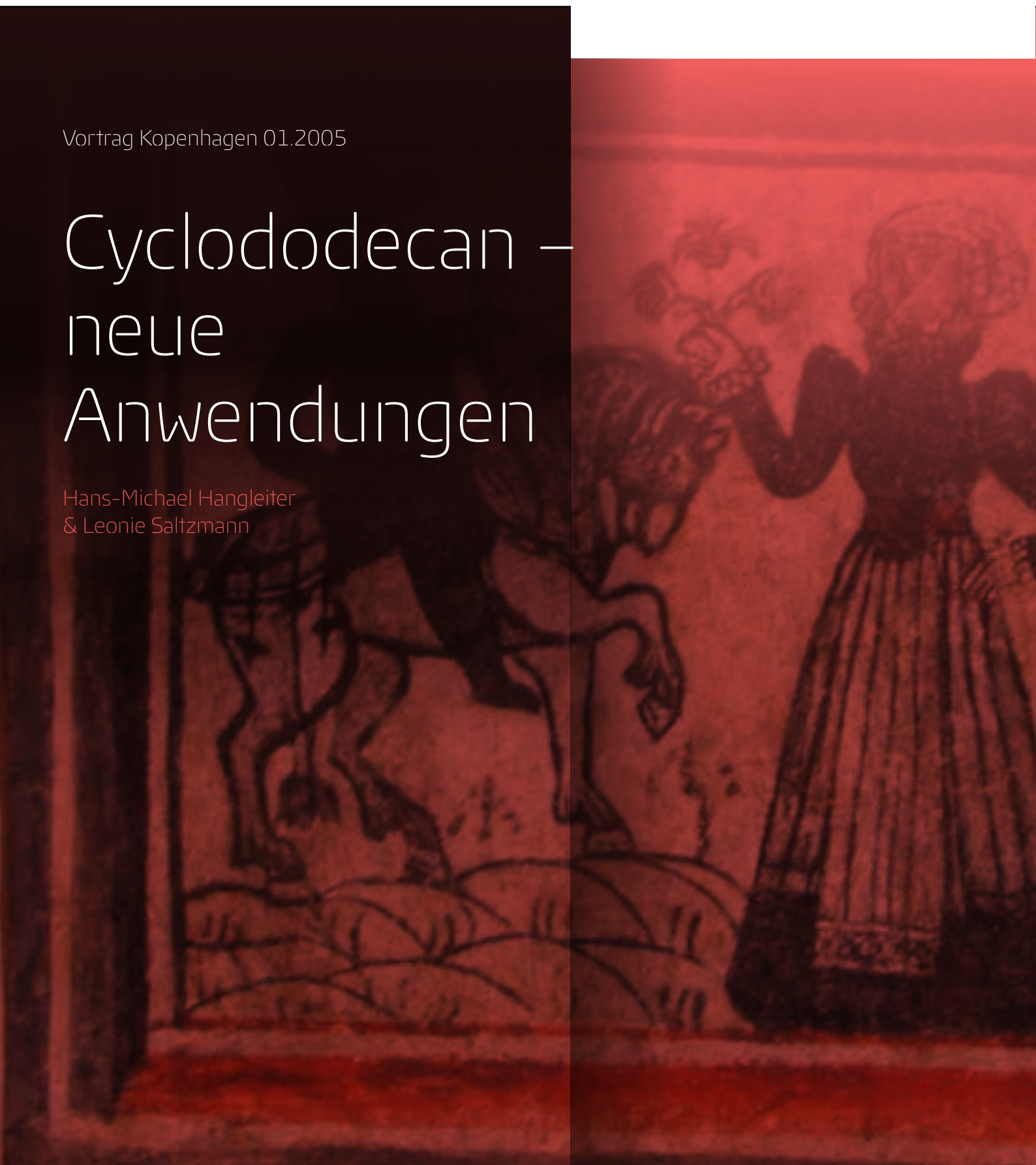


Vortrag Kopenhagen 01.2005

# Cyclododecan – neue Anwendungen

Hans-Michael Hangleiter  
& Leonie Saltzmann





# Formstabile Kaschierungen und Träger

## Haftvermittlungen

Die Beobachtung, dass mit einem zweikomponentigen PU-Schaum eine sehr gut haftende, stabile Verbindung hergestellt werden kann, wird von uns seit ein paar Jahren für Formstabile, absolut reversible Kaschierungen genutzt.

Die Haftzugfestigkeit einer CCD-Beschichtung konnte anschaulich an zwei Versuchsanordnungen gezeigt werden.

Vermittelt durch eine dichte CCD-Beschichtung sollte ein Pu-Schaum Block auf einen massiven gebrannten Ziegelstein gegossen werden. Die Festigkeit dieser Verbindung sollte anschließend getestet werden.

## Versuchsanordnung

**Ziegel 01** Um möglichst realistische Bedingungen zu schaffen wurde ein massiver Ziegelstein mit einem mehrlagigen Auftrag von CCD-Schmelze beschichtet.

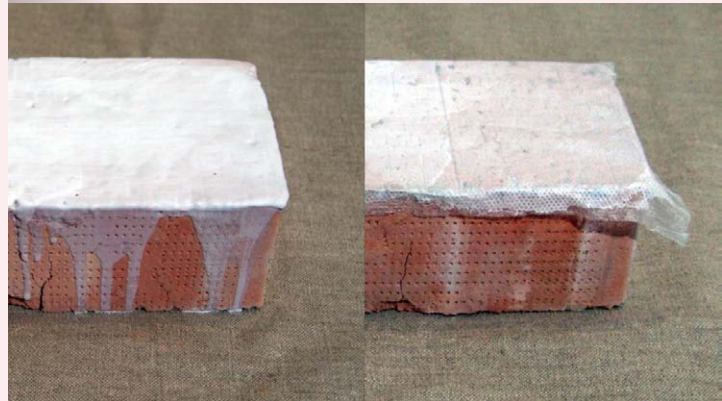
**Ziegel 02** Der zweite Ziegelstein erhielt zunächst einen einlagigen Auftrag von CCD-Schmelze, darüber wurde ein dünnes Polypropylenfließ mit der Schmelze aufkaschiert.

Die verwendete Schmelze enthielt an beiden Versuchsstücken 10% Siedegrenzbenzin

100-140°C. Nach der Beschichtung wurde eine Wartezeit von ca. 12 Std. eingehalten. Dies ist unbedingt erforderlich, damit das zugesetzte Lösungsmittel verdampft und die Beschichtung die optimale Festigkeit erreicht. Mit Hilfe einer Styroporform wurde der Pu-Block aufgeschäumt. Zur Aufhängung des Blocks wurde eine Drahtmatte als Armierung eingelegt.

**Ziegel 02** Prüfung der Tragfähigkeit an der Verklebung

Der Ziegel wurde am Pu-Block aufgehängt, so dass die CCD-Schicht mit dem vollen Gewicht des Ziegels belastet wurde (3,5kg). Schrittweise wurden weitere Ziegelsteine der selben Größe zusätzlich am ersten Ziegel befestigt. Insgesamt wurde mit 6 Ziegeln belastet. Ein Abriss in der Schicht ist nicht erfolgt. Die Verbindung wurde schließlich von Hand bis zum Abriss belastet. Eine messbare Belastung mit 21kg war noch weit von der Abrissgrenze entfernt.



Versuchsanordnung  
Ziegel 01, Ziegel 02



Beschichtung Ziegel 02 und Prüfung  
der Tragfähigkeit der Verklebung

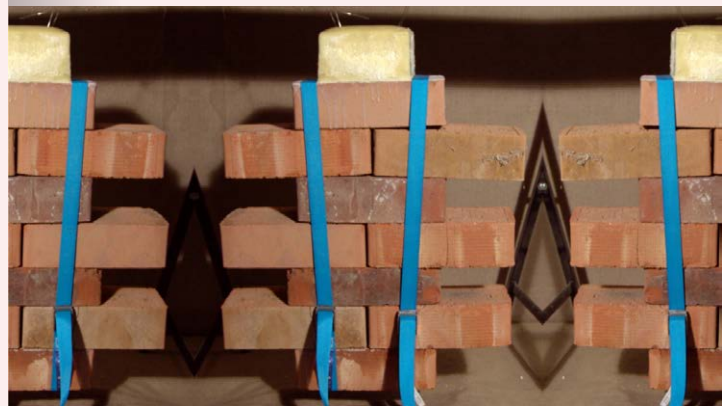
Eine Überprüfung der Verbindung ergab, dass keine Verklebung zwischen Ziegel und PU-Schaum stattgefunden hatte.

**Ziegel 01** Prüfung der Tragfähigkeit an der Verklebung

Der Ziegel wurde ebenfalls am Pu-Block aufgehängt, so dass die CCD-Schicht mit dem vollen Gewicht des Ziegels belastet wurde (3,5kg). Schrittweise wurden weitere Ziegelsteine der selben Größe zusätzlich am ersten Ziegel befestigt. Insgesamt wurde mit 12 Ziegeln belastet. Ein Abriss in der Schicht ist nicht erfolgt. Die Verbindung wurde schließlich von Hand weiterbelastet, ohne dass ein Abriss in der Schicht erfolgte. Schließlich ist der Draht der Armierungsmatte gebrochen. Eine messbare Belastung mit 42kg war noch weit von der Abrissgrenze entfernt.



Versuchsanordnung  
Ziegel 01, Ziegel 02



Beschichtung Ziegel 02 und Prüfung  
der Tragfähigkeit der Verklebung

# Gronau

Für die Abnahme eines figürlich bemalten Gefachs aus einem Fachwerkhaus war eine Methode zur Abnahme erforderlich, die für hochempfindliche, pudernde Malschichten und ein noch intaktes Oberflächenrelief eine geeignete Kaschierung der Vorderseite ermöglichte.

Für die bereits vor einigen Jahren ausgeführte Abnahme war der geplante Abriss des Gebäudes der entscheidende Grund.

Die Kombination einer formstabilen Sicherung der Malschichtseite mit einer CCD-Kaschierung erschien uns ein brauchbares Konzept.



## Konzept

**01** Um eine Verklebung zwischen den Kaschierungsschichten und den Holzbalken der Fachwerkwand zu vermeiden wurden die Balken mit einer Lehm-schlämme versehen.

**02** Während des Übertragungsvorgangs sollten die schwach gebundenen Malschichten sowie die Feinputzschicht des Lehmgefachs vorübergehend verfestigt werden. Dazu wurde die Vorderseite mit der Malerei mit einer gesättigten Lösung aus CCD in Siedegrenzbenzin 100-140°C eingelassen.

**03** Die Malschichtseite wurde mit einer ca. 80°C heißen Schmelze aus CCD und Baumwollgaze kaschiert. Der Schmelze wurden 10% Siedegrenzbenzin zugesetzt.

**04** Die armierte Kaschierung wurde mit einer weiteren Schicht aus CCD-Schmelze versehen. Anschließend wurde eine Wartezeit von ca. 12 Stunden eingehalten.

**05** Die Formstabilität der Kaschierung sollte durch den Verbund zwischen den CCD-Schichten und zwei verschiedenen PU-Schaum Lagen hergestellt werden.

Dazu wurde zunächst eine hölzerne Rahmenstruktur an die Balken geschraubt, die die Schalung für den Zwei-Komponenten-Schaum abstützen sollten.

**06** Die Schalung bestand aus PU-Platten in Streifen geschnitten und zu den Flanken hin mit Schaumgummi abgedichtet. Die über einander gelegten Streifen hatten eine kontrollierte, schrittweise Vorgehensweise beim Ausschäumen der Fläche bewirkt. So konnte die Temperatur bei der Reaktion der beiden Komponenten gut kontrolliert werden. Auch die perfekte Verfüllung konnte gut beobachtet werden.



Rahmenstruktur zum Abstützen der Balken



Schalung aus PU-Platten

Ein ganz entscheidender Grund für die Verwendung von elastischen Pu-Schaumstreifen für die Schalung ist der Ausgleich des Enddrucks bei der Aushärtung des Schaumes. Bei einer starren Schalung entsteht bereits bei der zweiten Füllung im Endstadium der Aushärtung des Schaums ein Druck, der mit einer durchgehenden Schalung diese ein Stück nach außen drücken würde. Dieser Bewegung würden auch die damit verbundenen Putz- und Malereischichten folgen und zu unbeabsichtigten Verformungen führen. Die in Streifen geschnittene Schalung nimmt diese Verformung leicht auf.

Die Abdichtung der Flanken mit Schaumgummi ist leicht auszuführen und verbindet sich hervorragend mit dem Hartschaum.

07 Nach Fertigstellung der Kaschierung auf der Vorderseite konnte die Gefachfüllung von den Rückseite her ausgebaut werden. Das bis auf den Lehm-Feinputz abgebaute Gefach konnte ohne ein Risiko herausgenommen werden.

08 Als neuer Träger wurde ebenfalls ein Zwei-Komponenten Hartschaum in einem Aluminiumrahmen gewählt. Um eine Berührung des Schaums mit der originalen Lehm-Feinputz Rückseite zu verhindern wurde eine Lehmschlämme als Zwischenschicht eingebaut.





09 Die Abnahme der Schaumkaschierung auf der Vorderseite erfolgte mechanisch. Zunächst wurden mit einer Säge die dicken Schichten entfernt. Dann wurde mit einem oszillierenden Fugenschneider so weit ausgedünnt, dass die verbliebene, nur noch 1 bis 2 mm starke Schicht mit Siedegrenzbenzin durchdrungen werden konnte,

Die weitere Freilegung bis auf die CCD-Schicht wurde dann mit dem Lösungsmittel durchgeführt.

10 Die Entfernung der verbliebenen CCD-Kaschierung wurde erheblich durch einen Heizlüfter beschleunigt.

## Weiterentwicklung

Die Ergebnisse dieser Arbeit waren so ermutigend, dass diese Vorgehensweise an weiteren Projekten, vor allem an Übertragungen von Wandmalerei angewandt wurden. Da die mechanische Entfernung der Kaschierungen jedoch mit Aufwand verbunden war, werden wir am Beispiel der Bergung von archäologischen Funden eine interessante Weiterentwicklung zeigen.



# 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.  $50\text{kg/m}^3$ . 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  $60^\circ\text{C}$ , 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 Wirrfasermatte 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 Kieselsäure-ester Motema 28 der Fa. Interacryl verfestigt.

## Lösen der Verbindung

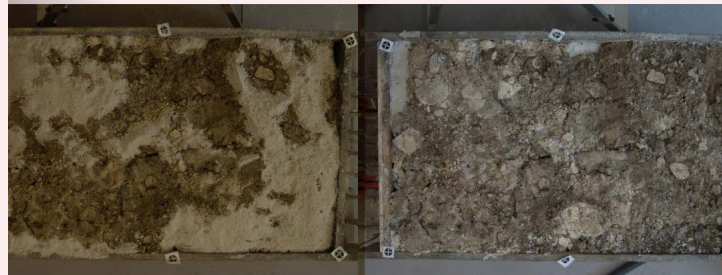
### Vorbereitung

#### 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 Unterschnittkissen 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 Kanhölzern 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.

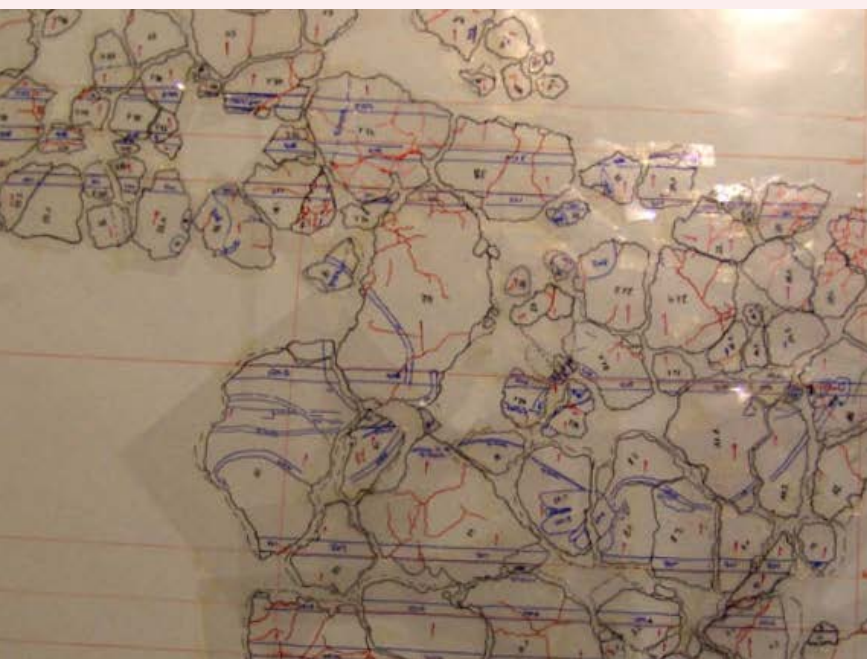
Mit Siedegrenzbenzin wird großzügig bis über die Konterform aufgefüllt. Das Stück bleibt mindestens 10 Stunden lang im Bad liegen, damit sich alle Reste der CCD-Schichten auflösen können. Vor dem Abheben der Beschwerung muss das Lösungsmittel aus der Wanne abgelassen werden!

### 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. 100m<sup>2</sup> 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 Kaschierungspaket 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 hochdispenser 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 ,

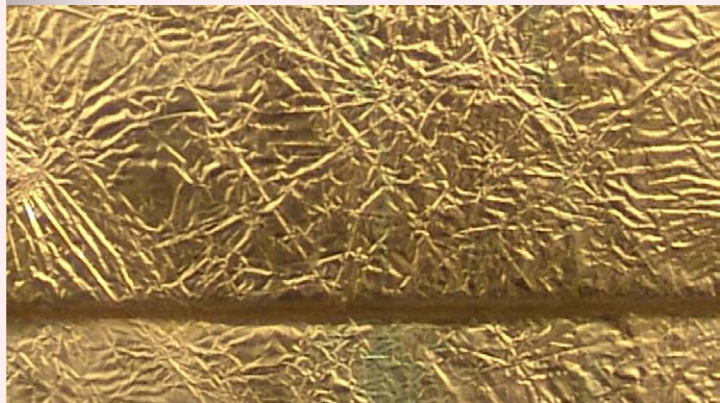
02 Verklebung von Alufolie auf leichtgebundener Vliesschicht über dichter CCD-Schicht

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 Vliesschicht

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.

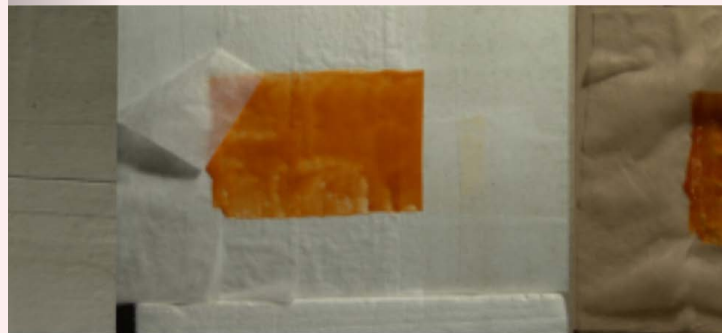
Nach einer temperaturabhängigen Aushärtezeit von mehreren Stunden konnten die Proben abgezogen werden. Von der dichten Grundbeschichtung lässt sich das Paket aus Aluminiumfolie und PU-Coating leicht abziehen, es bleiben jedoch kleine farbige Reste zurück. Von den leichtgebundenen Vlies- oder Gazearmierungen 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.

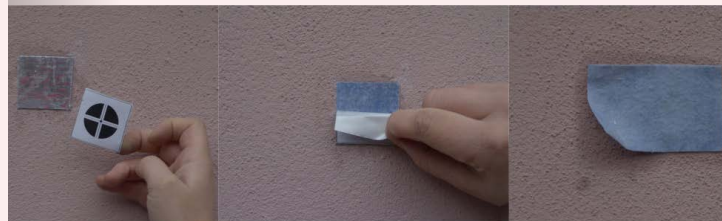
Nach einigen Wochen würde das Tuch von selber von der Wand fallen. Um den Prozess zu beschleunigen kann das Tuch mit Siedegrenzbenzin getränkt werden, es lässt sich dann nach kurzer Zeit leicht abziehen.

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