuführen, obwohl das Werk mit dem Ankauf in den Besitz des Eigentümers übergegangen ist?

Rebecca Horn ist die Urheberin⁵⁶ des zu bearbeitenden Kunstwerkes und verwaltet ab dem Zeitpunkt der Erstellung des Werkes die Rechte über Nutzung,

⁵⁰ Im Jahr 1886 wurden bei der Berner Übereinkunft erstmals Verwertungsrechte europäischer Künstler in einem Gesetzestext festgehalten. Dies bildet die Grundlage für die Gesetzestexte bezüglich des Rechtes eines Künstlers an seinem Objekt in den europäischen Nationen. BEUNEN 1999, S. 223.

⁵¹ Das UrhG umfasst das Urheberpersönlichkeitsrecht, das Verwertungsrecht, das Nutzungsrecht und andere verwandte Schutzrechte. Ausfertigungsdatum des UrhG ist der 9. September 1965. Letzte Änderungen wurden am 14. Dezember 2012 durchgeführt. UrhG <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (18.04.2013).

⁵² SCHACK 2004, S. 67, Z.B. Wettbewerbsrecht, Markenrecht, strafrechtliche Bestimmungen, Denkmalschutz.

⁵³ Das BGB umfasst die zentralen Regelungen des deutschen Privatrechtes. Ausfertigungsdatum des BGB ist der 18. August 1896. Letzte Änderungen wurden am 16. April 2013 durchgeführt. BGB <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (28.04.2013).

⁵⁴ SCHACK 2004, S. 67.

⁵⁵ SCHACK 2004, S. 67.

⁵⁶ Die Urheberschaft erlischt erst 70 Jahre nach dem Tod des Künstlers, vgl. § 64 UrhG 2012, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (18.04.2013). Da das Urheberrecht vererblich ist, werden die Absichten des Künstlers in gleicher Weise durch die Rechtsnachfolge vertreten, vgl. § 28 (1) und (2) UrhG 2012, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (18.04.2013).

Verwertung, Vervielfältigung, Lizenzierung etc.⁵⁷ Wird das Kunstobjekt, wie in diesem Fall, veräußert, hat die Urheberin nur einen sehr eingeschränkten Rechtsanspruch. Beispielsweise kann die Urheberin vom rechtmäßigen Eigentümer des Kunstwerkes den Zugang verlangen, falls die „Bearbeitung des Werkes erforderlich ist“⁵⁸ Den Rechtsanspruch eine nachträgliche Bearbeitung vorzunehmen, hat die Künstlerin allerdings nicht.⁵⁹

2. Welche Rechte hat der Eigentümer in dieser Situation?

Der Eigentümer eines Kunstwerkes, in diesem Fall die Sparkasse Essen, kann nach § 903 BGB nach Belieben mit Diesem verfahren.⁶⁰ Ihm fallen sämtliche Nutzungsrechte und auch das Ausstellungsrecht zu. Damit hätte er grundsätzlich das Recht sein Kunstwerk sowohl verfallen, als auch restaurieren zu lassen.⁶¹ Die Entscheidung der Zugänglichkeit des Kunstobjektes liegt beim Eigentümer.⁶² Das bedeutet, dass der Eigentümer gegenüber der Urheberin nicht verpflichtet ist den Zugang zu seinem Kunstwerk zu erlauben.⁶³

3. Welche Rolle spielt an dieser Stelle der Restaurator?

Eine Restaurierung geschieht im Auftrag des Eigentümers. Der Restaurator führt die Arbeit nach seinen ethischen Grundsätzen durch. Bei der Restaurierung kommt es zu einem körperlichen Eingriff, wobei der geistige Gehalt des Kunstwerkes unberührt bleibt.⁶⁴

⁵⁷ BROZIO 2007, S. 425.

⁵⁸ § 25 (1) UrhG 2012, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (18.04.2013).

⁵⁹ SCHACK 2004, S. 191.

⁶⁰ § 903 BGB 2013, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (28.04.2013), SCHACK 2004, S. 68.

⁶¹ SCHACK 2004, S. 190.

⁶² § 903 BGB 2013, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (28.04.2013), SCHACK 2004, S. 71.

⁶³ § 25 (2) UrhG 2012, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (18.04.2013), SCHACK 2004, S. 72.

⁶⁴ BROZIO 2007, S. 425.

4. Welche Konsequenzen könnte die fachmännische Restaurierung ohne die Einbeziehung der Künstlerin haben?

Die Restaurierung könnte gemäß § 23 UrhG einer Umgestaltung entsprechen, die nicht mehr der Künstlerintention entspricht. Diese Verletzung des Urheberpersönlichkeitsrechtes setzt laut SCHACK drei Umstände voraus:

1. Das Werk wurde beeinträchtigt, z.B. durch den Substanzeingriff entsteht.⁶⁵
2. Das Interesse des Urhebers ist gefährdet. Dies geht meist mit der geistig-ästhetischen Beeinträchtigung des Gesamteindrucks einher.⁶⁶
3. Die Interessenabwägung hinsichtlich der Nutzungsrechte des Eigentümers.⁶⁷

Sobald ein „umgestaltetes“ Kunstwerk in der Öffentlichkeit präsentiert werden soll, hat die Künstlerin als Urheberin die Möglichkeit ihr Objekt gemäß § 42 UrhG⁶⁸ zurückzurufen. Auch das Verbot der Namensnennung gemäß § 13 (2) UrhG oder auch die Lossagung gemäß des allgemeinen Persönlichkeitsrechtes der Nichturheberschaft (Rn 245) wären denkbar⁶⁹. Diesen Möglichkeiten der Urheberin geht die objektiv überprüfte Verletzung des Urheberpersönlichkeitsrechtes voraus.⁷⁰ Solange der Eigentümer ein beeinträchtigtes Kunstwerk nicht der Öffentlichkeit⁷¹ präsentiert, hat die Urheberin keinen Rechtsanspruch.⁷²

Restauratorische Maßnahmen müssen aus Sicht der Autorin fachmännisch durchgeführt werden. Die Grenzen, aber auch die Vorgaben des Eingriffes sind durch restaurierungsethische Grundsätze klar gesteckt, so dass eine Verletzung des Urheberpersönlichkeitsrechtes ausgeschlossen werden kann. Durch die Kontaktaufnahme hatte die Künstlerin die Möglichkeit ihre Ansprüche zu formulieren, so dass diese bei der Restaurierung hätten berücksichtigt werden können.

⁶⁵ SCHACK 2004, S. 102f.

⁶⁶ SCHACK 2004, S. 103.

⁶⁷ SCHACK 2004, S. 104.

⁶⁸ § 42 (1) UrhG 2012, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (18.04.2013).

⁶⁹ SCHACK 2004, S. 190.

⁷⁰ BROZIO 2007, S. 424. SCHACK 2004, S. 103.

⁷¹ Ein Werk ist veröffentlicht, wenn der Zugang einer „Mehrzahl von Mitgliedern der Öffentlichkeit möglich ist. § 2 (1) UrhG 2012, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (18.04.2013).

⁷² SCHACK 2004, S. 190.

4.3. Zielsetzung der Restaurierung

Das zu entwickelnde Maßnahmenkonzept soll den aktuellen Erhaltungszustand des Objektes sichern und den fortschreitenden Substanzverlust verhindern. Ferner ist das Ziel die Ausstellungsfähigkeit wieder zu erlangen. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Konsolidierung des Farbauftrages, dessen extreme Fragilität maßgeblich zum Verlust der Ausstellungsfähigkeit führte. Für den ästhetischen Gesamteindruck ist die Reinigung der Glasscheibe zu überdenken. Eine Remontage des Schwerkraftpendels soll die Lesbarkeit und Funktionalität des Objektes unterstützen, indem ein wichtiges Element des Objektes wieder hinzugefügt wird. Durch die Auseinandersetzung mit dem zukünftig richtigen Umgang, kann der Erhalt gewährleistet und die fortschreitende Veränderung aufgehalten oder zumindest abgeschätzt werden. Letztlich betrifft die formulierte Zielsetzung den Erhalt der wichtigen charakteristischen Merkmale des Objektes und damit die Authentizität.

5. Anforderungsprofil und Materialauswahl für die Konsolidierung

Für die zu entwickelnde Maßnahme wird der Begriff Konsolidierung verwendet. Mit dieser Bezeichnung sind die strukturelle Festigung innerhalb des Farbauftrages (Kohäsion) sowie die Fixierung dessen auf dem Glasträger (Adhäsion) gemeint. In diesem Kapitel werden die Objektkomponenten charakterisiert, welche die Konsolidierung im Wesentlichen beeinflussen. Des Weiteren soll die experimentelle Überprüfung wichtiger Parameter dazu verhelfen die entscheidenden Anforderungen zu formulieren. Daraus wiederum lassen sich Auswahlkriterien und schließlich eine Vorauswahl für geeignete Materialien und Methoden für die durchzuführende Konsolidierung ableiten.

5.1. Glas als Trägermaterial

Bei dem Trägermaterial handelt es sich um handelsübliches Flachglas. Die spezielle Herausforderung bezüglich der Konsolidierungsmaßnahme ergibt sich insbesondere durch die optischen Eigenschaften und die Glasoberfläche als Haftgrundlage.

5.1.1. Optische Eigenschaften

Durch die Transparenz und Farblosigkeit des Glasträgers sowie die Applikation im direkten Sichtfeld des Betrachters bleibt das Konsolidierungsmittel sichtbar. Damit sich das Konsolidierungsmittel dem Glas optisch anpasst, sollte es hinsichtlich der Transparenz, der Farbigkeit und des Glanzes dem Glas entsprechen. Die Übereinstimmung dieser Eigenschaften zwischen Glas und Klebemittel kann in der Regel mit bloßem Auge beurteilt werden. Zusätzlich kann der Brechungsindex ($BI = n$) der verwendeten Medien als Orientierung genutzt werden. Der BI zeigt an wie stark ein Lichtstrahl gebrochen wird bzw. sich verändert, wenn er auf die Grenzfläche eines Stoffes trifft. Jeder Stoff besitzt aufgrund seiner Zusammensetzung einen individuellen BI. Das gläserne Trägermaterial und das Klebemittel in der Konsolidierungslösung müssen einen möglichst ähnlichen BI haben, damit das applizierte Material „unsichtbar“ bleibt. Ein BI von $n = 1,5$ kann als Mittelwert für gebräuchliche Flachgläser verwendet werden. Die optischen Eigenschaften des Klebemittels für die Konsolidierungslösung sollten auch im Zuge der Alterung beständig sein, um sich später nicht störend auf dem Glas abzuzeichnen. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Gilbungstendenzen des Klebemittels zu berücksichtigen.

5.1.2. Haftungsproblematik

Glas hat eine glatte, geschlossene Oberfläche. Die Schwierigkeit besteht darin, eine stabile Verbindung zwischen der Glasfläche und einem Klebemittel zu

erreichen, weil diese Verbindung lediglich durch Adsorptionskräfte hergestellt werden kann. Um die Haftungsproblematik theoretisch zu beschreiben, werden nachfolgend die wichtigsten physikalischen Abläufe erörtert, die zu berücksichtigen sind.

Exkurs: Adhäsion

Der Begriff Adhäsion bezeichnet die Haftung zwischen zwei Stoffen, z.B. Flüssigkeit und Feststoff, durch molekulare Wechselwirkungen. Diese Wechselwirkungen entstehen an den Phasengrenzen, der zu verklebenden Stoffe. Folgend beschriebene Theorien adhäsiver Abläufe können sowohl allein, als auch nebeneinander vorkommen. Grundsätzlich lassen sich die mechanische und die spezifische Adhäsion unterscheiden. Bei der **mechanischen Adhäsion** greifen die Stoffe im Sinne eines „Druckknopfeffektes“ ineinander, indem beispielsweise ein Klebstoff in die Poren eines Feststoffes eindringt.⁷³ Die mechanische Anhaftung an eine glatte, geschlossene Oberfläche wie Glas ist kaum möglich und wird an dieser Stelle nicht weiter erläutert. Bei der **spezifischen Adhäsion** wird die chemische von der physikalischen Adhäsion unterschieden. Die **chemische Adhäsion** oder auch Hauptvalenzbindungskräfte (Primärkräfte) entstehen durch chemische Reaktionen bzw. Primärbindungen, wobei diese durch Ionenbindungen oder Atombindungen ausgebildet werden.⁷⁴ Da die meisten adhäsiven Kräfte, bei einer Konsolidierung (Verklebung) auf physikalischen Wechselwirkungen beruhen⁷⁵ und konservatorisch der Anspruch an eine reversible Maßnahme besteht, werden die chemischen Vorgänge hier nicht weiter berücksichtigt. Die **physikalische Adhäsion** wird auch zwischenmolekulare Wechselwirkung oder Nebervalenzbindungskräfte (Sekundärbindung) genannt. Die zwischenmolekularen Prozesse, die zur Ausbildung adhäsiver Kräfte führen, sind sehr komplex, so dass deren genauen Vorgänge bis heute nicht vollständig geklärt wurden.⁷⁶ In Abhängigkeit der molekularen Voraussetzung der an einer Verklebung beteiligten Stoffe wirken unterschiedlich starke Bindungskräfte. Somit ist es wichtig, die molekularen Voraussetzungen für die Entstehung dieser Wechselwirkungen zu kennen.

⁷³ GLEICH 2004, S. 12.

⁷⁴ GLEICH 2004, S. 8.

⁷⁵ ERBIL 2006, S. 18.

⁷⁶ GLEICH 2004, S. 22. NEWAY ET AL. 1992, S. 15.

Gemessen werden, können diese Bindungskräfte mit der Einheit kJ/mol⁷⁷, wobei die Bindungsstärke bei den Nebervalenzbindungen verallgemeinert bei < 50 kJ/mol liegt.⁷⁸ Im Vergleich dazu liegt die Bindungsstärke bei einer Hauptvalenzbindung (chemische Adhäsion) bei 60-1050 kJ/mol.⁷⁹ Je nachdem, welche der benannten Verbindungskraft sich ausbildet, ist auch eine unterschiedlich starke Adhäsion zu erwarten. In Tabelle 2 wird der Zusammenhang zwischen dem Molekülaufbau der Verbindungspartner und den daraus resultierenden Wechselwirkungen und Bindungsenergien dargestellt.

Tabelle 2: Molekulare Voraussetzung, Wechselwirkungsarten und Stärke der verschiedenen Bindungsenergien, Nach: ROTH 2008, S. 8.

| Molekülaufbau der Haftungspartner | Wechselwirkungsart | Beschreibung | Bindungsenergie kJ/mol |
|---|--|--|------------------------|
| Polarer Anteil bei beiden Haftungspartnern | Lewis-Säure-Base Wechselwirkungen; Wasserstoffbrückenbindungen | Ein Verbindungspartner gibt Elektronen ab, der andere Verbindungspartner nimmt Elektronen auf. ERBIL 2006, S. 52-54. | < 50 |
| | Dipol-Dipol-Wechselwirkungen Keesom-Energie | Zwischen Verbindungspartnern mit Dipolen (elektrostatisch). ERBIL 2006, S. 31, 32. | < 20 |
| Disperser Anteil bei beiden Haftungspartnern | Dispersionswechselwirkungen London-Energie | Zwischen Verbindungspartnern mit polarisierbaren Molekülen. ERBIL 2006, S. 40-43. | 0,1 - 40 |
| Bei einem Haftungspartner disperser Anteil bei dem anderen polarer Anteil | Induzierte Dipolwechselwirkungen Debye-Energie | Ein Verbindungspartner besitzt Dipole, der andere Verbindungspartner ist polarisierbaren. ERBIL 2006, S. 37, 38. | < 2 |

⁷⁷ Kilojoule pro Mol, Energie pro Stoffmenge.

⁷⁸ HABENICHT 2009, S. 321, 322.

⁷⁹ HABENICHT 2009, S. 321, 322.

Die Werte in Tabelle 2 machen deutlich, dass die stabilste Anbindung zwischen Verbindungspartnern mit polaren molekularen Anteilen bzw. durch die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen entsteht. HABENICHT beschreibt, dass je höher die Polarität der anwesenden Verbindungspartner ist, eine umso stärkere Verbindung zwischen ihnen entsteht.⁸⁰

Als Orientierung hinsichtlich des polaren oder unpolaren/dispersen Charakters eines Stoffes kann die **Oberflächenenergie/Oberflächenspannung** einbezogen werden. Der Begriff „Oberflächenenergie“ bezieht sich auf eine Feststoffoberfläche und der Begriff „Oberflächenspannung“ auf die Oberfläche einer Flüssigkeit. Die Entstehung eines energiereichen Zustandes an einer Stoffoberfläche lässt sich wie folgt erklären: Ein Stoff wird intermolekular zusammengehalten, indem die Moleküle in alle Richtungen hin gleichmäßig durch zwischenmolekulare Kräfte zusammengehalten werden. Im Inneren des Stoffes herrschen somit gleichmäßige kohäsive Bindungskräfte, die mehr oder weniger stark sein können.⁸¹ In den Randbereichen können die verbindenden Kräfte nur ungleichmäßig in alle Richtungen ausgebildet werden.⁸² Dadurch entsteht Energie an den Phasengrenzen, durch die nun Moleküle aus anderen Stoffen bzw. Grenzphasen angezogen bzw. adsorbiert werden und die jeweiligen Wechselwirkungen entstehen können (siehe Abb. 26).⁸³ Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Oberflächenenergien (gemessen in mJ/mol^{-2} ⁸⁴) verschiedener Werkstoffe.

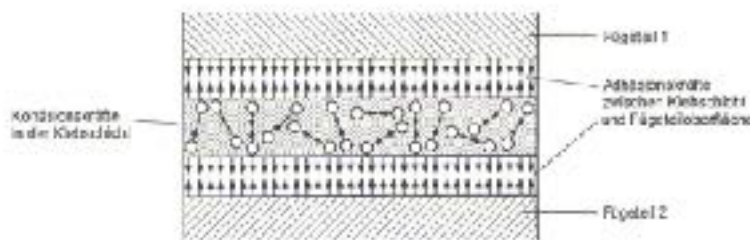


Abbildung 26: Schematische Darstellung der wirkenden Kräfte bei einer Verklebung. Die Grenzschichten sind hier durch die aufeinander gerichteten Pfeile dargestellt. Aus: HABENICHT 2012, S. 60.

⁸⁰ HABENICHT 2009, S. 647.

⁸¹ GLEICH 2004, S. 4.

⁸² GLEICH 2004, S. 4.

⁸³ GLEICH 2004, S. 4.

⁸⁴ Millijoule pro Mol, Energie pro Stoffmenge.

Tabelle 3: Oberflächenenergien ausgewählter Werkstoffe. Nach: HABENICHT 2006, S. 343.

| Werkstoff | Oberflächenenergie σ in mJ/mol^2 |
|-----------------------|--|
| Eisen | 2550 |
| Gläser | 300 – 500 |
| Wasser | 72,8 |
| Polyamid | 49 - 57 |
| Epoxidharz | 47 |
| Polymethylmethacrylat | 33 - 44 |

Benetzung

Die gute Benetzung ist eine Grundvoraussetzung für die stabile Verbindung von Stoffen. Da adhäsive Kräfte erst ab einem bestimmten Abstand zwischen den Phasengrenzen wirken können.⁸⁵ Die Klebmittellösung muss gute Benetzungseigenschaften aufweisen, um den Abstand zwischen dem zu verklebenden Stoff und dem Klebmittel so gering wie möglich zu halten. Die Qualität der Benetzung hängt von der Oberflächenspannung des Klebmittels und der Oberflächenenergie der zu verklebenden Stoffe ab.⁸⁶ Die gute Adhäsion eines Klebmittels an einem festen Stoff kann erreicht werden, wenn die Oberflächenenergie des festen Stoffes höher als die Oberflächenspannung des Klebmittels bzw. der Klebmittellösung ist.⁸⁷ MÖSL beschreibt, dass eine gut benetzende Flüssigkeit eine große Grenzfläche ausbilden muss, also die Flüssigkeit auf der festen Oberfläche spreitet.⁸⁸ Abbildung 27 verdeutlicht, dass die Qualität der Benetzung (Spreitung einer Flüssigkeit) durch die Messung des Randwinkels bestimmt werden kann.

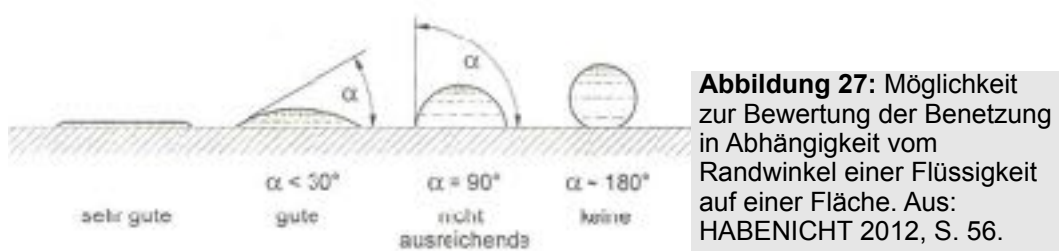


Abbildung 27: Möglichkeit zur Bewertung der Benetzung in Abhängigkeit vom Randwinkel einer Flüssigkeit auf einer Fläche. Aus: HABENICHT 2012, S. 56.

⁸⁵ GLEICH 2004, S. 14; Adhäsive Kräfte können sich bei einer Annäherung um die hunderttausendstel Millimeter ausbilden. HABENICHT 2012, S. 56.

⁸⁶ MAUSHARDT 2004, S. 41.

⁸⁷ MAUSHARDT 2004, S. 42.

⁸⁸ MÖSL 1995, S: 36. Ausbreitung einer Flüssigkeit z.B. auf einem Festkörper.

Um die beschriebenen Vorgänge bei den Adhäsionsprozessen zusammenzufassen und auf eine Maßnahme an dem Objekt von Rebecca Horn zu beziehen, ist folgendes festzuhalten: Für die polaren Verbindungspartner Glas und Farbmaterial wäre ein polares Klebmittel in der Konsolidierungslösung vorteilhaft. Gleichzeitig sollte das Klebmittel, welches später im Materialgefüge verbleibt, eine möglichst hohe Oberflächenenergie besitzen. Für die gute Benetzung des Glasträgers wiederum wäre eine Klebmittellösung mit einer möglichst geringen Oberflächenspannung von Vorteil. Das heißt, je geringer die Oberflächenspannung des Lösemittels in der Konservierungslösung ist, desto besser vermag es eine Oberfläche zu benetzen. Hierfür müssen verschiedene Lösemittel, die für eine Klebmittellösung in Frage kommen, untersucht werden. Ausschlaggebend ist neben der Wahl des richtigen Klebe- und Lösemittelsystems die Anwendungsmethode. Beispielsweise kann durch die Einstellung der Viskosität oder durch Wärmezufuhr die Benetzung des Glasträgers beeinflusst werden.

5.2. Der Farbauftrag

Bei dem Farbmaterial handelt es sich um eine Tinte, die nachweislich aus mindestens zwei Farbstoffen besteht.⁸⁹ Diese Farbstoffausmischung liegt nur schwach gebunden auf dem Glasträger.⁹⁰ Hinsichtlich der Charakterisierung des Materials können explizit zwei Kernpunkte herausgestellt werden: Die Fragilität und das Löslichkeitsverhalten des Farbmaterials.

5.2.1. Fragilität

Die Fragilität resultiert aus der Bindemittelarmut des Farbmaterials. Dadurch wiederum ist es zur mangelnden Verbindung zum Glasuntergrund und innerhalb der Farbschicht gekommen.⁹¹ Die Farbstoffteilchen geraten durch die geringste mechanische Beanspruchung in Bewegung. Infolgedessen würde das unkontrollierte Applizieren von Flüssigkeiten das Wegfließen sowie punktueller mechanischer Druck das Auseinanderspringen der Farbstoffteilchen verursachen. Aufgrund der Fragilität des originalen Farbmaterials muss eine weitgehend berührungsarme Konsolidierungsmethode entwickelt werden.

⁸⁹ Vgl. Kapitel 3.1.

⁹⁰ Vgl. Kapitel 3.2.

⁹¹ Vgl. Kapitel 3.2.

5.2.2. Löslichkeitsverhalten

Bei Vorversuchen zur Identifizierung des Originalmaterials konnte eine extreme Empfindlichkeit der Farbstoffe gegenüber Wasser beobachtet werden. Es zeigte sich, dass mit Wasser eine sehr zügige, vollständige Lösung des originalen Farbmaterials erreicht wird.⁹² Eine größere Bandbreite an Lösemitteln muss getestet werden, um das Farbmaterial hinsichtlich der Löslichkeit zu charakterisieren.

5.3. Löslichkeitstests

Die Löslichkeitstests sollen Aufschluss über Gefährdungspotenzial des originalen Farbmaterials gegenüber verschiedenen Lösemitteln geben. Bei den Tests werden geringe Mengen der Lösemittel, Lösemittelgemische sowie Lösemittel in Form veränderter Aggregatzustände auf originalem Farbmaterial appliziert.

5.3.1. Lösemittel und Lösemittelgemische

Durch die Löslichkeitstests soll erreicht werden, dass hinsichtlich Lösemittelverwendung am Objekt pauschale Aussagen über einflussreiche Faktoren, wie z.B. die Polarität oder die Verdunstung, getroffen werden können.

Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

Einige entnommene Probeteilchen des originalen Farbmaterials werden auf einem gereinigten Objektträger⁹³ platziert und mit einem Tropfen des jeweiligen Lösemittels benetzt. Nach etwa 20 Sekunden Wartezeit wird die Probe mit einer Präparationsnadel auf seine Widerstandsfähigkeit hin abgetastet. Durch leichten Druck mit der Präparationsnadel auf die Probe soll überprüft werden, ob sich die Konsistenz des Materials verändert hat, z.B. ob es flexibler geworden ist. Dadurch kann ermittelt werden, ob der Quellprozess eingesetzt hat. Die Beobachtung dieses Tests erfolgt mit dem Stereomikroskop. Verschiedene in der Restaurierung gängige organische Lösemittel werden der Reihenfolge nach mit absteigender Polarität⁹⁴ getestet (siehe Tab. 4). Die Verdunstungszahl⁹⁵ wird bei

⁹² Vgl. Kapitel 3.1.

⁹³ Handelsüblicher Objektträger (gemäß DIN ISO 8037-1). Reinigungsmedium: Papiertuch (Zewa) mit Ethanol und Aceton.

⁹⁴ Polaritätsfaktor P' nach Snyder. PIETSCH 2002, S. 103, 104.

⁹⁵ Die Verdunstungszahl $VZ_{\text{Ether}} = 1$ beschreibt die Zeit die ein Lösemittel unter bestimmten Bedingungen zum Verdunsten benötigt. Die Zeitangabe bezieht sich auf die Zeit, die ein Diethylether dafür braucht. PIETSCH 2002, S. 26.

den Tests bzw. der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt und darum an dieser Stelle mit aufgeführt (siehe Tab. 4). Die Lösemittel Siedegrenzbenzin 100-140 °C, Xylol und Toluol werden auch im Gemisch mit Isopropanol bzw. Ethanol in variierenden Mischungsverhältnissen getestet.

Table 4: Getestete Lösemittel mit Polaritätsfaktor und Verdunstungszahl. Nach: PIETSCH 2002.⁹⁶

| Lösemittel | Polaritätsfaktor P` nach Snyder | Verdunstungszahl VZ Ether = ¹ |
|-----------------------------|------------------------------------|---|
| Wasser | 10,2 | k.A. |
| Aceton | 5,1 | 2,1 |
| MEK | 4,7 | 6,3 |
| Ethylacetat | 4,4 | 2,8 |
| Ethanol | 4,3 | 8,3 |
| Isopropanol | 3,9 | 11 |
| Xylol | 2,5 | 13,5 |
| Toluol | 2,4 | 6,1 |
| Shellsol A | ≈ 0,1 | ≈ 3 |
| Shellsol D | ≈ 0,1 | k.A. |
| Siedegrenzbenzin 100-140 °C | ≈ 0,1 | k.A. |

⁹⁶ PIETSCH 2002, S. 26, 79, 98, 103f. Shellsol A, Shellsol D und Siedegrenzbenzin 100-140 °C gehören zu den Mineralölfractions-Lösemitteln, die alle einen Polaritätsfaktor nach Snyder (P`) 0,1 besitzen. PEITSCH 2002, S. 79.

Ergebnisse

Tabelle 5: Ergebnisse der Löslichkeitstests mit reinen Lösemitteln.

| Lösemittel | Löslichkeit/ Bewertung | Beschreibung |
|-----------------------------|------------------------------|---|
| Legende: | | |
| - = vollständige Lösung | + - = Quellung, keine Lösung | + = keine Lösung |
| Wasser | - | - spontane Lösung aller Teilchen |
| Aceton | - | - Lösung der orangen Teilchen nach ca. 20 Sek. - teilweise Lösung der blauen Teilchen nach ca. 20 Sek. |
| MEK | + - | - Probenmaterial lässt sich durch mechanische Druck verschmieren, vgl. Ethylacetat |
| Ethylacetat | + - | - Probenmaterial lässt sich durch mechanischen Druck verschmieren, vgl. MEK |
| Ethanol | - | - spontane Lösung der orangen Teilchen - teilweise Lösung der blauen Teilchen nach ca. 20 Sek. |
| Isopropanol | - | - Lösung der orangen Teilchen nach ca. 20 Sek. - teilweise Lösung der blauen Teilchen nach ca. 20 Sek. |
| Xylol | + - | - Probenmaterial lässt sich durch mechanischen Druck verschmieren, vgl. MEK, Ethylacetat |
| Toluol | + | - keine Veränderung durch mechanischen Druck |
| Shallsol A | + | - keine Veränderung durch mechanischen Druck |
| Shellsol D | + | - keine Veränderung durch mechanischen Druck |
| Siedegrenzbenzin 100-140 °C | + | - keine Veränderung durch mechanischen Druck |

In allen getesteten Lösemittelgemischen mit Alkoholen löste sich das originale Farbmateriale. Das Versuchsprotokoll zu den Löslichkeitstests mit Lösemittelgemischen befindet sich in Anhang 10.6.1.

Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse in Tabelle 5 verdeutlichen, dass mit zunehmender Polarität des Lösemittels eine schnellere, vollständigere Lösung des originalen Farbmaterials einsetzt. Daraus folgt: Für die konservatorische Bearbeitung des originalen Materials können reines Wasser und andere stark polare Lösemittel, wie Alkohole, ausgeschlossen werden. Ausnahmen sind z.B. die polaren Lösemittel Ethylacetat (Ester) und MEK (Keton). In Frage kommen zudem noch die aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffe. Die Tests mit alkoholhaltigen Lösemittelgemischen zeigten, dass Alkohole auch im Gemisch mit unpolaren Lösemitteln ungeeignet für die Maßnahme sind, da schnelle Quell- und Löseprozesse am originalen Farbmateriale verursacht werden.

Um die Löslichkeitsproblematik konkreter zu beleuchten, werden nachfolgend die wichtigsten Ergebnisse der Löslichkeitstests kurz erörtert: Die größte Gefährdung für den Farbauftrag geht aufgrund des hohen Polaritätsfaktors (P^*) nach Snyder von $P^* 10,2$ von Wasser aus. Allgemein kann festgehalten werden, dass ab einem Polaritätsfaktor unterhalb von $P^* 2,5$ kaum eine Gefährdung von den Lösemitteln ausgeht (siehe Tab. 4). Bei den Lösemitteln Ethylacetat ($P^* 4,4$) und MEK ($P^* 4,7$), wurde lediglich die Quellung des Probenmaterials beobachtet. Ausschlaggebend für diese Ergebnisse dürfte die hohe Verdunstungsrate der Lösemittel sein. Im Vergleich zu den Alkoholen Ethanol und Isopropanol haben Ethylacetat und MEK eine niedrigere Verdunstungszahl und sind damit, trotz des höheren Polaritätsfaktors, weniger gefährdend für das Originalmaterial (siehe Tab. 4 und 5).⁹⁷ Diesbezüglich gilt, je ähnlicher die Löslichkeitsparameter von Feststoff und Lösemittel sind, umso länger wird das Lösemittel im Feststoff zurückgehalten.⁹⁸ Angenommen der Polarisationsgrad des Farbauftrages liegt in etwa bei dem Wert von Wasser, d.h. $P^* 10,2$, wird eben dieses nach der Diffusion am längsten in den Farbstoffen verbleiben. Infolgedessen bleibt am meisten Zeit Löseprozesse in Gang zu bringen. Durch eine hohe Verdunstungsrate verflüchtigen sich die Lösemittel so schnell aus einem Stoff, dass der Löseprozess nicht in Gang gesetzt bzw. nicht abgeschlossen werden kann.

Abschließend ist festzuhalten, dass das originale Farbmateriale eine hohe Polarität besitzt. Für die Wahl eines Lösemittels für die Konservierungslösung gilt

⁹⁷ Folgt man allerdings verschiedenen anderen Einteilungsprinzipien, wie z.B. den Klassen nach Verdunstungszahlen nach Stoye oder den vier Lösemittelkategorien nach Maschelein-Kleiner, werden beide Lösemittel jeweils mit Alkoholen und Wasser in den selben Spalten aufgeführt. PIETSCH 2002, S. 123.

⁹⁸ PIETSCH 2002, S. 123.

als Richtwert der Polaritätsgrad von $P^* 2,5$ unter Berücksichtigung der Verdunstungseigenschaften. Durch das Mischen von Lösemitteln können die Polarität sowie die Verdunstungseigenschaften eingestellt werden. Auf Wasser und Alkohole sollte dabei allerdings verzichtet werden.

5.3.2. *Lösemitteldämpfe und Aerosole*

In Folge der durchgeführten Tests kann die Anwendung von Lösemitteldämpfen und Aerosolen an dem Objekt ausgeschlossen werden.⁹⁹ Anfänglich bestand die Überlegungen den Aggregatzustand polarer Lösemittel wie Wasser und Alkohole zu modifizieren, um diese, trotz der Gefährdung für den Farbauftrag anwenden zu können. In diesem Zusammenhang sollte außerdem die Möglichkeit einer Vorbehandlung, z.B. einer Vornetze oder einer Flexibilisierung der spröden Farbstoffteilchen überprüft werden. Die Tests und deren Ergebnisse werden folgend kurz erläutert.

Relative Luftfeuchte und Lösemitteldämpfe

Unter einer Glashaube werden einige Partikel des originalen Probenmaterials auf einem Objektträger¹⁰⁰ neben einer Feuchte- bzw. Lösemittelquelle platziert. Der Test mit einer Feuchtequelle bestehend aus destilliertem Wasser ergibt Folgendes: Nach 25 Minuten gehen die ersten Farbstoffteilchen bei einer Temperatur von 22 °C und einer relativer Luftfeuchte von 75,9% in Lösung. Die Feuchtigkeit schlägt sich dabei auf dem Glasträger nieder und kondensiert dort. Infolgedessen lösen sich zunächst die Farbstoffteilchen, die den Glasträger unmittelbar berühren und schließlich schrittweise das gesamte Probenmaterial. Die Erhöhung der relativen Luftfeuchte bzw. der Einfluss von Wasserdampf, stellt demnach ein sehr hohes Risiko für den Farbauftrag dar. Dabei ist der Übergang von der Quellung zur Lösung des originalen Materials unkontrollierbar. Die Lösung der Farbstoffe würde das originale Materialgefüge irreversibel verändern. Bei den alkoholischen Lösemitteln zeigt sich auch nach zwei Stunden keine Veränderung des originalen Probenmaterials. Die Unwirksamkeit der Alkoholdämpfe könnte damit begründet werden, dass das Lösemittel verdunstet bevor es in die Farbstoffe diffundieren kann. Demzufolge treten weder der Quell- noch der Löseprozess ein.

⁹⁹ Alle Versuchsprotokolle zu den Löslichkeitstests mit Lösemitteldämpfen und Aerosolen befinden sich in Anhang 10.6.2.

¹⁰⁰ Handelsübliche Objektträger(gemäß DIN ISO 8037-1). Reinigungsmedium: Papiertuch (Zewa) mit Ethanol und Aceton.

Aerosole¹⁰¹

Eine geringe Menge des Probenmaterials wird mit dem jeweiligen Aerosol benebelt¹⁰² und bei mikroskopischer Vergrößerung beobachtet.¹⁰³ Bei der Verneblung von Wasser trifft das Aerosol auf dem Glaträger auf, kann aber aufgrund der geschlossenen Oberfläche nicht einziehen, sondern kondensiert dort. Die kondensierte Flüssigkeit verursacht die Lösung des originalen Farbmateriale. Bei den Tests mit den Alkoholen Ethanol und Isopropanol verriet der Geruch, dass aus der Düse des Gerätes das Aerosol entwich, aber an der Probe des originalen Materials konnte keine Veränderung beobachtet werden. Fraglich ist, ob die schnelle Verdunstung der reinen Lösemittel überhaupt einen Materialniederschlag auf der Probe zuließ. GRUSDEW et al. vermuten außerdem, dass Lösemittel mit einer relativ geringen Oberflächenspannung, so auch Ethanol, nur erschwert feine Tröpfchen ausbilden können.¹⁰⁴ Aufgrund dessen wurden beide Alkohole im Gemisch mit destilliertem Wasser (1:1) getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass auch Wassergemische in Form von Aerosolen das originale Farbmateriale spontan lösen.

5.4. Überprüfung des Benetzungsvermögens

Wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben ist die Voraussetzung für ein gutes Adhäsionsvermögen zum Glaträger eine gute Benetzung Desselben. In diesem Zusammenhang soll anhand eines „Spreittests“¹⁰⁵ ermittelt werden, welche der Lösemittel Glas am besten benetzen. Dabei wird durch die Messung des Ausbreitungsdurchmessers einer Flüssigkeit die Qualität der Benetzung angezeigt.¹⁰⁶ Gleichzeitig soll der Test dazu dienen den Einfluss der Oberflächenspannung eines Lösemittels auf die Qualität der Benetzung praktisch

¹⁰¹ Ein Aerosol ist ein kolloides System, d.h. ein Gas mit darin fein verteilten festen und flüssigen Teilchen. Die sogenannten Schwebstoffe haben einen Durchmesser von 10^{-7} bis 10^{-5} cm (10^{-4} = $1\mu\text{m}$). DIERKS-STAIKER 1996, S.18.

¹⁰² Verwendet wird der Aerosolgenerator AGS 2000, ZFB Project Management GmbH, Leipzig.

¹⁰³ Die Tests wurden bei einer Raumtemperatur von $18,9^{\circ}\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von 59,8% durchgeführt.

¹⁰⁴ GRUSDEW et al. 2011, S. 43.

¹⁰⁵ Der eigenständig verwendete Begriff „Spreittest“ wird von dem Begriff Spreitung, gleichbedeutend mit der Ausbreitung einer Flüssigkeit, abgeleitet.

¹⁰⁶ Methodik nach MÖSL 1995, S. 65, 75, 129.

zu untersuchen. Möglicherweise kann die Oberflächenspannung als Richtwert für die Wahl eines geeigneten Lösemittels genutzt werden.

Versuchsordnung und Versuchsdurchführung

Eine gereinigte Glasscheibe wird horizontal ausgerichtet¹⁰⁷ und darunter ein Millimeterpapier positioniert. Mit einer Pipette¹⁰⁸ wird jeweils ein Tropfen eines Lösemittels appliziert. Der Ausbreitungsdurchmesser der jeweiligen Flüssigkeit kann nun mit Hilfe des Millimeterpapiers abgelesen werden¹⁰⁹ (siehe Tab. 6).

Ergebnisse

Table 6: Gegenüberstellung der Oberflächenspannung (nach: PIETSCH 2002, S. 109¹¹⁰) und der Ergebnisse des „Spreittests“.

| Lösemittel | Oberflächenspannung mN/m bei 20°C | Ausbreitungsdurchmesser |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Wasser | 72,8 mN | ca. 3 mm |
| Toluol | 29,1 | ca. 4 mm |
| Xylol | 29,0 | ca. 4 mm |
| MEK | 25,2 | ca. 6 mm |
| Ethylacetat | 24,7 | ca. 6 mm |
| Aceton | 24,9 | ca. 6 mm |
| Shellsol T | - | ca. 7 mm |
| Ethanol | 22,9 | ca. 8 mm |
| Isopropanol | 21,7 | ca. 9 mm |
| Shellsol D 70 | - | ca. 9 mm |
| Siedegrenzbenzin 100-140°C | ~17,9 | ca. 15 mm |

Siedegrenzbenzin 100-140 °C hat mit etwa 15 mm den größten Ausbreitungsdurchmesser. Die Ausbreitung des Lösemittels vollzieht sich weiter bis zu seiner vollständigen Verdunstung.

¹⁰⁷ Reinigungsmedium: Papiertuch (Zewa) mit Ethanol und Aceton. Ausgerichtet wird die Scheibe mit Hilfe einer Wasserwaage.

¹⁰⁸ Applikationsmenge: Pasteur Pipette 0,5cm vom unteren Ende mit Markierung, als Richtlinie für die Lösemittelmenge, versehen.

¹⁰⁹ Die Tests wurden bei einer Raumtemperatur von 18,9°C und einer relativen Luftfeuchte von 59,8% durchgeführt.

¹¹⁰ Bei Siedegrenzbenzin 100-140°C wurde hier der Wert 17,9 mN/m bei 20 °C von Testbenzin 40/60 übernommen. PIETSCH 2002, S. 109.

Auswertung der Ergebnisse

In Tabelle 6 ist deutlich abzulesen, dass eine Umkehrung der Verhältnisse stattfindet: Je höher die Oberflächenspannung ist, desto kleiner ist der Ausbreitungsdurchmesser und desto schlechter ist folglich die Benetzung des Glasträgers. Nachvollziehbar ist demnach auch die mit Abstand beste Benetzung von Siedegrenzbenzin 100-140 °C, da dieses Lösemittel eine vergleichsweise geringe Oberflächenspannung von ca. 17,9 mN/m¹¹¹ besitzt. Hinsichtlich der Bearbeitung des Objektes weist dieser Test Tendenzen bezüglich der Benetzung des Glasträgers durch die reinen Lösemittel auf, die sich bei der Verwendung einer Klebemittellösung allerdings noch verändern können.

5.5. Auswahlkriterien

Folgende objektspezifische Auswahlkriterien können anhand der vorher beschriebenen Untersuchungen festgelegt werden:

1. Transparenz, Farblosigkeit und der angepasste Glanzgrad des Klebemittels (ähnlicher BI wie der Glasträger, möglichst lichtstabil)
2. gutes Adhäsionsvermögen zum Glasträger (polares Klebemittel, geringe Oberflächenspannung, gute Benetzung)
3. Lösemittelverwendung unter P` 2,5 (Berücksichtigung der Verdunstungseigenschaften)

Der Vollständigkeit halber werden an dieser Stelle weitere Auswahlkriterien aufgeführt, die bei der Verwendung eines Konservierungsmittels für die Konsolidierung von Farbschichten ausschlaggebend sind:

- Alterungsbeständigkeit (chemische und physikalische Veränderung)
- physikalische Eigenschaften, wie Viskosität, Härte, Elastizität, Glasübergangstemperatur (T_g) etc.
- optische Eigenschaften bzw. Einflüsse, wie Nasseffekt, Farbtonvertiefung etc.
- mögliche Wechselwirkungen mit dem Material
- angemessene Klebkraft bei minimalem Materialeinsatz
- gute Handhabbarkeit
- Reversibilität

¹¹¹ Als Orientierung wurde hier der Wert 17,9 mN/m bei 20°C von Testbenzin 40/60 °C nach PIETSCH übernommen. PIETSCH 2002, S. 109. Testbenzin hat hier die niedrigste Oberflächenspannung von allen aufgeführten Lösemitteln.

5.6. Vorauswahl der Löse- und Klebemittel

Infolge der formulierten Auswahlkriterien kann folgende Vorauswahl getroffen werden:

Lösemittel

Prinzipiell kommen alle Lösemittel mit einem Polaritätsfaktor unter $P^* 2,5$ infrage. Aufgrund der sehr guten Benetzung auf Glas ist **Siedegrenzbenzin 100-140°C** hervorzuheben. Unter Berücksichtigung der Verdunstungseigenschaften sind außerdem die schnellflüchtigen Lösemittel **Ethylacetat** und **MEK** denkbar. Des Weiteren können **Lösemittelgemische** aus den empfohlenen Lösemitteln angewendet werden.

Klebstoffe

Für die Vorauswahl der Klebstoffe werden neben den objektspezifischen Auswahlkriterien, gängige verwendete Materialien für die Malschichtfestigung, insbesondere aus dem Bereich der Hinterglasmalerei und Glasmalerei berücksichtigt. Letztlich können sieben Produkte aus vier verschiedenen Stoffklassen festgelegt werden: Bei dem ersten Produkt handelt es sich um den Celluloseether **Ethylcellulose (EC) N100**. Celluloseether sind Derivate der Cellulose, die durch die eingeschränkte oder vollständige Substitution der Hydroxylgruppen der Cellulose entstehen.¹¹² Bei der Herstellung von Ethylcellulosen wird Ethylchlorid als Substituent verwendet.¹¹³ Der Typus N100 hat den Vorteil auch in unpolaren Lösemitteln löslich zu sein.¹¹⁴ Da das Produkt photochemisch instabil ist, werden Stabilisatoren empfohlen.¹¹⁵ Durch das Zusetzen eines Antioxidants und eines UV-Absorbers soll die thermisch und photochemisch bedingte Degradation gemindert werden.¹¹⁶ Das nächste Klebstoff ist das Acrylharz **Paraloid B72**. Genaugenommen handelt es sich um

¹¹² HORIE 2010, S. 205.

¹¹³ DATENBLATT AQUALON 2002, S. 16. ASHLAND <www.ashland.com> (03.11.2012).

¹¹⁴ NICHOLSON, MERRITT 1985, S. 264.

¹¹⁵ FELLER, WILT stuften EC 1990 in einer Studie zum Alterungsverhalten von Celluloseethern in die schlechteste Stabilitätsklasse C ein. Generell sind Celluloseether anfällig für die Spaltung ihrer Molekülketten und für Oxidationsprozesse. Die optische Veränderung durch photochemisch induzierte Prozesse ist daher anzunehmen. HORIE 2010, S. 210.

¹¹⁶ DATENBLATT AQUALON 2002, S. 13. ASHLAND <www.ashland.com> (03.11.2012).

ein Acrylesterpolymerisat.¹¹⁷ Das Produkt ist transparent und farblos. Außerdem weist es günstige Alterungseigenschaften auf, so dass an Paraloidfilmen kaum chemische, thermische und mechanische Veränderungen beobachtet werden können.¹¹⁸ Für die Malschichtsicherung auf Glas konnte Paraloid B72 mehrfach als geeignetes Medium ermittelt werden.¹¹⁹ Zudem spricht das breite Spektrum der Löslichkeit für seine Anwendung.¹²⁰ Die nächsten beiden Produkte stammen aus der Stoffgruppe der niedermolekularen Kohlenwasserstoffharze. Bei dem einen Material handelt es sich um das Urea-Aldehydharz **Laropal A81**, einem Kondensat der Verbindungen Harnstoff, Formaldehyd und i-Butyraldehyd.¹²¹ Ebenfalls in die Untersuchung einbezogen wird das hydrierte Kohlenwasserstoffharz **Regalrez 1094**. Bei der Herstellung von Regalrez 1094 werden durch die Polymerisation ungesättigter Fraktionen (Styrol und Methylstyrol) Oligomere gewonnen.¹²² Diese werden dann katalytisch hydratisiert und es entstehen gesättigte aliphatische Komponenten.¹²³ Beide Produkte finden Verwendung als Gemäldefirnis. Für diese Produkte sprechen die Transparenz und die Lichtstabilität.¹²⁴ Außerdem ist ein breites Lösemittelspektrum gegeben, welches auch den Bereich der unpolaren Lösemittel abdeckt. Regalrez 1094 wurde zudem schon mehrfach für die Konsolidierung von Malschichten an Hinterglasmalereien verwendet.¹²⁵ Als Stabilisatoren werden für Regalrez 1094

¹¹⁷ KREMER PIGMENTE <www.kremer-pigmente.de> (14.01.2014), s.v. Paraloid B72.

¹¹⁸ Paraloid B72 wird in Fellers beste Stabilitätsklasse A eingeordnet. HORIE 2010, S. 159.

¹¹⁹ MÜLLER et al. 1997. AGNINI 1999. JÄGERS et al. 2000. SEGGERMANN 2000. MAGIN 2001. RENZ 2005.

¹²⁰ Laut dem Hersteller KREMER PIGMENTE ist Paraloid B72 lediglich unlöslich in Butylalkohol und aliphatischen Lösemitteln. KREMER PIGMENTE <www.kremer-pigmente.de> (10.11.2012), s.v. Paraloid B72.

¹²¹ HORIE 2010, S. 186.

¹²² HORIE 2010, S. 187.

¹²³ HORIE 2010, S. 187.

¹²⁴ HORIE 2010, S. 187.

¹²⁵ AGNINI 1999, S. 260. BRETZ et al. 2008, S. 218. Frdl. mündliche Mitteilung, Frau Simone Bretz, Restauratorin für Hinterglasmalerei (16.01.2012). In der Literatur wird teilweise das Vorgängerprodukt Arkon P70/P90 erwähnt.

ein Lichtschutzmittel¹²⁶ und ein Mittel zur Steigerung der Elastizität¹²⁷ empfohlen. Das nächste Produkt ist **Aquazol 500**. Aquazol 500 entsteht durch die Polymerisation zweier Ethyl- und zweier Oxazolin Bausteine, wodurch ein wasserlösliches Poly(2-Ethyl-2-Oxazolin) entsteht.¹²⁸ Das Material ist transparent, farblos und lichtstabil.¹²⁹ Aus der Stoffgruppe der siliciumorganischen Bindemittel wird das sogenannte **ORMOCER-G**¹³⁰ in die Vorauswahl miteinbezogen. ORMOCER wird schrittweise hergestellt: Durch Hydrolyse und Polykondensation entsteht ein anorganisches Siloxannetzwerk (Silikon, Si-O-Si). Schließlich werden durch thermisch- und strahlungsinitiierte Reaktionen Sauerstoffatome (O) mit polymerisierbaren organischen Komponenten substituiert, wodurch ein anorganisch-organisches Copolymer entsteht.¹³¹ Das zu untersuchende ORMOCER-G wird als Lösung in Ethylacetat und 2- Butoxythanol im Verhältnis 2:1 angeboten. Durch die organischen sowie anorganischen Komponenten dürfte das Material eine gute Haftung sowohl zum organischen Farbmaterial als auch zum anorganischen Glasträger ausbilden. Das Material ist transparent und farblos und weist eine gute Alterungsbeständigkeit auf.¹³² Bei der Restaurierung historischer Glasmalereien kam das Material z.B. zur Beschichtung von Glas oder bei der Konsolidierung von Farbschichten zum Einsatz.¹³³ Die letzten beiden Materialien in der Vorauswahl sind die mikrokristallinen Wachse **Tecero-Wachs 30201** und **Tecero-Wachs 30410**. Mikrokristalline Wachse sind Paraffine aus gereinigten und gesättigten

¹²⁶ DE LA RIE et al. 1990, S, 172.

¹²⁷ ZIEGLER 2000, S. 97.

¹²⁸ HORIE 2010, S. 196.

¹²⁹ KREMER PIGMENTE <www.kremer-pigmente.de> (10.11.2012), s.v. Aquazol. Frdl. schriftliche Mitteilung, Birgit Strähle; Semesterarbeit WS 04/05; Das Polymer „Aquazol“ als Bindemittel zur Herstellung einer reversiblen Polymervergoldung.

¹³⁰ Akronym für: organically modified ceramics. Das G steht in diesem Fall für: glass. Marke der Fraunhofer- Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.v. München. Das Produkt wird in einem Lösemittelgemisch aus Ethylacetat und 2-Butoxythanol im Verhältnis 2:1 angeboten. Frdl. schriftliche Mitteilung, Gabriele Ulm, Fraunhofer Institut für Silicatforschung (ISC) (28.11.2012).

¹³¹ FRAUENHOFER-ISC <www.ormocer.de> (03.11.2012), s.v. ORMOCER.

¹³² FRAUENHOFER-ISC <www.ormocer.de>.(03.11.2012).s.v. ORMOCER. TORGE et al. 2003, S. 587.

¹³³ JÄGERS et al. 2000, S.160.

Kohlenwasserstoffen.¹³⁴ Für die Auswahl spricht die mehrfach publizierte Anwendung für die Festigung und Konsolidierung von Malschichten an Hinterglasmalereien.¹³⁵ Alle Klebemittel-Lösemittel-Systeme der Vorauswahl sind in Tabelle 7 aufgelistet.

Vorauswahl der Klebemittel- Lösemittel-Systeme

Tabelle 7: Ausgewählte Klebemittel-Lösemittel-Systeme.

| Nr. | Klebemittel Handelsname | Zusätze | Feststoffgehalt, Lösemittel | Quellenverweis zur Rezeptkonstitution |
|-----|--------------------------------------|--|---|--|
| I | Ethylcellulose N100 | 1% Chimassorb 81 1% Butylhydroxy- toluol (BHT) | 10% in Toluol : Ethanol 4:1 | DATENBLATT AQUALON 2002, S. 16. ASHLAND <www.ashland.com > (03.11.2012). |
| II | Paraloid B72 | | 10% in Ethylacetat | |
| III | Paraloid B72 : Laropal A81 4:1 | | 10% in Ethylacetat | ARSLANOGLU, LEARNER 2001, S. 68. |
| IV | Regalrez 1094 | 5% Kraton G 1650 2% Tinuvin 292 | 20% in Siedegrenzbenzin 100-140°C | Nach: DE LA RIE et al. 1990, S. 172. DE LA RIE et al. verwenden Regalrez 1094 der Fa. Hercules und Tinuvin 292 der Fa. HALS. |
| V | Aquazol 500 | | 10% in MEK : Toluol (2%) | |
| VI | ORMOCER-G : Paraloid B72 4:1 | | 6% in Ethylacetat | Nach: JÄGERS et al. 2000, S. 158. |
| VII | Tecero-Wachs 30201: 30410 1:1 | | 20% in Siedegrenzbenzin 100-140°C | Frdl. mündliche Mitteilung, Dipl.-Rest. Frederike Breder (Museum Folkwang Essen) 20.10.2012. |

¹³⁴ KÜHN 2001, S. 550. Mikrokristalline Wachse besitzen Teilchen in der Größe zwischen 1/1000 nm – 1/200 nm. Normales Paraffin besitzt eine Teilchengröße von etwa 1/10 nm (Vgl. KÜHN 2001, S. 580).

¹³⁵ AGNINI 1999, SEGGEMAN 2000, MAGIN 2001, MAGIN 2002, RENZ 2005.

6. Technische Prüfung der Vorauswahl

Die in Kapitel 5.6 ausgewählten Klebemittel-Lösemittel-Systeme werden mit infrage kommenden Applikationsmethoden getestet. Auf diese Weise wird sowohl die geeignete Applikationsmethode als auch das geeignete Konsolidierungsmittel für die Maßnahme an dem Objekt von Rebecca Horn ermittelt. Außerdem werden die ausgewählten Materialien künstlich gealtert, um die optische Beständigkeit und das Adhäsionsvermögen gegenüber dem Glasträger im Zuge der Alterung zu untersuchen.

6.1. Festlegung der Applikationstechnik

Generell besteht die Möglichkeit eine Konsolidierungslösung flächig oder partiell zu applizieren. Die Applikation der Konsolidierungslösung am Objekt muss aufgrund der extremen Instabilität des Farbauftrages möglichst berührungsarm durchgeführt werden. In Frage kommt für die flächige Applikation der Ultraschallvernebler und für die partielle Applikation das Dosiergerät. Die punktuelle Applikation mit dem Pinsel kann von vornherein ausgeschlossen werden, da die Methode zu unpräzise ist.

6.1.1. Versuche mit dem Ultraschallvernebler

Das Einbringen einer Konsolidierungslösung als Aerosol ist die einzige Möglichkeit eine vollkommen berührungsfreie Applikation zu erreichen. Bei den Versuchen originales Probenmaterial auf einem Glasträger zu konsolidieren wird jedoch deutlich, dass sich technische Grenzen bei der Aerosolbildung ergeben, wodurch die Anwendung des Ultraschallverneblers¹³⁶ ausgeschlossen werden kann. Die ausgewählten Klebemittel-Lösemittel-Systeme sind mit der Applikation mittels Ultraschallvernebler nicht kompatibel oder es lässt sich kein effektives Konsolidierungsergebnis erzielen.¹³⁷ Ähnlich wie bei dem Versuch reine Lösemittel zu vernebeln, dürfte dies zum einen an der zu geringen Oberflächenspannung der organischen Lösemittel in den Konsolidierungslösungen liegen.¹³⁸ Zum anderen besitzen vor allem die synthetischen Harze ein relativ hohes Molekulargewicht und ausgeprägte Kettenlängen, wodurch die

¹³⁶ Modifizierter Engelbrecht Ultraschall-Vernebler, Deffner & Johann GmbH, Röthlein.

¹³⁷ Alle Versuchprotokolle zu den Applikationsversuchen mit dem Ultraschallvernebler befinden sich in Anhang 10.6.3.

¹³⁸ GRUSDEW et al. 2011, S. 43. Vgl. Kapitel 5.3.2.

Bildung von Schwebstoffen erheblich erschwert wird bzw. nicht zu Stande kommt.¹³⁹

6.1.2. Versuche mit dem Dosiergerät

Anhand der Versuche mit dem Dosiergerät soll erprobt werden, ob es für die Konsolidierungsmaßnahme an dem Objekt von Rebecca Horn geeignet ist. Parallel wird dabei überprüft, ob sich die ausgewählten Konsolidierungslösungen (siehe Tab. 7) mit dem Dosiergerät applizieren lassen bzw. welche Lösungen sich am besten eignen.

Versuchsordnung und Versuchsdurchführung

Auf einer gereinigten Glasscheibe¹⁴⁰ werden einige Partikel des originalen Probenmaterials platziert, um dort konsolidiert zu werden. Das BELO Dosiergerät¹⁴¹ wird mit einer VIEWEG Dosiernadel, mit einem Innendurchmesser von 0,15 mm¹⁴², bestückt und entsprechend der Bedienungsanleitung angewendet.



Abbildung 28: Aufnahme des BELO Dosiergerätes (rechts) mit einer VIEWEG Dosiernadel (links).

Die jeweilige Konsolidierungslösung kann durch die Betätigung eines Fußschalters durch die Dosiernadel gedrückt werden. Zusätzlich sind sowohl der Dosierdruck und die Impulsrate einzustellen als auch das Nachtropfen der jeweiligen Konsolidierungslösung durch eine Vakuumrückhaltung zu regeln. Die visuelle Kontrolle erfolgt mikroskopisch. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt.

¹³⁹ GRUSDEW et al. 2011, S. 43.

¹⁴⁰ Reinigungsmedium: Papiertuch (Zewa) mit Ethanol und Aceton.

¹⁴¹ BELO Restaurierungsgeräte GmbH, Wiesenstraße 14.

¹⁴² Dosiernadel Nr. F560016-1/4. Vieweg GmbH. Dosier- und Mischtechnik, Kranzberg.

Ergebnisse

Mit allen getesteten Klebemittellösungen konnte die effektive Konsolidierung des Probenmaterials auf dem Glasträger erreicht werden.

Table 8: Ergebnisse der Konsolidierungsversuche mit dem BELO Dosiergerät.

| Konsolidierungslösung | Beschreibung |
|----------------------------------|---|
| LI (EC N100) | - <u>optisch sehr gut</u> : wenig Glanz, kaum Randbildung - <u>gute Benetzung</u> : kaum Lufteinschlüsse an den Farbstoffteilchen |
| LII (Paraloid B72) | - <u>optisch schlecht</u> : sehr glänzend, „Glanzrandbildung“ - <u>mittelmäßige Benetzung</u> : vereinzelt Lufteinschlüsse an den Farbstoffteilchen |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | - <u>optisch schlecht</u> : sehr glänzend, „Glanzrandbildung“ - <u>mittelmäßige Benetzung</u> : vereinzelt Lufteinschlüsse an den Farbstoffteilchen |
| LIV (Regalrez 1094) | - <u>optisch schlecht</u> : sehr glänzend, „Glanzrandbildung“ - <u>gute Benetzung</u> : kaum Lufteinschlüsse an den Farbstoffteilchen |
| LV (Aquazol 500) | - <u>optisch schlecht</u> : sehr glänzend, „Glanzrandbildung“ - <u>gute Benetzung</u> : kaum Lufteinschlüsse an den Farbstoffteilchen - <u>ausgeprägte Bläschenbildung</u> : an der Oberfläche der Klebemittelschicht |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | <u>optisch mittelmäßig</u> : leicht glänzend, leichte „Glanzrandbildung“ - <u>gute Benetzung</u> : kaum Lufteinschlüsse an den Farbstoffteilchen |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | - <u>optisch schlecht</u> : weißlicher Schleier, matt, kein Glanz <u>gute Benetzung</u> : kaum Lufteinschlüsse an den Farbstoffteilchen |

beste Ergebnisse: LI (EC N100)

LVI (ORMOCER-G/Paraloid B72)

Auswertung der Ergebnisse

Anhand der Tests zeigt sich, dass die Applikation der ausgewählten Konsolidierungslösungen mit dem Dosiergerätes praktikabel ist. Der Vorteil dieser Technik liegt in der Präzision, mit der die Konsolidierungslösung appliziert werden kann. Bei mikroskopischer Vergrößerung ist es möglich, die Dosiernadel so zwischen oder neben die fragilen Farbstoffteilchen zu setzen, dass eine Berührung mit diesen weitgehend vermieden werden kann. Durch die Möglichkeit minimale Mengen zu applizieren, wird der originale Farbauftrag weder beschädigt, noch schwimmen einzelne Farbstoffteilchen mit der Lösung weg.

Nachteil ist, dass die Geräteparameter immer wieder nachjustiert werden müssen, da die Einstellungen teilweise unbeständig sind.

Hinsichtlich der Effektivität der Konsolidierung lässt sich festhalten, dass mit allen getesteten Konsolidierungsmitteln gute Ergebnisse erzielt werden konnte. Die besten Ergebnisse erreichten LI (EC N100) und LVI (ORMOCER-G/Paraloid B72), wobei verschiedene Bewertungskriterien berücksichtigt wurden, welche folgend erläutert werden. Die Qualität der **Benetzung** beeinflusst die Einbettung des Probenmaterials entscheidend. Bei einigen schlecht benetzenden Konsolidierungslösungen entstehen Lufteinschlüsse unmittelbar um die Farbstoffteilchen herum (siehe Abb. 29).



Abbildung 29:
Mikroskopaufnahme des Konsolidierungsergebnisses mit LII (Paraloid B72); Die Pfeile zeigen auf Lufteinschlüsse, welche sich um die Farbstoffteilchen herum gebildet haben (Maßstab: 2 mm).

Andrerseits kann durch ein gut benetzendes Konsolidierungsmittels bei sorgfältig nebeneinander platzierter Applikation eine gleichmäßig verteilte Materialmenge auf den zu fixierenden Flächen aufgebracht werden. Ein gutes Benetzungsvermögen gewährleistet, dass die Konsolidierungslösung nach der Applikation auseinanderspreitet und durch Kapillarkräfte von den Farbstoffteilchen aufgesogen wird bzw. in diese diffundiert. Hinsichtlich der guten Benetzung schneiden LIV (Regalrez 1094) und LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) am besten ab. Diese Ergebnisse resultieren aus den guten Benetzungseigenschaften bzw. der geringen Oberflächenspannung von Siedegrenzbenzin 100-140 °C. Auch Lösung VI (ORMOCER-G/Paraloid B72) weist eine vergleichsweise gute Benetzung auf (siehe Abb.30).



Abbildung 30:
Mikroskopaufnahme des Konsolidierungsergebnisses mit LIV (ORMOCERE-G/Paraloid B72). Das Benetzungsvermögen ist adäquat und es haben sich kaum Lufteinschlüsse gebildet (Maßstab: 2mm).

Hier ist zu vermuten, dass das siliciumorganische ORMOCER-G als Rezeptkomponente die Benetzung positiv beeinflusst. Die applizierten Konsolidierungslösungen trocknen häufig unter **Glanzbildung** bzw. „Glanzrandbildung“ auf. Dies betrifft insbesondere auf die Konsolidierungs-lösungen mit synthetischen Harzen. Die geringste Glanzbildung weisen LI (EC N100) und LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) auf. Durch das Herabsetzen der Feststoffkonzentration kann die Glanzbildung bei den synthetischen Harzen minimiert werden. Bei LV (Aquazol 500) entsteht eine ausgeprägte **Bläschenbildung** an der Oberfläche des Klebemittelfilms (siehe Abb. 31).



Abbildung 31: Mikroskopaufnahme des Konsolidierungsergebnisses mit LV (Aquazol 500); Es haben sich deutlich sichtbare Luftbläschen an der Filmoberfläche gebildet (Maßstab: 2 mm).

Diese entstehen, da die geschlossene Glasträgeroberfläche das Entweichen des Lösemittels nur nach oben hin ermöglicht. Die **optische Anpassung** ist lediglich bei LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) ungenügend. Nach der Verdunstung des Lösemittels bleibt ein weißlicher Schleier in den konsolidierten Bereichen zurück (Abb. 32).



Abbildung 32: Mikroskopaufnahme des Konsolidierungsergebnisses mit LVII (Tecero-Wachs 30201/30410); Die Pfeile weisen auf den weißlichen Schleier hin (Maßstab: 2 mm).

Dies resultiert aus der mangelnden Löslichkeit der mikrokristallinen Wachse in Siedegrenzbenzin 100–140 °C. Einen allgemeinen Überblick über die bewerteten Kriterien liefert Tabelle 9.

Table 9: Zusammenfassende Bewertung der Applikationstests mit dem Dosiergerät.

| Konsolidierungs- lösung | Benetzung | Glanzbildung | Luftbläschen | Farbliche Anpassung |
|---|-----------|--------------|--------------|------------------------|
| Legende: + = gutes, effektives Ergebnis +- = akzeptables Ergebnis mit Optimierungsbedarf x = inakzeptables Ergebnis; Material kann ausgeschlossen werden | | | | |
| LI (EC N100) | +- | + | + | + |
| LII (Paraloid B72) | +- | +- | + | + |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A 81) | +- | +- | + | + |
| LIV (Regalrez 1094) | + | +- | + | + |
| LV (Aquazol 500) | +- | +- | x | + |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | + | + | + | + |
| LVII (Tecero- Wachs 30201/30410) | + | + | + | x |

Anhand der zusammenfassenden Auswertung lässt sich LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B 71) mit einem positiven Ergebnis bezüglich aller bewerteten Kriterien als beste Konsolidierungslösung deklarieren. LI (EC N100) und LIV (Regalrez 1094) zeigen mit einer positiven Bewertung bei drei von vier Kriterien ebenfalls ein gutes Gesamtergebnis. Nach diesem Bewertungssystem können LV (Aquazol 500) und LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) ausgeschlossen werden.

6.2. Untersuchungen künstlich gealterter Klebemittelfilme

Primär sollen anhand der Untersuchung der künstlich gealterten Klebemittelfilme zwei Fragestellungen beantwortet werden: Zum einen ist zu klären, ob die ausgewählten Konservierungsmittel optische Veränderungen durchlaufen. Zum anderen wird das Adhäsionsvermögen der gealterten Klebemittel zum Glasträger überprüft. Die Proben werden in einem Klimaschrank¹⁴³ künstlich gealtert. Neben der Alterung unter Einfluss von UV-Strahlung, wird auch eine dynamische Klimaalterung mit wechselnder relativer Luftfeuchte durchgeführt.

¹⁴³ Fa. Weiss Umwelttechnik GmbH. Bewitterungsprüfung + Global-UV- Testgerät Typ UV200, System Weiss- Bauart BAM.

Anfertigung der Probekörper (PK)

Es werden zwei Typen von Probekörpern (arabisch nummeriert: 1 und 2) in jeweils zwei Ausführungen (als A und B betitelt) hergestellt. Dabei liegt der wesentliche Unterschied in der Filmdicke (dünne Filme: max. 10 µm, dicke Filme: max. 50 µm) der applizierten Konsolidierungsmittel. Als Filmsubstrat wird handelsübliches Floatglas¹⁴⁴ verwendet.¹⁴⁵

Die dünnen Filme werden jeweils auf etwa 8 cm x 10 cm große Flächen aufgerakelt. Verwendet wird dabei ein sogenanntes 4 – Schichtrakel.¹⁴⁶ Für die Probekörper wird eine Rakelstufe von 50 µm gewählt.¹⁴⁷ Die entsprechende Konsolidierungslösung wird mit einem Teelöffel vor dem Rakel platziert und dieses dann händisch mit einer gleichmäßigen Zugbewegung¹⁴⁸ zum eigenen Körper hingezogen. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Nassfilmdicke (bestimmt durch die Rakelstufe) von der Trockenfilmdicke zu unterscheiden ist. Die Trockenfilmdicke ist immer geringer als die Nassfilmdicke.¹⁴⁹ Die Trockenfilmdicke, der zu prüfenden Klebemittelfilme beträgt an den Probekörpern mit den dünnen Filmen max. 10 µm.¹⁵⁰

¹⁴⁴ 4mm. Fa. Glas Köbel. Tellsstr. 22a, 45657 Recklinghausen, Tel. 02361/22210.

¹⁴⁵ Um Filmstörungen zu vermeiden muss das Filmsubstrat gründlich gereinigt werden. Reinigungsmedium: Papiertuch (Zewa) mit Ethanol und Aceton. Ausgerichtet wird die Scheibe mit Hilfe einer Wasserwaage. Zusätzlich werden Referenzprobekörper angefertigt. Als Filmsubstrat dienen handelsübliche Objektträger (gemäß DIN ISO 8037-1).

¹⁴⁶ 4 – Schichtrakel, Nr. 2010, Fa. BYK. Additives + Instruments. BYK-Chemie GmbH, Wesel.

¹⁴⁷ Die Aussparung zwischen Walze und Untergrund variiert aufgrund der verschiedenen hohen Klötzchen an der betreffenden Stelle, wodurch je nach Positionierung die Nassfilmdicke eingestellt werden kann. Die kleinste Rakelstufe wurde aufgrund der niedrigviskosen Klebemittellösungen gewählt. Eine größere Rakelstufe wäre technisch nicht möglich gewesen, da das Rakel das Material nicht hätte mitziehen können.

¹⁴⁸ In der Praxis zeigt sich, dass die Zuggeschwindigkeit des Rakels der Viskosität der Klebemittellösungen angepasst werden muss. Bei niedrigviskosen Klebemittellösungen muss schnell gerakelt werden, damit das Material nicht wegfließt. Bei den hochviskosereren Klebemittellösungen LI (EC N100) und LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) muss die Zugbewegung verlangsamt werden, damit sich das Material gut verteilen kann.

¹⁴⁹ Bei den eingestellten Filmdicken handelt es sich um die „theoretische Nassfilmdicke“. Die „praktische Nassfilmdicke“ beträgt nach ERICHSEN 60-70% der „theoretischen Nassfilmdicke“. Je nach Feststoffgehalt verliert der Film bei der Trocknung nochmals 50-60%. ERICHSEN 2007, S.2.

¹⁵⁰ Die Ergebnisse der Messungen der Trockenfilmdicke befinden sich in Anhang 10.6.4.

Um die dicken Filme zu applizieren wird die Applikationstechnik verändert.¹⁵¹ Dafür werden 4 cm x 4 cm große Felder mit Klebeband¹⁵² abgeklebt, so dass die Schichtstärke der Umrandung 160 µm beträgt. Die Klebemittellösungen werden mit einem Teelöffel in den abgeklebten Bereich gegeben. Anschließend wird mit einem gläsernen Objektträger das überschüssige Material der Klebemittellösung abgezogen und eine plane Filmoberfläche hergestellt. Die recht hochviskosen Klebemittellösungen LI (EC N100) und LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) werden einmal appliziert. Bei den anderen Klebemittellösungen findet die dreimalige Applikation statt, wobei der Vorgang identisch nach 10 Minuten wiederholt wird. Die maximale Trockenfilmdicke beträgt 50 µm.¹⁵³

Nach der Applikation werden die Probekörper bei einem konstanten Klima von 23 °C (± 2 °C) und einer relativen Luftfeuchte von 50% ($\pm 5\%$) gelagert.¹⁵⁴ Die Trockenzeit beträgt mindestens 15 Tage. Zusätzlich werden die Probekörper abgedeckt, um diese vor Lichteinfluss und Verschmutzung zu schützen.

Aufbau und Durchführung der künstlichen Alterung

Ein Probekörper jedes Typs (mit den Bezeichnungen A) wird im Klimaschrank für Bewitterungsprüfungen¹⁵⁵ montiert. Für 336 Stunden werden die Probekörper Strahlung in einem Wellenlängenbereich zwischen 290 nm und 400 nm ausgesetzt. Nach DIN EN ISO 4892-3 handelt es sich dabei um den photochemisch wirksamen Spektralbereich. Das bedeutet, dass UV-A und UV-B Strahlung abgegeben wird.¹⁵⁶ Die Bestrahlung findet bei konstanten Klimabedingungen von 20 °C und 50 % r.F. statt. Nach Auswertung der gealterten „A-Probekörper“ werden diese gemeinsam mit den „B-Probekörpern“ wieder in den Klimaschrank gehängt. Es folgen insgesamt 686 Stunden „dynamischen

¹⁵¹ Aufgrund der niedrigen Viskosität der ausgewählten Klebemittellösungen lassen sich mit dem Raket keine dickeren Filme applizieren.

¹⁵² Doppelt aufgeklebtes Tesa, Maler-Band für Lacke 56731. 25mm x 30mm. Information zur Schichtdicke: Frdl. mündliche Mitteilung, Tesa-Kundenservice, +49-40-4909-101 (11.06.2013).

¹⁵³ Die Ergebnisse der Messungen der Trockenfilmdicke befinden sich in Anhang 10.6.4.

¹⁵⁴ Empfohlene Klimawerte nach ASTM D 4708, S. 606 und ASTM D 823, S. 85.

¹⁵⁵ Fa. Weiss Umwelttechnik GmbH. Bewitterungsprüfung + Global-UV- Testgerät Typ UV200, System Weiss- Bauart BAM.

¹⁵⁶ Lt. Bedienungsanleitung Fa. Weiss Umwelttechnik GmbH. Bewitterungsprüfung + Global-UV- Testgerät Typ UV200.

Klimaalterung“.¹⁵⁷ Letztlich können auf diese Weise drei Alterungsstadien ausgewertet werden: Durch UV-Strahlung gealterte Klebmittelfilme, durch UV-Strahlung und Klimaschwankungen gealterte Klebmittelfilme und ausschließlich durch Klimaschwankungen gealterte Klebmittelfilme.¹⁵⁸

6.2.1. Untersuchung der optischen Veränderungen

Die Untersuchung der optischen Veränderung findet makroskopisch sowie mikroskopisch, unter zur Hilfenahme von Auf- und Streiflichtquellen statt. Die optischen Veränderungen können durch die Untersuchungen vor und nach der künstlichen Alterung festgestellt werden. Zusätzlich wird vor und nach der künstlichen Alterung der Gelbwert der Klebmittelfilme gemessen. Für diese Messung wird das Farbmessgerät *Datacolor International*¹⁵⁹ verwendet. Das Gerät misst spektral das von der Oberfläche reflektierte Licht, indem die entsprechende Messposition mit einer genormten Weißlichtquelle beleuchtet wird. Als Referenzstandard dient eine weiße glasierte Kachel, die unter der Messstelle positioniert wird. Den Gelbwert (G) errechnet das zugehörige Computerprogramm *Datacolor tools* nach DIN 6167 *Beschreibung der Vergilbung von nahezu weißen oder nahezu farblosen Materialien*. Die DIN-Norm 6167 orientiert sich an den Normfarbwerten XYZ¹⁶⁰, die durch das Farbmessgerät ermittelt werden. Die Vergilbungszahl (V) eines Materials ergibt sich aus der Differenz der Gelbwerte (G) vor und nach einer Veränderung.

Ergebnisse der visuellen Begutachtung

Unmittelbar nach der Aushärtung der Klebmittelfilme können mit einer Ausnahme alle Materialien optisch als sehr gut bewertet werden. Das einzige negative Ergebnis ergibt sich bei LVII (Tecero-Wachs 30201/30410), da sich eine weißliche heterogene Schicht ausbildet, die sich visuell nicht dem Glas anpasst. Nach der künstlichen Alterung durch UV-Strahlung hat kein Klebmittel der

¹⁵⁷ Aufgrund eines unerwarteten technischen Defekts des Gerätes waren die Probekörper 302 Stunden extremen Klimaschwankungen zwischen und 30 % r.F. und 85 % r.F. bei einer Temperatur von 30 °C ausgesetzt. Die restlichen 384 Stunden befanden sich die Probekörper in einem Klima von 30 °C und 55 % r.F. (± 5).

¹⁵⁸ Die Messkurven zur künstlichen Alterung befinden sich in Anhang 10.6.4.

¹⁵⁹ Seriennummer 2233. Fachbereich Schriftgut und Grafik, Fachhochschule Köln.

¹⁶⁰ XYZ sind die Normfarbwerte des CIE (Comission internationale de l'éclairage/ Internationale Beleuchtungskommission) von 1931. Im Jahr 1976 wurde daraus das L*a*b-Farbsystem entwickelt.

Vorauswahl eine mit bloßem Auge sichtbare Veränderung durchlaufen.¹⁶¹ Nach der „dynamischen Klimaalterung“ sind bei LV (Aquazol 500) Unebenheiten an der Filmoberfläche entstanden.¹⁶²

Ergebnisse der Farbmessungen

Bei den in Tabelle 10 und 11 dargestellten Messwerten wird jeweils der Mittelwert aus mindestens zwei Messungen aufgeführt.¹⁶³ Der Übersicht halber werden die besten Ergebnisse grün und die schlechtesten Ergebnisse rot hinterlegt.

Tabelle 10: Ergebnisse der Farbmessungen der dünnen Filme (max. 10µm) an PK1A vor und nach der Lichtalterung. Ermittlung von Gelbwert (G) und Vergilbungszahl (V) nach DIN 6167.

| Konsolidierungs- lösung | G Glasträger | G Klebe- mittelfilm ungealtert | V ungealtert | G Klebe- mittelfilm gealtert | V gealtert |
|-------------------------------------|-----------------|---|-----------------|---------------------------------------|---------------|
| LI (EC N100) | 3,54 | 3,69 | 0,14 | 3,86 | 0,17 |
| LII (Paraloid B72) | 3,54 | 3,63 | 0,08 | 3,75 | 0,12 |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | 3,54 | 3,59 | 0,04 | 3,7 | 0,10 |
| LIV (Regalrez 1094) | 3,54 | 3,62 | 0,07 | 3,69 | 0,07 |
| LV (Aquazol 500) | 3,54 | 3,61 | 0,06 | 3,71 | 0,10 |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | 3,54 | 3,69 | 0,14 | 3,75 | 0,06 |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | 3,54 | 4,24 | 0,69 | 4,51 | 0,26 |

¹⁶¹ Die Referenzprobe mit Primal AC35 ist minimal gegilbt. Die Gilbung tritt in den Randbereichen etwas stärker auf.

¹⁶² Alle Ergebnisse der Farbmessung befinden sich in Anhang 10.6.5.

¹⁶³ Die Durchschnittswerte werden mit Hilfe des arithmetischen Mittels berechnet.

Tabelle 11: Ergebnisse Farbmessungen der dicken Filme (max. 50µm) an PK2A vor und nach der Lichtalterung. Ermittlung von Gelbwert (G) und Vergilbungszahl (V) nach DIN 6167.

| Konsolidierungs- lösung | G Glasträger | G Klebe- mittelfilm ungealtert | V ungealtert | G Klebe- mittelfilm gealtert | V gealtert |
|---------------------------------------|-----------------|---|-----------------|---------------------------------------|---------------|
| LI (EC N100) | 3,54 | 3,85 | 0,30 | 4,06 | 0,20 |
| LII (Paraloid B72) | 3,54 | 3,57 | 0,02 | 3,66 | 0,09 |
| LIII Paraloid B72/ Laropal A81) | 3,54 | 3,56 | 0,01 | 3,66 | 0,10 |
| LIV (Regalrez 1094) | 3,54 | 3,55 | 0,01 | 3,66 | 0,11 |
| LV (Aquazol 500) | 3,54 | 3,81 | 0,26 | 3,93 | 0,12 |
| LVI ORMOCER-G/ Paraloid B72) | 3,54 | 3,62 | 0,07 | 3,68 | 0,06 |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | 3,54 | 4,01 | 0,46 | 4,42 | 0,41 |

Auswertung der Ergebnisse

Die **visuelle Begutachtung** nach der Lichtalterung und dynamischen Klimaalterung ergibt, dass fünf von sieben Klebemittelfilmen unverändert bleiben und somit positiv zu bewerten sind.¹⁶⁴ Bei der Probefläche mit LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) hat sich unmittelbar nach Verdunstung des Lösemittels ein weißlicher Schleier gebildet. Dies wiederum resultiert aus der Heterogenität der Lösung, was mit der unzureichenden Löslichkeit der mikrokristallinen Wachse in dem Lösemittel zusammenhängt. Nach der dynamischen Klimaalterung ist LV (Aquazol 500) negativ zu bewerten. Die strukturelle Veränderung und die dadurch entstandenen unebene Filmoberfläche dürften auf die Wasserlöslichkeit des Materials zurückzuführen sein. Der Einfluss der erhöhten relativen Luftfeuchte bis 85 % hat vermutlich Quell- und/oder Löseprozesse in dem Klebemittelfilm ausgelöst, aus denen wiederum die morphologische Veränderung resultiert. Da die Probekörper vertikal in dem Klimaschrank montiert sind, dürfte

¹⁶⁴ Einzig der Referenzprobekörper mit dem Klebemittelfilm aus Primal AC35 hat durch die Lichtalterung eine optische Veränderung durchlaufen. Das Material ist photochemisch instabil und weist minimal sichtbare Gelbung auf. Die Gelbung tritt verstärkt in den Randbereichen auf, wo sich vermehrt Material angesammelt hat. Infolgedessen kann festgehalten werden, dass mit der Schichtdicke der Klebemittelschicht, die Gelbung des Materials optisch verstärkt wahrnehmbar ist.

sich das Material in Richtung Boden bewegt haben. Durch die Unebenheit an der Filmoberfläche wird auftreffendes Licht ungleichmäßig gestreut und das Material setzt sich optisch von der Glasoberfläche ab. Durch die **Farbmessungen** konnte die gute optische Anpassung der meisten Klebemittel (LI – LVI) an den Glasträger bestätigt werden: Die Abweichung zwischen den Messwerten des Glasträgers und den Messwerten der beschichteten Probestellen liegt bei allen Materialien nur im nicht sichtbaren Zehntelbereich. Durch die Farbmessung nach der künstlichen UV-Alterung lassen sich geringe Abweichungen zum Vorzustand ermitteln. Infolgedessen sind leichte Tendenzen hinsichtlich der Vergilbung festzustellen. Die besten Ergebnisse liefert LVI (ORMOCER-G/Paraloid B72) mit einem Messwert von $V\ 0,06$, der unabhängig von der Filmdicke ist. Generell sind die Vergilbungszahlen der Kunstharzlösungen (LII - LVI) als durchweg positiv zu bewerten, wobei die Veränderungen meist im Zehntelbereich auftreten. Durch den Vergleich mit der Referenzprobe Primal AC35 wird deutlich, dass eine sichtbare optische Veränderung erst bei einem Wert von etwa $V\ 1,18$ zu erkennen ist. Bei LI (EC N100) liegt die Vergilbungszahl mit $V\ 0,17$ (dünner Film) und $V\ 0,20$ (dicker Film) etwas höher als bei den synthetischen Harzen. Die Referenzprobe mit der gleichen Ethylcellulose ohne Stabilisatoren schneidet mit einem Messwert von $V\ 0,78$ wesentlich schlechter ab. Die Messungen bei LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) ergaben vergleichsweise hohe Vergilbungszahlen: Mit den Werten $V\ 0,26$ (dünner Film) und $V\ 0,41$ (dicker Film) schneidet das Materialsystem am schlechtesten ab. Generell ist festzuhalten, dass die Filmdicke im Bereich zwischen $10\ \mu\text{m}$ und $50\ \mu\text{m}$ keinen wesentlichen Einfluss auf die Vergilbungseigenschaften hat. Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse der Auswertung im Überblick.

Table 12: Zusammenfassende Bewertung der optischen Veränderung nach der künstlichen Alterung.

| Konsolidierungs- lösung | Optischer Eindruck ungealtert | Optische Veränderung nach der UV-Alterung | Optische Veränderung nach der dynamischen Klimaalterung | Gilbungstendenz nach der UV-Alterung, Farbmessung |
|---|-------------------------------------|--|---|--|
| Legende: | | | | |
| + = gutes, effektives Ergebnis | | | | |
| +- = akzeptables Ergebnis mit Optimierungsbedarf | | | | |
| x = inakzeptables Ergebnis; Material kann ausgeschlossen werden | | | | |
| LI (EC N100) | + | + | + | +- |
| LII (Paraloid B72) | + | + | + | + |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | + | + | + | + |
| LIV (Regalrez 1094) | + | + | + | + |
| LV (Aquazol 500) | + | + | x | + |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | + | + | + | + |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | x | x | x | x |

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass die Kunstharzlösungen, ausgenommen LV (Aquazol 500) hinsichtlich der optischen Eigenschaften durchweg gute Ergebnisse zeigen. Eine verstärkte Gilbungstendenz kann bei LI (EC N100) gemessen werden. Auszuschließen sind infolge der Untersuchung der optischen Eigenschaften LV (Aquazol 500) aufgrund der strukturellen Veränderung und LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) aufgrund unbefriedigender Ergebnisse in allen Bewertungskategorien.

6.2.2. Prüfung des Adhäsionsvermögens

Für die Prüfung des Adhäsionsvermögens auf dem Glasträger wird die Gitterschnittprüfung (DIN ISO 2409, 2003) angewendet. Hierfür wird der Gitterschnittprüfer CC200¹⁶⁵ genutzt, mit dessen Hilfe ein Raster in den Klebemittelfilm geritzt wird. Die DIN ISO 2409 Beschichtungsstoffe – Gitterschnittprüfung (2013) schreibt einen Schneideaufsatz mit einem

¹⁶⁵ Fa. Thermimport Quality Control (TQC). TQC GmbH, Hilden.

Schichtabstand von 1 mm für Schichtdicken bis zu 60µm vor. Im Anschluss an den Gitterschnitt wird ein Klebebandtest durchgeführt. Das Klebeband liegt dem Gerät bei und wird händisch auf die Prüfstelle geklebt und fest angedrückt. Nach dem ruckartigen Abreißen des Klebebandes erfolgt die Auswertung der Prüfstelle. Dafür wird vom Hersteller ein festgelegtes Bewertungssystem angeboten: Die Qualität des Adhäsionsvermögens kann durch die Einteilung in fünf Bewertungskategorien beurteilt werden. Die Kategorie 0 steht dabei für eine sehr gute Adhäsion des Klebemittelfilmes zum Untergrund (siehe Abb. 33). Im Gegensatz dazu steht Kategorie 5 für eine sehr schlechte Adhäsion, weil sich der Klebemittelfilm zu über 50 % vom Haftgrund ablöst. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 13 - 16 zusammengefasst.

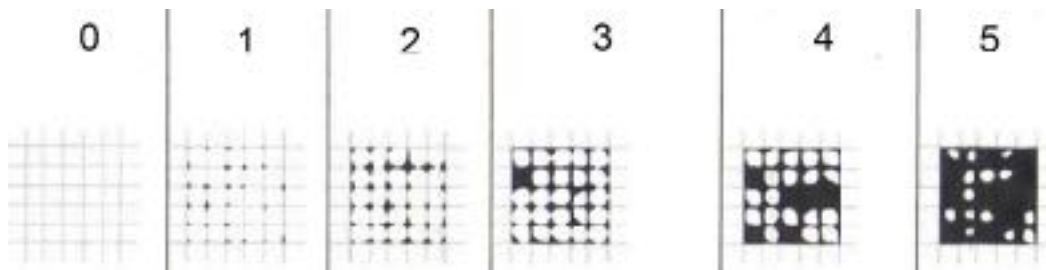


Abbildung 33: Bewertungssystem zur Gitterschnittprüfung der Fa. TQC GmbH.

Ergebnisse

Tabelle 13: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Probekörper 1A (dünne Filme, max. 10 µm) nach der UV-Alterung und der dynamischen Klimaalterung.

| Konsolidierungslösung | Bewertung | | | | | |
|----------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| LI (EC N100) | | | | | | X |
| LII (Paraloid B72) | | | | | | X |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | | | | X | | |
| LIV (Regalrez 1094) | | X | | | | |
| LV (Aquazol 500) | | X | | | | |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | X | | | | | |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | - | - | - | - | - | - |

bestes Ergebnis: LVI (ORMOCER-G/Paraoid B72)

Tabelle 14: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Probekörper 2A (dünne Filme, max. 10 µm) nach der dynamischen Klimaalterung.

| Konsolidierungslösung | Bewertung | | | | | |
|----------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| LI (EC N100) | | | | | | X |
| LII (Paraloid B72) | | | X | | | |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | | | | | X | |
| LIV (Regalrez 1094) | | | X | | | |
| LV (Aquazol 500) | X | | | | | |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | | X | | | | |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | - | - | - | - | - | - |

bestes Ergebnis: LV (Aquazol 500)

Tabelle 15: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Probekörper 1B (dicke Filme, max. 50 µm) nach der UV-Alterung und der dynamischen Klimaalterung.

| Konsolidierungslösung | Bewertung | | | | | |
|----------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| LI (EC N100) | | | | | | X |
| LII (Paraloid B72) | | | | | X | |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | | X | | | | |
| LIV (Regalrez 1094) | | X | | | | |
| LV (Aquazol 500) | | X | | | | |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | X | | | | | |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | - | - | - | - | - | - |

bestes Ergebnis: LVI (ORMOCER-G/Paraoid B72)

Table 16: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Probekörper 2B (dicke Filme, max. 50 µm) nach dynamischer Klimaalterung.

| Konsolidierungslösung | Bewertung | | | | | |
|----------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| LI (EC N100) | | | | | X | |
| LII (Paraloid B72) | | | | | X | |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | | | | X | | |
| LIV (Regalrez 1094) | | | | X | | |
| LV (Aquazol 500) | X | | | | | |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | X | | | | | |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | - | - | - | - | - | - |

beste Ergebnisse: LV (Aquazol 500)
LVI (ORMOCER-G/Paraloid B72)

Auswertung der Ergebnisse

Die besten Ergebnisse zeigt LVI (ORMOCER-G/Paraloid B72) (siehe Abb. 34). Ebenfalls gut abgeschnitten hat LV (Aquazol 500).



Abbildung 34: Aufnahme der Gitterschnittprüfung an LVI (ORMOCER_G/Paraloid B72); Exemplarisches Beispiel für die Bewertungskategorie 0.

LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) und LIV (Regalrez 1094) zeigten eher durchschnittliche Ergebnisse. Tendenziell schlecht zu bewerten waren LII (Paraloid B72) (siehe Abb. 35) und LI (EC N100) (siehe Abb. 36)



Abbildung 35: Aufnahme der Gitterschnittprüfung an LII (Paraloid B72); Exemplarisches Beispiel für die Bewertungskategorie 4.



Abbildung 36: Aufnahme der Gitterschnittprüfung an LI (AC N100); Exemplarisches Beispiel für die Bewertungskategorie 5.

Die unterschiedlichen Filmdicken haben keinen entscheidenden Einfluss auf das Adhäsionsvermögen. Ebenso ist der Alterungsgrad, d.h. die Klimaalterung sowohl mit als auch ohne UV-Bestrahlung nicht maßgebend für die Ergebnisse. Bezüglich der Benetzungsqualität der Konsolidierungslösungen lässt sich lediglich eine leichte Tendenz ablesen. Unter Berücksichtigung des Spreittests¹⁶⁶ müssten die Lösungen mit Siedegrenzbenzin 100-140 °C am besten abschneiden. Durch LVI (Regalrez 1094) wird dies bestätigt. Bezüglich LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) ist anzumerken, dass die Gitterschnittprüfung nicht bewertet werden kann. Da die Wachslösung keinen homogenen Film gebildet hat, laufen die Schneiden des Gitterschnittprüfers zwischen feinen Teilchen der heterogenen Masse hindurch, ohne richtige Schnitte setzen zu können. Des Weiteren konnte der Abreißtest, aufgrund mangelnder Haftung zwischen der Wachsschicht und dem Klebeband, nicht durchgeführt werden. Hinsichtlich der weiteren Ergebnisse ist festzuhalten, dass LI (EC N100) und LII (Paraloid B72) eine vergleichsweise schlechte spezifische Adhäsion zum Glasträger haben. Bessere Ergebnisse können mit Paraloid B72 durch den Zusatz anderer Klebemittel wie in bei LIII (Paraloid B72/Laropal A81) und durch den Zusatz des organisch-anorganischen Materials ORMOCER-G erreicht werden. Die sehr gute adhäsive Haftung von LVI (ORMOCER-G/Paraloid B72) auf dem Glasträger, dürfte an den anorganischen Komponenten in dem

¹⁶⁶ Vgl. Kapitel 5.4.

siliciumorganischen Material ORMOCER-G liegen. Die zusammenfassende Auswertung zeigt Tabelle 17.

Tabelle 17: Zusammenfassende Bewertung der Überprüfung des Adhäsionsvermögens nach der künstlichen Alterung.

| Konsolidierungslösung | Adhäsionsvermögen der gealterten Klebemittelfilme |
|--|---|
| Legende: + = gutes, effektives Ergebnis +- = akzeptables Ergebnis mit Optimierungsbedarf x = inakzeptables Ergebnis; Material kann ausgeschlossen werden - = Bewertung nicht möglich | |
| LI (EC N100) | x |
| LII (Paraloid B72) | x |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | +- |
| LIV (Regalrez 1094) | +- |
| LV (Aquazol 500) | + |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | + |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | - |

An dieser Stelle kann als Zwischenergebnis festgehalten werden, dass die Festigungsmittel LV-VI bezüglich der Haftung zum Glasträger geeignet erscheinen. LIII und IV sind infolge der Prüfung des Adhäsionsvermögens als mittelmäßig zu charakterisieren. LI und LII können für eine Konsolidierungsmaßnahme dem Glasträger ausgeschlossen werden.

6.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse aller Untersuchungen der technischen Überprüfung der Vorauswahl werden in Tabelle 18 aufgeführt.

Tabelle 18: Abschließende Bewertung nach der technischen Prüfung der Vorauswahl.

| Konsolidierungs- lösung | Applikation/ Verarbeitung | Optische Anpassung vor und nach der künstlichen Alterung | Adhäsionsvermögen |
|---|------------------------------|--|-------------------|
| Legende: | | | |
| + = gutes, effektives Ergebnis | | | |
| +- = akzeptables Ergebnis mit Optimierungsbedarf | | | |
| x = inakzeptables Ergebnis; Material kann ausgeschlossen werden | | | |
| - = Bewertung nicht möglich | | | |
| LI (EC N100) | + | + | x |
| LII (Paraloid B72) | +- | + | x |
| LIII (Paraloid B72/ Laropal A81) | +- | + | +- |
| LIV (Regalrez 1094) | + | + | +- |
| LV (Aquazol 500) | x | x | + |
| LVI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | + | + | + |
| LVII (Tecero-Wachs 30201/30410) | x | x | - |

Nach Ausschlussverfahren sind die Konsolidierungslösungen mit einem rot eingefärbtem „X“ für die Konsolidierungsmaßnahme ungeeignet. Im Umkehrschluss stellt LVI (ORMOCER-G/Paraloid B72) mit einer positiven Bewertung in allen aufgeführten Kategorien unter den ausgewählten Materialien die optimale Konsolidierungslösung für die Maßnahme an dem Objekt von Rebecca Horn dar.

7. Restaurierungskonzept

Auf Grundlage aller durchgeführten Untersuchungen und der in Kapitel 4.4 formulierten Zielsetzung wird das Restaurierungskonzept für das Objekt von Rebecca Horn entwickelt. Zusätzlich zum Maßnahmenvorschlag enthält das Konzept Anforderungen und Empfehlungen bezüglich des künftigen Umgangs mit dem Kunstwerk.

7.1. Konsolidierung des Farbauftrages

In Kapitel 5 und 6 sind umfangreiche Untersuchungen zur Konsolidierungsmaßnahme aufgeführt. Eine geeignete Applikationsmethode sowie die geeignete Konsolidierungslösung konnten in diesem Rahmen ermittelt werden.

Arbeitskonstruktion

Der Objektkasten sollte für die Bearbeitung so aufgestellt werden, dass er von allen Seiten zugänglich ist. Um problemlos an die zu bearbeitende Innenseite zu gelangen, ist zu empfehlen den Deckel für die Dauer der Bearbeitung auszuhängen. Sobald die Arbeit an dem Kunstwerk unterbrochen wird, muss eine passende Abdeckung auf den Rand des Objektkastens gelegt werden, um die bemalte Glasfläche zu schützen. Zu diesem Zweck kann ein säurefreier Karton auf die entsprechende Größe zugeschnitten (mindestens 70 cm x 100 cm) werden. Auf diese Weise wird der Farbauftrag vor Verschmutzung und vor mechanischen Einflüssen geschützt. Solange die Konsolidierung noch nicht abgeschlossen ist, besteht bei der kleinsten mechanischen Beanspruchung des originalen Farbmaterials das Risiko, dass dieses in Bewegung gerät und oder verloren geht.

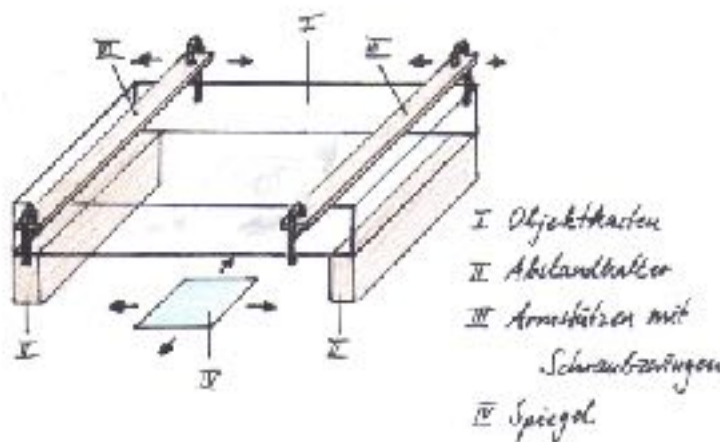


Abbildung 37: Skizze der Arbeitskonstruktion für die Konsolidierungsmaßnahme.

Für die Durchführung der Konsolidierung sollte die visuelle Kontrolle sowohl von der Ober- als auch von der Unterseite möglich gemacht werden. Dafür muss der Objektkasten in einer Höhe von etwa 20 cm aufgebockt und unter der bemalten Scheibe ein Spiegel positioniert werden (siehe Abb. 37, Nr. II und IV). Als Abstandhalter können Holzelemente verwendet werden. Die Durchführung der Maßnahme soll mit einem Stereomikroskop kontrolliert werden. Zwei Armstützen, bestehend aus Holzleisten (ca. 120 cm x 10 cm), unterstützen das kontrollierte und präzise Arbeiten (siehe Abb. 37, Nr. III). Die Holzleisten werden auf dem Rand des Objektkastens abgelegt. An den Enden der Holzleisten werden jeweils kleine Schraubzwingen befestigt, wodurch verhindert wird, dass sich die Leisten verschieben und in den Objektkasten fallen (siehe Abb. 37, Nr. III). Das flexible Versetzen der Holzleisten entlang der langen Kastenseiten ist vorteilhaft, damit die Armstützen der jeweiligen Arbeitsposition angepasst, gegebenenfalls aber auch zur Seite gelegt werden können. Alle Holzelemente sollten mit weichem Material (z.B. Schaumstoff) gepolstert werden, um mechanische Schäden zu vermeiden.

Klebmittellösung für die Konsolidierung

Anhand der in Kapitel 6 beschriebenen Versuche konnte eine geeignete Konsolidierungslösung für die Maßnahme ermittelt werden:

ORMOCER-G (Ethylacetat : 2- Butoxythanol, 2:1) : Paraloid B72
im Verhältnis 80 : 20
2 % in Ethylacetat¹⁶⁷

Die Konsolidierungslösung schnitt in den ausschlaggebenden Bewertungskategorien *Applikation/Verarbeitung*, *optische Anpassung vor und nach der künstlichen Alterung* und *Adhäsionsvermögen* positiv ab.¹⁶⁸ Im Vergleich zu den Applikationsversuchen mit dem Dosiergerät wurde die Feststoffkonzentration auf 2% herabgesetzt. Der Grund für die Reduzierung der Feststoffkonzentration ist einerseits die leichten Glanz- und „Glanzrandbildung“, die bei den Applikationsversuchen beobachtet.¹⁶⁹ Andererseits soll durch eine geringere

¹⁶⁷ Datenblätter zu den Rezeptkomponenten ORMOCER-G und Paraloid B72 befinden sich in Anhang 10.7.

¹⁶⁸ Vgl. Kapitel 6.3.

¹⁶⁹ Vgl. Kapitel 6.1.2.

Feststoffkonzentration erreicht werden, dass möglichst wenig Klebemittel im Originalgefüge zurückbleibt.

ORMOCER-G als Rezeptkomponente

Eine Besonderheit an dieser Rezeptur stellt das siliziumorganische Material ORMOCER-G dar, welches in diesem Fall als Haftvermittler fungiert. Ein Haftvermittler verbessert die Haftungseigenschaften zwischen dem Klebemittel und den Füge­teilen.¹⁷⁰ In diesem Fall kann der anorganische Charakter des Materials genutzt werden, um die stabile Verbindung zu dem anorganischen Glasträger zu unterstützen.

Applikationsmethode

Die diversen Vorversuche zeigen, dass das BELO Dosiergerät bestückt mit einer VIEWEG Dosiernadel für die Konsolidierung des instabilen Farbauftrages geeignet ist.¹⁷¹ Außerdem können infolgedessen bestimmte Geräteeinstellungen empfohlen werden (siehe Tab. 19). Zu beachten ist bei der Applikation, dass keine Materialüberschüsse entstehen. Die Applikationsmenge muss dabei individuell der Materialmenge des originalen Farbauftrages angepasst werden: Je dicker der Farbauftrag ist bzw. je größer die Farbstoffteilchen sind, umso größere Mengen der Konsolidierungslösung können aufgenommen werden. Die Regulierung der Applikationsmenge kann durch den Druck am Gerät und/oder die Impulsrate eingestellt werden.

Tab­elle 19: *Empfohlene Geräteparameter für die Konsolidierungsmaßnahme mit dem BELO Dosiergerät.*

| Parameter | Einstellung |
|-------------------|---------------------------------------|
| Dosiernadeln | Innendurchmesser: 0,11 mm und 0,15 mm |
| Externer Druck | 2 bar |
| Druck am Gerät | 0,1 – 1 bar |
| Vakuumrückhaltung | komplett aufgedreht |
| Impulsrate | variierend |

¹⁷⁰ HABENICHT 2012, S. 12.

¹⁷¹ Vgl. Kapitel 6.1.2. Datenblätter zum BELO Dosiergerät und der VIEWEG Dosiernadel befinden sich in Anhang 10.7.

Verklebungsvorgang

Der Verklebungsvorgang findet durch die Verdunstung des Lösemittels aus der Konsolidierungslösung statt. Schließlich hält der zurückbleibende Feststoff die Farbstoffteilchen und den Glasträger adhäsiv sowie die Farbstoffteilchen untereinander kohäsiv zusammen. Die Versuche zeigten, dass die vollständige Aushärtung des Konsolidierungsmittels bei den zu applizierenden Materialmengen mindestens eine Woche.

Niederlegen

Die Klebemittellösung dringt kapillar sowohl zwischen Farbstoffteilchen und Glasträger, als auch in die Farbstoffteilchen selber ein.¹⁷² Beim Verdunsten des Lösemittels legen sich bereits einige aufstehende Farbstoffteilchen nieder. Sofern sich die Farbstoffteilchen dem Glasträger nicht ausreichend nähern ist das punktuelle Niederlegen notwendig. Das Niederlegen kann in einem Zeitraum zwischen 10 Minuten und einer Woche nach der Applikation durchgeführt werden. Auf das Niederlegen unmittelbar nach der Applikation sollte unbedingt verzichtet werden. Erst wenn Lösemittel aus der Konsolidierungslösung verdunstet ist und diese dadurch eine festere Konsistenz hat, sind die Farbstoffteilchen ausreichend stabilisiert. Für das Niederlegen eignet sich eine Zahnarztsonde mit einer glatten Fläche. Mit Hilfe der Zahnarztsonde werden die Farbstoffteilchen vorsichtig angedrückt.

Ablauf

Die effektive Konsolidierung des Farbauftrages ist ein sukzessiver Ablauf erforderlich. Mindestens zwei Applikationsdurchgänge sind notwendig. Zwischen den verschiedenen Durchgängen sollten etwa zwei Wochen liegen, damit das Konsolidierungsmittel vollständig ausgehärtet bzw. der Konsolidierungserfolg beurteilt werden kann. Je dicker der Farbauftrag ist, desto mehr Konsolidierungsdurchgänge müssen durchgeführt werden.

7.2. Reinigung der Glasflächen

Alle Glasflächen sind Außen und Innen verschmutzt. Der Grad der Verschmutzung ist an den Innenseiten des Objektkastens höher als an den Außenseiten.¹⁷³ Prinzipiell kommen die flächige oder die partielle, mechanische

¹⁷² Vgl. Kapitel 6.1.2.

¹⁷³ Vgl. Kapitel 3.2.

Trockenreinigung sowie eine Feuchtreinigung mit Wasser und/oder anderen Lösemitteln in Frage.

Problematik

Die Reinigung der Scheibenaußenseiten ist im Gegensatz zur Reinigung der Scheibeninnenseiten problemlos durchführbar. Grund dafür sind die Bemalungen und Beschriftungen auf den Innenseiten des Objektkastens. Insbesondere die innere bemalte Schauseite ist äußerst sensibel zu behandeln. Eine mechanische Trockenreinigung stellt, nachdem die instabilen Bereiche durch die Konsolidierung geschützt sind, ein vermindertes Risiko dar. Dennoch ist besonders in Bereichen die von der Konsolidierungsmaßnahme ausgeschlossen wurden, wie z.B. die Kreis- und Spirallinien, äußerste Vorsicht geboten. Die Objektbeschriftung ist gegen leichte mechanische Reibung durch Pinselstriche oder das vorsichtige Abwischen mit einem trockenen weichen Tuch stabil. Ein großes Gefährdungspotenzial für Farbauftrag und Objektbeschriftung geht von Feuchtigkeit und Lösemitteln aus und ist in diesen Bereichen kategorisch auszuschließen.¹⁷⁴ Die Möglichkeit, empfindliche Partien bei der Reinigung auszusparen wird ausgeschlossen. Das dadurch entstehende unregelmäßige Reinigungsergebnis wäre auf dem Glas deutlich sichtbar und ist nicht erstrebenswert.

Ablauf

Die bemalte innere Schauseite wird zuerst gereinigt. Dafür eignen sich weiche Haarpinsel in verschiedenen Größen.¹⁷⁵ Zum Absaugen des lose aufliegenden Schmutzes sollte ein Feinstaubsauger mit kleinem Aufsatz bereitgehalten werden. Teilweise muss beim Reinigen der Druck auf den Pinsel leicht erhöht werden, um auch fest sitzenden Schmutz zu entfernen. Die unbemalten Innenseiten des Glaskastens können mit einem trockenen Mikrofaser Tuch flächig abgewischt werden. Auch hier ist es nötig mit leichtem Druck zu arbeiten, um fest anhaftenden Schmutz zu entfernen. Mit einem leicht angefeuchteten Fensterleder können die Kastenaußenseiten abgewischt und anschließend mit

¹⁷⁴ Vgl. Kapitel 3.1.1 und Kapitel 5.3. Löslichkeitstests an der Beschriftung wurden nicht durchgeführt, da mit diesen der Verlust originaler Substanz und eine erhebliche optische Beeinträchtigung einhergehen würden.

¹⁷⁵ Empfehlung: Flache Ölmalpinsel in verschiedenen Größen und Retuschierpinsel in verschiedenen Größen.

einem Trockentuch nachpoliert werden. Festsitzende Schutzpartikel können gegeben falls mit Ethanol entfernt werden.

7.3. Remontage des Pendels

Das herabgefallene Pendel soll wieder an seiner ursprünglichen Position befestigt werden. Die Position des Pendels ist durch die sich abzeichnende alte Klebereste rekonstruierbar.¹⁷⁶ Das Pendel ist an eine bemalte Holzleiste geknotet, welche an den Glasträger geklebt werden muss.

Problematik

Die Problematik bei dieser Maßnahme besteht in der Divergenz der Fügeiteilwerkstoffe Glas und Holz. Glas ist starr und hat eine glatte geschlossene Oberfläche. Holz hingegen verhält sich anisotrop und hygroskopisch und besitzt eine vergleichsweise poröse Oberflächenstruktur. Hinsichtlich der Klebstoffauswahl für die Verklebung dieser beiden Flächen ergeben sich dadurch vollkommen verschiedene Voraussetzungen.

Anforderungen an einen geeigneten Klebstoff

In erster Linie muss der Klebstoff ausreichende Adhäsionskräfte sowohl zum Glas als auch zu der bemalten Holzleiste ausbilden können. In diesem Fall ist außerdem zu berücksichtigen, dass die Verklebung der zwar relativ geringen aber konstanten mechanischen Belastung durch das Pendel bzw. einem Gewicht von 78,7 g standhalten muss. Prinzipiell lassen sich die Anforderungen an ein geeignetes Klebemittel aus Kapitel 5.1.2 übertragen, in welchem die Haftungsproblematik gegenüber dem Glasträger erläutert wird. Um mögliche Spannungsunterschiede zwischen der Holzleiste und dem starren Glasträger abzufangen, sollte der Klebstoff eine gewisse Elastizität besitzen. Da der Klebstoff an der oberen Scheibe zwischen der Holzleiste und dem Glasträger appliziert wird, muss er transparent und farblos sein, damit er sich nicht optisch störend abzeichnet.

¹⁷⁶ Vgl. Kapitel 3.2.

Auswahlkriterien für einen geeigneten Klebstoff

Die folgenden spezifischen Auswahlkriterien ergeben sich durch die zuvor genannten Anforderungen an den Klebstoff.

1. gutes Adhäsionsvermögen zum Glasträger
2. Elastizität
3. Transparenz und Farblosigkeit des Klebstoffes

Weitere allgemeine Auswahlkriterien für die Klebstoffauswahl sind in Kapitel 5.5 aufgelistet.

Klebstoffauswahl

In Anbetracht der Auswahlkriterien erscheinen Epoxidharze für die Verklebung der Füge­teile geeignet. Epoxidharze sind Reaktionsklebstoffe, die aus zwei Komponenten bestehen. Dabei reagiert der epoxidhaltige Teil mit einem Härter und bindet chemisch zu einem duroplastischen Kunststoff ab.¹⁷⁷ Allgemein weisen Epoxidharze gute mechanische Eigenschaften auf und können stabile adhäsive Verbindungen zu Glas herstellen. Dies wurde im Bereich der Konservierung und Restaurierung historischer Glasmalerei schon eingehend untersucht bzw. bestimmte Produkte, wie Hxtal Nyl-1, sind in der Anwendung gebräuchlich.¹⁷⁸ Für die Verklebung an dem Objekt von Rebecca Horn soll das Produkt Hysol 9455 verwendet werden.¹⁷⁹ Neue Forschungsergebnisse¹⁸⁰ zeigen, dass das Material nach dem Abbinden elastisch bleibt, womit ein wichtiges Auswahlkriterium erfüllt wäre. Hinsichtlich der optischen Kriterien kann das Produkt angewendet werden, da es sich aufgrund seiner Transparenz und

¹⁷⁷ HORIE 2010, S. 289.

¹⁷⁸ HORIE 2010, S. 296f. DOWN 2001, S. 39-46. DAVISON 1984, S. 193.

¹⁷⁹ Ein Datenblatt zu Hysol 9455 befindet sich in Anhang 10.7.

¹⁸⁰ Die bis dato unveröffentlichten Forschungsarbeiten von Dipl.- Rest. Christiane Varchmin (M.A.) bezieht sich auf die Untersuchung verschiedener Epoxidharze. Insbesondere wurden Verarbeitungseigenschaften, physikalische und optische Eigenschaften untersucht.

Farblosigkeit dem Glasträger anpasst. Bei Alterungstests¹⁸¹ wurde festgestellt, dass das Material kaum zum Vergilben neigt und keine weiteren optisch sichtbaren Veränderungen durchläuft.¹⁸² Ein weiterer Vorteil des Produktes ist dessen Reversibilität. Es zeigte sich, dass sich das Material unter geringem mechanischen Aufwand von einer Fläche entfernen lässt.¹⁸³

Ablauf

Zunächst muss die ursprüngliche Klebposition gekennzeichnet werden. Dafür ist die Fügestelle mit einem farbigen Klebeband an der Kastenaußenseite zu markieren. Die alten Klebereste können vorsichtig mit einem Skalpell abgesprengt und die gläserne Fügefläche mit Alkohol entfettet werden. Nun kann der Klebstoff appliziert und das Pendel platziert werden. Bis der Verklebungsvorgang abgeschlossen ist, müssen die Fügeile durch Druckaufbau mit Hilfe von zwei kleinen Schraubzwingen zusammengehalten werden.

7.4. Anforderungen und Empfehlungen für die Montage und die Ausstellungssituation

Das Kunstwerk wird zukünftig in einem Flurgang eines Bürokomplexes der Stadtsparkasse Essen aufgestellt. Genaue Zeitangaben zur Nutzung dieses Flures liegen nicht vor. Es kann davon ausgegangen werden, dass mindestens werktags regelmäßig Personen an dem Kunstwerk vorbei laufen. Auch Angaben zur Ausstellungsdauer wurden bisher nicht gemacht. Aktuell wird davon ausgegangen, dass das Kunstwerk bis auf weiteres ausgestellt werden soll.

Montagesystem

In den Räumen der Sparkasse Essen wurde das Objekt bisher stehend auf einem weißen Sockel präsentiert.¹⁸⁴ Dabei wird das Kunstwerk durch sechs

¹⁸¹ Künstlich gealtert wurde das Material im Global-UV-Testgerät Typ UV200 an der Fachhochschule Köln (CICS). Die Materialproben wurden über 14 Tage UV-Strahlung bei 20 °C, 55 % relative Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Außerdem erfolgte über 28 Tage eine Klimaalterung bei 30 °C und schwankende rel. Luftfeuchtigkeit zwischen 30 – 85 %.

¹⁸² Frdl. schriftliche Mitteilung Dipl.- Rest. Christiane Varchmin (M.A.) (29.07.2013).

¹⁸³ Frdl. schriftliche Mitteilung Dipl.- Rest. Christiane Varchmin (M.A.) (29.07.2013).

¹⁸⁴ Frdl. schriftliche Mitteilung, Frau Dr. Katharina Schmidt-Ewig, Sparkasse Essen, Abteilung Kommunikation, Essen 18.06.2013. Die Standfläche wurde durch Abriebstellen identifiziert, vgl. Kapitel 3.2.

kleine Metallwinkel vor dem Umkippen gesichert. Diese Metallwinkel sind seitlich (zwei Stück) sowie vorne (zwei Stück) und hinten (zwei Stück) auf den Sockel geschraubt. Das Objekt kann zwischen diese Winkel passgenau eingelassen werden. Die Metallwinkel sind schwarz und passen sich dadurch optisch dem schwarzen Rahmen des Glaskastens an.

Der Vergleich zu anderen bemalten Glaskästen von Rebecca Horn zeigt zwei weitere Montageformen. Entweder das Objekt wird auf zwei Metallarmen stehend mit Wandabstand montiert oder es wird ohne Abstand direkt an die Wand gehängt.¹⁸⁵ Die Wahl eines unifarbenen Hintergrundes scheint in Anbetracht des technischen Aufbaus folgerichtig. Die teilweise schleierhaften Linien und Flecken der Darstellung und der Beschriftung können lediglich durch den Kontrast zu einem hellen Hintergrund ausreichend hervorgehoben werden.

Die Variante der Sparkasse, das Objekt auf einen Sockel zu stellen, ist konservatorisch als adäquat zu beurteilen. Der Kippschutz durch die Metallwinkel kann als sicher erachtet werden.

Klimasituation

Um thermisch und hygriisch bedingte Veränderungen der Objektkomponenten zu vermeiden, ist ein konstantes Umgebungsklima einzuhalten. Außerdem muss das Raumklima den Sorptionseigenschaften der Objektkomponenten angepasst werden. Besonders groß ist die Gefährdung durch Klimaschwankungen für den originalen Farbauftrag. Ein hohes Risiko stellt dabei die erhöhte relative Luftfeuchte für die Farbstoffe dar. In einem Vorversuch konnte beobachtet werden, dass die Farbstoffe des originalen Farbauftrages bei 22 °C und einer relativen Luftfeuchte von 75,9 % vollständig in Lösung gehen. Der Quellprozess, der beginnt bevor sich das Farbmateriale löst, dürfte schon bei geringen Werten der relativen Luftfeuchte einsetzen. Im Zusammenhang mit erhöhter relativer Luftfeuchte ist weiterhin zu berücksichtigen, dass der Glasträger schnell Wasserdampf adsorbiert, was in diesem Fall ein Risiko für Farbmateriale, Objektbeschriftung und die Verklebung der Pendelbefestigung darstellt. Durch Wasserdampf beeinflusste Ablösungsvorgänge vom Glasträger betreffen auch das Konservierungsmittel, welches im Zuge der vorgeschlagenen Konservierungsmaßnahme appliziert werden soll. In allen Fällen könnte der Adhäsionsverlust durch Anlagerung von Feuchtigkeit zwischen Glasträger und Originalmateriale die Folge sein. Auch die Holzelemente (Pendelkörper und

¹⁸⁵ Vgl. Kapitel 2.3.

Holzbefestigung) in dem Objektkasten reagieren durch Sorptions- und Desorptionsvorgänge mit Volumenänderung auf Feuchtigkeitsschwankungen. In Werten ausgedrückt, sollte die Raumtemperatur konstante 18 °C (max. 20 °C)¹⁸⁶ betragen und in 24 Stunden nicht um mehr als 2 °C von diesem Wert abweichen. Die relative Luftfeuchte ist auf konstante 50 % zu regulieren, wobei auch hier die Schwankungen nicht mehr als 2 % innerhalb von 24 Stunden betragen sollten. Aufgrund des sehr empfindlichen originalen Farbmaterials, sind bei erheblichen Abweichungen der relativen Luftfeuchte nach oben (etwa ab 55 % rF) umgehend Maßnahmen zur Senkung¹⁸⁷ dieser zu ergreifen. Zwecks Kontrolle empfiehlt sich die regelmäßige Überprüfung des Raumklimas mit Hilfe von Messgeräten.¹⁸⁸

Lightsituation

Die richtige Lightsituation hat hohe Priorität, um weitere optische Veränderungen der Farbmittel in dem Farbauftrag und der Objektbeschriftung zu vermeiden. Die spektrale Empfindlichkeit des Farbauftrages sowie der Objektbeschriftung gegenüber Licht ist als sehr hoch einzustufen. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass der Farbauftrag Farbstoffe enthält und ähnliche farbgebende Substanzen auch bei der bereits stark ausgebleichten Objektbeschriftung zu vermuten sind.¹⁸⁹ Farbstoffe sind je nach Substanz und Farbe extrem empfindlich gegenüber lichtinduzierten photochemischen Prozessen, wie der Photolyse oder Oxidationsreaktionen.¹⁹⁰ Vor diesem Hintergrund müssen die spektrale Zusammensetzung der Lichtquellen, die Beleuchtungsstärke sowie die Beleuchtungsdauer in der Umgebung des Objektes berücksichtigt werden. Da es keine Angaben zur genauen Umgebungssituation, der Nutzung des Flures und der Ausstellungsdauer gibt, wird eine Lightsituation empfohlen, von welcher langfristig das geringste konservatorische Risiko für das Kunstwerk ausgeht.

¹⁸⁶ Vgl. FUNCK 2008, S. 89. Die werte sind speziell auf die Materialien Glas und Holz bezogen.

¹⁸⁷ Zum Beispiel könnten aktive Klimageräte, wie Raumluftentfeuchter genutzt werden. Vgl. z.B. CWALLER <www.cwall.de> (07.07.2013), s.v. Konstantes Klima.

¹⁸⁸ Die feste Installation von Messgeräten am Ausstellungsort würde die Überprüfung und Dokumentation des Umgebungsklimas vereinfachen. Vgl. z.B. CWALLER <www.cwall.de> (07.07.2013), s.v. Messgeräte.

¹⁸⁹ Vgl. Kapitel 3.1.1 und Kapitel 3.2.

¹⁹⁰ Vgl. Kapitel 3.2.

Um die spektrale Zusammensetzung der Lichtquellen am Ausstellungsort nicht nur präventiv, sondern auch kontrolliert einzurichten ist Tages- und Sonnenlichteinfall unbedingt zu vermeiden. Auch abgedunkelte Fensterscheiben oder Filter- und Schutzfolien sind für dieses Objekt bzw. die verwendeten Farbstoffe äußerst ungünstig. Bei künstlichen Lichtquellen sollten UV- und IR-Anteile sowie kurzwelliges Licht herausgefiltert werden.¹⁹¹ Sofern die künstlichen Leuchtmittel die benannten Lichtanteile nicht filtern, müssen diese entsprechend ausgerüstet werden.¹⁹² Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle erwähnt, dass auch wärmeerzeugende künstliche Lichtquellen nicht verwendet werden sollten.

Die Beleuchtungsstärke muss weitestgehend herabgesetzt werden. Dabei ist neben den konservatorischen Anforderungen auch eine „besucherfreundliche“ Ausleuchtung des Werkes zu berücksichtigen. Das Kunstwerk soll dem Betrachter, trotz schonender Beleuchtung, ästhetisch ansprechend und lesbar präsentiert werden. In diesem Fall wird eine maximale Beleuchtungsstärke von 50 Lux empfohlen.¹⁹³

Durch die zeitliche Begrenzung der Beleuchtung soll die Beleuchtungsdauer auf ein mögliches Minimum herabgesetzt werden. Ratsam wäre es, das Kunstwerk nur dann zu beleuchten, wenn die Besichtigung dessen stattfindet. Da aber eine unregelmäßige nicht kontrollierbare Nutzung des Flures zu vermuten ist, empfiehlt sich ein Bewegungsmelder. Das Kunstwerk sollte immer gänzlich unbeleuchtet sein, wenn der Flur nicht genutzt wird. Die Beleuchtungsdauer ist im Durchschnitt auf möglichst wenige Stunden pro Tag zu reduzieren.

¹⁹¹ HILBERT 2002, S. 106.

¹⁹² Bei der Ausrüstung mit Filter- und Schutzfolien kann der Kantenfilter als Anhaltspunkt genommen werden. Ein Kantenfilter zwischen 380 und 420 nm filtert das ungünstige Blaue und Violette Licht heraus. Im Falle von Schwarz-Weiß-Darstellung oder monochromen Oberflächen verändert sich die Farbwiedergabe bis zu 450 nm nicht merklich. Da die Blauanteile herausgefiltert werden, wird das Licht aber gelblicher. HILBERT 2002, S. 106. Wichtig bei der Verwendung von Filter- und Schutzfolien sind die Herstellerangaben zur Haltbarkeit der Materialien. Vgl. z.B. CWALLER <www.cwall.de> (07.07.2013), s.v. UV-Schutzfolie.

¹⁹³ Eine Beleuchtungsstärke von 50 Lux ist ein Kompromiss zwischen visueller Wahrnehmbarkeit und dem Schädigungspotential für Kunstwerke. THOMSON 1986, S. 33. Hingegen schreibt HILBERT, dass zwischen 40 – 60 Lux Kunstwerk lediglich wahrgenommen wird und erst zwischen 60 – 100 Lux der Gesamteindruck eines Werkes vermittelt werden kann. HILBERT 2002, S. 73. Für Wege in Gebäuden mit Personenverkehr ist eine Beleuchtungsstärke von 50 Lux aber wohl üblich. HILBERT 2002, S. 43.

Um ein Langzeitkonzept für die Lichtsituation für das Kunstwerk zu entwickeln, müssen die verschieden unbekanntenen Aspekte (z.B. Genauer Standort, Beleuchtungsdauer, Lichtquelle etc.) definiert werden. Zur Kontrolle könnten dann zusätzlich Lichtmessungen, z.B. zur Überprüfung der Beleuchtungsstärke und des UV- Anteils eingesetzt werden.¹⁹⁴

7.5. Empfehlungen für Wartung und Handling

Die Kontrolle und Dokumentation des Erhaltungszustandes sollte mindesten einmal jährlich durchgeführt werden. Insbesondere sind drei Aspekte zu untersuchen:

1. Die optische Veränderung von Farbauftrag und Objektbeschriftung.
2. Die Stabilität des Farbauftrages bzw. der konsolidierten Bereiche.
3. Die Stabilität der Verklebung zwischen Pendel und Glasträger.

Außerdem ist eine regelmäßige Pflege durch vorsichtiges trockenes Entstauben der Außenseite unter Zuhilfenahme eines einfachen Staubtuches zu empfehlen. Je nach Umgebungsbedingungen ist die Pflege alle drei Monate durchzuführen. Alle Arbeiten am Objekt müssen mit Handschuhen ausgeführt werden. Weiterführende Reinigungsmaßnahmen, Montage, Handling und das Öffnen des Objektkastens sollte ausschließlich durch Fachpersonen geschehen.

¹⁹⁴ Vgl. z.B. CWALLER <www.cwall.de> (07.07.2013), s.v. Messgeräte.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Maßnahmenkonzept zur Restaurierung für *LA FERDINANDA (in der Mitte des Ozeans...)* entwickelt. Durch die künftige Umsetzung der geplanten Maßnahmen kann, entsprechend der Zielsetzung, der Erhalt des Kunstwerkes gesichert und die Ausstellungsfähigkeit wieder hergestellt werden.

Die Hauptproblematik ist die Konsolidierung der degradierten, instabilen Tinte auf dem Glaträger. Infolge der Untersuchung und Charakterisierung der originalen Objektkomponenten Tinte und Glas wurden Auswahlkriterien für ein Klebemittel-Lösemittel-System sowie für die Applikationsmethode zur Durchführung einer effektiven Konsolidierung herausgearbeitet.

Aufgrund der Durchsichtigkeit des Glaträgers sind optischen Auswahlkriterien, wie die Transparenz, die Farblosigkeit und der Glanz des Konsolidierungsmittels ausschlaggebend. Um die Farbstoffe in der Tinte nicht durch Löseprozesse zu gefährden, kann nur eine relativ unpolare Konsolidierungslösung ($P^* 2,5$ als Richtwert, unter Berücksichtigung der Verdunstungseigenschaften) eingesetzt werden. Das gute Adhäsionsvermögen zum Glaträger muss ebenfalls garantiert werden. Auf Basis dieser Auswahlkriterien konnte schließlich eine Vorauswahl aus sieben Konsolidierungslösungen getroffen werden.

Diese Konsolidierungslösungen wurden anschließend technisch überprüft. Relevant war dabei die Kompatibilität mit der geeigneten Applikationsmethode. Die Versuche haben ergeben, dass die adäquate Applikation des Konsolidierungsmittels einzig mit dem BELO Dosiergerät erreicht werden kann. Mit Hilfe der sehr feinen Dosiernadel mit einem Innendurchmesser von 0,11 mm können geringe Mengen des Konsolidierungsmittels präzise appliziert werden. Dadurch besteht die Möglichkeit einer weitestgehend berührungsfrei Konsolidierungsmaßnahme, was aufgrund der Fragilität des degradierten Farbmaterials erforderlich ist. Darüber hinaus wurden die ausgewählten Konsolidierungsmittel hinsichtlich der optische Veränderung und des Adhäsionsvermögens gegenüber Glas nach der künstlichen Alterung untersucht. Die besten Ergebnisse in allen Kategorien erzielte die Konsolidierungslösung bestehend aus dem siliciumorganischen ORMOCER-G (Ethylacetat : 2-Butoxythanol, 2:1) und Paraloid B72 (80:20) gelöst in dem schnellflüchtigen Lösemittel Ethylacetat. ORMOCER-G kann aufgrund seiner organisch-anorganischen Eigenschaften stabile adhäsive Verbindungen zu anorganischen (Glas) und organischen (Farbauftrag) Materialien ausbilden.

Ein weiterer Aspekt, der die Konzeptentwicklung beeinflusste, war die Absicht der Künstlerin ihr Werk eigenhändig bearbeiten zu wollen. Infolgedessen wurde das *decision-making model* genutzt, um Aspekte wie die Künstlerintention, den Erhaltungszustand des Originals, Richtlinien der Restaurierung sowie die Rechtsprechung gegenüber zu stellen und lösungsorientiert zu diskutieren. Aus restaurierungsethischer Sicht ist ein aktiver Eingriff im Sinne einer Restaurierung notwendig, um den voranschreitenden Substanzverlust zu verhindern, vorhandene originale Substanz zu sichern und die Ausstellungsfähigkeit wieder herzustellen. Bei den Recherchen zur rechtlichen Situation wurde deutlich, dass der Eigentümer (in diesem Fall die Stadtparkasse Essen) frei über sein Objekt verfügen kann. Die Künstlerin hat als Urheberin lediglich das Recht Abstand von der Zuschreibung ihres Objektes zu nehmen, wenn die Darstellung durch eine unsachgemäße Bearbeitung entfremdet wurde. Der Restaurator verfolgt im Rahmen seines Berufsethos immer das Ziel, trotz möglicher aktiver Eingriffe, den geistigen Gehalt des Kunstwerkes zu schützen. Auf diese Weise konnte schließlich die begründete Zielsetzung für die vorgeschlagenen Maßnahmen gegenüber den Absichten der Künstlerin formuliert werden.

Ausblick

Zum Thema Festigung oder Konsolidierung von Farbschichten auf Glas und anderen nicht saugenden Untergründen gibt es nur wenig Fachliteratur. Kaum Berücksichtigung findet der Themenbereich polar löslicher Materialien, wie Tinten, auf Glas oder anderen nicht saugenden Untergründen. Die Untersuchungen der allgemeinen Materialeigenschaften, des Alterungsverhaltens und materialspezifischer Schadensbilder von Tinten oder ähnliche Farbmaterialien auf nicht saugenden Untergründen wären erstrebenswert. Bezogen auf die Konsolidierung sind außerdem weiterführende Untersuchungen zu den Kriterien wirksamer Adhäsionsmechanismen (z.B. Oberflächenspannung und Benetzung) notwendig, um Festigungs- oder Konsolidierungsmittel und Anwendungsmethoden gezielter und effektivere einsetzen zu können.

Die Applikationsmethode mit dem BELO Dosiergerät ist für die Anwendung an sehr fragilen Farbschichten sehr vielversprechend. Die technische Optimierung hinsichtlich der Kontrolle der Parameter sowie der Anwendung verschiedenster Aufsätze ist allerdings noch ausbaufähig. Die Applikation von Konsolidierungslösungen in Form von Aerosolen mittels Ultraschallvernebler sollte zukünftig nicht vernachlässigt werden. Für die Maßnahme an dem Kunstwerk von Rebecca Horn wurde diese Methode zwar ausgeschlossen, jedoch wird in diesem Bereich aktiv

geforscht, wobei Geräte für das Vernebeln wässriger aber auch nicht-wässriger Klebemittelsysteme untersucht werden.¹⁹⁵

ORMOCER-G ist als Rezeptkomponente für die Festigung oder Konsolidierung zwischen organischen und anorganischen Materialien, im speziellen für die Anwendung auf Glas, sehr vorteilhaft. Die Untersuchung der Eigenschaften der Materials (z.B. der Trocknung), einer größeren Bandbreite an Anwendungsmöglichkeiten und verschiedener Rezeptkonstitutionen wäre sinnvoll.

Die Festigung oder Konsolidierung von Farbschichten auf Glas oder nichtsaugenden Untergründen betrifft nicht nur den Fachbereich der Glas- oder Hinterglasmalerei. In der Modernen und zeitgenössischen Kunst ist dieser Themenkomplex, wie das in dieser Arbeit behandelte Kunstwerk deutlich macht, ebenfalls von großer Bedeutung. Die Künstler arbeiten viel experimenteller mit Farb- und Trägermaterialien, sodass in der Konservierungs- und Restaurierungspraxis immer wieder vergleichbare Haftungsproblematiken zwischen Farbschicht und Träger auftreten dürften. Insofern sind die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit und die geplante Konsolidierungsmaßnahme ein möglicher Lösungsweg und als ein wichtiger Ansatz in der Auseinandersetzung mit dieser Thematik zu verstehen. Darauf aufbauende wäre die vertiefende wissenschaftliche Zuwendung zu diesem Themenfeld wünschenswert, um infolgedessen eine Basis für den Umgang mit vergleichbaren konservatorischen Problemfällen zu schaffen.

¹⁹⁵ 2011 entwickelte Dr. Dipl.-Rest. Andrea Pataki-Hundt einen neuen Typ eines Aerosolgenerators, den sog. Patulizer. Dr. Dipl.-Rest. Andrea Pataki-Hundt ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Staatliche Akademie der Bildenden Künste in Stuttgart und eine Expertin bezüglich der Anwendung von Aroseolen für die Konsolidierung/Festigung von Farbschichten.

9. Verzeichnisse

9.1. Literaturverzeichnis

AGNINI 1999

Elena Agini: Hinterglasbilder. Erfahrungen bei der Konservierung, Restaurierung und Montierung. In: *Restauro*. Juli, August 1999/4. S. 258 – 265.

ASANOGLU, LEARNER 2001

Julie Asanoglu, Tom Learner: The evaluation of Laropal A81 : Paraloid B72 polymer blend varnishes for painted and decorative surfaces – appearance and practical considerations. In: *The Conservator*. Hrsg.: Irit Narkiss. Nr. 25, Manchester 2001.

BEUNEN 1999

Annemarie Beunen: Moral rights in modern art: an international survey. In: *Modern art: Who cares?. An interdisciplinary research project and an international symposium on the conservation of modern and contemporary art*. Hrsg.: Ijsbrand Hummelen, Dionne Sillé. Amsterdam 1999, S. 222 - 232.

BROZIO 2007

Patricia Brozio: Kunstfälschung, Urheberpersönlichkeitsrecht und Restaurierung. In: *Restauro* 2007/7. S. 422 – 426.

DAVISON 1984

Sandra Davison: A Review of Adhesives and Consolidation used on Glass Antiques. In: *Adhesives and Consolidants*. Hrsg. N.S. Brommelle, Elizabeth M. Pye, Perry Smith, Garry Thomson. IIC Tagungsband. London 1984. S. 191 - 193.

DE LA RIE et al. 1990

E. Rene de la Rie, Christopher W. McGlinchey: New synthetic resins for picture varnishes. In: *IIC Cleaning, Retouching and Coatings. Preprints of the Contributions to the brussels Congress, 3 - 7 September 1990*. Hrsg.: John S. Mills, Perry Smith. London 1990. S. 168 - 174.

DEMUTH 1994

Petra Demuth: Möglichkeiten der Behandlung von Beschädigungen durch Kugel- und Faserschreiber. Dargestellt an ausgewählten Objekten der modernen Kunst. Diplomarbeit. Unveröffentlicht. Fachhochschule Köln 1994.

DIERKS-STAIGER 1996

Dierks-Staiger, Regine: Anwendung von Aerosolen zur Konsolidierung von Gouachemalerei auf Papier. Veröffentlichte Diplomarbeit. Stuttgart 1996.

DOWN 2001

Jane L. Down: Review of CII research on epoxy resin adhesives for glass conservation. In: Review in Conservation (2), 2001, S. 39 - 49.

ERBIL 2006

Yildirim Erbil: Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces. Oxford 2006.

ERICHSEN 2007

Firma Erichsen: Filmziehgerät. Technische Beschreibung. Erichsen GmbH & Co. KG 2007.

FELLER, WILT 1990

Robert L. Feller, Myron Wilt: Evaluation of Cellulose Ethers for Conservation. Hrsg.: The Getty Conservation Institute. Los Angeles 1990.

FUCHS 2010

Robert Fuchs: Analyse von Tinten und Tuschen. Eine archäometrische Herausforderung. In: Praxis der Naturwissenschaften. Chemie in der Schule. Chemie und Archäologie. Heft 5, Jahrgang 59, Hallbergmoos 2010. S. 27 – 34.

FUNCK 2008

Andrea Funck: Die Chemieausstellung im Deutschen Museum München. Präventive Konservierung als Ausgangspunkt für die Neukonzeption der Ausstellung. Saarbrücken 2008.

GLEICH 2004

Henning Gleich: Zusammenhang zwischen Oberflächenenergie und Adhäsionsvermögen von Polymerwerkstoffen am Beispiel von PP und PBT und deren Beeinflussung durch Niederdruck-Plasmatechnologie. Dissertation. Duisburg 2004.

GRUSDEW et al. 2011

Nathalie Grusdew, Anke Pella, Stefanie Scheerer: Lose gebundene Malschichten auf Gemälden von Yves Klein. Möglichkeiten der Konsolidierung. In: *Restauro.* 2011/4. S. 40 - 45.

HABENICHT 2009

Gerd Habenicht: *Kleben. Grundlagen, Technologien, Anwendungen.* 6. aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg 2009.

HABENICHT 2012

Gerd Habenicht: *Kleben – erfolgreich und fehlerfrei. Handwerk, Praktiker, Ausbildung, Industrie.* 6. Auflage. Wiesbaden 2012.

HAENLEIN 1997

Carl Haenlein: „Ein Gespräch mit Rebecca Horn“ In: Rebecca Horn. *The Glance of Infinity.* Ausstellungskatalog. Hrsg.: Carl Haenlein. Bd.1. Hannover 1997. S. 15-19.

HILBERT 2002

Günter S. Hilbert: *Sammlungsgut in Sicherheit. Beleuchtung und Lichtschutz Klimatisierung Schadstoffprävention Schädlingsbekämpfung Sicherungstechnik Brandschutz.* 3. Auflage. Berlin 2002.

HOECHST 1993

Ein Leitfaden durch die Spezialgebiete. Hrsg. von Hoechst Aktiengesellschaft. Frankfurt am Main 1993.

HORIE 2010

Velson Horie: *Material for Conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings.* 2. Ausgabe. Oxford 2010.

HORN 1981

Rebecca Horn: *LA FERDIANANDA.* Sonate für eine Medici-Villa. Rauminstallation und Film. 09. August – 13. September 1981
Ausstellungskatalog. Kunsthalle Baden-Baden 1981.

HUMMELEN, SILLÉ 1999

Ijsbrand Hummelen, Dionne Sillé (Hrsg.): Modern art: Who cares?
An interdisciplinary research project and an international symposium on
the conservation of modern and contemporary art. Amsterdam 1999.

JÄGERS et al. 2000

Elisabeth Jägers, Hannelore Römich, Carola Mueller – Weinitschke:
Konservierungsmaterialien und Methoden. In: Restaurierung und Konservierung
historischer Glasmalereien. Ein Förderprojekt des Bundesministeriums für
Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Hrsg.: Arnold Wolff. Mainz
2000. Seite 129 – 166.

KÜHN 2001

Hermann Kühn: Erhaltung und Pflege von Kunstwerken. Material und Technik,
Konservierung und Restaurierung. 3. Auflage. München 2001.

MAGIN 2002

Claudia Magin: „Durchsichtige Verguldungen“ Blattmetall hinter Glas.
Schadensbilder und Möglichkeiten der Restaurierung. Untersuchung von
Konsolidierungsmitteln auf ihre Eignung. In: ZKK. Zeitschrift für Kunsttechnologie
und Konservierung. 2002/2. S. 307 – 335.

MATTEINI, MOLES 1995

Mauro Matteini, Arcangelo Moles: Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden in der Restaurierung. München 1995.

MAUSHARDT 2004

Kathrin Maushardt: Methylcellulose als Klebemittel für die Malschichtfestigung
auf Leinwand. Unveröff. Diplomarbeit. Staatliche Akademie der Bildenden Künste.
Stuttgart 2004.

MÖSL 1995

Kristina Mösl: Über Netzmittel und ihren Einfluss auf die Malschichtfestigung.
Diplomarbeit. Fachhochschule Köln 1995.

MÜLLER et al. 1997

Dr. rer. nat. Wolfgang Müller, Dr.- Ing. Manfred Torge, Dr.- Ing. Detlef Kruschke, Dipl. - Ing. Karin Adam: Sicherung, Konservierung und Restaurierung historischer Glasmalereien. Forschungsbericht 217. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. Berlin 1997.

NEWHEY ET AL. 1992

Charles Newey, Ruth Boff, Vincent Daniels, Michael Pascoe, Norman Tennant: Adhesives and Coatings. In Science for Conservators Volume 3. London, New York 1992.

NICHOLSON, MERRITT 1985

M. N. Nicholson, F. M. Merritt: Celluloseethers. In: Cellulose Chemistry and its applications. Hrsg.: Thomas Percy Nevell und S. Haig Zeronian, New York/ Chichester/ Brisbane/ Toronto 1985.

PIETSCH 2002

Annik Pietsch: Lösemittel. Ein Leitfaden für die restauratorische Praxis. In: VDR Schriftreihe zur Restaurierung. Band 7. Stuttgart 2002.

RENZ 2005

Roberta Renz: Hinterglasbilder. Technologie Untersuchung Konservierung. Wien Köln Weimar 2005.

RICHTER et al. 1988

Hannelore Richter, Dieter Renno, Lothar Volkhardt, Martin Hübscher: Glas. Werkstoffkunde. Leipzig 1988.

ROTH 2008

Jan Roth: Funktionalisierung von Silikonoberflächen. Dissertation Technische Universität Dresden 2008.

SAUR AKL 1997

Saur allgemeines Künstlerlexikon. Hrsg.: K. G. Saur. Bd. 15. München 1997.

SCHACK 2004

Haimo Schack: Kunst und Recht. Bildende Kunst, Architektur, Design und Fotografie im deutschen und internationalen Recht. Köln 2004.

SCHRAMM, HERING 1995

Hans-Peter Schramm, Bernd Hering: Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung. Hrsg.: Ulrich Schießl. Bücherei der Restauratoren. Band 1. Stuttgart 1995.

SEGGEMAN 2000

Natalia C. A. Seggerman: Festigung von blätternden Malschichten an Hinterglasbildern am Beispiel von „Mensch am Fluss“, 1913 von Carlo Mense. Diplomarbeit. Fachhochschule Köln. 2000.

THOMSON 1986

Garry Thomson: The Museum Environment. Second Edition. Oxford 1986.

TORGE et al. 2003

Manfred Torge, Wolfgang Müller, Karin Adam, Ines Feldmann, Detlef Kruschke: Verbräunung mittelalterlicher Glasmalereien. Wie wirkt Hydrazin?. In: Restauro. 2003/8. Seite 582 – 588.

ZIEGLER 2000

Inga Ziegler: Hydrierte Kohlenwasserstoffe als pigmentierte Retuschierbindemittel. Möglichkeiten ihrer Anwendung und Vergleich mit 53 ausgesuchten synthetischen Bindemitteln. Diplomarbeit Fachhochschule Köln 2000.

Verwendete Internetquellen

ARTIMINO <www.artimino.com> (05.07.2013)

Artimino Tuscany Medici Villa: <http://www.artimino.com/index.php/artimino_de/villa_medicea> (05-07.2013).

ASHLAND <www.ashland.com> (03.11.2012)

Ashland 2012: <<http://www.ashland.com/products/aqualon-ethylcellulose>> (03.11.2012).

CWALLER <www.cwaller.de> (07.07.2013)

Long Life for Art: <<http://www.cwaller.de/deutsch.htm>> (07.07.2013).

ECCO <www.encore-eu.org> (29.05.2013)

European Confederation of Conservator-restorers' Organisations 2011: <http://www.encore-edu.org/ecco1.html?tabindex=3&tabid=170> (29.05.2013).

FRAUENHOFER-ISC <www.ormocer.de> (03.11.2012)

Fraunhofer- Institut für Silicidforschung ISC (7/2007): <<http://www.ormocer.de/herstellungsverfahren.html>>. (03.11.2012).

ICOM-CC <www.icom.museum> (29.05.2013)

International Council of Museums-Committee for Conservation: <<http://www.icom.museum/242/about-icom-cc/what-is-conservation/#.UaYW2qyy-1s>> (29.05.2013).

KREMER PIGMENTE <www.kremer-pigmente.de> (26.10.2012)

Kremer Pigmente (2004): <www.kremer-pigmente.de> (26.10.2012).

MATERIAL ARCHIV <www.materialarchiv.ch> (25.05.2013)

Materialarchiv, Datenbank (2008): <<http://www.materialarchiv.ch/#/detail/287/floatglas>> (25.05.2013).

REBECCA HORN <<http://www.rebecca-horn.de>> (27.12.2011)

Horn, Rebecca, 2011, <www.rebecca-horn.de> (27.12.2011).

UrhR 2012 <www.gesetze-im-internet.de> (18.04.2013 und 28.04.2013)

Bundesministerium der Justiz (2012): <www.gesetze-im-internet.de> (18.04.2013 und 28.04.2013).

BGB 2013, <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (28.04.2013)

Bundesministerium der Justiz (2013): <<http://www.gesetze-im-internet.de>> (28.04.2013).

VDR <www.restauratoren.de> (29.05.2013)

Verband der Restauratoren e.V., 2011: <<http://restauratoren.de/ausbildung.html>> (29.05.2013)

9.2. Normative Verweise

ISO 9957-1: Flüssige Zeichenmedien; Wässrige Zeichentusche; Anforderungen, Prüfbedingungen (1993).

ISO 9957-2: Flüssige Zeichenmedien; Wässrige Zeichentinte; Anforderungen und Prüfbedingungen (1993).

DIN ISO 8037-1: Optik und optische Instrumente - Mikroskope; Objektträger: Maße, optische Eigenschaften und Kennzeichnung (2005).

ASTMD 4708: Herstellung von Filmen aus organischen Überzügen für die Durchführung von Prüfungen (2012).

ASTMD 823: Prüfung von Anstrichstoffen, Lacken und ähnlichen Beschichtungstoffen; Herstellung von Anstrichen gleichmäßiger Schichtdicke auf Probenplatten (1995).

DIN EN ISO 4892-3 (2011): Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten: UV-Leuchtstofflampen (2011).

DIN 6167: Beschreibung der Vergilbung von nahezu weißen oder nahezu farblosen Materialien (1980-81).

DIN ISO 2409: Beschichtungstoffe – Gitterschnittprüfung (2013).

9.3. Abkürzungen

| | |
|--------|---|
| Abb. | Abbildung |
| BI | Brechungsindex |
| DC | Dünschichtchromatografie |
| EC | Ethylcellulose |
| ECCO | European Confederation of Conservator-restorers' Organisations |
| Fa. | Firma |
| FTIR | Fourier-Transformations-Infrarot |
| G | Gelbwert |
| ICOM | International Council of Museums |
| Kap. | Kapitel |
| Kart. | Kartierung |
| KG | Kommanditgesellschaft |
| kJ/mol | Kilojoule pro Mol |
| L | Lösung (Konsolidierungslösung) |
| MEK | Methylethylketon |
| mJ/mol | Millijoule pro Mol |
| mN/m | Millinewton pro Meter |
| nm | Nanometer |
| P` | Polaritätsfaktor |
| PK | Probekörper |
| rF | Relative Luftfeuchte |
| Rn | Randnummer |
| SGB | Siedegrenzbenzin |
| Std. | Stunde |
| Tab. | Tabelle |
| Tg | Glasübergangstemperatur |
| UrhG | Urheberrechtsgesetz |
| V | Vergabungszahl |
| VDR | Verband der Restauratoren |

9.4. Abbildungsnachweis

| Abb.-Nr. | Titel | Quelle | Kap. |
|----------|---|--------------------------|-------|
| 1 | Gesamtaufnahme des liegenden Objektes; Die Standfläche befindet sich vorne bzw. die Rückseite oben. | von der Autorin erstellt | 2. |
| 2 | Einzelaufnahme des herabgefallenen Pendels; Das Pendel war innen an der oberen Scheibe befestigt; Von vorne betrachtet hing das Pendel rechtsseitig im Objektkasten herab. | von der Autorin erstellt | 2. |
| 3 | Rückseitige Aufnahme der zeichnerischen Darstellung auf der inneren Schauseite. | von der Autorin erstellt | 2.3 |
| 4 | Gesamtaufnahme des Vergleichsobjektes „Objekt zu La Ferdinanda“ (1981) aus der Sammlung Peter Raue, Berlin. | von der Autorin erstellt | 2.3 |
| 5 | Fotocollage aus Aufnahmen des Objektkastens; Exemplarisch sind verschiedene Einzelelemente des Objektkastens abgebildet und deren Position markiert. | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 6 | Fotocollage aus Aufnahmen des Farbauftrages; Links unten ist die raue Oberflächenwirkung und rechts unten der strukturellen Aufbau des Farbauftrages (Maßstab: 0,25 mm) deutlich erkennbar. | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 7 | Skizze mit der schematischen Darstellung der verschiedenen Farbstoffteilchen und deren Anordnung auf dem Glasträger. | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 8 | Detailaufnahme der fein gezeichneten Kreis- und Spirallinien (Maßstab: 0,25 mm). | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 9 | Detailaufnahme der dick aufgetragenen Flecken (Maßstab 0,25 mm). | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 10 | Mikroskopaufnahme des Ergebnisses des Löslichkeitstest mit Wasser (dest.); Das gelöste blaue sowie gelbe Farbmateriale ist eindeutig erkennbar (Maßstab: 2mm). | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 11 | Aufnahme eines DC-Chromatogrammes mit Originalmaterial; Die deutlichste Trennung der blauen und gelben Farbmittel konnte mit Ethanol als Fließmittel erreicht werden. | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |

| | | | |
|----|--|--------------------------|-------|
| 12 | Aufnahme eines DC-Chromatogrammes mit allen Testsubstanzen und Ethanol als Fließmittel; Die Farbformationen der Vergleichssubstanzen (Nr. 2-5) zeigen keine Übereinstimmung mit der des Originalmaterials (Nr. 1). | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 13 | Fotocollage aus Aufnahmen des Objektkastens und der Beschriftung auf den Scheiben; Dargestellt werden eine Partie der innen liegenden Objektbeschriftung (Nr. I und II) und der Datierung / Signatur (Nr. III) sowie deren Position im Objektkasten. | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 14 | Detailaufnahme des Pendelkörpers (bzw. Wurfkreisels). | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 15 | Fotocollage aus Aufnahmen der Aufsicht (oben) und der Unteransicht (unten) der Befestigungsleiste des Pendels. | von der Autorin erstellt | 3.1.1 |
| 16 | Seitenansicht (links) des Objektkastens im Durchlicht; Die Verschmutzung der Scheiben ist aus dieser Perspektive deutlich zu erkennen; Links im Bild (obere Scheibe) zeichnet sich die Fügefläche des Pendels auf dem Glas ab. | von der Autorin erstellt | 3.2 |
| 17 | Detailaufnahme der Fügefläche des Pendels mit alten Klebstoff- und Farbresten an der oberen Scheibe (innen). | von der Autorin erstellt | 3.2 |
| 18 | Fotocollage aus Detailaufnahmen des Metallrahmens; Exemplarisch sind Beispiele für die mechanische Beschädigung an der schwarzen Metallrahmenfassung zu sehen. | von der Autorin erstellt | 3.2 |
| 19 | Detailaufnahme der linken vorderen Ecke an der Standfläche; Erkennbar ist der Abrieb bis auf den Metallträger. | von der Autorin erstellt | 3.2 |
| 20 | Detailaufnahme der Innenseite (unten) des Objektkastens; An der Glasscheibe und in den Ecken befinden sich unzählige Partikel des heruntergefallenen Originalmaterials. | von der Autorin erstellt | 3.2 |
| 21 | Fotocollage aus Aufnahmen des Farbauftrages; Erkennbar sind Detailaufnahmen der verschiedenen Stadien des Erhaltungszustand sowie deren Lokalisierung am Objekt. | von der Autorin erstellt | 3.2 |
| 22 | Fotocollage aus Aufnahmen des Farbauftrages; Die Pfeile weisen auf die optischen Veränderungen bzw. die Bereiche mit den bräunlichen Flecken hin. | von der Autorin erstellt | 3.2 |

| | | | |
|----|--|--|-------|
| 23 | Detailaufnahme eines gut lesbaren Bereiches der Objektbeschriftung. | von der Autorin erstellt | 3.2 |
| 24 | Detailaufnahme eines ausgebleichten Bereiches der Objektbeschriftung. | von der Autorin erstellt | 3.2 |
| 25 | decision-making model. © 1999 Foundation for Conservation Modern Art Amsterdam, Netherlands. | <i>Modern art: Who cares?</i> 1998, S. 165. | 4. |
| 26 | Schematische Darstellung der wirkenden Kräfte bei einer Verklebung. Die Grenzschichten sind hier durch die aufeinander gerichteten Pfeile dargestellt. Aus: HABENICHT 2012, S. 60. | HABENICHT 2012, S. 60. | 5.1.2 |
| 27 | Möglichkeit zur Bewertung der Benetzung in Abhängigkeit vom Randwinkel einer Flüssigkeit auf einer Fläche. Aus: HABENICHT 2012, S. 56. | HABENICHT 2012, S. 56. | 5.1.2 |
| 28 | Aufnahme des BELO Dosiergerätes (rechts) mit einer VIEWEG Dosiernadel (links). | von der Autorin erstellt | 6.1.2 |
| 29 | Mikroskopaufnahme des Konsolidierungsergebnisses mit LII (Paraloid B72); Die Pfeile zeigen auf Lufteinschlüsse, welche sich um die Farbstoffteilchen herum gebildet haben (Maßstab: 2 mm). | von der Autorin erstellt | 6.1.2 |
| 30 | Mikroskopaufnahme des Konsolidierungsergebnisses mit LIV (ORMOCERE-G/Paraloid B72). Das Benetzungsvermögen ist adäquat und es haben sich kaum Lufteinschlüsse gebildet (Maßstab: 2mm). | von der Autorin erstellt | 6.1.2 |
| 31 | Mikroskopaufnahme des Konsolidierungsergebnisses mit LV (Aquazol 500); Es haben sich deutlich sichtbare Luftbläschen an der Filmoberfläche gebildet (Maßstab: 2 mm). | von der Autorin erstellt | 6.1.2 |
| 32 | Mikroskopaufnahme des Konsolidierungsergebnis mit LVII (Tecero-Wachs 30201/30410); Die Pfeile weisen auf den weißlichen Schleier hin (Maßstab: 2 mm). | von der Autorin erstellt | 6.1.2 |
| 33 | Bewertungssystem zur Gitterschnittprüfung der Fa. TQC GmbH. | Datenblatt, Gitterschnittprüfer, Fa. TQC GmbH, S. 3. | 6.2.2 |

| | | | |
|----|---|--------------------------|-------|
| 34 | Aufnahme der Gitterschnittprüfung an LVI (ORMOCER_G/Paraloid B72); Exemplarisches Beispiel für die Bewertungskategorie 0. | von der Autorin erstellt | 6.2.2 |
| 35 | Aufnahme der Gitterschnittprüfung an LII (Paraloid B72); Exemplarisches Beispiel für die Bewertungskategorie 4.. | von der Autorin erstellt | 6.2.2 |
| 36 | Aufnahme der Gitterschnittprüfung an LI (AC N100); Exemplarisches Beispiel für die Bewertungskategorie 5 | von der Autorin erstellt | 6.2.2 |
| 37 | Skizze der Arbeitskonstruktion für die Konsolidierungsmaßnahme. | von der Autorin erstellt | 7.1 |
| 38 | Gesamtaufnahme des liegenden Objektes; Die Oberseite befindet sich vorne. | von der Autorin erstellt | 10.1 |
| 39 | Teilaufnahme des liegenden Objektes; Die linke Seite befindet sich vorne | von der Autorin erstellt | 10.1 |
| 40 | Teilaufnahme des liegenden Objektes; Die rechte Seite befindet sich vorne. | von der Autorin erstellt | 10.1 |
| 41 | Teilaufnahme des Pendelkörpers bzw. des Wurfkreisels des Vergleichsobjektes; „Objekt zu La Ferdinanda“ (1981); Sammlung Peter Raue, Berlin. | von der Autorin erstellt | 10.1 |
| 42 | Detailaufnahme des Farbauftrages des Vergleichsobjektes; "Objekt zu La Ferdinanda" (1981); Sammlung Peter Raue, Berlin. | von der Autorin erstellt | 10.1 |
| 43 | Detail, Farbauftrag, optische Veränderungen, Vergleichsobjekt, „Objekt zu La Ferdinanda“ (1981), Sammlung Peter Raue. | von der Autorin erstellt | 10.1 |

9.5. Tabellennachweis

| Tab. - Nr. | Titel | Quelle | Kap. |
|------------|---|---|-------|
| 1 | Chemische Zusammensetzung typischer Massengläser. Nach: RICHTER et al., S. 93 und MATERIAL ARCHIV < http://www.materialarchiv.ch > (25.05.2013), s.v. Floatglas. | RICHTER et al., S. 93, MATERIAL ARCHIV < http://www.materialarchiv.ch > (25.05.2013), s.v. Floatglas | 3.1.1 |
| 2 | Molekulare Voraussetzung, Wechselwirkungsarten und Stärke der verschiedenen Bindungsenergien, Nach: ROTH 2008, S. 8. | ROTH 2008, S. 8 | 5.1.2 |
| 3 | Oberflächenenergien ausgewählter Werkstoffe. Nach: HABENICHT 2006, S. 343. | HABENICHT 2006, S. 343. | 5.1.2 |
| 4 | Getestete Lösemittel mit Polaritätsfaktor und Verdunstungszahl. Nach: PIETSCH 2002. | PIETSCH 2002. | 5.3.1 |
| 5 | Ergebnisse der Löslichkeitstests mit reinen Lösemitteln. | von der Autorin erstellt | 5.3.1 |
| 6 | Gegenüberstellung der Oberflächenspannung (nach: PIETSCH 2002, S. 109) und der Ergebnisse des „Spreittests“. | PIETSCH 2002, S. 109 | 5.4 |
| 7 | Ausgewählte Klebmittel-Lösemittel-Systeme. | von der Autorin erstellt | 5.6 |
| 8 | Ergebnisse der Konsolidierungsversuche mit dem BELO Dosiergerät. | von der Autorin erstellt | 6.1.2 |
| 9 | Zusammenfassende Bewertung der Applikationstests mit dem Dosiergerät. | von der Autorin erstellt | 6.1.2 |
| 10 | Ergebnisse der Farbmessungen der dünnen Filme (max. 10µm) an PK1A vor und nach der Lichtalterung. Ermittlung von Gelbwert (G) und Vergilbungszahl (V) nach DIN 6167. | von der Autorin erstellt | 6.2.1 |
| 11 | Ergebnisse Farbmessungen der dicken Filme (max. 50µm) an PK2A vor und nach der Lichtalterung. Ermittlung von Gelbwert (G) und Vergilbungszahl (V) nach DIN 6167. | von der Autorin erstellt | 6.2.1 |
| 12 | Zusammenfassende Bewertung der optischen Veränderung nach der künstlichen Alterung. | von der Autorin erstellt | 6.2.1 |

| | | | |
|----|---|--------------------------|-------|
| 13 | Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Probekörper 1A (dünne Filme, max. 10 µm) nach der UV-Alterung und der dynamischer Klimaalterung. | von der Autorin erstellt | 6.2.2 |
| 14 | Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Probekörper 2A (dünne Filme, max. 10 µm) nach der dynamischen Klimaalterung. | von der Autorin erstellt | 6.2.2 |
| 15 | Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Probekörper 1B (dicke Filme, max. 50 µm) nach der UV-Alterung und der dynamischen Klimaalterung. | von der Autorin erstellt | 6.2.2 |
| 16 | Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Probekörper 2B (dicke Filme, max. 50 µm) nach dynamischer Klimaalterung. | von der Autorin erstellt | 6.2.2 |
| 17 | Zusammenfassende Bewertung der Überprüfung des Adhäsionsvermögens nach der künstlichen Alterung. | von der Autorin erstellt | 6.2.2 |
| 18 | Abschließende Bewertung nach der technischen Prüfung der Vorauswahl. | von der Autorin erstellt | 6.3 |
| 19 | Empfohlene Geräteparameter für die Konsolidierungsmaßnahme mit dem BELO Dosiergerät. | von der Autorin erstellt | 7.1 |
| 20 | Technische Daten aller Objektelemente. | von der Autorin erstellt | 10.4 |

10. Anhang

10.1. Ergänzende Abbildungen

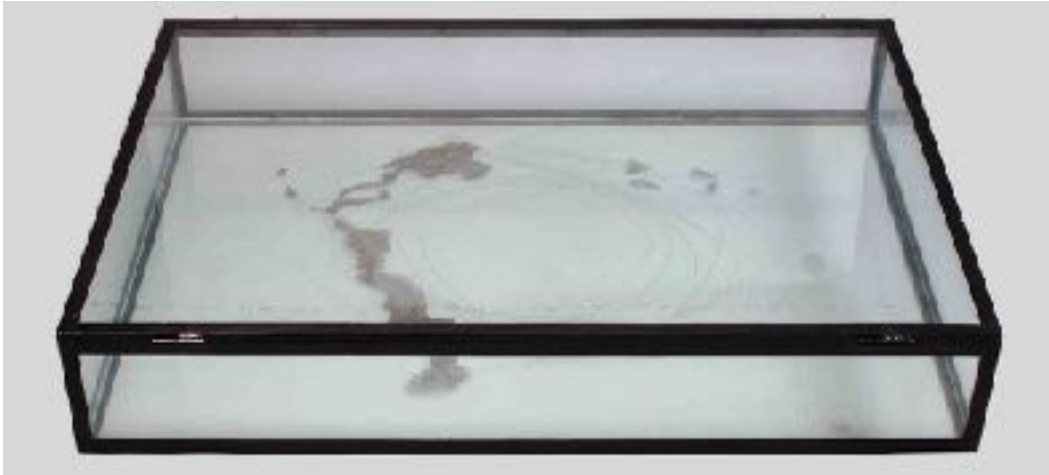


Abbildung 38: Gesamtaufnahme des liegenden Objektes; Die Oberseite befindet sich vorne.

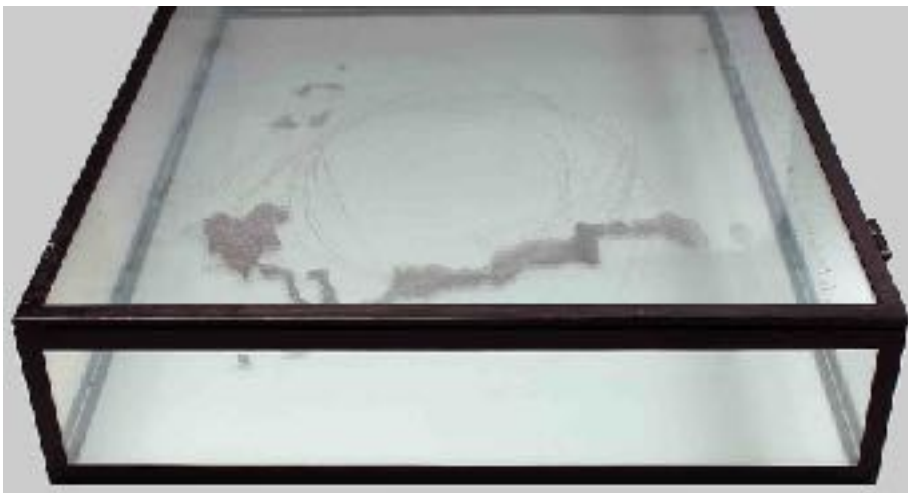


Abbildung 39: Teilaufnahme des liegenden Objektes; Die linke Seite befindet sich vorne.

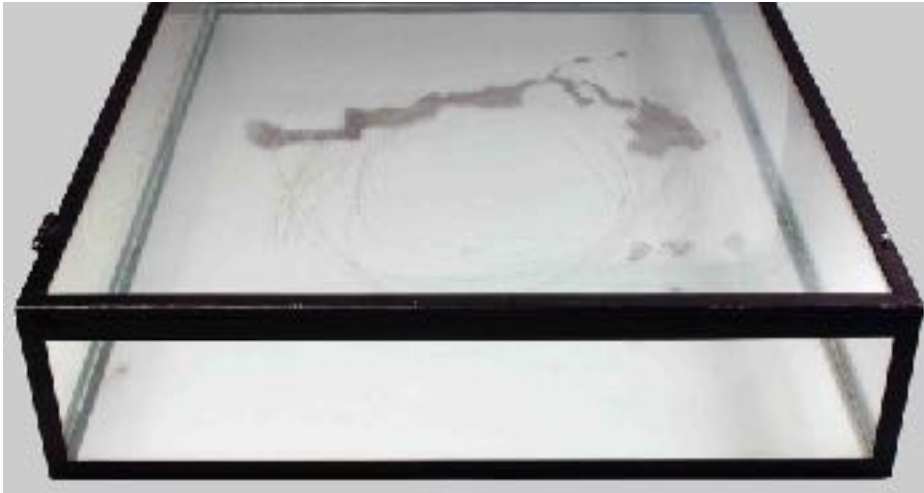


Abbildung 40: Teilaufnahme des liegenden Objektes; Die rechte Seite befindet sich vorne.



Abbildung 41: Teilaufnahme des Pendelkörpers bzw. des Wurfkreisels des Vergleichsobjektes; „Objekt zu La Ferdinanda“ (1981); Sammlung Peter Raue, Berlin.



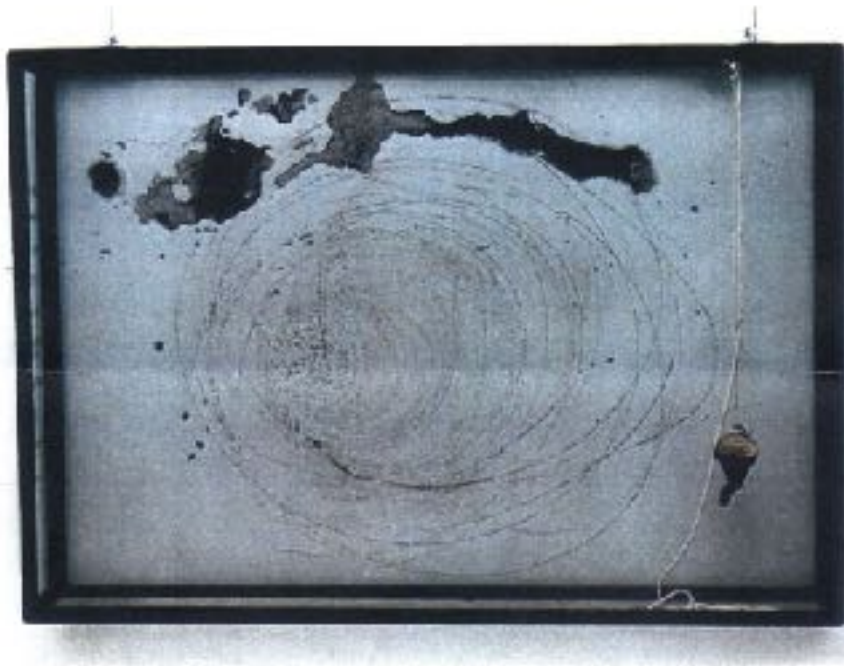
Abbildung 42: Detailaufnahme des Farbauftrages des Vergleichsobjektes; "Objekt zu La Ferdinanda" (1981); Sammlung Peter Raue, Berlin.



Abbildung 43: Detailaufnahme des verfärbten Farbauftrages des Vergleichsobjektes; "Objekt zu La Ferdinanda" (1981), Sammlung Peter Raue.

10.2. Ergänzende Daten zu ausgewählten Vergleichsobjekten

Kunstwerk-Nr.: 0293 - Sammlung Peter Raue



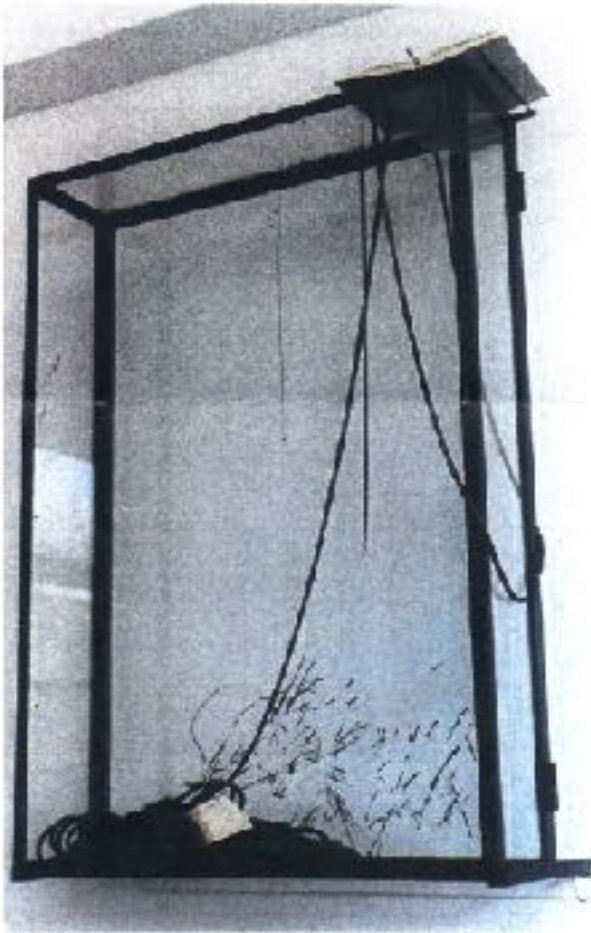
| | |
|------------------------|--------------------------|
| Künstler | Rebecca Horn |
| Erstellungsjahr | 1981 |
| Titel | Objekt zu "La Ferdinand" |
| Beschreibung | Holz-Glas-Kasten Farbe |
| Abmessungen | 65,5 x 69,5 x 10 |
| Kaufdatum | 1985 |
| Standort | Berlin |
| Raum | 920 |
| User | Rebecca Horn |
| Bemerkungen | |

Kunstwerk-Nr.: 0279 - Sammlung Peter Raue



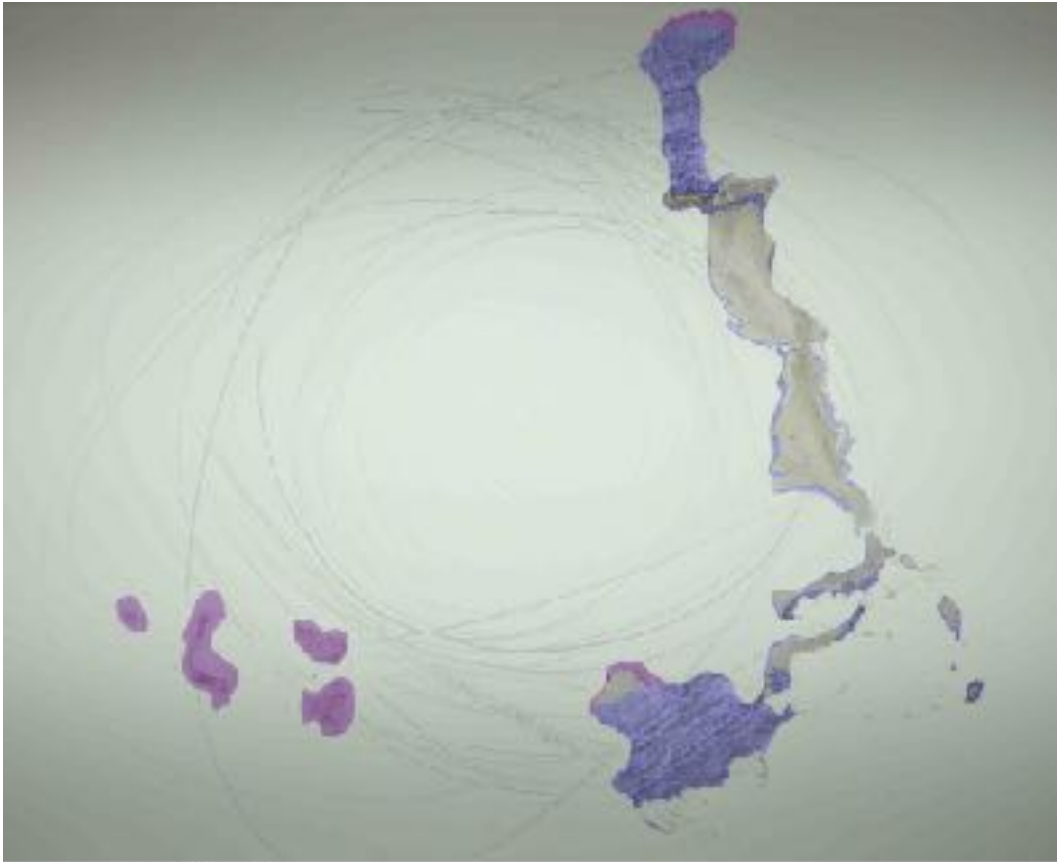
| | |
|------------------------|---|
| Künstler | Rebecca Horn |
| Erstellungsjahr | 1983 |
| Titel | La Ferdinanda |
| Beschreibung | Objekt: 3 Glaskästen, Farbe, 1 Paar rosa Spizertanzschuhe |
| Abmessungen | 70 x 100 x 17 |
| Kaufdatum | |
| Standort | Home |
| Raum | |
| User | |
| Bemerkungen | |

Kunstwerk-Nr.: 0301 - Sammlung Peter Raue



| | |
|------------------------|---|
| Künstler | Rebecca Horn |
| Erstellungsjahr | 1990 |
| Titel | "Wittgensteins Nefte" Hommage an Thomas Bernhard |
| Beschreibung | Glaskasten beschriftet; Lind mit diversem Inhalt. |
| Abmessungen | 100 x 70 x 19,5 |
| Kaufdatum | 1992 |
| Standort | Berlin |
| Raum | 920 |
| User | Rebecca Horn |
| Bemerkungen: | |

10.3. Kartierung



Legende, Erhaltungskuster

- verreicherter Substanzvorkat
- instabile Farbleiche
- beide Schadensfaktoren gleichzeitig vor

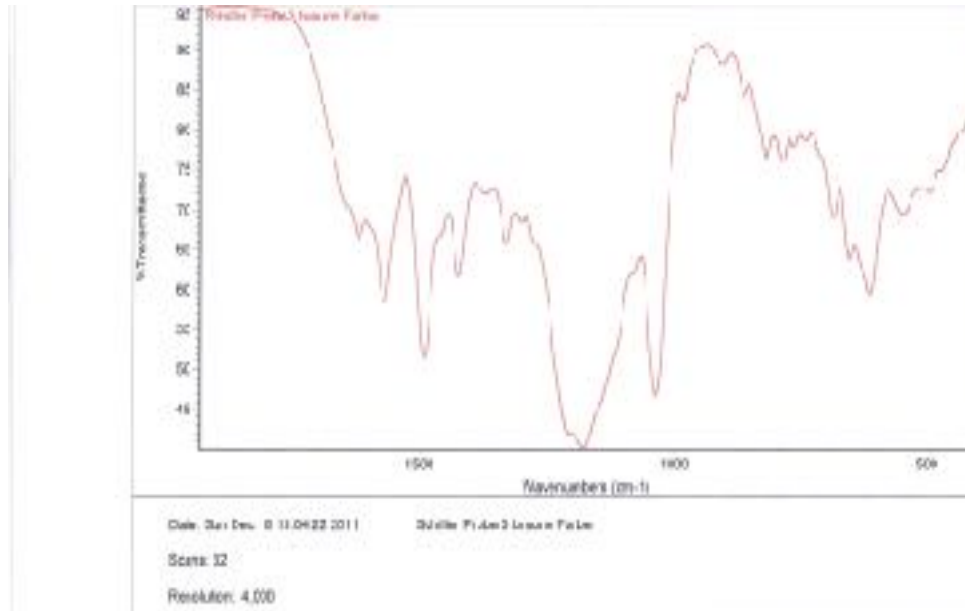
10.4. Ergänzende Tabellen

Tabelle 20: Technische Daten aller Objektelemente.

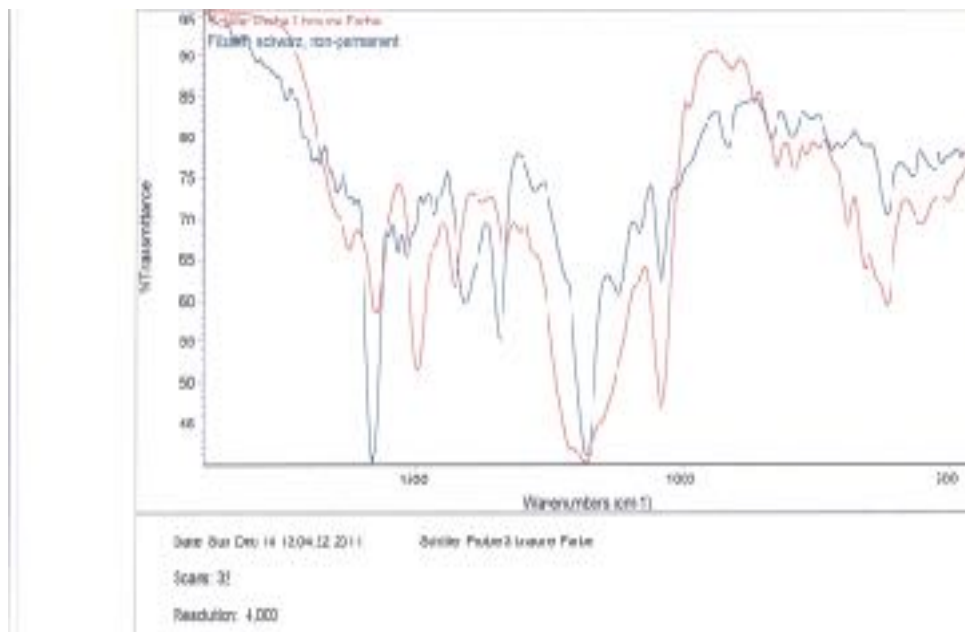
| Element | Einzelne Bestandteile/Maße | | |
|---|--|-----------------------------|--|
| Objektkasten (H x B x T in cm) | 69,8 x 99,8 x 16,8 | | |
| Scheiben (H x B x T in cm) | Seitenteile: | lange Seiten: | 15 x 99 x 0,5 |
| | | kurze Seiten: | 15 x 69 x 0,5 |
| | Vorder- und Rückseite: | | 69 x 99 x 0,5 |
| Rahmensystem/ Leisten (Maße in cm) | Teile: | | mind. 2 (Kasten- und Deckelrahmung) |
| | Metallstärke: | | 0,4 |
| | Deckelrahmung: (B x T) | | 2 x 1 |
| | Kastenrahmung: (B) | | 1 |
| Rahmensystem/ Befestigung | Anzahl der Haken: | | 16 |
| | Position der Haken: | lange Seiten: | Ungleichmäßig zwischen 15 – 18,6 cm Abstand vom Rand |
| | | kurze Seiten: | Ungleichmäßig zwischen 12 – 14,5 cm Abstand vom Rand |
| | Maße der Haken: (H x B) | | 1,5 x 1 |
| Scharniere einfaches Stecksystem; Stifte am Kasten; Löcher am Deckel | Anzahl: | | 2 |
| | Position der Scharniere: | Deckel: | 9,5 cm vom Abstand vom Rand |
| | | Kasten: | links 9,8 cm, rechts 10,8 cm Abstand vom Rand |
| | Maße der Scharniere: (L x Ø in cm) | Deckel: | 3 x 1 |
| Kasten: | | 5 x 0,7 | |
| Schrauben Schlitzschrauben | Position: | | 10 cm Abstand von der Seite, 0,7 cm Abstand von den unteren |
| | Maße der Schrauben (L x Ø in cm) | | 1,9 x 0,3 |
| Pendel | Gewicht (in g) | | 78,7 |
| | Pendelkörper: | Holzkörper (L x Ø in cm) | 10 x 5,5 |
| | | Metallstift (L in cm) | 1,3 |
| | | Anzahl der Riefen: | 15 |
| | Kordel (L in cm) | | ca. 90 |
| | Holzleiste (L x B x T in cm) | | 14,5 x 1,8 x 1 (Ausssparung: 1,1 cm) |
| | Position der Befestigung: | | 19,2 cm Abstand vom linken Rand |

10.5. Analysen zur Materialidentifizierung

10.5.1. FTIR- Spektren



FTIR- Spektrum 1: Messung einer Probe des originalen Farbmaterials (herabgefallenes Material).

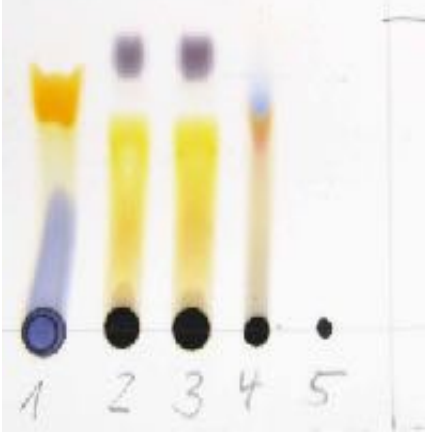



FTIR- Spektrum 2: Vergleich mit der Datenbank; Die Messkurve der originalen Probe stimmt am ehesten mit der Messkurve eines non- permanenten schwarzen Filzstiftes überein.

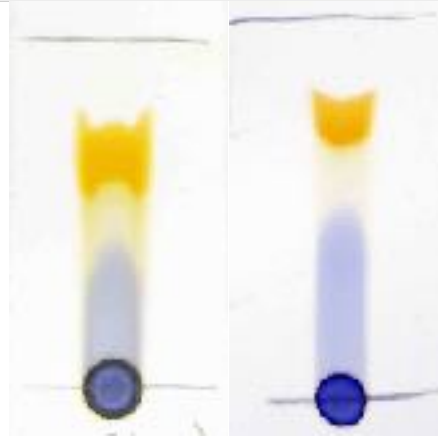
10.5.2. Dünnschichtchromatografie

Versuchsprotokoll

| Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung | |
|---|---|
| Stationäre Phase | Dünnschichtchromatografieplatte (DC-Platte) polare Kieselgel 60 F ₂₅₄ - Platte von Merck |
| Mobile Phase (Fließmittel) | Ethanol |
| | Wasser (dem.) |
| | Methanol |
| | Aceton |
| | Chloroform |
| | Ethanol mit 3 tropfen Schwefelsäure 18 mol/l (96%) |
| | Ethanol : Methanol 1: 1 |
| Testsubstanzen | 1 originales Farbmateriale gelöst in Wasser (dem.) |
| | 2 Tinte, Brilliant-Schwarz TP/6, Pelikan |
| | 3 hochfeine Tinte schwarz Nr.1, Graf von Faber-Castell |
| | 4 flüssige Wasserfarbe, schwarz, Royal Talens |
| | 5 Indian Ink chinesische Tusche schwarz, Talens |
| Laufkammer | Glaskammer mit Deckel |
| Ablauf | <ul style="list-style-type: none">- Laufkammer mit Fließmittel füllen (Füllhöhe 0,5 cm)- DC-Platte zuschneiden (Länge: max. 6 cm, Breite: der Menge der Testsubstanzen angepasst) und die Startlinie einzeichnen (1cm Abstand vom unteren Rand)- Testsubstanzen mit einer Kapillare auf der Startlinie applizieren und die DC-Platte in die Laufkammer stellen und diese mit dem Deckel verschließen- DC-Platte aus der Laufkammer herausnehmen wenn das Fließmittel 3-4 cm gestiegen ist- Am oberen Rand der Steighöhe des Fließmittels Markierung setzen (Bleistift)- Errechnen des R_f-Wertes; Steighöhe des Fließmittels und Steighöhe der Testsubstanz werden mit einem Lineal abgemessen; Beide Längen ergeben als Quotient den R_f-Wert |

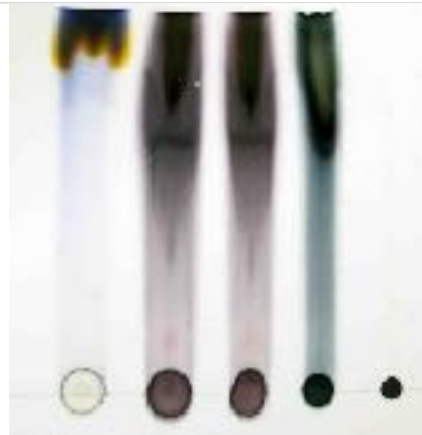
| Ergebnisse | | |
|-------------|---|---|
| Versuch Nr. | Fließmittel/ Testsubstanzen (Nr.)/ Applikationsanzahl | Abbildung/Beobachtung/Rf-Wert |
| I | Ethanol/ 1-5/ Applikation: 1x |  <p>1 Trennung Blau und Gelb; feine gelbliche Laufspur dazwischen; Rf-Wert: 1,3</p> <p>2 Trennung Gelb und Blau, Rf-Wert: 1,14</p> <p>3 Trennung Gelb und Blau, Rf-Wert: 1,14</p> <p>4 Keine deutliche Trennung; rot – blau verlaufende Spur, Rf-Wert: 1,3</p> <p>5 -</p> |
| II | Wasser (dem.)/ 1-5/ Applikation: 1x |  <p>1 Keine Trennung; Rf-Wert: 1,03</p> <p>2 Keine Trennung; bläuliche Laufspur; Rf-Wert: 1,1</p> <p>3 Keine Trennung; feine bläuliche Laufspur; Rf-Wert: 1,14</p> <p>4 Keine Trennung; blaue Laufspur; Rf-Wert: 1,14</p> <p>5 -</p> |

III Ethanol/
1/
Applikation: 1x
(links)
Applikation: 4 x
(rechts)



1 Trennung Blau und Gelb; gelbe Laufspur rechts stärker; Rf-Wert (links): 1,3; Rf-Wert (rechts): 1,5

IV Methanol/
1-5/
Applikation: 1x



1 Keine Trennung; feine bläuliche Laufspur; Rf-Wert: 0

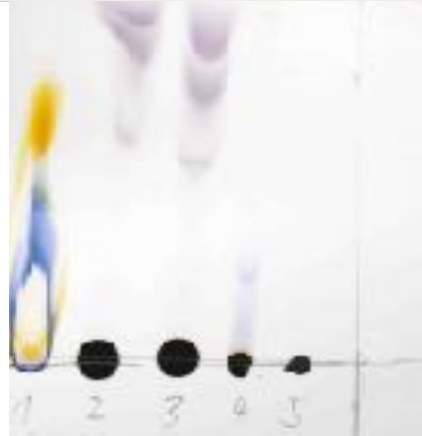
2 Keine Trennung; dunkelblaue Laufspur; Rf-Wert: 0

3 Keine Trennung; dunkelblaue Laufspur; Rf-Wert: 0

4 Keine Trennung; dunkelblaue Laufspur; Rf-Wert: 0

5 -

V Aceton/
1-5/
Applikation: 1x



- 1 Keine deutliche Trennung; undefinierte Laufformation; Rf-Wert: 1,3
- 2 Keine Trennung: feine blaue Laufspur; Rf-Wert: 0
- 3 Keine Trennung: feine blaue Laufspur; Rf-Wert: 0
- 4 Keine Trennung: kaum sichtbare Laufspur; Rf-Wert: nicht messbar
- 5 -

VI Chloroform/
1/
Applikation: 1x



- 1 -

VII Ethanol /
mit 3 Tropfen
Schwefelsäure
18 mol/l (96%)
1/
Applikation: 1x



1 Trennung Blau und Gelb; feine gelbliche
verlaufende Spur; Rf-Wert: 1,3

VIII Ethanol: Methanol
(1 : 1)/
1/
Applikation: 1x



1 Keine deutliche Trennung; Rf-Wert: 1,1

10.6. Ergänzende Protokolle und Tabellen zu den Versuchsreihen

10.6.1. Löslichkeitstests mit Lösemittelgemischen

Versuchsprotokoll

| Lösemittel | Löslichkeit/ Bewertung | Beschreibung |
|---|---------------------------|---|
| Legende: - = vollständige Lösung - + = Quellung, keine Lösung + = keine Lösung | | |
| Ethanol: Siedegrenzbezin 100-140°C 1:1 | - | - Lösung der orangefarbenen Teilchen nach ca. 20 Sek - teilweise Lösung der blauen Teilchen nach ca. 20 Sek. |
| Ethanol: Siedegrenzbezin 100-140°C 1:2 | - | ” |
| Ethanol: Siedegrenzbezin 100-140°C 1:3 | - | ” |
| Isopropanol: Siedegrenzbezin 100-140°C 1:1 | - | ” |
| Isopropanol: Siedegrenzbezin 100-140°C 1:2 | - | ” |
| Isopropanol: Siedegrenzbezin 100-140°C 1:3 | - | ” |
| Ethanol : Xylol 1 : 1 | - | ” |
| Ethanol : Xylol 1 : 2 | - | ” |
| Ethanol: Xylol 1:3 | - | ” |
| Isopropanol : Xylol 1 : 1 | - | ” |
| Isopropanol : Xylol 1 : 2 | - | ” |
| Isopropanol: Xylol 1:3 | - | ” |
| Ethanol : Toluol 1 : 1 | - | ” |

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| Ethanol : Toluol 1 : 2 | - | ” |
| Ethanol : Toluol 1 : 3 | - | ” |
| Isopropanol : Toluol 1 : 1 | - | ” |
| Isopropanol : Toluol 1 : 2 | - | ” |
| Isopropanol : Toluol 1 : 3 | - | |

10.6.2. Löslichkeitstests mit Lösemitteldämpfen und Aerosolen

Versuchsprotokoll: Wasserdampf und Alkoholdämpfe

Datum: 27. und 28.12. 2012
Objekt: LA FERDINANDA (In der Mitte des Ozeans...)
Probenmaterial: originales Farbmateriale

Reaktion des originalen Farbmateriale auf erhöhte relative Luftfeuchte

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

- Luftdichter Raum / Glashaube mit den Innenmaßen: B39,0cm x T15,5cm, H14,5cm
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte (Fa. Lufft) unter der Glashaube
- Probenmaterial auf Glasträger platziert
- Beobachtungswerkzeug: Leica Stereomikroskop M80 (Leica F12 I)

- Feuchtequelle: Tuch mit 15ml Wasser wird unter der Glashaube platziert
- Messgeräte für Zeit, Temperatur, und relative Luftfeuchtigkeit laufen mit
- Bis zur Lösung bleibt das Material unter Beobachtung

Ergebnis

- Lösung der ersten Farbstoffteilchen bei 22°C und 75,9% relativer Luftfeuchte
- nach 25 Minuten
- Feuchtigkeit schlägt sich auf Glasträger nieder und kondensiert; infolgedessen lösen sich zunächst Farbstoffteilchen, die direkt auf dem Glasträger liegen

Reaktion auf Alkoholdämpfe, Ethanol und Isopropanol

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

- Luftdichter Raum / Glashaube mit den Innenmaßen: B39,0cm x T15,5cm, H14,5cm
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte (Fa. Lufft) unter der Glashaube
- Probenmaterial auf Glasträger platziert
- Beobachtungswerkzeug: Leica Stereomikroskop M80 (Leica F12 I)

- Tuch als Lösemittelquelle wird unter der Glashaube platziert; Menge: 15ml Ethanol bzw. Isopropanol
- Messgeräte für Zeit läuft mit
- bis zur Lösung bleibt das Material unter Beobachtung

Ergebnis

- keine Löseprozess ersichtlich
- nach 1h werden die Tests jeweils abgebrochen

Versuchsprotokoll: Aerosole

Datum: 11.12. 2012

Objekt: LA FERDINANDA (In der Mitte des Ozeans...)

Probenmaterial: originales Farbmateriale

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

- Nebeln von originalem Probenmaterial, welches auf einem Glsträger liegt
- Gerät: Aerosolgenerator 2000 ZFB (Zentrum für Bucherhaltung GmbH)
- Arbeitsabstand: ca.5cm
- Applikationsdauer: bis vollständige Lösung eintritt; Abbruch nach 2 Minuten
- Beobachtungsmedium: Leica Stereomikroskop M80 (Leica F12 I)
- Änderung der Parameter gegenüber dem vorherigen Versuch werden unterstrichen.
- Änderungen der Ergebnisse, die möglicherweise auf die Optimierung der Parameter zurückzuführen sind werden unterstrichen.

Ergebnisse

Legende:

- = vollständige Lösung

/ = Verneblung nicht möglich

| Lösemittel | Geräteparameter | Löslichkeit/ Bewertung | Beschreibung |
|-------------------|---|---------------------------|---|
| Wasser (dest.) | Düse: Ø 2,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: hoch Wärme: - | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 15 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glsträger) - nach ca. 20 sek. gesamtes Probenmaterial geht in Lösung - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |

| | | | |
|-------------------|--|---|--|
| Wasser (dest.) | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: mittel Luftzufuhr: mittel Wärme: - | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 20 sek.: <u>erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger)</u> - nach ca. 25 sek. <u>Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung</u> - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |
| Wasser (dest.) | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: niedrig Luftzufuhr: aus Wärme: - | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 20 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger) - nach ca. 25 sek. <u>Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung</u> - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - <u>Farbstoffteilchen fliegen nicht weg</u> |
| Ethanol | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärme: - | / | - Aerosolentwicklung nur durch Geruch feststellbar und in Verneblerkammer sichtbar - keine sichtbares Ergebnis am Probenmaterial - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |
| Isopropanol | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärme: - | / | - Aerosolentwicklung nur durch Geruch feststellbar und in Verneblerkammer sichtbar - keine sichtbares Ergebnis am Probenmaterial - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |

| | | |
|--|---|--|
| Ethanol + drei Tropfen Wasser (dest.) | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärme: - | - - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 40 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger) - nach ca. 50 sek. Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |
| Ethanol + drei Tropfen Wasser (dest.) | Düse: Ø 7,5mm <u>Materialaustritt:</u> <u>niedrig</u> <u>Luftzufuhr: aus</u> Wärme: - | - - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 40 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger) - nach ca. 50 sek. Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol <u>- Farbstoffteilchen fliegen nicht weg</u> |
| Wasser (dest.): Ethanol 1:1 | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: niedrig Luftzufuhr: aus Wärme: - | - - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 20 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger) - nach ca. 25 sek. Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |

| | | | |
|---|---|---|--|
| Isopropanol + drei Tropfen Wasser (dest.) | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärme: - | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 40 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger) - nach ca. 50 sek. Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |
| Isopropanol + drei Tropfen Wasser (dest.) | Düse: Ø 7,5mm <u>Materialaustritt:</u> <u>niedrig</u> <u>Luftzufuhr: aus</u> Wärme: - | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 40 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger) - nach ca. 50 sek. Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen nicht weg |
| Wasser (dest.): Isopropanol 1:1 | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärme: - | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - nach ca 20 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger) - nach ca. 25 sek. Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung - Niederschlag ist als feuchter Film sichtbar - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |

| | | | |
|--|---|---|---|
| Ethanol: Siedegrenz- benzin 100-140 °C 1:1 | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärme: - | / | - Anwendung nicht möglich - Einstellbecher ist nicht Lösemittelbeständig gegenüber Siedegrenzbenzin 100-140 °C |
| Ethylacetat | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärme: - | / | - Anwendung nicht möglich - Einstellbecher ist nicht Lösemittelbeständig gegenüber Ethylacetat |
| Siedegrenz- benzin 100-140 °C | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärme: - | / | - Anwendung nicht möglich - Einstellbecher ist nicht Lösemittelbeständig gegenüber Siedegrenzbenzin 100-140 °C |
| Wasser (dest.) | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel <u>Wärmezufuhr: ein</u> (Regulierung nicht möglich) | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - <u>nach ca 50 sek.: erste</u> <u>Farbstoffteilchen gehen in Lösung</u> <u>(direkt auf Glasträger)</u> - <u>nach ca. 60 sek. Gesamtes</u> <u>Probenmaterial geht in Lösung →</u> <u>Verzögerung der Reaktion</u> <u>gegenüber dest. ohne</u> <u>Wärmezufuhr!</u> - <u>Kaum feuchter Film durch</u> <u>Niederschlag</u> - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |

| | | | |
|--|---|---|--|
| Wasser (dest.): Ethanol 1:1 | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel <u>Wärmezufuhr: ein</u> (Regulierung nicht möglich) | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - <u>nach ca 10 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger)</u> - <u>nach ca. 15 sek. Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung → Beschleunigung der Reaktion gegenüber demselben Gemisch ohne Wärmezufuhr!</u> - <u>Kaum feuchter Film durch Niederschlag</u> - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |
| Wasser (dest.): Isopropanol 1:1 | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärmezufuhr: ein (Regulierung nicht möglich) | - | - Aerosol diffundiert; verzögerte Lösung - <u>nach ca 5 sek.: erste Farbstoffteilchen gehen in Lösung (direkt auf Glasträger)</u> - <u>nach ca. 10 sek. Gesamtes Probenmaterial geht in Lösung → Beschleunigung der Reaktion gegenüber demselben Gemisch ohne Wärmezufuhr!</u> - <u>Kaum feuchter Film durch Niederschlag</u> - Quellung nicht ersichtlich - leichte Verdunklung unter Einwirkung von Aerosol - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |
| Ethanol | Düse: Ø 7,5mm Materialaustritt: hoch Luftzufuhr: mittel Wärmezufuhr: ein (Regulierung nicht möglich) | - | - Aerosolentwicklung nur durch Geruch feststellbar und in Verneblerkammer sichtbar - keine sichtbares Ergebnis am Probenmaterial - Farbstoffteilchen fliegen vereinzelt weg |

10.6.3. Applikationsversuche mit dem Ultraschallvernebler

Versuchsprotokoll

Datum: 08./09.01. 2013

Objekt: LA FERDINANDA (In der Mitte des Ozeans...)

Probenmaterial: originales Farbmateriale

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

- BENEBELN von originalem Probenmaterial, welches auf einem Glaträger liegt
- Gerät: Modifiziertes Engelbrecht Ultraschall-Vernebler (Fa. Deffner & Johann)
- Arbeitsabstand: ca. 10cm
- Applikation: 5x/ ca. 10 sek.
- Beobachtungswerkzeug: Leica Stereomikroskop M50

Geräteparameter:

Düse: Ø 5mm
Materialaustritt: hoch
Luftzufuhr: mittel
Wärme: -

Ergebnisse

Legende:

- = vollständige Lösung

/ = Verneblung nicht möglich

| Konsolidierungslösung | Löslichkeit/ Bewertung | Beschreibung |
|--|---------------------------|---|
| I (EC N100) 0,2 % | / | - keine sichtbares Ergebnis am Probenmaterial |
| II (Paraloid B72) 0,2 % | / | „ |
| III (Paraloid B72/ Laropal A81) 0,2 % | / | „ |
| IV (Regalrez 1094) 0,2 % | | „ |
| V (Aquazol 500) 0,2 % | / | - leichte Verdunklung unter Einwirkung des Aerosols - keine effektive Konsolidierung |
| V (Aquazol 500) 0,5 % | / | „ |
| V (Aquazol 500) 1 % | / | „ |

| | | |
|---|---|---|
| VI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) 0,2 % | / | - keine sichtbares Ergebnis am Probenmaterial |
| VII (Tecero Wachs 30201/30410) 0,2 % | / | „ |

Weitere Applikationsversuche ergaben, dass sich LV Aquazol 200 in Ethanol (0,2%, 0,5%, 1%) gut vernebeln lässt. Für die Konsolidierungsmaßnahme kam die Konsolidierungslösung aber aber aufgrund der Löslichkeitseigenschaften des Farbauftrages nicht in Frage.

10.6.4. Ergänzende Daten zur künstlichen Alterung

Messungen der Trockenfilmdicke

| | |
|--------------|---|
| Messgerät: | Trockenfilmdickenmesser nach Roßmann, Modell 233 ¹⁹⁶ |
| Methode: | Messung des Niveauunterschiedes zwischen Filmsubstrat und Filmoberfläche. ¹⁹⁷ |
| Messstelle: | Bei allen Filmen jeweils mit 1 cm Abstand vom unteren und vom rechten Rand entfernt. |
| Abkürzungen: | PK = Probekörper |

Messergebnisse der dünnen Filme

| Konsolidierungslösung | Filmdicke PK 1A in mm | Filmdicke PK 1B in mm |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| I (EC N100) | 0 – 0,01 | 0 – 0,01 |
| II (Paraloid B72) | 0 – 0,01 | 0 – 0,01 |
| III (Paraloid B72/ Laroppal A 81) | 0 – 0,01 | 0 – 0,01 |
| IV (Regalrez 1094) | 0 – 0,01 | 0 – 0,01 |
| V (Aquazol 500) | 0 – 0,01 | 0 – 0,01 |
| VI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | 0 – 0,01 | 0 – 0,01 |
| VII (Tecero-Wachs 30201: 30410) | - | - |

Messergebnisse der dicken Filme

| Konsolidierungslösung | Filmdicke PK 2A in mm | Filmdicke PK 2B in mm |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| I (EC N100) | 0,01 | 0,01 – 0,02 |
| II (Paraloid B72) | 0,02 – 0,03 | 0,02 – 0,03 |
| III (Paraloid B72/ Laroppal A 81) | 0,01 – 0,02 | 0,02 – 0,03 |
| IV (Regalrez 1094) | 0,01 – 0,02 | 0,02 |
| V (Aquazol 500) | 0,04 – 0,05 | 0,04 – 0,05 |
| VI (ORMOCER-G/ Paraloid B72) | 0,01 | 0,01 |
| VII (Tecero-Wachs 30201: 30410) | 0,02 – 0,03 | 0,03 – 0,04 |

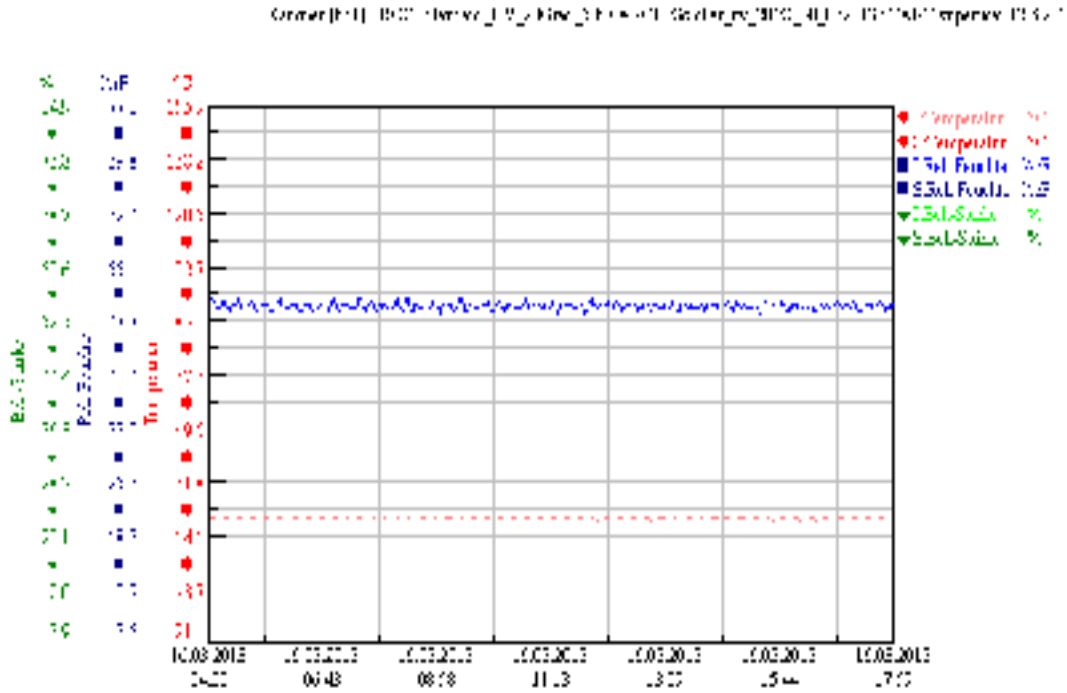
¹⁹⁶ ERICHSEN >www.erichsen.de < (13.07.2013). s.v.Oberflächenprüfung.

¹⁹⁷ Messanleitung siehe http://www.erichsen.de/oberflaechenpruefung/schichtdicke/trockenfilmdickenmesser-nach-rossmann-modell-233/produkt_view?fieldset=Downloads.

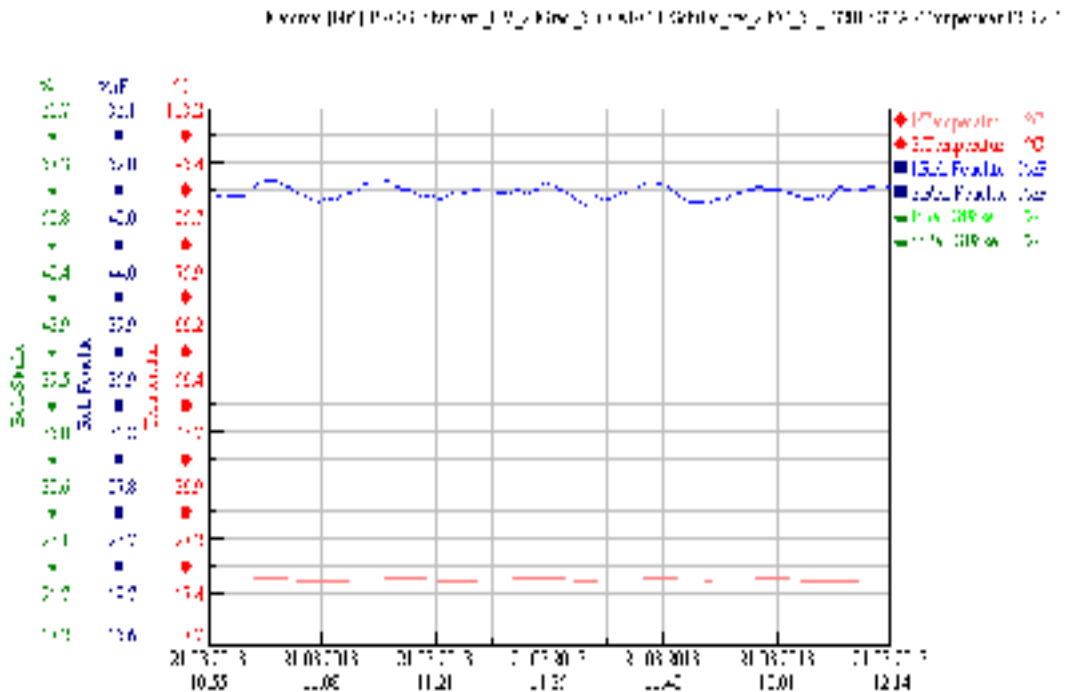
Messergebnisse der Referenzfilme

| Konsolidierungslösung | Filmdicke PK 3A in mm | Filmdicke PK 3B in mm |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Referenz EC N100 | 0,02 – 0,03 | 0,05 – 0,07 |
| Referenz Primal AC 35 | 0,05 – 0,06 | 0,05 – 0,07 |

Messkurven: Künstlichen Alterung

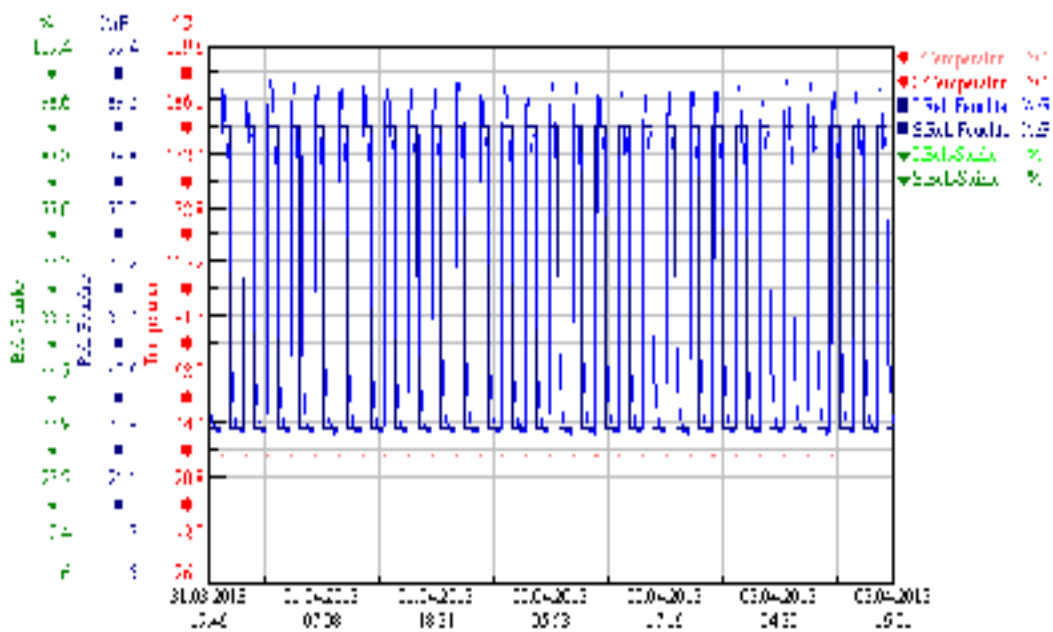


Messkurve I. Verlauf der UV-Alterung, Ausschnitt, 13,31 Std.



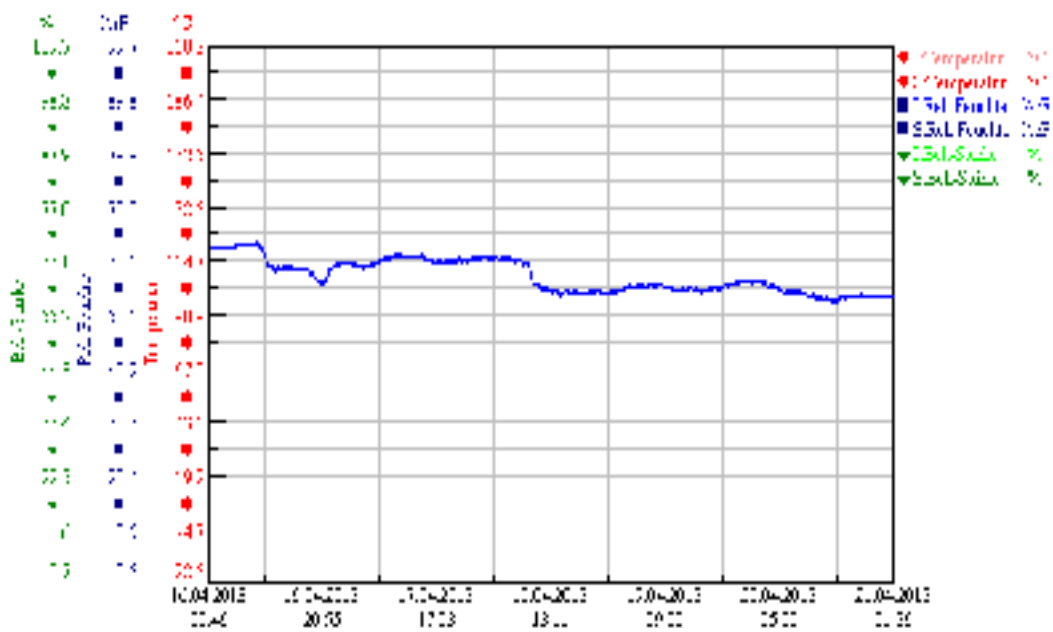
Messkurve II: Verlauf der UV-Alterung, Ausschnitt, 1,59 Std.

Order [1-1] B001 - Inverter 'B001_2PH_230V' A001 - Inhibitor_dyn_klima_1 - Prod_0 - d_230V - PAE Temp



Messkurve III: Verlauf der dynamischen Klimaalterung, Ausschnitt, 68,65 Std.

Order [1-1] B001 - Inverter 'B001_2PH_230V' A001 - Inhibitor_dyn_klima_1 - Prod_0 - d_230V - PAE Temp



Messkurve IV: Verlauf der dynamischen Klimaalterung nach dem technischen Defekt, Ausschnitt, 120,9 Std.

10.6.5. Farbmessungen

Messergebnisse

Abkürzungen:

PK = Probekörper

L = Konsolidierungslösung

LA = Lichtalterung (UV-Alterung)

dA = dynamische Alterung (dynamische Klimaalterung)

Messwerte Filmsubstrat, Floatglas

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|---------|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 1A_Glas | 3.49 | 90.68 | -1.48 | 2.36 | 73.03 | 77.77 | 80.29 | 238 | 245 | 239 |
| 1B_Glas | 3.64 | 90.81 | -1.47 | 2.43 | 73.32 | 78.08 | 80.51 | 239 | 245 | 239 |
| 2A_Glas | 3.50 | 90.47 | -1.46 | 2.35 | 72.61 | 77.32 | 79.83 | 237 | 244 | 238 |
| 2B_Glas | 3.56 | 90.53 | -1.46 | 2.38 | 72.73 | 77.45 | 79.92 | 238 | 244 | 238 |

Messwerte Filmsubstrat, Objektträger

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|------------|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 3AB_Glas_1 | 3.98 | 95.53 | -0.64 | 2.35 | 83.93 | 88.88 | 91.91 | 251 | 255 | 255 |
| 3AB_Glas_2 | 3.57 | 95.41 | -0.81 | 2.20 | 83.58 | 88.60 | 91.84 | 251 | 255 | 255 |

Messwerte PK 1A und PK 1B (dünne Filme), ungealtert

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|-----------|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 1A_LI_1 | 3.71 | 91.17 | -1.49 | 2.48 | 74.06 | 78.87 | 81.27 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LI_2 | 3.81 | 91.09 | -1.47 | 2.52 | 73.89 | 78.68 | 81.02 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LI_3 | 3.56 | 90.31 | -1.48 | 2.38 | 72.29 | 76.99 | 79.43 | 237 | 244 | 238 |
| 1A_LII_1 | 3.64 | 91.16 | -1.49 | 2.44 | 74.03 | 78.84 | 81.29 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LII_2 | 3.63 | 91.44 | -1.48 | 2.44 | 74.62 | 79.46 | 81.94 | 241 | 247 | 241 |
| 1A_LII_3 | 3.63 | 91.42 | -1.48 | 2.44 | 74.57 | 79.41 | 81.89 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LIII_1 | 3.48 | 91.19 | -1.49 | 2.36 | 74.08 | 78.89 | 81.45 | 240 | 246 | 241 |
| 1A_LIII_2 | 3.63 | 91.27 | -1.48 | 2.44 | 74.26 | 79.08 | 81.55 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LIII_3 | 3.68 | 91.26 | -1.49 | 2.46 | 74.23 | 79.05 | 81.48 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LIV_1 | 3.63 | 91.06 | -1.47 | 2.43 | 73.82 | 78.61 | 81.06 | 239 | 246 | 240 |
| 1A_LIV_2 | 3.64 | 91.32 | -1.47 | 2.44 | 74.37 | 79.20 | 81.67 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LIV_3 | 3.59 | 91.41 | -1.47 | 2.42 | 74.55 | 79.39 | 81.90 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LV_1 | 3.58 | 91.38 | -1.48 | 2.41 | 74.48 | 79.31 | 81.82 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LV_2 | 3.62 | 91.29 | -1.47 | 2.43 | 74.31 | 79.13 | 81.61 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LV_3 | 3.64 | 91.35 | -1.47 | 2.44 | 74.44 | 79.26 | 81.73 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LVI_1 | 3.62 | 91.11 | -1.50 | 2.44 | 73.92 | 78.73 | 81.18 | 239 | 246 | 240 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 1A_LVI_2 | 3.78 | 90.90 | -1.49 | 2.51 | 73.49 | 78.27 | 80.60 | 239 | 246 | 239 |
| 1A_LVI_3 | 3.69 | 91.11 | -1.46 | 2.46 | 73.94 | 78.73 | 81.15 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LVII_1 | 4.18 | 76.27 | -1.18 | 2.30 | 47.29 | 50.33 | 51.70 | 194 | 199 | 192 |
| 1A_LVII_2 | 4.27 | 75.61 | -1.17 | 2.32 | 46.29 | 49.26 | 50.56 | 192 | 197 | 190 |
| 1A_LVII_3 | 4.29 | 75.20 | -1.16 | 2.32 | 45.67 | 48.60 | 49.87 | 191 | 195 | 189 |
| 1B_LI_1 | 3.68 | 91.25 | -1.48 | 2.46 | 74.22 | 79.04 | 81.47 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LI_2 | 3.65 | 91.29 | -1.48 | 2.45 | 74.31 | 79.13 | 81.59 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LI_3 | 3.77 | 91.36 | -1.49 | 2.51 | 74.45 | 79.28 | 81.66 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LII_1 | 3.55 | 91.38 | -1.48 | 2.40 | 74.50 | 79.33 | 81.87 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LII_2 | 3.67 | 91.43 | -1.48 | 2.46 | 74.59 | 79.43 | 81.88 | 241 | 247 | 241 |
| 1B_LII_3 | 3.59 | 91.40 | -1.48 | 2.42 | 74.53 | 79.37 | 81.87 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LIII_1 | 3.60 | 91.21 | -1.48 | 2.42 | 74.14 | 78.96 | 81.44 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LIII_2 | 3.57 | 91.25 | -1.48 | 2.41 | 74.22 | 79.04 | 81.54 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LIII_3 | 3.58 | 91.29 | -1.47 | 2.40 | 74.30 | 79.12 | 81.63 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LIV_1 | 3.71 | 91.05 | -1.46 | 2.47 | 73.81 | 78.59 | 81.00 | 239 | 246 | 240 |
| 1B_LIV_2 | 3.61 | 91.29 | -1.48 | 2.43 | 74.30 | 79.12 | 81.60 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LIV_3 | 3.58 | 91.37 | -1.47 | 2.41 | 74.48 | 79.31 | 81.82 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LV_1 | 3.59 | 91.33 | -1.48 | 2.42 | 74.39 | 79.22 | 81.72 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LV_2 | 3.60 | 91.40 | -1.49 | 2.43 | 74.52 | 79.36 | 81.85 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LV_3 | 3.59 | 91.52 | -1.49 | 2.42 | 74.77 | 79.63 | 82.14 | 241 | 248 | 242 |
| 1B_LVI_1 | 3.51 | 91.08 | -1.53 | 2.39 | 73.85 | 78.67 | 81.17 | 239 | 246 | 240 |
| 1B_LVI_2 | 3.71 | 90.98 | -1.46 | 2.46 | 73.66 | 78.44 | 80.84 | 239 | 246 | 240 |
| 1B_LVI_3 | 3.54 | 91.43 | -1.50 | 2.40 | 74.57 | 79.42 | 81.96 | 240 | 247 | 241 |
| 1B_LVII_1 | 4.09 | 79.99 | -1.29 | 2.38 | 53.22 | 56.66 | 58.22 | 205 | 211 | 204 |
| 1B_LVII_2 | 3.98 | 82.75 | -1.31 | 2.39 | 57.96 | 61.70 | 63.46 | 213 | 219 | 213 |
| 1B_LVII_3 | 3.97 | 82.05 | -1.31 | 2.37 | 56.72 | 60.38 | 62.11 | 211 | 217 | 211 |

Messwerte PK 2A und PK 2B (dicke Filme), ungealtert

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|-----------|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 2A_LI_1 | 3.94 | 90.51 | -1.47 | 2.58 | 72.69 | 77.41 | 79.62 | 238 | 244 | 238 |
| 2A_LI_2 | 3.77 | 90.62 | -1.48 | 2.50 | 72.92 | 77.66 | 79.98 | 238 | 245 | 238 |
| 2A_LII_1 | 3.46 | 90.37 | -1.47 | 2.33 | 72.40 | 77.10 | 79.62 | 237 | 244 | 238 |
| 2A_LII_2 | 3.68 | 90.13 | -1.46 | 2.43 | 71.91 | 76.57 | 78.93 | 236 | 243 | 237 |
| 2A_LIII_1 | 3.58 | 90.48 | -1.46 | 2.39 | 72.62 | 77.34 | 79.79 | 238 | 244 | 238 |
| 2A_LIII_2 | 3.54 | 90.59 | -1.47 | 2.37 | 72.85 | 77.58 | 80.06 | 238 | 245 | 239 |
| 2A_LIV_1 | 3.54 | 90.34 | -1.45 | 2.36 | 72.35 | 77.04 | 79.51 | 237 | 244 | 238 |

| | | |
|-----------|------|--|
| 2A_LIV_2 | 3.56 | 90.54 -1.45 2.38 72.76 77.48 79.95 238 244 238 |
| 2A_LV_1 | 3.86 | 90.79 -1.50 2.55 73.25 78.02 80.28 239 245 239 |
| 2A_LV_2 | 3.76 | 90.41 -1.50 2.49 72.47 77.19 79.49 237 244 238 |
| 2A_IVI_1 | 3.63 | 90.47 -1.47 2.41 72.62 77.33 79.75 238 244 238 |
| 2A_LVI_2 | 3.61 | 90.80 -1.47 2.41 73.29 78.04 80.50 239 245 239 |
| 2A_LVII_1 | 3.88 | 71.68 -1.02 2.02 40.62 43.19 44.51 179 185 179 |
| 2A_LVII_2 | 4.15 | 72.04 -1.05 2.15 41.11 43.72 44.95 181 186 179 |
| 2B_LI_1 | 3.70 | 90.38 -1.49 2.46 72.41 77.13 79.47 237 244 238 |
| 2B_LI_2 | 3.76 | 90.74 -1.49 2.50 73.15 77.91 80.24 238 245 239 |
| 2B_LII_1 | 3.53 | 89.97 -1.47 2.36 71.59 76.25 78.69 236 243 236 |
| 2B_LII_2 | 3.49 | 90.64 -1.49 2.36 72.96 77.70 80.21 238 245 239 |
| 2B_LIII_1 | 3.52 | 90.38 -1.49 2.37 72.41 77.12 79.58 237 244 238 |
| 2B_LIII_2 | 3.46 | 90.09 -1.48 2.33 71.82 76.49 78.98 236 243 237 |
| 2B_LIV_1 | 3.51 | 90.09 -1.45 2.34 71.83 76.49 78.96 236 243 237 |
| 2B_LIV_2 | 3.56 | 90.88 -1.47 2.39 73.46 78.23 80.72 239 245 240 |
| 2B_LV_1 | 3.90 | 90.73 -1.51 2.58 73.13 77.89 80.12 238 245 239 |
| 2B_LV_2 | 3.65 | 90.26 -1.50 2.44 72.17 76.87 79.24 237 244 237 |
| 2B_LVI_1 | 3.50 | 90.44 -1.46 2.35 72.55 77.25 79.75 237 244 238 |
| 2B_LVI_2 | 3.91 | 90.24 -1.43 2.54 72.16 76.83 79.06 237 243 237 |
| 2B_LVII_1 | 4.23 | 73.84 -1.16 2.27 43.66 46.46 47.70 186 191 185 |
| 2B_LVII_2 | 3.90 | 71.37 -1.02 2.02 40.18 42.73 44.03 178 184 178 |

Messwerte PK 3A und PK 3B (Referenzfilme), ungealtert

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|-------------|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 3A_ECN100_1 | 5.49 | 94.34 | -0.38 | 3.02 | 81.41 | 86.07 | 88.03 | 251 | 254 | 249 |
| 3A_ECN100_2 | 5.65 | 94.21 | -0.36 | 3.10 | 81.12 | 85.75 | 87.59 | 251 | 254 | 249 |
| 3A_ECN100_3 | 5.68 | 94.14 | -0.35 | 3.10 | 80.97 | 85.59 | 87.41 | 250 | 254 | 248 |
| 3A_Primal_1 | 5.73 | 94.43 | -0.40 | 3.16 | 81.58 | 86.27 | 88.03 | 251 | 255 | 249 |
| 3A_Primal_2 | 5.78 | 94.47 | -0.41 | 3.19 | 81.68 | 86.37 | 88.10 | 251 | 255 | 249 |
| 3A_Primal_3 | 5.98 | 94.31 | -0.36 | 3.27 | 81.35 | 85.99 | 87.59 | 251 | 254 | 249 |
| 3AB_Glas_1 | 3.98 | 95.53 | -0.64 | 2.35 | 83.93 | 88.88 | 91.91 | 251 | 255 | 255 |
| 3AB_Glas_2 | 3.57 | 95.41 | -0.81 | 2.20 | 83.58 | 88.60 | 91.84 | 251 | 255 | 255 |
| 3B_ECN100_1 | 5.04 | 94.92 | -0.41 | 2.81 | 82.68 | 87.43 | 89.74 | 252 | 255 | 252 |
| 3B_ECN100_2 | 5.10 | 94.81 | -0.39 | 2.83 | 82.44 | 87.17 | 89.44 | 252 | 255 | 252 |
| 3B_ECN100_3 | 5.05 | 94.62 | -0.38 | 2.80 | 82.02 | 86.71 | 89.01 | 251 | 255 | 251 |
| 3B_Primal_1 | 6.08 | 94.34 | -0.35 | 3.32 | 81.43 | 86.07 | 87.60 | 251 | 254 | 249 |
| 3B_Primal_2 | 6.04 | 94.34 | -0.34 | 3.30 | 81.43 | 86.07 | 87.64 | 251 | 254 | 249 |
| 3B_Primal_3 | 5.97 | 94.40 | -0.35 | 3.26 | 81.55 | 86.20 | 87.82 | 251 | 255 | 249 |

Messwerte PK 1A (dünne Filme), nach der UV- Alterung

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|--------------|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 1A_LI_1_LA | 3.82 | 90.39 | -1.44 | 2.50 | 72.45 | 77.14 | 79.44 | 237 | 244 | 238 |
| 1A_LI_2_LA | 3.89 | 90.88 | -1.43 | 2.54 | 73.48 | 78.22 | 80.51 | 239 | 245 | 239 |
| 1A_LI_3_LA | 3.88 | 90.96 | -1.43 | 2.54 | 73.63 | 78.39 | 80.68 | 239 | 246 | 239 |
| 1A_LII_1_LA | 3.70 | 90.93 | -1.45 | 2.45 | 73.57 | 78.33 | 80.74 | 239 | 246 | 240 |
| 1A_LII_2_LA | 3.78 | 91.12 | -1.43 | 2.49 | 73.98 | 78.76 | 81.14 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LII_3_LA | 3.77 | 91.12 | -1.43 | 2.48 | 73.96 | 78.74 | 81.13 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LIII_1_LA | 3.65 | 90.74 | -1.43 | 2.42 | 73.17 | 77.90 | 80.34 | 238 | 245 | 239 |
| 1A_LIII_2_LA | 3.68 | 91.07 | -1.43 | 2.43 | 73.86 | 78.63 | 81.08 | 239 | 246 | 240 |
| 1A_LIII_3_LA | 3.77 | 90.92 | -1.42 | 2.48 | 73.57 | 78.32 | 80.69 | 239 | 246 | 239 |
| 1A_LIV_1_LA | 3.62 | 90.51 | -1.43 | 2.40 | 72.71 | 77.41 | 79.85 | 238 | 244 | 238 |
| 1A_LIV_2_LA | 3.74 | 91.10 | -1.42 | 2.46 | 73.93 | 78.70 | 81.11 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LIV_3_LA | 3.71 | 91.27 | -1.43 | 2.46 | 74.28 | 79.07 | 81.51 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LV_1_LA | 3.68 | 91.06 | -1.43 | 2.43 | 73.85 | 78.62 | 81.07 | 239 | 246 | 240 |
| 1A_LV_2_LA | 3.74 | 91.26 | -1.44 | 2.47 | 74.26 | 79.06 | 81.48 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LV_3_LA | 3.73 | 91.24 | -1.42 | 2.47 | 74.23 | 79.02 | 81.45 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LVI_1_LA | 3.71 | 90.66 | -1.43 | 2.44 | 73.01 | 77.73 | 80.12 | 238 | 245 | 239 |
| 1A_LVI_2_LA | 3.79 | 91.18 | -1.40 | 2.49 | 74.10 | 78.88 | 81.27 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LVI_3_LA | 3.77 | 91.10 | -1.42 | 2.48 | 73.94 | 78.71 | 81.10 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LVII_1_LA | 4.46 | 76.15 | -1.14 | 2.41 | 47.13 | 50.14 | 51.39 | 194 | 198 | 192 |
| 1A_LVII_2_LA | 4.50 | 75.46 | -1.14 | 2.41 | 46.06 | 49.01 | 50.21 | 191 | 196 | 189 |
| 1A_LVII_3_LA | 4.57 | 75.25 | -1.13 | 2.43 | 45.76 | 48.68 | 49.85 | 191 | 195 | 189 |

Messwerte PK 2A (dicke Filme), nach der UV- Alterung

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|--------------|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 2A_LI_1_LA | 4.12 | 90.16 | -1.46 | 2.66 | 71.97 | 76.64 | 78.71 | 237 | 243 | 236 |
| 2A_LI_2_LA | 4.00 | 90.40 | -1.46 | 2.60 | 72.48 | 77.18 | 79.34 | 237 | 244 | 237 |
| 2A_LII_1_LA | 3.58 | 89.69 | -1.43 | 2.36 | 71.04 | 75.64 | 78.05 | 235 | 242 | 235 |
| 2A_LII_2_LA | 3.74 | 89.72 | -1.40 | 2.44 | 71.11 | 75.70 | 78.02 | 235 | 242 | 235 |
| 2A_LIII_1_LA | 3.68 | 90.35 | -1.42 | 2.42 | 72.39 | 77.07 | 79.47 | 237 | 244 | 238 |
| 2A_LIII_2_LA | 3.65 | 90.23 | -1.42 | 2.41 | 72.15 | 76.81 | 79.21 | 237 | 243 | 237 |
| 2A_LIV_1_LA | 3.68 | 90.36 | -1.43 | 2.42 | 72.40 | 77.08 | 79.48 | 237 | 244 | 238 |
| 2A_LIV_2_LA | 3.65 | 90.31 | -1.40 | 2.40 | 72.32 | 76.98 | 79.40 | 237 | 244 | 238 |
| 2A_LV_1_LA | 3.85 | 90.41 | -1.45 | 2.52 | 72.50 | 77.20 | 79.47 | 237 | 244 | 238 |
| 2A_LV_2_LA | 4.01 | 90.16 | -1.41 | 2.58 | 72.01 | 76.66 | 78.82 | 237 | 243 | 237 |
| 2A_LVI_1_LA | 3.68 | 90.17 | -1.41 | 2.42 | 72.01 | 76.66 | 79.05 | 237 | 243 | 237 |
| 2A_LVI_2_LA | 3.68 | 90.26 | -1.43 | 2.42 | 72.21 | 76.87 | 79.26 | 237 | 244 | 237 |

| | | |
|--------------|------|--|
| 2A_LVII_1_LA | 4.26 | 71.39 -1.02 2.17 40.21 42.75 43.92 179 184 177 |
| 2A_LVII_2_LA | 4.59 | 71.94 -1.06 2.34 40.96 43.57 44.62 180 185 179 |

Messwerte PK 3A (Referenzfilme), nach der UV- Alterung

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|----------------|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 3A_ECN100_1_LA | 6.29 | 94.14 | -0.42 | 3.46 | 80.94 | 85.59 | 86.92 | 251 | 254 | 248 |
| 3A_ECN100_2_LA | 6.44 | 94.00 | -0.38 | 3.52 | 80.66 | 85.28 | 86.51 | 250 | 254 | 247 |
| 3A_ECN100_3_LA | 6.44 | 93.89 | -0.39 | 3.52 | 80.40 | 85.02 | 86.24 | 250 | 253 | 247 |
| 3A_Primal_1_LA | 6.95 | 94.29 | -0.49 | 3.85 | 81.24 | 85.95 | 86.75 | 251 | 254 | 247 |
| 3A_Primal_2_LA | 7.01 | 94.57 | -0.50 | 3.89 | 81.84 | 86.59 | 87.35 | 252 | 255 | 248 |
| 3A_Primal_3_LA | 7.09 | 94.35 | -0.50 | 3.92 | 81.37 | 86.09 | 86.79 | 251 | 254 | 247 |

Messwerte PK 1A und PK 1B (dünne Filme), nach der dynamischen

Klimaalterung

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|--------------|------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 1A_LI_1_dA | 01.03.82 | 90.88 | -1.45 | 01.02.52 | 73.47 | 78.22 | 80.54 | 239 | 245 | 239 |
| 1A_LI_2_dA | 01.03.95 | 90.87 | -1.45 | 01.02.58 | 73.45 | 78.21 | 80.45 | 239 | 245 | 239 |
| 1A_LI_3_dA | 01.03.88 | 91.07 | -1.44 | 01.02.54 | 73.86 | 78.64 | 80.94 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LII_1_dA | 01.03.67 | 91.21 | -1.45 | 01.02.45 | 74.15 | 78.95 | 81.40 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LII_2_dA | 01.03.75 | 91.14 | -1.44 | 01.02.48 | 74.01 | 78.79 | 81.19 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LII_3_dA | 01.03.86 | 90.88 | -1.42 | 01.02.52 | 73.47 | 78.21 | 80.52 | 239 | 245 | 239 |
| 1A_LIII_1_dA | 01.03.70 | 91.04 | -1.44 | 01.02.45 | 73.81 | 78.58 | 81.01 | 239 | 246 | 240 |
| 1A_LIII_2_dA | 01.03.73 | 91.19 | -1.44 | 01.02.47 | 74.11 | 78.90 | 81.31 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LIII_3_dA | 01.03.75 | 91.31 | -1.44 | 01.02.48 | 74.35 | 79.16 | 81.57 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LIV_1_dA | 04.03.13 | 91.07 | -1.42 | 01.02.61 | 73.88 | 78.65 | 80.86 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LIV_2_dA | 01.03.93 | 91.19 | -1.42 | 01.02.56 | 74.12 | 78.90 | 81.19 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LIV_3_dA | 04.12.13 | 90.98 | -1.42 | 01.02.65 | 73.69 | 78.44 | 80.59 | 239 | 246 | 239 |
| 1A_LV_1_dA | 01.03.74 | 91.25 | -1.45 | 01.02.48 | 74.23 | 79.03 | 81.44 | 240 | 247 | 241 |
| 1A_LV_2_dA | 01.03.84 | 91.01 | -1.42 | 01.02.52 | 73.74 | 78.50 | 80.83 | 239 | 246 | 240 |
| 1A_LV_3_dA | 01.03.84 | 91.11 | -1.43 | 01.02.52 | 73.95 | 78.72 | 81.06 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LVI_1_dA | 01.03.69 | 91.04 | -1.45 | 01.02.45 | 73.79 | 78.57 | 80.99 | 239 | 246 | 240 |
| 1A_LVI_2_dA | 01.03.87 | 91.07 | -1.40 | 01.02.52 | 73.89 | 78.64 | 80.98 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LVI_3_dA | 01.03.84 | 91.09 | -1.42 | 01.02.51 | 73.91 | 78.68 | 81.03 | 240 | 246 | 240 |
| 1A_LVII_1_dA | 01.04.45 | 75.79 | -1.15 | 01.02.40 | 46.57 | 49.55 | 50.79 | 192 | 197 | 191 |
| 1A_LVII_2_dA | 01.04.59 | 75.24 | -1.14 | 01.02.44 | 45.74 | 48.67 | 49.82 | 191 | 195 | 189 |
| 1A_LVII_3_dA | 01.04.44 | 74.00 | -1.14 | 01.02.35 | 43.89 | 46.70 | 47.87 | 187 | 192 | 185 |
| 1B_LI_1_dA | 01.03.68 | 90.97 | -1.47 | 01.02.45 | 73.63 | 78.41 | 80.82 | 239 | 246 | 240 |
| 1B_LI_2_dA | 01.03.67 | 90.98 | -1.46 | 01.02.44 | 73.67 | 78.45 | 80.87 | 239 | 246 | 240 |

| | | |
|--------------|----------|--|
| 1B_LI_3_dA | 01.03.70 | 91.05 -1.47 01.02.46 73.81 78.60 81.01 239 246 240 |
| 1B_LII_1_dA | 01.03.51 | 90.96 -1.48 01.02.37 73.62 78.40 80.93 239 246 240 |
| 1B_LII_2_dA | 01.03.60 | 91.09 -1.47 01.02.41 73.90 78.69 81.17 239 246 240 |
| 1B_LII_3_dA | 01.03.62 | 91.10 -1.47 01.02.43 73.91 78.71 81.17 240 246 240 |
| 1B_LIII_1_dA | 01.03.63 | 91.03 -1.46 01.02.42 73.77 78.55 81.01 239 246 240 |
| 1B_LIII_2_dA | 01.03.55 | 91.24 -1.48 01.02.40 74.19 79.01 81.53 240 247 241 |
| 1B_LIII_3_dA | 01.03.61 | 91.13 -1.48 01.02.42 73.96 78.77 81.24 240 246 240 |
| 1B_LIV_1_dA | 01.03.70 | 91.05 -1.45 01.02.46 73.82 78.59 81.01 239 246 240 |
| 1B_LIV_2_dA | 01.03.65 | 91.31 -1.46 01.02.44 74.36 79.17 81.64 240 247 241 |
| 1B_LIV_3_dA | 01.03.64 | 91.18 -1.46 01.02.44 74.07 78.87 81.33 240 246 240 |
| 1B_LV_1_dA | 01.03.57 | 91.09 -1.49 01.02.40 73.88 78.68 81.17 239 246 240 |
| 1B_LV_2_dA | 01.03.58 | 91.30 -1.49 01.02.41 74.31 79.14 81.64 240 247 241 |
| 1B_LV_3_dA | 01.03.58 | 91.28 -1.49 01.02.41 74.27 79.10 81.60 240 247 241 |
| 1B_LVI_1_dA | 01.03.48 | 90.70 -1.45 01.02.34 73.10 77.83 80.37 238 245 239 |
| 1B_LVI_2_dA | 01.03.61 | 91.10 -1.46 01.02.42 73.90 78.69 81.17 239 246 240 |
| 1B_LVI_3_dA | 01.03.48 | 90.93 -1.50 01.02.36 73.54 78.33 80.86 239 246 240 |
| 1B_LVII_1_dA | 01.03.99 | 80.14 -1.30 01.02.34 53.46 56.92 58.53 205 211 205 |
| 1B_LVII_2_dA | 01.03.88 | 82.59 -1.32 01.02.34 57.67 61.39 63.19 212 219 212 |
| 1B_LVII_3_dA | 01.03.91 | 81.70 -1.32 01.02.34 56.12 59.76 61.49 210 216 210 |

Messwerte PK 2A und PK 2B (dicke Filme), nach der dynamischen Klimaalterung

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|--------------|------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 2A_LI_1_dA | 04.07.13 | 89.61 | -1.44 | 01.02.61 | 70.87 | 75.47 | 77.54 | 235 | 241 | 235 |
| 2A_LI_2_dA | 01.03.97 | 89.56 | -1.46 | 01.02.57 | 70.77 | 75.36 | 77.49 | 235 | 241 | 235 |
| 2A_LII_1_dA | 01.03.62 | 90.21 | -1.44 | 01.02.40 | 72.08 | 76.75 | 79.16 | 237 | 243 | 237 |
| 2A_LII_2_dA | 01.03.68 | 90.14 | -1.42 | 01.02.42 | 71.95 | 76.60 | 78.98 | 237 | 243 | 237 |
| 2A_LIII_1_dA | 01.03.71 | 90.30 | -1.44 | 01.02.44 | 72.27 | 76.95 | 79.31 | 237 | 244 | 237 |
| 2A_LIII_2_dA | 01.03.73 | 90.41 | -1.42 | 01.02.45 | 72.51 | 77.19 | 79.56 | 237 | 244 | 238 |
| 2A_LIV_1_dA | 01.03.76 | 90.31 | -1.40 | 01.02.45 | 72.32 | 76.99 | 79.34 | 237 | 244 | 237 |
| 2A_LIV_2_dA | 01.03.79 | 90.42 | -1.42 | 01.02.48 | 72.54 | 77.22 | 79.55 | 238 | 244 | 238 |
| 2A_LV_1_dA | 04.04.13 | 90.53 | -1.47 | 01.02.63 | 72.72 | 77.45 | 79.59 | 238 | 244 | 238 |
| 2A_LV_2_dA | 04.08.13 | 90.26 | -1.46 | 01.02.64 | 72.19 | 76.88 | 78.98 | 237 | 244 | 237 |
| 2A_LVI_1_dA | 01.03.70 | 90.37 | -1.43 | 01.02.44 | 72.43 | 77.11 | 79.49 | 237 | 244 | 238 |
| 2A_LVI_2_dA | 01.03.72 | 90.52 | -1.43 | 01.02.45 | 72.74 | 77.44 | 79.81 | 238 | 244 | 238 |
| 2A_LVII_1_dA | 01.04.42 | 71.88 | -1.05 | 01.02.26 | 40.88 | 43.48 | 44.60 | 180 | 185 | 179 |
| 2A_LVII_2_dA | 01.04.68 | 71.47 | -1.06 | 01.02.37 | 40.31 | 42.87 | 43.87 | 179 | 184 | 177 |
| 2B_LI_1_dA | 01.03.85 | 90.59 | -1.50 | 01.02.54 | 72.84 | 77.59 | 79.85 | 238 | 245 | 238 |
| 2B_LI_2_dA | 01.03.87 | 90.43 | -1.49 | 01.02.55 | 72.53 | 77.25 | 79.48 | 237 | 244 | 238 |
| 2B_LII_1_dA | 01.03.56 | 90.06 | -1.48 | 01.02.38 | 71.76 | 76.42 | 78.85 | 236 | 243 | 237 |
| 2B_LII_2_dA | 01.03.54 | 90.41 | -1.49 | 01.02.38 | 72.47 | 77.19 | 79.64 | 237 | 244 | 238 |

| | | |
|--------------|--|--|
| 2B_LIII_1_dA | 01.03.48 | 90.11 -1.48 01.02.34 71.87 76.54 79.02 236 243 237 |
| 2B_LIII_2_dA | 01.03.55 | 90.11 -1.50 01.02.39 71.85 76.54 78.95 236 243 237 |
| 2B_LIV_1_dA | 01.03.66 | 90.66 -1.48 01.02.44 73.00 77.75 80.15 238 245 239 |
| 2B_LIV_2_dA | 01.03.74 | 90.54 -1.47 01.02.48 72.75 77.48 79.82 238 244 238 |
| 2B_LIV_3_dA | 01.09.67 24.76 0.47 01.01.69 01.04.15 01.04.34 01.04.33 51 54 49 | |
| 2B_LV_1_dA | 01.03.89 | 90.33 -1.51 01.02.56 72.31 77.02 79.23 237 244 237 |
| 2B_LV_2_dA | 01.03.82 | 90.71 -1.52 01.02.54 73.08 77.85 80.13 238 245 239 |
| 2B_LVI_1_dA | 01.03.65 | 90.42 -1.48 01.02.43 72.51 77.22 79.61 237 244 238 |
| 2B_LVI_2_dA | 01.03.66 | 90.52 -1.47 01.02.44 72.70 77.43 79.82 238 244 238 |
| 2B_LVII_1_dA | 01.04.16 | 73.97 -1.17 01.02.24 43.83 46.65 47.92 187 192 185 |
| 2B_LVII_2_dA | 01.04.00 | 71.51 -1.02 02.07.13 40.37 42.93 44.20 179 184 178 |

Messwerte PK 3A und PK 3B (Referenzfilme), nach der dynamischen Klimaalterung

| Name | Gelbgrad DIN6167 | L* | a* | b* | X | Y | Z | R | G | B |
|----------------|------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 3A_ECN100_1_dA | 06.07.13 | 94.38 | -0.41 | 01.03.34 | 81.47 | 86.15 | 87.66 | 251 | 255 | 249 |
| 3A_ECN100_2_dA | 01.06.15 | 94.27 | -0.42 | 01.03.39 | 81.22 | 85.89 | 87.33 | 251 | 254 | 248 |
| 3A_ECN100_3_dA | 01.06.29 | 93.99 | -0.41 | 01.03.45 | 80.62 | 85.25 | 86.57 | 250 | 254 | 247 |
| 3A_Primal_1_dA | 01.07.38 | 94.51 | -0.64 | 01.04.14 | 81.64 | 86.45 | 86.85 | 252 | 255 | 247 |
| 3A_Primal_2_dA | 01.07.50 | 94.62 | -0.63 | 01.04.21 | 81.89 | 86.71 | 87.02 | 252 | 255 | 248 |
| 3A_Primal_3_dA | 01.07.67 | 94.42 | -0.65 | 01.04.30 | 81.44 | 86.25 | 86.42 | 251 | 255 | 247 |
| 3B_ECN100_1_dA | 01.04.97 | 94.93 | -0.43 | 01.02.78 | 82.70 | 87.46 | 89.81 | 252 | 255 | 252 |
| 3B_ECN100_2_dA | 05.06.13 | 94.79 | -0.41 | 01.02.82 | 82.38 | 87.12 | 89.41 | 252 | 255 | 252 |
| 3B_ECN100_3_dA | 01.04.97 | 94.68 | -0.42 | 01.02.77 | 82.14 | 86.87 | 89.21 | 251 | 255 | 251 |
| 3B_Primal_1_dA | 01.05.79 | 94.67 | -0.44 | 01.03.21 | 82.11 | 86.84 | 88.55 | 252 | 255 | 250 |
| 3B_Primal_2_dA | 01.05.83 | 94.56 | -0.42 | 01.03.22 | 81.87 | 86.58 | 88.27 | 251 | 255 | 250 |
| 3B_Primal_3_dA | 01.05.73 | 94.61 | -0.42 | 01.03.17 | 81.98 | 86.70 | 88.47 | 251 | 255 | 250 |

10.7. Datenblätter

Technisches Datenblatt



Überarbeitet am 20. August 2009

Druckdatum: 19. Februar 2013

Seite 1 von 1

| Handelsname: ORMOCER®-G-Lack | |
|-------------------------------------|---|
| Produktbeschreibung | ORMOCER®-G Lack ist ein lösemittelhaltiges, bei Raumtemperatur härtendes, auf Sol-Gel-Basis hergestelltes Beschichtungsmaterial. |
| Lagerbedingungen | ORMOCER®-G Lack wird bei Raumtemperatur, vor Licht geschützt, gelagert. |
| Gebrauchshinweise | ORMOCER®-G-Lack kann mit 2-Butoxyethanol und Ethylacetat beliebig verdünnt werden. Die Zugabe von 2-Butoxyethanol und Ethylacetat unterliegt keinen Grenzen. Beim Arbeiten mit dem ORMOCER® für geeignete Belüftung sorgen, Arbeiten unter einem Abzug. |
| Physikalische Daten | Feststoffgehalt: 40% pH-Wert: 5-8 kinematische Viskosität: 75-77 mm ² /s Dichte: 0,8-1 g/L |
| Topfzeit | Die Topfzeit beträgt, unter Einhaltung oben genannter Lagerbedingungen, mehrere Monate, bis zu einem Jahr. |
| Aushärtung | Bei Raumtemperatur |
| Verarbeitungszeit | Unterliegt keiner Grenze |

STRECKE – ITINERÄR – PARADISE™ 572

Die Strecke 572 ist ein Auswahlergebnis und wird in der Regel als Einzelstrecke oder als 17-tägige Leistungswanderung in 13 Etappen realisiert. Inanspruchnahme der Strecke ist im Reiseplan unter „Wichtiges“ zu finden. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert.

Wichtige Hinweise:
Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert.

Leistungsmerkmale:
Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert.

Wichtige Hinweise:
Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert.

1. Leistungsmerkmale
2. Leistungsmerkmale
3. Leistungsmerkmale
4. Leistungsmerkmale
5. Leistungsmerkmale
6. Leistungsmerkmale
7. Leistungsmerkmale
8. Leistungsmerkmale
9. Leistungsmerkmale
10. Leistungsmerkmale
11. Leistungsmerkmale
12. Leistungsmerkmale
13. Leistungsmerkmale
14. Leistungsmerkmale
15. Leistungsmerkmale
16. Leistungsmerkmale
17. Leistungsmerkmale

Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert.

Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert.

STRECKE – ITINERÄR – PARADISE™ 572

Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert.

| Etappenname | PILGERKREUZ | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Strecke | Strecke | Strecke | Strecke |
| 1. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 2. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 3. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 4. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 5. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 6. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 7. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 8. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 9. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 10. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 11. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 12. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 13. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 14. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 15. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 16. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| 17. Etappe | 100 km | 100 km | 100 km | 100 km |
| Gesamt | 1700 km | 1700 km | 1700 km | 1700 km |

1. Leistungsmerkmale
2. Leistungsmerkmale
3. Leistungsmerkmale
4. Leistungsmerkmale
5. Leistungsmerkmale
6. Leistungsmerkmale
7. Leistungsmerkmale
8. Leistungsmerkmale
9. Leistungsmerkmale
10. Leistungsmerkmale
11. Leistungsmerkmale
12. Leistungsmerkmale
13. Leistungsmerkmale
14. Leistungsmerkmale
15. Leistungsmerkmale
16. Leistungsmerkmale
17. Leistungsmerkmale

Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert. Die Strecke ist als 17-tägige Leistungswanderung konzipiert.

Dosiergerät KDN

Einheitsbeschreibung

Das **REILD**-Dosiervgerät KDN wird benutzt, um die genaue Menge des Dosismittels zu bestimmen.

Das **REILD**-DOSIERGERÄT KDN ist ein für die Verwendung in der Dosisierung des Dosismittels geeignetes Gerät.

NEUTRALISIERUNG

1. Nach dem Ablesen des Dosiswertes an der Dosisierungskurve des Dosismittels (Dosiswertkurve) ist die Verdünnung des Dosismittels im Dosismittel und seine Menge zu bestimmen. Das Dosismittel sollte im Verhältnis zu dem Dosismittel verdünnt werden, wie es im Dosismittel angegeben ist.

2. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen.

3. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen.

4. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

5. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

6. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

7. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

8. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

9. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

10. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

11. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

12. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

13. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

14. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

15. Das Dosismittel in dem Dosismittel verdünnen. Die Dosisierungskurve des Dosismittels ist im Dosismittel angegeben.

BEWERTUNGSGRUNDLAGEN

Die Bewertung des Dosiergeräts KDN erfolgt nach folgenden Kriterien:

1. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

2. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

3. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

4. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

5. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

6. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

7. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

8. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

9. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

10. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

11. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

12. Die Genauigkeit der Dosisierung ist durch die Genauigkeit der Dosisierungskurve des Dosismittels bestimmt.

REILD Dosiergerät KDN - Einheitsbeschreibung - Teil 0000000000

Hyso[®] **Hyso[®] 9455 TM**
 Trade for Class 3 resin
 April 2020

HYSO[®] 9455 TM is a 100% reactive, high-strength, low-shrinkage, clear resin system. It is designed for use in a wide range of applications, including dental restorations, prosthetics, and industrial coatings. The resin is characterized by its high modulus, high strength, and low shrinkage, making it an ideal choice for applications where dimensional stability and mechanical performance are critical.

HYSO[®] 9455 TM is a 100% reactive, high-strength, low-shrinkage, clear resin system. It is designed for use in a wide range of applications, including dental restorations, prosthetics, and industrial coatings. The resin is characterized by its high modulus, high strength, and low shrinkage, making it an ideal choice for applications where dimensional stability and mechanical performance are critical.

HYSO[®] 9455 TM is a 100% reactive, high-strength, low-shrinkage, clear resin system. It is designed for use in a wide range of applications, including dental restorations, prosthetics, and industrial coatings. The resin is characterized by its high modulus, high strength, and low shrinkage, making it an ideal choice for applications where dimensional stability and mechanical performance are critical.

TYPICAL PERFORMANCE OF THERMOSET MATERIAL

HYSO[®] 9455 TM

| | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Modulus (E) | 120 GPa |
| Strength (σ) | 120 MPa |
| Elongation at Break (ε) | 1.5% |
| Shrinkage (ΔV) | 0.5% |
| Heat Deflection Temp. (HDT) | 150°C |
| Thermal Conductivity (k) | 0.2 W/mK |
| Thermal Expansion Coefficient (α) | 10 ppm/K |
| Water Absorption (WVTR) | 0.1 g/m ² /day |
| Flammability (UL94) | UL94 V-0 |
| Biocompatibility (ISO 10993) | ISO 10993-1, 2, 5 |

For the most detailed product technical data and technical support visit: www.hyso.com

Hyso[®] 9455 TM
 Trade for Class 3 resin
 April 2020

HYSO[®] 9455 TM is a 100% reactive, high-strength, low-shrinkage, clear resin system. It is designed for use in a wide range of applications, including dental restorations, prosthetics, and industrial coatings. The resin is characterized by its high modulus, high strength, and low shrinkage, making it an ideal choice for applications where dimensional stability and mechanical performance are critical.

HYSO[®] 9455 TM is a 100% reactive, high-strength, low-shrinkage, clear resin system. It is designed for use in a wide range of applications, including dental restorations, prosthetics, and industrial coatings. The resin is characterized by its high modulus, high strength, and low shrinkage, making it an ideal choice for applications where dimensional stability and mechanical performance are critical.

HYSO[®] 9455 TM is a 100% reactive, high-strength, low-shrinkage, clear resin system. It is designed for use in a wide range of applications, including dental restorations, prosthetics, and industrial coatings. The resin is characterized by its high modulus, high strength, and low shrinkage, making it an ideal choice for applications where dimensional stability and mechanical performance are critical.

TYPICAL PERFORMANCE OF THERMOSET MATERIAL

HYSO[®] 9455 TM

| | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Modulus (E) | 120 GPa |
| Strength (σ) | 120 MPa |
| Elongation at Break (ε) | 1.5% |
| Shrinkage (ΔV) | 0.5% |
| Heat Deflection Temp. (HDT) | 150°C |
| Thermal Conductivity (k) | 0.2 W/mK |
| Thermal Expansion Coefficient (α) | 10 ppm/K |
| Water Absorption (WVTR) | 0.1 g/m ² /day |
| Flammability (UL94) | UL94 V-0 |
| Biocompatibility (ISO 10993) | ISO 10993-1, 2, 5 |

For the most detailed product technical data and technical support visit: www.hyso.com

10.8. Verwendete Materialien und Gerätschaften

| Produkt | Bezugsquelle/Firma |
|---|---|
| Handmessgerät E200 Temperatur/ Feuchte | G. Luft Mess- und Regeltechnik GmbH Gutenbergstr. 20 70736 Fellbach |
| Aerosolgenerator AGS 2000 | ZFB Project Management GmbH Amazonstraße 4 04347 Leipzig |
| Ethylcellulose N100 | Ashland Inc. 50 E. RiverCenter Blvd. P.O. Box 391 Covington, KY 41012-0391 USA |
| Chimosorb 81 | BASF The chemical company Carl-Bosch-Str. 38 67056 Ludwigshafen Deutschland |
| Paraloid B72 | Kremer Pigmente GmbH & Co. KG Hauptstr. 41 – 47 DE 88317 Aichstetten |
| Laropal A81 | Kremer Pigmente GmbH & Co. KG Hauptstr. 41 – 47 DE 88317 Aichstetten |
| Regalrez 1094 | EASTMAN 200 South Wilcox Drive Kingsport, Tennessee 37660 |
| Tinuvin 292 | Kremer Pigmente GmbH & Co. KG Hauptstr. 41 – 47 DE 88317 Aichstetten |
| Kraton G 1650 | www.kraton.com |
| Aquazoll 500 | Kremer Pigmente GmbH & Co. KG Hauptstr. 41 – 47 DE 88317 Aichstetten |
| ORMOCER-G | Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung ISC Neunerplatz 2 Würzburg |
| Tecero-Wachs 30201 | Deffner & Johann GmbH Mühlacker Straße 13 D-97520 Röhlein |

| | |
|---|--|
| Tecero-Wachs 30401 | Deffner & Johann GmbH Mühläcker Straße 13 D-97520 Röthlein |
| Modifizierter Engelbrecht Ultraschall-Vernebler | Deffner & Johann GmbH Mühläcker Straße 13 D-97520 Röthlein |
| BELO Dosiergerät | BELO Restaurierungsgeräte GmbH Wiesenstraße 14 D-79585 Steinen |
| Dosiernadel Nr. F560016-1/4 | Vieweg GmbH Dosier- und Mischtechnik Gewerbepark 13 85402 Kranzberg |
| Floatglas (4 mm) | Fa. Glas Köbel Tellsstr. 22a 45657 Recklinghausen |
| Bewitterungsschrank, Bewitterungsprüfung + Global-UV- Testgerät Typ UV200 | Weiss Umwelttechnik GmbH Simulationsanlagen Messtechnik Greizer Straße 41 - 49 35447 Reiskirchen-Lindenstruth |
| Rakel, 4 – Sided Applicator“, Nr. 2010 | BYK-Chemie GmbH Abelstraße 45 46483 Wesel |
| Gitterschnittprüfer cc200 | TQC GmbH Nikolaus-Otto-Strasse 2 Hilden, D-40721 Deutschland |