

ZEITSCHRIFT FÜR KUNSTTECHNOLOGIE UND KONSERVIERUNG

Journal for Art Technology and Conservation

Herausgeber / Editors:

Anne Bacon, *Northumbria University, Newcastle upon Tyne*
Dr. Wolfram Gabler, *Berlin*
Helmut F. Reichwald, *Stuttgart*
Prof. Dipl.-Rest. Volker Schaible, *Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart*
Prof. Dipl.-Rest. Dr. Ulrich Schießl, *Hochschule für Bildende Künste, Dresden*

Wissenschaftliche Berater / Editorial Advisors:

Mary Brooks, *University of Southampton, Hampshire*
Sharon Cather, *Courtauld Institute of Art, University of London*
Prof. Dr. habil. Wiestaw Domasłowski, *Nicholas Copernicus University, Torun*
Prof. Dr. Christoph Herm, *Hochschule für Bildende Künste, Dresden*
Prof. Ijsbrand Hummelen, *Instituut Collectie Nederland, Amsterdam*
Dr. René Larsen, *The Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Conservation, Copenhagen*
Ann Massing, *Hamilton Kerr Institute, University of Cambridge*
Alan Phenix, *Northumbria University, Newcastle upon Tyne*
Kirsten Trampedach, *The National Museum of Denmark, Lyngby*
Prof. Dr. phil. nat. Stefan Wülfert, *Hochschule der Künste, Bern*

In Zusammenarbeit mit / in Cooperation with:

Schweizerischer Verband für Konservierung und Restaurierung /
Association Suisse de Conservation et Restauration / Associazione
Svizzera di Conservazione e Restauro

Erscheinungsweise: 2 Hefte pro Jahr (Sommer und Winter).
Jahresabonnement: € 59; Einzelheft € 35 (jeweils zuzüglich Versandkosten)
Abonnements können direkt beim Verlag bestellt werden. Abbestellungen müssen
mindestens drei Monate vor Jahresende (Kalenderjahr) schriftlich erfolgen.

Anschrift des Verlages:

Wernersche Verlagsgesellschaft mbH
Liebfrauenring 17
D-67547 Worms am Rhein
Telefon +49 (0)6241-43574
Fax +49 (0)6241-45564
e-mail: verlag@wernersche.de
www.wernersche.com

© 2008 für alle Beiträge bei der Wernerschen Verlagsgesellschaft mbH.

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, fotomechanische Vervielfältigung sowie alle sonstigen Wiedergaben
(auch auszugsweise) nur mit vorheriger Genehmigung des Verlages. Unberechtigte
Vervielfältigung (z.B. Fotokopieren) wird strafrechtlich verfolgt.

Gesamtherstellung:

Wernersche Verlagsgesellschaft mbH, Worms
Druck: Nino Druck, Neustadt/Weinstraße
ISSN 0931-7198
Printed in Germany

Redaktion:

Dr. Ferdinand Werner (Verlag)
e-mail: wernerworms@gmx.de

Manuskripte und Anfragen sind entweder direkt an die Herausgeber oder an den
Verlag zu richten. Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos übernehmen
Verlag und Redaktion keine Haftung. Verlag und Redaktion behalten sich vor,
Leserzuschriften zu veröffentlichen, gegebenenfalls auch in verkürzter, den Inhalt
aber nicht entstellender Form. Ein Anspruch auf Veröffentlichung von Zuschriften
jedweder Art besteht nicht. Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt sind die
Herausgeber. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die
Meinung der Herausgeber und der Redaktion wieder. Die vollständigen Adressen der
Herausgeber und wissenschaftlicher Berater sind am Ende des Bandes wiedergege-
ben.

Inhalt

Internationales Symposium im Wallraf-Richartz-Museum & Fondation Corboud Köln
Neueste Forschungen zur Maltechnik des Impressionismus und Postimpressionismus

Ella Hendriks

Fluent impasto in Van Gogh's Paris paintings (1886-1888): a strategic effect? 221

Ann Hoenigswald

New Painting/New Surfaces: Nineteenth-Century Matte Paints. 232

Matthias Krüger

Porzellan, Kautschuk und Konfitüre – Materialvergleiche in der französischen Salonkritik zur Zeit des Impressionismus 241

Katrin Menz

Theorie und Praxis des Neoimpressionismus am Beispiel Paul Signacs 251

Caroline von Saint-George, Iris Schaefer

Bildplanung und Unterzeichnung von Gemälden der Impressionisten und Postimpressionisten aus der Sammlung des Wallraf-Richartz-Museum & Fondation Corboud. . 261

Katja Lewerentz

Gustave Caillebottes Maltechnik und die Praxis der Freilichtmalerei. 274

Clotilde Roth-Meyer

Rolle und Einfluss der Pariser „Marchands de couleur“ im 19. Jahrhundert 287

Aviva Burnstock

Impressionist paintings in the Courtauld Gallery: Making inferences from recent technical studies 292

Jeanne-Marie David

Une étude de la signature de Claude Monet 300

Katja Lewerentz, Iris Schaefer, Caroline von Saint-George und Hans Portsteffen

Die Online-Publikation des Kölner Forschungsprojektes „Maltechnik des Impressionismus und Postimpressionismus“ 308

Pascal Labreuche

The industrialisation of artists' prepared canvas in nineteenth century Paris. – Canvas and stretchers: technical developments up to the period of Impressionism. 316

Eva Mendgen

Impressionisten: Konzepte der Bildpräsentation und Restaurierungsansätze. 329

Anthea Callen

A Touch of Colour: The aesthetics of Impressionist *facture* and paint application techniques. 335

Aufsätze

M. Kilchhofer und N.C. Scherrer

Konservierung von Malereien auf Lehmputzen 343

Reni Mothes, Winfried Heiber

Der Einsatz von Fungiziddämpfen während einer Klimazeltbehandlung von Leinwandgemälden – Möglichkeiten zur Verhinderung eines Schimmelpilzbefalls 355

Annette Lill-Rastern, Ursula Baumer

Holzmustertafeln der Wiener Werkstätte – Holzlacke, Farbeffekte und deren Untersuchung. 363

Christa Haiml and Bradford Epley

David Novros, 6:30. – Creating a second version with the artist 375

Joris Dik, Arie Wallert, Geert van der Snickt and Koen Janssens

Silverpoint underdrawing? – A Note on its Visualization with Synchrotron Radiation based X-ray Fluorescence Analysis. 381

Nachtrag aus Heft 1/2008 385

Adressen der Herausgeber der Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 385

Adressen der Autoren dieses Heftes. 386

Hintergrund des Forschungsprojektes bildet die Zusammenarbeit der Hochschule der Künste Bern mit der Isabel und Balz Baechi Stiftung in Zollikon, Schweiz. Zweck der Stiftung ist die Erhaltung von historischen Wandmalereien in Tibet. Bei der konkreten Erarbeitung einer Strategie zur Restaurierung von Wandmalereien im Weissen Tempel von Tholing, Westt Tibet, stellte sich die Frage nach der Wahl eines möglichen Konservierungsmittels zur Festigung von schwach gebundenen Malschichten. Die Malereien sind gegen Ende des 15. Jahrhunderts mit dem natürlichen und diffusionsoffenen Bindemittel Glutinleim auf einen Lehmputz-Untergrund gemalt und noch nie grossflächig restauratorisch bearbeitet worden [Phuntsok 2001; Kilchhofer 2004] (Abb. 1-3).

Der Baustoff Lehm spielt in der westlichen Kunsttechnologie als Bildträger für historische Wandmalereien eine unbedeutende Rolle, weshalb die Konservierung von Malereien auf Lehmuntergründen ein kaum erforschtes Gebiet darstellt. In den bekannten, dokumentierten Restaurierungsprojekten mit gleicher Problematik, erfolgte immer eine Adaption von den in der westlichen Welt üblichen Konservierungsmaterialien und -methoden für Wandmalerei [Eltgen 2001; Beseler 2005]. Wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema fehlen fast vollständig. Im Bereich der Restaurierung und Konservierung von Wandmalereien auf Lehmputz sind bis heute keine materialgerechten und konservierungstechnisch sinnvollen Restaurierungskonzepte entwickelt worden.

Grundlagenforschung zu Lehm als Baumaterial wird in Europa seit den 1980er Jahren im Zuge der Wiederentdeckung von Lehm als ökologischer und giftfreier Baustoff betrieben [Minke 1987; Minke 2004]. Die Ergebnisse dieser Forschung bildeten für die Bauindustrie die Grundlagen zu Regelwerken im Umgang mit Lehm als Baumaterial [SIA Lehmbauregeln 1994; Dachverband Lehm 2002]. Für die Konservierung von Malereien auf Lehmputzen haben vor allem die Erkenntnisse dieser Grundlagenforschung betreffend des Oberflächenschutzes von Bauteilen aus Lehm Bedeutung. Hierbei gilt der Grundsatz, dass Oberflächenbeschichtungen sich den physikalisch bedingten

Ausdehnungen von Lehm durch Aufnahme von Feuchtigkeit anpassen muss und dabei die Feuchteregulierung der Lehmteile nicht behindern, d.h. nicht diffusionsdicht sein dürfen [SIA Lehmbauregeln 1994, S. 61].

Während einer Exkursion nach Tibet im Jahr 2004 [Kilchhofer 2004] wurde festgestellt, dass die Oberflächen vieler historischer Wandmalereien auf Lehmputzen in letzter Zeit mit dicken Kunstharz-Anstrichen behandelt worden sind (Abb. 4). Die Glanzbildung und die mit der Zeit einsetzende Vergilbung dieser oft minderwertigen und nicht alterungsstabilen Produkte beeinträchtigt die Ästhetik der ursprünglich matten Malereien in einem starken Ausmass. Eltgen [2001] beobachtete auf Wandmalereien in Lhasa ebenfalls vergilbte, dicke Überzüge aus Lack, beschrieb diese jedoch als originale Bestandteile der Maltechnik. Untersuchungen von Wandmalereien in Westt Tibet, welche nachweislich noch nie überarbeitet worden sind, waren bis 2007 alle matt und nie mit einem Lacküberzug behandelt [Kilchhofer 2004]. Portsteffen [1987] untersuchte historische Wandmalereien auf Lehmputzen in der traditionell eng zum tibetischen Kulturraum gehörigen indischen Provinz Ladakh. Der kunsttechnologische Aufbau dieser Wandmalereien ist identisch mit demjenigen der historischen Wandmalereien in Tibet. In Ladakh wurde bei keiner nachweislich nie restaurierten Wandmalerei ein lackartiger Überzug dokumentiert.

Auch die tibetische traditionelle Thangka Malerei auf Textil wird nicht gefirnisst [Jackson 1984]. Glänzende Lackanstriche sind mit grosser Wahrscheinlichkeit nie originale Bestandteile von historischen Wandmalereien im tibetischen Kulturraum gewesen, sondern sind auf konservatorische Eingriffe in der jüngsten Vergangenheit zurückzuführen. Diese Schutzanstriche wurden wahrscheinlich grösstenteils mit Kunstharzen ausgeführt.

Feuchteregulierung der Wandmalereien und die elastische Anpassungsfähigkeit der spannungsarmen originalen Glutinleim-Farbschichten an den hygroskopischen Lehmuntergrund werden durch harte und dichte Kunstharz-Anstriche stark vermindert. Dies kann erfahrungsgemäss zu Spannungen und dadurch bedingten Abplatzungen von Farb-



Abb. 1 Der Weisse Tempel in Tholing, Tibet.



Abb. 2 Wandmalereien aus dem späten 15. Jahrhundert im Weissen Tempel, Tholing.

schichten an der Oberfläche führen. Aus konservatorischer Sicht wird darum vermutet, dass Kunstharz-Behandlungen Malereien auf Lehmputzen langfristig substanziell gefährden.

Ziel des Projektes war es die Verträglichkeit von verschiedenen für die Konservierung in Frage kommenden Bindemitteln mit dem Lehmuntergrund systematisch zu untersuchen und so geeignete Konservierungsverfahren zu entwickeln. Zwei langzeitstabile, elastische Kunstharze, das Polymethylmetacrylat Paraloid B72 und das Reinacrylat Acronal D500, ein Kieselsäureester-Produkt, Remmers Funcosil 300 [Richter 2004], ein in der Restaurierung angewandtes Cellulosederivat Klucel H [Spiek 1999], das zur Festigung von matten Malereien geeignete Kohlehydrat Funori, zwei proteinische Bindemittel, technische Gelatine und Störleim [Michel et al. 2002], wurden auf Lehmputz-Probekörpern auf folgende Eigenschaften hin untersucht:

- Festigungseigenschaften von schwach gebundenen Malschichten auf Lehmputzen bei 3 unterschiedlichen Konzentrationen.
- Materialkompatibilität, optische Veränderungen und simuliertes Langzeitverhalten auf künstlich bewitterten Lehmputz-Proben.

Die aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse sollten zum einen die vermutete Materialinkompatibili-



Abb. 3 Detail aus einer Wandmalerei im Weissen Tempel: Abblätternde und schwach gebundene Malschichten.



Abb. 4 Russgeschwärzte und mit Kunstharz behandelte Wandmalerei. Pfeile weisen auf Rinnspuren eines vergilbten Kunstharzes hin. Detail aus dem Tara Tempel in Tsaparang, Westtibet.

tät von Kunstharzen mit Lehmuntergründen bestätigen und damit Indizien für die langfristige Schädigung der mit Kunstharz behandelten Malereien in Tibet erbringen. Zum anderen sollten alternative Konservierungsmittel hinsichtlich ihrer nachhaltigen Anwendbarkeit auf Lehmputzen untersucht werden und damit Grundlagen für Konservierungsstrategien für konkrete Restaurierungsprojekte in Tibet durch die Isabel und Balz Baechi Stiftung bilden.

Materialien und Methoden

Lehm ist ein heterogener Baustoff, welcher meist lokal abgebaut und verbaut wird. Es handelt sich somit nicht um einen genormten Baustoff. Für die Untersuchungen wurden industriell gefertigte Lehmputzplatten von Casadobe als Untergrund verwendet (Crea-Lehm, abgemagert mit Chinaschilf). Der Malschichtaufbau wurde analog zur tibetischen Kunsttechnologie reproduziert: Eine Grundierung mit einer Mischung aus 7%igem Hautleim und weisser Kaolin-Tonerde im Gewichtsverhältnis von 6:10. Nach vollständiger Trocknung wurden rote Eisenoxidpigmente in Wasser aufgesprüht, um eine bindemittelarme, pudernde Malschicht zu simulieren. Die Probeflächen wurden aufgeteilt in Referenzfläche, 1x, 2x und 3x gefestigt. Jeder Probenatz wurde doppelt hergestellt. 7 Bindemittel (Tab. 1) wurden auf ihre Eignung untersucht, d.h. 14 Probekörper (Grösse A4) mit Malschicht, und jede Platte mit Feldern in 3 Bindemittelkonzentration (1-3x gefestigt).

Mittels Fotografie und Colorimetrie wurde die optische Veränderung durch die Festigungsmittel dokumentiert. Mit dem SpektralcOLORIMETER Minolta CM-2022 wurde der Farbwert in L^*a^*b bestimmt und die Veränderung durch

den Bindemittelintrag relativ zur ungefestigten Referenz in ΔE gemäss EN20105-A03 ausgewertet und anhand von Tab. 2 klassifiziert.

Die Beurteilung der Festigungswirkung erfolgte mit dem Fingerabrieb-Test (smudge test), wie er in der Druck- und Papierbeurteilung standardmässig eingesetzt wird. Mit einfachen Mitteln liefert dieser Test eine praxisnahe und durchaus differenzierbare Aussage zur Konsolidierung pudernder Malschichten auf Lehm. Zur Objektivierung des Tests wurde dieser von 2 Personen an jeweils 2 Proben durchgeführt. Eine Klassifizierung der Schmierresistenz, respektive der Festigungswirkung, erfolgte in Anlehnung an DIN 54002 zur Farbechtheit von Pigmenten (Tab. 3). Dieser Abriebtest wurde vor und nach der künstlichen Bewitterung durchgeführt, um auch Aussagen bezüglich dem Abbau der Bindemittel durch klimatisch beschleunigte Alterung machen zu können.

Die künstliche Bewitterung der Probekörper wurde in einer Klimakammer (Fa. Weiss Technik, WK11/1500 -40) an der Berner Fachhochschule für Architektur, Holz und Bau AHB, Fachbereich Holztechnik, in Biel durchgeführt. Die Proben wurden über einen Zeitraum von 34 Tagen einem kontinuierlichen Klimazyklus ausgesetzt (Tab. 4), in Anlehnung an Lanas et al. [2005]. Die Alterung wurde ohne Beheizung und Licht durchgeführt, was einem fensterlosen, unbeheizten Innenraum in 4000m Höhe mit kontinentalem Klima gerecht werden soll.

Bindemittel	Klassifizierung	Lösungsmittel	Konzentration	Auftrag	Herkunft
Paraloid B72	Polymethylmetacrylat	Toluol	10%	Pinsel	Kremer Pigmente
Acronal 500D	Acrylsäureestercopolymerisat	dest. Wasser	1:10	gesprüht	Kremer Pigmente
Klucel H	Hydroxypropylcellulose	Isopropanol	1%	Pinsel	Kremer Pigmente
Tech. Gelatine (Graupen)	Glutinleim	Dest.Wasser, in Wasserbad auf ca. 40°C erwärmt	5%	gesprüht	Kremer Pigmente
Störleim	Glutinleim	Dest.Wasser, in Wasserbad auf ca. 40°C erwärmt	5%	gesprüht	Kremer Pigmente
Funcosil 300	Kieselsäureester	-	unverdünnt	gesprüht	Remmers AG
Funori	Polysaccharid	Dest. Wasser, in Wasserbad auf ca. 40°C erwärmt	1%, 2%	gesprüht	Kremer Pigmente

Tab. 1 Auflistung der verwendeten Bindemittel, Konzentrationen und Applikationsart.

Echtheitszahlen	ΔE - Farbabstände	Toleranz	Farbänderung	Echtheit
5	0	0.2	keine	sehr gut
(4-5)	2.2	± 0.3	Spur	gut
4	4.3	± 0.3		
(3-4)	6.0	± 0.4	etwas	ziemlich gut
3	8.5	± 0.5		
(2-3)	12.0	± 0.7		
2	16.9	± 1.0	deutlich	mässig
(1-2)	24.0	± 1.5	stark	schlecht
1	34.1	± 2.0		

Tab. 2 Einstufung von Farbabständen nach EN 20105-A03.

Erste Beobachtungen wurden direkt nach Entfernung aus einem Frost-Zyklus in einem Raum mit Normklima (23°C, 50% rF) notiert und mikroskopisch dokumentiert (Leica Apo Zoom Z16). Von besonderem Interesse war die Beobachtung von allfälliger Kondenswasserbildung auf gefestigten Oberflächen.

Parallel zur Probenserie mit maltechnischem Aufbau, lief eine Serie von Probelplatten mit Bindemittelanstrichen direkt auf den Lehmuntergrund, welche sich jedoch als wenig aufschlussreich erwies, da ohne Grundierung auf stark saugendem Lehmgrund keine Filmbildung stattfand und die Oberfläche ohnehin zu heterogen war.

Für die Prüfung den Einfluss der Bindemittelfilme auf die Wasserdampfdiffusionseigenschaften gemäss DIN 52615 wurden eigens aus rekonstituierten Casadobe Lehmplatten Prüfkörper mit 5cm Radius und 2.5cm Dicke hergestellt. Die Applikation der Bindemittel direkt auf die Oberfläche ohne Mahlschicht erwies sich auch hier als wenig aufschlussreich. Erst mit 3 Anstrichen, was einer Überfestigung entspricht, konnte eine signifikante Abweichung zur Referenz bemerkt werden.

Resultate und Diskussion

Ziel der Untersuchungen war es die 7 Bindemittel aus 5 Bindemittelklassen im Bezug auf optische Veränderungen, Festigungswirkung, Materialkompatibilität und Alterungsbeständigkeit (basierend auf künstlicher Frost-Tau Bewitterung) miteinander zu vergleichen und bessere Alternativen zur aktuellen lokalen restauratorischen Praxis (Verwendung von qualitativ schlechten Kunstharzen) zu eruieren. Die Interpretationen sollten auf systematischen und reproduzierbaren Untersuchungen basieren. In der Folge werden

Stufe	Echtheit /Festigung	Farbänderung /Ausschmieren
5	sehr gut	kein
4	gut	Spur
3	genügend	etwas
2	ungenügend	deutlich
1	schlecht	stark

Tab. 3 Klassifizierung der Festigungswirkung in Anlehnung an DIN 54002.

Zyklus 24h	Temp. °C	% rF	t (min)
Abs. 1	35	30	160
Abs. 2	12	60	160
Abs. 3	-5	0	160
Abs. 4	12	60	160
Abs. 5	35	30	140
Abs. 6	12	80	160
Abs. 7	35	30	140
Abs. 8	-5	0	160

Tab. 4 Klimawerte der gefahrenen Frost-Tau-Zyklen.

sequentiell die Resultate der einzelnen Untersuchungen präsentiert und diskutiert.

Optische Veränderung

Der optische Eindruck soll dem unveränderten Original dieser matten Malereien möglichst nahe kommen. Glanzbildung, Verdunkelung, Flecken- und Randbildung sind Phänomene, welche nicht toleriert werden können. Wichtig war, die Beobachtungen sowohl vor wie auch nach der klimatischen Alterung fotografisch zu festzuhalten.

Paraloid B72 führte in geringer Konzentration auf den gefestigten Malschichten zu schwacher Rand- und Fleckenbildung. Mittlere und hohe Konzentrationen des Kunstharzes führten zu Verdunkelung mit ausgeprägter Fleckenbildung (Abb. 5). Eine künstliche Bewitterung bewirkte eine geringe Zunahme der Verfleckung.

Acronal 500D bewirkte als Festigungsmittel schon in geringer Konzentration eine gleichmässige Verdunkelung der matten Farbschichten einhergehend mit Glanzbildung parallel zur Konzentration. Nach der künstlichen Bewitterung war im Gegensatz zu den unbewitterten Proben schon mit geringen Konzentrationen eine Fleckenbildungen zu beobachten (Abb. 6).

Klucel H führte bei den unbewitterten Proben auch mit hohen Konzentrationen nur zu sehr geringen optischen Veränderungen. Die künstliche Bewitterung bewirkte bei



Abb. 5 Paraloid B72, vor Bewitterung. Auf der unteren Probenhälfte ist die Rand- und Fleckenbildung zu beachten, welche mit zunehmender Konzentration intensiviert (von rechts nach links).

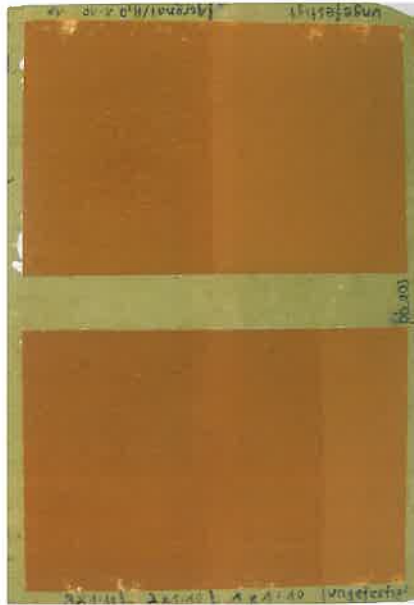


Abb. 6 Acronal 500D, bewittert. Auf der linken Hälfte des oberen Farbfeldes sind die nach der Bewitterung entstandenen Flecken zu sehen.

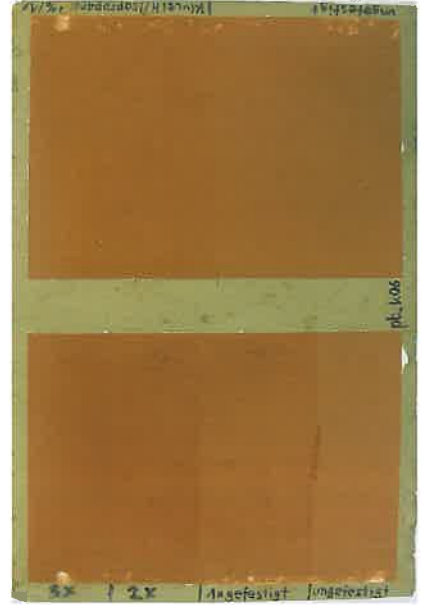


Abb. 7 Klucel H, bewittert. Zu beachten sind Rand- und Fleckenbildung.

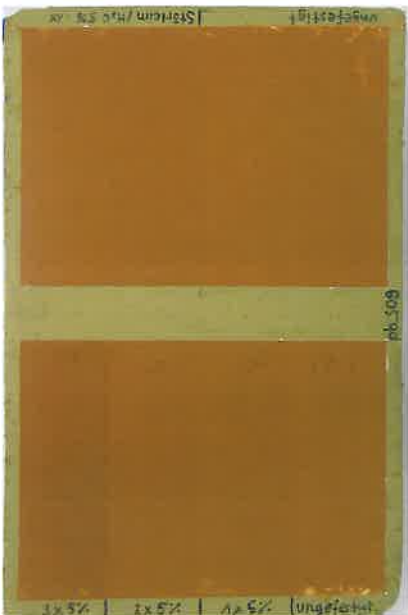


Abb. 8 Störleim, bewittert. Als Vergleich zu Abb. 5-7 für ein gutes Resultat.

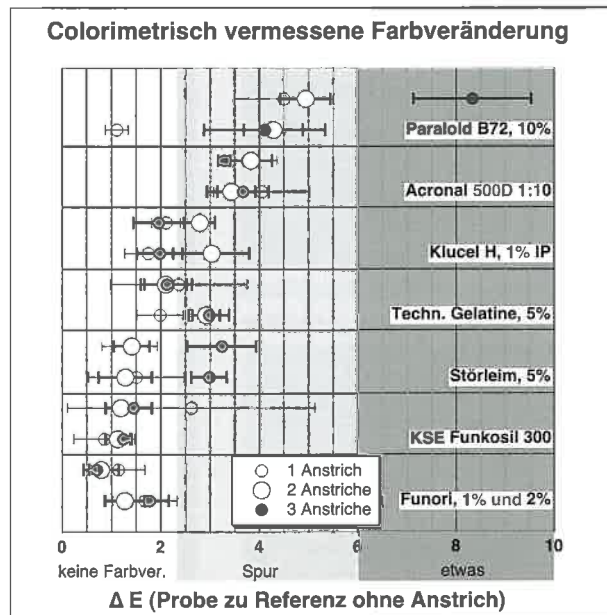


Abb. 9 Resultate der Messung der Farbveränderung mit dem SpektralcOLORIMETER Minolta CM-2022. Als Praxis relevant sind die Werte für 2 Anstriche zu beachten.

Klucel jedoch fleckige Verdunkelung mit Randbildung, welche auf lokale Anlösungen durch Kondenswasserbildung zurückzuführen war (Abb. 7).

Gelatine und Störleim (Abb. 8), zwei proteinische Bindemittel, führten in niedrigen bis mittleren Konzentrationen nur zu geringen optischen Veränderungen und keiner Glanzbildung. In hohen Konzentrationen bewirkten beide Bindemittel eine leichte Verdunkelung und Glanzbildung. Eine künstliche Bewitterung führte bei beiden Bindemitteln zu keinen weiteren optischen Veränderungen.

Funksil 300, ein Kieselsäureester Produkt, bewirkt sowohl auf unbewitterten wie bewitterten Proben keine bis sehr geringe optische Veränderung.

Funori führte auch mit starken Konzentrationen nur zu sehr geringen optischen Veränderungen. Eine Bewitterung bewirkte mit diesen Konzentrationen keine weiteren optischen Veränderungen. Erst eine Überfestigung mit sehr hohen Konzentrationen führte zu einer Verdunkelung.

Colorimetrie

Colorimetrie objektiviert farbliche Veränderungen mit einem messbaren Wert, ΔE . ΔE -Werte stehen in Relation zur ungefestigten Referenz. Gemäss EN 20105-A03 sind farbliche Änderungen ab $\Delta E = 2.2$ als „Spur“ sichtbar (Abb. 9). Für die Anwendung sind 2 Anstriche realistisch, da ein Anstrich zu wenig festigt und 3 Anstriche tendenziell eine Überfestigung mit verschiedenen Nachteilen in der Anwendung (Blasenbildung, Glanzbildung, u.a.) verursachen. Zu beachten sind die im Vergleich höchsten Veränderungen bei den miteinbezogenen Kunstharzen Paraloid B72 und Acronal 500. Störleim weist ebenfalls sichtbare Veränderung bei zu hoher Konzentration (3 Anstriche) auf. Klucel, Gelatine, Störleim, Fungosil und Funori bewirken bei einem, zwei und drei Anstrichen „keine“ bis eine „Spur“ Farbveränderung. Alle untersuchten Konservierungsmittel haben auf den farbigen Lehmputzproben keine Farbveränderung stärker als „etwas“ aufgezeigt. Generell sind die messbaren Farbveränderungen abgesehen von den Kunstharzen gering bis vernachlässigbar.

Die Kunstharze Paraloid B72 und Acronal 500D erfüllen aufgrund der dokumentierten farblichen Veränderungen auf matten Malschichten die restauratorischen Kriterien nach einer möglichst geringen farblichen Veränderung durch eine konservatorische Massnahme nicht. Klucel H erweist sich nach einer künstliche Bewitterung als nicht alterungsbeständig und wird als mögliches Konservierungsmittel für matte Malereien auf Lehmputzen ausgeschlossen. Die dokumentierte schlechte Langzeitstabilität von Klucel H deckt sich mit den Untersuchungen von Michel [2001] und Feller [1990]. Gelatine und Störleim haben mit geringen bis mittleren Konzentrationen auch nach der künstlichen Bewitterung gute optische Eigenschaften. Funori und Fungosil 300 zeigen auf matten Malereien die geringsten optischen Veränderungen. Die günstigen optischen Eigenschaften von Funori als Festigungsmittel für pudernde Malschichten hatten schon Michel et al. [2001] dokumentiert.

Klimatische Alterung

Frost-Tau-Zyklen simulieren Schwankungen von hohen Temperaturdifferenzen, wie sie auf 4000m ü M mit kontinentalem Klima zu erwarten sind. Dabei kann eine Unterschreitung der Taupunkttemperatur zu Kondenswasserbildung auf abgedichteten Oberflächen führen. Solche temporäre Wasseransammlungen an der Oberfläche sind problematisch bis fatal für die Malerei. Im Weiteren spielen ungleiche Elastizitätsmodule eine entscheidende Rolle für die Schadensbildung. Die beschriebenen Schadensphänomene und die Interpretation der Beständigkeit beziehen sich hier ausschliesslich auf diese künstlich beschleunigte Alterung.

Der Vergleich mittels Stereomikroskopie erfolgte aufgrund beobachteter Kriterien:

- Farbliche Veränderung, Fleckenbildung,
- Rissbildung, Abplatzungen,

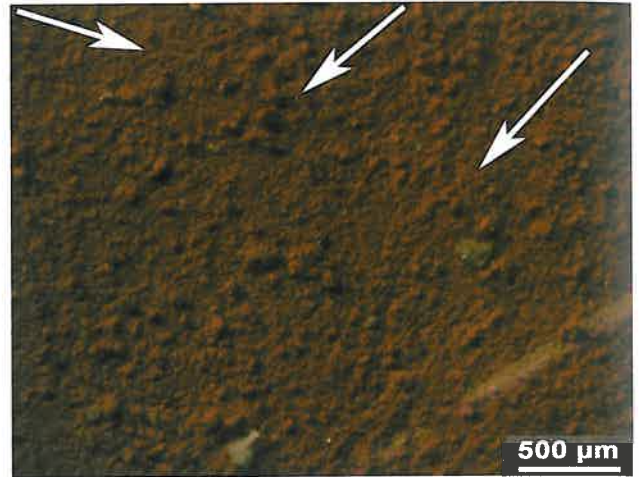


Abb. 10 Paraloid B72: Leichte Kondenswasserbildung bei niedriger Konzentration (1 Anstrich, 10%). Pfeile weisen auf kleine Wassertröpfchen hin.

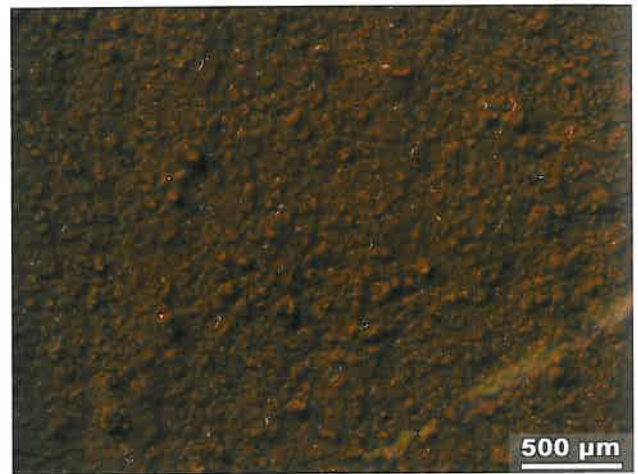


Abb. 11 Paraloid B72: Starke Kondenswasserbildung hohen Konzentrationen (3 Anstriche, 10%).



Abb. 12 Paraloid B72: Verstärkte Randbildung und Verdunkelung gegenüber Referenz bei 1 Anstrich, 10%.

- Kondenswasserbildung. Paraloid B72 (Abb. 10-12) und Acronal 500D (Abb. 13-15) erwiesen sich mit dem Lehmuntergrund als nicht materialkompatibel. Beide Kunstharze dichten die Oberfläche ab,

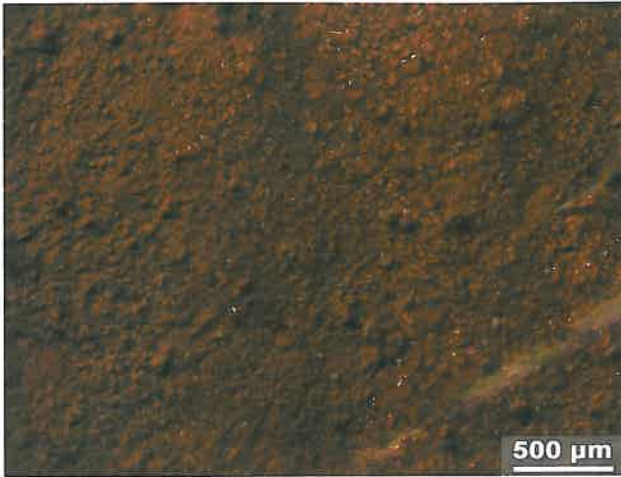


Abb. 13 Acronal 500D: Starke Kondenswasserbildung schon bei niedrigen Konzentrationen (1:10 verdünnt mit Wasser, 1 Anstrich).

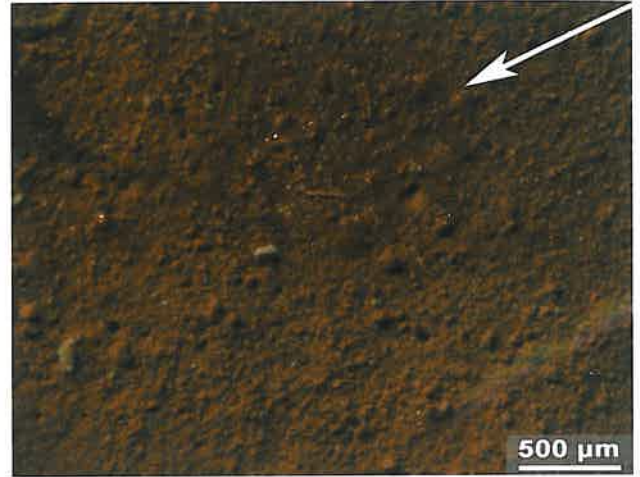


Abb. 16 Klucel H: Kondenswasserbildung (Pfeil) bei niedriger Konzentration (1%, 1 Anstrich).

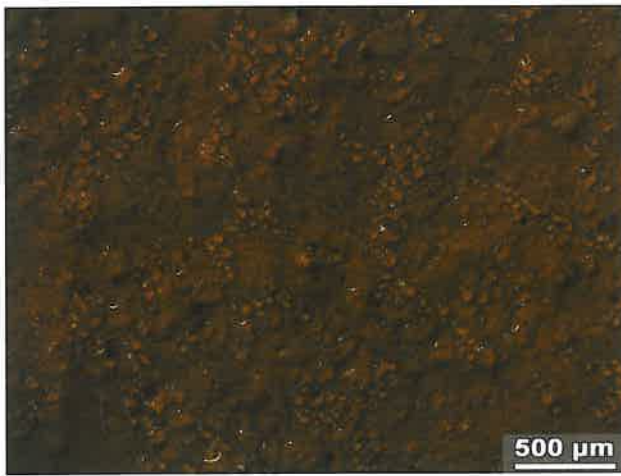


Abb. 14 Acronal 500D: Bei hoher Konzentration (1:4, 1 Anstrich) bildet sich ein oberflächlicher Wasserfilm.

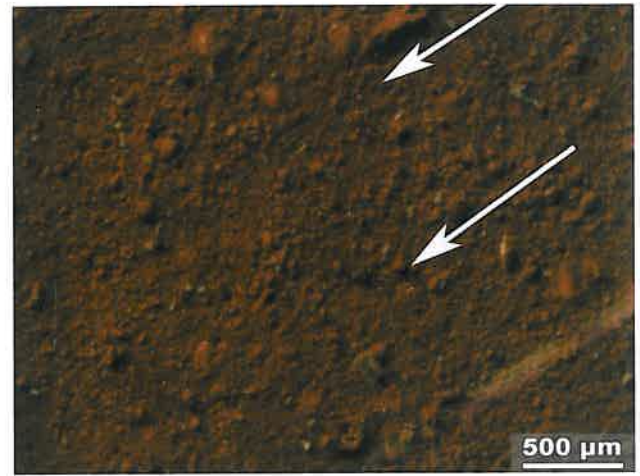


Abb. 17 Klucel H: Lokale Kondenswasserbildung bei 2 Anstrichen nicht wesentlich verstärkt.

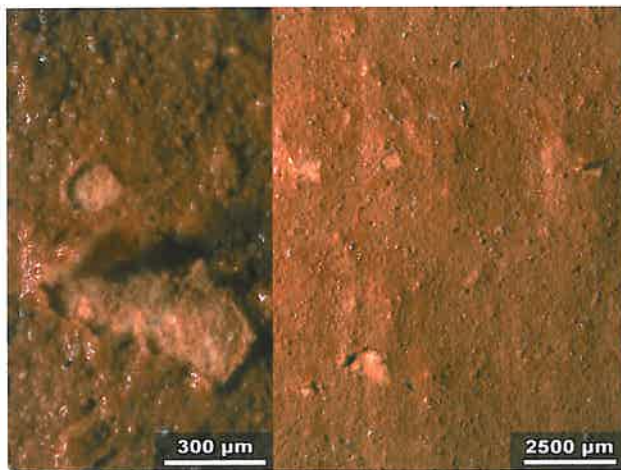


Abb. 15 Acronal 500D: Lokale Auswaschungen und Abplatzungen der Malschicht.

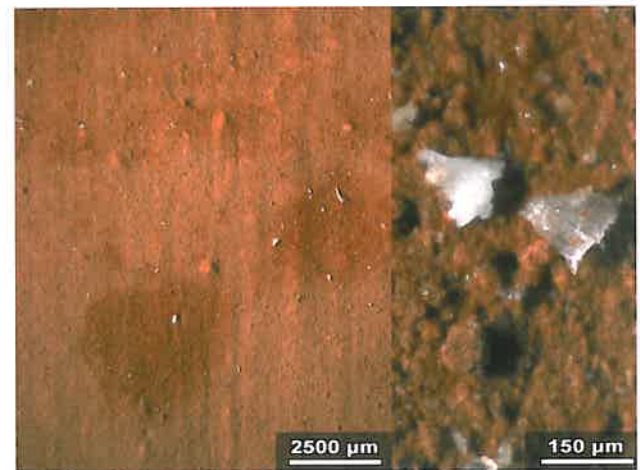


Abb. 18 Klucel H: Rand- und Fleckenbildung mit weißen und transparenten Ausblühungen.

was in simulierten Bewitterungszyklen zu Kondenswasserbildung auf den gefestigten Malschichten führte und als Folge partielle Anlösungen und Fleckenbildung verursachte. Acronal 500D führte sogar zu kleinen Abplatzungen der Bindemittelschicht und ist somit trotz hoher Elastizität

nicht ausreichend flexibel, d.h. inkompatibel mit dem hygroskopischen Lehmuntergrund (Abb. 15). Klucel H (Abb. 16-18) erwies sich als ebenfalls schlecht kompatibel und nicht alterungsbeständig. Fleckenbildung und kristalline Ausfällungen des Bindemittels nach der Be-



Abb. 19 Technische Gelatine: Spannungsrisse bei überhöhten Konzentrationen (3 Anstriche) nach der künstlichen Bewitterung.



Abb. 20 Funori: Bei zu hohen Konzentrationen von Funori (1 Anstrich, 2%) führte die Bewitterung zu massivem Aufrollen des Bindemittels.

witterung lassen eine Degradation und eine Abnahme der Festigungswirkung vermuten, nebst optischer Beeinträchtigung.

Gelatine und Störleim zeigten in geringen und mittleren Konzentrationen eine gute Alterungsbeständigkeit hinsichtlich optischer Eigenschaften und Materialkompatibilität mit dem Lehmuntergrund. Zu hohe Konzentrationen dieser Bindemittel hatten gewisse abdichtende Eigenschaften, was in Bewitterungszyklen zu seltenen Spannungsrissen führte (Abb. 19).

Von den beiden proteinischen Bindemitteln schnitt Störleim noch besser ab als Gelatine. Auch mit hohen Konzentrationen blieb Störleim auf bewitterten Lehmproben ausreichend elastisch, sodass keine Spannungsrisse entstehen.

Funcosil 300 zeigte bis auf die fehlende Festigungswirkung keinerlei Probleme.

Funori war als Festigungsmittel für Malereien auf Lehmputzen in praxisrelevanten Konzentrationen gut materialkompatibel. Die sehr geringe optische Veränderung der matten Farbschichten durch Funori blieb auch nach der künstlichen Bewitterung erhalten. Sehr hohe Konzentrationen von Funori waren aufgrund hoher Spannungen im Bindemittelfilm auf Lehm nicht langzeitbeständig (Abb. 20).

Fingerabrieb

Pudernde Malschichten färben bei Berührung, z.B. mit Händen, ab. Der Eintrag von neuem, zusätzlichem Bindemittel durch eine Konservierung soll die Empfindlichkeit auf Berührung reduzieren und eine Konsolidierung loser Pigmente erwirken. Mit dem Fingerabrieb Test (engl. "smudge test") kann mit geringem instrumentellem Aufwand eine reproduzierbare Differenzierung verschiedener Abriebfestigkeiten erreicht werden (Abb. 21).

Die Festigungswirkung steht als Funktion des Fingerabriebs vor [+] und nach [o] künstlicher Bewitterung. Die Festigung nimmt nach links ab (1 = starker Abrieb = schlechte Festigung). Die Resultate (vgl. Abb. 21, 22-28) sind innerhalb der Ungenauigkeiten der Methode reproduzierbar und

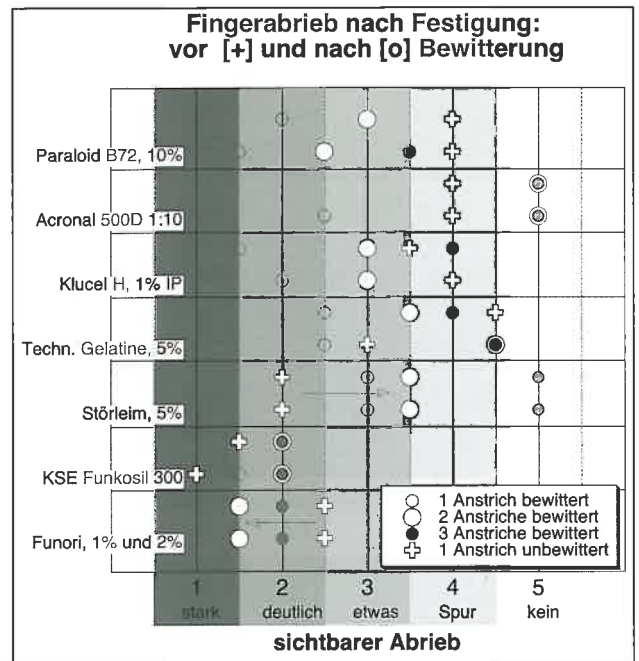


Abb. 21 Auswertung des Fingerabriebtests (vgl. Diskussion im Text).

scheinen konsistent mit der verbesserten Festigung bei zusätzlichem Anstrich (ohne Ausnahme). Interessant ist der Vergleich der Proben VOR und NACH künstlicher Bewitterung: während Störleim durch die Bewitterung zusätzliche Stabilität entwickelte, Acronal 500D sich unverändert zeigte, und Gelatine ebenfalls auf hohem Niveau festigte, war bei Funori, Klucel H, wie auch bei Paraloid B72 eine deutliche Abnahme zu beobachten. Schon Feller [1990] und Michel et al. [2001] wiesen auf die schlechte Langzeitbeständigkeit von Klucel hin, was möglicherweise mit der Bildung von sichtbaren Ausfällungen an der Oberfläche in Zusammenhang gebracht werden kann. Funcosil 300 festigte kaum, wurde aber durch die Bewitterung nicht wesentlich beeinflusst.

Paraloid B72/Toluol 10%, Proben 1 und 2



Abb. 22 Paraloid B72: Abriebtest nach Bewitterung im Vergleich zur ungefestigten Referenz (Jeweils linke Spalte der 2 Replikate mit Referenz, 1x, 2x, 3x gefestigt)

Gelatine/H₂O 5%, Proben 7 und 8



Abb. 25 Tech. Gelatine: Abriebtest nach Bewitterung

Acronal 500D/H₂O 1:10, Proben 3 und 4



Abb. 23 Acronal 500D: Abriebtest nach Bewitterung

Störleim 5%, Proben 9 und 10



Abb. 26 Störleim: Abriebtest nach Bewitterung

Klucei H/Isopropanol 1%, Proben 5 und 6



Abb. 24 Klucei H: Abriebtest nach Bewitterung

Remmers Funcosil 300, Proben 11 und 12



Abb. 27 Funcosil 300: Abriebtest nach Bewitterung

Wasserdampfdurchlässigkeit

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ repräsentiert den Faktor des erhöhten Diffusionsdurchlasswiderstandes eines Materials oder Beschichtung im Vergleich zu einer ruhenden Luftschicht gleicher Schichtdicke [DIN 52615]. Der Einfluss von Bindemittelanstrichen auf Lehmputz bezüglich der Wasserdampfdiffusionsfähigkeit wurde nach DIN 52615 untersucht. Die Resultate (vgl. Abb. 29) der Proben mit 1 Anstrich (links) zeigen auf, dass sich alle Beschichtungsmittel in dieser Konzentration nicht signifikant auf die Wasserdampfdurchlässigkeit der Lehmprobe-körper auswirken. Die Messwerte liegen ohne Ausnahme und inklusive den Kunstharzen innerhalb der Standard-

Funori/H₂O 1%, Proben 13 und 14



Abb. 28 Funori: Abriebtest nach Bewitterung

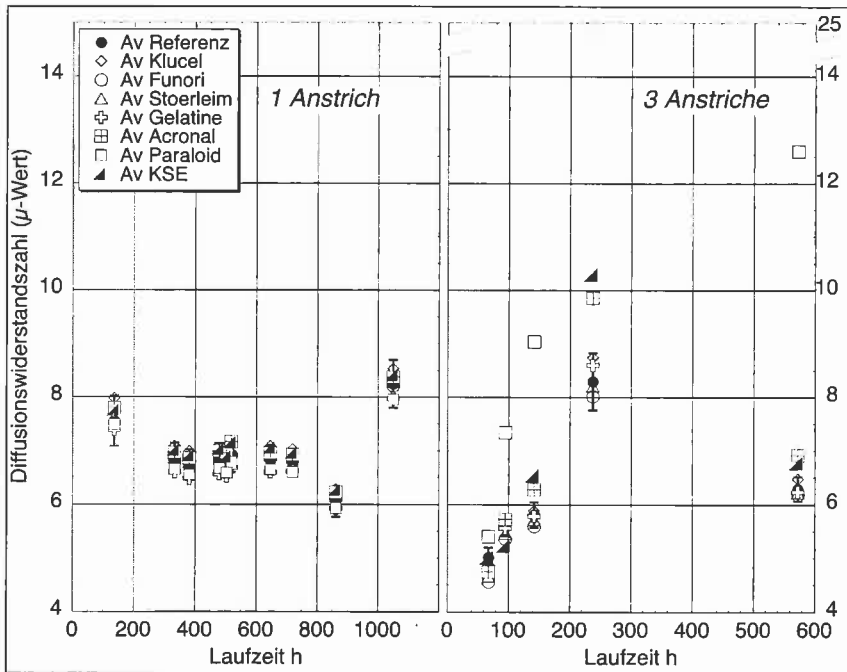


Abb. 29 Wasserampfdurchlässigkeit (μ -Wert) nach DIN 52615 von beschichteten Lehmputzproben im Vergleich zur unbeschichteten Referenz (Mittelwerte von 3 Replikaten). Links mit 1 Anstrich, rechts mit 3 Anstrichen. Der Versuch links zeigt keine signifikanten Abweichungen von der unbeschichteten Referenz. Rechts ist eine Tendenz zu höheren Werten von Paraloid B72, Acronal und Funcosil 300 (vgl. Diskussion).

abweichung der 3 unbeschichteten Referenzproben. Bei der 2. Serie mit den gleichen Probekörpern, aber 2 zusätzlichen Anstrichen (= erhöhte Abdichtung), kann bei den Kunstharzen und dem Kieselsäureester Funcosil 300 eine Tendenz zu erhöhtem Diffusionswiderstand gegenüber der unbeschichteten Referenz dokumentiert werden. Alle anderen Anstriche liegen im Bereich der Standardabweichung der 3 unbeschichteten Referenzproben. Die Applikation der Bindemittel direkt auf die Lehmputzoberfläche erwies sich im Nachhinein als Fehlüberlegung. Wegen der stark saugenden Eigenschaft des Lehms ohne Grundierung ist die erwartete Filmbildung ausgeblieben, und somit ohne signifikante Auswirkung auf die Wasserdampfdiffusion. 2 zusätzliche Anstriche verbesserten die Situation, die Daten sollten jedoch nicht überinterpretiert werden. Nichtsdestotrotz, die beobachtete Tendenz bestätigt sich mit der dokumentierten Kondenswasserbildung auf den gealterten Proben und scheint konsistent.

Gesamtdiskussion

Für ein Gesamturteil wurden die Resultate in Tab. 5 zusammengefasst. Die Acrylate Paraloid B72 und Acronal 500D scheiden aufgrund ihrer schlechten optischen Eigenschaften (Abb. 5 und 6) und der Materialinkompatibilität als Konservierungsmittel für Malereien auf Lehmputzen aus. Beide Kunstharze haben schon in geringen Konzentrationen oberflächenabdichtende Eigenschaften (Abb. 10-15). Acronal erwies sich trotz der hohen Elastizität als zu wenig flexibel und kompatibel mit einem künstlich bewitterten

Lehmuntergrund (Abb. 15). Die festgestellte schlechte Materialkompatibilität der untersuchten Kunstharze mit dem Lehmuntergrund erbringt Indizien für eine langfristige Schädigung der mit Kunstharzen behandelten Wandmalereien in Tibet. Klucel H, Hydroxypropylcellulose, ist nicht genügend materialkompatibel mit Lehm, zeigt lokale Kondenswasserbildung, was zu Fleckenbildung führte (Abb. 16-18). Bewitterung mit künstlichen Frost-Tau-Zyklen führte ausserdem zu einer deutlichen Abnahme der Festigungswirkung (Abb. 21 und 28). Das auf Algenbasis hergestellte Polysaccharid Funori festigt bei geringen bis mittleren Konzentrationen kaum oder ungenügend (Abb. 21), bei höheren Konzentrationen führten Frost-Tau-Zyklen zu massiven Ablätterungen (Abb. 20). Kieselsäureester (Funcosil 300) haben keine festigende Eigenschaften auf schwach gebundene Malschichten, womit das Ziel einer Festigung nicht zu erreichen ist (Abb.

22 und 30). Die beiden Glutinleime Gelatine und Störleim zeigten in praxisrelevanten Konzentrationen sowohl gute optische und festigende Eigenschaften auf matten Malereien, als auch eine gute Materialkompatibilität und Alterungsbeständigkeit mit Lehm als Untergrund. Glutinleime können von den untersuchten Konservierungsmitteln als einzige mögliche Festigungsmittel für matte Malereien auf Lehmputzen empfohlen werden. Es handelt sich dabei um im Tibet erhältliche, kostengünstige und dem originalen System getreue Bindemittel und widerspricht der dort beobachteten Anwendung von Kunstharzen als aktuelle restauratorische Praxis.

Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Studie hat erstmals die Wirkung von in der Konservierung verwendeten Bindemitteln zur Konsolidierung von Malereien auf Lehmputz systematisch untersucht und experimentell gestützt. 5 Typen von Bindemitteln mit insgesamt 7 Produkten wurden untersucht. Die Resultate zeigen klare Vorteile für die Verwendung von Glutinleimen, welche im Tibet auch schon historisch in den zu konservierenden Malereien auf Lehmputz verwendet wurden. Bezüglich der geforderten Kriterien können von den untersuchten Bindemitteln einzig Störleim und Gelatine als geeignet empfohlen werden. Die Konservierung wasserlöslicher Malereien mit wassergelösten Bindemitteln bedingt allerdings entsprechende Sorgfalt in der Applikation, weshalb für die Umsetzung restauratorische Erfahrung Voraussetzung ist. Die Verwendung von Kunstharzen zur

	Optik	Festigungswirkung	Kompatibilität mit Lehm	Langzeitstabilität
Paraloid B72	ungenügend	gut	oberflächenabdichtend, schlecht materialkompatibel	genügend
Acronal 500D	ungenügend	gut	oberflächenabdichtend, zu wenig flexibel, schlecht materialkompatibel	gut
Klucef H	ungenügend	ungenügend	ungenügend	schlecht
Gelatine	gut	gut	gut	gut. Bei hohen Konzentrationen ungenügend.
Störleim	gut	gut	gut	gut
Funcosil	gut	schlecht	gut	gut
Funori	gut	ungenügend	gut	bei niedrigen bis mittleren Konzentrationen gut

Tab. 5 Zusammenfassung der Kriterien und Auswertung der getesteten Festigungsmittel für matte Malereien auf Lehmputzen

flächigen Festigung von Malereien auf Lehmputzen, wie sie in den letzten Jahren in Tibet mehrfach angewandt wurde, führt zu starker optischer Veränderung und könnte längerfristig zu neuen Konservierungsfällen führen. Die kontinuierliche Zusammenarbeit mit der Isabel & Balz Baechi Stiftung ermöglicht die Erkenntnisse umzusetzen und lokal zu kommunizieren.

Verdankungen

Dieses Projekt wurde durch Forschungsgelder der Berner Fachhochschule finanziert. Die Isabel & Balz Baechi Stiftung eröffnete der Hochschule der Künste Bern eine wichtige Rolle internationaler Zusammenarbeit durch die Finanzierung mehrerer Expeditionen mit der aktiven Teilnahme von Matthias Kilchhofer und 2 weiteren HKB Absolventinnen. Daniel Roder, Leiter des Werkstoffprüflabors der Technikerschule AHB Biel und seinen Mitarbeitern danken wir für die Zusammenarbeit und die Durchführung der Klimaalterung. Prof. Dipl. Rest. SKR Ueli Fritz danken wir für die Initiierung des Projektes und fachlichen Support.

Zusammenfassung

Tibetische Wandmalereien werden traditionell mit wasserlöslichen Bindemitteln, meist Glutinleim, direkt auf Lehmputzuntergründen gemalt. Viele historische tibetische Wandmalereien wurden in den letzten Jahren zum Schutz der Oberfläche oder zur Festigung schwach gebundener Malschichten mit Kunstharzen behandelt. Für die westliche Kunsttechnologie ist Lehm als Bildträger ein wenig erforschtes Material. Hinsichtlich des europäischen konservatorischen Grundsatzes der Materialkompatibilität ist eine unbedachte Anwendung von bewährten westlichen Restauriermaterialien wie langzeitstabilen Kunststoffprodukten fragwürdig und wird den hygrophysikalischen Eigenschaften des Lehms nicht gerecht. Ziel des Projektes war es, die Eignung von 4 verschiedenen natürlichen Bindemitteln im Vergleich zu 2 Kunstharz- und 1 Kieselsäureesterprodukten im Anstrichverbund mit Lehmuntergrund systematisch zu untersuchen und so geeignete Konservierungsverfahren zu entwickeln. Dabei erwiesen sich die 2 Kunstharzprodukte auf matten Malereien schon in geringen Konzentrationen aufgrund unerwünschter optischer Veränderungen wie Glanzbildung und Verdunkelung als ungeeignet. Festigung diffusionsoffener Malschichten auf Lehmuntergrund mit Kunstharzen geht mit ungünstigen oberflächenabdichtenden Eigenschaften einher, was in simulierten Bewitterungszyklen zu Kondenswasserbildung und dadurch bedingten Anlösungen und Fleckenbildung führte. Als wesentlich geeigneter hinsichtlich einer Kombination praxisrelevanter Kriterien (Optik, Colorimetrie, Abrieb, Beständigkeit) präsentieren sich diffusionsoffene und aufgrund niedriger bis mittlerer Konzentrationen spannungsarme Glutinleim-Anstriche wie Störleim und Technische Gelatine. In Wasser gelöste Glutinleime bergen jedoch als Konservierungsmittel auf wasserlöslichen Malereien anwendungstechnische Schwierigkeiten, weshalb ihre Anwendung spezialisierten Restauratoren vorbehalten bleiben muss.

Bibliographie

- Beseler, Susanne (2005): Restaurierung einer buddhistischen Tempelanlage im Himalaya. *Restauro*, Vol. 7, 2005. S. 472-478.
- Dachverband Lehm, Hrsg. (2002): *Lehmbau Regeln. Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. Weimar.
- DIN 52615 (1987): Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN 54002 (1982): Prüfung der Farbechtheit von Textilien; Herstellung und Handhabung des Graumaßstabes zur Bewertung des Anblutens. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Eltgen, Uli (2001): Wandmalereien in Tibet, zwei Kampagnen zur Restaurierung und zur Schulung Einheimischer. In: *Restauro*, Nr. 5 (2001), Callwey.
- EN 20105-A03 (1994): Textilien - Farbechtheitsprüfungen - Teil A03: Graumaßstab zur Bewertung des Anblutens (ISO 105-A03:1993); Deutsche Fassung EN 20105-A03:1994. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Feller, R.L., Kunz, N. (1990): Evaluation of Cellulose Ether for Conservation USA. The getty conservation institute.
- Hanna, S. B. ; Dinsmore, J. K. (1987): Conservation of central asian wall painting fragments from the stein collection in the british museum. In: *The conservation of wall paintings. Proceedings of symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Institute*. London, 13.-16. July 1987; The Getty Institute.
- Jackson (1984): *Tibetan Thangka Painting. Methods and Materials*. London.
- Kilchhofer, Matthias (2004): Konzeptionelle Überlegungen zur Restaurierung des Daches und der Wandmalereien des Weissen Tempels in Tholing (Westtibet). Semesterarbeit an der Hochschule der Künste Bern, Studiengang Konservierung und Restaurierung. unpubliziert.
- Lanas, J, Sirera, R, and Alvarez, J.I. (2005): Compositional changes in lime-based mortars exposed to different environments. *Thermochemica Acta*, Vol. 429. S. 2119-26.
- Michel, F., Geiger, T., Reichlin, A., Teoh, G. (2002): Funori, ein japanisches Festigungsmittel für matte Malerei. *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Vol. 16. 2002. S. 257-274.
- Minke, Gernot (1987): *Bauen mit Lehm. Aktuelle Berichte aus Praxis und Forschung. 1984-87*. Freiburg i.B; Öko-Buchverlag.
- Minke Gernot (2004): *Das neue Lehmbau-Handbuch : Baustoffkunde, Konstruktionen, Lehmarcitektur*. 6. Aufl; Staufen bei Freiburg, Ökobuch.
- Phuntsok, Namgyal Hrsg. (2001): *Ntho-Ling Monastery*. Encyclopedia of china publishing house.
- Portsteffen, Hans (1985): *Studien zur Wandmalerei in Ladakh*. Stuttgart.
- SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein, Hrsg. (1994): *Lehmbauregeln. Regelwerk zum fachgerechten Planen und Bauen von Lehmbauten/-bauteilen*. Im Anhang: Tabellen zu Materialkennwerten von Lehmbaustoffen, Adressen von Prüfstellen.
- Spiek, Beate (1999): *Buddha Shākyamuni flankiert von zwei Bodhisattvas : Konservierung / Restaurierung einer abgenommenen asiatischen Wandmalerei*. Museum für angewandte Kunst (Sammlung Exner,) *Tempera auf Lehm-Fasermörtel*. Wien: Akademie der Bildenden Künste, Meisterschule für Restaurierung und Konservierung.

Anhang

Produktkennzeichen der verwendeten Materialien:

- Technische Gelatine in Graupen. Kremer Pigmente, Produktnummer 63040
- Kaolin. Kremer Pigmente, Produktnummer 58250
- Klucel H. Kremer Pigmente, Produktnummer 63712
- Acronal 500D. Kremer Pigmente, Produktnummer 75900
- Paraloid B72. Kremer Pigmente, Produktnummer 67400
- Funori. Kremer Pigmente, Produktnummer 63477
- Störleim, Saliansi Hausenblase. Kremer Pigmente, Produktnummer 63110
- Funcosil 300 KSE Steinfestiger 0720-KSE 300, Remmers
- Leicht-Lehmplatte. Casadobe. Produktnummer 01.021.