

DRV-Tagung Berlin 2000

Vorübergehender Schutz empfindlicher Oberflächen

Über den Umgang mit flüchtigen Bindemitteln

Hans-Michael Hangleiter



Die Eigenschaften

Von den zur Verfügung stehenden Materialien hat das Cyclododecan sicher die größte Bedeutung mit den breitesten Anwendungsmöglichkeiten. Außerdem stellt es mit seinen chemischen Eigenschaften kaum ein Risiko für den Einsatz an Kunstwerken dar. Cyclododecan ist ein gesättigter, alicyclischer Kohlenwasserstoff. Es gehört zu den stabilsten Vertretern dieser Klasse, und ist in seiner chemischen Reaktionsträgheit mit den gesättigten offenkettigen Kohlenwasserstoffen vergleichbar.

Das wachsartige Material läßt sich bei 60°, einer auch für viele Kunstwerke akzeptablen Temperatur schmelzen und erreicht beim Abkühlen wieder Festigkeit.

Es läßt sich in unpolaren Lösungsmitteln lösen und ergibt nach dem Verdunsten des betreffenden Lösungsmittels auch wieder eine feste Form. In Wasser und den meisten polaren Lösungsmitteln ist es nicht oder nahezu unlöslich.

Es besitzt selbst einen verhältnismäßig hohen Dampfdruck, so daß es direkt aus der festen in die gasförmige Phase übergehen kann. Das heißt, es sublimiert bei Raumtemperatur.

Mehr noch als die chemischen und physikalischen Eckdaten ist die Frage der Dichte und der Kristallstruktur als wichtigste Eigenschaften eines CCD-Films von zentraler Bedeutung für den Anwendungserfolg.

So ist die Unlöslichkeit in polaren Lösungsmitteln wie Wasser, Äthanol, Isopropanol oder Aceton für die Anwendung im restauratorischen Bereich von größter Bedeutung. Erst durch diese Eigenschaft sind vorübergehende Versiegelungen oder Hydrophobierungen als Schutz gegen Wasser oder andere polare Lösungsmittel möglich. Dieser Schutz wird jedoch nicht allein durch die Unlöslichkeit von Cyclododecan in polaren Systemen erreicht. Die Eigenschaften des Films sind entscheidend. Diese sind derart unterschiedlich, daß bei gleicher Schichtstärke polare Lösungsmittel den Film problemlos durchdringen können, oder auch vollständig daran gehindert werden. Filmbildung und die Eigenschaften des Films sind für die Herstellung eines schützenden Überzugs von größter Bedeutung.

Diese Eigenschaften werden aber ausschließlich durch die Form der Applikation bestimmt.

Filmbildung und Eigenschaften des Films

Die Filmbildung von Cyclododecan kann wohl am besten mit einer Kristallbildung verglichen werden. Grundsätzlich bildet Cyclododecan beim Erstarren aus der Schmelze oder auch beim Ausfallen aus der Lösung keinen absolut homogenen Film sondern nadelförmige Kristalle, die sich mehr oder weniger dicht aneinander lagern. Da die Dichte des Films häufig Erfolg oder Mißerfolg einer Maßnahme bestimmt, sind die Bedingungen für die Art der Kristallbildung von großer Bedeutung.

Als Faustregel für die Kristallbildung aus der Schmelze gilt

Je langsamer die Temperatur aus dem Bereich über dem Schmelzpunkt in den Bereich darunter sinkt, um so ausgeprägter bilden sich ein Filz aus Kristallnadeln. Eine rasche Abkühlung dagegen führt zu wesentlich homogenen und dichteren Schichten.

Sehr schön läßt sich dies an der Kristallbildung zeigen, die in einem 200 Liter Faß bei der Abkühlung der Schmelze auf Raumtemperatur entstanden ist. Der Brocken auf dem Photo zeigt die Kontaktzone zur Wand des Fasses. Hier hat sich während der Abkühlung eine ca 1,5 cm starke dichte Schicht gebildet, dahinter liegt ein Bereich mit verschieden großen Kristallen, die nur noch locker aneinandergesetzt sind. In der Praxis findet diese langsame Auskühlung mit der Bildung eines Kristallfilzes aus der reinen Schmelze jedoch nur beim Gießen von großen Blöcken statt. Schichten von unter 3mm Stärke werden bei Raumtemperatur so schnell auskühlen, daß eine Nadelbildung nicht stattfinden kann.

Ich möchte zunächst kurz auf die Frage eingehen was für Filme überhaupt möglich sind, und wie das Material in der Praxis verarbeitet wird.



Kristallbildung der Schmelze

Filme aus der Schmelze

Bei einem Schmelzpunkt um 60°C heißt das nicht, daß man die Schmelze auch bei dieser Temperatur mit dem Pinsel auf irgendeine Oberfläche auftragen kann. Auch Anweisungen, die 65°C vorschlagen scheinen mir völlig praxisfremd. Versucht man dies mit einem Pinsel, so erstarrt das Material sofort und bildet mit dem Pinsel nur einen wüsten Klumpen. Es muß also sehr viel heißer verarbeitet werden. Ich selbst erhitze im Wasserbad bei Wassertemperaturen zwischen 90° und 100°C.

Allerdings sollte in der Praxis auf eine Pinselverarbeitung der reinen, unverdünnten Schmelze verzichtet werden. Eine Ausnahme bilden völlig dichte, absolut nicht saugende Untergründe. Die hohe Schmelztemperatur und schnelle Abkühlung des Materials führen häufig zu unbefriedigenden Ergebnissen.

Für kleine, eher punktuelle Verfestigungen oder Versiegelungen mit CCD-Schmelze benutze ich selbst mit CCD beschichtete Folie als Transferpapier. Dazu wird eine Hostaphanfolie mit der Spraydose beschichtet und in handliche Streifen geschnitten. Mit der Heizspachtel läßt sich das Material dann an der betreffenden Stelle einschmelzen. Die hat sich vor allem bei der punktuellen Sicherung von Malschichten bewährt.

Filme aus Schmelzen mit Zusatz von Lösungsmittel

Sehr gute Ergebnisse erreicht man durch einen Zusatz von Lösungsmittel.

Auf einem absolut nicht saugenden Untergrund wie z.B. einer Glasplatte bildet sich zunächst ein Filz aus Kristallnadeln, der sich erst mit dem Verdunsten des Lösungsmittels wieder verdichtet. Auf jedem auch nur leicht saugenden Untergrund bildet sich eine wesentlich dichtere Schicht.

Als Erklärung scheint folgendes Modell ausreichend (wird aktuell untersucht)

Hier finden beim Erreichen der Erstarrungstemperatur zwei Prozesse statt.

Die im höheren Temperaturbereich homogene Flüssigkeit zerfällt in zwei Phasen. Eine relativ temperaturunabhängige flüssige Phase bestehend aus einer gesättigten Lösung von Cyclododecan im Lösungsmittel sowie eine temperaturabhängige Phase aus reinem Cyclododecan. Die Präsenz der flüssigen Phase auf einem nicht saugenden Untergrund ermöglicht dem reinen Cyclododecan in der Erstarrungsphase noch Nadeln auszubilden.

Anders verhält es sich auf einem porösen Untergrund. Sobald mit abnehmender Temperatur die Trennung in zwei Phasen eintritt, wird die flüssige Phase vom Untergrund aufgenommen, und vom erstarrenden Cyclododecan getrennt. Die Filmbildung findet dann ähnlich der reinen Schmelze statt. Es bildet sich ein dichter Belag.

Um eine Schmelze überhaupt mit dem Pinsel sinnvoll verarbeiten zu können, sollte eine gewisse Menge an Lösungsmittel zugesetzt werden. Damit wird zunächst der Schmelzpunkt herabgesetzt und damit eine zu frühe Erstarrung am Pinsel verhindert.

Die Filmeigenschaften sind erfahrungsgemäß um so besser, je heißer die Mischung aufgetragen wird.

Für die Filmeigenschaften scheint der Siedebereich des Lösungsmittels weitgehend ohne Einfluß zu sein. Überprüft wurden allerdings lediglich Siedebereiche 60–80°C sowie 100–140°C. Niedriger siedende Verdunsten zu schnell aus der heißen Schmelze, und gegen einen höher liegenden Siedebereich spricht die lange Wartezeit nach dem Auftrag.

Sehr gut bewährt haben sich folgende Rezepturen

Auf gut saugenden Untergründen eine Zugabe von

10% Petroleumäther 60–80°C

oder

10% Petroleumäther 100–140°C
zur Cyclododecanschmelze.

Filme aus der Lösung

Für nicht saugende Untergründe gilt auch hier die Faustregel für die Art der Kristallbildung

Je langsamer der Übergang von der flüssigen in die feste Phase stattfindet, um so ausgeprägter bilden sich ein Filz aus Kristallnadeln. Ein rascher Übergang dagegen führt zu wesentlich homogeneren und dichteren Schichten.

Daraus ergibt sich für die Auswahl der Lösungsmittel der Einsatz von leicht flüchtigen, niedrig siedenden Lösungsmitteln wenn möglichst dichte Filme erzielt werden sollen.

Bei porösen, saugenden Untergründen gilt die Faustregel nicht.

Lösungen von Cyclododecan in Petroleumbenzinen mit Siedebereichen zwischen 40°C bis 140°C ergeben dichte Filme ohne signifikante Unterschiede in den Filmeigenschaften. Wesentliche Unterschiede bestehen allerdings im Eindringverhalten. Generell dringen die Lösungen um so tiefer ein, je langsamer das Lösungsmittel verdunstet. Allerdings muß auch die Wartezeit für die Verdunstung des Lösungsmittels entsprechend verlängert werden. Die Herstellung von Lösungen ist denkbar einfach. Bei 20°C lösen sich ca 40 Gewichtsteile CCD in ca. 60 Gewichtsteilen Siedegrenzbenzin. Die beiden Bestandteile können ohne Umrühren in einem Gefäß (Auch PE-Eimer mit Deckel) für zwei bis 3 Tage stehen gelassen werden. Natürlich kann auch ein Magnetrührer über mehrere Tage beschäftigt werden.

Soll dagegen sehr schnell eine gebrauchsfertige Lösung hergestellt werden, wird CCD im Wasserbad geschmolzen. Das Lösungsmittel (hier allerdings nur Materialien mit Siedebereich über 60°C) wird im Wasserbad auf mindestens 60°C erhitzt und mit der Schmelze vermischt.

Filme aus der Spraydose

Die Verwendung von Cyclododekan als Spray stellt gegenüber den bisherigen Applikationsformen Schmelze oder Lösung eine dritte Anwendungsform dar. In der Spraydose liegt das Cyclododekan zunächst in gelöster Form vor. Das Lösungsmittel ist in diesem Fall ausschließlich das Treibgas. Zusätze von weiteren Lösungsmitteln sind nicht vorhanden. Das Treibgas als extrem flüchtiges Lösungsmittel bestimmt auch die wesentlichsten Eigenschaften des Cyclododekanfilms.

Bei der Herstellung von Sprühfilmen sind jedoch einige Regeln zu beachten, die von der gewohnten Anwendung einer Spraydose abweichen. Als Wichtigstes ist der Sprühabstand zu beachten. Da das Treibgas mit dem Austritt aus der Düse äußerst rasch vom flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht, fällt auch das zunächst gelöste Cyclododekan in fester Form aus. Der beim Austritt aus der Sprühdüse noch vorhandene flüssige Anteil des Gases im Sprühnebel verringert sich mit zunehmendem Abstand von der Düse bis nur noch reiner Cyclododekanstaub übrig bleibt.

Um beim Sprühen also einen möglichst festen Film zu bekommen, sollte der Abstand zwischen Düse und Objekt so kurz wie möglich sein. Ein Sprühabstand von 3 bis 4 cm ist für einen abriebfesten Belag empfehlenswert. Ein weicher, jedoch sehr gleichmäßiger Belag ist mit einem Abstand zwischen 6 und 10 cm zu erreichen. Größere Sprühabstände führen zu schlecht haftenden Belägen und viel Verlust durch abfallenden Staub.

Um die schützenden, verfestigenden oder versiegelnden Eigenschaften der gerade beschriebenen Filme detaillierter beschreiben zu können, haben wir zunächst die versiegelnde Wirkung von verschiedenen CCD-Filmen gegenüber polaren Flüssigkeiten genauer untersucht.

Das Cyclododecan wurde alternativ als Schmelze oder als Lösung auf saugenden Untergründen getestet; auf Umweltpapier und auf Gips.

Als angreifende Flüssigkeiten wurde jeweils Wasser, Wasser mit Netzmittelzusatz sowie Brennspritus gewählt. Den polaren Flüssigkeiten wurde zur Kennzeichnung als Farbstoff Eosin zugesetzt. Dieses löst sich sehr gut in Wasser und in Spiritus, färbt jedoch Cyclododecan nicht an. Gleichzeitig sollte der Zusammenhang zwischen der Flüchtigkeit des Lösungsmittels und der Dichte des Films überprüft werden. Dazu wurden chemisch ähnliche Lösungsmittel mit unterschiedlichen Siedebereichen ausgewählt.

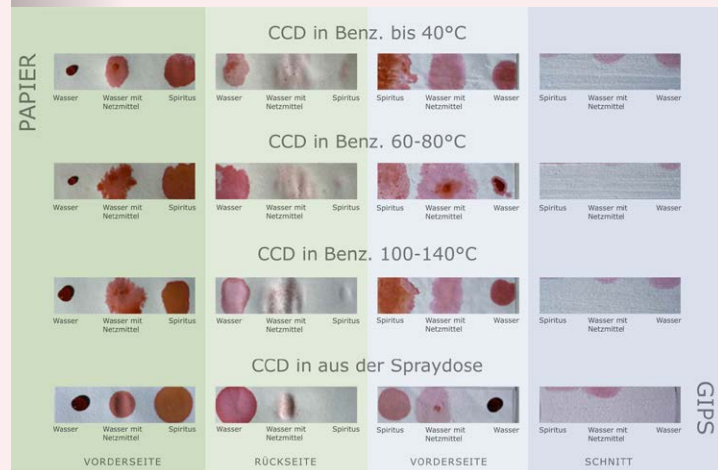
Das Photo zeigt die Proben mit CCD in Lösungsmittel.

In diese Gruppe wurde auch CCD aus der Spraydose aufgenommen. Es handelt sich immer um eine gesättigte Lösung. Als Lösungsmittel wurde Siedegrenzbenzin verwendet.

Die linke Hälfte auf grünem Grund zeigt Proben auf Umweltpapier, die auf blauem Grund sind auf Gips. Die linke Spalte auf der grünen Fläche zeigt die Vorderseite der Papierproben, die rechte Spalte die selben Proben von der Rückseite.

Die linke Spalte auf der blauen Fläche zeigt die Vorderseite der Gipsproben, die rechte Spalte die selben Proben im Längsschnitt.

Zum Ergebnis läßt sich allgemein folgendes sagen: Sowohl Spiritus, als auch mit Netzmittel versehenes Wasser sind in der Lage, den aus einer Lösung heraus entstandenen Film zu durchdringen. Die Proben auf Gips erbrachten die selben Ergebnisse.



CCD in Lösungsmittel

Bei der detaillierteren Auswertung zeigen die Filme auf den Papierproben Unterschiede im Verhalten gegenüber Spiritus und dem mit Netzmittel versehenen Wasser. Spiritus scheint ungehindert durch die Schicht zu wandern, Mit Netzmittel versehenes Wasser dringt zumindest so weit in das Papier ein, daß es zu einem leichten Anquellen mit entsprechender Verwölbung kommt. Die kleinen roten Pünktchen auf der Rückseite des Papiers zeigen, daß Flüssigkeit bereits durchgedrungen ist. Die Ergebnisse an den Gipsproben zeigen jedoch daß an allen vier Proben sowohl Spiritus als auch Wasser mit Netzmittel nahezu ungehindert durch die Schicht dringt. Im Längsschnitt ist dies bei Wasser mit Netzmittel noch sehr viel deutlicher zu sehen als beim Papier.

Das Verhalten gegenüber reinem Wasser muß mit besonderer Aufmerksamkeit betrachtet werden. Die Papierproben zeigen zunächst gute Schutzwirkung. Trotzdem lassen sich an den Proben mit Siedegrenzbenzin leichte Verbeulungen am Papier feststellen. Die Probe mit dem Film aus der Spraydose zeigt dagegen keinerlei Verbeulungen. Die Proben am Gips verdeutlichen noch einmal das Ergebnis. Die kleinen Verbeulungen waren bereits ein Hinweis. Nachdem die Wasserperle ca 2 Stunden auf der Gipsoberfläche gestanden war, war das Wasser an drei Flächen tief in den Gips eingedrungen. Lediglich die Schicht aus der Spraydose hatte dagegen uneingeschränkt standgehalten.

Durch einen Zusatz von Verdickungsmittel ist es problemlos möglich Wasser am Eindringen zu hindern. (Ausreichend sind schon 0,5% Tylose 30.000).

Das Photo zeigt die Proben mit CCD als Schmelze

Hier wurde die reine Schmelze verglichen mit Schmelzen die einen 10%igen Zusatz von Lösungsmittel enthielten. Dabei sollte auch der Einfluß des Siedebereichs auf die Dichte des Films untersucht werden. Als Lösungsmittel wurden Siedegrenzbenzin mit dem Siedebereich über dem Schmelzpunkt des Cyclododecan verwendet. Einmal 60-80°C und 100-140°C. Die linke Hälfte auf grünem Grund zeigt wie vorher Proben auf Umweltpapier, die auf blauem Grund sind auf Gips.

Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Alle drei Beschichtungen hielten mühelos stand. Keine der drei Lösungen konnte in das Gefüge eindringen. Gleichfalls konnte kein Unterschied zwischen den zwei Benzintypen festgestellt werden.

Als weiteres wichtiges Ergebnis kann festgestellt werden, daß auf porösen Untergründen bezüglich unterschiedlicher Siedepunkte der Lösungsmittel kein Unterschied in den Filmeigenschaften zu erkennen war.

Allerdings muß unbedingt die Trocknungszeit für das Lösungsmittel eingehalten werden.

Die Auswirkung einer zu frühen Belastung kann sehr gut durch den Vergleich zweier Proben mit dem selben Material gezeigt werden.



CCD als Schmelze

Das erste Photo zeigt die Rückseite der bereits in der Zusammenfassung vorgestellten Probe von CCD in Benzin 100-140.

Das zweite Photo zeigt die Rückseite einer auf die selbe Art beschichteten Probe von CCD in Benzin 100-140. Die Probe auf dem ersten Photo hatte eine 2-Stündige Trocknungszeit hinter sich, während die Probe auf Photo 2 bereits nach ca 15 Min Trocknungszeit geprüft wurde. Das an Probe 2 nahezu ungehindert durchdringende Wasser-Netzmittelgemisch macht die Bedeutung ausreichender Trocknungszeit sehr deutlich.

Für die Anwendung von CCD sind natürlich die Verdunstungs- d.h. Sublimationseigenschaften von ganz besonderem Interesse.

Grundsätzlich ist die Verdunstung von zwei Faktoren abhängig:

- 1) Temperatur
- 2) Ventilation

Die Abhängigkeit der Sublimationsgeschwindigkeit innerhalb der ersten 3 Stunden von der Temperatur ist nicht linear, also nicht einfach proportional zur ansteigenden Temperatur.

Das Diagramm zeigt den Materialverlust in g/h bei 10°, 20° und 30° Celsius innerhalb 24 bzw 168 Stunden.

CCD in Benz.
100-140°C



Wasser Wasser mit Netzmittel Spiritus

RÜCKSEITE PAPIER

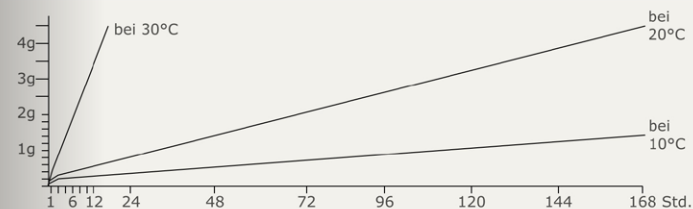
CCD in Benz.
100-140°C



Wasser Wasser mit Netzmittel Spiritus

RÜCKSEITE PAPIER

Materialverlust



In meinem Atelier werden zur Zeit noch detailliertere Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt, die Ergebnisse werden dann bald über meine Netzseite für alle Kollegen zugänglich.

Die wichtigste Aussage ist jedoch bereits klar. Es ist nicht einfach die Erhöhung der Temperatur, die zu einer wesentlich schnelleren Sublimation führt, es sollte die Temperaturerhöhung im entscheidenden Segment stattfinden.

Ich glaube, daß diese Erkenntnis einen der wesentlichsten Aspekte im Umgang mit den flüchtigen Bindemitteln darstellt.

Der zweite Faktor, der die Sublimationsgeschwindigkeit beeinflusst ist die Ventilation. Dabei reicht es natürlich nicht aus, nur den Luftstrom zu berücksichtigen, es ist auch die Geometrie der Oberfläche, die wiederum den Luftstrom beeinflusst. Die beiden Aufnahmen zeigen eine einfache Versuchsanordnung. Ein Pack Braunkohlebriketts wurde mit CCD-Spray beschichtet. In einem geschlossenen Raum ohne spürbare Luftbewegung wurde der Sublimationsprozess beobachtet. Er zeigt deutlich die ungleichmäßige Sublimation, wie sie allein durch die Luftbewegung an strukturierten Oberflächen stattfindet.

Wenn wir über Verdunstungs- und Sublimationseigenschaften sprechen geht es natürlich auch um das Sublimationsverhalten in verschiedenen Gefügen. Wir hatten ausführlich von porösen Gefügen gesprochen und bisher lediglich die beiden Faktoren Temperatur, und Ventilation angesprochen. Über die CCD-Dampfdurchlässigkeit von Kalkmörteln wissen wir bereits verhältnismäßig viel.

An dieser Stelle muß ich auf die hervorragende Arbeit von Nicole Riedl hinweisen. Publiziert in Restauro Heft 7 1998. Frau Riedl hat die Sublimationsprozesse im Porenraum von Kalkmörtel detailliert verfolgt und kann dies an wunderbaren Aufnahmen zeigen, die mit den Kryo-Rem entstanden sind. Frau Riedl zeigt deutlich, daß die Sublimationsprozesse auch tief im Porengefüge ablaufen. Allerdings wesentlich langsamer als auf der Oberfläche. Außerdem zeigt sie sehr klar die Unterschiede beim Sublimationsverhalten in Abhängigkeit von der Dichte des Films.

Die Frage nach der CCD-Dampfdurchlässigkeit von dichteren Materialien wie Öl- oder Harzgebundenen Malschichten ist für den Bereich Tafelbild und Skulptur von großer Bedeutung. Maßnahmen wie Transportsicherungen an Gemälden oder Skulpturen, und besonders die vorübergehende Verfestigung oder Unterfütterung von Malschichten während belastender Arbeiten mit dem Skalpell können erst dann mit gutem Gewissen ausgeführt werden, wenn diese Frage geklärt ist. Dieses Problem tritt zwar am Leinwandgemälde nicht auf, da die Gemälderückseite im Allgemeinen keinen nennenswerten Widerstand gegen CCD-Dampf bildet.

Holztafeln oder Skulpturen sind hier weit problematischer. Man muß sich vorstellen, daß das CCD zunächst in flüssiger Form durch das Sprungnetz eindringt, dann aber nur noch eine sehr geringe Oberfläche zur Verdunstung zur Verfügung hat.



CCD als Schmelze

Versuchsanordnung

Um mir zunächst selbst eine Vorstellung zu schaffen habe ich mir folgende Versuchsanordnung ausgedacht: Eine Ölmalerei auf Leinwand sollte als Abdeckung über einem CCD-Film liegen. Dabei sollte beobachtet werden, ob das CCD unter dieser Abdeckung sublimiert und als Gas die ölgebundenen Schichten durchdringt.

Auf einer Hostapanfolie von 29,5 x 21cm wurde wurde eine Fläche von ca 12 x 13,5 cm mit CCD-Spray beschichtet. Die CCD-Schichtseite wurde dann auf die Gemäldeoberfläche aufgelegt, und mit Quarzsand so beschwert, daß ein unmittelbarer Kontakt zustande kam und eine Verdunstung nach den Seiten hin ausgeschlossen werden konnte.

Die Gemälderückseite war frei belüftet. Um den Prozess etwas zu beschleunigen wurde von unten etwas erwärmt. Die Luft unmittelbar unter der Leinwand hatte genau 30°C.

Die Ergebnisse erstaunten mich.

Im Rhythmus von ca 3 Stunden konnte eine Gewichtsabnahme von 0,1g gemessen werden. Deutlich begann der Prozess am optisch kaum wahrnehmbaren Sprungnetz, gleichzeitig nahm auch die Schichtstärke auf der Fläche ab, was an der zunehmenden Transparenz erkennbar wurde.

Die Photos zeigen den Sublimationsprozess in einer Abfolge. Ich möchte aus diesen Ergebnissen noch nicht den Schluß ziehen, daß Öl- oder Öl-Harz-Schichten in keinem Fall eine Dampfsperre für CCD-Schichten darstellen. Im Gegenteil rate ich dazu, objektspezifisch Versuche anzustellen, bevor derartige Eingriffe durchgeführt werden.



Gemälde als Versuchsfläche



Zwischen Malerei und Folie liegt CCD
Quarzsand verhindert seitliche Verdunstung

Gegen die Entscheidung, zur Lösung eines Konservierungsproblems die Verwendung von Cyclododecan in Betracht zu ziehen spricht für mich häufig die Wartezeit bis zum völligen Verschwinden dieses Materials. Es behindert einfach oft die schnelle Weiterarbeit. So stellt sich häufig die Frage, wie kann dieser Prozess beschleunigt werden. Auch hier spielt die Dichte des Films natürlich die Hauptrolle. Je dichter der Film, desto langsamer der Sublimationsvorgang. Dieser Zusammenhang gilt immer!

Schon aus diesem Grund muß bei der Konzeption der Maßnahmen genau überlegt werden, was erreicht werden soll, und wie dicht der Film dazu sein muß. (Es macht natürlich keinen Sinn, für einen kurzfristigen Oberflächenschutz eine dichte Schmelze aufzutreiben der 10 mal länger steht als ein Film als der aus der Spraydose.)

Beschleunigen läßt sich das restlose Verschwinden durch folgende Maßnahmen

Temperaturerhöhung

Wie bereits gezeigt ist dabei nicht die einfache Erhöhung der Temperatur ausreichend, sondern wenn möglich eine Erhöhung in den Bereich über 30°C.

Ventilation

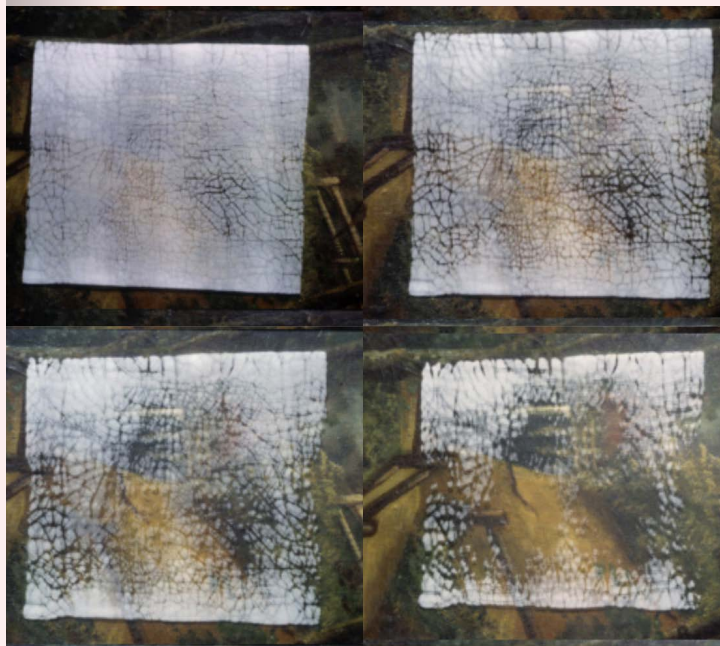
Wenn zur Temperaturerhöhung noch eine gute Ventilation kommt, kann die Sublimationsgeschwindigkeit gleich um ein mehrfaches beschleunigt werden.

Lösungsmittel

Auch beim Einsatz von Lösungsmitteln spielt die Dichte des Films wie immer die Hauptrolle. So ist es ein langwieriges, mühevolleres Geschäft, eine Schmelze mit Siedegrenzbenzin zu entfernen. Ich kann nur davon abraten. Den Film aus der Spraydose löst man bereits durch ein Ansprühen mit Siedegrenzbenzin.



CCD als Schmelze



CCD als Schmelze

Heidenheim Römische Wandmalerei

Objektbeschreibung

Bei der Ausgrabung der römischen Zivilsiedlung von Heidenheim 1992 wurden bemalte Wandverputze entdeckt. Sie stammen wohl von einer Fachwerkwand aus einem Gebäude des 2. Jahrh.

Die Putzfragmente wurden damals nicht freigelegt, sondern in drei Stücke zerteilt als Blöcke geborgen. Die Einzelstücke hatten eine Größe von je ca. 80cm x 120cm x 50cm. Von 1992 bis 2004 wurden die drei Blöcke im Depot aufbewahrt.

Die Blöcke bestanden aus sehr fest gebundenem lehmigen Material. In dieser Masse lagen die Mörtelfragmente in den verschiedensten Positionen. Es waren sowohl senkrecht zur heutigen Auflagefläche als auch mit der Malschichtseite nach oben und nach unten liegende Einzelstücke erkennbar. Möglicherweise war die ganze Fachwerkwand in sich zusammengestürzt. Der Zusammenhang und ursprüngliche Position der einzelnen Fragmente zueinander war nicht unmittelbar nachvollziehbar.



Ziel und Aufgabenstellung

Einzelne offenliegende Putzfragmentchen zeigten rote Farbreste. Da dies Bruchstücke einer Malerei sein konnten, sollten die Putzstücke freigelegt werden, um sie beurteilen zu können.

Zwei Probleme

01 technische Probleme bei der Freilegung

Die Putzfragmente sind selbst sehr schwach gebunden und in eine außerordentlich harte lehmige Masse eingebettet. Eine vorhergehende Verfestigung des Mörtels mit Kieselsäureester hätte auch die anliegende Lehmschicht irreversibel gebunden. Auch eine Verfestigung mit Kunstharzen hätte zu erheblichen Problemen geführt.

In beiden Fällen wäre die Verfestigung und die damit verbundenen Wartezeiten mit hohem Zeitaufwand verbunden.

Ein zweites Problem stellte der hart getrocknete Lehm dar. Ohne eine Befeuchtung war eine Freilegung der Putzfragmente kaum möglich. Gleichzeitig hätte eine Befeuchtung mit Wasser die Putzfragmente noch empfindlicher gemacht.

02 Aufwendige Dokumentation

Obwohl bei Beginn der Freilegung lediglich rote Farbreste erkennbar waren, war für eine eventuelle Rekonstruktion oder gar Konservierung der Funde eine sehr detaillierte Dokumentation erforderlich. Die Fundlage und die Position der Stücke zueinander musste bei der Freilegung so detailliert wie möglich erfasst werden.

Auch dies ist mit hohem Zeitaufwand verbunden. Die Stücke müssten einzeln nummeriert, und in ihrer Lage kartiert werden.

Konzept

Die geborgenen Blöcke sollten schichtweise so zerlegt werden, dass alle neben einander liegenden Fragmente ihre Position zueinander beibehalten.

Das heißt, es sollte jeweils die gesamte Schicht mit Putzfragmenten unzerlegt abgehoben werden.

Die Dimension der zu bearbeitenden Fläche sollte keiner Beschränkung unterliegen. Abhängigkeiten nur von der Haftzugfestigkeit der Materialien und der technischen Handhabbarkeit.

Nach dem Abheben einer Schicht sollen folgende Optionen offen bleiben:

Alle Einzelstücke sollen strukturell völlig unverändert und in ihrer ursprünglichen Fundlage auf dem Arbeitstisch in der Werkstatt liegen.

Alle Einzelstücke sollen gereinigt und gefestigt jedoch in ihrer ursprünglichen Fundlage auf dem Arbeitstisch in der Werkstatt liegen.



Dem Gesamtkonzept liegen folgende Details zugrunde:

01 Aufweichen und lösen der harten Bindung des Lehms ohne den Einsatz von Wasser.

Es ist eine Entdeckung, für die noch die wissenschaftliche Erklärung fehlt. Wenn luftgetrockneter Lehm oder Ton mit wasserfreiem Ethanol befeuchtet wird, vermindert er ganz erheblich seine Bindung. Er wird mürbe und krümelig, und lässt sich mechanisch leicht zerbröseln. Eine Befeuchtung mit anderen Lösungsmitteln wie Aceton oder Testbenzin führte nicht zu vergleichbaren Ergebnissen.

Es wurde eine Reihe von Vergleichsproben mit Zusatz von Wasser zum Alkohol getestet. Die Proben zeigen mit Zunahme des Wasseranteils zwar eine vergleichbare Erweichung des Lehms, gleichzeitig jedoch eine erhöhte Klebrigkeit. Der in Brennspritus vorhandene Anteil von Wasser erbrachte im Vergleich zu reinem Alkohol noch keine spürbare Klebrigkeit und konnte toleriert werden.

02 Herstellen einer reversiblen Schicht aus Cyclododecan als Haftvermittlung.

Die Eigenschaften von CCD als klebende gut haftende Beschichtung hängt vor allem von der möglichst perfekten Benetzung der Oberfläche ab. Im Idealfall dringt die Schmelze bei porösen Materialien etwas in die Oberfläche ein. Diese Benetzung wird am besten durch eine möglichst hohe Verarbeitungstemperatur (80°C) erreicht. Ein Zusatz von ca. 10% Siedegrenzbenzin 100 – 140°C verbessert erheblich die Verarbeitungseigenschaften.

Die ausgekühlte, erstarrte Beschichtung hat durch den Zusatz von Lösungsmittel zunächst nur eine geringe Festigkeit. Diese nimmt jedoch mit dem Verdunsten des Lösungsmittels wieder zu. Aus diesem Grund sollte vor der Belastung eine Wartezeit von mindestens 12 Stunden eingehalten werden.

Armierung der CCD-Schicht mit Gewebe:

Für die Armierung einer CCD-Schicht sind dichte Gewebe ungeeignet oder nur sehr schwer Verarbeitbar. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Zugfestigkeit der Beschichtung bei dichteren Geweben schwerer zu erreichen ist. Bei der Maschenweite einer Baumwollgaze von ca. 1mm wurden optimale Ergebnisse erzielt. Aber auch dünne Baumwollnessel, Polyamid-Fliese oder Polyethylen-Fliese lassen sich erfolgreich einsetzen. Ganz wesentlich ist die Verarbeitungstemperatur.

03 Herstellen eines Drainage-Systems, das die Auflösung der CCD-Verbindung zwischen Schaum und Putzfragment in kürzester Zeit ermöglicht.

Die Verklebung mit CCD dient ausschließlich der flächigen Bergung der Fragmente. Zur weiteren Bearbeitung soll diese Verbindung so schnell wie möglich aufgelöst werden. Damit das Lösungsmittel auch bei sehr großen Flächen von den Seiten her eindringen kann, wird schon bei der Herstellung der Kaschierung ein entsprechendes Drainagesystem eingebaut. Wir haben verschiedene Systeme ausprobiert. Sehr gut hat sich eine Nylon-Wirrfasermatte bewährt. Diese wird in Streifen geschnitten und mit einem Abstand von ca. 10cm zwischen die Kaschierungslagen eingelegt.

04 Herstellen eines formstabilen Trägerkissens aus PU-Schaum, das über die CCD Beschichtung fest mit den bemalten Putzfragmenten verbunden ist.

Verwendet wird ein zwei komponentiger, geschloss-
enporiger Polyurethanschaum mit einem Raum-
gewicht von ca. 50kg/m^3 . Dieses Material hat völlig
ausreichende physikalische Eigenschaften wie Fes-
tigkeiten und Formstabilität. Abhängig von der ge-
planten Schichtstärke und der Fläche des Kissens
muss zusätzlich eine Armierung eingebaut werden.
Die Armierung dient sowohl der Stabilisierung, als
auch den Aufhängevorrichtungen beim Abheben.
Anwendbar sind nahezu alle Arten von Armierungs-
körben und Matten. Durch die Verwendung dieses
Verbundsystems aus Armierungskonstruktion und
Schaum sind der flächigen Ausdehnung des Pakets
nur noch sehr weite Grenzen gesetzt.

Für das Gesamtkonzept ist vor allem die gute Klebe-
eigenschaft zu CCD sowie die Stabilität gegenüber
aliphatischen Kohlenwasserstoffen entscheidend.
Bei der Verarbeitung muss die Wärmeentwicklung
bei der Reaktion der beiden Komponenten beachtet
werden. Die Temperatur im Inneren darf natürlich
nicht über 60°C , die Schmelztemperatur von CCD
steigen. Aus diesem Grund wird in mehreren kleine-
ren Portionen gegossen und gegebenenfalls die Ab-
kühlung abgewartet.

Alternativ zu PU-Schaum können auch Epo-
xi-Schäume verwendet werden. (Die Idee stammt
von David Singleton und Eric Miller) Unsere Vorver-
suche haben gezeigt, dass sich auch diese Schäume
sehr gut an eine CCD-Schicht anbinden.

05 Schnelles Auflösen der Verbindung zwischen den CCD-Schichten und dem PU-Schaum-Kissen im Lösungsmittelbad

Ziel dieses Verfahrens ist neben der flächigen Bergung auch der möglichst kurzfristig wieder herstellbare Vorzustand der geborgenen Stücke. Aus diesem Grund wird die Verklebung mit den CCD-Beschichtungen im Lösungsmittelbad aufgelöst. Dies bedeutet zunächst einfach die Lösung der Verklebung, nicht jedoch die restlose Entfernung des Bindemittels aus dem Gefüge. Je nach Konzentration im Bad und je nach Porosität der geborgenen Objekte wirken die Rückstände von CCD im Gefüge verfestigend. Die Sublimation findet dann je nach Raumtemperatur innerhalb weniger Tage statt. Diese Sublimationszeit muss bei der Planung der folgenden Maßnahmen berücksichtigt werden. Soll diese Verfestigende Wirkung nach dem Bad so gering wie möglich sein, kann sehr einfach das Lösungsmittel im Bad ein bis zweimal erneuert werden. Hier ist auch auf die Raumtemperatur zu achten. Bei 20°C löst sich CCD ca. 1:1 in Siedegrenzbenzin. Bei 10°C nur noch sehr viel weniger. Auch der Ausgleich der Konzentration durch das Drainagesystem verläuft langsam.

Ausführung

Die größeren, zusammenhängenden Putzstücke waren ausschließlich von der Rückseite sichtbar. Zunächst wurde alles lockere Material entfernt. Lose aufliegende Putzstücke wurden durchnummeriert, fotografisch erfasst und in ihrer Lage kartiert.

Anweichen der harten Lehmschicht

Die Lehmschicht wurde zunächst satt mit Brennspritus befeuchtet. Es wurde so viel Alkohol auf die Oberfläche aufgetragen, dass eine Schicht von mehreren cm des Lehms gut durchfeuchtet wurden. Diese Durchfeuchtung ist für die nachfolgenden Arbeitsgänge wichtig, da sich die Bindung zwischen Putzfragmenten und Lehm bei der Abnahme leicht lösen muss.

Freilegung der Putzflächen

Von den Mörteln wurden soweit möglich alle Lehmreste entfernt. Der Lehm war so mürbe, dass auch abgebürstet und abgekehrt werden konnte.

Trocknen der Kalkmörtelflächen

Alle Putzfragmente die in diesem Arbeitsgang abgehoben werden sollten, mussten vor der Beschichtung mit CCD oberflächlich getrocknet werden. Dazu wurde mit einem Fön gearbeitet.

Festlegen der Fläche und Herstellen einer Abstellung

Der abzunehmende Bereich wurde mit einem hölzernen Rahmen als Abstellung versehen. Dieser Rahmen sollte verhindern, dass durch CCD oder PU-Schaum andere Bereiche verklebt werden.

Festlegen der abzunehmenden Fragmente

Vor der Durchführung der Kaschierung werden alle Bereiche, die nicht verklebt werden sollen mit feinem Quarzsand oder Perlite abgedeckt. Dies dient vor allem dem Schutz der nicht betroffenen Stücke.



Anweichen der harten Lehmschicht
Freilegung der Putzflächen

Kaschierung mit einer Gazearmierung

Die Fragmente werden mit zwei Lagen nacheinander mit einer großmaschigen Baumwollgaze und Cyclohexanmelze beschichtet. Für die Schmelze wird dem CCD 10% Siesegrenzbenzin zugesetzt. Die Schmelze wird im Wasserbad auf ca. 80°C erhitzt und dann mit dem Pinsel aufgetragen. In den Randbereichen wird die Gaze auf den Rahmen der Abstellung aufgeklebt.

Eine zweite Kaschierungsschicht wird aufgetragen.

Einbau der Drainagestreifen

Streifen einer 10mm Wierfaserplatte werden mit einem Abstand von ca. 10cm auf der Fläche verteilt. Soweit erforderlich können sie bereits punktuell mit Baumwollgaze und CCD fixiert werden. Es wurde darauf geachtet, dass die Streifen zwischen den Kaschierungslagen durchgängige Kanäle bilden und vom Rahmen her offen sind.

Kaschierung mit Baumwollnessel

Über den Drainagestreifen wird als Trennung zum folgenden PU-Schaum-Kissen eine weitere Kaschierung mit einem Baumwollgewebe ausgeführt. Da auch diese Schicht die selbe Zugfestigkeit erreichen muss wie die darunter liegenden Beschichtungen muss sie mit großer Sorgfalt ausgeführt werden. Das Gewebe schließt dicht an den Rahmen der Abstellung an, und wird hier so angeklebt, dass der später eingefüllte 2-Komponenten-Schaum keinesfalls zwischen die Verbindung eindringen kann.

Weitere CCD-Beschichtung

Mit einer weiteren CCD-Beschichtung wird die Nesselkaschierung zusätzlich gegen den Schaum abgedichtet. Es muss sichergestellt, dass der 2-Komponenten-Schaum die Kaschierung nicht durchdringen kann. Bei der Ausführung ist für die Schmelze eine etwas niedrigere Verarbeitungstemperatur günstig.



Festlegung der abzunehmenden Fragmente und Kaschierung



Einbau der Drainagestreifen und Kaschierung mit Baumwollnessel

Trocknungszeit

Um die Zusätze von Siedegrenzbenzin aus der CCD-Schicht verdunsten zu lassen muss eine Trocknungszeit von mindestens 12 Stunden eingehalten werden. Danach haben die Beschichtungen ihre Endfestigkeit erreicht.

Herstellen des PU-Schaum-Kissen mit Holzarmierung

Der Raum zwischen den Abstellrahmen wird mit Polyurethanschaum in mehreren Portionen aufgefüllt. Um das ganze Paket nachfolgend besser abheben zu können wurde eine Armierung aus Holzlatten und Gewebekband in den Schaum eingelegt. Nach dem Aushärten des Schaums wird die Rückseite plan abgesägt, um eine bessere Standfläche zu erhalten.

Abheben und Wenden

Das fertige Paket konnte mühelos vom Block abgehoben und gewendet werden. Die Bergung der angeklebten Fragmente war sehr erfolgreich. Es wurden nur die Stücke aus dem Block herausgehoben, die ausgewählt worden waren. Der noch anhaftende Lehm war sehr mürbe und konnte mühelos abgekehrt werden.

Freilegung der Zweiten Lage

Nach dem Abheben der ersten Lage war die darunter liegende Oberfläche des Blocks immer noch tief mit Alkohol durchfeuchtet. Dieser Zustand hatte die Freilegung der nächsten Schicht von Putzfragmenten deutlich erleichtert. Die anhaftenden Lehm-schichten konnten mühelos entfernt werden. Tiefer liegende Bereiche wurden noch zusätzlich mit Alkohol befeuchtet.

Vorbereitung und Abheben der nächsten Lagen

Aus allen drei Blöcken konnten zwei Lagen zusammenhängender Putzfragmente geborgen werden. Unter diesen zwei Lagen konnten noch mehrere größere Fragmente eines Fußbodenestrichs geborgen werden.



Herstellen des PU-Schaumkissen mit Holzarmierung



Abheben und wenden

Reinigung der Malschichtoberfläche

Vor der Verfestigung der Putzfragmente wurde die Malschichtoberfläche von allen anhaftenden Schmutzresten gereinigt. Die vorübergehende Fixierung auf dem PU-Schaum-Kissen erwies sich dabei als vorteilhaft.

Verfestigung des Mörtelgefüges

Eine partielle Verfestigung des Mörtelgefüges wurde an dieser Stelle durchgeführt. Da die Verklebung mit CCD auf dem PU-Schaum noch stabil ist, müssen jedoch bei der Wahl des Festigungsmittels die Reaktionen des Schaumbetts und der Verklebung berücksichtigt werden. In diesem Fall wurden bröckelnde Ränder mit Syton X 30 verfestigt. Nach dem Trocknen wurden einzelne Bereiche mit Kieselsäureester Motema 28 der Fa. Interacryl verfestigt.

Lösen der Verbindung

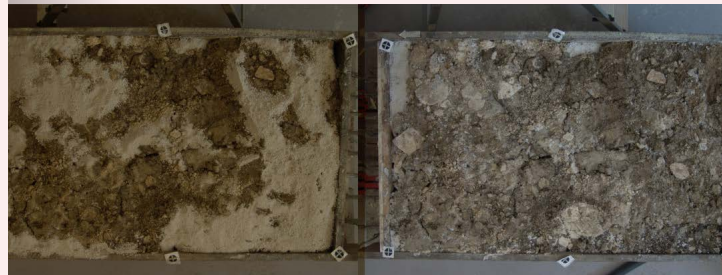
Vorbereitung

Konterform

Das Lösen der CCD-Verklebung sollte in einem Tauchbad in Siedegrenzbenzin durchgeführt werden. Je nachdem welche Seite der Putzfragmente sichtbar sein soll, wird entschieden, ob eine Konterform gebaut wird oder nicht.

Für die Konterform werden als Trennschicht zwei dünne Polyethylenfolien eingelegt. Soweit notwendig werden zwischen die beiden Folien Unterschneidungskissen eingebaut. Hier hat sich feuchte Baumwollwatte gut bewährt.

Darüber wird ein weiteres PU-Schaum-Kissen gegossen. Das Kissen wird abgehoben und plan geschnitten, wieder aufgesetzt sodass das Paket gewendet werden kann.



Freilegung der zweiten Lage

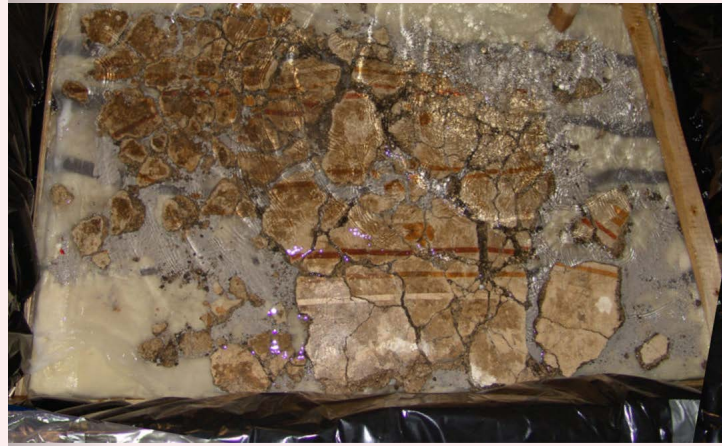
Tauchbad

Vorbereitend werden alle Drainagekanäle kontrolliert, und gegebenenfalls frei geschnitten. Aus Kantonhölzern und PE-Folien wird um das Paket eine Wanne gefertigt. Das Paket wird dann von oben derart beschwert (Lösungsmitteldichter Sandsack) dass die Schaumteile im Lösungsmittelbad nicht aufschwimmen können.

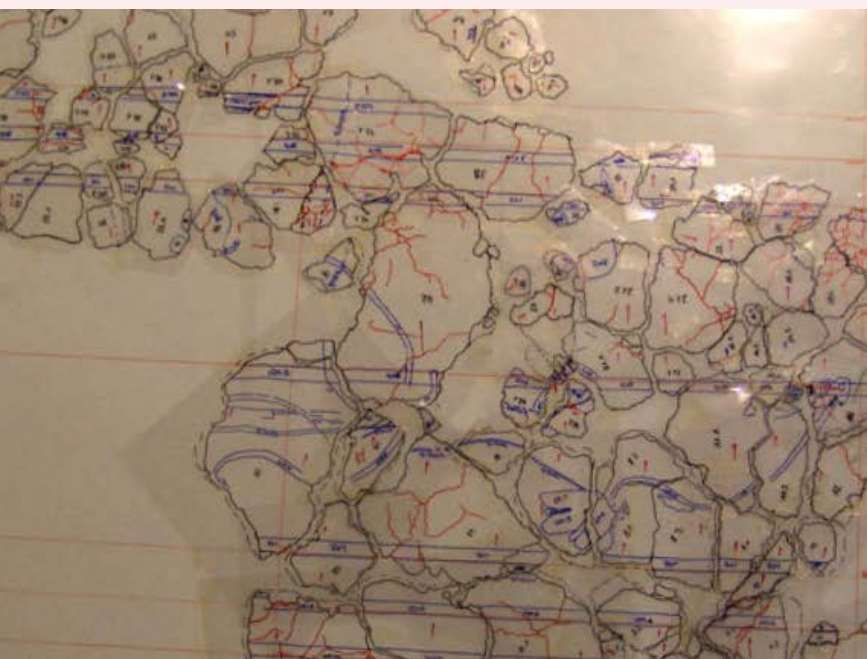
Mit Siedegrenzbenzin wird großzügig bis über die Konterform aufgefüllt. Das Stück bleibt mindestens 10 Stunden lang im Bad liegen, damit sich alle Reste der CCD-Schichten auflösen können. Vor dem Abheben der Beschwerung muss das Lösungsmittel aus der Wanne abgelassen werden!

Aufdecken

Das Paket kann dann aus der Wanne genommen und das oben liegende Kissen abgehoben werden. Je nach der Entscheidung welche Seite oben liegen soll, müssen die Gasewebe abgenommen werden. Nach dem Bad und dem Verdunsten des Lösungsmittels bildet sich zunächst ein weißer CCD-Belag auf den Oberflächen. Dieser Belag sublimiert jedoch rasch.



Tauchbad



Aufdecken

Das Kaiser- grab von Quin Shihuang in Lintong, China

Bergungskonzept für einen Plattenpanzer

Dieses Konzept haben wir im Sommer 2003 für das Partnerschaftsprojekt zwischen dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege in München und dem Museum der Terrakotta Krieger in Lintong, entwickelt. Die originalen Stein-Schuppenpanzer sind je aus etwa 600 Kalksteinplättchen gefertigt und untereinander mit gegossenen Bronzedrähten verbunden.

Ziel war die Bergung eines Panzers zu Forschungs- und Ausstellungszwecken. Unser Konzept wurde an zwei Modellstücken umgesetzt. Die Entwicklung und erste Ausführung an einem kleinen Modell fand in unserer Werkstatt statt, die zweite Probebergung fand an einem Nachbau des Panzers in München statt.



Das Konzept besteht aus zwei Kernstücken:

Erstens die Möglichkeit großflächige Bergungen in einem Stück durchzuführen und zweitens die Möglichkeit sehr schnell rückstandslos alle Verbindungen zu lösen, die für die Bergung erforderlich waren. Die Konservierungsarbeiten können so ungehindert fortgesetzt werden.

2004 führten die Kollegen der Münchner Amtswerkstatt die Bergung an einem Originalstück in China durch. Die Maßnahme war sehr erfolgreich, selbst die empfindlichen Bronzedrähntchen erlitten keine Schäden.

Ein ausführlicher Bericht wird demnächst von Sandra Bucher (Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege) veröffentlicht.

Reversible Kaschierung mit steuerbarer Sublimierung

Kaschierungen mit Cyclododecan haben sich, in Bereichen in denen ein vollständig reversibler Schutz für eine kurze Zeit notwendig war, sehr bewährt. Die Haltbarkeit einer reversiblen Schutzabdeckung über einen längeren Zeitraum stellte aber bisher ein Problem dar.

Die Sublimierung des CCD lässt sich durch eine möglichst dampfdichte Abdeckung stoppen. Kleinere Objekte und kleine mit CCD behandelte Flächen lassen sich leicht mit dampfdichten Folien abdecken. Problematisch wird es bei Objekten größeren Ausmaßes, besonders im Wandmalerei und Architekturbereich.



Aufdeckung

PU-Schaum als Klebemittel für die Dampfsperre

Im Sommer 2003 wurden wir mit der Restaurierung einer Wandmalerei an der Außenfassade der Orangerie in Bronnbach, im Main-Tauberkreis beauftragt. Für die Erhaltung des ca. 100m² großen Gemäldes war eine reversible Kaschierung notwendig, die während der gesamten Sicherungsarbeiten am hölzernen Putzträger den Putz stabilisiert und die Malerschicht vor Verschmutzung schützt. Die Sicherungsarbeiten sollten etwa 6 Monate dauern.

Die Fassade des Gebäudes ist nach Süden ausgerichtet und von einem 22m langen und 4,3m hohen Gemälde bekrönt. Das Gemälde ist in Kalktechnik auf einem Kalkmörtel ausgeführt. Als Putzträger dienen Spaltruten, die auf einer hölzernen verbretterten Voutenkonstruktion befestigt sind. Diese hölzerne Unterkonstruktion ist unmittelbar mit dem Dachgebälk des Gebäudes verbunden. Dachschäden und Holzwurmbefall hatten die tragende Konstruktion soweit geschwächt, dass Arbeiten im Dach und unmittelbar an der Bildrückseite notwendig geworden waren.

Das Gemälde sollte während dieser Baumaßnahme auf der Vorderseite mit einer Cyclododecankaschierung geschützt und von einer Absprießkonstruktion unterstützt werden. Es war absehbar, dass sich die Reparaturarbeiten an der Dachkonstruktion und dem Bildträger über mindestens 6 Monate hinziehen würden.

Um eine dauerhafte Kaschierung auf der Südfassade zu erhalten musste die CCD-Beschichtung mit einer Dampfsperre versehen werden.



Wandmalerei an der Außenfassade der Orangerie in Bronnbach



Anforderungen an die Kaschierung

Die CCD-Beschichtung sichert und schützt die empfindlichen, schwach gebundenen Oberflächen der Malerei.

Diese Beschichtung muss flächig mit einer Dampfsperre abgedeckt werden, um die frühzeitige Sublimierung des CCD zu verhindern.

Das Klebemittel darf nicht durch die Verdunstung von Lösungsmitteln abbinden, da auch die CCD-Beschichtung weitgehend dampfdicht ist.

Die Abdeckung muss einfach und ohne große mechanische Belastung wieder zu entfernen sein.

Die Wahl des Klebstoffes

Bei dem verwendeten Klebstoff handelt es sich um denselben 2-Komponenten-PU-Schaum, welcher auch schon bei anderen Projekten, z. B. Abnahmen von Wandmalereien, verwendet wurde. Trotz der zu diesem Zweck nicht vorgesehenen Eigenschaften des Materials haben wir uns dennoch dafür entschieden, da es zu dieser Zeit das einzige uns bekannte Material war, das zuverlässig auf Cyclododecan haftet, ohne dieses anzulösen, und das nicht durch Entweichen von Lösungsmitteln erhärtet.

Aufbau der Kaschierung

Direkt auf die Malschichtoberfläche des Gemäldes wurde eine dichte Schicht Cyclododecanschmelze aufgetragen. Dieser Schicht wurden 10% Siedegrenzbenzin (Siedepunkt 100-140°C) zugesetzt. Diese unterste Schicht dient als Trennschicht. Das Siedegrenzbenzin wurde zugesetzt, um die Cyclododecanschmelze leichter verarbeitbar zu machen.



Aufbau der Kaschierung

Als nächstes wurde eine Cyclododecanschicht mit Vliesarmierung aufgebracht. Das Vlies ist ein dünnes Polypropylenvlies (aus dem Baumarkt, Frühbeetabdeckung, Winterschutz für Pflanzen). In dieser Schicht wurde ebenfalls Cyclododecanschmelze verwendet. Ihr wurden 30% Siedegrenzbenzin zugesetzt. Der recht hohe Anteil an Benzin bewirkt, dass die Cyclododecanschicht dünn ist und das Vlies nur mäßig fest auf dem Untergrund klebt. Dies ist notwendig, da die Vliesschicht nach abgeschlossener Maßnahme zusammen mit der aufgeklebten Alufolie abgezogen werden soll. Vor dem nächsten Arbeitsschritt musste eine Wartezeit von 10 Stunden eingehalten werden, damit das Siedegrenzbenzin aus dem Cyclododecan verdunsten konnte.

Als oberste Schicht sollte nun Alufolie aufgeklebt werden. Die Folie wurde mit einem 2 Komponenten PU-Schaum aufgeklebt. Der Schaum wurde mit einem Spachtel dünn auf die vorbereiteten Alufolienstücke aufgetragen, die Folienstücke wurden dann mit einer Rolle an die Kaschierung angedrückt.

Nach abgeschlossener Baumaßnahme konnten die oberen beiden Schichten der Kaschierung abgezogen werden. Das Vlies ließ sich mitsamt PU-Schaum und Folie abziehen.

Schwierigkeiten bei der Maßnahme

Die Maßnahme war insgesamt erfolgreich, das Cyclododecan verblieb während der gesamten Maßnahme auf dem Gemälde und sublimierte vollständig nachdem die Vliesschicht mit Schaum und Alufolie abgezogen worden war.

Dennoch war die Durchführung nicht unproblematisch. Der Auftrag des PU-Schaums auf die zugeschnittenen Aluminiumfolienstücke erwies sich aus unterschiedlichen Gründen als schwierig. Zum einen reagiert der Schaum sehr schnell, ist also nur für wenige Minuten verarbeitbar. Die Verarbeitungszeit lässt sich verlängern indem man den angemischten Schaum kühlt. Wir haben dazu Eiswasser verwendet. Zum anderen ist es notwendig den Schaum sehr dünn und gleichmäßig auf der Aluminiumfolie zu verteilen, da Partien mit einer dickeren Schaumschicht sehr rigide werden und beim Entfernen der Kaschierung zu Malschichtverlusten führen können. Diese ganz dünne gleichmäßige Verteilung war besonders bei warmem Wetter schwierig.

Die Abnahme von Vliesschicht, Schaum und Aluminium verlief im Großen und Ganzen Problemlos. In einigen Bereichen traten aber Schwierigkeiten auf. Zum einen gab es Partien mit sehr schwach gebundener Malschicht, in denen man das Kaschierpaket nicht einfach abziehen konnte. In diesen Bereichen musste zunächst das Aluminium abgenommen werden und anschließend mit reichlich Siedegrenzbenzin das Cyclododecan angelöst werden, bevor Vlies, Schaum entfernt werden konnten.

Ein weiteres Problem stellte das Vlies dar, welches sich an einigen Stellen nicht wie geplant abziehen ließ. Es blieben Fasern und zum Teil auch Schaumreste auf der dichten Cyclododecanschicht haften. Diese mussten später mit Siedegrenzbenzin entfernt werden.

In den Bereichen, in denen das Vlies sich nur mühsam abziehen ließ war, (vermutlich durch das lange Warmhalten der Schmelze) der Anteil an Siedegrenzbenzin geringer geworden. Um dies zu vermeiden sollte man das Siedegrenzbenzin immer nur kleinen Portionen geschmolzenen Cyclododecans beimischen.

Fazit

Die Maßnahme war insgesamt sehr erfolgreich. Eine, die Wandmalerei schonendere Sicherungskaschierung als die Einbettung der Oberfläche in einen Cyclododecanfilm war für uns nicht erkennbar. Trotz des guten Ergebnisses war vor allem die Abdeckung mit Aluminiumfolie insgesamt sehr aufwendig und könnte vereinfacht werden.

Weiterführende Versuche

Nach Abschluss der Maßnahme haben wir die Suche nach einem Klebemittel fortgesetzt und zwei sehr interessante Alternativen gefunden.

Honig als Klebemittel für die Dampfsperre

In einer Testreihe haben wir als Klebemittel Honig verwendet. Die Klebekraft des Honigs reicht aus um die Aluminiumfolie flächig auf dem Cyclododecan zu befestigen. Kleine Schwierigkeiten gab es als wir unsere Musterplatte auf die Heizung stellten um die Verdunstung des CCD zu beschleunigen. Der Honig verflüssigte sich und lief unter der Aluminiumfolie heraus. Dieses Problem konnte durch einen Zusatz von hochdisperser Kieselsäure (Aerosil) zum geschmolzenen Honig behoben werden. Auch bei Temperaturen von 60°C (Schmelzpunkt von CCD) ist er nicht mehr fließfähig.

Eine Honig verklebte Dampfsperre hat gegenüber der mit PU-Schaum verklebten Dampfsperre ganz wesentliche Vorteile. Honig ist preisgünstig, leicht zu besorgen und vollkommen ungiftig. Es ist sehr viel leichter zu verarbeiten, da keine verschiedenen Komponenten angemischt werden müssen. Die mit Honig aufgeklebte Aluminiumfolie lässt sich problemlos abziehen, die geringen Rückstände an Honig können sehr einfach mit Wasser von der CCD-Beschichtung entfernt werden. Um Randbereichen während der Abnahme des Honigs zu schützen, sollte man bevor die Aluminiumfolie entfernt wird die angrenzenden Flächen in einem schmalen Streifen mit Cyclododecan Spray versiegeln.

Um festzustellen ob eine Honigkaschierung den Anforderungen des Außenbereichs standhält haben wir Aluminiumfolie mit dem Honig-Aerosilgemisch auf die Türe eines Autos geklebt und sind dann im Regen über die Autobahn gefahren.

Am Ende der ca. einstündigen Fahrt waren die aufgeklebten Folienstücke noch vorhanden und in gutem Zustand.



Elastische PU-Beschichtung als Klebemittel für die Dampfsperre:

Eine weitere Versuchsreihe wurde mit einem elastischen 2-Komponenten Material aus Polyurethan (PU-Coating) durchgeführt. Es bildet einen klaren, widerstandsfähigen, elastischen Film, gut auf Cyclo-dodecanbeschichtungen haftet.

In der Versuchsreihe sollte folgendes geprüft werden

die Verbindung der PU-Beschichtung mit verschiedenen CCD-Untergründen

die sperrenden Eigenschaften der PU-Schicht selbst gegenüber CCD-Dampf

Applikationsmethoden und Verarbeitungszeiten

01 Verklebung von Alufolie direkt auf die dichte Cyclo-dodecanschicht ,

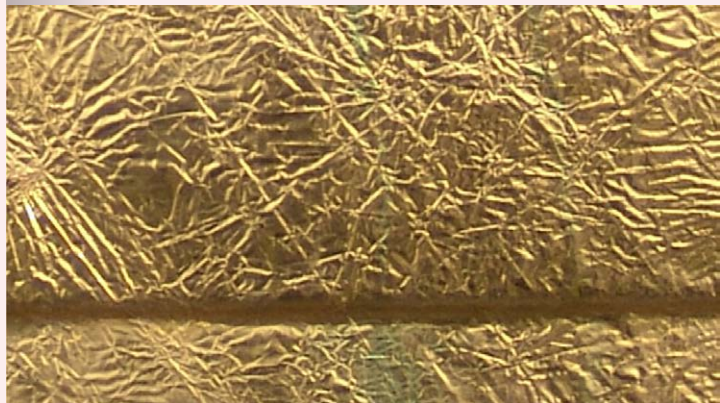
02 Verklebung von Alufolie auf leichtgebundener Vliessschicht über dichter CCD-Schicht

03 Verklebung von Alufolie auf leichtgebundener Gewebeschicht über dichter CCD-Schicht
(Die leichtgebundenen Schichten enthalten 30% Exsol 100-140°C und 70% CCD)

04 Beschichtung mit PU Coating ohne Alufolie auf eine leichtgebundene Vliessschicht

05 Verklebung von Polypropylenvlies direkt auf die dichte Cyclo-dodecanschicht ,

06 Verklebung von Baumwollnessel direkt auf die dichte Cyclo-dodecanschicht



Testverklebung

Applikationsmethoden und Verarbeitung

Trägerplatten

Als Trägerplatten für die CCD-Beschichtung wurden Faserzementplatten (Fermacel) in einer Stärke von 10mm verwendet. Die Platten haben ein gutes Saugvermögen, vergleichbar zu Kalkmörteln.

Der Aufbau der CCD-Beschichtung entspricht dem oben genannten Beispiel Bronnbach.

Platten mit der Grundbeschichtung ohne Armierung:

Direkt auf die Platte wurde in drei Lagen CCD-Schmelze (ca. 80°C) mit einem Zusatz von 10% Exxsol 100-140 aufgestrichen.

Platten mit zusätzlicher Vliesarmierung über der Grundbeschichtung:

Ein dünnes Polypropylenvlies wurde mit schwach gebundener Schmelze (Zusatz von 30% Exxsol 100-140) über die Grundbeschichtung geklebt.

Platten mit zusätzlicher Gazearmierung über der Grundbeschichtung:

Ein Baumwollgaze wurde mit schwach gebundener Schmelze (Zusatz von 30% Exxsol 100-140) über die Grundbeschichtung geklebt.

Beschichtung der Alu-Folie mit PU-Coating

Die Komponente A des PU-Coatings wurde mit Pigmenten angefärbt um eventuelle Rückstände auf dem Cyclododecan sichtbar zu machen.

Das PU-Coating wurde angemischt und mit einem Plastikspachtel dünn auf die zugeschnittene Alufolie aufgetragen. Beschichtungen von Vlies und Baumwollnessel wurden ebenfalls mit dem Plastikspachtel ausgeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Stoffe durchdrungen wurden. Auch der Auftrag von PU-Coating direkt auf die Platten wurde mit dem Plastikspachtel ausgeführt.



Testverklebung



Das PU-Coating läßt sich leicht abziehen

Ergebnisse der Versuchsreihe

Unmittelbar nach dem Abbinden des Klebers wurde eine erste Beurteilung vorgenommen.

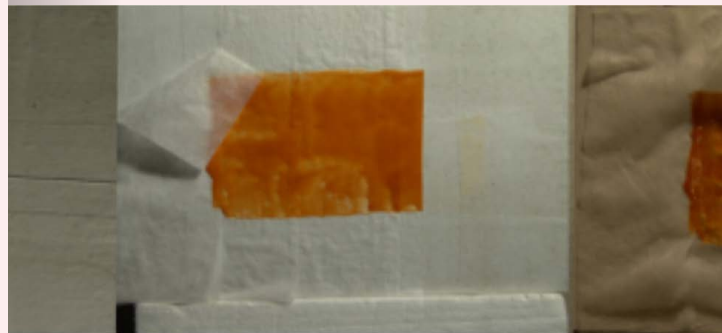
Nach einer temperaturabhängigen Aushärtezeit von mehreren Stunden konnten die Proben abgezogen werden. Von der dichten Grundbeschichtung lässt sich das Paket aus Aluminiumfolie und PU-Coating leicht abziehen, es bleiben jedoch kleine farbige Reste zurück. Von den leichtgebundenen Vlies- oder Gazearmierungen lässt sich das Aluminium nicht ganz so leicht abziehen, da das PU-Coating in die etwas poröse Cyclododecanschicht eindringt und sich dort verklammert. Es bleiben farbige Rückstände auf der Oberfläche. Zieht man jedoch die Vlies- oder Gazearmierungen ab so verbleibt die darunter liegende dichte Grundbeschichtung lupenrein, ohne jegliche Rückstände. Ob Gaze oder Vlies verwendet wurde machte keinen Unterschied. Nach dem Verdunsten des nicht abgedeckten Cyclododecans wurde eine weitere Beurteilung vorgenommen. Die Sublimation wurde durch erhöhte Temperatur in der Nähe der Heizung beschleunigt.

Beschichtungen ohne Alufolie

Alle PU-Beschichtungen, die nicht mit Alu-Folie abgedeckt waren haben sich nach wenigen Tagen vom CCD-Träger gelöst. Es hat sich deutlich gezeigt, dass die CCD-Beschichtung unter der PU-Schicht sublimieren konnte, dass also ein CCD-Dampf diese Beschichtung durchdringt. Genauso konnte beobachtet werden, dass die oben beschriebenen Reste von durchfärbtem PU abgefallen waren, oder sich leicht mit dem Staubsauger absaugen ließen.

Beschichtungen mit Alufolie

Nachdem das CCD in den nicht abgedeckten Flächen vollständig verschwunden war, konnte unter den Alubeklebungen keine Veränderung der ursprünglich vorhandenen CCD-Beschichtung festgestellt werden. Soweit erkennbar, hatte sich diese Abdeckung sehr gut bewährt.



Beschichtung ohne Alufolie



Beschichtung mit Alufolie

Weiterführende Versuche

Die beschriebene Versuchsreihe wurde mit einem sehr schnell abbindenden PU Material durchgeführt. In weiteren Versuchen mit einem langsamer reagierenden Typ wurden Ergebnisse erzielt, bei denen die Verarbeitung noch einfacher war.

Die Aluminiumfolien wurden mit eingefärbtem Material beschichtet, und der Beginn der Reaktion wurde abgewartet. Die Klebrigkeit für eine gut haftende Verbindung mit der CCD-Beschichtung hielt ab diesem Zeitpunkt für etwa 1 Stunde an. Die so erzielten Verklebungen ließen sich nach einem Tag alle ohne jeden Rückstand und mit geringerer Kraft abziehen.

Über die endgültigen Ergebnisse wird in Kürze berichtet.

CCD-Tuch als Schmelzkleber

In einem mit großflächigen Wandmalereien ausgestatteten Raum sollten Klimamessungen durchgeführt werden. Es war notwendig auch die Oberflächentemperaturen auf den bemalten Flächen zu messen.

Die Messfühler mussten direkt auf der Malschichtoberfläche festgeklebt werden. Als Klebemittel bot sich Cyclododecan aus bekannten Gründen an. Es gibt allerdings 2 Probleme die die Verwendung von Cyclododecan in diesem Falle erschwerten. Zum einen ist Cyclododecan für eine schnelle Verklebung, als Kontaktkleber, ungeeignet und zum anderen kleben die wenigsten Klebemittel auf CCD (dazu siehe steuerbare Kaschierung).

Um Cyclododecan dennoch für sofort haftende Verbindungen nutzen zu können wurden Klebestreifen entwickelt, die einfach aufzubügeln sind. Sie bestehen aus einem alukaschierten, mit Cyclododecanschmelze getränkten Vliestuch.

Für die Kaschierung wird Aluminium beschichtetes Papier verwendet, da es besser am CCD haftet als Aluminiumfolie.

Das so präparierte Tuch lässt sich in Stücke schneiden und mit einem Heizspachtel oder Bügeleisen auf die Wand aufbringen. Es empfiehlt sich ein Stück Hostaphanfolie während des Bügelns auf das Tuch zu legen und nach dem Festbügeln die CCD Rückstände von der Alufolie mechanisch abzunehmen.

Auf der Alufolie kann nun mit doppelseitigem Klebeband ein Stück dünnes Styropor als Trennschicht befestigt werden, auf welchem man dann feste Körper wie zum Beispiel das Messgerät, ebenfalls mit Doppelseitigem Klebeband, anbringen kann. Für die Messfühler kann das CCD-Tuch wie Klebeband verwendet werden (siehe Photo oben rechts).



Messfühler verklebt mit der Malschichtoberfläche



Messfühler verklebt mit der Malschichtoberfläche



Styropor als Trennschicht

Um die Geräte ohne Risiko wieder abzubauen und um die Dampfsperre über den CCD-Tüchern zu entfernen trennt man mit einem Sägeblatt in der Styroporschicht den befestigten Körper von dem CCD-Tuch. Die Styroporreste, das Klebeband und das mit Aluminium beschichtete Papier lassen sich leicht von dem mit Cyclododecan getränkten Tuch abziehen. Sobald das Cyclododecan der Luft ausgesetzt ist beginnt die Sublimation.

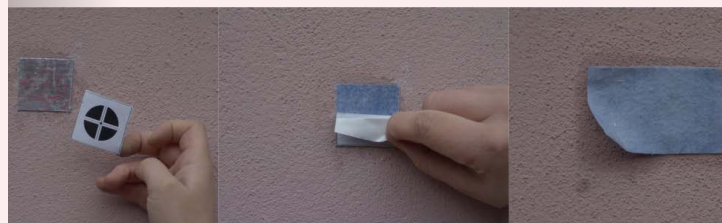
Nach einigen Wochen würde das Tuch von selber von der Wand fallen. Um den Prozess zu beschleunigen kann das Tuch mit Siedegrenzbenzin getränkt werden, es lässt sich dann nach kurzer Zeit leicht abziehen.

Das CCD-Tuch lässt sich auch als temporäres Klebeetikett verwenden, zum Beispiel um Putzfragmente provisorisch zu beschriften. Eine weitere Anwendung könnten die CCD-Tücher als aufbügelbare Messmarken, z.B. zur Erstellung von entzerrten Plänen, finden. Werden die Messpunkte derzeit doch häufig mit Klebstoffen befestigt die Jahre später noch die Fassaden historischer Gebäude verunzieren.

Für diese Anwendung hat das Cyclododecan den großen Vorteil, dass es auch auf sandenden, unebenen Untergründen hervorragend haftet.



Leicht abziehbar nach Tränkung mit Siedegrenzbenzin



CCD-Tuch als temporäres Klebeetikett

* hangleiter