

Fügen eines „Haubenbildes“ aus Polystyrol der Künstlerin Pia Linz

Gesine Betz

Wie lassen sich die geöffneten Klebeverbindungen eines bemalten dreidimensionalen Objektes aus Kunststoff wieder fügen? Aus welchem transparenten, harten Kunststoff besteht der Träger des „Haubenbildes“ von Pia Linz und mit welchem Klebstoff ist die Haube gefügt worden? Diese Fragen standen am Anfang der Restaurierungsmaßnahmen an einem bemalten Kunststoffobjekt von 1997 aus der Werkreihe der sogenannten Haubenbilder, das sich mit vier weiteren Werken derselben Serie im Bestand des Hessischen Landesmuseums Darmstadt befindet. Durch die Korrespondenz mit der Künstlerin konnte geklärt werden, dass der Objektträger in Form eines Quaders aus transparenten Polystyrolplatten besteht und stumpf mit einem Cyanacrylatklebstoff, bekannt als Sekundenkleber, gefügt worden ist. Die Malerei in Acryltechnik war im Inneren des transparenten Kastens aufgetragen worden, ähnlich dem Verfahren der Hinterglasmalerei. Die Fugen des Quaders hatten sich infolge von Degradation des Klebstoffes partiell geöffnet, sodass die Konstruktion des „Haubenbildes“ instabil war. Im vorliegenden Beitrag werden die konservatorischen Anforderungen an den für die Restaurierung verwendeten Klebstoff aufgezeigt und anschließend die durchgeführten Maßnahmen dargestellt.

Re-joining a Polystyrene 'Haubenbild' by the Artist Pia Linz

How can the open adhesive joints of a painted three-dimensional plastic object be re-joined? Which transparent, hard plastic was used for the support of the "Haubenbild" by Pia Linz? And which adhesive was used to construct this box?

These questions arose at the outset of the conservation treatment of a painted plastic object from 1997 from the series of so-called Haubenbilder, which together with four other works of the same series is housed in the Hessisches Landesmuseum Darmstadt (Hessian State Museum Darmstadt).

Correspondence with the artist clarified that the support, which is cuboid in shape, consists of transparent polystyrene plates and was butt-joined with a cyanoacrylate adhesive, otherwise known as superglue.

The painting was done with acrylic paint inside the transparent box similar to the technique of reverse glass painting. The joints had partially opened due to the degradation of the adhesive, rendering the construction of the "Haubenbild" unstable.

This paper details the conservation requirements demanded of the adhesive used to rejoin the plates and describes the treatment that was carried out.

Was ist ein „Haubenbild“? – Angaben zum Herstellungsprozess

Die Künstlerin Pia Linz studierte in den 1980er Jahren an der Städelschule in Frankfurt am Main bei Thomas Bayrle, Johann Georg Geyger und Felix Droese und war Meister-schülerin bei Christa Näher. Seit 2016 ist sie Professorin für Zeichnung im Fachgebiet Malerei an der Kunsthochschule Berlin-Weißensee.¹ Die Werkgruppe der sogenannten Haubenbilder besteht aus unterschiedlichen geometrischen Formen, wie zum Beispiel Quader und Kegel, und ist Ende der 1990er und Anfang der 2000er Jahre entstanden (Abb. 1).

Hierfür sind zuerst dreidimensionale Hauben aus transparentem Kunststoff gebaut worden, die jeweils an der unteren Seite offen sind, um von der Innenseite bemalt zu werden. Während des Schaffensprozesses sitzt die Künstlerin in der Öffnung des Kunststoffkastens, der entweder auf einem Ständer steht oder hängend montiert ist. Sie malt draußen direkt vor Ort und hält ihre räumliche Umgebung auf allen fünf Innenseiten, d. h. inklusive der Oberseite der Haube, mit Pinsel und Farbe fest. Aufgrund dieser Pleinair-Situation ergeben sich individuelle 360-Grad-Ansichten ihres gewählten Arbeitsplatzes (Abb. 2).

Bei der Darmstädter Haube mit dem Titel *Ffm-Hauptbahnhof* mit einer Höhe von 25 cm und einer Breite und Tiefe von jeweils 50 cm platzierte sich die Künstlerin im Frankfurter Hauptbahnhof vor der nördlichen Außenfassade des Eingangsgebäudes im Stil des Historismus. Sie malte die maß-

2

Pia Linz während des Herstellungsprozesses des „Haubenbildes“ im Frankfurter Hauptbahnhof





1
Gesamtaufnahme des „Hauben-
bildes“ von Pia Linz mit dem
Titel *FfM-Hauptbahnhof I*
von 1997, präsentiert auf einem
Metallständer

stabsgetreue Rundumansicht mit den Gleisen und Zügen im Süden, dem Eingangsbereich mit Prellbock und der Geschäftszeile im Osten, der Gleisanlage in westlicher Richtung sowie der Nordseite mit einem dunklen Auto im Vordergrund. Die Stahl-Glaskonstruktion des Tonnengewölbes hielt sie auf der Oberseite der Haube fest (Abb. 3, 4).

Bei der subjektiven Darstellung der Wirklichkeit verzichtet Pia Linz auf die Wiedergabe von Menschen und in Bewegung befindlichen Dingen. Sie reduziert den Bildgegenstand vielmehr auf die Architektur und die starren Gegenstände. Im Œuvre der Künstlerin stehen die Haubenbilder zwischen den noch ohne wiedererkennbaren Raumzusammenhang gearbeiteten „Fensterbildern“ und der anschließenden Weiter-

entwicklung der „Gehäusegravuren“, bei denen, anders als bei den Haubenbildern, in einer geschlossenen, komplexen und größeren architektonischen Form aus Acrylglas das Gesehene zuerst mit Filzstift maßstabsgetreu zeichnerisch festgehalten und anschließend in den Kunststoff eingraviert wird.²

Kunsttechnologischer Befund des Haubenbildes

Im Allgemeinen übernimmt bei den Haubenbildern der transparente Kunststoff eine Doppelfunktion als Bildträger und

skulpturales Element. Für die Quader der Haubenbilder im Besitz des Hessischen Landesmuseums Darmstadt verwendete Pia Linz unterschiedliches Kunststoffmaterial, genauer: Zwischen den drei frühen aus dem Jahr 1997 und den beiden aus den darauffolgenden Jahren 1998/99 fand offenbar ein Materialwechsel statt. Bei den späteren Haubenbildern wurde nach Aussage der Künstlerin transparentes Polymethylmethacrylat (PMMA)³ verwendet und durch eine Acrylglas verarbeitende Spezialfirma in Frankfurt am Main per Kaltverschweißverfahren verklebt.⁴

Für die Haubenarbeiten von 1997, zu denen *Ffm-Hauptbahnhof* zählt, hat die Künstlerin nach eigener Aussage im Baumarkt kostengünstige, transparente Kunststoffplatten gekauft.⁵ Der Zeitpunkt des Kaufes des transparenten, glasklaren Plattenmaterials in den 1990er Jahren, der günstige Preis und die Weichheit des Materials sind Indizien dafür, dass es sich um den Kunststoff Polystyrol (PS) handelt.⁶ Das gängige analytische Verfahren zur eindeutigen Unterscheidung zwischen Polystyrol und Polymethylmethacrylat, bei dem die unterschiedliche Schallemission beim Fallenlassen auf eine nichtmetallische ebene Unterlage gemessen wird, lässt sich bei einem Kunstobjekt nicht anwenden.⁷ Auch eine Materialanalyse durch die Entnahme einer Probe war nicht möglich, aber die vorhandenen Informationsquellen wie die Datierung von Erwerb und Produktionszeitraum, die geringe Oberflächenhärte sowie der günstige Kaufpreis sprechen mit großer Sicherheit für das Styrol-Polymerisat Polystyrol.⁸ Bei der weiteren Recherche wurde insofern davon ausgegangen, dass es sich um den Kunststoff Polystyrol handelt, dem während der Herstellung Additive wie zum Beispiel Antioxidantien, UV-Inhibitoren, Glanzgeber oder Brandschutzmittel zugesetzt wurden.⁹

Um die dreidimensionale Form der Haube zu schaffen, hat die Künstlerin die einzelnen 5 mm dicken, transparenten Polystyrolplatten mit einer Kreissäge zugeschnitten. Anschließend sind die Platten mit dem als Sekundenkleber bekannten Cyanacrylat speziell für Kunststoffe, den sie nach eigener Aussage ebenfalls im Baumarkt erworben hat, stumpf auf Stoß verklebt worden.¹⁰

Die Innenseiten der Haube bemalte die Künstlerin vor Ort. Die von ihr angewendete Technik ist mit der Hinterglasmalerei vergleichbar. Bei beiden Verfahren werden im umgekehrten Malvorgang seitenverkehrte Motive und Schriftzüge erzeugt. Somit beginnen die Arbeitsschritte in entgegengesetzter Reihenfolge mit der Anlegung der Konturen für die Darstellung mit schwarzer Farbe und Pinsel, anschließend folgen Schattenpartien und abschließend die mehrschichtigen Farbaufträge, wobei die oberste durch den transparenten Kunststoff sichtbare Farbschicht zuerst angelegt wird. Als Farbmittel sind neben wenigen aus Pigmenten angeteigten Farben auch Acrylfarben in Tuben mit verschiedenen breiten Flachpinseln vermalt worden. Als Pigmente sind nach Aussage der Künstlerin Titanweiß, Umbra grünlich und Ultramarin während des Malprozesses direkt mit dem Pinsel mit einem wasserverdünnten Acrylbinder angerührt worden.¹¹ Insbesondere bei

der weißen Malschicht und bei den mit Weiß ausgemischten Farbtönen sind kleine knubbelartige Anhäufungen von losen, ungebundenen Titanweißpigmenten in der ansonsten glatten Farbschicht sichtbar (siehe Abb. 5).

Erhaltungszustand des Haubenbildes

Die Konstruktion der Haube ist durch die Degradation des Klebstofffilms in den Klebefugen instabil, und die Fugen sind partiell offen. Der Abbau des Cyanacrylats ist bereits zehn Jahre nach der Applikation feststellbar gewesen. So wird bereits 2007 in einer Aktennotiz der Restaurierungsabteilung erwähnt, dass die Verklebung zwischen Deckel und einem Seitenteil offen ist und eine Neuverklebung notwendig sei, die jedoch nicht ausgeführt wurde.

Die Verklebung der einzelnen Kunststoffplatten erfolgte überwiegend punktuell, sodass sich der Klebstoff nicht gleichmäßig verteilt hat und keine vollständige Benetzung der Klebefläche stattfand. Stattdessen ist der Klebstoff inselartig stehen geblieben. Während des Klebevorgangs sind die einzelnen Polystyrolscheiben nicht bündig und mit leichtem Versatz zusammengeklebt worden. Durch den unterschiedlich stark aufgetragenen Klebstoff und unzureichende Druckausübung während des Trocknungsprozesses ist eine ungleichmäßig breite Klebenäht entstanden. Bei Verwendung von viel Material und Druck ist überschüssiges Klebemittel aus der Fuge herausgequollen, welches jetzt milchig weiß oder auch vergilbt in Erscheinung tritt. Ansonsten ist der getrocknete Klebstofffilm transluzent und weist einen hohen Glanzgrad auf. Im Laufe des Alterungs- und Versprödungsprozesses des Cyanacrylates haben die Bindungskräfte innerhalb der Klebeschicht versagt, sodass sich die Klebefuge teilweise mehrere Zentimeter lang öffnen konnte. Insbesondere bei der Seitenansicht mit der Darstellung der Nordseite des Frankfurter Hauptbahnhofs mit einem dunklen Auto im Vordergrund steht die Eckverbindung im unteren Bereich etwa 15 cm lang auf. Hier ist die Fuge aufgrund des ursprünglichen hohen Klebstoffeinsatzes besonders breit, und die Füge-teile liegen mehrere Millimeter voneinander entfernt (Abb. 6 und 7).

Zusätzlich zeigen die Seitenteile am oberen Rand durch das Zuschneiden der Platten mit der Kreissäge Rillen, Vertiefungen und kleine Ausbrüche, sodass keine glatte, ebene Klebefläche gegeben ist, weshalb keine gleichmäßige Verteilung des Klebstoffes stattfinden konnte. Auch hat das Polystyrol an den unebenen Sägekanten seine Transparenz verloren und erscheint dort milchig und undurchsichtig.

Die Farbschicht im Haubeninneren ist durch die intakte Adhäsion und Kohäsion stabil, und es gibt nur wenige durch mechanischen Abrieb entstandene Farbverluste im unteren Bereich der Haube. In den unterbundenen Farbbereichen mit losen, ungebundenen Pigmentansammlungen tritt um die Farbknubbel ein Craquelé auf, das vermutlich infolge zu hohen wässrigen Bindemittelanteils unmittelbar während des



3
Gesamtaufnahme des Haubenbildes mit Darstellung des Frankfurter Hauptbahnhofes mit Fassade der Nordseite und Gleisanlage



4
Gesamtaufnahme des Haubenbildes mit Darstellung des Frankfurter Hauptbahnhofes mit Gleisen und Zügen

Trocknungsprozesses entstanden ist. Infolge der weichen Beschaffenheit des Materials Polystyrol ist die Oberfläche verkratzt. Zudem gibt es an der Außenseite zahlreiche oberflächliche, feine kreisrunde Kratzer, die vermutlich auf eine ehemalige Reinigung mit einem zu harten Textil zurückzuführen sind. Weiterhin treten tiefe, breite, milchig aussehende Kratzer auf, die ebenfalls auf mechanische Einwirkungen zurückzuführen sind, wobei die obere Kunststoffscheibe die meisten Beschädigungen aufweist. Kleine regelmäßige kreisrunde Eindrücke im Randbereich der Haube deuten auf direkten Kontakt mit einer Blasenfolie als Verpackungsmaterial hin. Schließlich sind auf der gesamten Oberfläche auch viele kleine matte Flecken vorhanden, die sich beispielsweise auf alte Klebstoffreste zurückführen lassen.

Konservierungskonzept

Anforderungen an den Klebstoff

Bei den anstehenden konservatorischen Maßnahmen sollten die geöffneten Klebefugenbereiche der einzelnen Polystyrolplatten neu verklebt werden, um die Stabilität der Quaderkonstruktion unter Berücksichtigung der mechanischen Belastungen während des Handlings des Objektes wiederherzustellen.

Ziel des Konzeptes war es, ein geeignetes Klebemittel zu finden, das sowohl den konservatorischen als auch ästhetischen Ansprüchen der Fügung gerecht wird und das gleichzeitig das Risiko der Materialveränderung und somit -gefährdung des Kunststoffs ausschließt. Die Anforderung an das Klebemittel bestand im Wiederverkleben der partiell gelösten stumpfen Klebstoffverbindungen sowie der Schließung von Spalten in den geöffneten Klebefugen.¹² Die Auswahl des Klebstoffs orientierte sich primär an der Medienbeständigkeit des Polystyrols, um keine Gefährdung für das Objekt einzugehen. Grundsätzlich stellt das größte Risiko bei der Verklebung von Polystyrol die Ausbildung von Mikrorissen¹³ als Vor-

läufer von Spannungsrissen dar. Mikrorisse können durch die unzureichende chemische Beständigkeit von Polystyrol gegenüber Lösungsmitteln entstehen, die als Bestandteil von Klebstoffen vorkommen, wobei die Moleküle des Klebstoffs in den Kunststoff diffundieren und dort zur Quellung, zum Aufbau von Spannungen und schließlich zum Verlust der physikalischen Eigenschaften führen.

Wirkt auf das Polystyrol zusätzlich noch eine permanente mechanische Belastung von außen ein oder eine Belastung von innen als Eigenspannung oder aber beides in Kombination, so entstehen Spannungsrisse, bei denen eine vollständige irreparable Werkstofftrennung stattfindet.¹⁴ Optisch erscheinen diese Spannungsrisse als feine, parallel ausgerichtete, kurze Linien. Insbesondere während des Alterungsprozesses von Polystyrol nimmt dessen Versteifung und Versprödung zu, und somit neigt älteres Material zur schnelleren Ausbildung von Mikrorissen, Spannungsrissen und letztendlich zum Bruch des Kunststoffs.¹⁵

Neben der Kompatibilität des Klebstoffs mit dem Kunststoff variieren die weiteren Anforderungen an den einzubringenden Klebstoff auf Grund des vorhandenen Schadensbildes stark. Der Klebstoff muss zum einen niedrigviskos sein, um durch Kapillareffekt in die schmalen Spalten und Hohlräume in den partiell geöffneten Fugen zwischen Deckel und Seitenteilen eindringen zu können. Zum anderen muss der Klebstoff eine gewisse Körperhaftigkeit aufweisen, damit die größeren Spalten von mehreren Millimetern beim Fügen der Seitenteile aufgefüllt werden können.

Sowohl für das Verfüllen von kleinen Hohlräumen als auch für das spaltüberbrückende Kleben sollte der Klebstoff während des Trocknungsprozesses nicht schwinden. Zudem sollte die Klebung reversibel sein und die Klebefuge weiterhin eine Sollbruchstelle bilden, indem die Verklebung von geringerer Festigkeit ist als der Kunststoff, um zu verhindern, dass unter mechanischen Belastungen im Polystyrol Risse oder Brüche entstehen. Voraussetzung für eine zufriedenstellende Klebeverbindung stellt eine saubere und möglichst ebene Fügefläche dar. Die alten Cyanacrylat-Klebstoffreste konnten beim vorliegenden Schadensbild nicht entfernt werden, ohne die originale Substanz zu schädigen. Daher musste die Klebekraft bei der vorhandenen geringfügigen Klebefläche ausreichen, um die Stabilität der Konstruktion der Haube zu gewährleisten.

Neben der guten Adhäsion und Benetzbarkeit des Klebstoffs an den Fügeteilen und einer ausreichenden Kohäsion¹⁶ sollte der einzubringende Klebstoff transparent bzw. glasklar auf trocknen und gute Alterungseigenschaften aufweisen, insbesondere keinen farblichen Veränderungen unterworfen sein, damit die Klebenahrt das Gesamterscheinungsbild optisch nicht verändert.

Klebstoffauswahl zum Fügen von Polystyrol

Zur Erläuterung der Vor- und Nachteile der zum Fügen von Polystyrol zur Verfügung stehenden Klebstoffe wurden diese im Ausschlussprinzip gegeneinander abgewogen. In der

5

Detailaufnahme der Farbschicht mit weißen kleinen Knubbeln durch das Anreichern der Farbe mit Titanweißpigmenten



kunststoffverarbeitenden Industrie werden thermoplastische Kunststoffe, zum Beispiel Acrylglas (PMMA), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS), mit Hilfe der Diffusionsklebung gefügt. Bei dieser Diffusionsklebung weicht ein Lösungsmittel, in dem das Polystyrol löslich ist (zum Beispiel Ester, Ketone, aromatische oder chlorierte Kohlenwasserstoffe), die zu verklebenden Oberflächen an. Der anschließende Klebeprozess erfolgt durch Anpressdruck, und das abschließende Verschmelzen der Fügeflächen tritt nach Verdampfen des Lösungsmittels ein.¹⁷ Durch dieses Diffusionskleben, welches auch als Kaltverschweißen bezeichnet wird, verändert sich das ursprüngliche Kunststoffgefüge irreversibel, und es wird eine unlösbare Verbindung hergestellt. Auch kann eine Lösungsmittelklebung, die nur bei kleinen, passgenauen Fügeflächen anwendbar ist, die im Fall des Haubenbildes erforderliche Spaltfüllung nicht leisten. Als weitere Problematik dieses Verfahrens kommt die Gefahr der Ausbildung von Spannungsrissen durch den direkten Lösungsmittelkontakt im degradierten Kunststoff hinzu.¹⁸ Deswegen ist für konservatorische Maßnahmen zum Fügen von Polystyrol die Diffusionsklebung nicht geeignet. Es ist vielmehr notwendig, einen geeigneten Adhäsionsklebstoff für eine physikalisch lösbare Klebung zu suchen.

Bei der Adhäsionsklebung erfolgt der mechanische Zusammenhalt durch physikalische und chemische Bindungskräfte



6

Lokalisierung der geöffneten Klebefuge

an den Kontaktflächen der beiden zu verklebenden Polystyrolflächen, sodass die Grenzflächen zwischen Klebstoff und Kunststoff unverändert bleiben.¹⁹ Die für Polystyrol geeigneten Adhäsionsklebstoffe können nach ihrem chemischen Aufbau in lösungsmittelgelöste Klebstoffe, wässrige Dispersions- und Reaktionsklebstoffe eingeteilt werden. Hinsichtlich ihres Trocknungsprozesses werden diese unterschiedlichen



7

Detailaufnahme, Eckverbindung mit geöffneter Klebefuge, Vorzustand



8

Detailaufnahme nach Fügung der Eckverbindung, Nachzustand

Klebstofftypen wiederum in physikalisch oder chemisch abbindende Klebstoffe unterteilt. Zu den physikalisch trocknenden Klebstoffen zählen die Lösungsmittelhaltigen Klebstoffe und Dispersionsklebstoffe, bei denen die Abbindung durch Verdunstung des Lösungsmittels aus der Klebenaht stattfindet. Die Lösungsmittelgelösten Klebstoffe bestehen aus einer Lösung von Polymeren in organischen Lösungsmitteln. Da Polystyrol in den meisten organischen Lösungsmitteln und Lösungsmitteldämpfen wie zum Beispiel aromatischen und chlorierten Kohlenwasserstoffen, Toluol, Methylchlorid, Aceton und Ethylacetat quellbar und löslich ist und zur Ausbildung von sofort sichtbaren Fließzonen oder Spannungsrissen neigt, scheiden die meisten Klebstoffe auf Lösungsmittelbasis aus.²⁰ Ebenso stellt die für die Verfüllung von Rissen in Acrylglas bewährte Paraloid-Lösung in Siedegrenzbenzin aufgrund der zu geringen Klebekraft in diesem Fall keine geeignete Alternative dar.²¹ Auch Klebstoffdispersionen auf der Grundlage von Acrylharzen auf wässriger Basis verfügen nicht über eine ausreichende Klebekraft, sodass die Zugfestigkeit nicht hoch genug ist und diese zum Fügen des vorhandenen Schadensbildes nicht geeignet sind.²²

Die von der Industrie zum Fügen von Kunststoffen im Allgemeinen empfohlenen lösungsmittelfreien, chemisch abbindenden Reaktionsharze härten durch einen Vernetzungsprozess aus. Sie werden je nach der Polymerisationsart ihrer Monomere in Polymerisationsklebstoffe, zu denen die Cyanacrylatklebstoffe und ungesättigte Polyester gehören, in Polykondensationsklebstoffe und in Polyadditionsklebstoffe, wie zum Beispiel Epoxidharze und Polyurethan-Klebstoffe, unterteilt.²³

Der von der Künstlerin verwendete Einkomponenten-Reaktionsklebstoff auf Basis von Cyanacrylaten bindet sehr schnell ab, sodass dieses System den Trivialnamen Sekundenkleber erhalten hat. Die Abbindung erfolgt durch den Kontakt des Klebstoffs mit den Fügeflächen, wobei die Polymerisationsreaktion durch die vorhandene Feuchtigkeit in der Luft und auf den Fügeflächen ausgelöst wird.²⁴ Aufgrund der schlechten Alterungseigenschaften des Cyanacrylat-Klebstoffs, wie zum Beispiel Vergilbung, schneller Degradation und damit einhergehend Materialabbau an den verklebten Objekten, soll die Wiederverklebung der Fugen nicht erneut mit Sekundenkleber erfolgen.²⁵ Des Weiteren wird prinzipiell von der Verwendung eines Polyesterharz-Klebstoffes, welcher sich aus einem ungesättigten Polyester, gelöst in Styrol oder Methacrylsäureester, zusammensetzt, aufgrund des Anlösen des Polystyrols und der Tendenz zur Ausbildung von Spannungsrissen abgeraten.²⁶

Zu den Zweikomponenten-Reaktionsharzen, bestehend aus einem Harz und einem Härter, zählen die Epoxidharze, deren hohe Klebekraft sich zur Fügung des vorliegenden Schadensbildes anbietet. Auf Grund von leichten Vergilbungstendenzen bei der künstlichen Alterung ist von vornherein das Zweikomponenten-Epoxidharz Epo-Tek 301-2 ausgeschlossen worden.²⁷ Im Folgenden sind die beiden Zweikomponenten-Epoxidharze Hxtal NYL-1²⁸ und Araldit 2020 (XW 396/XW

397)²⁹ hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Verarbeitbarkeit miteinander verglichen worden. Beide Klebstoffe sind niedrigviskos, was für das Eindringen in die schmalen Spalten innerhalb der alten Klebefläche und das gleichmäßige Benetzen der zu fügenden Oberflächen notwendig ist. Die Viskosität und Standfestigkeit der jeweils zusammengemischten Klebstoffkomponenten steigt während des chemischen Abbindeprozesses an, sodass das Schließen der breiteren Spalten mit einer Öffnung von mehreren Millimetern möglich ist. Die Endaushärtung durch Polymerisation findet bei beiden Zweikomponenten-Epoxidharz-Produkten langsam statt. Beide Epoxidharzprodukte binden transparent und ohne großen Volumenschwund ab, und die Entfernung des überschüssigen Klebstoffs kann direkt nach der Applikation mit demineralisiertem Wasser erfolgen. Die Verarbeitbarkeit, der dem Glas vergleichbare Brechungsindex und die Elastizität der beiden Zweikomponenten-Klebstoffsysteme auf Epoxidharzbasis, Araldit 2020 und Hxtal NYL-1, sind sehr ähnlich.³⁰ Gegen die Verwendung des Epoxidharzes Araldit 2020 spricht, dass sich bei der Verklebung von gealtertem PMMA herausgestellt hat, dass es im PMMA Fließzonen verursachen kann. Um dies zu vermeiden, ist eine Verklebung unter Luftabschluss notwendig, was jedoch in der praktischen Durchführung bei diesem Objekt unmöglich gewesen wäre.³¹ Für die Verwendung von Hxtal NYL-1 sprechen die hohe Festigkeit sowie das Ausbleiben von Verfärbungen während der Alterung.³² Zudem verursachte das Hxtal NYL-1 bei Probekörpern aus gealtertem PMMA weder Fließ- noch Spannungszonen, sodass es zum Fügen der Haube am geeignetsten erscheint.³³ Weitere Vorteile liegen in der individuellen Modifizierung der Viskosität, der Erhöhung der Körperhaftigkeit und der Einstellung des Glanzes der Klebstoffmischung durch das Zufügen der amorphen Kieselsäure Acematt HK 125.

Durchgeführte konservatorische Maßnahmen

Vor dem Fügen der geöffneten Polystyrolplatten ist zuerst eine Oberflächenreinigung der Haube mit demineralisiertem Wasser und einem weichen Microfasertuch speziell für Acrylglas erfolgt.

Zum Fügen der gelösten Teile ist die Haube auf den Präsentationsständer gestellt worden, damit die Klebenaht von beiden Seiten während des Fügeprozesses zugänglich war und gegebenenfalls überschüssiger Klebstoff direkt beidseitig entfernt werden konnte. Zuerst ist in die schmalen Zwischenräume das niedrigviskose höchstgereinigte Zweikomponenten-Epoxidharz Hxtal NYL-1 mit einer Spritze eingebracht worden. Bei zu geringen Spaltöffnungen für den Durchmesser der Kanüle ist mit einem feinen, flexiblen Spitzpinsel der Klebstoff zwischen die beiden Polystyrolplatten eingeführt worden. Der sehr niedrigviskose Klebstoff floss durch die Kapillarwirkung gut in die Hohlräume ein und verteilte sich gleichmäßig. Bei der Einbringung des Klebstoffs mit dem Pinsel sind teilweise kleine störende Luftbläschen innerhalb der Klebmasse entstanden, die anschließend jedoch durch das Öffnen mit einer Insektennadel wieder entfernt werden konnten.

Das Nachreinigen bzw. Entfernen des überschüssigen Klebstoffs erfolgte direkt im Anschluss mit demineralisiertem Wasser und einem Blitzfixschwamm, Microfasertuch oder Wattebausch. Anschließend ist auf die obere Klebefuge, die Deckel und Seitenteile verbindet, von oben aus mit Hilfe von Sandsäcken während des Trocknungsprozesses leichter Druck ausgeübt worden.

Bei der Ansichtsseite des Hauptbahnhofes mit dem dunkelblauen Kombi im Vordergrund weisen die rechte und linke Klebefuge nur noch im oberen Bereich wenige Klebepunkte zum Halten der Haube auf. Hier ist zuerst die linke Seite mit geringerer Spaltöffnung gefügt worden. Der Klebstoff Hxtal NYL-1 wird etwa eine Stunde nach Anrühren merklich dickflüssiger, viskoser und körperhafter. Je nach Spaltöffnung ist der Klebstoff zeitlich verzögert mit mehr Standfläche mit Hilfe eines feinen Spitzpinsels eingebracht worden.³⁴ Durch die alten, harten, nicht entfernbaren Klebestoffreste sind partiell kleine intakte Klebeverbindungen stehen geblieben, deren Zwischenräume im zweiten Arbeitsschritt gefüllt wurden. Für die zuletzt geschlossenen größeren spaltüberbrückenden Klebungen am rechten Rand ist zur Viskositäts-erhöhung neben dem Stehenlassen des Klebstoffs zusätzlich der Klebstoff mit amorpher Kieselsäure, Acematt HK 125, angedickt worden.

Ein weiterer Vorteil in der Modifizierung des sehr stark glänzenden Harzes mit dem dispergierbaren Verdickungs- und Mattierungsmittel Acematt HK 125 ist die Reduzierung des Glanzes der Klebenaht. Das Mischungsverhältnis ist individuell je nach notwendiger Körperhaftigkeit der Klebstoffmasse erfolgt. Um die größeren Fugen zu schließen, ist während der Trocknungszeit des Klebstoffs an den beiden Seitenteilen leichter Druck ausgeübt worden. Zur gleichmäßigen Druckverteilung sind dazu zwei abgepolsterte L-Profile aus Holz mit zwei Schraubzwingen an den Seitenteilen angebracht worden. Je nach Breite der Fugenöffnung ist diese Kombination der Verfahren zwei- bis dreimal wiederholt worden, bis die Spalten komplett geschlossen waren (Abb. 8).

Ausblick und Pflege

In Zukunft öffnen sich höchstwahrscheinlich durch den weiteren alterungsbedingten Materialabbau des ursprünglichen Cyanacrylatklebstoffs weitere Klebeflächen, sodass eventuell weitere Fügemaßnahmen notwendig werden. Auf jeden Fall sollte beim Handling der Haube kein Druck auf die fragilen stumpfen Verklebungen der Seitenteile ausgeübt werden. Eine Reinigung der sehr kratzempfindlichen Oberfläche des

Polystyrols sollte sehr selten durchgeführt werden und wenn, nur mit einem sehr weichen Material, sodass bei der geringen Oberflächenhärte keine weiteren Kratzer und Eindrücke entstehen. Ein Problem stellt allerdings die schnelle elektrostatische Aufladung des Polystyrols dar, wobei ein elektrisch geladenes Feld auf der Polystyroloberfläche entsteht, dass andere geladene Teilchen, insbesondere Staubpartikel, bevorzugt anzieht.³⁵ Daher ist auf eine relativ staubfreie Umgebung zu achten und auf den Verzicht einer Trockenreinigung, da das Reiben und Wischen die statische Aufladung erhöhen. Als Reinigungsmittel sollte demineralisiertes Wasser verwendet werden, da Polystyrol unempfindlich gegenüber Feuchtigkeit ist und das Abwischen mit Wasser eine antistatische Wirkung aufweist.³⁶ Durch den direkten Kontakt mit Lösungsmitteln und Lösungsmitteldämpfen hingegen bilden sich sofort sichtbare Risse aus, sodass aromatische Kohlenwasserstoffe, ätherische Öle und Alkohole zur Reinigung von Objekten aus Polystyrol vermieden werden sollten.³⁷ Die Alterungsvorgänge von Polystyrol erfolgen thermisch und photooxidativ. Die thermischen Abbauerscheinungen und Verfärbungen durch sehr hohe Temperaturen können bei einer musealen Aufbewahrung vernachlässigt werden.³⁸ Der lichtinduzierte Abbauprozess findet hingegen schon bei Raumtemperatur statt, und die stärkste Absorption weist Polystyrol im kurzwelligen UV-Bereich von 250–280 nm in Anwesenheit von Sauerstoff auf. Als Folge der Lichteinwirkung kann das Polystyrol verspröden. Weiterhin verursacht der photooxidative Abbauprozess die Öffnung des Phenylrings der Seitengruppe des Polystyrols, sodass Chromophore entstehen, die für die Vergilbung des Kunststoffs verantwortlich sind.³⁹ Deswegen ist neben dem Ausschluss von UV-Strahlung die Reduzierung der Beleuchtungsstärke auf 150 Lux empfehlenswert.⁴⁰

Dank

Für das Korrekturlesen bedanke ich mich bei meinen Kolleginnen aus dem Hessischen Landesmuseum Darmstadt Liselotte Wettke und Olivia Levental sowie dem gründlichen Lektorat durch die Redaktion der „VDR-Beiträge“, Dr. Cornelia Weyer und Dr. Ute Stehr.

Dipl.-Rest. Gesine Betz
Leuengasse 20
CH-4057 Basel

Anmerkungen

- 1 Pia Linz, veröffentlicht im Internet, [http://www.pia-linz.de/\(ff\)](http://www.pia-linz.de/(ff)). Stand 2018, Abfrage 05.02.2018)
- 2 Pia Linz, veröffentlicht im Internet, <http://www.scarrus.de/pialinzd/texte/haute.htm>; <http://www.scarrus.de/pialinzd/texte/gratex.htm> (ff. Stand 2011, Abfrage 03.04.2018)
- 3 Das thermoplastische Polymethylmethacrylat (PMMA) ist bekannter unter dem Markennamen PLEXIGLAS® der Firma Evonik Röhm GmbH.
- 4 Freundliche mündliche Mitteilung Pia Linz am 15.06.2017
- 5 Nach schriftlicher Mitteilung von Pia Linz vom 01.05.2018 existiert eine zweite, spätere Version eines Haubenbildes mit dem Motiv des Frankfurter Hauptbahnhofs, bei dem sie PMMA als Bildträgermaterial verwendet hat.
- 6 Freundliche mündliche Mitteilung von Stefanie Preisendörfer, Kurt Preisendörfer GmbH
- 7 Nach BRAUN 2012, S. 81 klingt bei diesem Verfahren Polystyrol wie Blech und PMMA wie hartes Holz.
- 8 Nach WALTER 1996, S. 3 ist Styrol das Vorprodukt für die Herstellung von Polystyrol, und der Kunststoff Polystyrol setzt sich chemisch nach BONNET 2014, S. 3 f. aus einer Kohlenstoffhauptkette mit Seitengruppen bestehend aus Wasserstoffatomen und einem Benzolring zusammen.
- 9 Nach RAMSTEINER 1996, S. 180 und BONNET 2014, S. 109 dienen Additive wie zum Beispiel Antiblockmittel, UV- und Wärmestabilisatoren, Flammschutzmittel etc. bei der Kunststoffherstellung sowohl zur besseren Verarbeitbarkeit und zum Schutz vor Umwelteinflüssen als auch zur Optimierung der Eigenschaften und des Erscheinungsbildes des Polystyrols.
- 10 Freundliche mündliche Mitteilung von Pia Linz in den Opelvillen Rüsselsheim im August 2016
- 11 Schriftliche Mitteilung von Pia Linz am 01.05.2018
- 12 Da in der Fachliteratur (Stand Oktober 2016) kein vergleichbarer Fall zur Verklebung von Styrol-Polymerisat, Polystyrol, gefunden wurde, dienen Publikationen zum Fügen von transparentem thermoplastischem PMMA als Anhaltspunkt und Richtwert. Zwar unterscheiden sich die synthetischen Polymere der beiden Thermoplaste, doch teilen beide die Eigenschaft, unter mechanischem Stress irreversible Spannungsrisse auszubilden und dadurch das Objekt unwiederbringlich zu beschädigen.
- 13 Die Mikrorisse werden häufig mit der englischen Bezeichnung „Crazes“ angegeben.
- 14 Vgl. MAURER 1996, S. 276; RAMSTEINER 1996, S. 189 und BONNET 2014, S. 226
- 15 Vgl. RAMSTEINER 1996, S. 184
- 16 Vgl. WELZ 1996, S. 446
- 17 Nach WAENTIG 2004, S. 279 eignen sich als Lösungsmittel beispielsweise Toluol, Methylenchlorid, Chloroform, Methylethylketon, Butylacetat und andere.
- 18 Nach WAENTIG 2004, S. 279 und BIENEFFELD 2016, S. 11 findet beim Adhäsionskleben die Kraftübertragung in den gefügten Bereichen durch molekulare Wechselwirkungen in den Grenzflächenbereichen zwischen Klebstoff und Polystyrol statt. Beim Diffusionskleben hingegen wird der Kunststoff angelöst, wobei sich seine beweglichen Molekülketten durch das Aufbringen des Anpressdrucks während des Trocknungsprozesses in der Fügezone verknäulen. Nach dem Verdampfen der Lösungsmittel hat sich das Kunststoffgefüge verändert, wobei eine stoffschlüssige Verbindung entsteht.
- 19 Vgl. WELZ 1996, S. 446
- 20 Vgl. BRAUN 2012, S. 110; WAENTIG 2004, S. 276 und MAURER 1996, S. 276 f.
- 21 WOLF 2005, S. 103 ff. hat eine 20%ige Mischung aus Paraloid B67 und F10 gelöst in Siedegrenzbenzin mit geringer Zugfestigkeit beim Verfüllen von Rissen in Acrylglas am Kunstobjekt „Strahlenfall“ von Gerhard Hoehme verwendet.
- 22 Nach WELZ 1996, S. 446 weisen Acrylharzklebungen anfänglich eine hohe Festigkeit auf, die dann abnimmt.
- 23 Leitfaden zum Kleben von Kunststoffen und Elastomeren der Firma Henkel, veröffentlicht im Internet, http://www.loctite.de/de/content_data/8332_PlasticBonding_D_final.pdf (ff. Stand 2009, Abfrage 15.04.2018). MÜLLER-WÜSTEN 2012, S. 147 ff. empfiehlt beim Fügen eines Pantan Chairs aus Acrylester-Styrol-Acrylnitril (ASA) den Zweikomponenten-PUR-Klebstoff Araldite 2028 nach Testversuchen mit Probekörpern.
- 24 Vgl. FRANCK 1996, S. 325 f.
- 25 Nach BIENEFFELD 2016, S. 31 haben Testversuche an Probekörpern aus PMMA mit den beiden kalt härtenden Einkomponenten-Klebstoffen, Loctite 406 und 460, jeweils auf Cyanacrylatbasis, belegt, dass unter mechanischer Belastung zuerst Materialversagen bei dem Probenmaterial eintrat und anschließend der Bruch des Kunststoffs.
- 26 Vgl. WELZ 1996, S. 447
- 27 Nach BIENEFFELD 2016, S. 32 zeigt der Zwei-Komponenten Epoxidharzklebstoff Epo-Tek 301-2 im künstlichen Alterungsverfahren schwache Vergilbungstendenzen.
- 28 Technische Daten von Hxtal NYL-1 veröffentlicht im Internet, <http://www.hxtal.de/technische-daten-zu-hxtal-nyl-1/> (ff. Stand 2006, Abfrage 02.04.2018)
- 29 Sicherheitsdatenblatt von Araldit 2020, veröffentlicht im Internet, http://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/979203_SHD_Araldit-2020-Harz.pdf (ff. Stand 28.05.2015, Abfrage 01.04.2018)
- 30 Vergleich der beiden technischen Datenblätter, wobei der Brechungsindex von Hxtal NY-1 mit 1,5201 n und der von Araldit 2020 mit 1,553 n angegeben ist. Das Elastizitätsmodul von Hxtal NY-1 beträgt 2,18 GPa und das von Araldit 2020 beträgt 2,47 GPa.
- 31 Vgl. BIENEFFELD 2016, S. 32, 80 f.; KORB 1997, S. 54 beschreibt, dass sich bei stark gealtertem PMMA bereits eine Stunde nach der Applikation Fließzonen ausgebildet hatten und bei leicht degradiertem PMMA nach 24 Stunden Spannungsrisse sichtbar wurden, sodass das Epoxidharz Araldit 2020 nicht geeignet ist.
- 32 BIENEFFELD 2016, S. 32 erwähnt, dass während der künstlichen Lichtalterung der Klebstoff Hxtal NYL-1 keine optischen Verfärbungen gezeigt hat.
- 33 BIENEFFELD 2016, S. 33
- 34 Das sehr langsam trocknende Hxtal NYL-1 fängt nach zwei Tagen an, fest zu werden, wobei erst nach sieben Tagen der Großteil der Festigkeit erreicht ist. Vgl. Kremer Pigmente, veröffentlicht im Internet, <http://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/97250-97251.pdf> (ff. Stand 01.2018, Abfrage 24.01.2018)
- 35 Vgl. HENNING 1996, S. 263 und MAIR 1969, S. 455 f.
- 36 SZIGETI 1975, S. 620 ff. geht auf die antistatische Behandlung von PMMA ein. Um eine mögliche Rissbildung des Acrylglases durch das Reinigungsmedium zu verhindern, hat sich eine wässrige Lösung anstelle von flüssigen antistatischen Fertigprodukten bewährt.
- 37 WAENTIG 2004, S. 278
- 38 Nach SIMAK 1996, S. 510 kommt es bei der thermischen Zersetzung von Polystyrol erst zu Kettenbrüchen, und ab Temperaturen höher als 320 °C entstehen flüchtige Substanzen. Hierbei wird angenommen, dass „bei der Oxidation die niedermolekularen Anteile leichter angegriffen werden als die hochmolekularen. Es entstehen Aldehyd-, Keto- und OH-Gruppen; daneben erfolgt Vernetzung, Ringöffnung und Ketten-Spaltung“.
- 39 FRANCK 1996, S. 325 beschreibt die Polymerisationsfreudigkeit von Styrol unter Lichteinwirkung bei Raumtemperatur. Vgl. auch LOTH, 1996, S. 314 f.
- 40 WAENTIG 2004, S. 278 rät zu einer Reduzierung der Beleuchtung auf 150 Lux.

Literatur

- BIENEFFELD 2016: Christiane Bienefeld, Untersuchung von physikalischen und chemisch abbindenden Klebstoffen zur Restaurierung von Polymethylmethacrylat. Neuss 2016
- BONNET 2014: Martin Bonnet, Kunststofftechnik, Grundlagen, Verarbeitung, Werkstoffauswahl, Fallbeispiele. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden 2014
- BRAUN 2012: Dietrich Braun, Erkennen von Kunststoffen. Qualitative Kunststoffanalyse mit einfachen Mitteln, 5. aktualisierte und erweiterte Auflage. München 2012

- FRANCK 1996: Adolf Franck, Kunststoff-Kompendium, Herstellung, Aufbau, Verarbeitung, Anwendung, Umweltverhalten und Eigenschaften der Thermoplaste, Polymerlegierungen, Elastomere und Duroplaste. 4. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Würzburg 1996
- HENNING 1996: Ingolf Henning, Elektrische Eigenschaften, In: Polystyrol, hrsg. von Hermann Gausepohl und Roland Gellert. München 1996, S. 260–274 (= Kunststoff Handbuch Bd. 4, Neuausgabe hrsg. von Gerhard W. Becker und Dietrich Braun)
- KORB 1997: Marion Korb, Die Konservierung von Robert Rauschenbergs Rauminstallation Soundings und Überlegungen zur (Er)Haltbarkeit elektronischer Kunst. Unveröffentlichte Diplomarbeit TH Köln. Köln 1997
- LOTH 1996: Wolfgang Loth, Kinetik und Mechanismus des Abbaus. In: Polystyrol, hrsg. von Hermann Gausepohl und Roland Gellert, München 1996, S. 310–318 (= Kunststoff Handbuch Bd. 4, Neuausgabe hrsg. von Gerhard W. Becker und Dietrich Braun)
- MAURER 1996: Gerhard Maurer, Spannungsrißverhalten, In: Polystyrol, hrsg. von Hermann Gausepohl und Roland Gellert. München 1996, S. 276–286 (= Kunststoff Handbuch Bd. 4, Neuausgabe hrsg. von Gerhard W. Becker und Dietrich Braun)
- MÜLLER-WÜSTEN 2012: Delia Müller-Wüsten, Der Panton Chair aus Luran S® von Verner Panton – Können Brüche in gealtertem ASA gefügt werden? Unveröffl. Masterarbeit TH Köln. Köln 2012
- RAMSTEINER 1996: Falko Ramsteiner, Mechanische Eigenschaften von Polystyrolpolymerisaten. In: Polystyrol, hrsg. von Hermann Gausepohl und Roland Gellert. München 1996, S. 180–217 (= Kunststoff Handbuch Bd. 4, Neuausgabe hrsg. von Gerhard W. Becker und Dietrich Braun)
- SIMAK 1996: Peter Simak, FT-IR Spektroskopie. In: Polystyrol, hrsg. von Hermann Gausepohl und Roland Gellert. München 1996, S. 505–511 (= Kunststoff Handbuch Bd. 4, Neuausgabe hrsg. von Gerhard W. Becker und Dietrich Braun)
- SZIGETI 1975: Peter Rudolf Szigeti, Wartung und antistatische Behandlung. In: Polymethacrylate, Herstellung, Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung, Kunststoff-Handbuch, Band IX, hrsg. von Richard Vieweg und Franz Esser. München 1975, S. 618–622
- WAENTIG 2004: Friederike Waentig, Kunststoffe in der Kunst. Eine Studie unter konservatorischen Gesichtspunkten. Petersberg 2004
- WALTER 1996: Dieter Walter, Wirtschaftliche Bedeutung des Polystyrols. In: Polystyrol, hrsg. von Hermann Gausepohl und Roland Gellert. München 1996, S. 3–8 (= Kunststoff Handbuch Bd. 4, Neuausgabe hrsg. von Gerhard W. Becker und Dietrich Braun)
- WELZ 1996: Martin Welz, Nichtlösbare Verbindungen. In: Polystyrol, hrsg. von Hermann Gausepohl und Roland Gellert. München 1996, S. 425–452 (= Kunststoff Handbuch Bd. 4, Neuausgabe hrsg. von Gerhard W. Becker und Dietrich Braun)
- WOLF 2005: Anja Wolf, Das Verfüllen von Rissen in Plexiglas am Beispiel der Arbeit „Strahlenfall“ von Gerhard Hoehme. In: VDR-Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, Heft 1, 2005, S. 99–106

Abbildungsnachweis

Abb. 1, 3–4, 6: Wolfgang Fuhrmannek, HLMD

Abb. 2: Unbekannte Fotografin, Pia Linz, veröffentlicht im Internet: <http://pia-linz.de/>

Abb. 5, 7: Gesine Betz