

Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut

# conserva

heft 2 – 2024

VDK

Verband der  
Restauratoren

**Impressum**      **CONSERVA**  
Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut  
Heft 2 2024

**Herausgeber**      Verband der Restauratoren (VDR) e.V.

Präsident: Dipl.-Rest. Sven Taubert  
Haus der Kultur  
Weberstraße 61  
53113 Bonn  
Telefon: +49 (0) 228926897-0  
E-Mail: [info@restauratoren.de](mailto:info@restauratoren.de)  
[www.restauratoren.de](http://www.restauratoren.de)

**Redaktion**      Prof. Hans Michaelsen, Berlin  
(kommiss. Redaktionsleitung)  
Dr. Alexandra Nyseth, Ahrensburg  
(kommiss. Redaktionsleitung)  
Margarete Eska, Esslingen  
Jakob Fuchs, Dresden  
Dr. Beate Fückler, Nürnberg  
Regina Klee, Dresden  
Klaus Martius, Nürnberg  
Ute Meyer-Buhr, Nürnberg  
Wibke Ottweiler, Nürnberg  
Esther Rapoport, Basel  
Brigitte Reichel, Rostock (Bildredaktion)  
Prof. Dr. Anna Schönemann, Berlin  
Maria Zielke, Dessau-Roßlau  
E-Mail: [redaktion-beitraege@restauratoren.de](mailto:redaktion-beitraege@restauratoren.de)

**Content Management / Rezensionen**

Dr. Alexandra Nyseth  
E-Mail: [redaktion-beitraege@restauratoren.de](mailto:redaktion-beitraege@restauratoren.de)

**Layout**      Fritjof Wild – [serviervorschlag.de](mailto:serviervorschlag.de)

**Erscheinungsweise**

2 Ausgaben pro Jahr

Die Redaktion bedankt sich herzlich bei allen Autor:innen für die Einreichung ihrer Manuskripte. Sie möchten auch einen Aufsatz in unserer Zeitschrift publizieren? Wir freuen uns über Zusendungen an die E-Mailadresse: [redaktion-beitraege@restauratoren.de](mailto:redaktion-beitraege@restauratoren.de). Einsendeschluss ist jeweils der 1. März oder 1. September des Jahres.

Dieses Werk ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



Abbildungen unterliegen ggf. den jeweiligen Nutzungsbedingungen.

 **arthistoricum.net**  
FACHINFORMATIONSDIENST KUNST · FOTOGRAFIE · DESIGN

Die Online-Version dieser Publikation ist auf <https://www.arthistoricum.net> dauerhaft frei verfügbar (Open Access).

**doi**      <https://doi.org/10.57908/cons.2024.2>

**Publiziert bei**      Universität Heidelberg / Universitätsbibliothek

arthistoricum.net –  
Fachinformationsdienst Kunst · Fotografie · Design  
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg  
<https://www.uni-heidelberg.de/de/impressum>

Text ©2024. Das Copyright der Texte liegt bei den jeweiligen Verfasser:innen. Für namentlich gekennzeichnete Beiträge sind die Verfasser:innen verantwortlich. Die Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Herausgeber und Redaktion wieder. Für die Rechte und den Bildnachweis des jeweiligen Beitrages zeichnen die Autor:innen.

**Umschlagabbildung** REM-Aufnahme der Bruchfläche eines offenzelligen PUR-Schwamms. Der weiche und elastische Schaumstoff kann aufgrund seiner offenen Zellstruktur Flüssigkeiten aufnehmen und abgeben (s. Beitrag Gesine Betz, Virginia Müller).  
Abbildungsnachweis: Kirill Feldmann, ETH Zürich

# Inhalt

- 4 Editorial
- 6 Vorwort
- Beiträge
- Daniela Bruder, Christian Huber, Harald Kühner,  
Angelika Rauch, Eberhard Roller, Marisa Zengin
- 8 **Vom Umgang mit Verunreinigungen in der Restaurierung –  
Schmutz, Auflagen und Kontaminierungen**  
Versuch einer systematischen Annäherung
- Anett Xenia Schulz
- 21 **„Sauber, ordentlich und einheitlich“**  
Zum Anspruch der Auftraggeber und Behörden an  
Restaurierungen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts  
Ein Exkurs durch die Archivakten ausgewählter  
Brandenburger Kirchenarchive
- Christine Fuchs
- 29 **Reinigungs- und Pflegemittel für Möbel und  
Holzausstattungen vom 18. bis ins 21. Jahrhundert**  
Eine materialwissenschaftliche Betrachtung
- Tamara Schad, Heinrich Piening,  
Wiebke Drenckhan, Cosima Stubenrauch
- 41 **Schäume für den Märchenkönig**  
Entwicklung und Erprobung selbstreinigender  
Schaumsysteme
- Peter Kopp
- 49 **Maßgeschneiderte Schäume für die Reinigung von  
gefassten und materialsichtigen Objekten der Kunst  
und Denkmalpflege**
- Marie-Luise Rönsch
- 64 **Runter mit dem Wachs!**  
Eine Untersuchung der Reversibilität von Renaissance  
Wachs™ von degenerierten Lackoberflächen
- Richard Engel
- 75 **Alles nur Staub und Dreck? Möglichkeiten und  
Grenzen bei der Reinigung von Holzsärgen**  
Ein Beispiel zum würdevollen Umgang mit  
Gruftbestattungen aus dem 18. Jahrhundert
- Achim Unger, Sabrina Zoppke, Jörg Weber
- 87 **Dekontamination biozidbelasteter Sammlungsobjekte  
aus Holz durch Fest-Flüssig-Extraktion mit  
organischen Lösemitteln**
- Gesine Betz, Virginia Müller
- 105 **Polyurethan (PUR)-Schwämme als Reinigungsmedium  
in der Konservierung-Restaurierung**
- Miscellanea
- Beate Fücker, Judith Hentschel
- 119 **Datenbank Deutsche Tafelmalerei des Spätmittelalters**

## Editorial

Liebe Leserinnen und Leser,

„Porentief rein?! Reinigung von Möbeln und Holzobjekten in der Konservierung und Restaurierung“ – das war der Titel der Tagung der Fachgruppe Möbel und Holzobjekte im VDR, die im September 2022 in Potsdam stattfand. An drei Tagen ging es in 21 Vorträgen um ein breites Spektrum, das von den historischen Reinigungs- und Pflegemitteln bis zur Reinigung mit Lösemitteln, Laserstrahlen oder Schaumsystemen und der Dekontamination biozidbelasteter Objekte reichte. Die vorliegende Ausgabe der Conserva präsentiert acht Beiträge der Potsdamer VDR-Tagung, in die Eberhard Roller in einem Vorwort einführt.

Abseits von dieser Veranstaltung entstand der Beitrag von Gesine Betz und Virginia Müller über latexfreie Polyurethan (PUR)-Schwämme als Reinigungsmedium in der Konservierung-Restaurierung, der sich hervorragend in die Reihe der vorangegangenen Artikel einreicht. Die Autorinnen zeigen Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung des Schwamms in der Praxis auf. Weitere Fragen beschäftigen sich mit möglichen chemischen Rückständen auf der behandelten Oberfläche, dem Auswaschen vor Erstgebrauch sowie der Degradation und der Aufbewahrung des PUR-Schwamms.

Einen würdigen Abschluss findet diese Ausgabe in dem interessanten Beitrag von Dr. Beate Fücker und Judith Hentschel über die neue Datenbank des Germanischen Nationalmuseums in Nürnberg. Diese reich bebilderte und im Open Access abrufbare Datenbank stellt Forschungsdaten zu 200 spätmittelalterlichen Tafelgemälden zur Verfügung, die sowohl mit den Methoden der klassischen Kunstgeschichte als auch mit modernsten kunsttechnologischen Verfahren untersucht wurden und somit eine reichhaltige Ressource für das Studium spätmittelalterlichen Kunstschaffens bilden.

Für die erste Ausgabe des kommenden Jahres sind einige Vorträge der Textiltagung „Neu verflechten!“, die im Sommer dieses Jahres stattfand, eingeplant. Für die fachliche Vielfalt des Hefts ist es unserer Redaktion gleichzeitig immer ein Anliegen, aktuelle Texte zu publizieren, die unabhängig von Konferenzen oder der Fachgruppenarbeit entstanden sind. Wir bitten daher alle VDR-Mitglieder sich nicht zu scheuen, interessante Ergebnisse ihrer Arbeit einzureichen. Auf <https://journals.ub.uni-heidelberg.de/index.php/conserva/index> finden Sie relevante Informationen zu Abgabeterminen und wichtige formale Vorgaben, die einen reibungslosen Bearbeitungsprozess gewährleisten.

Wir freuen uns, Wibke Ottweiler als neues Redaktionsmitglied begrüßen zu dürfen, die seit 2015 als Restauratorin für Gemälde und Skulptur am Institut für Kunsttechnik und Konservierung des Germanischen Nationalmuseums Nürnberg tätig ist. Herzlich willkommen!

Und ganz zum Schluss möchte das Redaktionsteam es nicht versäumen, dem Studiengang Kunsttechnologie, Konservierung und Restaurierung von Kunst- und Kulturgut der Hochschule für Bildende Künste Dresden sehr herzlich zum 50-jährigen Jubiläum zu gratulieren. Lehrende und Studierende dieser frühen universitären Ausbildungsstätte in Deutschland haben in der redaktionellen Mitarbeit und im Inhalt langjährig das Bild der VDR-Beiträge mitgestaltet.

Wir wünschen Ihnen eine inspirierende Lektüre.

*Für die Redaktion der CONSERVA*

Hans Michaelsen  
Alexandra Nyseth

Oktober 2024

PS:

Sind Sie Autor oder Autorin älterer Beiträge, die noch in gedruckter Form erschienen sind? Dann haben Sie vielleicht schon E-Post von der Universitätsbibliothek Heidelberg erhalten. Im Rahmen unseres Vorhabens der Retrodigitalisierung älterer Hefte werden Sie als Autorenschaft in dieser E-Mail um eine schriftliche Einwilligung zur Online-Publikation gebeten. Wir freuen uns, wenn Sie zustimmen, damit auch Ihre Beiträge weiterhin einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung stehen.

## Vorwort

Vom 22. bis 24. September 2022 traf sich die Fachwelt in Kooperation mit der Fachhochschule Potsdam zur großen Tagung der Fachgruppe Möbel und Holzobjekte im VDR unter dem Thema „Porentief rein?! Reinigung von Möbeln und Holzobjekten in der Konservierung und Restaurierung“.

Dem Alltagsverständnis nach ist Schmutz lediglich ein unschönes Ärgernis. Doch unsere Auffassung davon muss weit über den umgangssprachlichen Bedeutungshorizont hinausgehen, um unserem Bewahrungsauftrag an Kunst- und Kulturgut gerecht werden zu können. Dann entfaltet sich ein facettenreiches Feld unterschiedlichster Phänomene und Fragestellungen: Schmutz ist ein komplexes physikalisches und chemisches Phänomen, ein mikrobielles Biotop oder gar eine toxische Hinterlassenschaft gut gemeinter Konservierungsabsichten früherer Generationen.



Tafelparkett um 1855: Ausschnitt vor und nach der Reinigung

Acht auf der Tagung gehaltene Vorträge konnten Eingang finden in diese CONSERVA-Ausgabe.

Das Organisationsteam der Fachgruppe selbst stellt sich der schwierigen Aufgabe, einleitend eine Systematik „zum Umgang mit Schmutz in der Restaurierung“ zu skizzieren. Vielen mag einiges schon vertraut sein. Doch macht diese generalistische Näherung an das Thema rasch deutlich, dass Schmutz sehr viel mehr Dimensio-

nen aufweist als schmutzig oder sauber und dass es produktiv ist, mit dem weiter gefassten Begriff „Verunreinigung“ zu operieren.

Neben Risiken für Umwelt und Gesundheit, welche aus Schmutz und Verunreinigungen resultieren, tritt die kulturgeschichtliche Dimension. Objekte werden nicht nur in ihrem Schöpfungsprozess kulturell aufgeladen, sondern sie sind im Laufe ihrer Geschichte folgenreichen Zuschreibungen unterworfen. Ästhetische Moden und wechselnde Launen des Geschmacks von Epochen prägen auch die restauratorische Praxis: Ist eine gewachsene Oberfläche Teil der charismatischen „Würde“ eines Objekts oder ein Schaden? Ist das noch Schmutz oder schon Patina? Ist das noch Objektgeschichte oder kann das weg?

Exakt hier hakt Anett Xenia Schulz ein, wenn sie mit exemplarischen Quellenstudien zum Umgang mit sakraler Kunst in der Frühzeit der Denkmalpflege herausarbeitet, in welcher teilweise drastischem Umfang unreflektierte Maßstäbe für „Schönheit“ sakrale Kunstwerke durch Maßnahmen verfremdeten. Ein unbekümmerter Umgang mit subjektivem Geschmacksempfinden auch professioneller Akteure setzte Altären bei Reinigungsmaßnahmen jahrzehntelang zu, wenn diese umstandslos mit „verschönernden“ Veränderungen von Oberflächen gleichgesetzt wurden.

Die auf der Tagung vorgestellten Ausführungen von Hans Michaelson zu historischen Pflegetraditionen entfallen hier nur deshalb, weil sie anderswo schon publiziert wurden. Er skizzierte den Weg von häuslichen oder höfischen „Putz“- und Pflegetraditionen zu den Anfängen der Professionalisierung, wie sie in Quellschriften reflektiert werden.

Unmittelbar auf seinen Studien fußend untersucht die Chemikerin Christine Fuchs zahllose Inhaltsstoffe von Reinigungs- und Pflegemitteln. Sie vertieft ebenso Erkenntnisse um deren Reinigungswirkung wie um die Tatsache, dass viele davon nach heutigem Kenntnisstand als abträglich oder sogar selbst als Verunreinigungen zu betrachten sind.

Zwei Beiträge stehen für einen innovativen Höhepunkt der Tagung, hier geht es um Schäume.

In Weiterführung von Pionierleistungen Irmela Breidens teins stellen Tamara Schad, Heinrich Piening und ihre Co-Autorinnen didaktisch präzise die physikalische Intelligenz der Schaumreinigung heraus. Deren Doppelleffekt einer besseren Schonung der Objekte bei gleichzeitig gesteigerter Reinigungskraft wird von Peter Kopp mithilfe seines enormen Erfahrungsschatzes fast schon zu einer Handreichung für hocheffektive Oberflächenreinigung.

Marie-Luise Rönsch lenkt den Blick auf einen viel zu häufig sträflich vernachlässigten blinden Fleck: Die einem

Konservierungsprodukt für Oberflächen zugeschriebene Reversibilität erweist sich bei näherer Betrachtung im Praxistest als höchst problematisch. Ihr Beispiel ist eine gängige Wachsüberbeschichtung, deren inzwischen erkanntes abträgliches Alterungsverhalten ihre Abnahme nahelegt, womit die Schwierigkeiten erst beginnen.

Richard Engels Beitrag verdeutlicht, wie Grüfte neben dem bereits erwähnten Aspekt der „Würde“ exemplarisch dafür stehen, ein biologisches Biotop in seinem bauphysikalischen Kontext in den Fokus zu rücken: Er dokumentiert im Rahmen der Bearbeitung von Holzsärgen die wichtige Desinfektion gegen Schimmelbefall und stellt damit die Eindämmung von Gesundheitsrisiken für Menschen durch biogene toxische Verunreinigungen auf hölzernen Artefakten vor.

Im nächsten Schritt geht es um den Komplex der verunreinigenden mikrobiellen Infektionen als Risiko für das Objekt selbst. Gegen diese biologischen Schädlinge wurden chemische Bekämpfungsmethoden eingesetzt. Doch geriet die Restaurierung dabei vom Regen in die Traufe: Anstelle der erfolgreich beendeten akuten biogenen Schadensdynamik für die Objekte traten langfristige Schadensrisiken durch verbleibende biozidhaltige Holzschutzmittel für Mensch und Umwelt auf. Sie gehören inzwischen zu den großen, noch nicht endgültig gelösten Herausforderungen der Restaurierungswissenschaft. Anlass zu vorsichtiger Hoffnung gibt ein staatlich gefördertes Kooperationsprojekt, das die jahrzehntelangen Forschungsarbeiten von Achim Unger zur Dekontamination weiterführt. Eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe stellt vor, wie mit Hilfe von Lösemitteln in komplexer „Fest-Flüssig-Extraktion“ höchste Abreicherungsraten zu realisieren sind. Insbesondere für die Reduzierung von tief eingedrungenen Holzschutzmitteln werden hohe Erwartungen geweckt.

Die Tagung und deren hier zusammengestellter Ausschnitt verdeutlichen: Die problematische Frühgeschichte unserer Praxis kann als Mahnung und Ansporn betrachtet werden, im Bewusstsein unserer Verantwortung zukünftig noch kritischer mit einzusetzenden Materialien umzugehen. Die gleichzeitig beeindruckende Innovationskraft unserer Profession ermöglicht zunehmend präziser differenzierte Reinigungsmaßnahmen. Das Wissen um die subjektiven Anteile von Reinigungsentscheidungen verlangt immer den Zweifel als Korrektiv im besten Sinne „solange geputzt wird“.

Eberhard Roller  
für das Organisationsteam der VDR-Tagung 2022

#### Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# Vom Umgang mit Verunreinigungen in der Restaurierung – Schmutz, Auflagen und Kontaminierungen

Versuch einer systematischen Annäherung

Daniela Bruder, Christian Huber, Harald Kühner, Angelika Rauch, Eberhard Roller, Marisa Zengin



## Vom Umgang mit Verunreinigungen in der Restaurierung – Schmutz, Auflagen und Kontaminierungen Versuch einer systematischen Annäherung

Daniela Bruder, Christian Huber, Harald Kühner, Angelika Rauch, Eberhard Roller, Marisa Zengin

*Dealing with impurities in Restoration – Dirt, overlays and contamination*

*An attempt at a systematic approach*

Reinigung in der Konservierung und Restaurierung ist, wie es die Fachtagung „Porentief rein?!“ der VDR Fachgruppe Möbel und Holzobjekte in Potsdam im Jahr 2022 gezeigt hat, ein sehr weites Feld. Das Thema wirft viele Fragen auf und insbesondere bei näherer Betrachtung eröffnen sich komplexe Dimensionen.

*Cleaning in conservation and restoration is a very broad field, as the symposium 'Porentief rein?!' organised by the VDR Furniture and Wooden Objects specialist group in Potsdam in 2022 showed. The topic raises many questions and, especially on closer inspection, complex dimensions open up.*

Was ist Schmutz und wie hat sich seine Bedeutung sowie der Umgang mit ihm im Laufe der Zeit nicht nur in der Konservierung und Restaurierung, sondern auch in der gesellschaftlichen Wahrnehmung geändert?

*What is dirt and how has its significance and the way it is dealt with changed over time, not only in conservation and restoration, but also in social perception?*

Welche weiteren Arten von Verschmutzungen und Verunreinigungen – seien sie ohne absichtliches Zutun entstanden oder bewusst hinzugefügt worden – sind an Objekten des Kunst- und Kulturguts vorzufinden? Was wird darüber hinaus Gegenstand von Reinigungsmaßnahmen ohne „Schmutz“ sein?

*What other types of soiling and contamination, whether caused without deliberate action or deliberately added, can be found on objects of art and cultural heritage? What else is subject to cleaning measures without being 'dirt'?*

*What dangers can arise for people and objects?*

Welche Gefahren für Mensch und Objekt können daraus entstehen?

*How can contamination in conservation and restoration be countered with today's knowledge and the diverse possibilities of modern cleaning methods?*

Wie sind Verunreinigungen in der Konservierung und Restaurierung mit dem heutigen Wissen und den vielfältigen Möglichkeiten moderner Reinigungsmethoden zu begegnen?

*This article attempts to approach the complexity of the subject of 'dirt and cleaning' with the help of an organising system.*

Dieser Artikel versucht, sich der Vielschichtigkeit des Themas „Schmutz und Reinigung“ mithilfe einer ordnenden Systematik zu nähern.

### 1. Einleitung

Seit der Mensch Artefakte erschafft, ist deren Verschmutzung und im Gegenzug deren Pflege ein unvermeidliches Thema. Reinigung anvertrauter Objekte ist eine zentrale Aufgabe restauratorischer Betreuung. Um den Themenkomplex der Reinigung erörtern zu können, muss zunächst der „Schmutz“ genauer umrissen werden. Für die Maßnahmenplanung benötigen Restaurator:innen eine präzisere Definition als jene, mit welcher der Duden ganz offensichtlich scheitert: „etwas, was irgendwo Unsauberkeit verursacht, was etwas verunreinigt“.

seine vermeintliche Nutzlosigkeit, seine Allgegenwart.“<sup>1</sup> Oder: „Schmutz ist Substanz am falschen Ort.“<sup>2</sup> Auf der anderen Seite wurde auch die klassische Gegenposition nach Euler zitiert: „Schmutz [...] als Niederschlag der Zeit und als Repräsentant des Alterswerts“<sup>3</sup>.

Aber auch diese Standpunkte reichen als Entscheidungsgrundlage für oder gegen eine Reinigung nicht aus.

Intensiv hatte sich die Restauratorenschaft des VDR bereits 2003 auf der Tagung „Oberflächenreinigung“ mit diesem Thema befasst. Damals wurde unter anderem formuliert: „In der klassischen Hierarchie der Materialien rangiert Schmutz noch weit hinter Abfall, wenn er überhaupt darin vorkommt. Der Grund dafür ist sein subtiles Vorkommen,

Um die anscheinend schwer zu definierenden Themen der Verschmutzung und Reinigung dennoch zu systematisieren, werden zunächst Ursache und Herkunft sowie die Risiken von Schmutz näher betrachtet. Dies ist nicht nur hinsichtlich des Verständnisses von Schadensphänomenen relevant, sondern ebenso für alle Maßnahmen der präventiven Konservierung, die regelmäßig restauratorische Praxis prägen.

Der Begriff „Schmutz“ wird in der Regel von Auftraggeber:innen benutzt und repräsentiert somit eine allgemein übliche Sichtweise oder Charakterisierung von Auflagerungen. Diesem Umstand müssen sich die Restaurator:innen stellen und eine eigene Definition gegenüberstellen, um damit eine gute Argumentationshilfe bei der Diskussion von Maßnahmen zu haben.

Dennoch soll der Begriff von „Schmutz“ zugunsten einer weiter gefassten Betrachtung von Verunreinigungen und Kontaminierungen verlassen werden.

Dieser Artikel stellt keinen Versuch dar, das Rad neu zu erfinden, sondern versucht auf den bereits vorhandenen Publikationen in diesem Themenkreis aufbauend, einige Aspekte von „Schmutz“ und Reinigung genauer zu reflektieren und Herangehensweisen im Licht der heutigen Methodenvielfalt zu überdenken. Des Weiteren soll die systematische Herangehensweise an dieses überaus komplexe Themenfeld eine Einstiegserleichterung sein für diejenigen, die damit noch nicht so vertraut sind.

1 Zweifelsfrei Material am falschen Ort: Staubablagerungen auf und Spinnenweben an Schnitzwerk



2 Schmutz versus Lesbarkeit: Ausschnitt eines Sargdeckels, dat. 1723, mit Goldauflagen auf schwarzem Lack; während der Abreinigung von verfestigten Auflagen resp. der Schmutzschicht



## 2. Herkunft und Ursachen von Verunreinigungen

Im Folgenden werden aus materialwissenschaftlicher Perspektive Herkunft und Ursachen von Verunreinigungen aufgelistet:

- Luftschadstoffe
  - Schwebstoffe
  - Säureanteile, bspw. Schwefelsäure
  - Ruß aus Rauch von Hausbrand, Feuerstellen, Beleuchtungsquellen
- aufliegende Stäube aller Art, bspw. mineralischer Baustaub (Abb. 1, 2)
- Handschweiß, Fette
- Pflegemittel
- Korrosionsprodukte
- Hitze- und Brandschäden
- Wasserschäden (Abb. 3)
  - Ausblühungen durch Salze aus dem Mauerwerk
  - Wasserränder durch Verschiebung gelöster Materialien oder Bestandteile
  - Aufquellen und Oberflächenveränderung von Holz
- biologische Besiedlung (Abb. 4)
  - holzerstörende Pilze
  - tierische Holzschädlinge
  - pflanzlicher Bewuchs, Algen, Moose, Flechten, Bakterien
- biogene Kontamination durch tierische Ablagerungen wie Ausscheidungen von Vögeln und Nagetieren sowie verendete oder lebende Tiere
- Ablagerungen falscher oder zweckentfremdeter Nutzung
- toxische Belastung durch Schädlingsbekämpfungsmittel oder Holzschutzmittel, Altlasten (Abb. 5)
- Veränderungen durch Hilfsmittel / Material (Abb. 6)
  - Lösemittel und Weichmacher aus Klebebändern und objektfremden Klebstoffen
  - Schmutzhorizonte unter Überschichtungen

All die genannten Verunreinigungen bergen Risiken für die menschliche Gesundheit und die Objektsubstanz. Darauf wird im Folgenden näher eingegangen.

**3** Verfärbende Verunreinigungen: Wasserschaden an markiertem Tafelparkett des Historismus



**4** Verunreinigungen biogenen Ursprungs: vergrauende Schmutzauflagen in erheblicher Schichtdicke, darauf Luftmycel mit Strängen von *Serpula Lacrimans*



**5** Verunreinigungen als Folge früherer Überarbeitungen: Salzausblühungen auf einer hölzernen Kirchengestaltung, die von früheren Ablaugarbeiten und/oder dem Einsatz von Holzschutzmitteln herrühren



**6** Verunreinigungen aufgrund von Nutzung bzw. Verwahrlosung: Reste eines Textilklebebands auf massivem Tafelparkett



### 3. Risiken von Schmutz

Schmutz verursacht zum einen Veränderungen und Schäden oder beschleunigt degenerative Prozesse für die Objekte und zum anderen kann er für Menschen, die mit ihm in Kontakt kommen, eine Gefahr darstellen.

#### 3.1 Gesundheitliche Risiken

Noch vor jedem Eingriff an einem Objekt muss das Risiko für die menschliche Gesundheit systematisch geprüft und ihm mit entsprechenden Schutzmaßnahmen begegnet werden.

Unmittelbare, ebenso wie mittelbare und langfristige Risiken, die von Objekten oder deren jeweiliger Umgebung ausgehen, sind zu erfassen.

Der Gefahren durch Schimmelpilze und anderen Mikroorganismen sind sich Restaurator:innen bereits seit einigen Jahrzehnten bewusst. Erinnert sei hier an die VDR-Tagung von 2000, die das Thema der Pilz- und Bakterienbesiedelung umfassend behandelt hat.<sup>4</sup>

In den letzten Jahren ist zunehmend die Kontamination durch frühere restauratorische Maßnahmen zur Schädlingsbekämpfung mit Bioziden und anderen Holzschutzmitteln ins Bewusstsein gerückt und wird uns sicher noch eine lange Zeit beschäftigen. Nicht zu vernachlässigen sind jedoch auch die Gefahren, die von Materialien des Kunstwerks selbst ausgehen, wie Schwermetalle als Pigment in Fassungen. Sie stellen keine Verschmutzung dar, aber ihnen ist fallweise methodisch mit denselben Maßnahmen zu begegnen, mit welchen auf toxische Schmutzbestandteile reagiert werden muss.

Weitere Beispiele für Gefahrstoffe sind z. B. Asbestfasern, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) aus Steinkohlenteer unter Parkett, die große Gruppe der Volatile Organic Compounds (VOC: flüchtige organische Verbindungen) sowie Microbial Volatile Organic Compounds (MVOC: mikrobielle flüchtige organische Verbindungen).<sup>5</sup>

#### 3.2 Risiken für das Objekt

Durch Schmutz kann ein Objekt bis zur Unkenntlichkeit verändert oder sogar vollständig zersetzt werden. Dies führt zu einer Minderung der Erlebbarkeit für Betrachtende bis hin zur völligen Unlesbarkeit der Aussage oder des ursprünglichen ästhetischen Werts des Objekts. Durch Verdichtung aufliegender Partikel, z. B. durch in Handfetten gebundene Materialien aller Art an Türklinken, ist die Oberfläche häufig nicht mehr les- und sichtbar. Ebenso ist es möglich, dass ein ursprünglicher Glanzgrad einem stumpfmatten Erscheinungsbild weicht. Verschmutzungen wie diese können Zersetzungs- und Alterungsprozesse von Materialien in Gang setzen. Das durch sie entstehende feuchte Milieu, z. B. hydrophiler Staub, kann Schädlingsbefall begünstigen und etwa materialzeretzenden Pilzen und Schimmelpilzen sowie sonstiger biologischer Besiedelung, beispielsweise durch Anobien oder Algen und Moose, einen Nährboden bieten. Des Weiteren werden auch saure oder basische Milieus geschaffen, die im molekularen Bereich multifaktorielle Wechselwirkungen zwischen Objektbestandteilen und Schmutzpartikeln generieren.<sup>6</sup>

### 4. Bedeutungsebenen von Schmutz

Nach der Behandlung der Materialität und Risiken von Schmutz ist der Fokus auf dessen immaterielle Bedeutungsebenen zu richten. Häufig reagiert man auf eine Verschmutzung instinktiv mit dem Wunsch nach Reinigung. Restaurator:innen lernen diesen zu zügeln und zuerst zu hinterfragen. Um qualifizierte Entscheidungen treffen zu können, ist es erforderlich, die zahlreichen Bedeutungen von Schmutz differenziert zu betrachten und einzuordnen.

#### 4.1 Schmutz kontra Sauberkeit

Ausgehend von der bereits genannten Definition „Schmutz ist Substanz am falschen Ort“ beschäftigt man sich im Umkehrschluss ebenso mit der Sauberkeit, also dem ganz ausdrücklichen Gegenteil von Schmutz. Über die Jahrhunderte betrachtet wandelten sich beide Begriffe im Alltag so essenziell, dass die Annahme naheliegt, die Wertung von Schmutz und Sauberkeit läge im Auge des Betrachters.

Vertiefend stellt sich die Frage nach dem Begriff der Hygiene, der beteiligt ist an der Einordnung von Materialien aller Art als „Schmutz“. Meist unbewusst geht damit gleichermaßen der Reflex einher, dass besagter Schmutz vor allem anderen weg muss, damit etwas wieder hygienisch bzw. sauber ist. Das individuelle Hygieneempfinden jedoch unterliegt ebenfalls aktuellen Moden und gesellschaftlichen Haltungen. Diese fließen unbewusst in alltägliche Reinigungsvorgänge ein und setzen die Maßstäbe dafür.



7 Verunreinigungen als integraler Bestandteil eines Objekts: Arbeitsfläche einer Hobelbank mit historischen Gebrauchsspuren

Die Moderne hat sich hierbei seit der Industrialisierung an Standards gewöhnt, welche für frühere Generationen vollkommen undenkbar waren.<sup>7</sup> Wie schon im Jahre 1908 auf einem Internationalen Kongress zur Hauswirtschaftslehre in Frankreich formuliert wurde: „Die Kunst kann hygienisch sein, wie man weiß, und die Hygiene, auch dies ist bekannt, künstlerisch. Ordnung und Sauberkeit sind der Anfang der Schönheit.“<sup>8</sup>

In der Konservierung und Restaurierung kann diese Sichtweise nicht widerspruchlos übernommen werden, da diese Abgrenzungen konzeptionellen Einfluss auf die Maßnahmen haben können.

Mit diesem kritischen Blick lässt sich eine Reihe restaurierungsethischer Fragen formulieren.

- Kann oder darf das Ziel ein „sauberes“ Objekt sein?
- Bis zu welchem Grad kann oder darf eine Reinigung erfolgen, um einem Objekt gerecht zu werden?
- Läuft man unter Verlust von Authentizität Gefahr, vorrangig unseren zeitgenössischen Vorstellungen von Hygiene gerecht zu werden?
- Wird in der Nachfolge des 19. Jahrhunderts dem Ideal des „ungestörten Originals“ folgend, nur eine saubere Oberfläche akzeptiert?
- Wird bei einer Reinigungsmaßnahme der Tatsache Rechnung getragen, dass sich ein Objekt im Laufe seiner Alterung mehr Informationen einverleiben und in die Zukunft transportieren kann, als am Tag nach seiner Herstellung schon vorhanden waren?

Beispielsweise waren die Verschmutzungen in einem Vorratsschrank des 17. Jahrhunderts mit Verfärbungen und Spuren von Lebensmitteln auf Fachböden akzeptierter Teil seines alltäglichen Erscheinungsbilds, weil die zeitgenössischen Vorstellungen von Sauberkeit von unseren heutigen Lichtjahre entfernt waren.

Die Materialität moderner Küchen und Innenräume hingegen ist geprägt von einer Fülle neu entwickelter, halb- und vollsynthetischer Grundstoffe. Diesen kann heutzutage mit zahllosen hochmodernen Reinigungs- und Desinfektionsmitteln zu Leibe gerückt werden, um den gesellschaftlichen Standards vom „gepflegten Erscheinungsbild“ gerecht zu werden. Das Resultat: Als aktueller Standard der Postmoderne sind im Küchen- und Sanitärbereich nur parentief reine, fleckenfreie, blitzblank glänzende Oberflächen akzeptabel. Andernfalls wäre Meister Proper™ höchst unglücklich. Das angestrebte Ideal von Hygiene im 21. Jahrhundert ist damit parentiefe Keimfreiheit – bis hin zur Hochtechnologie der Nanofilme als biozide Bewehrung.

Diese Entwicklung wirkt sich in zahlreichen Fällen auch auf die Erwartungshaltung von Auftraggeber:innen aus, welche aus restauratorischer Sicht inakzeptable oder überzogene Anforderungen an die Reinigung haben.

Folglich ist es eine wichtige restaurierungsethische Aufgabe, Zeitschichten präzise darzustellen. Das verlangt auch konzeptionell darauf zu achten, Differenzen zu früheren und „schmutzigeren“ Entwicklungsstufen unserer Zivilisation zu dokumentieren. In denen war die Präsenz alles Organischen, wie Ungeziefer, Essensabfälle, Körperausscheidungen, unvermeidlicher Teil der Alltagskultur. Um diese Authentizität einer Epoche zu respektieren, ist der Einsatz unseres technologischen Instrumentariums bei Reinigungsmaßnahmen gegebenenfalls weise und gewissenhaft zu begrenzen. Mit dem oben genannten Ziel wird nicht nur die Aura z. B. einer kunstvollen Marketerie, sondern eben auch das Charisma von historisch gewachsenen Auflagerungen gewürdigt (Abb. 7).

Immer aber bleibt gültig: Es kann kein vorab definiertes Richtig und Falsch geben. Das Reinigungsziel ist immer im Licht der konservatorischen Risiken von Verunreinigungen einerseits sowie ihrer Relevanz für das historische Dokument andererseits in jedem Einzelfall neu zu prüfen.

## 4.2 Aura von Schmutz

Einem historischen Objekt, dem Alterungsspuren jeder Art gänzlich fehlen, würden wir im Normalfall die Authentizität absprechen. Deshalb sind Auflagerungen systematisch nach ihren Entstehungsweisen aufzugliedern. Sie können sich entweder im Alterungsprozess entwickeln oder aus unterschiedlichen Gründen erzeugt und gestaltet werden und sind, spätestens seit Brachert, mit dem Begriff Patina belegt.<sup>9</sup>

### 4.2.1 Schmutz als Bestandteil von Patina

Zunächst ist die Entstehung von gewachsener Patina ein absichtloser Prozess. Neben Vorgängen, wie Oxidation, Verfärbungen durch UV-Exposition oder plastischen Veränderungen, wie beispielsweise Kratzer, Druckstellen oder schadhafte Kanten, werden dabei auch Schmutzpartikel aller Art auf der Oberfläche angereichert, sei es gebunden, adhäsiv oder lose aufliegend. Der Schmutz wird mit der Zeit förmlich wie von selbst Teil des Objekts.

In der Praxis stehen die Rückansichten von Möbeln vorindustrieller Fertigung beispielhaft für dieses Phänomen. Sie bleiben üblicherweise unberührt von reduzierenden Maßnahmen. Die zu einheitlichen Brauntönen nivelliert erscheinenden Oberflächen von Nadelhölzern oder auch Eiche bleiben in den meisten Fällen von Pflegemaßnahmen aller Art verschont. Sie sind weitestgehend vor UV-Exposition geschützt und sind vor allem das Resultat stetiger, freier Ablagerung von Schwebstoffen aus der Luft, welche eine innige Verbindung mit den rohen Holzoberflächen eingehen. Diese spezifische Patina gilt üblicherweise dem raschen, kennerschaftlichen Blick als Ausweis von „Echtheit“ eines Möbels oder einer hölzernen Ausstattung.

Auch bei Materialien, die spontan und selbstständig mit ihrer Umgebung in Verbindung treten und sich dadurch verändern, wird von der Bildung einer Patina gesprochen. Hierzu zählen beispielsweise Metalle, die in dem umgebenden Milieu oder mit umliegenden Materialien irreversible Reaktionen eingehen, wobei sich Reaktions- und Korrosionsprodukte bilden.

Manche Alterungserscheinungen sind nicht verlustfrei zu entfernen. Daher stellt sich die Frage, ob es unter bestimmten Bedingungen überhaupt in Betracht zu ziehen ist, Patina zu reduzieren bzw. abzureinigen.

## 4.2.2 Patinierung als Folge häuslicher Pflege

Die unbeabsichtigte Patinierung als Folge häuslicher Pflege hingegen resultiert aus der Schmutzbindung durch den bewussten Auftrag von neuen Oberflächenfilmen. In englischen Wachspolituren auf Mahagonimöbeln des 18. Jahrhunderts beispielsweise finden sich untrennbar verbunden unzählige Wachsschichten aus jahrhundertlang ununterbrochenen Pflegezyklen herrschaftlicher Haushalte. Sie bilden unter Einschluss von Schmutzpartikeln in Vertiefungen und Rücklagen stetig wachsende, annähernd deckende schwärzliche Schichten. Sie werden insbesondere in älterer Literatur gern als „gewachsene“ Patina oder als „Schmutzpatina“<sup>10</sup> bezeichnet.

Der verfestigte Schmutz wird „als Niederschlag der Zeit und als Repräsentant des Alterswerts“<sup>11</sup> empfunden und bewertet. Hier gilt der Schmutz als Teil der Patina und ist somit erhaltungswürdig. Dieses Phänomen gilt sogar als Ausdruck exzeptioneller Integrität.

Wie viel Reinigung ist bei solchen Objekten also zu viel und ab wann tritt sogar eine Minderung der objektspezifischen Werte ein?

### 4.2.3 „Heiliger Schmutz“

Besonders in den Freien Künsten sowie bei rituellen und ethnologischen Objekten kann mancher Schmutz als bedeutungsvoll und gewollt bezeichnet werden. In der Kunst wird durch die Intention des Künstlers dem absichtlich verwendeten „Schmutz“ eine neue Bedeutungsebene zuteil.<sup>12</sup> Bei ritueller Nutzung und Würdigung von Objekten können als Opfergaben zahlreiche unterschiedliche Materialien direkt auf diese aufgetragen werden. Hier lässt sich sogar von „heiligem Schmutz“ sprechen. Bei solchen Objekten gehört der vermeintliche „Schmutz“ unmittelbar zur Nutzungsgeschichte oder trägt zur Aura des Kunstwerks bei. Letztendlich erhöht diese Art von Patina den kulturellen und/oder monetären Wert solcher Kulturgüter.

### 4.2.4 Künstliche Patina – Imitation von Schmutz als Alterungsbild

In engster Verbindung und schärfstem Kontrast zu den oben genannten Kunstwerken und Kulturgütern stehen seriell gefertigte touristische Objekte der Ethnologie, die als sogenannte „Flughafenware“ günstig zu erwerben sind. Als irreguläre Kopien in der Tradition ihrer historischen Vorlagen bedürfen auch sie einer Patinierung, indem unter anderem Schmutz als „Alterungsnachweis“ imitiert wird, um exportfähig zu werden. Hierzu zählen unter anderem die Arbeiten indigener Kulturen in Asien und Afrika oder Kopien von präkolumbianischen Objekten. Patinierung beruht also, im Gegensatz zur natürlichen Patinabildung, auf absichtlichem, menschlichem Zutun.<sup>13</sup>



8 Gestaltungsmittel eines „antikisierenden“ Stilmöbels industrieller Fertigung um 1960: Getönter Lack führt durch unterschiedliche Schichtdicken des Spritzauftrags zu Farbverläufen. Damit soll der Eindruck von eintrübenden Schmutzaufträgen auf rahmenden Friesen oder Profilen erweckt und eine Aura von Alter simuliert werden.

#### 4.2.4.1 Imitation von Schmutz als historisierendes Gestaltungsmittel und Mode

Bei Holzobjekten und Raumausstattungen seit Beginn des Historismus kann Restaurierenden die Imitation von Schmutz als absichtsvoll eingesetztes Gestaltungsmittel begegnen. Sie wird gezielt zur Herstellung von patinierten Oberflächenanmutungen, also zur Imitation von Alterscharisma eingesetzt. Dies ist als historische Werktechnik einzustufen und bekommt damit einen eigenen dokumentarischen Rang. Im Fall von Stilmöbeln sind sie sogar in industrieller Produktion angewandt worden. Hier seien beispielhaft die Möbel des Historismus mit braunen „Lasuren“, Pigmenten oder Staubpatinierung, also mit gebundenem Staub angereicherte Oberflächenvergütungen, genannt. Dieselbe Technik findet sich in raffinierten Spritzlackierungen auf industriell gefertigten Stilmöbeln des 20. Jahrhunderts (Abb. 8).

Auch viele Vintagemöbel des späten 20. Jahrhunderts wurden solchen Überarbeitungen unterzogen, um ihnen ein künstlich erzeugtes Alterungsbild zu verleihen (Abb. 9).

Würde man diese mit äußerster Raffinesse verfeinerte Patinierung entfernen, wäre die Authentizität eines solchen Möbels als materielles Dokument verloren. Zu viel Reinigung, zum Beispiel zur „besseren Lesbarkeit“, wäre demnach ein Missverständnis. Durch sie würden diese künstlich gealterten Objekte als bedeutende Dokumente ästhetischer Widerständigkeit gegen den unaufhaltsamen Vormarsch der Moderne im Zuge der Industrialisierung unwiederbringlich verloren gehen.

9 Beispiel eines aktuell im Handel erhältlichen Produkts zur Imitierung gealterter Holzoberflächen, Produktname „Antik Patina“ (Borma Wachs)



#### 4.2.4.2 Imitation von Schmutz als Betrugsabsicht

Der Auftrag einer Schmutzanmutung als Werktechnik kann allerdings auch für fälscherische Zwecke verwendet werden. Die Herstellung täuschender Kopien von Möbeln und Raumelementen prägen das späte 19. Jahrhundert. Hierfür wurden häufig Originalteile zweitverwendet, wie etwa Fronten von Kirchengestühl, die beispielsweise zu gänzlich neu geschaffenen „Truhen der Renaissance“ umgearbeitet wurden. Die Imitation von Patina in betrügerischer Absicht bedurfte ebenfalls äußerst sorgfältig auszuführender künstlicher Alterung, sei es mit Pigmenten oder mit tatsächlichem Schmutz, der aufgebracht und schwach gebunden wird. Das Ziel ist dabei die Steigerung des monetären Werts der Fälschung, die durch die irrtümliche Zuordnung zu einer bestimmten Epoche oder einem renommierten Kunsthandwerker entsteht. Dieses Vorgehen wird anschaulich in dem bekannten Stich „Time smoking a picture“ von William Hogarth aus dem Jahre 1761 wiedergegeben.<sup>14</sup>

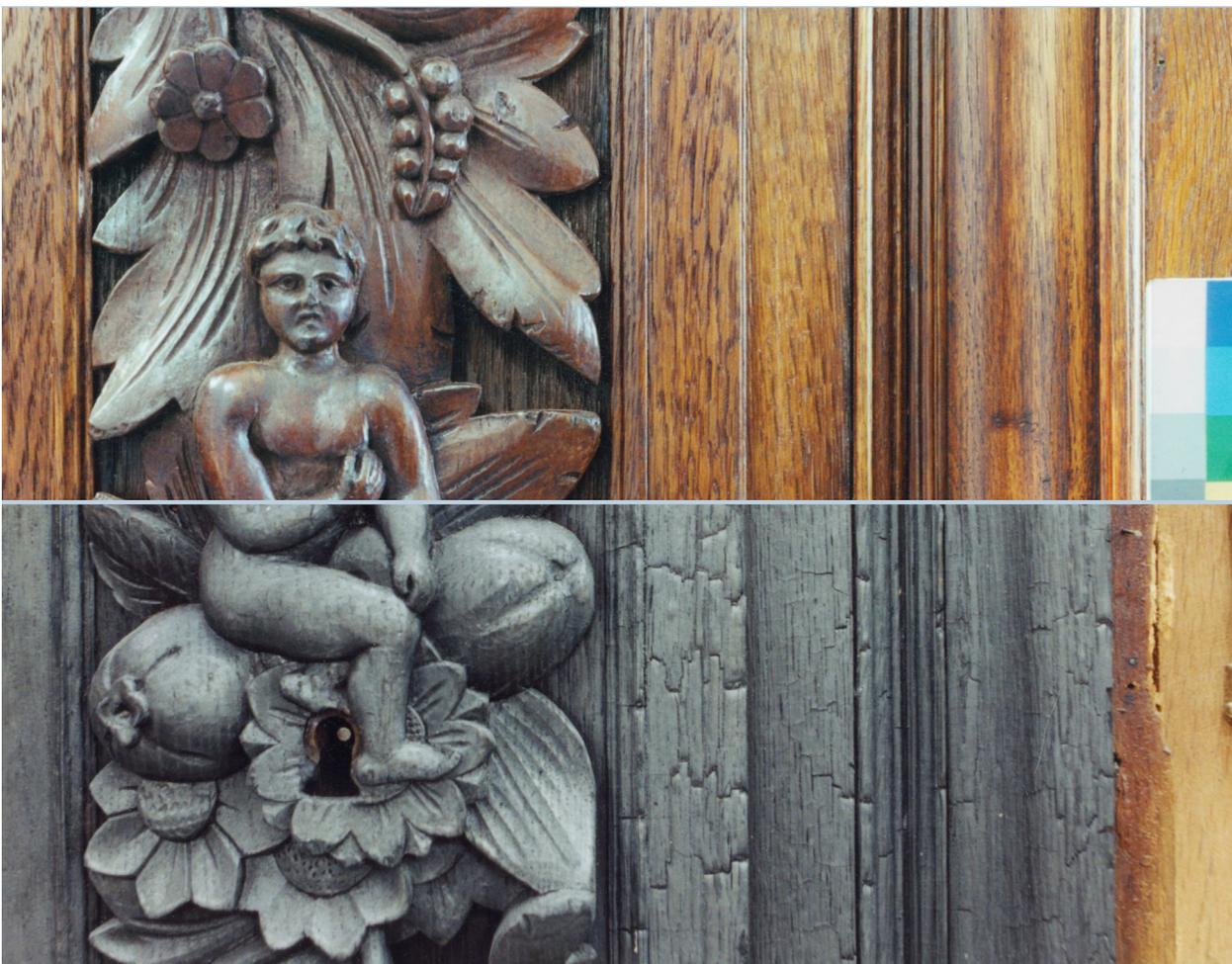
#### 5. Reinigungsmethoden und Innovationen

Auf Grundlage von Anmutung und Charakteristik des vorliegenden Schmutzes beginnt der Entscheidungsprozess, ihn gegebenenfalls zu entfernen.

Zu prüfen ist zum einen die aus einer Reinigung resultierende Optik und dadurch möglicherweise veränderte Aussage eines Objekts, zum anderen kann Reinigung essenzielle konservierende Aufgaben erfüllen: Sie kann bestimmte Schadensrisiken minimieren oder potenziell schädigende Prozesse und Abbauprozesse verlangsamen.

Daran schließt sich unweigerlich die Frage nach Methoden und Materialien zur Entfernung von Schmutzauflagerungen an. Dafür sollte neben Erfahrungswerten auch der aktuelle Forschungsstand zu Reinigungsverfahren geprüft werden. Welche aktuellen Innovationen erweitern die Palette unserer Optionen? So kann fallweise in komplexen Ausnahmefällen ein restauratorischer Ansatz sogar Schmutzauftrag erfordern (Abb. 10).

10 Sonderfall Patinierung mit künstlicher Verunreinigung als Teil eines professionellen Erhaltungskonzepts. Das Eichenholz eines Schapps wurde infolge eines Zimmerbrands nahezu vollständig verkohlt (untere Bildhälfte). Das gefestigte Schnitzwerk erhielt halbtransparente, getönte und pigmentierte Schichten, deren letzte zusätzlich mit Hausstaub in schwacher Bindung. Es handelt sich somit faktisch um eine Totalretusche zur Imitation von patiniertem Eichenholz (obere Bildhälfte), mit schwärzlichen Schmutzschichten in den Tiefen des Schnitzwerks und Staubauflage.



## 5.1 Reinigung – von der Hausarbeit zur Profession

„Geputzt“ wird und wurde immer. Insofern hat Reinigung eine lange, generationsübergreifende Vorgeschichte, welche sich durch einen fließenden Übergang von häuslichem Tun über die Hauswirtschaft zu akademischer Profession auszeichnet. Hierzu gibt es eine materialwissenschaftliche Historie, die zu thematisieren ist.

Schon die Sesshaftwerdung macht die Pflege der häuslichen Räume und deren Ausstattung erforderlich. In der höfischen und bürgerlichen Hauswirtschaft entwickelten sich Pflegezyklen aller Art für Einrichtungsgegenstände und Mobiliar. Zu diesem Zweck wurden im Laufe der Zeit Bücher über die „korrekte“ Form von Housekeeping<sup>15</sup> geschrieben, die als höfische und häusliche Anleitungen genutzt wurden und Empfehlungen enthielten, was für Materialien zu verwenden seien. Sie gelten heute in der Restaurierungswissenschaft als Zeitdokument und als Quelle.

Es wird auch zukünftig eine Aufgabe der Restaurierung bleiben, für Objekte, welche noch kein museales Sammlungsgut geworden sind, praktische Empfehlungen für schadensfreie Pflege im privaten Haushalt anzubieten.

Die ersten Schritte in Richtung der objektspezifischen Reinigung zeigen sich in den frühen Versuchen restauratorischer Professionalisierung der Pflege von Oberflächen, in wachsendem Umfang seit der Mitte des 19. Jahrhunderts.<sup>16</sup> Der Zuwachs an Materialkenntnis und chemischem Verständnis von Reinigungsprozessen führte allmählich zu fundierten Entscheidungsfindungen sowie zunehmend zu objektspezifischen Methoden und Materialien. Insbesondere Reinigungen an Raumausstattungen in der Denkmalpflege dokumentieren deren Fortschritt ebenso wie deren Risiken oder gar völliges Scheitern im Laufe dieses Prozesses.<sup>17</sup> Auch treten sie in Form von Schädlingsbekämpfungsmethoden in Erscheinung, welche zu einer komplexen Herausforderung der Restaurierungswissenschaft wurden.<sup>18</sup> Sie selbst wurden infolge ihrer Toxizität<sup>19</sup> – für heutige Maßstäbe – zu einem folgenreichen Schadensbild, damit zu einer Verunreinigung, welche wiederum vorrangig an Raumausstattungen in der Denkmalpflege und – berüchtigt – in ethnologischen Sammlungen auftritt.

Damit wird ein historischer „Reinigungs“versuch systematisch aus heutiger Perspektive selbst zu einer toxischen Verunreinigung.

## 5.2. Grundlagen und Anwendung moderner Reinigungsmethoden

Um Trennschärfe und Effizienz von Methoden und Rezepten zu evaluieren und zu optimieren, weitet die Konservierungswissenschaft den Horizont in die molekularen Dimensionen. Mit diesem Wissen verbessert sich das Verständnis von Reinigungsprozessen und hilft, die chemischen und physikalischen Charakteristika verschiedener Reinigungs- und Wechselwirkungen besser zu verstehen.<sup>20</sup>

Dadurch steht heutzutage eine große Bandbreite spezifizierter Reinigungsmethoden zur Verfügung. So führen zum Beispiel die überraschenden Qualitäten von Schäumen und Gelen in zahlreichen Anwendungen zu einer Optimierung von Reinigungsergebnissen.<sup>21</sup> Auch Lasertechnik hat nach langen Jahren der Skepsis ihren Platz als qualifiziertes Instrument in der Palette wissenschaftlich begründeter Reinigungsverfahren in der Holzrestaurierung eingenommen.

Für toxische Verschmutzung und Kontamination, zum Beispiel durch Holzschutzmittel, bietet die Restaurierung bislang keine Standardlösung. Viele der bisher angewandten Abreicherungsmethoden bergen bei nicht optimaler Anwendung ein Schadensrisiko für die Objekte oder sind schlichtweg nicht ausreichend effektiv. Diese Problematik bedarf weiterhin intensiver Forschung.<sup>22</sup>

Eine besondere Herausforderung in der Entwicklung neuer Methoden sind die großen Dimensionen von Objekten in der Denkmalpflege. Dort kann Praxistauglichkeit nur durch die Kombination naturwissenschaftlicher Forschung mit empirischen Ergebnissen gewährleistet werden. Große Formate und Mengen verlangen nach hocheffizienten Methoden und Geräten entsprechender Reichweite.

## 6. Schlusswort

Jede der aktuell verfügbaren methodischen Optionen und Techniken hat immer auch Implikationen und Konsequenzen für das Erscheinungsbild nach dem Eingriff (Abb. 11).

Insofern ist bei allen Schritten im Umgang mit Objekten vorausgehend die Frage zu reflektieren:

- Was sind unsere Absichten und welche Intentionen gehen unseren Maßnahmen und Eingriffen voraus?
- Welchem Aspekt ist Vorrang einzuräumen beim Umgang mit Schmutz?
- Welcher der konkurrierenden Werte begründet, welche Maßnahme wie zu gewichten ist?
- Was hat wann und warum den höheren Wert?

Um hierzu die klassischen Gegenpole zu nennen: Hat der Respekt vor der „Würde“ von Alterungsbildern einerseits mit ihren Flecken und Kratzern Priorität oder andererseits die visuelle Erlebbarkeit eines Kunstwerks in der makellosen Glätte seiner ursprünglichen künstlerischen Intention?

Es muss dabei bleiben: Es gibt kein objektivierbares Richtig oder Falsch.

Das Einfließen subjektiver Argumente aller Akteure ist Bedingung sowie unvermeidliches Schicksal allen restauratorischen Handelns und prägt vor allem die Behandlung der „äußersten Haut“ eines Objekts. Daher muss dieser Prozess der Entscheidungsfindung ins Bewusstsein gehoben und genau dokumentiert werden. Dies kann über Referenzflächen am Objekt und/oder in die textliche und visuelle Dokumentation sowie die Archivierung von Proben einfließen. So kann eine in Kunstharz eingebettete Probe

zur Primärquelle werden, weil sie zum einen Schichten dokumentiert, die am Objekt schon entfernt wurden, und zum anderen ästhetische Entscheidungen festhält, die im Zuge vorangegangener Restaurierungen getroffen wurden.

Vereinfachende Sätze wie „... war unansehnlich und ist daher zu entfernen“, vorgetragen im wissenschaftlichen Diskurs und in Publikationen, werden der Problemstellung sowie der stetig weiter voranschreitenden Professionalisierung unseres Berufsstands im Lichte der oben skizzierten Komplexität ganz offensichtlich nicht mehr gerecht.

Je genauer wir Bestandteile von Beschichtungen chemisch und instrumentell analysieren können, desto genauer kann zwischen der Abnahme von „Material am falschen Ort“ und der Abnahme von historischen Ebenen differenziert werden.

Doch auch innerhalb der historischen Schichten wird häufig eine Wertung unreflektiert vorgenommen. Hat eine pflegende Wachsschicht von 1760 an einem Schrank des Hochbarock einen höheren Zeugniswert als dieselbe Wachsrezeptur, aufgetragen um 1920? Ist die Erhaltungswürdigkeit der ersten Schicht höher als die der zweiten?

Insofern ergibt sich aus der vertieften Betrachtung der Sache selbst unvermeidlich eine Aufforderung zum differenzierten Handeln: Es ist unerlässlich, ein klares Restaurierungsziel zu entwickeln, bei dem die Reinigung integraler Bestandteil ist und nicht nur als Nebensächlichkeits missverstanden wird.

Dann wird die Befassung mit Schmutz zu einer wichtigen Grundlage von „Best Practice“ im konkreten Restaurierungsprojekt.



11 Gleichzeitig gängiges Alterungsbild und Grenzfall des Übergangs von Schmutz zu Patina: Eine Vielzahl von übersichtenden Pflegezyklen hat aufliegenden Schmutz gebunden und unzertrennlich mit deren Bindemitteln verwoben. Daraus resultiert eine spezifische, insbesondere auf horizontalen Flächen annähernd deckende Beschichtung. Hier wurde deren Erhalt und dementsprechend lediglich eine trockene Reinigung gewählt (Gregor Heinrich, Objektdokumentation FH Potsdam, 2022).

**Daniela Bruder**

LWL-Freilichtmuseum Detmold  
Krummes Haus  
32760 Detmold  
E-Mail: [daniela.bruder@lwl.org](mailto:daniela.bruder@lwl.org)

**Christian Huber**

Die Neue Sammlung - The Design Museum  
Türkenstraße 15  
80333 München  
E-Mail: [christian.huber@die-neue-sammlung.de](mailto:christian.huber@die-neue-sammlung.de)

**Harald Kühner**

Bramscher Straße 6  
49088 Osnabrück  
E-Mail: [info@kuehner-restaurierung.de](mailto:info@kuehner-restaurierung.de)

**Angelika Rauch**

Fachhochschule Potsdam  
Kiepenheuerallee 5  
14469 Potsdam  
E-Mail: [angelika.rauch@fh-potsdam.de](mailto:angelika.rauch@fh-potsdam.de)  
Tel.: 0331/5804223

**Eberhard Roller**

akanthus Restaurierungen GmbH  
Coppistraße 3  
16227 Eberswalde  
E-Mail: [akanthus-restaurierung@gmx.de](mailto:akanthus-restaurierung@gmx.de)

**Marisa Zengin**

Zillestr. 99a  
10585 Berlin  
E-Mail: [restaurierung@mail-zengin.de](mailto:restaurierung@mail-zengin.de)

**Anmerkungen**

- 1 SCHEIDEMANN 2006, S. 228
- 2 SCHEIDEMANN 2006, S. 229
- 3 RIEGL 1903 [1] u. EULER 2000 zitiert nach JÄGERS 2006, S. 14
- 4 MIKLIN-KNIEFAZ/RAUCH/HARMSEN 2001
- 5 Hierzu gibt es u. a. die Dissertation von Alexandra Schieweck (SCHIEWECK 2009) und eine große Reihe von Publikationen, die sich mit VOC beschäftigt.
- 6 JÄGERS 2006, S. 17
- 7 Hier seien die Publikationen von Hans Michaelsen (MICHAELSEN 1999 u. 2010) erwähnt, aus denen hervorgeht, dass sich die Beschäftigung mit der Reinigung von Holzobjekten im Laufe der Zeit gesellschaftsbedingt ändert und seit dem Ende des 19. Jahrhunderts gerne in Haushaltsratgebern Eingang findet.
- 8 Th. Bondonio, Le Bon goût à la campagne. In Congrès international de l'Enseignement ménager, 1908, I, S. 643, zitiert nach: Geneviève Heller, propre en ordre, Habitation et vie domestique 1850–1930: l'exemple autois, Lausanne 1979, S. 190, zitiert nach WEYER 2006, Fußnote 1, S. 7
- 9 BRACHERT 1985, S. 9–13
- 10 RIEGL 1903 [2] 1903, Sp. 17
- 11 EULER 2000 zitiert nach JÄGERS 2006, S. 14, Fußnote 9
- 12 SCHEIDEMANN 2006, S. 228
- 13 BRACHERT 1985, S. 11
- 14 S. Abb. [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:William\\_Hogarth\\_-\\_Time\\_smoking\\_a\\_picture.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:William_Hogarth_-_Time_smoking_a_picture.png)
- 15 u. a. SMITH 1886
- 16 u. a. MICHAELSEN 1999, S. 317–335, MICHAELSEN 2010, S. 16–42
- 17 VON MILLER 2015, WEIDNER ET AL. 1999
- 18 TELLO 2024
- 19 Man denke an Hylotox und Xylamon mit ihrer berüchtigten Wirkungsgeschichte.
- 20 u. a. ZUMBÜHL 2005, S. 253–262, ZUMBÜHL 2017, S. 252–257, S. 258–272, S. 273–275
- 21 u. a. KOPP 2024, SCHAD ET AL. 2024, STULIK ET AL. 2004, WALCH-VON MILLER 2003, WOLBERS 2010
- 22 vgl. UNGER ET AL. 2024 und Boaz Paz, unveröffentlichter Vortrag, 02.09.2022 Potsdam, VDR-Tagung: "Porentief rein?"

## Literatur

### BRACHERT 1985:

Thomas Brachert, Patina. Vom Nutzen und Nachteil der Restaurierung. München 1985, S. 9–13

### DUDENREDAKTION O. J.:

Dudenredaktion, o. J., „Schmutz“ auf Duden online, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Schmutz> [Zugriff: 05.03.2024]

### EULER 2000:

Bernd Euler, Alterswert Schmutz – Denkmalwert Schmutz. In: ÖRV (Hrsg.), Schmutz – Zeitdokument oder Schadensbild, 14. Tagung des Österreichischen Restauratorenverbandes, 14.–15. Juni 1999, Wien, ÖRV-Tagungsband, Bd. 07. Wien 2000, S. 7 ff.

### JÄGERS 2006:

Elisabeth Jägers, Schmutz als wesentlicher Bestandteil von Kunstwerken, In: Cornelia Weyer (Hrsg.), Oberflächenreinigung – Material und Methoden, Tagung des VDR, 29. September–04. Oktober 2003, Düsseldorf, VDR-Schriftenreihe 2. Stuttgart 2006, S. 12–26

### KOPP 2024:

Peter Kopp, Maßgeschneiderte Schäume für die Reinigung von gefassten und materialsichtigen Objekten der Kunst und Denkmalpflege. In: CONSERVA Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, Nr. 2, 2024, S. 49–63, <https://doi.org/10.57908/cons.2024.2.105823>

### MICHAELSEN 1999:

Hans Michaelsen, Wie den Meublen der Glanz zu erhalten ist. Historische Anweisungen zur Reinigung und Pflege von polierten Holzoberflächen zwischen 1700 und 1940. In: Kunsttechnologie und Konservierung, Heft 2, 1999, S. 317–335

### MICHAELSEN 2010:

Hans Michaelsen, „Reparirth und aufbolliert“. Quellenstudien zur Instandsetzung und Pflege von Holzausstattungen im 19. Jahrhundert. In: Hans Michaelsen (Hrsg.), Königliches Parkett in preußischen Schlössern. Geschichte, Erhaltung und Restaurierung begehrter Kunstwerke. Petersberg 2010, S. 16–42

### MIRKLIN-KNIEFAZ/RAUCH/HARMSSEN 2001:

Silvia Miklin-Kniefaz, Angelika Rauch und Anne Harmssen (Hrsg.), Schimmel – Gefahr für Mensch und Kulturgut durch Mikroorganismen, Tagung des VDR, 21.–23. Juni 2001, München, VDR Schriftenreihe, Bd. 1. Stuttgart 2004

**RIEGL 1903 [1]:** Alois Riegl, Der moderne Denkmalstatus. Sein Wesen und seine Entstehung. Wien 1903, S. 17, <https://diglib.tugraz.at-digitalisierte-Zeitschriften-und-Buecher> [Zugriff: 15.03.2024]

### RIEGL 1903 [2]:

Alois Riegl, Zur Frage der Restaurierung von Wandmalereien. In: Mitteilungen der K. K. Zentral-Kommission zur Erforschung und Erhaltung der Kunst- und Historischen Denkmale, 3. Folge, Bd. 2, 1903. Wien 1903, Sp. 14–31, Sp. 17, <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/artdok/volltexte/2011/1626> [Zugriff: 07.03.2024]

### SCHAD ET AL. 2024:

Tamara Schad, Heinrich Piening, Wiebke Drenckhan und Cosima Stubenrauch, Schäume für den Märchenkönig – Entwicklung und Erprobung selbst reinigender Schaumsysteme. In: CONSERVA Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, Nr. 2, 2024, S. 41–48, <https://doi.org/10.57908/cons.2024.2.105821>

### SCHEIDEMANN 2006:

Christian Scheidemann, Schmutz als wesentlicher Bestandteil von Kunstwerken. In: Cornelia Weyer (Hrsg.), Oberflächenreinigung – Material und Methoden, Tagung des VDR, 29. September–04. Oktober 2003, Düsseldorf, VDR-Schriftenreihe 2. Stuttgart 2006, S. 228–233

### SCHIEWECK 2009:

Alexandra Schieweck, Airborne Pollutants in Museum Showcases – Material emissions, influences, impact on artworks. Dissertation, Hochschule für Bildende Künste Dresden, Dresden 2009, [https://www.hfbk-dresden.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Lehre-Forschung/Studiengaenge/Restaurierung/Diss/Diss\\_Schieweck\\_2009.pdf](https://www.hfbk-dresden.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Lehre-Forschung/Studiengaenge/Restaurierung/Diss/Diss_Schieweck_2009.pdf) [Zugriff: 24.05.2024]

### SMITH 1886:

George Munro (Hrsg.), Mary Start Smith, The art of housekeeping. New York 1886

### STULIK ET AL. 2004:

Dusan Stulik, David Miller, Herant Khanjian, Narayan Khandekar, Richard Wolbers, Janice Carlson und W. Christian Peterse, Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art – The Residue Question. Los Angeles 2004

### TELLO 2022:

Helene Tello, Schädlingsbekämpfung in Museen. Wirkstoffe und Methoden am Beispiel des Ethnologischen Museums Berlin 1887–1936. Köln/Wien 2022

### UNGER ET AL. 2024:

Achim Unger, Sabrina Zoppke, Jörg Weber, Dekontamination biozidbelasteter Sammlungsobjekte aus Holz durch Fest-Flüssig-Extraktion mit organischen Lösemitteln. In: CONSERVA Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, Nr. 2, 2024, S. 87–104, <https://doi.org/10.57908/cons.2024.2.105829>

### VON MILLER 2015:

Katharina von Miller, Die Möbelrestaurierung in der Denkmalpflege. Entwicklung – Bewahrungsauftrag – Realität, Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 11. München 2015

### WALCH-VON MILLER 2003:

Katharina Walch-von Miller, Lösemittelgele und Seifen zur Trennung von Überzügen. Fallstudien und Erfahrungen aus der restauratorischen Praxis. München 2003

### WEIDNER ET AL. 1999:

Tina Weidner, Ulrike Eichner, Gerhard Heck, Achim Unger, Die „Harzlösung Sommerfeld“ – Ein Berliner Holzfestigungsmittel der dreißiger Jahre. In: Restaura, Heft 6, 1999, S. 453–459

### WEYER 2006:

Cornelia Weyer, Einleitungstext. In: Cornelia Weyer (Hrsg.), Oberflächenreinigung – Material und Methoden, Tagung des VDR, 29. September–04. Oktober 2003, Düsseldorf, VDR-Schriftenreihe 2. Stuttgart 2006. Stuttgart 2006, S. 7

### WOLBERS 2010:

Richard Wolbers, Die Reinigung von Malschichtoberflächen mit wässrigen Methoden. Zu Grundlagen und Praxis. London 2010

### ZUMBÜHL 2005:

Stefan Zumbühl, Illusion mit System – Das Lösemitteldreieck in der Praxis, Aspekte zur Charakterisierung der Wirkung von binären Lösemittelmischungen. In: Zeitschrift für Konservierung und Restaurierung, Bd. 19-2, 2005, S. 253–262

### ZUMBÜHL 2017:

Stefan Zumbühl, „Wie geht das?“ – Die Löslichkeit von Materialien, Teil I: Grundlagen der Lösemittelwirkung, intermolekulare Wechselwirkungen und Lösemittelleigenschaften. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Bd. 31-2, 2017, S. 252–257

Stefan Zumbühl, „Wie geht das?“ – Die Löslichkeit von Materialien, Teil II: Physikalische Grundlagen von Lösungsprozessen und Materiallöslichkeiten. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Bd. 31-2, 2017, S. 258–272

Stefan Zumbühl, „Wie geht das?“ – Die Löslichkeit von Materialien, Teil III: Lösemittel-evaluation und Löslichkeitstests. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Bd. 31-2, 2017, S. 273–275

## Abbildungsnachweis

### Abb. 1, 3, 5 und 6:

Harald Kühner, Kühner Restaurierung

### Abb. 2, 4, 8, 9, 10 und 11:

Eberhard Roller, akanthus Restaurierungen GmbH

### Abb. 7:

Daniela Bruder, LWL-Freilichtmuseum Detmold 2024

### Titel:

Detail aus Abb. 2

## Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# „Sauber, ordentlich und einheitlich“ Zum Anspruch der Auftraggeber und Behörden an Restaurierungen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts

Ein Exkurs durch die Archivakten ausgewählter Brandenburger Kirchenarchive

Anett Xenia Schulz



**„Sauber, ordentlich und einheitlich“**

**Zum Anspruch der Auftraggeber und Behörden an Restaurierungen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts  
Ein Exkurs durch die Archivakten ausgewählter Brandenburger Kirchenarchive**

**Anett Xenia Schulz**

Es geht im vorliegenden Beitrag um eine Quellenauswertung der Zielstellungen der Auftraggeber und Behörden bei der Durchführung von Restaurierungen in den Dorfkirchen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in der Provinz Brandenburg. Die wertenden Einschätzungen der Objekte, die Ansprüche und Wünsche der Beteiligten sind mitunter in den Archivakten gut ablesbar. Auftraggeber und Verwaltungsorgane besaßen einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Restaurierungen. In den ersten Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts wurde in der Provinz Brandenburg eine sehr große Anzahl an Kirchengebäuden und Ausstattungen verändernd restauriert, die Folgen dieser Eingriffe sind heute noch gut ablesbar. Mit verschiedenen Begriffen und Auffassungen, die vor einem Jahrhundert geprägt worden sind, wird heute gelegentlich argumentiert, wenn es um die Durchsetzung von Restaurierungszielen gegenüber den Restauratoren geht.

Die Kunst- und Kulturgegenstände, die uns heute zur Restaurierung überlassen werden, haben im Regelfall schon mehrere Bearbeitungen erfahren. Die heute sichtbaren Oberflächen dieser Objekte sind häufig das Ergebnis früherer Überarbeitungen.

Der folgende Beitrag betrachtet den Anspruch der Auftraggeber und der Behörden in der Denkmalpflege der Provinz Brandenburg an das Ziel von Restaurierungen, wie er in ausgewählten Akten verschiedener Archive des Landes Brandenburg ablesbar ist. Dazu gehören Quellen aus dem Evangelischen Landesarchiv (ELAB), dem Domstiftsarchiv Brandenburg (DStA), dem Brandenburgischen Landeshauptarchiv (BLHA) sowie dem Archiv des Brandenburgischen Landesamts und dem Archäologischen Landesmuseum (Archiv des BLDAM).

Im frühen 19. Jahrhundert galt der Fokus bei Renovierungen von Kirchenbauten in der Provinz Brandenburg vorrangig der baulichen Hülle des Baudenkmals. Das Interesse am Inventar hingegen entwickelte sich erst in der zweiten Jahrhunderthälfte, wie an den eingesehenen Archivakten gut ablesbar war. In den nachfolgenden Jahrzehnten des frühen 20. Jahrhunderts wurde in der Denkmalpflege der Provinz Brandenburg immer wieder die Frage diskutiert,

**„Clean, tidy and standardised“**

**The demands of clients and authorities on restorations in the first half of the 20th century**

**An excursion through the archive files of selected Brandenburg church archives**

*This article examines the objectives of the clients and the authorities when carrying out conservation work in village churches in the first half of the 20th century in the province of Brandenburg. The evaluative assessments of the objects, the demands and wishes of the clients and authorities are sometimes clearly visible in the archive files. Clients and authorities had a considerable influence on the results of conservation. In the first decades of the last century, a very large number of church buildings and furnishings were restored in the province of Brandenburg, the consequences of which are still clearly visible today. Various terms and concepts that were established a century ago are occasionally used today when it comes to asserting restoration objectives against the conservator.*

welchen Zustand die zu restaurierenden Kunst- und Kulturgegenstände nach den Renovierungen und Restaurierungen erhalten sollten. In der gesamten Zeit gab es stets mehrere verschiedene Ansichten, die unterschiedliche Ziele verfolgten.

**Zu den ästhetischen Bewertungen der Vorzustände**

Die Akten ermöglichen eine Analyse der Beschlüsse sowie der ästhetischen Bewertungen der Objekte in der damaligen Zeit. Es wird deutlich, dass Entscheidungen über das Ziel von Renovierungen und Restaurierungen nie allein von Einzelnen, sondern immer im Kollektiv, bestehend aus Pfarrer, Gemeindekirchenrat, Patronatsherren als Auftraggeber und Kirchenbauräten, Provinzialkonservatoren und Bauinspektoren als Behörden, getroffen wurden. Die Frage nach der „richtigen“ Restaurierung unterlag dabei einem steten Wandel, der jedoch keiner Chronologie folgte. Trotz unterschiedlicher Herangehensweisen der Auftraggeber und Behörden im betrachteten Zeitraum des letzten Viertels des 19. Jahrhunderts bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts gab es immer einen Konsens: Eine ausschließliche Abreinigung von aufliegender Schmutz sollte nie das alleinige Ziel einer Restaurierung sein. Es ging stets um sichtbare Veränderungen der zu restaurierenden Kunst- und Kultur-



1 Altar und Detail der Deckenbalken der Kirche in Roddan (Prignitz) nach der Überarbeitung durch den Dekorationsmaler Robert Sandfort 1938 (Zustand 2008)

gegenstände. Demzufolge galten Maßnahmen nur dann als gelungen, wenn der Vorzustand überformt und „überwunden“ war. Regelmäßig wurden Kunst- und Kulturgegenstände in den brandenburgischen Kirchen ästhetisch so schlecht bewertet, dass man von einer Restaurierung absah und die Objekte gänzlich entfernte. Für die ästhetischen Beurteilungen der sichtbaren Zustände wurden oftmals drastische Worte gewählt.

So befanden sich zum Zeitpunkt der Einsichtnahme in den kirchlichen Archivakten zahlreiche Besichtigungsberichte und Aktenvermerke des Leiters des kirchlichen Bauamts des Evangelischen Konsistoriums Brandenburg Curt Steinberg aus den 1920er und 1930er Jahren. Die von ihm verfassten Zustandsbeschreibungen der Innenräume und Ausstattungen sind selten rationale Aufzählungen. Seine an die Gemeindeglieder, Pfarrer, Patronatsherren, Bauinspektoren und Provinzialkonservatoren gerichteten Berichte der Vorzustände sind ausgeschmückt mit Worten: „modrig“, „vermodert“, „düster“, „dunkel“, „würdelos“ oder „Kellerluft“, um nur einige Beispiele zu nennen.<sup>1</sup> Besonders eindringlich wirkte die Beschreibung des Kirchenraums der Kirche in Stölln (Westhavelland) 1927 auf den Gemeindeglieder: „Anstrich und Bemalungen sind geschmacklos“<sup>2</sup>. Der Gemeindeglieder beauftragte danach trotz klammer Kassen den Dekorationsmaler Robert Sandfort mit einer Neuausmalung.

Die nachfolgenden Kirchenbauräte des Evangelischen Konsistoriums Brandenburg der 1950er und 1960er Jahre wählten ähnlich rigorose Worte in ihren Besichtigungsberichten. Besonders auffällig sind die Beschreibungen der Altäre, zum Beispiel der Altar in Klein Briesen (Potsdam-Mittelmark). Hier wird der Vorzustand des vollständig dunkelbraun angestrichenen Altars als „derart unwürdig und unbefriedigend“<sup>3</sup> beschrieben, „daß hier grundlegender Wandel geschaffen werden muß“.<sup>4</sup> Die empfohlenen Maßnahmen des zuständigen Kirchenbaurats Winfried Wendland im kirchlichen Bauamt des Evangelischen Konsistoriums Brandenburg beinhalteten folglich das vollständige Entfernen der alten Farbe durch Abbeizen.<sup>5</sup> Das „stark nachgedunkelte“<sup>6</sup> Altarbild wurde nicht restauriert, sondern entfernt und durch ein modernes Gemälde des Malers Karl Munzlinger ersetzt.

## Zum Maßstab der Medien

Restaurierungen und Renovierungen von kirchlichen Denkmalobjekten und ihrem Inventar wurden vielfach durch mediales Interesse begleitet. Die Artikel in der Tagespresse und die Aufsätze in verschiedensten Zeitschriften erreichten weite Bevölkerungsschichten. Die Schreiber kommentierten häufig die Ergebnisse „gelungener“ Restaurierungen mit den Worten „Schönheit“, „alte Schönheit“, „alter Glanz“ oder „zu alter Schönheit neu gestaltet“. Diese Interpretationen prägten im Ergebnis die Erwartungshaltungen der Endzustände nach Restaurierungen über einen langen Zeitraum. Man wünschte sich den „alten Glanz“<sup>7</sup>, wie es in einem Zeitungsartikel zur Einweihung der Kirche in Roddan in der Prignitz hieß: „Während die Festgemeinde in feierlicher Stille all die Schönheiten der Erneuerungen betrachtete, fing der helle freundliche Kirchenraum selbst an, ihr die Festpredigt zu halten durch den Mund des Predigers...“<sup>8</sup>

Das Ziel einer hellen freundlichen Oberfläche war erreicht und der Vorzustand, den man zuvor als „dunkel und schmutzig“<sup>9</sup> beschrieben hatte, überwunden. Auch in dieser Kirche beschrieb man das „nachgedunkelte“<sup>10</sup> Altarbild als wertlos (Abb. 1).

Die Restaurierungen und Renovierungen wurden oftmals mittels Spenden unterstützt. Das hieß dann häufig in den Medien: „unter tätiger Mitwirkung der Gemeinde“.<sup>11</sup> Es bestand stets ein reges Interesse der Kirchengemeinden und der Kommune am Ergebnis der Arbeiten. So feierte die Wochenzeitschrift „Ostmark-Illustrierte“ das Ergebnis der Restaurierung in der Kirche in Biegen (Oder-Spree): „Das Innere wirkt jetzt in seiner neuerstandenen Schönheit auf den Eintretenden als ein Erlebnis.“<sup>12</sup> In diesem Artikel wird auch gut sichtbar, wie durch die Berichterstattung in den Zeitungen und Zeitschriften die Wertigkeit der originalen, bauzeitlichen Fassung gegenüber den Übermalungen erhöht wird, in dem man nach den Freilegungsarbeiten an Wänden, Decke, Triumphbogen und Ausstattung die „ursprüngliche Schönheit und Kraft im Raum“<sup>13</sup> feierte (Abb. 2). Allerdings war der Zustand der freigelegten Flächen offensichtlich nicht ansprechend, denn es kam zu großzügigen Ergänzungen des als Restaurator tätigen Dekorationsmalers Robert Sandfort: „Jetzt nach der Ergänzung beschädigter Stellen wirkt dieser Anblick überraschend schön und künstlerisch.“<sup>14</sup>



2 Altar der Kirche in Biegen (Oder-Spree) nach der Freilegung und Überarbeitung durch den Dekorationsmaler Robert Sandfort (Zustand 2015)

### Zum Umgang mit früheren Restaurierungen

Im gesamten hier betrachteten Zeitraum stand man früheren Restaurierungen und Renovierungen stets sehr kritisch gegenüber. Als Beispiel wird an dieser Stelle die Zustandsbeschreibung des Inventars der Kirche in Massen (Niederlausitz) aus dem Jahr 1956 erwähnt: „Der Taufengel ist leider (vermutlich 1905) sehr wenig schön restauriert worden. Eine bessere Fassung wäre aber eventuell unter Anlehnung an vorhandene Farbreste unter dem jetzigen Anstrich, ohne allzu große Kosten herzustellen.“<sup>15</sup> Dabei entsprachen die Erwartungshaltungen an neue Farbfassungen nur selten den tatsächlichen Farbbefunden früherer Farbfassungen. Das kirchliche Bauamt lieferte 1956 einen Farbcatalog für den Taufengel in Massen, der nicht detailgetreu mit den Farbbefunden der früheren Fassungen übereinstimmte.

Das Ziel von Restaurierungen bestand häufig in Freilegungen der ersten Fassung. An dieser Stelle wird noch einmal die „Ostmark-Illustrierte“ zitiert, die die Restaurierung von Altar und Epitaph in der bereits erwähnten Kirche in Biegen beschreibt: „Beide gut erhaltene Bildwerke waren mit grauer Oelfarbe überstrichen gewesen und kamen nicht zur Geltung. Die Entfernung dieses Anstriches ermöglichte, die Reste der ursprünglichen Farben und Vergoldung festzustellen.“<sup>16</sup> Offensichtlich war das Ergebnis der Freilegung nicht zufriedenstellend, sodass „...unter der künstlerischen Hand [Robert] Sandforts ... beide Werke nach jahrhundertelanger Verborgenheit nun gleichfalls neu entstanden [sind].“<sup>17</sup> Das Belassen des Vorzustands und eine einfache oberflächliche Reinigung der grauen Ölfarbe ge-

nügte nicht. Es bestand die Überzeugung, die Ausstattungsstücke mit dem „erneuerten“ Erscheinungsbild qualitativ aufzuwerten.

Im 19. Jahrhundert vertretene Prinzipien, wie die Bevorzugung bestimmter historischer Epochen (dazu zählten u. a. Gotik und Barock) und das Anliegen der Auftraggeber und Behörden nach Vereinheitlichung des Innenraums samt Ausstattung entsprechend einer historischen Epoche, waren sehr langlebig und wirkten noch weit in das 20. Jahrhundert hinein. Zeitgenössische Erkenntnisse des 19. Jahrhunderts über materialsichtige, mittelalterliche Kunstwerke führten vielfach zu kompletten Freilegungen. Die Farbfassungen wurden dabei unter Einsatz von Laugen und Säuren rücksichtslos entfernt.

Hinweise über die verwendeten Lösungsmittel geben vereinzelt die Abrechnungen der Arbeitsleistungen. In den eingesehenen und oben aufgezählten Archiven sind selten Restaurierungsberichte erhalten. Eine Ausnahme bildet die Restaurierung des mittelalterlichen Schreins in der Kirche in Pritzen (Lausitz). Der Altar steht heute in der Auferstehungskirche in Spremberg (Lausitz). Der im zeitgenössischen Restaurierungsbericht verwendete Begriff „Reinigung“ umfasste 1933 die vollständige Abnahme der abblätternden Farbe. Alle Figuren wurden danach komplett neu gefasst.<sup>18</sup>

Bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts sind Angaben über die durchgeführten Maßnahmen und verwendeten Mittel häufiger in Briefen an den Provinzialkonservator oder Leiter des kirchlichen Bauamts erhalten. So zum Beispiel bei der Restaurierung des Taufgeräts in der Kirche in Buckow (Westhavelland), die 1963 durch den Restaurator und Maler Karl Munzlinger bearbeitet worden ist: „Der Taufstein war 1890 mit brauner Ölfarbe überstrichen, wurde von mir mit Salmiakgeist abgebeizt, nachgespachtelt und in Ölfarbe gefaßt und vergoldet.“<sup>19</sup> Karl Munzlinger beschrieb ebenfalls die Restaurierung des Altars, den er vom Staub reinigte, mit dem Holzschutzmittel „Hylotox“ tränkte und die alte, spröde gewordene Ölfarbe komplett mittels einer Klinge entfernte. Anschließend überstrich er den Altar mit weißer Ölfarbe und Öl-Latexfarbe<sup>20</sup>.

Über einen langen Zeitraum wurde als Richtlinie die Wiederherstellung des originalen Zustands verfolgt. Trotz des steten Wandels der Auffassungen über die Ästhetik des restaurierenden Objekts besaß die Freilegung des „Originals“, also der ersten vorgefundenen Fassung die höchste Priorität. Nur diese hatte in den Augen der Auftraggeber und Behörden die „beste Qualität“. Entsprachen die Freilegungen nicht diesem Bild, kam es zu Überarbeitungen der freigelegten Bereiche. So wurden 1922 die ersten Fassungen der Prinzipalstücke in der Kirche in Falkensee-Seegefeld (Havelland) durch den Architekten und Maler Wilhelm Blau freigelegt. Da die entdeckten Oberflächen nicht den Erwartungen von „Glanz und Schönheit“ entsprachen, wurden diese im Anschluss überfasst.<sup>21</sup> 1959 wiederholte der Restaurator Lothar Mannewitz diesen Prozess. Er entfernte die Übermalung von Wilhelm Blau. Das Ergebnis war in den Augen der Beteiligten unbefriedigend und die freigelegte Fassung wurde im Anschluss mit Öl-Latexfarbe bzw. Kasein-Latexfarbe entsprechend den Befunden überstrichen.<sup>22</sup>

### Zur Auffassung der Einheitlichkeit

Eine entscheidende Rolle spielte die von dem Provinzialkonservator und Leiter des kirchlichen Bauamts des Evangelischen Konsistoriums der Provinz Brandenburg Georg Büttner ab 1908 herausgegebene Zeitschrift „Die Dorfkirche“. Diese Zeitschrift war jedermann zugänglich und erschien im gesamten deutschsprachigen Raum Europas. Die einzelnen Ausgaben beschäftigten sich mit vielfältigen Themen des kirchlichen Lebens. Es gab in fast jeder Ausgabe Beiträge zur „würdevollen“ Gestaltung der Kircheninnenräume und ihrer Innenausstattung. Zu einem „würdevollen“ Umgang gehörte nun allerdings auch die regelmäßige Reinigung des Raums und seines Inventars mit entsprechenden Hinweisen. Neben Georg Büttner zählten weitere Konservatoren und Architekten zu den Autoren dieser Zeitschrift, die Texte zur Denkmalpflege und zum Umgang mit den Kunst- und Kulturobjekten verfassten. Nebenbei entwickelten sie theoretische Überlegungen zur Anerkennung ästhetischer Gleichwertigkeit von Objekten unterschiedlicher Zeitepochen, zu Fragen der reinen Konservierung.<sup>23</sup> Darüber hinaus waren die Konservatoren in den Denkmalbehörden nicht nur Beamte ihrer Dienststelle, sondern besaßen häufig Lehraufträge an der Technischen Hochschule, der späteren Technischen Universität Berlin oder der Kunstgewerbeschule, der späteren Vereinigten Staatsschule in Berlin. Die dort ausgebildeten Architekten, Bauingenieure und Dekorationsmaler wirkten nach ihrem Studium in Berlin im gesamten Deutschen Reich.

In der Restaurierungspraxis überwog lange Zeit eine Richtlinie der Einheitlichkeit, die ein Nebeneinander verschiedener Stile im Kirchenraum nicht duldete.<sup>24</sup> Das hatte häufig Überarbeitungen der Objekte mit ahistorischen Gestaltungen und eigenen künstlerischen Interpretationen der jeweiligen Kunstperiode durch die ausführenden Dekorationsmaler zur Folge.

## Resümee

Neben den ästhetisch schlecht bewerteten Inventarteilen wurden auch die Inventarien entsorgt, die nicht in diese Theorie der Einheitlichkeit passten. Im günstigsten Fall landeten sie auf dem Kirchenboden oder wurden in der Provinz Brandenburg an Museen verschenkt oder verkauft.

Als Argumentationshilfe diente der inflationäre Gebrauch des Worts „Würde“. Um ihre Maßstäbe zu formulieren, verwendeten die Provinzialkonservatoren und Bauräte gegenüber den Gemeindegemeinderäten, Pfarrern und Patronatsherren Begriffe wie „Würde“, „würdevolles Aussehen“, „würdiges Inventar“. Eine Restaurierung sollte dem Kunstobjekt „sein würdevolles Aussehen zurückgeben“, „ein würdevolles Aussehen verleihen“, „die alte Qualität zurückbringen“.<sup>25</sup>

Der in der Provinz Brandenburg tätige Provinzialkonservator Erich Blunck verwendete ab den 1920er Jahren in seinen Korrespondenzen mit den Gemeindegemeinderäten und Pfarrern des Öfteren den Begriff „künstlerische Innenmaßnahmen in der Kirche“, so wie in der Kirche in Roddan (Prignitz).<sup>26</sup> Hierbei bestand das Ziel der Restaurierung in der „Verbesserung“ des Erscheinungsbilds durch eigene künstlerische Zutaten des Dekorationsmalers. Besonders deutlich wird dieser Anspruch bei der Beschreibung des Vorzustands in der Kirche in Schmolde (Prignitz) durch den Provinzialkonservator Erich Blunck in seinem Besichtigungsbericht 1927: „Der jetzige Inneneindruck leidet unter der ausdruckslosen unkünstlerischen Farbgebung. Er ist durch eine einfache charaktervolle Ausmalung, die den Abschluß der Arbeiten bildet, wesentlich zu verbessern...“.<sup>27</sup> Die als Restauratoren tätigen Dekorationsmaler, darunter Robert Sandfort und Paul Thol, achteten einerseits den alten Bestand, führten jedoch weiterhin Freilegungen, Neuerungen und Ergänzungen durch, wobei sich Robert Sandfort mehrheitlich um deutlich abgegrenzte und identifizierbare, zeitgemäße neuzeitliche Formen bemühte, während Paul Thol mittelalterliches Formengut, darunter viel pflanzliches Dekor, neu erfand.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass lange eine Kontinuität der Auffassungen bezüglich der gewünschten Ergebnisse einer Restaurierung bestand, die trotz Generationenwechsel der Entscheidungsträger in der Sache nicht unterbrochen wurde. Nach 1945 wurden die in den Jahrzehnten zuvor vermittelten Ansprüche: „Sauberkeit, Ordentlichkeit und Einheitlichkeit“ weitergeführt. Die Vertreter des kirchlichen Bauamts favorisierten immer noch die Neugestaltung der Innenräume. Dabei wurden weitere Inventarien entsorgt. Ein Wandel der Restaurierungsauffassung unter Wertschätzung jedes Objekts und seines gewachsenen Zustands setzte im heutigen Land Brandenburg, das mehrere Jahrzehnte vor seiner Gründung Bestandteil der Provinz Brandenburg war, erst mit den neu entstandenen Ausbildungsstätten für Restauratoren an der Hochschule für Bildende Künste in Dresden 1974 und der Fachhochschule in Potsdam 1976 ein.

### Anett Xenia Schulz

Dipl.-Restauratorin  
Atelier für Restaurierungen  
Scharfenberger Straße 11  
13505 Berlin  
[altkunst@gmx.de](mailto:altkunst@gmx.de)

## Anmerkungen

- 1 Die verwendeten Worte liest man regelmäßig in vielen Aktenvermerken und Berichten.
- 2 DStA (Domstiftsarchiv) RH 173/164 – Besichtigungsbericht von Curt Steinberg vom 07.07.1927
- 3 ELAB 63/1942 (Evangelisches Landesarchiv), Besichtigungsbericht von Winfried Wendland vom 28.10.1954
- 4 ELAB 63/1942 (Evangelisches Landesarchiv), Besichtigungsbericht von Winfried Wendland vom 28.10.1954
- 5 ELAB 63/1942 (Evangelisches Landesarchiv), Besichtigungsbericht von Winfried Wendland vom 15.11.1954, Brief von Karl Munzlinger vom 10.07.1957
- 6 ELAB 63/1942 (Evangelisches Landesarchiv), Besichtigungsbericht von Winfried Wendland vom 15.11.1954
- 7 Archiv des BLDAM (Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum) Arbeitsakte des Provinzialkonservators Blunck 1938 und darin Ausschnitt eines unbezeichneten Zeitungsausschnitts von Blunck
- 8 Archiv des BLDAM (Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum) Arbeitsakte des Provinzialkonservators Blunck 1938 und darin Ausschnitt eines unbezeichneten Zeitungsausschnitts von Blunck
- 9 Archiv des BLDAM (Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum) Arbeitsakte des Provinzialkonservators Blunck 1938
- 10 Archiv des BLDAM (Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum) Arbeitsakte des Provinzialkonservators Blunck 1938
- 11 PFEIFFER 1911, S. 113
- 12 ELAB 14/16462 (Evangelisches Landesarchiv) ausgeschnittener Artikel der Ostmark-Illustrierten von 1935
- 13 ELAB 14/16462 (Evangelisches Landesarchiv) ausgeschnittener Artikel der Ostmark-Illustrierten von 1935
- 14 ELAB 14/16462 (Evangelisches Landesarchiv) ausgeschnittener Artikel der Ostmark-Illustrierten von 1935
- 15 ELAB 35/29449 (Evangelisches Landesarchiv), Besichtigungsbericht von Oberbaurat Naumann vom 03.09.1955
- 16 ELAB 14/16462 (Evangelisches Landesarchiv) ausgeschnittener Artikel der Ostmark-Illustrierten von 1935
- 17 ELAB 14/16462 (Evangelisches Landesarchiv) ausgeschnittener Artikel der Ostmark-Illustrierten von 1935
- 18 Archiv des BLDAM (Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege) PS 46, Abschrift des Berichts von Paul Thol vom 20.03.1933
- 19 ELAB 3.2/8 (Evangelisches Landesarchiv) Brief von Karl Munzlinger vom 10.07.1963
- 20 ELAB 3.2/8 (Evangelisches Landesarchiv) Brief von Karl Munzlinger vom 10.07.1963

- 21 ELAB 3.2./93 (Evangelisches Landesarchiv) Berichte GKR an das Konsistorium 1922
- 22 ELAB 3.2./93 (Evangelisches Landesarchiv) Bericht GKR an das Konsistorium vom 26. Januar 1959
- 23 SCHECK 1997, S. 23 ff.
- 24 SCHECK 1997, S. 23
- 25 Die verwendeten Worte liest man regelmäßig in vielen Aktenvermerken und Berichten.
- 26 Archiv BLDAM (Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum) Arbeitsakte des Provinzialkonservators Blunck Brief vom 24.10.1939 an den GKR
- 27 ELAB 14/12.088 (Evangelisches Landesarchiv), Bericht von Provinzialkonservator Blunck vom 18.08.1927

## Literatur

### PFEIFFER 1911:

Johannes (Pastor) Pfeiffer, Lennewitz, eine heimatliche Dorfkirche. In: Die Dorfkirche, IV. Jg. Berlin 1911

### SCHECK 1997:

Thomas Scheck, Denkmalpflege und Diktatur im Deutschen Reich zur Zeit des Nationalsozialismus. Berlin 1997

## Archivquellen

Archiv des Brandenburgischen Landesamts für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum (Archiv des BLDAM):  
Roddan – Arbeitsakte des Provinzialkonservators Blunck 1938  
Pritzen – PS 46

Domstiftsarchiv (DStA):  
RH 173/164

Evangelisches Landesarchiv (ELAB):  
ELAB 3.2/8  
ELAB 3.2./93  
ELAB 14/12.088  
ELAB 14/16462  
ELAB 35/29449  
ELAB 63/1942

## Abbildungsnachweis

### Abb. 1–2:

BLDAM, Fachreferat Restaurierung

### Titel:

Detail aus Abb. 2

## Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz  
CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# Reinigungs- und Pflegemittel für Möbel und Holzausstattungen vom 18. bis ins 21. Jahrhundert

Eine materialwissenschaftliche Betrachtung

Christine Fuchs



enn sie besteht aus den jekt so nöti  
und knappen Fetten und Oelen.

## Reinigungs- und Pflegemittel für Möbel und Holzausstattungen vom 18. bis ins 21. Jahrhundert Eine materialwissenschaftliche Betrachtung

Christine Fuchs

Der Beitrag erläutert die Wirkstoffgruppen von Reinigungs- und Pflegemitteln für beschichtete Holzoberflächen aus materialwissenschaftlicher Sicht. Die Komponenten historischer Rezepturen werden diesen Gruppen zugeordnet. Ergänzend wurden elf moderne Poliermittel, davon neun wasserbasierte Polierpasten und zwei Polierpulver, überblicksartig analytisch untersucht. Die Materialverwendungen spiegeln Marktbedingungen wider. Die natürliche Alterung von Holzbeschichtungen ist durch Reinigungs- und Pflegemittel in der Regel nicht zu beeinflussen. Handwerkliche Ausführungsqualitäten und Materialwahl bei Reinigungs- und Pflegemaßnahmen überlagern sich und sind nachträglich schwer zu differenzieren.

*Cleaning and care products for furniture and wooden furnishings from the 18th to the 21st century  
A materials science analysis*

*This article explains the active ingredient groups of cleaning and care products for wooden surfaces from a materials science perspective. The components of historical formulations are assigned to these groups. In addition, eleven modern polishing agents, including nine water-based polishing pastes and two polishing powders, were analysed in an overview. The use of materials reflects market conditions. The natural aging of wood coatings cannot generally be influenced by cleaning and care products. The quality of workmanship and choice of material for cleaning and care measures overlap and are difficult to differentiate retrospectively*

Die im Folgenden unternommene materialwissenschaftliche Systematisierung von Rezepturkomponenten in historischen Reinigungs- und Pflegemaßnahmen stellen komplexe chemische und physikalische Prozesse dar, für deren Erfolg Kenntnisse von chemischen und weiteren Eigenschaften der beteiligten Materialien von großem Nutzen sind. Wo es an naturwissenschaftlichen Untersuchungen und Modellen fehlt – bei tradierten und alltäglichen Prozessen häufig der Fall –, ist empirisch gewonnenes Erfahrungswissen umso bedeutender.

Jeder Praktiker weiß, wie sich Materialwahl, Mengenverhältnisse und Ausführungsqualität bei handwerklichen Tätigkeiten erfolgsentscheidend überlagern und im Ergebnis kaum voneinander zu trennen sind. Die Ausführungsqualität, die intuitiv viele Einflussfaktoren berücksichtigt und deshalb nur praktisch zu erlernen ist, verweigert sich oft theoretischen Beschreibungen und bleibt damit – ebenso wie präzise Mengenangaben – ein unbekannter Faktor in den Rezepturen.

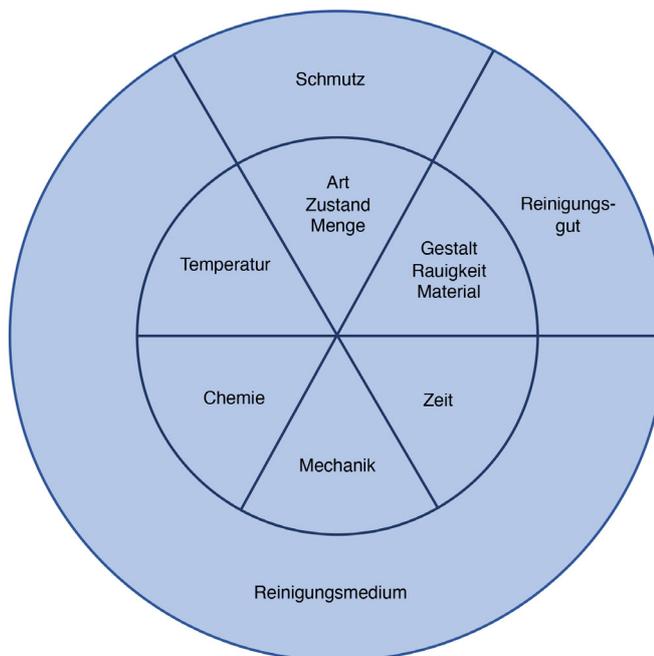
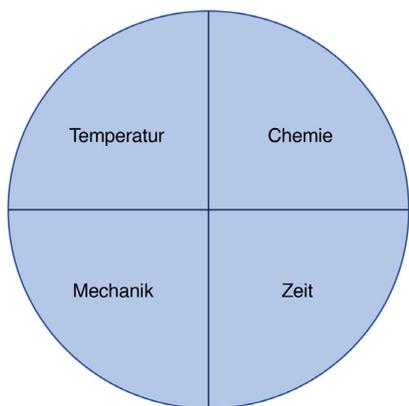
Alle Rezepturen und Produktzusammensetzungen spiegeln ebenso wie die Produktionsprozesse selbst Materialverfügbarkeiten und Marktbedingungen wider. Technologieänderungen können bis zu ihrer erfolgreichen Beherrschung Zeit benötigen. Bei den Holzbeschichtungen verursachten ungeeignete, traditionelle Reinigungs- und Pflegemaßnahmen im 19. Jahrhundert besonders auf Schellackpolituren gravierende Folgeschäden.<sup>1</sup>

Die Begriffe Reinigung und Pflege werden in historischen Rezepturen und bis heute bei etlichen Produktbeschreibungen nicht differenziert. Da sich dieser Beitrag lediglich auf die Funktionen von Inhaltsstoffen und deren Wirkstoffkomponenten beschränkt, wurde das Begriffspaar nachfolgend aus den zitierten Quellen übernommen und beibehalten.<sup>2</sup>

### Grundlagen von Reinigungsprozessen

Die Recherchen von Michaelsen<sup>3</sup> zur Reinigung und Pflege von Holzbeschichtungen betreffen einen Ausschnitt der umfangreichen Ratgeberliteratur zum Thema Reinigung inklusive Desinfektion und Fleckentfernung. Bis heute sind Reinigungsprozesse in vielen Lebensbereichen ein Nischenthema, das oft nur von Spezialisten verstanden wird. Darüber hinaus sind sie wegen ihrer Komplexität nicht einfach zu modellieren. Einführend sollen einige grundlegende Modelle vorgestellt werden. So entwickelte Sinner<sup>4</sup> in den 1950er Jahren den Sinnerschen Kreis, nach welchem das Reinigungsergebnis von den vier Faktoren Zeit, chemische Komponenten, mechanische Prozesse und Temperatur beeinflusst wird. Die Anteile der Faktoren sind in Grenzen variiert, was zur Prozessoptimierung genutzt werden kann. Wildbrett<sup>5</sup> erweitert den Kreis auf sechs Faktoren, indem er die vier Sinnerschen Faktoren dem Reinigungsmedium zuordnet und den Kreis um die Eigenschaften von Schmutz und Reinigungsgut ergänzt (Abb. 1).

Der Zeitablauf von Reinigungsprozessen wird für quellbare Verschmutzungen von Kricke<sup>6</sup> in die Zeitphasen Quellung, Abtrag und Zerfall eingeteilt.



1 Der Sinnersche Kreis von 1960 und seine Erweiterung durch Wildbrett 2006

Ein anschauliches Beispiel von Prozessmodifizierungen stellen die Empfehlungen zur Einsparung der Mangelware Seife vom „Kriegsausschuß für Öle und Fette“ im Ersten Weltkrieg dar. Seife<sup>7</sup> soll u. a. durch Nutzung von Bürsten, Bimsstein, Sand, Scheuergras (Zinnkraut, Ackerschachtelhalm), warmem Wasser und Zusätzen von Holz- und Zigarrenasche eingespart werden (Abb. 2).

**Beschichtungen, Verschmutzungen und Schäden auf Holzoberflächen**

Die üblichen Holzbeschichtungen im betrachteten Zeitraum bestehen aus Naturstoffen: trocknende Öle, Harze, Wachse und ihre Mischungen. Mit der Entwicklung der Kunstharze ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts fanden auch synthetische Polymere<sup>8</sup> den Weg in die Möbelindustrie.

Unter Schmutz werden verschiedene unerwünschte Substanzen in mehr oder weniger enger Verbindung mit den Oberflächenmaterialien verstanden. Hierzu gehört die große Gruppe der luftgetragenen Komponenten, die sich als „Staub“ ablagern und die aus vielfältigen Verbindungen sowohl organischer als auch anorganischer Natur einschließlich Kohlenstoff bestehen. Weitere Komponenten werden nutzungsabhängig eingetragen: Hautfett- und Proteinverschmutzungen durch Anfassen, Flecke durch im Haushalt verwendete Stoffe wie Wasser, Tinte, Lebensmittel, Rückstände aus Reinigungs- und Pflegemaßnahmen. Sehr hartnäckige Flecken entstehen durch Metallkorrosion in Kontakt mit Holzoberflächen.

Zu Verschmutzungen gesellen sich Schäden durch chemische Alterung der Beschichtungen und mechanische Beschädigungen von Beschichtung und Holzträger. Reinigungs- und Pflegemittel sollten einerseits Schmutz und Flecken entfernen und andererseits nicht entfernbare Schäden kaschieren.

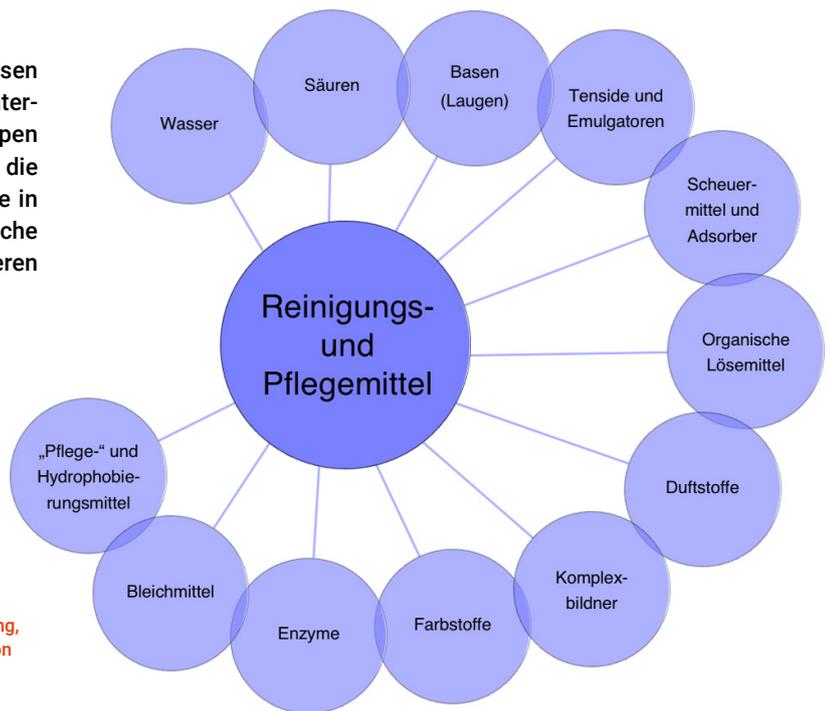


2 Aufruf zur Einsparung von Seife während des Ersten Weltkriegs mit Hinweisen zur Prozessoptimierung beim Waschen

### Inhaltsstoffe von Holzreinigungs- und Pflegemitteln des 18. bis 20. Jahrhunderts

Die Inhaltsstoffe von Reinigungs- und Pflegemitteln lassen sich in die in Abb. 3 aufgeführten Wirkstoffgruppen unterteilen, wobei einige Materialien auch mehreren Gruppen zugeordnet werden können.<sup>9</sup> Bei Naturprodukten kann die Zuordnung noch komplizierter werden, da Naturstoffe in der Regel Mehrstoffgemische darstellen, deren chemische Einordnung schnell sehr unübersichtlich wird oder deren Chemie nicht vollständig aufgeklärt ist.

Nachfolgend werden einzelne Wirkstoffe erläutert und historische Rezepturangaben jeweils zugeordnet.



3 Wirkstoffe in der Reinigung, ohne separate Aufzählung von Desinfektionsmitteln

#### Tenside und Emulgatoren (Detergenzien)

Tenside und Emulgatoren dienen der Herabsetzung von Grenzflächenspannungen und verbessern damit das Lösen von hydrophoben Verschmutzungen.

Saponine sind sekundäre Pflanzenstoffe aus der Gruppe der Isoprenoide (Terpenoide und Steroide). Sie liegen als Glykoside – Verbindung eines Zuckers mit einem Alkohol eines Nichtzuckers – vor und verfügen mit dem Zucker über einen hydrophilen und dem Isoprenoid über einen hydrophoben Teil. Sie wirken in Wasser schaumbildend und durch die Isoprenoide oft antibakteriell und antimykotisch. Chemisch gehören sie zu den nichtionischen Tensiden, somit zu den „milden“ (neutralen, nichtalkalischen) Reinigungsmitteln. Etliche Pflanzenteile enthalten so große Mengen, dass sie für Waschzwecke genutzt werden. In den historischen Rezepten werden Panamarinde („Seifenrinde“) und Zwiebel genannt, aber auch Kastanien, Efeublätter und viele Gemüsepflanzen enthalten Saponine. Wie Saponine wirken auch Seifen emulgierend. Unter Seifen versteht man im wörtlichen Sinn wasserlösliche Alkalisalze von Fettsäuren. Sie reagieren in Wasser basisch, sind aber milder als reine Basen. Das Fettsäure-Anion verfügt über einen emulgierend wirkenden hydrophilen und hydrophoben Teil.

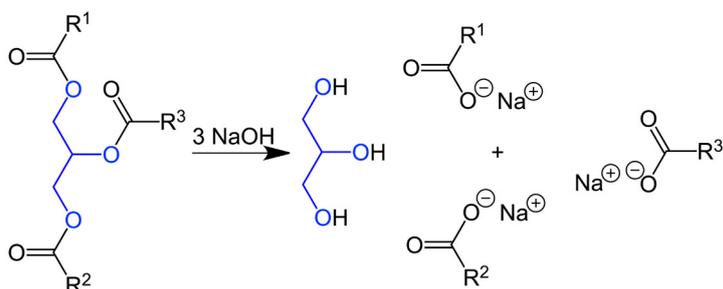
Die Seifenherstellung ist ein sehr altes Handwerk, Seifensieder waren bereits im Mittelalter in Zünften organisiert. Michaelsen führt nach Korth 1814 Milch in Form „frischer, fetter Kuhmilch“ als Reinigungs- und Poliermittel an.<sup>10</sup>

Milch ist selbst eine Emulsion, die den Emulgator Casein enthält. Sie ist dadurch in der Lage, hydrophobe Verschmutzungen zu lösen oder mindestens zu quellen. Zusätzlich ist Casein ein guter Calciumbinder, der Wasser weicher macht und dadurch die Lösung kalkhaltiger Verschmutzungen verbessert. Eine Neigung von Casein zur Aggregation<sup>11</sup> wie auch zur Schaumbildung<sup>12</sup> bindet zudem Schmutzpartikel und erleichtert ihre Entfernung. Sie enthält darüber hinaus Enzyme (s. Abschnitt Enzyme). Laut Michaelsen erzielt man mit ihr jedoch nur eine geringe Reinigungswirkung.<sup>13</sup>

## Basen

Basen setzen die Oberflächenspannung von Wasser herab und wirken als Netzmittel. Darüber hinaus spalten sie die Ester in Öle und Fette und machen Fette durch Verseifung wasserlöslich (Abb. 4). Der pH-Wert einer wässrigen Lösung hängt von der Art und Löslichkeit einer Base und ihrer Konzentration ab.

In den historischen Rezepten werden Soda, Pott- bzw. Pflanzenasche (Synonym), gebrannter Wiener Kalk (Calcium- und Magnesiumoxid<sup>14</sup>) und Ammoniaklösung genannt. Ammoniak ist darüber hinaus ein guter Komplexbildner, der Metallaminkomplexe bilden kann (s. Komplexbildner).



4 Lösung von Fetten und Ölen unter alkalischen Bedingungen, hier durch Natronlauge: Esterspaltung in wasserlösliche Fettsäuren und Glycerin 24

## Säuren

Säuren dienen der Entfernung von Kalkflecken durch Lösen von Carbonat und von Rostflecken durch Mobilisierung von Eisenionen in saurer Umgebung. Auch zur Entfernung von Tintenflecken in Holz werden 1925 durch Trott<sup>15</sup> Säuren wie Essig, verdünnte Salz- oder Schwefelsäure empfohlen, wobei unklar bleibt, welche Art von Tinte gemeint ist.

In den Rezepturen werden Essig, Sauerkraut (Milchsäure), verdünnte Salz-, Schwefel- und Salpetersäure sowie „Antimonbutter“/„Antimonchlorür“ (Antimon(III)-chlorid) genannt.<sup>16</sup> Während die Nennung starker Mineralsäuren verwundert, gibt Antimonbutter zunächst Rätsel auf. Antimon(III)-chlorid wird in Krünitz<sup>17</sup> als „kaustisches“ (ätzendes) Mittel bezeichnet, das früher u. a. in der Medizin verwendet wurde. Ätzend wirkt es durch seinen Zerfall in wässriger Lösung in Salzsäure und schwerlösliches, weißes Antimonoxychlorid. Der Vorteil dieses Umwegs erschließt sich heute kaum, vielleicht war Antimonbutter besser zu handhaben als flüssige Salzsäure.

## Scheuermittel, Adsorber

Scheuermittel unterstützen das mechanische Entfernen von Verschmutzungen und bei ausreichender Feinheit das Polieren. Adsorber binden gelöste Verschmutzungen. Häufig werden beide Funktionen gleichzeitig erfüllt.

Die Rezepturen führen Kreide, Wiener Kalk (Dolomit, ggf. auch gebrannt), „Spanischweiß“ (Kreide/Bleiweiß), feinen Ton, Weinstein, Kochsalz(brei), Bimsstein, Gips, Schachtelhalm, Fischhaut, Mehl und Stärke, Gummi Arabicum, Lappen aus Leinen und Wolle/Filz sowie Sägemehl auf. Chemisch gesehen handelt es sich um natürliche, silikathaltige Materialien (Ton, Bims, Tripel/Diatomeenerde, Schachtelhalm), natürliche und synthetische Carbonatverbindungen (Kreide, Wiener Kalk/Dolomit, „Spanischweiß“/Kreide-Bleiweiß-Gemisch) sowie organische Substanzen, die – abgesehen von den Textilfasern – in feiner Pulverform erhältlich sind.

## Pflege- und Hydrophobierungsmittel

Mit diesen Mitteln sollen Oberflächen durch Polieren und Kaschieren von Lackschäden optisch aufgewertet und wieder wasserabweisend gemacht werden. Es ist möglich, Risse in krepiereten Lacken damit vorübergehend zu überbrücken, ohne Schäden tatsächlich zu beheben. Sofern die Mittel nicht selbst flüssig oder weich genug zum Vertreiben sind, müssen sie gelöst oder emulgiert werden.

In den Rezepten werden folgende Wachse, Fette und Naturharze genannt: Bienen-, Carnauba-, Ceresinwachs, Paraffin, Stearin, diverse Pflanzenöle, Vaseline, Fettanteile der Milch, Kolophonium, Schellack sowie Kanadabalsam.<sup>18</sup>

Einige Naturstoffe sind anfällig für starke Alterungseffekte und können insofern kritische Komponenten in Pflegemitteln darstellen. Dazu gehören besonders trocknende Öle wie Leinöl, aber auch säurereiche Naturharze wie Kolophonium. Die Bildung schwer entfernbare Krusten kann in der Folge die Oberflächen verunstalten.

Als Faustregel für die chemische Stabilität gilt: Je weniger Doppelbindungen und polare Gruppen, desto geringer ist deren Anfälligkeit für chemische Veränderungen. Wachse und hier besonders Erdölprodukte bieten dabei die größte Stabilität.

### Organische Lösemittel

Organische Lösemittel dienen der Lösung hydrophober Verschmutzungen wie Fette, Harze oder Wachse und erleichtern dadurch auch die Entfernung organisch gebundener anorganischer Komponenten. Das ungewollte Anlösen von Beschichtungen muss dabei vermieden werden, was sich teilweise durch eine gezielte Auswahl der Lösemittel realisieren lässt.

In der Literatur werden Terpentinöl, Kanadabalsam (flüchtige Anteile), Petroleum, Benzin, Paraffinöl, Ethanol (auch aus Wein und Bier), Diethylether, Schwefelkohlenstoff und nicht trocknende Pflanzenöle aufgeführt.

Benzin, Ethanol („Geist“, Spiritus), Schwefelkohlenstoff und besonders Diethylether sind leicht flüchtig, Ethanol sogar wassermischbar. Diethylether, früher u. a. Narkosemittel, wird heute wegen der Bildung leicht entzündlicher Dampf-Luft-Gemische und besonders wegen der Bildung explosiver Peroxide nur noch für Spezialzwecke eingesetzt. Schwefelkohlenstoff, früher ein beliebtes Schädlingsbekämpfungsmittel, wird seit Jahrzehnten vor allem wegen seiner Toxizität nicht mehr verwendet.<sup>19</sup>

Schwer- und mittelflüchtige Lösemittel wirken für kurze Zeit wie Weichmacher und ggf. Hydrophobierungsmittel, verflüchtigen sich jedoch ähnlich wie Lampenöl oder Cyclohexan. Dazu gehören die Balsame Terpentinöl<sup>20</sup> und die ätherischen Öle (niedermolekulare Terpene) in Kanadabalsam und Petroleum.

### Farbstoffe

Farbstoffe in Pflegemitteln sollen der Auffrischung ausgebleicher Farben dienen. Genannt werden hauptsächlich Rotfarbstoffe, aber auch Gelb- und Brauntöne. Naturfarbstoffe gehören zum sekundären Pflanzenstoffwechsel und dienen als Lock- und Abwehrstoffe. Durch eine hohe Anzahl an Doppelbindungen sind sie chemisch reaktiv und nur bedingt stabil. In geringer Konzentration gelten einige u. a. als medizinisch geschätzte Wirkstoffe, in hoher Konzentration und Exposition können sie jedoch gesundheitsschädlich sein und einige werden heute als Gift eingestuft.

Rezepturbestandteil	Herkunft	Farbstoff(e)	Farbe
Alkannin (Alkana)	Mittelmeerraum, aus Wurzeln gewonnen	Alkannin (Naphthochinon), heute u.a. Lebensmittelfarbstoff	rot-violett
Cochenille <sup>1</sup>	Cochenilleschildlaus (Südamerika) verwandt: Kermeslaus (Spanien und Mittelmeerländer)	Karminsäure u.a. Kermessäure u.a.	rot
Drachenblut	Baumharz versch. Drachenbaumarten (Kanaren, Südindien, Borneo, Sumatra u.a.)	Dracorhodin, Dracorubin u.a.	rot
Gummigutt	Milchsaft (Gummi) von Bäumen der Gattung Garcinia, Siam und Kambodscha	β-Guttalacton, α-Gambogasäure (Xanthonfarbstoffe)	gelb
Safran	Griffel einer Krokusart, Mittelmeerraum, Österreich, Schweiz, Deutschland, Iran, Afghanistan, Kaschmir	Crocin (Carotinoid)	gelb
Zwiebel	einheimisch	Quercetin und Cyanidin (Anthocyane)	gelb bis braun
Guajakharz	tropisches/subtropisches Südamerika	Oxidationsprodukt der Guajakonsäure	braun <sup>2</sup> (blau)
Fuchsin	Industrieprodukt	Synthetischer Triphenylmethanfarbstoff, ab 1858 hergestellt	rot
„Anilinfarben“	Industrieprodukte	„Teerfarben“, ab 1856 hergestellt	diverse

Tabelle 1 Farbstoffe aus historischen Holzpflegemitteln

1 bis heute auch Lebensmittel- und Kosmetikfarbstoff

2 Braun lt. MICHAELSEN 2010, S. 21, nach Richard Bitmead, French Polisher, 1876

Bekannt ist Guajakharz für seinen blauen, durch Oxidation gebildeten und wenig stabilen Farbstoff. Braunfärbungen sind insofern entweder in Mischung mit roten Farbstoffen, Schellack Rubin, auf rötlichen Furnieren oder auch nach Entfärbung des blauen Farbstoffs denkbar. Guajakharz enthält außerdem eine relevante Menge an ätherischen Ölen.

## Duftstoffe

Duftstoffe dienen der Geruchsauffrischung. Aufgeführt sind in den Rezepturen die etherischen Öle von Lavendel, Zitronen und Kanadabalsam.

Etherische Öle gehören zu den flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs, volatile organic compounds) und bestehen chemisch überwiegend aus niedermolekularen Terpenoiden, können aber auch Aromaten enthalten. Sie gehören zum sekundären Pflanzenstoffwechsel und fungieren dort als Lock- oder Abwehrstoffe. Sie sind deshalb auch für ihre medizinischen und/oder antimikrobiellen Wirkungen bekannt. In höherer Dosierung haben sie häufig allergenes Potential, das gilt sowohl für Naturstoffe als auch für synthetische Produkte. Auf Beschichtungen wirken sie bei ausreichender Menge lösend bzw. erweichend.

## Komplexbildner

Komplexbildner werden zur Reduzierung von Verfärbungen durch korrodierte Metalle genutzt. Sie bilden mit den Metallionen chemisch stabilere Komplexe, die dadurch einfacher zu entfernen sind. Die historischen Rezepturen nennen Urin (Harnstoff) und Weinstein (Kaliumtartrat).<sup>21</sup> Heute stehen andere Komplexbildner wie Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) zur Verfügung.

## Enzyme

Wasserunlösliche Proteinverunreinigungen sind in der Reinigung eine besondere Herausforderung. Hier können proteinabbauende Enzyme helfen, die heute Bestandteil von Fleckentfernern sind und zeitweise sogar einigen Waschmitteln zugesetzt waren. In Rezepturen sind Milch und Zwiebeln als enzymhaltige Komponenten aufgeführt, wobei fraglich ist, ob deren Menge eine Wirkung erzeugen kann. Milch enthält 60 Enzyme<sup>22</sup>, darunter sowohl proteinabbauende Proteasen, fettabbauende Lipasen, „anilinfarbstoffreduzierende Reduktase“<sup>23</sup> als auch Wasserstoffperoxid produzierende (bleichende?) Lactoperoxidase<sup>24</sup>. Zwiebeln enthalten das Enzym Alliinase, das bei Gewebeverletzung den sekundären Pflanzenstoff Isoalliin spaltet, der zu diversen reaktiven Verbindungen weiterreagiert. Der Prozess ist für Geruch und Tränenreizung beim Zwiebelschneiden verantwortlich. Unklar bleibt auch, aufgrund welcher Wirkstoffe Milch und Zwiebeln in die historischen Rezepturen aufgenommen wurden und welche Wirkung mit ihnen überhaupt erzielbar war (s. auch Detergenzien).

## Bleichmittel

In den recherchierten historischen Rezepturen werden keine Bleichmittel explizit genannt, bei der Fleckentfernung sind sie jedoch unverzichtbar. Es gibt oxidierend und reduzierend wirkende Bleichmittel, etliche davon sind mindestens seit dem 19. Jahrhundert bekannt.

Einige Flecken sind mit vorab genannten Wirkstoffen entfernbar. So bleichen Flecken durch Pflanzenfarbstoffe zum Beispiel aus Lebensmitteln oftmals an der Sonne aus und sind teilweise alkaliempfindlich. Eisenflecken werden effektiv mit Säuren oder Komplexbildnern entfernt. Für die Ent-

fernung von Tintenflecken sind in den Rezepturen lediglich Säuren genannt (s. Säuren).<sup>25</sup>

Gemessen an der Vielzahl von Ratgebern für andere Haushaltsbereiche scheint Fleckentfernung keinen Schwerpunkt in der ausgewerteten Literatur darzustellen. So fehlen beispielsweise Hinweise auf Kleesalz/Oxalsäure und Eau de Javelle/Eau de Labarraque.

## Resümee historische Mittel

Die historischen Rezepturangaben der Reinigungs- und Pflegemittel für Holzoberflächen umfassen eine große Bandbreite an Wirkstoffen, die von milden pflanzlichen und tierischen Produkten fraglicher Wirksamkeit bis zu reaktiven Chemikalien reichen. Aus heutiger Sicht beschreiben diese Rezepte einen unter Aspekten des Umwelt-, Material- und Gesundheitsschutzes sehr unkritischen Umgang mit den aufgeführten Substanzen. Auch fehlen häufig präzise Mengenangaben, die für eine Interpretation relevant sein können, von nützlichen Hinweisen auf die Funktion einzelner Komponenten einmal abgesehen. Ebenfalls unberücksichtigt bleibt das Schadenspotential unzureichend entfernter Reinigungsmittel. Zu guter Letzt stellt sich die Frage, inwieweit die Schriftquellen Missverständnisse oder sogar Fehler enthalten.

## Moderne Pflege- und Poliermittel

Die Branche der Konservierung und Restaurierung steht regelmäßig vor dem Problem, dass aufgrund des kleinen Marktvolumens kaum spezifische Fertigprodukte gehandelt werden und deshalb zwischen Eigenansätzen und Industrieprodukten entschieden werden muss, wobei letztere in der Regel für andere Anwendungen entwickelt wurden. Industrieprodukte haben den Vorteil optimierter „Formulierungen“ mit sehr guten Verarbeitungseigenschaften für einen guten Preis. Von Nachteil ist, dass Rezepturen Betriebsgeheimnisse sind und deshalb einerseits nur deklarierungspflichtige oder werbewirksame Inhaltsstoffe offenlegen und sich andererseits bei gleichem Handelsnamen im Laufe der Zeit die Zusammensetzung ändern kann.

In Vorbereitung dieser Publikation wurden – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – Produktbeschreibungen, Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter einiger Holzpflegemittel für den Haus- und den professionellen Gebrauch gesichtet und insgesamt neun feine Schleif- und Polierpasten sowie zwei Polierpulver analytisch<sup>26</sup> untersucht.

Präzise Informationen enthalten vor allem die Technischen Merkblätter und die Sicherheitsdatenblätter. Letztere führen deklarierungspflichtige Gefahrstoffe, die besonders relevant für Lagerung und Transport großer Mengen sowie Unfälle und Katastrophen in diesem Zusammenhang sind, auf.<sup>27</sup> Aus diesen Quellen kann nicht auf die Gesamtrezeptur geschlossen werden, etliche Wirkstoffe sind jedoch identifizierbar.

### Haushalts- und Do-it-Yourself-Produkte

Die Inhaltsstoffe von üblichen Haushalts- und Do-It-Yourself-Produkten enthalten zwar nicht mehr so viele Gefahrstoffe wie die Produkte früherer Jahrhunderte, sind ihnen jedoch in den anderen Komponenten sehr ähnlich. Vor allem werden Mittel für beschichtete Hölzer einerseits und „offenporige“, durch Wachs oder Öl lediglich hydrophobierte Hölzer andererseits nicht durchgängig differenziert. Michalisen<sup>28</sup> schreibt zur Verwendung von Ölen auf den neuen und empfindlichen Schellackpolituren, die um die Wende vom 18. in das 19. Jahrhundert modern wurden<sup>29</sup>: „Das Abreiben mit eingefärbtem Leinöl oder Olivenöl ist nicht so mühevoll in der Anwendung wie die Wachspolitur und bringt schnelle Glanzerfolge, richtet aber viele Schäden an, wenn die Ölreste in die Politur eindringen, sie anlösen oder auf ihr verharzen, das Holz verfärben oder nicht trocknende schmutzbindende Ölfilme bilden.“

Alle Produkte sind gemäß heutiger Vorschriften<sup>30</sup> wasserbasiert rezeptiert. Bezüglich der flüssigen, hydrophoben Komponenten ist erkennbar, dass sie entweder Pflanzenö-

le, darunter auch trocknende, wie Leinöl und Holzöl, oder mittel- bis schwerflüchtige Kohlenwasserstoffgemische mit Kettenlängen von C9 bis C13 (bzw. C17) enthalten. Letztere stellen unpolare, mittel- bis schwerflüchtige Gemische dar, welche anlösend und weichmachend wirken, bevor sie sich allmählich verflüchtigen. Ihre Siedebereiche liegen zwischen ca. 170 °C und 220 °C. Nur unterhalb von 200 °C spricht man von Lösemitteln<sup>31</sup>, oberhalb davon von Hochsiedern.

Pflanzenöle können bei gleichzeitiger Anwesenheit von Alkalien – abhängig von den Mischungsverhältnissen – vollständig oder anteilig als Seife vorliegen. An weiteren Komponenten werden häufig etherische Öle als Duftstoffe genannt, selten auch Farbstoffe, Tenside und weitere Wirkstoffe.

Silikone wurden selten und dann nur im unteren Preissegment oder für Spezialanwendungen gefunden und waren dort deklariert. (Tab. 2)

### Produkt

### deklarierte Inhaltsstoffe<sup>1</sup>

Möbelpolitur für unbeschichtete und beschichtete Möbel

Alkohol, Leinöl, Schellack, Quelltone, Carnaubawachs, Bienenwachs, Lecithin, Trockenstoffe (kobaltfrei), Orangenöl, Eucalyptusöl, Arvenöl, Kiefernterpenalkohol (mit Mengenangaben für die etherischen Öle)

Isoaliphate, Leinöl, Leinöl-Standöl-Naturharzester, Leinöl-Standöl, Orangenöl<sup>2</sup>, dehydrierter Aminosucker und bleifreie Trockenstoffe (Mn, Zr)

Paraffinum Liquidum, Isopropyl Laurate, Parfum, Coumarin  
Naturwachs und Silikon-Glanzöl

Möbel-Regenerator

(u.a) Kohlenwasserstoffe, C10-C13, n-Alkane, iso-Alkane, cyclisch, < 2% Aromaten, kein Silikonöl

Möbelpflegeöl für offenporige Holzoberflächen

Leinöl, Holzöl-Leinölverkochung, Ricinenöl-Kolophoniumharzverkochung, Mikrowachs<sup>3</sup>, Quellton, Mangan- und Calcium-Trockner, Antioxidans

auf der Basis von natürlichen und pflanzlichen Ölen hergestellt und enthält u.a. natürliches Teebaumöl<sup>4</sup>

Holzboden-Reinigung und Pflege

Wasser, jeweils unter 5% Duftstoffe, andere, nichtionische Tenside, Seife

Bodenpflege

Wasser, Orangenöl, Alkohol, Leinöl, Carnaubawachs, Bienenwachs, Dammar, Eucalyptusöl, Rosmarinöl, Xanthan, Pottasche

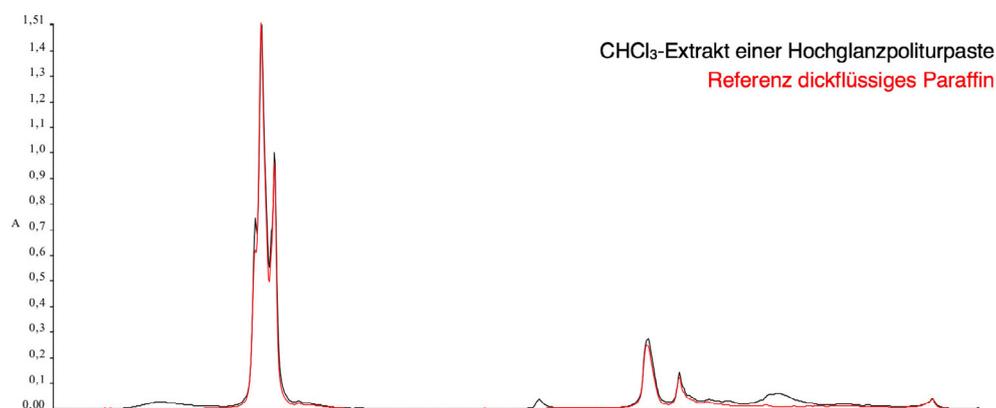
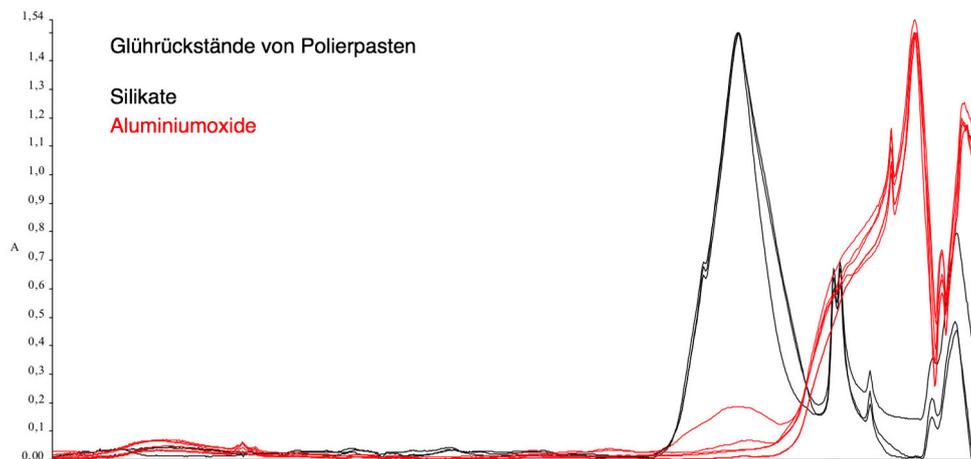
Tabelle 2 Inhaltsstoffe von Haushalts- und DIY-Holzpflegeprodukten

1 Die Angaben beruhen auf einer online-Recherche, ohne dass hier Produktamen genannt werden sollen und ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

2 Limonen (Duftstoff, etherisches Öl, ein flüchtiges Monoterpen mit biozider Wirkung)

3 hochschmelzende Paraffine mit Kettenlängen bis zu C75 und Schmelzpunkten zwischen 70 und 80 °C

4 Etherisches Öl, bestehend aus einer komplexen Mischung an Terpenoiden, gewonnen aus Pflanzen der Teebaum-Gattungen



5a und 5b  
Ausgewählte IR-spektroskopische  
Analyseergebnisse

### Polierpasten für Spezialanwendungen

Es wurden insgesamt elf Produkte für Lackpolituren – nicht nur für Holzoberflächen – nach einer Trocknungsphase überblicksartig analytisch untersucht, darunter neun Polierpasten und zwei Polierpulver. Der Unterschied zu Polier- und Pflegemitteln für andere Materialgruppen (Autolacke, Glas- und Plastikflächen) und bezüglich der Pflegekomponenten selbst zu Lederpflegemitteln scheint gering zu sein.

Alle Pasten enthielten sehr feine, weiße, mineralische Schleifmittel. In vier Produkten, darunter ältere Gebinde, wurden Silikate (Ton o. ä.) nachgewiesen, in den anderen Aluminiumoxid (wohl Poliertonerde). Tripel und Wiener Kalk wurden nicht gefunden. Bei den beiden Polierpulvern handelte es sich einerseits um ein graues, deutlich eisenhaltiges Alumosilikat (Ton) und andererseits überraschenderweise um reines Zinnoxid<sup>32</sup> (Abb. 5).

Die Pasten waren, wie die Haushaltsprodukte, auf Wasserbasis emulgiert. An organischen Komponenten wurden nach der Trocknung wachsähnliche, aber auch andere Verbindungen<sup>33</sup> gefunden. Ein Hersteller hatte ein Naturwachs in der Rezeptur, ein anderer Hersteller deklariert dickflüssiges Paraffin (Vaseline), bei wieder anderen zeigen sich möglicherweise „nur“ Tenside oder Verdicker. Natürliche Fettsäureester scheinen innerhalb von eineinhalb Jahren an der Luft nachweisbar zu oxidieren. Wie bei den Haus-

haltsprodukten werden häufig mittelflüchtige Kohlenwasserstoffe mit Kettenlängen von C9 bis C13 deklariert. Einige Produkte weisen unverarbeitet leicht basische pH-Werte auf, deren Herkunft mit der bisherigen Analytik nicht erklärt werden konnte. Teilweise waren Duftstoffe enthalten.<sup>34</sup>

Hinweise auf Silikonverbindungen fanden sich mit den eingesetzten Methoden nicht.

Die heutigen Anforderungen an Gesundheits- und Umweltschutz werden mit diesen Inhaltsstoffen gut erfüllt. Ein Risiko in der Anwendung stellen u. a. nicht abpolierte Rückstände in Vertiefungen dar, teilweise wird das Abwischen mit einem feuchten Tuch empfohlen. Darüber hinaus müssen Beschichtungen die Poliermittel tolerieren. Grenzen liegen u. a. bei diversen Verfärbungen durch äußere Verunreinigungen wie Tinte und Metalloxidationsprodukte, die ein anderes Herangehen mit anderen Mitteln erfordern.

Dieser Beitrag beschränkt sich darauf, die Wirkstoffe von Reinigungs- und Pflegemitteln in historischen Rezepturen und – soweit erkennbar – in einigen heute gehandelten Fertigprodukten aus materialwissenschaftlicher Sicht zu interpretieren. Es bestand weder ein Anspruch auf Vollständigkeit noch auf eine umfangreiche Berücksichtigung praktischer Aspekte.

## Zusammenfassung

Die von Hans Michaelson 1999 und 2010 aufgeführten Rezepte zeigen eine große Bandbreite an Wirkstoffen, die von Komponenten mit geringer oder zweifelhafter Wirksamkeit bis zu aggressiven Chemikalien reicht und die ohne Gefahrenhinweise erwähnt werden. Andere, darunter beliebte Wirkstoffe, blieben wiederum unerwähnt.

Darüber hinaus wurden Inhaltsstoffe einiger moderner Holzreinigungs- und Holzpflegemittel recherchiert. Heutige Industrieprodukte sind durchgängig wasserbasiert und kommen ohne Gefahrstoffe in gesundheitsgefährdenden Mengen aus, enthalten jedoch im Haushaltsbereich häufig Pflanzenöle, teilweise ohne zwischen verschiedenen Oberflächenqualitäten zu differenzieren. Vereinzelt sind Silikone deklariert.

Im Rahmen einer Überblicksanalytik wurden einige Poliermittel – Pasten und Pulver – untersucht. Die Produkte waren oft sehr allgemein für die Reinigung und Politur empfindlicher Oberflächen konzipiert und sollten vollständig abpoliert oder feucht abgewischt werden. Die Eigenfarben der getrockneten Polierpasten reichten von strahlendem Weiß und Rosa über blasses Beige bis zu hellem Braun. In allen neun untersuchten Polierpasten wurden feine mineralische Poliermittel gefunden, bei denen es sich einerseits um Silikate und andererseits um Aluminiumoxid handelte. Darüber hinaus waren wachsähnliche Komponenten enthalten, darunter ein Naturwachs und ein vaselineähnliches Industrieprodukt, teilweise blieben sie unidentifiziert. Häufig sind mittelflüchtige „Lösemittel“ deklariert. In zwei untersuchten Polierpulvern wurde einmal graues, eisenreiches Silikat und einmal weißes Zinnoxid gefunden.

Produktzusammensetzungen erscheinen nach heutigem Wissensstand und bei sachgerechter Anwendung hinsichtlich des Umwelt- und Gesundheitsschutzes unbedenklich. Bei wachsähnlichen Komponenten sind Erdölprodukte messbar weniger oxidationsanfällig. Silikone waren in den untersuchten Produkten nicht enthalten, wurden jedoch in wenigen anderen Produkten – im unteren Preissegment oder für Spezialanwendungen – deklariert.

Bezüglich Materialschutz ist zu berücksichtigen, dass die natürliche Alterung besonders von Naturstoffen<sup>35</sup> durch Reinigungs- und Pflegemittel nicht aufzuhalten oder umzukehren ist, selbst wenn Schmutz entfernt und Risse durch wachsähnliche Komponenten oder mittel- bis schwerflüchtige Lösemittel kaschiert werden und die Oberfläche wieder eine Politur erhält. Dünne, hochpolierte Schellack-Ballenpolituren reagieren besonders empfindlich auf Reinigungs- und Pflegemittel.<sup>36</sup>

Der Einfluss der Ausführungsqualität und weiterer Faktoren auf das Arbeitsergebnis kann den der Rezepturkomponenten selbst erheblich überlagern, ohne nachträglich messbar zu sein.

## Danksagung

Mein Dank gilt Angelika Rauch, Jörg Weber, Carola Klinzmann, Birgit Spieß, Ulrike Stelzer und Grit Broschke für ihre Anregungen und die Bereitstellung der modernen Poliermittel sowie Marisa Zengin und Eberhard Roller für konstruktives Korrekturlesen. Jens Bartoll danke ich für die RFA-Messungen und für viele fachliche Hinweise und Diskussionen.

### Christine Fuchs

Dipl.-Chemikerin  
 Fachhochschule Potsdam  
 Kiepenheuerallee 5  
 14469 Potsdam  
[christine.fuchs@fh-potsdam.de](mailto:christine.fuchs@fh-potsdam.de)

## Anmerkungen

- 1 MICHAELSEN 2010, S. 19–21
- 2 Aus chemischer Sicht sind die Grenzen zwischen Reinigung und ‚Pflege‘ bei einigen Wirkstoffen fließend. Eine Differenzierung ist nicht Thema dieses Beitrags.
- 3 MICHAELSEN 1999, MICHAELSEN 2010
- 4 SINNER 1960
- 5 WILDBRETT 2006, S. 94
- 6 KRICKE 2016, S. 8
- 7 [https://de.wikisource.org/wiki/Spare\\_Seife!#/media/Datei:Spare\\_seife\\_aber\\_wie.jpg](https://de.wikisource.org/wiki/Spare_Seife!#/media/Datei:Spare_seife_aber_wie.jpg)  
Mit Seife waren alkalische Tenside in Form von Kern- und Schmierseife gemeint. Es mangelte damals dramatisch an zuvor importierten Fetten und Ölen und die Überwindung der auch „Fettlücke“ genannten Mangelsituation dauerte in Deutschland bis nach dem Zweiten Weltkrieg an. ZIEGELMAYER 1936, S. 19 und REITH 2007, S. 404
- 8 Celluloselacke, Alkydharze, zweikomponentige Polyester, Acrylate, Polyurethane u. a., häufig in Mischung untereinander und/oder mit Naturstoffen
- 9 Reinigung ist eng verbunden mit Desinfektion und Hygiene. Auf die separate Nennung von Desinfektionsmitteln wurde verzichtet, da das Thema hier nicht im Vordergrund steht. Nichtsdestotrotz haben etliche der genannten Wirkstoffe auch explizite antimikrobielle Eigenschaften, so Duftstoffe, Farbstoffe, Bleichmittel, Säuren und Laugen, organische Lösemittel, Enzyme. Viele spezielle Wirkstoffe sind aus der (Textil)Reinigung und der Medizin bekannt und finden sich in der Literatur der Apotheker und Drogisten. Vorrangig von ihnen wurden bis in das 20. Jahrhundert Chemikalien und auch frisch hergestellte Gemische bezogen.
- 10 MICHAELSEN 2010, S. 19
- 11 Casein kann starke Bindungen ausbilden und wurde auch als Leim, Bindemittel und Festiger verwendet.
- 12 BORCHERDING 2004, S. 24 ff.
- 13 MICHAELSEN 2010, S. 19
- 14 Je nach Dauer und Temperatur des Brennvorgangs auch in Mischung mit dem Ausgangsstoff Dolomit (s. Scheuermittel)
- 15 TROTT 1925, zitiert in MICHAELSEN 1999, S. 333
- 16 Frischmilch enthält ebenfalls mehrere Säuren, jedoch in zu geringer Konzentration (pH-Werte liegen um 6,5).
- 17 KRÜNITZ 1833, Band 158, S. 341–342, Stichwort Spießglanzbutter
- 18 Kanadabalsam enthält flüchtige und nichtflüchtige Terpene, die niedermolekularen flüchtigen fungieren als Lösemittel und Weichmacher.
- 19 CMR (cancerogen, mutagen, reproduktionstoxisch) Verdachtsstoff, potenzieller endokriner Disruptor (hormonähnliche Wirkung)
- 20 Dieses kann klebrige Rückstände durch geringer flüchtige Terpenoide oder Weiterreaktionen hinterlassen.
- 21 Die gleiche Wirkung hat das ähnliche Seignettesalz, Natriumkaliumtartrat.
- 22 MAX-RUBNER-INSTITUT 2014, S. 4
- 23 BUCHHEISTER/OTTERSBACK 1922
- 24 MAX-RUBNER-INSTITUT 2014, S. 4
- 25 Die Entfernung von Tintenflecken ist ein eigenes Thema, da es viele verschiedene Tinten gibt. Einen guten Überblick über das Thema Entfernung von Tintenflecken geben BUCHHEISTER/OTTERSBACK 1922, S. 476 und RÖMPP 1992, S. 1377–1378
- 26 mikrochemisch, IR-spektroskopisch und mittels Röntgenfluoreszenz
- 27 Sicherheitsdatenblätter führen lediglich deklarierungspflichtige Inhaltsstoffe als relevante Angaben für Lagerung und Transport. Hier sind CAS-Nummern aufgeführt (Chemical Abstract Service Registry Number) – eine Registriernummer des Chemical Abstract Service der American Chemical Society – eindeutige, numerische Kennzahlen für chemische Einzelsubstanzen und etliche Gemische, unter denen Informationen zu den Substanzen abgelegt sind. Teilweise lässt sich aus den CAS-Nummern auf Wirkstoffe schließen. Informationen zu Gefahrstoffen sind auch bei der europäischen European Chemicals Agency ECHA erhältlich: <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals>
- 28 MICHAELSEN 2010, S. 19
- 29 Zumbühl schreibt nach umfangreichen Recherchen zu Schellack in Möbellacken: “While in the 17th century it [shellac] was limited to luxury goods such as aventurine lacquers and chinoiserie, in the middle of the 18th century it also became established as a transparent wood surface.” ZUMBÜHL 2023, S. 9
- 30 „Lösemittelverordnung“ von 2001: Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel - 31. BImSchV, Ländergesetzgebung zur Umsetzung der EU-Richtlinie EG/13/99 zur Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC)
- 31 Definition nach Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 610, <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-610.html>, S. 2
- 32 Zinnoxid wird – teilweise neben Talk und Bimsstein – als Poliermittel für die Nagelpflege genannt, BUCHHEISTER/OTTERSBACK 1922, S. 249–250
- 33 Dies war allein IR-spektroskopisch nicht näher aufzuklären. Industrieprodukte sind anzunehmen. Geringe Harz- und/oder Ölanteile und Komponenten aus Hilfsmitteln können überlagert sein.
- 34 Es ergeben sich etliche Hinweise auf Polyethylenglykolether als synthetische nichtionische Tenside, die es sowohl in flüssiger als auch in fester, wachsähnlicher Konsistenz gibt. In Gemischen sind sie jedoch allein IR-spektroskopisch schwer eindeutig nachzuweisen. Deklarierungspflichtige Topfkonservierer sind den Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen, i. d. R. werden Isothiazolinone verwendet.
- 35 Alterungsprozesse sind hauptsächlich Autooxidationen, oxidative radikalische Kettenreaktionen (DIEMANN 2009, S. 34), die sich bei Dunkelheit und Kälte allenfalls verlangsamen, jedoch nicht stoppen lassen. Sie äußern sich neben Vergilbungen besonders in Versprödungen und Rissbildungen („Krepieren“). Die Endprodukte des vollständigen Abbaus organischer Substanzen sind Kohlendioxid und Wasser, dies gilt – mit unterschiedlicher Geschwindigkeit – für alle organischen Materialien. „Regenieren“ – sowohl im Sinne von optischem Kaschieren durch Ausfüllen von Rissen als auch durch echtes Anlösen der Beschichtung – lässt insofern nur temporäre Erfolge erwarten.
- 36 U. a. Grit Broschke, mündliche Mitteilung 2024  
Hochpolierte Schellackpolituren können auch durch heutige Reinigungs- und Pflegemittel Glanzverluste erleiden.

## Literatur

### BUCHHEISTER/OTTERSBUCH 1922:

G. H. Buchheister, Georg Ottersbach, Vorschriftenbuch für Drogisten. Berlin 1922

### BORCHERDING 2004:

Katja Borchering, Untersuchungen zur Charakterisierung der Makro- und Mikrostruktur von Milchschaäumen, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 2004, [https://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation\\_derivate\\_00001305/d1305.pdf](https://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00001305/d1305.pdf), [Zugriff: 24.3.2024]

### DIETEMANN ET AL. 2009:

Patrick Dietemann, Michael J. Edelmann, Catherine Higgitt, Moritz Kälin, Richard Knochenmuss, Renato Zenobi, Aging and yellowing of triterpenoid resin varnishes – Influence of aging conditions and resin composition. In: Journal of Cultural Heritage, Bd. 10, 2009, S. 30–40, [https://www.researchgate.net/publication/228478931\\_Aging\\_and\\_yellowing\\_of\\_triterpenoid\\_resin\\_varnishes-Influence\\_of\\_aging\\_conditions\\_and\\_resin\\_composition#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/228478931_Aging_and_yellowing_of_triterpenoid_resin_varnishes-Influence_of_aging_conditions_and_resin_composition#fullTextFileContent), accessed Mar 05 2024

### KRICKE 2016:

Sebastian Kricke, Validierung eines Prozessmodells für die Strahlreinigung anhand zweier stärkebasierter Verschmutzungen, Diplomarbeit an der TU Dresden 2016, <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-372288> [Zugriff: 24.3.2024]

### KRÜNITZ 1833:

D. Johann Georg Krünitz, Oeconomische Encyclopädie, Berlin 1773–1858, <https://www.kruenitz.uni-trier.de/> [Zugriff: 24.3.2024]

### MAX RUBNER-INSTITUT 2014:

Max Rubner-Institut, Ernährungsphysiologische Bewertung von Milch und Milchprodukten und ihren Inhaltsstoffen, Bericht für das Kompetenzzentrum für Ernährung, Bayern November 2014, <https://www.mri.bund.de/fileadmin/MRI/News/Dateien/Ernaehrungsphysiolog-Bewertung-Milch-Milchprodukte.pdf> [Zugriff: 24.3.2024]

### MICHAELSEN 1999:

Hans Michaelsen, Wie den Meubeln der Glanz zu erhalten ist, Historische Anweisungen zur Reinigung und Pflege von polierten Holzoberflächen zwischen 1700 und 1940. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jg. 13, Heft 2, 1999, S. 317–336

### MICHAELSEN 2010:

Hans Michaelsen, „Reparirh und aufbolliert“, Quellenstudien zur Instandsetzung und Pflege von Holzausstattungen im 19. Jahrhundert. In: Hans Michaelsen (Hrsg.), Königliches Parkett in preußischen Schlössern. Geschichte, Erhaltung und Restaurierung begehbarer Kunstwerke. Petersberg 2010, S. 16-42

**REITH 2007:** Reinhold Reith, „Hurra die Butter ist alle!“ – „Fettlücke“ und „Eiweißlücke“ im Dritten Reich. In: Michael Pammer, Herta Neiß, Michael John (Hrsg.): Erfahrung der Moderne. Festschrift für Roman Sandgruber zum 60. Geburtstag. Stuttgart 2007

**SINNER 1960:** Herbert Sinner, Über das Waschen mit Haushaltwaschmaschinen, 2. Aufl. Hamburg 1960

**RÖMPP 1992:** Jürgen Falbe und Manfred Regitz (Hrsg.), Römpp, Chemie Lexikon, 9. Auflage. Stuttgart 1992

### WILDBRETT 2006:

Gerhard Wildbrett (Hrsg.), Reinigung und Desinfektion in der Lebensmittelindustrie. 2. Aufl. Hamburg 2006

### ZIEGELMAYER 1936:

Wilhelm Ziegelmayr, Rohstoff-Fragen der Deutschen Volksernährung. Eine Darstellung der ernährungswirtschaftlichen Aufgaben unserer Zeit. Dresden/Leipzig 1936

### ZUMBÜHL 2023:

Stefan Zumbühl, Christophe Zindel, Varnish technology during the 17th and 18th centuries: The introduction of shellac for wood coatings, Conference paper ICOM CC, 23th International Conference, September 2023 Valencia, [https://www.researchgate.net/publication/374053393\\_Varnish\\_technology\\_during\\_the\\_17th\\_and\\_18th\\_centuries\\_The\\_introduction\\_of\\_shellac\\_for\\_wood\\_coatings](https://www.researchgate.net/publication/374053393_Varnish_technology_during_the_17th_and_18th_centuries_The_introduction_of_shellac_for_wood_coatings) [Zugriff: 28.2.2024]

## Abbildungsnachweis

### Abb. 1, 3 und 5a/b:

Grafik: Fuchs 2024

### Abb. 2:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Spare\\_seife\\_aber\\_wie.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Spare_seife_aber_wie.jpg) [Zugriff: 24.2.2024]

### Abb. 4:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Verseifung#/media/Datei:Verseifung\\_Seife\\_V3.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Verseifung#/media/Datei:Verseifung_Seife_V3.svg) [Zugriff: 24.2.2024]

### Titel:

Detail aus Abb. 2

## Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# Schäume für den Märchenkönig

Entwicklung und Erprobung selbstreinigender Schaumsysteme

Tamara Schad, Heinrich Piening, Wiebke Drenckhan, Cosima Stubenrauch



## Schäume für den Märchenkönig

### Entwicklung und Erprobung selbstreinigender Schaumsysteme

Tamara Schad, Heinrich Piening, Wiebke Drenckhan,  
Cosima Stubenrauch

Oberflächen von historischen Kunst- und Kulturgütern sind häufig verschmutzt. Die Reinigung dieser Objekte ist sehr schwierig, da für unterschiedliche Oberflächen jeweils ein spezielles Reinigungskonzept benötigt wird, um Verschmutzungen zu entfernen ohne das Kunstwerk zu beschädigen. Der sparsame Einsatz von Lösungs- und Reinigungsmitteln stellt Restaurator:innen dabei immer wieder vor große Herausforderungen. Daher sollte eine neue, innovative und schonende Reinigungsmethode auf Basis von Schäumen entwickelt werden, um empfindliche und schwer zugängliche Oberflächen schonend zu reinigen. Tatsächlich kann durch die physikalischen Reinigungsmechanismen des Schaums die Menge des Reinigungsmittels um bis zu 90 % reduziert werden. Der entwickelte Reinigungsschaum wurde zuerst auf Glasmodelloberflächen getestet und anschließend auf den historischen Kutschen im Marstallmuseum im Schloss Nymphenburg angewendet. Die Reinigung dieser historischen, vergoldeten Oberflächen mit Schäumen war so erfolgreich, dass als Glanzstück des Projekts der Krönungswagen von Kaiser Karl VII. vollständig mit Schaum gereinigt wurde..

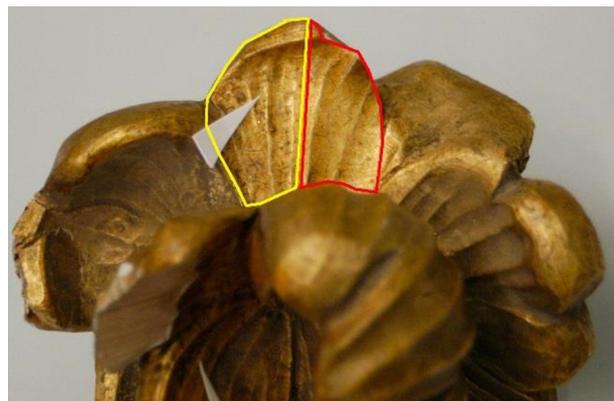
### Vorgeschichte

Ein Schaum ist an sich schon ein kleines Kunstwerk, bestehend aus Luft und einer Tensidlösung. Bereits an der kleinsten Einheit eines Schaums, der Seifenblase, erfreuen sich Groß und Klein. Schäume werden hauptsächlich als schönes optisches Beiwerk mit Wohlfühleffekt verwendet, in beliebten Schaumbädern beispielsweise, oder um den Auftrag von Reinigungsmitteln zu minimieren. Es stellte sich die restauratorische Frage, ob es möglich sei, mit einem Schaum ohne zusätzliche mechanische Arbeit zu reinigen. Schäumen an sich wurde bis zu diesem Zeitpunkt keine Reinigungswirkung zugesprochen. Im Jahr 2015 testeten Heinrich Piening und ein Team freiberuflicher Kolleg:innen erstmals Schäume zur Reinigung von historischen Kutschen im Marstallmuseum im Schloss Nymphenburg in München. Dabei wurde ein tensidhaltiger Schaum auf die verschmutzten Oberflächen der Kutsche aufgetragen und nach kurzer Einwirkungsdauer wieder entfernt. Es zeigte sich, dass mit Hilfe des Schaums, im Vergleich zur Reinigung mit der ungeschäumten Tensidlösung, eine wesentlich bessere Reinigungswirkung erzielt werden konnte (Abb. 1).<sup>1</sup> Im Vergleich mit einer Reinigung mit Gelen oder Kompressen erzielte die

### Foams for the Märchenkönig

#### Development and testing of self-cleaning foam systems

*The surfaces of historical art and cultural artefacts are often soiled. Cleaning these objects is very difficult, as a special cleaning concept is required for each surface in order to remove the dirt without damaging the artwork. The economical use of solvents and cleaning agents repeatedly presents conservators with major challenges. A new, innovative and gentle cleaning method based on foam should therefore be developed to gently clean sensitive and hard-to-reach-surfaces. The physical cleaning mechanisms of the foam can reduce the amount of cleaning agent used by up to 90 %. The developed cleaning foam was first tested on glass model surfaces and then applied to the historic carriages in the Marstallmuseum at Nymphenburg Palace. The cleaning of these historic, gilded surfaces with foams was so successful that, as the highlight of the project, the coronation carriage of Emperor Charles VII was completely cleaned with foam.*



1 Vergoldete Schnitzerei nach der Reinigung mit der ungeschäumten Tensidlösung (gelbe Markierung) und der geschäumten Tensidlösung (rote Markierung)

## Reinigung mit Schaum

Reinigung mit Schaum ein besseres Ergebnis, vor allem in der Strukturtiefe. Die Reinigung mit Schäumen bietet zudem weitere Vorteile gegenüber anderen Methoden, da zum einen weniger Tensidlösung benötigt wird und zum anderen die Applikation und die Entfernung des Schaums vereinfacht ist. Auf Grund dieser ersten Erkenntnisse setzte sich Heinrich Piening mit den Schaumexpertinnen Wiebke Drenckhan von ICS in Straßburg und Cosima Stubenrauch von der Universität Stuttgart in Verbindung und die Idee zur Entwicklung einer innovativen Reinigungsmethode auf Basis von Schäumen entstand. Die Bewilligung von Fördermitteln der Deutschen Bundesstiftung für Umwelt (DBU) und des Instituts für Fortgeschrittene Forschung der Universität Straßburg (USIAS Fellowship) ermöglichte die Umsetzung des Projekts über die Promotion von Tamara Schäd.

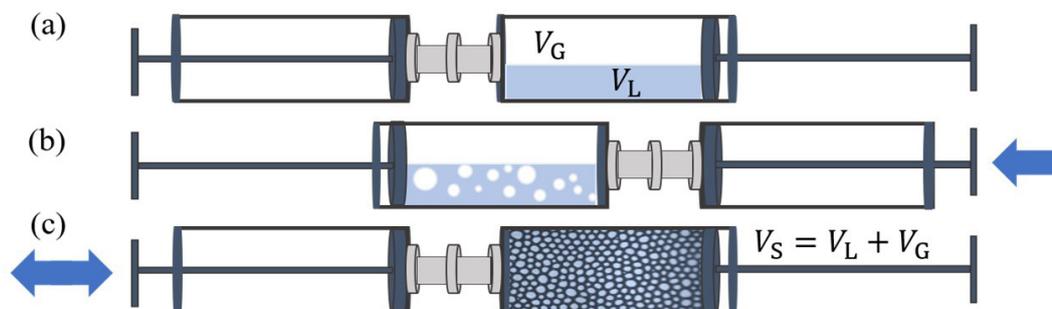
### Fragestellung

Zu Beginn des Projekts standen folgende Fragen im Raum: Warum reinigt der Schaum besser als die ungeschäumte Tensidlösung? Welche Mechanismen sind an der Reinigung mit Schäumen beteiligt? Welche Eigenschaften benötigt der optimale Reinigungsschaum? Um diese Fragen zu beantworten, mussten zuerst einige Grundlagen zum Thema Schaum – genauer zum Schaumzerfall – betrachtet werden.

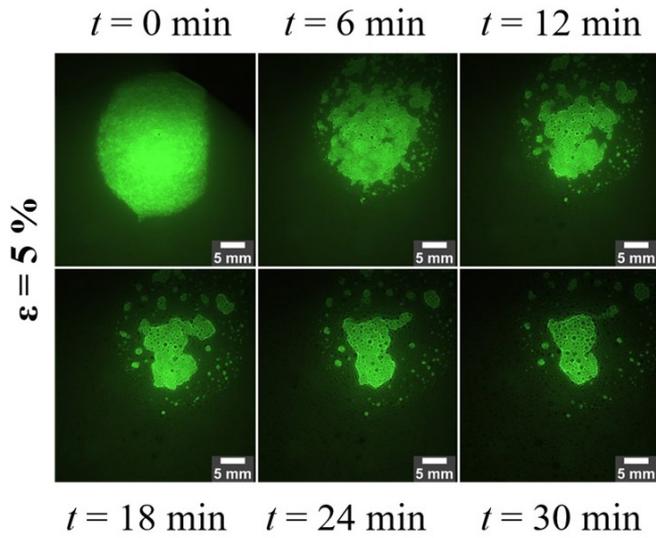
Am Zerfall des Schaums sind drei Mechanismen beteiligt.<sup>2</sup> Der erste ist die Drainage, wobei die Flüssigkeit aufgrund der Schwerkraft aus dem Schaum fließt. Der zweite Mechanismus ist die Koaleszenz, bei der die dünnen Schaumfilme zwischen den Schaumblasen platzen. Die Ostwald-Reifung ist der dritte Mechanismus. Hierbei entsteht aufgrund des unterschiedlichen Laplace-Drucks von großen und kleinen Schaumblasen ein Gastransport von den kleinen zu den großen Blasen. Somit wachsen die großen Blasen, während die kleinen Blasen verschwinden.

Um zu verstehen, wie ein Schaum reinigt, musste geklärt werden, in welcher Weise die Zerfallsmechanismen an der Reinigung beteiligt sind und welche Eigenschaften der optimale Reinigungsschaum haben sollte. Daher wurden zuerst drei Kriterien definiert, die ein Reinigungsschaum erfüllen muss, um eine optimale Reinigung zu gewährleisten.<sup>3</sup> Als erstes darf keine Reinigungslösung aus dem Schaum auf das Objekt fließen, das heißt, es darf keine Drainage stattfinden. Darum muss der Schaum „trocken“ sein, also einen geringen Flüssigkeitsgehalt aufweisen. Die herauslaufende Lösung könnte ansonsten in das Kunstwerk migrieren und es beschädigen.<sup>4</sup> Das zweite Kriterium ist, dass Verunreinigungen in den Schaum aufgesaugt werden sollen. Dies wird durch die Kapillarkräfte im Schaum ermöglicht und als Imbibition bezeichnet. Dieser Prozess wird im Folgenden noch genauer erklärt. Drittens sollte die Reinigung mit dem Schaum schnell verlaufen.

Nach Festlegung der Kriterien wurden im nächsten Schritt die für eine Reinigung nötigen Schaumeigenschaften an Modellverschmutzungen untersucht. Die Modellverschmutzungen bestanden aus einem mit UV-Farbstoff gefärbtem Sonnenblumenöl, welches auf eine Glasplatte aufgetragen bzw. in eine Glasküvette gefüllt wurde. Die verwendeten Reinigungsschäume wurden mit der Doppelspritzentechnik (Abb. 2 nach Gaillard et al.) hergestellt.<sup>5</sup> Bei dieser Technik werden zwei Spritzen gleichen Volumens verwendet. In eine Spritze wird ein definiertes Volumen der Reinigungslösung und ein definiertes Volumen Luft aufgezogen. Diese Spritze wird im Anschluss mit Hilfe eines Luer-Lock-Verbindungsstücks mit der zweiten leeren Spritze verbunden. Durch das Hin-und-her-Pumpen des Luft-Reinigungslösungsgemisches zwischen den zwei Spritzen entsteht ein Schaum. Der Schaum hat eine sehr kleine Anfangsblasengröße (ca. 20 Mikrometer) und einen definierten Flüssigkeitsgehalt zwischen 3 % und 30 %.



2 Schematische Darstellung der Doppelspritzentechnik zur Herstellung eines Schaums mit kleiner Anfangsblasengröße und genau definiertem Flüssigkeitsgehalt

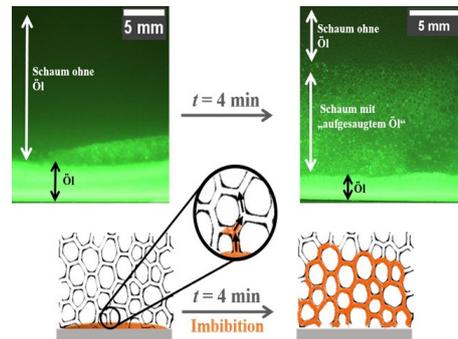


3 Reinigungstests mit einem Schaum mit einem Flüssigkeitsgehalt von 5 % auf der grün fluoreszierenden Modellverschmutzung zu verschiedenen Zeiten

Die mit dieser Technik hergestellten Schäume wurden auf die Glasplatten mit der Modellverschmutzung aufgetragen, um Reinigungstests durchzuführen. Dabei wurden Schäume mit unterschiedlichen Flüssigkeitsgehalten (< 5 %; 5 %; 7 %; 10 %; > 10 %) verwendet und der Reinigungsprozess durch die Unterseite der Glasplatte beobachtet. Es stellte sich heraus, dass nur bei Schäumen mit einem Flüssigkeitsgehalt bis zu 5 % keine Drainage stattfindet. Aus diesem Grund wird im Folgenden nur die Reinigung mit dem Schaum mit 5 % Flüssigkeitsgehalt genauer betrachtet (Abb. 3). Das grün gefärbte Versuchsöl ist unter UV-Licht zu sehen. Auf dem Öl sitzt der Reinigungsschaum, welcher unter UV-Licht nicht sichtbar ist. Die Reinigung mit dem Schaum wurde über einen Zeitraum von 30 Minuten von unten beobachtet und via Videosequenz dokumentiert. Es ist zu erkennen, dass die verschmutzte Fläche mit zunehmender Einwirkdauer kleiner wird. Die Schaumblasen sind während dieser Zeit in stetiger Bewegung, platzen und ändern ihre Größe. Der Schaum ist instabil und zerfällt. Dadurch entsteht eine große Dynamik im Schaum und auf der zu reinigenden Fläche. Bei der Reinigung wird der Ölfilm so immer kleiner und das Öl verschwindet im Schaum.

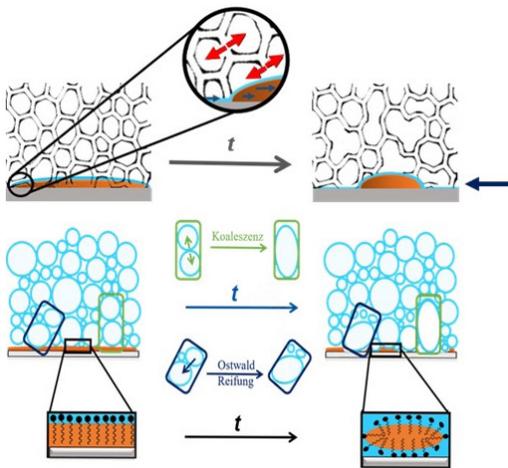
### Warum reinigt der Schaum?

Aufgrund der Ergebnisse der Reinigungstests auf den Modellverschmutzungen ergibt sich die Frage, welche Mechanismen an der Reinigung beteiligt sind. Zur Beantwortung dieser Frage wurde die Testreinigung zusätzlich in einer Glasküvette durchgeführt, die es ermöglichte, den Reinigungsvorgang auch von der Seite zu betrachten (Abb. 4). Auf dem linken Foto ist die Küvette mit dem fluoreszierenden Öl direkt nach dem Auftragen des instabilen Schaums zu sehen. Das rechte Foto zeigt die Küvette vier Minuten nachdem der Schaum aufgetragen wurde. Es ist zu erkennen, dass das Öl in den Schaum gezogen wird, wie in der schematischen Zeichnung dargestellt. Zwischen den Schaumblasen eines Schaums befinden sich kleine Kanäle, welche durch das Aneinandergrenzen von jeweils drei Schaumblasen entstehen und als „Plateau Borders“ bezeichnet werden.<sup>6</sup> Durch diese „Plateau Borders“ wird das Öl bei der Reinigung in den Schaum gesaugt. Grund dafür sind die Kapillarkräfte in trockenen Schäumen. Im Optimalfall wird das gesamte Öl in den Schaum aufgenommen.<sup>7</sup> Ein weiterer bei der Reinigung stattfindender Mechanismus ist das sogenannte Wischen. Dieser Prozess findet nur bei der Reinigung mit instabilen Schäumen statt. Die treibende Kraft ist der Zerfall des Schaums (Abb. 5).



4 Reinigungstests mit einem Schaum mit einem Flüssigkeitsgehalt von 5 % in einer mit fluoreszierendem Öl gefüllten Küvette (links) direkt nach dem Auftragen des Schaums und (rechts) nach vier Minuten sowie eine schematische Zeichnung der Imbibition

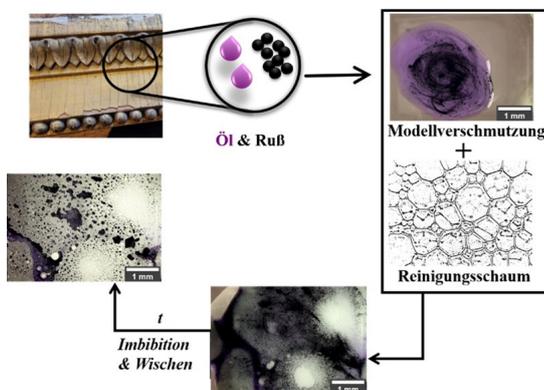
Durch die Koaleszenz und die Ostwald-Reifung bewegen sich die Schaumblasen auf der zu reinigenden Fläche und ordnen sich neu an. Durch diese Bewegungen entstehen starke Scherkräfte auf der Fläche, die dem händischen Abwischen eines Tisches ähneln, weshalb der Prozess als Wischen bezeichnet wird. Das Öl wird dadurch zusammengeschoben und dann durch die Imbibition von der Fläche abgelöst. Durch die Kombination der Mechanismen Imbibition und Wischen wird ein guter Reinigungseffekt erzielt. Der Schmutz wird durch das Wischen von der zu reinigenden Oberfläche abgelöst und durch die Imbibition in den Schaum aufgenommen.



5 Schematische Darstellung des Wischprozesses (oben) und der beteiligten Zerfallsmechanismen des Schaums (unten)

Durch die oben beschriebenen Reinigungstests konnten die Eigenschaften eines „optimalen“ Reinigungsschaums definiert werden: Der Schaum benötigt eine kleine Anfangsblasengröße (10–30 µm) und einen niedrigen Flüssigkeitsgehalt (5 %), um den Prozess der Imbibition zu gewährleisten; Voraussetzung für das Wischen ist eine mittlere Stabilität, wie sich im Zuge der Vorversuche herausstellte.<sup>8</sup>

Auf den historischen Oberflächen befinden sich nicht nur Öle und Fette, sondern auch andere Verschmutzungen wie Rußpartikel. Daher wurden weitere Reinigungstests mit einer Verschmutzung bestehend aus Öl und Ruß durchgeführt, um der realen Reinigungssituation näherzukommen (Abb. 6). Der Schaum wurde analog zu den ersten Reinigungsversuchen auf eine Glasplatte mit der Modellverschmutzung aufgetragen und der Reinigungsprozess von unten über einen Zeitraum von zwölf Minuten beobachtet. Dabei zeigte sich, dass auch mit einer weiteren Schmutzkomponente eine überzeugende Reinigungswirkung erzielt wird und der Schmutz durch die bereits erläuterte Kombination aus Wischen und Imbibition effizient von der Fläche entfernt werden kann.



6 Darstellung des mit einer Modellverschmutzung, bestehend aus gefärbtem Öl und Ruß, durchgeführten Experiments mit dem optimalen Reinigungsschaum

## Schonende und effiziente Reinigung komplexer historischer Oberflächen

### Anwendung am Objekt

Der Krönungswagen Kaiser Karl VII. aus dem Bestand des Marstallmuseums in Schloss Nymphenburg stellte durch seine Größe und feinteiligen Oberflächen eine erhebliche Herausforderung für eine restauratorische Reinigung dar. Aufgrund der guten Erfahrungen bei der ersten Anwendung von Schäumen am sogenannten Großen Galawagen von König Ludwig II. im Jahr 1995 und der Erkenntnisse von Tamara Schad im Rahmen ihrer Dissertation fiel die Entscheidung, die neu entwickelten selbstreinigenden Schäume anzuwenden.

Das 1721/22 in Paris gefertigte Fahrzeug wurde ebendort 1741 für die Krönung von Karl Albrecht, dem späteren Kaiser Karl VII., für 100.000 Rheinische Gulden erworben, anschließend überarbeitet und nach der Krönung in Frankfurt nach München überführt. Dort war der Wagen bis in die 1820er Jahre regelmäßig in Benutzung und wurde danach nur noch selten verwendet. König Ludwig II. ließ das Fahrzeug 1866/67 anlässlich seiner geplanten Hochzeit ertüchtigen.<sup>9</sup> Seit den 1950er Jahren steht es im Marstallmuseum im Schloss Nymphenburg. Die Gemälde auf den Türen und der Rückseite des Krönungswagens wurden in den 1990er Jahren restauriert, das Fahrzeug selbst bis dato nur trocken gereinigt.

Der Krönungswagen hat die Abmessungen 685 x 213 x 305 cm, ein Gewicht von ca. 3400 kg und ist nicht mehr fahrtüchtig. Die für eine Nutzung im Außenbereich konzipierte Fassung ist durchgehend ölgebunden und abschließend mit einem Öl-Harz-Lack überzogen.

Erste Reinigungstests mit Pinseln und Wattestäbchen erfolgten mit pH-gepufferten Reinigungslösungen auf Basis von Ammoniumcitrat<sup>10</sup> in unterschiedlichen pH-Bereichen. Es zeigte sich, dass Lösungen im Bereich um einen pH-Wert von 8,5 eine sehr gute und schonende Reinigungswirkung erzielten. Im Zuge der Forschungen von Tamara Schad hatte sich ein Tensid auf Zuckerbasis<sup>11</sup> als besonders Erfolg versprechend herausgestellt.<sup>12</sup> Die Zugabe dieses Tensides verbesserte die Reinigungswirkung der ungeschäumten Lösung jedoch nur unwesentlich. Im aufgeschäumten Zustand erwies sich die Reinigungslösung jedoch als sehr effektiv und ermöglichte eine gleichmäßige Reinigung der Oberflächen – gerade auch in den schwer zugänglichen



7 Krönungswagen Kaiser Karl VII, Schloss Nymphenburg, Marstallmuseum; Schaumtest auf einem Element der Deichsel



8 Krönungswagen, Detail; Schaumauftrag direkt aus der Spritze

Vertiefungen des Schnitzwerkes (Abb. 7). Um geeignete Schaumparameter zu ermitteln, wurden mit der anfangs beschriebenen Doppelspritzentechnik Schäume gleicher Struktur erzeugt, die einen Flüssigkeitsgehalt von lediglich 5 % (bezogen auf die Schaummasse) aufwiesen. Diese wurden direkt aus der Spritze als ca. 15 mm dicke Schicht gleichmäßig auf die Testflächen aufgetragen (Abb. 8). Die verwendeten Schäume wiesen zu Beginn eine Konsistenz auf, die mit Eischnee vergleichbar ist und hafteten auch auf senkrechten Flächen problemlos, sofern diese nicht vorgeätzt waren. Um die Parameter für eine optimale Reinigung der Oberflächen des Krönungswagens festzulegen, wurden die Schäume auf ausgewählte Testflächen appliziert und die Zerfallsprozesse beobachtet. Es wurden unterschiedliche Einwirkzeiten von ein bis vier Minuten getestet, wobei Einwirkzeiten von drei bis vier Minuten die besten Reinigungsergebnisse erzielten.

Um die Oberflächenbelastung und Benetzung zu minimieren, wurden die Schäume anschließend mit einem Nasssauger abgenommen. Zur Entfernung eventuell gelöster, aber noch nicht im Schaum absorbiertes Schmutzpartikel und Tensidreste wurde die Fläche leicht mit demineralisiertem Wasser benebelt, mit einem weichen Pinsel nachgereinigt, erneut abgesaugt und mit einem Mikrofasertuch nachgetrocknet. Das Ergebnis ist eine auch in den Tiefen und Hinterschneidungen gleichmäßig gereinigte Oberfläche (Abb. 9, 10). Die erarbeitete Vorgehensweise wurde durch Nachuntersuchungen überprüft, dabei waren keine Tensidreste mehr auf den gereinigten Oberflächen nachweisbar.

Durch die Schaumstruktur ist die notwendige Menge an oberflächenwirksamen Tensiden sehr gering. Eine Menge von ca. 3 ml geschäumter Tensidlösung ist ausreichend für die Schaumreinigung von 100 cm<sup>2</sup> Objektoberfläche. Basierend auf den Erfahrungen mit herkömmlichen Reinigungsmethoden, wie Pinsel und Wattestäbchen, war der Reinigungsaufwand für den Krönungswagen im Vorfeld der Maßnahme auf ca. 1000 Arbeitsstunden geschätzt worden. Nach einer öffentlichen Ausschreibung der Arbeiten wies Tamara Schad die ausführende Restauratorin Corinna Pflästerer vom Bildwerk-Restaurierung in München in die Anwendung der neuartigen Wirkschäume ein. Bereits nach sehr kurzer Zeit waren die Arbeitsabläufe systematisiert, sodass ein kontinuierliches Arbeiten möglich wurde. Schlussendlich arbeitete die Restauratorin lediglich 360 Stunden und das Fahrzeug konnte mit ca. 6,5 Litern Tensidlösung gereinigt werden.



9 Krönungswagen, Detail;  
Teilgereinigtes Ornament  
im Bereich der Dachdekoration



10 Krönungswagen, Detail;  
Teilweise gereinigte Figur im  
Bereich des vorderen Drehkranzes

### Fazit

Schäume haben bei optimierter Einstellung eine sehr schone, selbstreinigende Wirkung. Durch die Flüssigkeitsreduktion auf ca. 5 % sind sie auch auf empfindlichen Oberflächen einsetzbar. Das eingesetzte Zuckertensid ist sehr objektschonend und lässt sich vollständig entfernen. Der Reinigungsmittelverbrauch lässt sich um ca. 90 % reduzieren. Die Arbeitszeiterparnis ist erheblich: Die Zahl der Arbeitsstunden wurde im vorliegenden Fall um 64 % reduziert.

### Dr. Tamara Schad

Universität Stuttgart, Institut für Physikalische Chemie  
Pfaffenwaldring 55  
70569 Stuttgart  
[tamara.schad@ipc.uni-stuttgart.de](mailto:tamara.schad@ipc.uni-stuttgart.de)

### Dr. Heinrich Piening

Bayerische Schlösserverwaltung  
Schloss Nymphenburg  
80638 München  
[Heinrich.Piening@bsv.bayern.de](mailto:Heinrich.Piening@bsv.bayern.de)

### Prof. Dr. Wiebke Drenckhan

Université de Strasbourg, CNRS  
ICS UPR 22  
67000 Strasbourg  
Frankreich  
[Wiebke.Drenckhan@ics-cnrs.unistra.fr](mailto:Wiebke.Drenckhan@ics-cnrs.unistra.fr)

### Prof. Dr. Cosima Stubenrauch

Universität Stuttgart, Institut für Physikalische Chemie  
Pfaffenwaldring 55  
70569 Stuttgart  
[cosima.stubenrauch@ipc.uni-stuttgart.de](mailto:cosima.stubenrauch@ipc.uni-stuttgart.de)

## Anmerkungen

- 1 SCHAD 2022
- 2 SCHAD 2022, S. 71–75
- 3 SCHAD ET AL. 2022 (1), S. 3
- 4 SCHAD ET AL. 2022 (2), S. 6
- 5 GAILLARD ET AL. 2017, S. 173–187
- 6 SCHAD 2022, S. 39
- 7 SCHAD ET AL. 2021 (1), S. 311–320
- 8 SCHAD ET AL. 2021 (1), S. 318; SCHAD ET AL. 2022 (2), S. 377–385
- 9 WACKERNAGEL 2001, S. 66–73
- 10 Weiterführend: HILFRICH 2004
- 11 Aus rechtlichen Gründen ist eine Nennung des Tensids an dieser Stelle nicht möglich.
- 12 SCHAD 2022, S. 11–12

## Literatur

### GAILLARD ET AL. 2017:

Thibaut Gaillard, Matthieu Roché, Clément Honorez, M. Jumeau, A. Balan, C. Jedrzejczyk, Wiebke Drenckhan, Controlled foam generation using cyclic diphasic flows through a constriction. In: International Journal of Multiphase Flow, Bd. 96, 2017, S. 173–187

### HILFRICH 2004:

Uwe Hilfrich, Bioanorganische Chemie in der Restaurierung: Zur Reaktivität von Metallkomplexbildnern auf historischen Gemäldeoberflächen. Dissertation Universität Tübingen 2004, <https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/handle/10900/48606> [Zugriff: 5.6.2024]

### SCHAD ET AL. 2021 (1):

Tamara Schad, Natalie Preisig, Dirk Blunk, Heinrich Piening, Wiebke Drenckhan, Cosima Stubenrauch, Less is more: Unstable foams clean better than stable foams. In: Journal of Colloid and Interface Science, Bd. 59, 2021, S. 311–320

### SCHAD ET AL. 2021 (2):

Tamara Schad, Natalie Preisig, Dirk Blunk, Heinrich Piening, Wiebke Drenckhan, Cosima Stubenrauch, Schaum in Aktion. In: Nachrichten aus der Chemie, GDCH, Bd. 69, 2021, S. 72–74

### SCHAD 2022:

Tamara Schad, Des Königs neue Schäume – Entwicklung und modellhafte Anwendung eines innovativen Reinigungskonzepts für durch anthropogene Umwelteinflüsse geschädigte Kunst- und Kulturgüter auf Basis von Schäumen. Dissertation Universität Stuttgart 2022

### SCHAD ET AL. 2022 (1):

Tamara Schad, Natalie Preisig, Wiebke Drenckhan, Cosima Stubenrauch, Foam-based cleaning of surfaces contaminated with mixtures of oil and soot. In: Journal of Surfactants and Detergents 25, Heft 3, 2022, S. 377–385

### SCHAD ET AL. 2022 (2):

Tamara Schad, Natalie Preisig, Heinrich Piening, Cosima Stubenrauch, Innovative foam-based cleaning concepts for historical objects. In: Tenside Surfactants Detergents, Bd. 59 (6), 2022, S. 451–459

### WACKERNAGEL 2001:

Rudolf H. Wackernagel (Hrsg.), Krönungswagen Kaiser Karl VII., Staats- und Galawagen der Wittelsbacher, Bd. 1. Stuttgart 2001, S. 66–73

## Abbildungsnachweis

### Abb. 1:

Irmela Breidenstein/Heinrich Piening, Bayerische Schlösserverwaltung 1995, interne Restaurierungsdokumentation

### Abb. 2:

aus: GAILLARD ET AL. 2017, S. 96, 173

### Abb. 3:

aus: SCHAD 2021 (1), S. 59

### Abb. 4:

aus: SCHAD 2022, S. 71

### Abb. 5:

aus: SCHAD ET AL. 2021 (2), S.72–74

### Abb. 6:

aus: SCHAD 2022, S. 96

### Abb. 7:

Tamara Schad; Heinrich Piening, Bayerische Schlösserverwaltung

### Abb. 8:

Maria Scherf, Bayerische Schlösserverwaltung

### Abb. 9, 10:

Corinna Pflästerer, Bildwerk Restaurierung

### Titel:

Detail aus Abb. 9

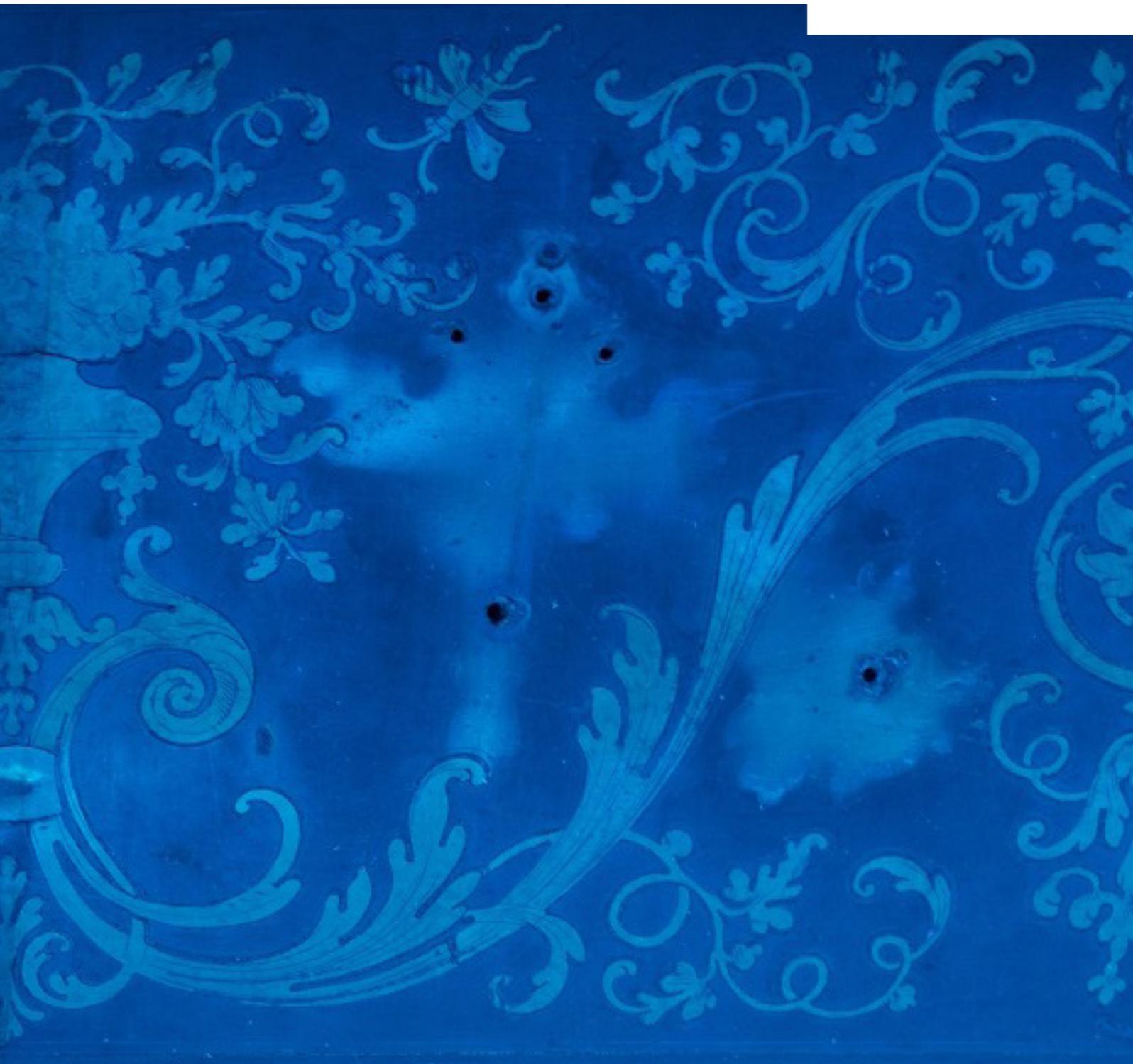
## Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# Maßgeschneiderte Schäume für die Reinigung von gefassten und materialsichtigen Objekten der Kunst und Denkmalpflege

Peter Kopp



## Maßgeschneiderte Schäume für die Reinigung von gefassten und materialsichtigen Objekten der Kunst und Denkmalpflege

Peter Kopp

Schäume können für die Reinigung von empfindlichen Oberflächen an Objekten der Kunst und Denkmalpflege von großem Nutzen sein. Aus der Reinigungs-, Pharma- und Kosmetikindustrie wohl bekannt, haben sie bis dato in der Restaurierung nur geringe Bedeutung. Die Schäume lassen sich, wie die bereits in der Restaurierung wohl eingeführten wässrigen Systeme, genau auf die Lösung unterschiedlicher abzunehmender Komponenten einstellen und haben darüber hinaus weitere Vorteile. Sie sind annähernd gewichtslos und der Flüssigkeitsgehalt in der Schaumstruktur kann in etwa auf nur 5 % des Gesamtvolumens reduziert werden. Durch die den Schäumen eigene Kinetik läuft die Benetzung und der Ablösungsprozess der Schmutzpartikel nicht nur äußerst schonend ab, sondern die Schmutzpartikel werden auch ohne äußere Einwirkung wieder in den Schaumkörper aufgenommen, der dann weitgehend rückstandsfrei von der Oberfläche abgesaugt bzw. abgenommen werden kann. Wesentlich dabei ist, dass die unterschiedlichen schaumstabilisierenden und schmutzlösenden Bestandteile nicht nur maßgeschneidert (objektbezogen) formuliert werden, sondern auch deren Menge auf das notwendige Minimum beschränkt wird

Die Reinigung gehört zu den schwierigsten und komplexesten Schritten im Restaurierungsprozess von Kunstobjekten und Objekten der Denkmalpflege.

Die Reinigungsverfahren reichen von den traditionellen Methoden der Reinigung mit Lösungsmitteln<sup>1</sup> über die in den letzten 30 Jahren verfeinerten wässrigen Methoden und deren Kombination in Form von Emulsionen<sup>2</sup> bis zur Anwendung von ReinigungsLasern in unterschiedlichen Wellenbereichen. Jede Methode hat ihr Für und Wider und wird einzeln oder in Kombination mit anderen angewendet, um unerwünschtes Material abzunehmen, ohne die Integrität des zu behandelnden Objekts zu verletzen und im Idealfall weder die Gesundheit des Ausführenden noch die Umwelt zu gefährden.<sup>3</sup>

Unterschiedliche Möglichkeiten stehen zur Verfügung, um flüssige Reinigungslösungen mit der zu behandelnden Objektfläche in Kontakt zu bringen: mit Hilfe von saugenden Materialien wie Watte, Cellulose und Schwämmen,<sup>4</sup> als niedrigviskose Gele gebunden in unterschiedlichen Celluloseethern oder natürlichen Verdickungsmitteln wie Xanthan, als hochviskose Gele mit Hilfe von pH-justierten Polyacrylsäuren oder als feste Gele mit Agar den sogenannten „Rigid-Gels“.<sup>5</sup> Das Rückhaltevermögen dieser Materialien

### *Tailor-made foams for cleaning mounted and transparent objects of art and historical monuments*

*Foams are of great value for the cleaning process of delicate surfaces on objects of art and cultural heritage. While well known in the cleaning, pharmaceutical, and cosmetic industries, they have so far had little significance in restoration. Like aqueous systems already well established in restoration, foams can be precisely adjusted to the solution of various unwanted components, yet they offer additional advantages. They are nearly weightless, and the liquid content in the foam structure can be reduced to approximately only 5 % of the total volume. Due to the inherent kinetics of foams, the wetting and detachment process of dirt particles is not only extremely gentle, but the dirt particles are also absorbed into the foam body without external influence, which can then be removed from the surface nearly residue-free by suction or other means. It is essential that the different foam-stabilizing and dirt-dissolving components are not only tailored (object-specific) but also their quantity is limited to the necessary minimum.*

ermöglicht eine kontrollierte Vorgehensweise, die für die Benetzung und Lösung des abzunehmenden Materials notwendig ist.

Ein weiteres Kernproblem im Reinigungsprozess liegt in der Mobilisierung des abzunehmenden Materials. Es sollte gelöst und ohne allzu große mechanische Einwirkung auf die meist hochempfindlichen Oberflächen in das Reinigungsmedium aufgenommen werden, sodass es (mit demselben) leicht abgenommen und möglichst rückstandsfrei entfernt werden kann.

Hierfür können Luft in Wasserdispersionen, besser bekannt als wässrige Schäume, sehr hilfreich sein. Durch ihren Aufbau, ihr geringes Gewicht und durch ihre kinetische Wirkungsweise können sie bei richtiger Zusammensetzung nicht nur den Schmutz lösen, sondern sie nehmen denselben ohne zusätzliche Wirkung von außen in die Schaummatrix auf, welche in einem weiteren Schritt leicht von der Oberfläche abgenommen werden kann.

Schäume sind uns beispielsweise aus der Reinigungs-, Pharma- und Kosmetikindustrie wohl bekannt, haben aber bis dato in der Restaurierung nur geringe Bedeutung. Das ist verwunderlich, haben doch maßgeschneiderte Schäume

viele Eigenschaften, die genau für den Reinigungsvorgang von empfindlichen Oberflächen an Objekten der Kunst und Denkmalpflege von großem Nutzen sind:

- Die Menge des benötigten Reinigungswassers kann stark reduziert werden.
- Schaum ist annähernd gewichtslos und kann selbst bei empfindlichen und amorphen rauen Oberflächen Anwendung finden.
- Die Stabilität der Schäume nimmt mit Abnahme der Oberflächenspannung an den Grenzflächen zu, was zu einer optimalen Benetzung der zu reinigenden Oberfläche führt.
- Schäume können durch ihren charakteristischen Aufbau das abzunehmende Material ohne weitere Mobilisierung in den Schaumkörper aufnehmen.
- Eine mechanische Mobilisierung kann wegfallen bzw. stark reduziert werden.
- Schäume können durch die Formulierung der wässrigen Komponente auf das abzunehmende Material zugeschnitten werden: Durch die Anpassung des pH-Werts und der Ionenkonzentration, die unterschiedliche Wahl von Verdickungsmitteln, Tensiden, Chelatbildnern eventuell auch Enzymen ist eine feine Justierung auf die spezifische Reinigungssituation möglich.
- Abhängig von der Formulierung können Schäume auch als Emulsionen eingesetzt werden.
- Schäume besitzen eine stark vergrößerte Oberfläche im Vergleich zu reinen Flüssigkeiten und Gelen und daher auch Mechanismen, die mit Makroemulsionen verglichen werden können.
- Schäume können durch Abheben oder Absaugen leicht entfernt werden.

Schäume sind von sich aus instabil. Auch wenn die Instabilität der Schäume wesentlich für die Wirkungsweise und Funktion verantwortlich ist, ist es das Ziel bei der Herstellung von Reinigungsschäumen in der Restaurierung, sie nicht nur möglichst stabil zu halten, sondern auch die einzelnen Komponenten mengenmäßig auf das Notwendige zu reduzieren. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Dosierungen der einzelnen Ingredienzien für den Erhalt eines stabilen Reinigungsschaums durchaus mit den gängigen Rezepturen der wässrigen Systeme und Hydrogels vergleichbar sind und teilweise sogar mengenmäßig darunterliegen. Daher kann bei der Formulierung von Reinigungsschäumen auf die langjährige Erfahrung bei der Verwendung von wässrigen Systemen und Gelen zurückgegriffen werden.

Als frühes Beispiel für die Anwendung einer Schaumrezeptur an einer holzsichtigen, lackierten Oberfläche kann die Reinigung der barocken Wandvertäfelung des Nussbaumzimmers in Schloss Schönbrunn genannt werden.<sup>6</sup> Neben der guten Lösung des Oberflächenschmutzes ist die Verfärbung des Schaums durch die Aufnahme des Schmutzwassers in die Schaummatrix gut erkennbar (Abb. 1a–b).

Der Beitrag setzt sich mit den Grundlagen und dem Aufbau von Reinigungsschäumen auseinander, bespricht mögliche Einsatzgebiete, geht auf Anpassungen für unterschiedliche Reinigungssituationen und Schmutzzusammensetzungen ein und erläutert einige Anwendungsbeispiele der Oberflächenreinigung mit maßgeschneiderten Schäumen aus den letzten zehn Jahren.



1a Schloss Schönbrunn, Nussbaumzimmer: Detail während der Schaumreinigung 2010



1b Schloss Schönbrunn, Nussbaumzimmer: Detail nach der Schaumreinigung 2010



1c Schloss Schönbrunn, Nussbaumzimmer: Endzustand Februar 2011

## Definition und Aufbau von Schäumen

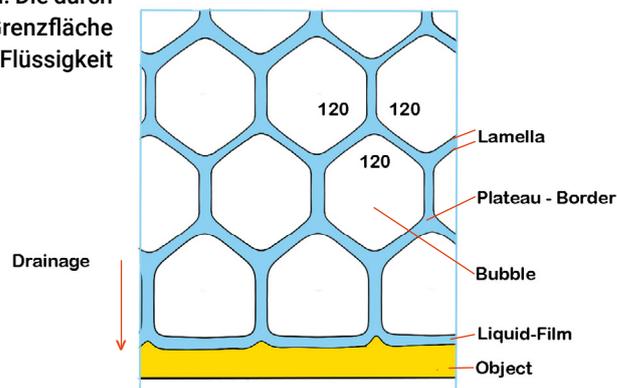
Schäume sind Dispersionen einer großen Menge eines Gases in einer relativ kleinen Menge einer Flüssigkeit. Ein üblicher, feuchtnasser Reinigungsschaum besteht aus 95 % Luft und 5 % Flüssigkeit.

Über 95 % des 5%igen Flüssigkeitsanteils sind Wasser, den Rest bilden notwendige Zusatzstoffe für die Schaumstabilisierung und den Reinigungsvorgang.<sup>7</sup> Da die einzelnen (Luft-)Blasen in einem (Reinigungs-)Schaum dicht aneinandergedrängt sind, bilden sie eng aneinanderliegende Polyeder aus (Abb. 2). Die im Schaum enthaltene Flüssigkeit ist auf dünne Filme zwischen den polyedrischen Luftblasen reduziert, die Grenzflächen zwischen Luft und Flüssigkeit werden durch Tenside und andere Zusatzstoffe stabilisiert und verhindern so das Zerplatzen der Luftblasen. Die durch Tenside und andere Zusatzstoffe stabilisierte Grenzfläche zwischen den polyedrischen Luftblasen und der Flüssigkeit wird als Lamelle (Lamella) bezeichnet.

Die polyederförmigen Blasen treffen sich entlang einer Kante immer in einer Weise, dass drei Lamellen im Winkel von 120° zusammenkommen. Räumlich gesehen treffen vier Lamellen auf einen Punkt in einem Winkel von annähernd 109° zusammen.

Der Bereich oder die Kante, wo die einzelnen Lamellen aufeinandertreffen, wird nach dem belgischen Physiker Joseph Plateau (1801–1883) als „Plateau Border“ bezeichnet.<sup>8</sup> Plateau fasste schon im 19. Jahrhundert die Struktur von Seifenblasen in einem Schaum in den oben beschriebenen Regeln zusammen.<sup>9</sup>

2 Schematische Darstellung Schaumstruktur



### Mechanismen der Schaumstabilität

Der von Plateau beschriebene räumliche Aufbau der eng aneinander liegenden polyedrischen Luftblasen verleiht den Schäumen eine gewisse Stabilität bei gleichzeitiger Flexibilität.<sup>10</sup> Darüber hinaus wirken in einem Schaum weitere destabilisierende und stabilisierende Kräfte und Mechanismen.

#### Destabilisierende Mechanismen in Schäumen

Der wichtigste destabilisierende Mechanismus innerhalb der Schaumblasen wird nach seinem Entdecker, dem deutschbaltischen Chemiker Wilhelm Ostwald (1853–1932),<sup>11</sup> als Ostwald-Reifung bezeichnet. Sie besagt Folgendes:

Da der Druck in kleinen Blasen höher ist als der Druck in größeren Blasen, tendieren die kleinen Blasen dazu, in die größeren Blasen überzugehen. Dies führt einerseits zum Reißen des Grenzflächenfilms (Lamelle) mit einer Neuverteilung der Blasen, andererseits zu einer kontinuierlichen Vergrößerung der Schaumblasen bis zum vollständigen Zerfall des Schaums.<sup>12</sup> Dieser Prozess kann, je nach Formulierung, in einem Zeitraum von Bruchteilen von Sekunden bis zu Monaten ablaufen.

Darüber hinaus unterliegt die Flüssigkeit in den Schaumlammellen der Schwerkraftwirkung. Die Flüssigkeit wird einerseits durch den Druckunterschied innerhalb der Lamelle und der Plateau-Border in Richtung Plateau-Border geleitet und andererseits durch die Schwerkraft nach unten geführt.

Dies führt zu einem permanenten Drainage-Effekt von oben nach unten, wodurch sich einerseits an der unteren Kontaktfläche ein Überschuss an Flüssigkeit ausbildet, andererseits die Lamellen im darüberliegenden Bereich bis zum Bersten gedünnt werden.<sup>13</sup>

Die Umverteilung in der Größe der Luftblasen, die Filmdünnung und letztlich der Filmbruch sind die wesentlichen destabilisierenden Mechanismen in Schäumen.<sup>14</sup>

### Stabilisierende Mechanismen in Schäumen

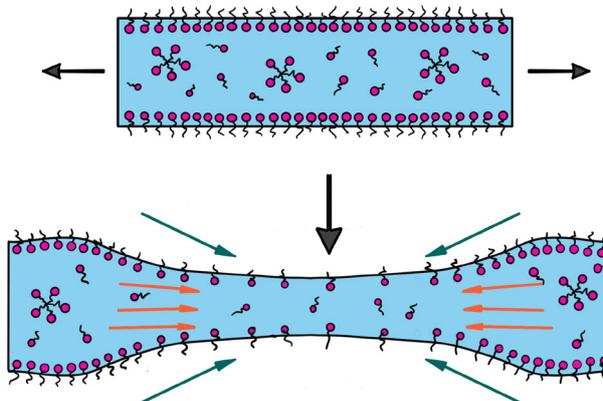
Ebenso gibt es eine Reihe von stabilisierenden Mechanismen, von denen die für die Stabilität und Funktion von Schäumen wichtigsten durch den amerikanischen Chemiker und Physiker Josiah Willard Gibbs (1839–1903) und den italienischen Physiker Carlo Marangoni (1840–1925) beschrieben wurden und daher als Gibbs-Marangoni Effekt bezeichnet werden. Sie erklären die Wechselwirkungen von Tensiden stabilisierten Membranen und Wirkungen an den Grenzflächen in Folge von Verformungen (Abb. 3).

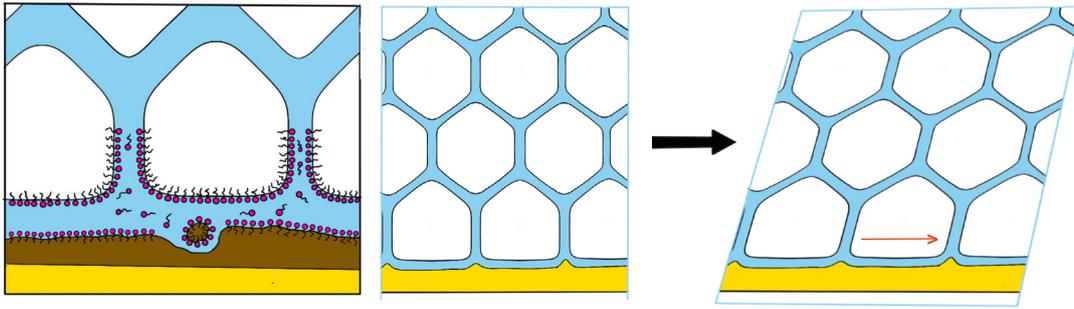
Die nach ihrem Entdecker benannte Gibbs-Filmelastizität beschreibt dabei folgenden Effekt: Wenn ein Film, der durch Tenside stabilisiert ist, plötzlich gestreckt wird, hat der gestreckte Teil eine geringere Tensiddichte als der ungestreckte Teil, da sich die Oberfläche vergrößert hat. Das bewirkt eine vergrößerte Oberflächenspannung in diesen Bereichen, wodurch einerseits einer weiteren Streckung entgegengewirkt wird, andererseits die lokale Anhebung der Oberflächenspannung zu einer Kontraktion der Oberfläche in diesem Bereich führt.

Diese Kontraktion der Oberfläche bewirkt eine Flüssigkeitsbewegung vom Bereich mit niedriger Oberflächenspannung zum Bereich mit höherer Oberflächenspannung bzw. vom unkontrahierten Bereich zum kontrahierten Bereich. Der Flüssigkeitstransport, der auf den Gradienten der Oberflächenspannung zurückzuführen ist, wird Marangoni-Effekt genannt. Damit der Flüssigkeit auch die darin vorhandenen Tenside mittransportiert werden und sich erneut an den Grenzflächen anordnen, wird die Oberflächenspannung wieder gleichmäßig verteilt und der Film stabilisiert; er kehrt in seine Ausgangsposition zurück.<sup>15</sup>

Die destabilisierenden und stabilisierenden Mechanismen in einen Schaum führen dazu, dass sich der Schaum stetig umbildet und von Neuem stabilisiert. Der Gibbs-Marangoni-Effekt wirkt der schwerkraftbedingten Filmdünnung entgegen und ist dafür verantwortlich, dass die abgegebene Flüssigkeit an der Kontaktfläche wieder in die Schaumstruktur aufgenommen wird.

3 Gibbs-Marangoni-Effekt





4 Rheologie des Schaumkörpers; Flexibilität bei gleichzeitiger Stabilität mit Wischeffekt an der Kontaktfläche

### Mechanismen der Schaumreinigung

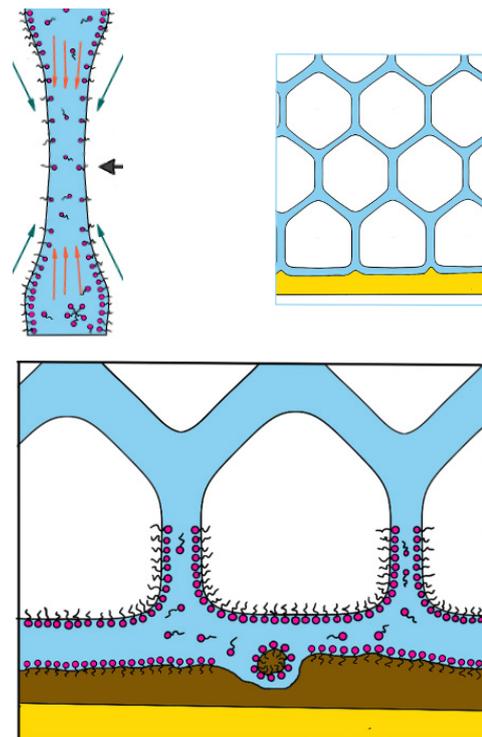
Die oben beschriebene Struktur und die Mechanismen zur Schaumstabilität erklären auch die Mechanismen der Schaumreinigung, die sich in drei wesentliche Punkte unterteilen lassen:

- **Kontrollierte Benetzung der Kontaktfläche**  
Die durch den Flüssigkeitstransport innerhalb der Schaumstruktur bzw. Lamelle in Richtung Plateau-Border und durch die Schwerkraft stattfindende Drainage bzw. Flüssigkeitsabgabe von oben nach unten bewirkt die notwendige Benetzung der Kontaktfläche. Es liegt an der Formulierung des Reinigungsschaums, die Drainage in kontrollierter Weise ablaufen zu lassen.
- **Schonender Ablösungsprozess der Schmutzpartikel (Abb. 4)**  
Die von Plateau beschriebene Schaumstruktur ist dafür verantwortlich, dass die Schaummatrix große Flexibilität bei gleichzeitiger Stabilität aufweist und der Flüssigkeitsanteil in entsprechender Verteilung in die Schaummatrix aufgenommen wird. Das System der eng aneinander liegenden polyedrischen Schaumblasen bewirkt, dass auf die Schaumstruktur wirkende Scherkräfte ständig von Neuem stabilisiert werden, indem sich das System wieder ausrichtet und in die Grundposition zurückkehrt bzw. der ausscherende Bereich durch den Schaumkörper „nachgezogen“ wird.<sup>16</sup> Dies entfacht an der Kontaktfläche einen Art Wischeffekt, der zu einem sehr schonenden Ablösungsprozess im Reinigungsvorgang führt. Er findet ohne äußeren Kontakt statt bzw. ohne die Objektoberfläche von außen zu berühren.
- **Aufnahme der gelösten Schmutzpartikel in den Schaumkörper (Abb. 5)**  
Die Ostwald-Reifung und die Schwerkraftwirkung führen dazu, dass die Schaumstruktur einem ständigen Veränderungsprozess mit Neubildung unterliegt. Dies führt zu laufenden Verformungen in der Schaumstruktur, wodurch der Gibbs-Marangoni-Effekt forciert wird: Die Flüssigkeit wird von den wenig kontrahierten Bereichen in Richtung kontrahierte Bereiche der Schaumlamelle gepumpt, was einem Saugeffekt gleichkommt. Das Reinigungswasser, das die Kontaktfläche durch

eine kontrollierte Drainage benetzt, wird nach dem Lösungsprozess der Schmutzpartikel ohne Hilfe von außen wieder in den Schaumkörper gepumpt. Visuell ist dieser Prozess durch eine Farbänderung des Schaums ersichtlich. Um das Schmutzwasser besser in der Schaummatrix zu halten, werden zusätzliche Hilfsstoffe wie Co-Tenside, Verdickungsmittel und andere die Viskosität beeinflussende Ingredienzien in die Schaumformulierungen eingebaut.<sup>17</sup>

In der Praxis laufen die kontrollierte Benetzung der Kontaktfläche, der schonende Ablösungsprozess der Schmutzpartikel und die Aufnahme der gelösten Schmutzpartikel in den Schaumkörper während der Auftragsdauer des Reinigungsschaums parallel ab. Durch zusätzliche äußere Mobilisierung des Schaums kann dieser Prozess beschleunigt werden, wesentlich ist jedoch die Feststellung, dass dieser Prozess ohne weiteren äußeren Einfluss stattfindet.

5 Aufnahme der gelösten Schmutzpartikel in den Schaumkörper



## Grundlagen für die Formulierung von Reinigungsschäumen

Ein Reinigungsschaum besteht einerseits aus Komponenten, die eine ausreichende Stabilität der Schaummatrix bewirken, andererseits aus den für den speziellen Reinigungsvorgang ausgesuchten Bestandteilen. Dabei sollten Stabilisatoren und Reinigungsmittel mengenmäßig auf ein Minimum beschränkt werden, um Rückstände für die notwendige Nachreinigung möglichst gering zu halten. Beide Bestandteile stehen in Wechselwirkung zueinander, das heißt, Stoffe, die für die Schaumstabilität verantwortlich sind, können auch eine aktive Rolle beim Reinigungsprozess haben bzw. Komponenten, die für die Reinigung verantwortlich sind, können auch die Schaummatrix stabilisieren oder destabilisieren.

Voraussetzung für die Schaumbildung sind Grenzflächen mit niedriger Oberflächenspannung, was in erster Linie durch die Verwendung von Tensiden erreicht wird. Die Anreicherung von Tensiden an den Grenzflächen zwischen Luft und Flüssigkeit senkt die Grenzflächenenergie und sichert die Bildung und Stabilität der Luftblasen in der Flüssigkeit.

Darüber hinaus tragen sie zur Erhöhung der Viskosität an den Grenzflächen bei, wodurch ebenfalls die Schaumstabilität verbessert wird.<sup>18</sup>

Wesentlich dabei ist die Erkenntnis, dass anionische Tenside ein Maximum der Schaumbildung schon bei oder knapp über der kritischen Mizellenkonzentration (CMC)<sup>19</sup> erreichen.<sup>20</sup> Das heißt, dass Dosierungen, die darüber liegen, eine Schaumbildung nicht weiter verbessern. Gleichzeitig bedeutet es auch, dass die benötigte Tensidmenge für die maximale Schaumbildung unter der für die Reinigungswirkung notwendigen Menge von Tensiden liegt, die in der Restaurierung im Allgemeinen mit der drei- bis fünffachen kritischen Mizellenkonzentration (CMC) angegeben wird.<sup>21</sup> Dieser Umstand macht die Formulierung von Schäumen für die Reinigung von Oberflächen an Objekten der Kunst und Denkmalpflege mit (anionischen) Tensiden besonders interessant. Darüber hinaus werden die Schaumlamellen durch die Ladung der ionischen Tenside stabilisiert. Durch die Kombination der ionischen Tenside stabilisiert. Durch die Kombination mit amphoteren Tensiden kann die Schaumstabilität zusätzlich enorm verbessert werden.<sup>22</sup> Nicht ionische Tenside sind zwar schlechtere Schaumbildner, in Kombination können jedoch beispielsweise die biologisch gut abbaubaren Alkylpolyglucoside (AGP) zusätzlich zur Schaumstabilität beitragen.<sup>23</sup>

Glycerol bildet Wasserstoffbrücken aus und erhöht die Viskosität der Flüssigkeit, wodurch die Verdunstungsrate herabgesetzt und die Schaummatrix zusätzlich stabilisiert wird.<sup>24</sup> Wie die Erfahrung zeigt, verbessert die Beigabe von Glycerol darüber hinaus die Anhaftung der Schaummatrix an Oberflächen, was besonders wichtig ist, wenn über Kopf oder an senkrechten Oberflächen gearbeitet wird.

Schon die Beigabe von geringen Mengen von Verdickungsmitteln erhöht die Viskosität der Flüssigkeit und wirkt schaumstabilisierend. Darüber hinaus reduziert sie die Drainage und hält die gelösten Schmutzpartikel in der Schaummatrix. Je nach Wahl der Verdickungsmittel können zusätzliche Begleiteffekte erreicht werden.

### Kriterien und Komponenten für eine selektive Reinigung durch das in der Schaummatrix verteilte Reinigungswasser

Hier gelten im Wesentlichen die Ansätze für die wässrige Reinigung, die u. a. von Richard Wolbers<sup>25</sup> und Paolo Cremonesi<sup>26</sup> beschrieben wurden. Sie haben auch für die Formulierung der wässrigen Komponente in Reinigungsschäumen ihre Gültigkeit und werden in Folge kurz zusammengefasst:

Den Ausgangspunkt für die Formulierung der wässrigen Komponente bildet in der Regel die Messung des pH-Werts und der Ionenkonzentration der zu reinigenden Oberfläche des Kunstobjekts.

Für die Reinigungslösung wird eine Pufferlösung entsprechend des gemessenen pH-Werts hergestellt und die Ionenkonzentration bezogen auf die gemessene Ionenkonzentration des Kunstobjekts isotonisch oder leicht hypertonisch eingestellt. Als Richtlinie und Hilfestellung wird in der Literatur eine Konzentration von 25 mmol/L bzw. ein Messwert der Ionenkonzentration zwischen 2 und 8 mS angegeben.

Für das spezifische Reinigungsproblem kann das gepufferte Wasser durch die Wahl von weiteren Tensiden bzw. Cotenensiden, Chelatbildnern und/oder Enzymen weiter angepasst werden. Durch die Wahl des Verdickungsmittels können neben der Stabilisierung der Reinigungsflüssigkeit, Rheologie und emulsionsunterstützende Eigenschaften beeinflusst werden. Dadurch ist es möglich, in Wasser unlösliche Lösungsmittel in das wässrige System einzuemulgieren.<sup>27</sup>

## Geeignete Materialien für die Formulierung von Reinigungsschäumen

Wie oben beschrieben, lassen sich stabile Reinigungsschäume aus der Kombination von einem anionischen Tensid (Primärtensid) und einem amphoteren Co-Tensid herstellen. Zugaben von Verdickungsmitteln, Glycerol und/oder nicht ionischen Tensiden können die Stabilität von Schäumen zusätzlich verbessern.

Als anionische Primärtenside kommen Tenside infrage, die sich besonders gut für die Lösung von fett- und ölgebundenem Schmutz (bspw. Natriumlaurylethersulfat) oder für die Lösung von proteingebundenem Schmutz (bspw. Cocco-collagen) eignen. Dadurch kann schon mit der Wahl des Primärtensids eine gewisse Affinität zu den zu lösenden Schmutzbestandteilen hergestellt werden. Zu beachten sind allerdings auch die Bindemittel der zu reinigenden Oberfläche, weshalb beispielsweise bei jungen Ölfilmen die Anwendung von proteinaffinen Tensiden schonender sein kann als die Verwendung von öläffinen Tensiden.

Die besondere Stabilität der Schaummatrix wird erst durch die Zugabe eines amphoteren Tensids (bspw. Cocco Amido Betaine) bewirkt. Der positiv geladene Teil des amphoteren Tensids setzt sich dabei zwischen die negativen Ladungen des anionischen Tensids, wodurch die Grenzfläche enorm stabilisiert wird.<sup>28</sup> Es wird in der Literatur auch als „Foam-Booster“<sup>29</sup> bezeichnet. Als ökofreundliche, nicht ionische Co-Tenside werden Alkohol Ethoxylate wie Ecosurf EH9<sup>30</sup> und die Alkylpolyglucoside Decylglucosid,<sup>31</sup> Glucopon 225DK<sup>32</sup> und Glucopon 215 UP<sup>33</sup> diskutiert.

Geeignete Verdickungsmittel, die sowohl die Schaumstabilität als auch die Speicherung des in die Schaumstruktur gepumpten Schmutzwassers verbessern, sind Natrium-Carboxy-Methylcellulose (Na-CMC), Xanthan Gum (Vanzan NF-C) und Pemulen TR2. Na-CMC stabilisiert besonders gut im basischen Bereich, Xanthan Gum und Pemulen TR2 haben emulsionsbildende Eigenschaften. Glycerol beeinflusst die Stabilität besonders bei Anwendung über Kopf und bei senkrechten Flächen.

## Fallbeispiele

Die folgenden Beispiele zeigen exemplarisch Schaumformulierungen, die in unterschiedlichen Anwendungsbereichen besonders gute Ergebnisse erzielt haben. In der Praxis sind eine Vielzahl von Variationen und Feinjustierungen möglich, die ebenso gute Ergebnisse liefern können. Je nach Substrat (bzw. zu reinigender Oberfläche) muss auf spezielle Reinigungsproblematiken durch Anpassungen in der Formulierung reagiert werden. Die Veränderung des pH-Werts, die Zugabe von Co-Tensiden, Chelatbildnern oder Enzymen oder der Austausch des Verdickungsmittels können sowohl die Stabilität der Schaummatrix als auch das Reinigungsergebnis wesentlich beeinflussen.

1. Die von Theophil Hansen entworfene Bibliothek der Akademie der bildenden Künste Wien wurde im Rahmen der Generalsanierung des historischen Gebäudes restauriert. Die Bibliotheksschränke aus Eiche sind mit Schablonenmalerei und Linierungen in Öltechnik geziert und wurden mehrfach mit einem Ölfirnis überzogen. Der Ölfirnis war stark verschmutzt, die Schmutzpartikel waren teilweise in die leicht verbräunten Pflegeschichten eingebunden (Abb. 6 a–c). Für die Oberflächenreinigung wurde ein Reinigungsschaum wie folgt zusammengestellt:

#### Phase A

- 1) 100 ml Wasser
- 2) 0,5 g Zitronensäure
- 3) pH 8,5 mit Triethanolamin

#### Phase B

- 4) 0,7 g Natriumlaurylsulfat
- 5) 0,1 ml Cocoamidopropyl Betain
- 6) 1,5 ml Glycerol
- 7) 1 ml Isopropanol
- 8) 0,2 g Na-Carboxymethylcellulose

0,5 g (zirka 25 mmol) Zitronensäure wurden in destilliertem Wasser gelöst, die Lösung wurde mit Triethanolamin auf den pH-Wert von 8,5 gepuffert. Als Primärtensid wurde Natriumlaurylsulfat in einer Konzentration des ca. dreifachen CMC verwendet. Als schaumstabilisierendes Co-Tensid wurde das amphotere Tensid Coccoamidopropyl Betain zugesetzt. Als zusätzliche Stabilisatoren wurden geringe Mengen von Glycerol, Isopropanol und das Verdickungsmittel Natrium-Carboxymethylcellulose zugesetzt. Nach der vollständigen Lösung aller Bestandteile wurde die modifizierte Reinigungsflüssigkeit in einen Schaumspender gefüllt, aus welchem nach dem Pumpvorgang die gewünschte Schaummenge für die Oberflächenreinigung entnommen werden konnte.

Interpretation: Das anionische Tensid Natriumlaurylsulfat (Primärtensid) und das amphotere Co-Tensid Coccoamidopropyl Betain bilden den stabilen Schaumkörper. Natriumlaurylsulfat ist darüber hinaus gut fettlösend, zusammen mit den Komponenten der Reinigungsflüssigkeit (Zitronensäure als Chelatbildner und TEA als Puffer) lösten sie bei einem erhöhten pH-Wert von 8,5 den in die Pflegeschicht eingebundenen Schmutz gut. Glycerol erhöhte die Stabilität des Schaums und die Standfestigkeit bei senkrechten Flächen, Natrium-Carboxymethylcellulose verhinderte einerseits, dass das bereits in die Schaummatrix gelangte Schmutzwasser wieder auf die Kontaktfläche gelangt, andererseits wirkt es bei leicht erhöhten pH-Werten schaumstabilisierend. Der Schaum mit den gelösten Schmutzpartikeln wurde nach erfolgter Reinigung von der Oberfläche abgenommen. Die Nachreinigung erfolgte mit einem pH-justierten Reinigungswasser mit den flüchtigen Säure-Base Anteilen aus Essigsäure und Ammoniumhydroxid. <sup>34</sup>



6a Akademie der bildenden Künste Wien, Bibliothek, Raum des Bibliothekars: Detail während der Schaumreinigung Juni 2020



6b Akademie der bildenden Künste Wien, Bibliothek, Raum des Bibliothekars: Detail während der Schaumreinigung Juni 2020



6c Akademie der bildenden Künste Wien, Bibliothek, Raum des Bibliothekars: Endzustand Februar 2022

2. Im Rahmen der Generalsanierung des österreichischen Parlaments, ebenfalls ein Bau des Architekten Theophil Hansen, wurden auch die maserierten Holzoberflächen des Bundesversammlungssaals restauriert. Die Galerien und die dahinter angeordneten Gänge sind mit Holzvertäfelungen mit Holzimitationen bzw. Maserierungen in Öltechnik ausgekleidet (Abb. 7 a–b).

Für die Oberflächenreinigung wurde ein Reinigungsschaum wie folgt zusammengestellt:

#### Phase A

- 1) 100 ml Wasser
- 2) 0,5 g Zitronensäure
- 3) ca. 2 ml Natriumhydroxid 10%ig (pH ca. 6,5; 5 mS)
- 4) 0,2 g Xanthan (VANZAN NF-C)
- 5) 1 ml Isopropanol
- 6) 1 ml Benzylalkohol

#### Phase B

- 7) 1,5 ml Coccocollagen
- 8) 0,1 ml Cocoamidopropyl Betain
- 9) 1,5 ml Glycerol

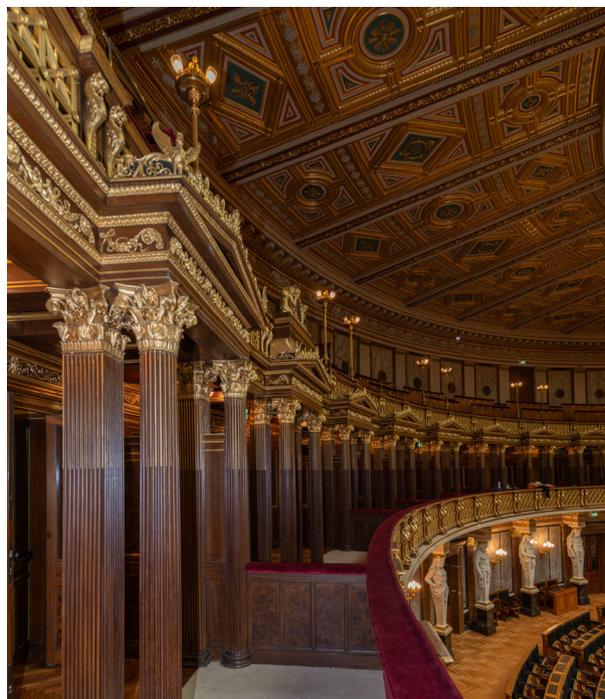
0,5 g (zirka 25 mmol) Zitronensäure wurden in destilliertem Wasser gelöst, die Lösung wurde mit Natriumhydroxid auf den pH-Wert von 6,5 (Messwert der maserierten Oberfläche) gepuffert. 0,2 g Xanthan wurden in 1 ml Isopropanol dispergiert und anschließend in der vorbereiteten Lösung gelöst. 1 ml Benzylalkohol wurde in die Lösung emulgiert. Als Primärtensid wurde Coccocollagen in einer Konzentration des ca. dreifachen CMC verwendet. Als schaumstabilisierendes Co-Tensid wurde das amphotere Tensid Coccoamidopropyl Betain zugesetzt. Als zusätzlicher Stabilisator wurden geringe Mengen von Glycerol zugesetzt. Nach der vollständigen Lösung aller Bestandteile wurde die modifizierte Reinigungsflüssigkeit in einen Schaumspender gefüllt, aus dem durch einen Pumpvorgang die gewünschte Schaummenge für die Oberflächenreinigung entnommen werden konnte.

Interpretation: Das anionische Tensid Coccocollagen (Primärtensid) und das amphotere Co-Tensid Coccoamidopropyl Betain bilden den stabilen Schaumkörper. Coccocollagen ist nicht nur für die Lösung von proteinhaltigem Schmutz geeignet, sondern es ist auch mild gegenüber ölhaltigem Bindemittel. Zusammen mit den Komponenten der Reinigungsflüssigkeit (Zitronensäure als Chelatbildner und Puffer und Natriumhydroxid für die Einstellung des pH-Werts, Benzylalkohol für die Lösung von aromatischen Schmutzanteilen) reinigten sie den eingebundenen

Schmutz gut, ohne die Oberfläche anzugreifen. Glycerol erhöht die Stabilität des Schaums und die Standfestigkeit bei senkrechten Flächen. Xanthan verhindert einerseits, dass das bereits in die Schaummatrix gelangte Schmutzwasser wieder auf die Kontaktfläche gelangte, andererseits wirkt es emulsionsstabilisierend und ist notwendig, um Benzylalkohol in die Reinigungsflüssigkeit zu emulgieren. Der Schaum mit den gelösten Schmutzpartikeln wurde nach erfolgter Reinigung von der Oberfläche abgenommen. Die Nachreinigung erfolgte mit einem pH-justierten Reinigungswasser mit flüchtigen Säure-Base Anteilen.



7a Parlament Wien, Bundesversammlungssaal: Detail während der Schaumreinigung Februar 2022 links gereinigt; Mitte während der Reinigung; rechts vor der Reinigung



7b Parlament Wien, Bundesversammlungssaal: Endzustand September 2022

3. Im Rahmen der Restaurierung einer Boulle-Kommode der Staatlichen Kunstsammlungen in Dresden wurde als Vorstufe für weitere Restaurierungsschritte der anhaftende Oberflächenschmutz abgenommen. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die unterschiedlichen eng aneinandergrenzenden Materialien gelegt (Messing, Schildpatt, leimgebundene Gravurkitte; **Abb. 8 a–c**).

Für die Oberflächenreinigung wurde ein Reinigungsschaum wie folgt zusammengestellt:

#### Phase A

- 1) 100 ml Wasser
- 2) 0,5 g Bisaminotrismethan (BIS-TRIS)
- 3) pH 6,5 Essigsäure 10%ig
- 4) 0,2 g Xanthan (VANZAN NF-C)
- 5) 1 ml Isopropanol
- 6) 1 ml Benzylalkohol

#### Phase B

- 7) 0,2 ml Natriumlauryl ethersulfat (SLES)
- 8) 0,1 ml Cocoamidopropyl Betain
- 9) 0,01 g Marlipal 1618/25
- 10) 1,5 ml Glycerol



**8a** Staatliche Kunstsammlungen Dresden, Kommode, Inv.-Nr. 39838: Detail während der Schaumreinigung Juni 2021



**8b** Staatliche Kunstsammlungen Dresden, Kommode, Inv.-Nr. 39838: Detail während der Schaumreinigung UV-Aufnahme Juni 2021

0,5 g BIS-TRIS wurden in destilliertem Wasser gelöst und mit 10%iger Essigsäure auf einen pH-Wert von 6,5 eingestellt. 0,2 g Xanthan wurden in 1 ml Isopropanol dispergiert und anschließend in der vorbereiteten Lösung gelöst. 1 ml Benzylalkohol wurde in die Lösung emulgiert. Als Primärtensid wurde Natriumlauryl ethersulfat in einer Konzentration des ca. fünffachen CMC verwendet. Als schaumstabilisierendes Co-Tensid wurde das amphotere Tensid Coccoamidopropyl Betain zugesetzt. Als weiteres Co-Tensid wurde Marlipal 1618/25 und als zusätzlicher Stabilisator geringe Mengen von Glycerol zugesetzt. Nach der vollständigen Lösung aller Bestandteile wurde die modifizierte Reinigungsflüssigkeit in einen Schaumspender gefüllt, aus dem durch einen Pumpvorgang die gewünschte Schaummenge für die Oberflächenreinigung entnommen werden konnte.

Interpretation: Das anionische Tensid Natriumlauryl ethersulfat (SLES, Primärtensid) und das amphotere Co-Tensid Coccoamidopropyl Betain bilden den stabilen Schaumkörper. Natriumlauryl ethersulfat ist wie Natriumlaurylsulfat gut fettlösend, besitzt jedoch einen wesentlich geringeren CMC, wodurch die Tensidmenge reduziert werden kann. Die wässrige Komponente wurde mit Rücksicht auf die unterschiedlichen Materialien auf einen pH-Wert von 6,5 ohne Chelatbildnerzusatz gepuffert (Essigsäure, BIS-TRIS). Der Zusatz des nicht ionischen Tensids Marlipal 1618/25 verbesserte den Schmutzabtrag, Benzylalkohol die Lösung von aromatischen Schmutzanteilen. Glycerol erhöht die Stabilität des Schaums und die Standfestigkeit bei senkrechten Flächen. Xanthan verhindert einerseits, dass das bereits in die Schaummatrix gelangte Schmutzwasser wieder auf die Kontaktfläche gelangt, andererseits wirkt es emulsionsstabilisierend und ist notwendig, um Benzylalkohol in die Reinigungsflüssigkeit zu emulgieren. Der Schaum mit den gelösten Schmutzpartikeln wurde nach erfolgter Reinigung von der Oberfläche abgenommen. Die Nachreinigung erfolgte mit einem pH-justierten Reinigungswasser mit den Säure-Base Anteilen aus Kohlendioxid (Sodawasser) und Natriumhydroxid.



**8c** Staatliche Kunstsammlungen Dresden, Kommode, Inv.-Nr. 39838: Detail teilgereinigte Oberfläche Juni 2021

4. Im Rahmen der Restaurierung des Wohn- und Schlafzimmers der Kaiserin Elisabeth in der Hofburg in Wien wurde auch der polimentvergoldete Schnitzdekor gereinigt (Abb. 9 a–d).

Für die Oberflächenreinigung wurde ein Reinigungsschaum wie folgt zusammengestellt:

#### Phase A

- 1) 100 ml Wasser
- 2) 0,5 g Zitronensäure
- 3) pH 5,5 mit 1 M Natriumhydroxid (ca. 6 ml)
- 4) 0,2 g Xanthan (VANZAN NF-C)
- 5) 1 ml Isopropanol
- 6) 1 ml Benzylalkohol

#### Phase B

- 7) 0,2 ml Natriumlaurylathersulfat SLES
- 8) 0,1 ml Cocoaminopropyl Betain
- 9) 0,2 ml Decylglucosid

0,5 g (zirka 25 mmol) Zitronensäure wurden in destilliertem Wasser gelöst, die Lösung wurde mit Natriumhydroxid auf den pH-Wert von 5,5 (Messwert des Poliments über Kreidegrund = isoelektrischer Punkt der Proteinbindemittel) gepuffert. 0,2 g Xanthan wurden in 1 ml Isopropanol dispergiert und anschließend der vorbereiteten Lösung zugegeben. 1 ml Benzylalkohol wurde in die Lösung emulgiert. Als Primärtensid wurde Natriumlaurylathersulfat in einer Konzentration des ca. fünffachen CMC verwendet. Als schaumstabilisierendes Co-Tensid wurde das amphotere Tensid Coccoamidopropyl Betain zugesetzt. Das nichtionische Zuckertensid Decylglucosid dient der zusätzlichen Stabilisierung des Schaumkörpers. Nach der vollständigen Lösung aller Bestandteile wurde die modifizierte Reinigungsflüssigkeit in einen Schaumspender gefüllt, aus dem mittels Pumpvorgang die gewünschte Schaummenge für die Oberflächenreinigung entnommen werden konnte.

Interpretation: Die Zitronensäure dient als Puffersubstanz und als Chelatbildner. Der pH-Wert wurde mit Natriumhydroxid auf den isoelektrischen Punkt der Protein-Bindemittel<sup>35</sup> der Polimentvergoldung eingestellt (an der Oberfläche des Poliments gemessener pH-Wert), um die Löslichkeit möglichst gering zu halten. Das anionische Tensid Natriumlaurylathersulfat (Primärtensid) und das amphotere Co-Tensid Coccoamidopropyl Betain bilden den stabilen Schaumkörper. Die Zugabe des nichtionischen Zuckertensids Decylglucosid stabilisierte den Schaumkörper zusätzlich und verbesserte den Schmutzabtrag. Benzylalkohol wurde für die Lösung von aromatischen Schmutzanteilen beigelegt. Xanthan verhindert einerseits, dass das bereits in die Schaummatrix gelangte Schmutzwasser wieder auf

die Kontaktfläche gelangt, andererseits wirkt es emulsionsstabilisierend und ist notwendig, um Benzylalkohol in die Reinigungsflüssigkeit zu emulgieren. Der Schaum mit den gelösten Schmutzpartikeln wurde nach erfolgter Reinigung von der Oberfläche abgenommen. Die Nachreinigung erfolgte mit 96%igen Ethanol, um die wasserempfindliche Polimentvergoldung nicht anzugreifen.



9a Hofburg Wien, Wohn- und Schlafzimmer Kaiserin Elisabeth: Detail der Polimentvergoldung Vorzustand



9b Hofburg Wien, Wohn- und Schlafzimmer Kaiserin Elisabeth: Detail der Polimentvergoldung während der Schaumreinigung



9c Hofburg Wien, Wohn- und Schlafzimmer Kaiserin Elisabeth: Detail der Polimentvergoldung nach erfolgter Schaumreinigung

## Zusammenfassung

Modifizierte Schäume können für die Lösung von Verschmutzungen bzw. von Fremdmaterial auf gefassten und materialsichtigen Objekten der Kunst und Denkmalpflege von großem Nutzen sein. Durch ihren Aufbau und die in der Schaumstruktur stattfindenden physikalischen Prozesse sind sie in der Lage, ohne mechanische Einwirkung die zu reinigende Oberfläche kontrolliert zu benetzen, den Schmutzabtrag zu forcieren und die gelösten Schmutzpartikel in die Schaummatrix aufzunehmen. Im Anschluss an den autonomen Reinigungsprozess kann der Schaum mit den gelösten Schmutzkomponenten von der Oberfläche abgesaugt oder mit anderen Hilfsmitteln weitgehend rückstandsfrei abgenommen werden. Für die Formulierung von Reinigungsschäumen ist es daher wesentlich, die Komponenten, die für die Bildung eines stabilen Schaums und für die Lösung der spezifischen Schmutzkomponenten notwendig sind, mengenmäßig möglichst gering zu halten und verbleibende Rückstände in einem Nachreinigungsvorgang vollständig von der Oberfläche zu entfernen. Dies gelingt am besten, indem anionische, amphotere und nichtionische Tenside mit einem ausgewählten Verdickungsmittel und anderen Zugschlagstoffen kombiniert werden. Dabei ist die Erkenntnis von Bedeutung, dass die Mengen der für

eine Schaumreinigung notwendigen Komponenten bei richtiger Formulierung den Mengen, die sich für die Reinigung von Kunstwerken mit wässrigen Systemen etabliert haben, entsprechen bzw. sogar darunterliegen.

Maßgeschneiderte Reinigungsschäume sind damit sehr flexible, viskose, selbstreinigende Systeme, deren Formulierung sich nicht nur gut an die spezielle Reinigungsproblematik anpassen lässt, sondern die sich auch ohne größere Schwierigkeiten weitgehend rückstandsfrei von der Oberfläche entfernen lassen. Zusätzlich können sie in Situationen eine große Hilfe sein, bei denen eine äußere Mobilisierung des abzunehmenden Materials, beispielsweise durch Wattestäbchen, Pinsel oder Schwämme, schon zu invasiv erscheint.

### Peter Kopp

KOPP Restauratoren GmbH/Akademie der bildenden Künste  
Wien, Österreich  
[p.kopp@kopp-restauratoren.at](mailto:p.kopp@kopp-restauratoren.at)  
[p.kopp@akbild.ac.at](mailto:p.kopp@akbild.ac.at)



9d Hofburg Wien, Wohn- und Schlafzimmer Kaiserin Elisabeth: Endzustand Februar 2021

## Anmerkungen

- 1 BANIK/KRIST 1984
- 2 WOLBERS 2000
- 3 KOPP 2017
- 4 HALLER 1995
- 5 ANGELOVA ET AL. 2017; CREMONESI 2013
- 6 KOPP 2017, S. 249
- 7 MOLLET/GRUBENMANN 2000, S. 125 f.
- 8 SCHRAMM 2014, S. 10 f.
- 9 [https://en.wikipedia.org/wiki/Plateau%27s\\_laws](https://en.wikipedia.org/wiki/Plateau%27s_laws) [Zugriff: 4.11.2023]
- 10 BIKERMANN 1965, S. 57
- 11 [https://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_Ostwald](https://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Ostwald) [Zugriff: 4.11.2023]
- 12 BIKERMANN 1965, S. 58
- 13 MOLLET/GRUBENMANN 2000, S. 127
- 14 BIKERMANN 1965, S. 58
- 15 SCHRAMM 2014, S. 126
- 16 DENKOV 2012, S. 91 f.
- 17 MOLLET/GRUBENMANN 2000, S. 323 f.
- 18 SCHRAMM 2014, S. 132
- 19 SCHRAMM 2014, S. 133
- 20 MOHAMMADI 2018, S. 59
- 21 WOLBERS 2020, S. 520
- 22 MITRINOVA ET AL. 2012, S. 197; ABBOTT 2015, S. 144
- 23 MARINOVA ET AL. 2017, S. 55
- 24 ABBOTT 2015, S. 147
- 25 WOLBERS 2000
- 26 CREMONESI 2001
- 27 WOLBERS ET AL. 2020, S. 526–548
- 28 MITRINOVA ET AL. 2012, S. 196
- 29 ABBOTT 2015, S. 171
- 30 WOLBERS ET AL. 2020, S. 529
- 31 <https://inci.guide/glucosides/decyl-glucoside> [Zugriff: 22.11.2023]
- 32 MARINOVA ET AL. 2017, S. 56
- 33 SCHAD ET AL. 2022, S. 378
- 34 STAVROUDIS 2013
- 35 SCHELLMANN 2007

## Literatur

### ABBOTT 2015:

Steven Abbott, Surfactant Science: Principles and Practice. 2015/20 <https://www.stevenabbott.co.uk/index.php> [Zugriff: 16.3.2024]

### ANGELOVA ET AL. 2017:

Lora Angelova, Bronwyn Ormsby, Joyce H. Townsend und Richard C. Wolbers, Gels in the Conservation of Art. London 2017

### BANIK/KRIST 1984:

Gerhard Banik und Gabriela Krist, Lösungsmittel in der Restaurierung. Wien 1984

### BIKERMAN 1965:

Jacob Joseph Bikerman, Foams and Emulsions – Formation, Properties and Breakdown. In: Industrial and Engineering Chemistry, Bd. 57(1), 1965, S. 56–62

### CREMONESI 2001:

Paolo Cremonesi, L'uso di tensioattivi e chelanti nella pulitura di opera policrome. Padova 2001

### CREMONESI 2013:

Paolo Cremonesi, Rigid Gels and Enzyme Cleaning. In: New Insights into the Cleaning of Paintings. In: Proceedings from the Cleaning 2010 International Conference Universidad Politecnica de Valencia and Museum Conservation Institute, 2013, S.179–183

### DENKOV ET AL. 2012:

Nikolai D. Denkov, Slavka D. Tcholakova, Reinhard Höhler und Sylvie Cohen-Addad, Foam Rheology. In: Paul Stevenson (Hrsg.), Foam Engineering. Fundamentals and Applications. Chichester 2012, S. 91–120

### HALLER 1995:

Ursula Haller, Herstellung und Anwendung von Lösungsmittel-Gelen, -pasten und -kompressen in der Restaurierung. Institut für Museumskunde an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste Stuttgart, Weiße Reihe, Bd.11. Stuttgart 1995

### KOPP 2017:

Peter Kopp, Reinigung von Möbeloberflächen und Oberflächen architekturgebundener Holzausstattungen. In: Paul Bernhard Eipper (Hrsg.), Handbuch der Oberflächenreinigung. München 2017, S. 241–252

### MARINOVA ET AL. 2017:

Krastanka G. Marinova, Kristina T. Naydenova, Elka S. Basheva, Frederic Bauer, Juergen Tropsch und Juergen Franke, New surfactant mixtures for fine foams with slowed drainage. In: Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Bd. 523, 2017, S. 54–61

### MITRINOVA ET AL. 2012:

Zlatina Mitrinova, Slavka Tcholakova, Konstantin Golemanov, Nikolai Denkov, Martin S. Vethamuthu, Kavssery und P. Ananthapadmanabhan, Surface and foam properties of SLES+CAPB+fatty acid mixtures: Effect of pH for C12-C16 acids. In: Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Bd. 438, 2013, S. 186–198

### MOHAMMADI 2018:

Shahrazad Mohammadi, Untersuchungen zum temperaturabhängigen Schaumverhalten und zur Schaumstruktur von ausgewählten Tensidsystemen aus dem Bereich der tertiären Erdölforschung. Bachelorarbeit Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Hamburg 2018

### MOLLET/GRUBENMANN 2000:

Hans Mollet und Arnold Grubenmann, Formulierungstechnik. Emulsionen, Suspensionen, Feste Formen. Weinheim 2000

### SCHAD ET AL. 2022:

Tamara Schad, Natalie Preisig, Wiebke Drenckhan und Cosima Stubenrauch, Foam-based cleaning of surfaces contaminated with mixtures of oil and soot. In: Journal of Surfactants and Detergents, Bd. 25, 2022, S. 377–385

### SHELLMANN 2007:

Nanke C. Schellmann, Animal glues: a review of their key properties relevant to conservation. In: Reviews in Conservation, Nr. 8, 2007. S. 55–66

### SCHRAMM 2014:

Laurier L. Schramm, Emulsions, Foams, Suspensions, and Aerosols. Microscience and Applications. Weinheim 2014

### STAVROUDIS 2013:

Christopher Stavroudis: pH adjusted water recipes, technical note. Washington DC 2013  
[https://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/teaching/caps\\_ph\\_adjusted\\_h2o.pdf](https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/teaching/caps_ph_adjusted_h2o.pdf) [Zugriff: 16.3.2024]

### STEVENSON 2012:

Paul Stevenson (Hrsg.), Foam Engineering. Fundamentals and Applications. Chichester 2012

### WOLBERS 2000:

Richard C. Wolbers, Cleaning Paintings: Aqueous Methods. London 2000

### WOLBERS 2020:

Richard C. Wolbers, Christopher Stavroudis und Matthew Cushman, Aqueous methods for the cleaning of paintings. In: Joyce H. Stoner und Rebecca Rushfield (Hrsg.), Conservation of Easel paintings, 2020, S. 526–548, <https://doi.org/10.4324/9780429399916>

## Abbildungsnachweis

### Abb. 2

MOLLET/GRUBENMANN 2000, S. 127; überarbeitete Grafik © Sara Picchi

### Abb. 3

SCHRAMM 2014, S. 157; überarbeitete Grafik © Sara Picchi

### Abb. 4

DENKOV 2012 ET AL., S. 91; überarbeitete Grafik © Sara Picchi

### Alle übrigen Abbildungen:

Autor

### Titel:

Detail aus Abb. 8b

## Lizenz

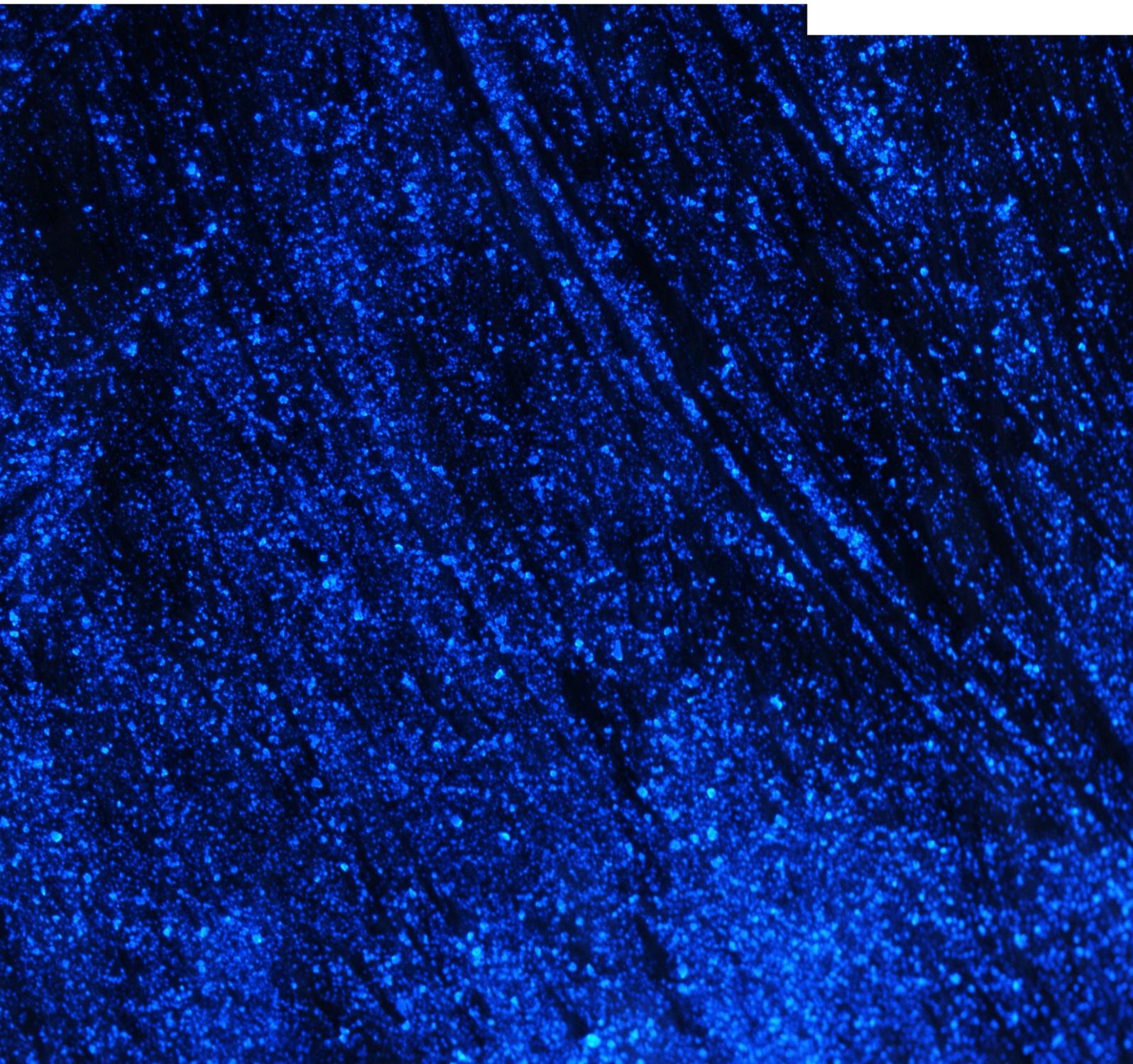
Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# Runter mit dem Wachs!

Eine Untersuchung der Reversibilität von Renaissance Wachs™ von degenerierten Lackoberflächen

Marie-Luise Rönsch



## Runter mit dem Wachs!

### Eine Untersuchung der Reversibilität von Renaissance Wachs™ von degenerierten Lackoberflächeng

Marie-Luise Rönsch

Renaissance Wachs™ ist seit Jahrzehnten ein Standardprodukt in vielen Fachbereichen der Konservierung und Restaurierung. Jedoch bestehen schon seit geraumer Zeit Zweifel bezüglich der Reversibilität des Wachses. Da die Forschungslage in Bezug auf historische Beschichtungen auf Möbeln nicht sehr umfangreich ist, wurde dieses Thema im Rahmen einer Masterthesis am West Dean College of Arts and Conservation behandelt. Das Ziel der Arbeit war die Entwicklung einer umwelt- und gesundheitsverträglichen Methode zur Entfernung des Wachses von einer degenerierten Schellackoberfläche. Hierfür wurde eine umfassende Literaturrecherche sowie experimentelle Forschung basierend auf mikroskopischen Untersuchungen und der ATR-FTIR-Analyse von Proben durchgeführt.

## Off with the wax!

### An investigation into the reversibility of Renaissance Wachs™ on degenerated paint surfaces

Renaissance Wax™ has been a standard conservation material in many specialisms of conservation and restoration for decades. There have been concerns, however, regarding the reversibility of the wax. As research focussing on historical degraded polishes on furniture is sparse a master's thesis at West Dean College of Arts and Conservation focused on this topic. The aim was to develop an environmentally and health-friendly method to remove the wax from degraded polished shellac surfaces. This aim was approached firstly by a comprehensive literature review and secondly by experimental research based on microscopic examination and ATR-FRTI-analysis.

## Zusammensetzung und Verwendung von Renaissance Wachs™ und seiner Komponenten<sup>6</sup>

Renaissance™ Micro-Crystalline Wax Polish, im Folgenden unter der in Deutschland gängigen Bezeichnung „Renaissance Wachs™“ geführt, wurde und wird seit Jahrzehnten in weiten Bereichen der Konservierung und Restaurierung genutzt und gehört zur Standardausstattung vieler Werkstätten und Ateliers. Der Hersteller Picreator Enterprises Ltd. bewirbt das Produkt nach wie vor als „universally respected standard conservation material“.<sup>1</sup>

Jedoch werden seit Jahren verstärkt Bedenken bezüglich der Reversibilität von Renaissance Wachs™ aus verschiedenen Restaurierungsfachbereichen geäußert. Wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema stammen primär aus den Fachbereichen der Gemälde- und Metallkonservierung.<sup>2</sup> Die Ergebnisse der Studien deuten darauf hin, dass die Reversibilität von Renaissance Wachs™ stark von der Porosität und Struktur der Originalsubstanz abhängig ist.<sup>3</sup> Mikrorisse und Porosität, hervorgerufen durch Abbauprozesse und Degeneration, liegen aber bei historischen, naturharzbasierten Beschichtungen auf Möbeln vor. Die Untersuchungen zeigen außerdem, dass zur Entfernung des Wachses erhitzte, hocharomatische und gesundheitsgefährdende Kohlenwasserstofflösemittel eingesetzt werden müssen. Für eine gewünschte re-treatability, also die Wiederbehandelbarkeit von historischen Lackoberflächen, beispielsweise durch die Regenerierung mit Lösemitteln<sup>4</sup> oder Kunstharzen<sup>5</sup>, wäre eine restlose Entfernung des Wachses (und anderer Pflegeprodukte) unabdingbar.

Die Verwendung von Wachsen zum Schutz von Möbeloberflächen hat v. a. in England, wo das Wachsen von bereits gewachsenen Möbeln im Jahresturnus immer noch im „The National Trust Manual of Housekeeping“ empfohlen wird,<sup>7</sup> eine lange Tradition. Da natürliche Wachse u. a. durch Alterungsprozesse nachteilige Auswirkungen auf historische Beschichtungen haben können, entwickelte das Forschungslabor des British Museums in den frühen 1950er Jahren Renaissance Wachs™, anfänglich speziell zur Verwendung auf Möbeloberflächen. Seit 1968 wird Renaissance Wachs™ von Picreator kommerziell hergestellt. In den folgenden Jahrzehnten wurde dieses Produkt verstärkt auch im Bereich der Metallkonservierung eingesetzt.<sup>8</sup> Die Hauptkomponente der Mischung, das mikrokristalline Wachs Cosmoloid H80, kam hingegen in fast allen Fachbereichen der Restaurierung-Konservierung auf einer Vielzahl unterschiedlichster Materialien zum Einsatz.

Plenderleith beschreibt die Zusammensetzung von Renaissance Wachs™ als Mischung von 100 g mikrokristallinem Wachs (Cosmoloid H80) und 25 g Polyethylenwachs (Wax A entspricht heute Luwax® A von BASF)<sup>9</sup>, die unter Zugabe von Testbenzin<sup>10</sup> geschmolzen wird.<sup>11</sup> Auf Anfrage bestätigte Picreator diese seit der Entwicklung nahezu unverändert gebliebene Zusammensetzung.

## Bereits existierende Forschung und Synopsis

Sowohl mikrokristallines Wachs als auch Polyethylenwachs sind synthetische, reine Kohlenwasserstoffwachse, die durch die Polymerisation von Ethen synthetisiert werden. Mikrokristalline Wachse haben mit 360 bis 420 eine deutlich niedrigere molekulare Masse und somit einen niedrigeren Schmelzbereich (62,8 bis 90,6 °C)<sup>12</sup> als Polyethylenwachs mit einer molekulare Masse von 2.000 bis 10.000<sup>13</sup>. Dies resultiert in einem generell höheren Schmelzbereich der Polyethylenwachse (55–106 °C)<sup>14</sup>. Der größte Unterschied zwischen mikrokristallinen und Polyethylenwachsen besteht darin, dass in die Molekülstruktur von mikrokristallinen Wachsen Cycloalkane (gesättigte Ringstrukturen) eingebunden sind.<sup>15</sup> Zudem sind mikrokristalline Wachse stark verzweigt, während Polyethylenwachse sowohl verzweigt als auch unverzweigt sein können. Polyethylenwachse weisen in ihrer Struktur sowohl amorphe als auch kristalline Bereiche auf.<sup>16</sup>

Anders als häufig angenommen zeigen auch Kohlenwasserstoffwachse Alterungserscheinungen. Sie neigen zu Photooxidation und damit verbunden zu Farbveränderungen, Versprödung und der weiteren Vernetzung der Polymere (cross-linking). Vor allem Letzteres wirkt sich negativ auf die Löslichkeit der Wachse aus.<sup>17</sup>

Aufgrund der chemischen Spezifikationen lässt sich eine Löslichkeit der beiden Wachse in Kohlenwasserstofflösemitteln vermuten. Laut Angaben des Vertriebs lässt sich Cosmoloid H80 durch Einschmelzen in Shellsol® T, einem isoparaffinischen, niedrig aromatischen Kohlenwasserstoff, lösen.<sup>18</sup> Jedoch weist, dem Prinzip „Gleiches löst Gleiches“ folgend, die chemische Struktur der mikrokristallinen Wachse darauf hin, dass eine bessere Löslichkeit dieser Wachse in Kohlenwasserstofflösemitteln, die Cycloalkane enthalten, gegeben sein sollte. Zu diesen zählen beispielsweise Shellsol® D70 und Cyclohexan. Um die kristallinen Strukturen von Luwax® A zu lösen, müssen, laut technischem Datenblatt, chlorierte oder aromatische Kohlenwasserstoffe bei erhöhten Temperaturen eingesetzt werden.<sup>19</sup>

Eine systematische Forschung zur Entfernung von Renaissance Wachs™ und seiner Komponenten hat bislang in wenigen Fachbereichen der Konservierung und Restaurierung stattgefunden. Die vorliegenden Ergebnisse sind jedoch sehr aufschlussreich: In der Gemälderestaurierung wurde festgestellt, dass eine Imprägnierung mit mikrokristallinem Wachs als problematisch zu betrachten ist, da das Wachs nur durch Abbürsten (scrubbing) in Kombination mit Lösemitteln zu entfernen ist, was weitere Maßnahmen, wie beispielsweise die Sicherung oder Festigung mit polar löslichen Stoffen, unmöglich macht.<sup>20</sup> Gleiches gilt für mit Wachs imprägnierte Steinobjekte.<sup>21</sup> Mikrokristallines Wachs zum Füllen von Fehlstellen in japanischen Lackarbeiten kann nur entfernt werden, wenn die umgebenden Lackschichten dick und stabil, nicht jedoch, wenn diese porös sind. Eine weitere Behandlung im Rahmen der oben genannten Maßnahmen ist somit nicht möglich.<sup>22</sup>

Im Bereich der Metallrestaurierung wurde durch zahlreiche Untersuchungen belegt, dass Renaissance Wachs™ die Erwartungen zum Korrosionsschutz nur bedingt erfüllt<sup>23</sup> und es erhebliche Probleme bei der Entfernung des Produkts gibt.<sup>24</sup> Eine im Jahr 1996 von Dana L. Moffett verfasste Forschungsarbeit trägt gar den für sich selbst sprechenden Titel „Wax coatings on ethnographic metal objects: Justifications for allowing a tradition to wane“. In dieser Arbeit kommt Moffett zu dem Ergebnis, dass der mikrokristalline Wachsanteil von Renaissance Wachs™ von (in diesem Fall ethnografischen) Metallobjekten durch ein Toluol-Tauchbad entfernt werden muss. Für die Entfernung des Polyethylenwachsanteils ist gar der Einsatz von auf 82 °C erhitztem Toluol notwendig.<sup>25</sup> Toluol ist eine vom Umweltbundesamt als neurotoxisch und reproduktionstoxisch eingestufte Substanz.

Moffetts Ergebnisse werden durch weitere Forschungsarbeiten bestätigt. Rosemarie Johnson, die die Löslichkeit von Cosmoloid H80 untersuchte, kommt zu dem Schluss, dass diese nur mit erhitzten, aromatischen Kohlenwasserstofflösemitteln erreicht werden kann.<sup>26</sup> Tamara Jaeger, die die Entfernung von Paraffinwachs, das chemisch und strukturell große Ähnlichkeiten mit Polyethylen- und mikrokristallinen Wachsen aufweist, von Metallobjekten untersuchte, setzte unter anderem gar auf die Verwendung von auf 150 °C erhitztem Xylol.<sup>27</sup> Bei Xylol handelt es sich ebenfalls um eine vom Umweltbundesamt als neurotoxisch eingestufte Substanz.

Alterungseigenschaften und die komplizierte Löslichkeit der Wachse des über Jahrzehnte andauernden, intensiven Einsatzes von Renaissance Wachs™ verweisen auf eine zukünftige Problematik.

Für den Fachbereich der Konservierung und Restaurierung von Möbeln und Holzobjekten ist es nachteilig, dass sich die bisherige Forschung wenig mit den in diesen Bereichen übli-

chen Oberflächenbeschichtungen und Materialien beschäftigt hat. Speziell zu nennen sind hier historische Lacke, deren Tendenz, mit der Alterung ein Netz von Hohlräumen und Mikrorissen zu entwickeln, sie durchaus in den Bereich der „porösen Oberflächen“ rückt. Wie bereits festgestellt, ist es jedoch gerade die Porosität, die eine Entfernung von Renaissance Wachs™ erschwert. Erhitzung und Toxizität der vorgeschlagenen Lösemittel erfordern eine alternative Lösung für die Behandlung von historischen Lackoberflächen, da die geforderten Temperaturen teilweise eindeutig im Schmelzbereich liegen, so beispielsweise bei Schellack (80 bis 120 °C).<sup>28</sup>

### Methodik

Der Fokus der experimentellen Forschung lag auf der Reversibilität bzw. Entfernung von Renaissance Wachs™ von Oberflächen mit degeneriertem Schellacküberzug. Diese Oberflächenbeschichtung tritt häufig an historischen Holzobjekten auf. Das Ziel war, eine Methode zur restlosen Entfernung des Wachses von einer polierten Lackoberfläche zu entwickeln.

Die Annäherung an diese Zielsetzung fand in zwei Phasen statt:

In einer ersten Phase wurde die Wirksamkeit der gewählten Methoden durch mikroskopische Untersuchung der Probenoberfläche eruiert. Da die Eigenfluoreszenz von Renaissance Wachs™ nicht ausreicht, um unter UV-Licht eine eindeutige Identifikation der An- bzw. Abwesenheit des Wachses zu gewährleisten, wurde das Wachs für diesen Schritt mit dem UV-reaktiven Pigment Apex invisible Blue S versetzt. Diese erste Phase lieferte vor allem qualitative Ergebnisse, die auf der Interpretation und dem Vergleich von vor und nach der Durchführung der Entfernungversuche erstellten Mikrofotografien basierten.

In der zweiten Phase wurden die Ergebnisse aus der ersten Phase überprüft, indem, basierend auf den bereits erlangten Erkenntnissen, eine weitere Serie von Testdurchläufen durchgeführt wurde. In diesem zweiten Stadium wurden die Ergebnisse mit Hilfe der Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR) unter Verwendung der ATR (attenuated total reflectance)-Probentechnik analysiert. Die ATR-FTIR-Analyse lieferte quantitative Daten bezüglich der An- bzw. Abwesenheit des Wachses nach Durchführung der Entfernungversuche in Form von IR-Spektren. Anhand der Spektren war eine Abstufung der Effektivität der Entfernungsmethoden im Verhältnis zueinander möglich.

In einem letzten Schritt wurde die Effektivität der Methoden mit einem Schädlichkeitsranking in Relation gesetzt, welches auf den Sicherheitsdatenblättern der verschiedenen Substanzen basiert.

### Entfernungsmethoden (Phase 1) und Voruntersuchungen für Phase 2

Die Wahl der Lösemittel für die Entwicklung einer Methode zur Entfernung von Renaissance Wachs™ stützte sich auf die in der Literaturrecherche gewonnenen Informationen. Aufgrund der chemischen Spezifikationen der beiden Komponenten des Wachsgemischs fiel die Wahl auf Kohlenwasserstofflösemittel, speziell auf einige Lösemittel der Shellsol®-Linie von Shell. Die engere Auswahl der Lösemittel umfasste Shellsol® T als primär isoparaffinischer Kohlenwasserstoff, Shellsol® A100 als primär aromatischer Kohlenwasserstoff und Shellsol® D70 als Kohlenwasserstoff mit einem hohen Anteil an Cykloalkanen. Letzteres Lösemittel wurde wegen seines Anteils an Cykloalkanen als am vielversprechendsten eingestuft. Shellsol® A100 und Shellsol® D70 wurden auch als Gemisch (1:1) verwendet, um aromatische Eigenschaften und Cykloalkane zu kombinieren.

Genauere Angaben zu den drei ausgewählten Lösemitteln können **Tabelle 1** entnommen werden.

Das Lösemitteldreieck nach Teas wurde bei der Wahl der Lösemittel nicht herangezogen, da sich gezeigt hat, dass dieses in Bezug auf die Bestimmung der Löslichkeit von (semi-) kristallinen Materialien, wie Wachsen, deutlichen Limitationen unterliegt.<sup>29</sup> Außerdem gilt dieses System zur Klassifizierung der Lösungseigenschaften in Bezug auf aromatische und aliphatische Kohlenwasserstofflösemittel als zu ungenau und teilweise gar als falsch.<sup>30</sup>

Um die „schwächeren“ Lösungseigenschaften der gewählten Lösemittel auszugleichen, wurden diese nicht nur flüssig mittels Wattestäbchen, sondern auch modifiziert in Form von zwei Gelen appliziert. Der Grund für das Einbinden der gewählten Lösemittel in Gele war, die längere Retention und Kapillarwirkung der Gele zu nutzen. Durch die Anwendung von Gelen ist ein geringerer Einsatz von Lösemitteln möglich. Damit wird auch eine geringere Menge Lösemittel beim Abdampfen freigesetzt. Bei dem ersten Gel handelte es sich um ein chemisches Gel basierend auf Carbopol® E22 (kreuzvernetzte Polymere auf Basis von Acrylsäure, ein Gelbildner) und Ethomeen® C12 (Kokosalkyl(dihydroxyethyl)amin, ein Emulgator/Netzmittel). Da Ethomeen® C12 im Verdacht steht, Rückstände zu hinterlassen, wurde das Gel als Kompressen auf Japanpapier aufgetragen und die Probenfläche entsprechend nachgereinigt.<sup>31</sup> Das zweite Gel ist ein physikalisches Gel basierend auf Xanthan (ein Polysaccharid), das als wässriges Gel hergestellt wird, in das bis zu 30 % unpolare Lösemittel als Emulsion eingebunden werden können.<sup>32</sup>

Shellsol® T <sup>1</sup>	Ein isoparaffinischer Kohlenwasserstoff mit einem niedrigen Anteil an Cykloalkanen (2 %) und einem sehr niedrigen Anteil an aromatischen Bestandteilen (0,1 %)
Shellsol® A100 (C9–C10) <sup>2</sup>	Ein aromatischer Kohlenwasserstoff, der fast ausschließlich aus Aromaten besteht (> 99 %). Aufgrund des hohen Anteils an Aromaten wurde von diesem Lösemittel durch die längere Retention eine ähnliche Wirkung erwartet wie von Toluol, obwohl die aromatische Komponente in Toluol, Methylbenzen, eine höhere Lösekraft aufweist.
Shellsol® D70 (C11–C14) <sup>3</sup>	Ein aliphatischer Kohlenwasserstoff mit einem hohen Anteil an Cykloalkanen und einem niedrigen aromatischen Anteil (< 0,2 %). Cykloalkane sind gesättigte, ringförmige Kohlenwasserstoffe, die starke Löseeigenschaften haben.
Gemisch Shellsol® A100 und Shellsol® D70 (1:1)	Zur Kombination von aromatischen Eigenschaften mit Cykloalkanen

Tabelle 1 Kriterien zur Auswahl der Lösemittel

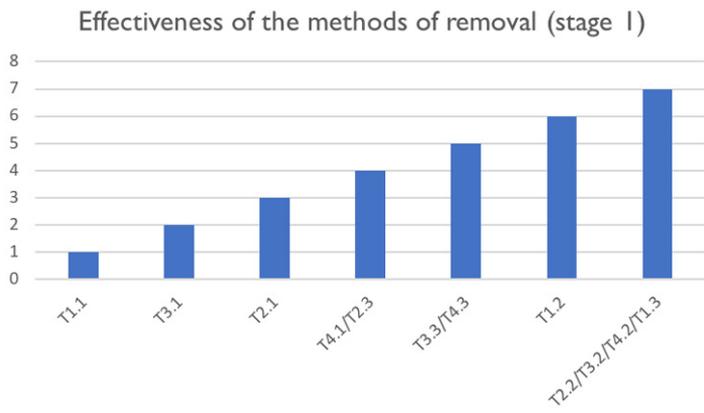
- 1 Shellsol® T: Webseite Shell Globl, <https://www.shell.com/content/dam/shell/assets/en/business-functions/product/chemical-product/documents/shellsol-t-q7412-am.pdf> [Zugriff: 07.06.2024]
- 2 Shellsol® A100: Webseite Shell Global: <https://www.shell.com/content/dam/shell/assets/en/business-functions/business-customer/chemicals/documents/shellsol-a100-q7591-eu-2023.pdf> [Zugriff: 07.06.2024]
- 3 Shellsol D70: Webseite Shell Global, <https://www.shell.com/content/dam/shell/assets/en/business-functions/product/chemical-product/documents/shellsol-d70-q7712-eu.pdf> [Zugriff: 07.06.2024]

	Shellsol® T	Shellsol® A100	Shellsol® D70	Shellsol® A100/D70 (1:1)
Wattestäbchen (15 s)	Serie: T1.1 Proben: 3	Serie: T2.1 Proben: 3	Serie: T3.1 Proben: 3	Serie: T4.1 Proben: 3
Gel I (Carbopol® + Ethomeen®, Einwirkzeit: 5 min)	Serie T1.2 Proben: 5	Serie: T2.2 Proben: 5	Serie: T3.2 Proben: 5	Serie. T4.2 Proben: 5
Gel II (Xanthan, Einwirkzeit: 10 min)	Serie: T1.3 Proben: 5	Serie: T2.3 Proben: 5	Serie: T3.3 Proben: 5	Serie: 4.3 Proben: 5

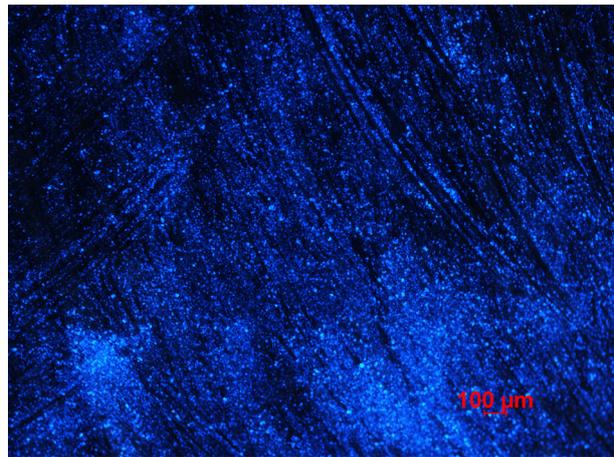
Tabelle 2 Entfernungsmethoden und Testserien, Phase 1

Die Proben für die erste Phase der experimentellen Forschung wurden aus einer sechs Jahre alten, mit einer Schellack-Ballen-Politur versehenen Nussbaumtafel hergestellt. Auf die auf eine Größe von 2 x 2 cm zugeschnittenen Proben wurde das mit 10 % des UV-reaktiven Pigments Apex invisible Blue S versetzte Renaissance Wachs™ aufgetragen und nach zehn Minuten leicht poliert. Es folgte der erste Durchgang der Entfernungversuche, deren genaue Benennung und Durchführung **Tabelle 2** entnommen werden kann.

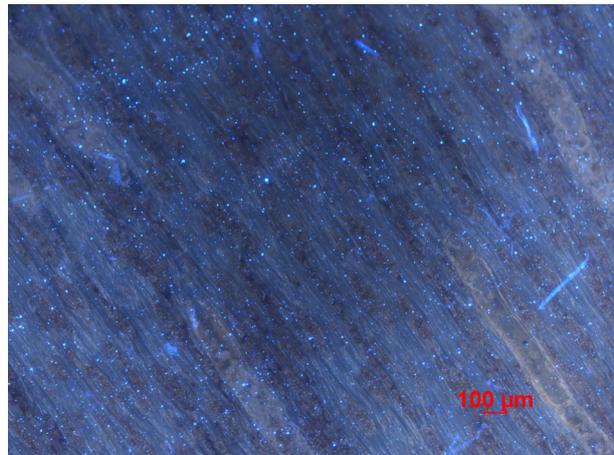
Die mikroskopische Untersuchung<sup>33</sup> der Proben vor und nach den Entfernungversuchen ergab, basierend auf der Reduktion des deutlich sichtbaren UV-reaktiven Pigments, folgende Ergebnisse: Die Effektivität der Entfernungsmethoden kann grob in sieben Stufen unterteilt werden (**Abb. 1**).



1 Effektivität der Entfernungsmethoden, Phase 1



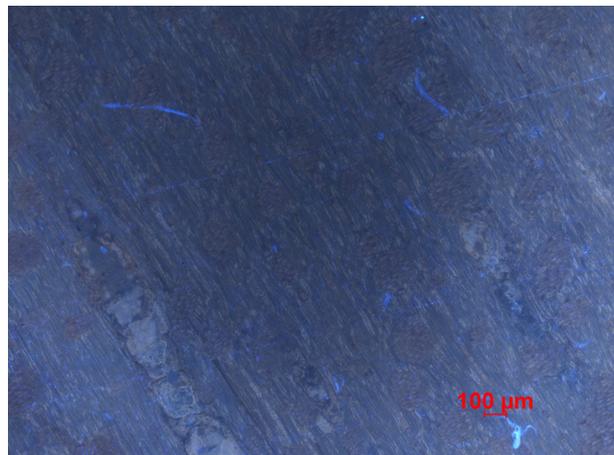
2 Mikrofotografie unter UV-Strahlung nach der Anwendung von Entfernungsmethode T1.1



3 Mikrofotografie unter UV-Strahlung nach der Anwendung von Entfernungsmethode T4.1

Als am wenigsten effektiv erwiesen sich generell die Entfernungsversuche mit dem Wattestäbchen. Darauf folgten das Gemisch Shellsol® A100/ D70 auf dem Wattestäbchen und die Xanthan-basierten Gele, die Shellsol® A 100 und Shellsol® D70 beinhalten. Am effektivsten reinigten drei der Carbopol®-basierten Gele (Shellsol® A100, Shellsol® D70; Shellsol® A100 (D70) und das Xanthan-Gel mit Shellsol® A100. Die in dieser Phase erstellten Mikrofotografien zeigen deutlich die unterschiedlichen Mengen an UV-reaktivem Pigment (s. beispielhaft Abb. 2–4).

Die Ergebnisse dieser ersten Phase zeigen eine deutlich größere Effektivität der gelbasierten Entfernungsmethoden. Es ist jedoch anzumerken, dass es zwar eine Korrelation zwischen der Anwesenheit des Pigments und der Anwesenheit des Wachses gibt, aber keine Kausalität. Pigmentpartikel könnten sich in Mikrorissen im Lack abgesetzt haben und auch in Abwesenheit des Wachses verbleiben. Ebenso könnten Reste des Wachses auf der Oberfläche verbleiben, auch wenn das Pigment entfernt wurde.<sup>34</sup> Die Konsistenz der Ergebnisse innerhalb der verschiedenen Testdurchläufe ließ jedoch eine grundlegende, erste Einschätzung der Effektivität der Entfernungsmethoden zu, auf die in der zweiten Phase aufgebaut werden konnte.



4 Mikrofotografie unter UV-Strahlung nach der Anwendung von Entfernungsmethode T3.2

### Probenvorbereitung und Testdurchgänge (Phase 2)

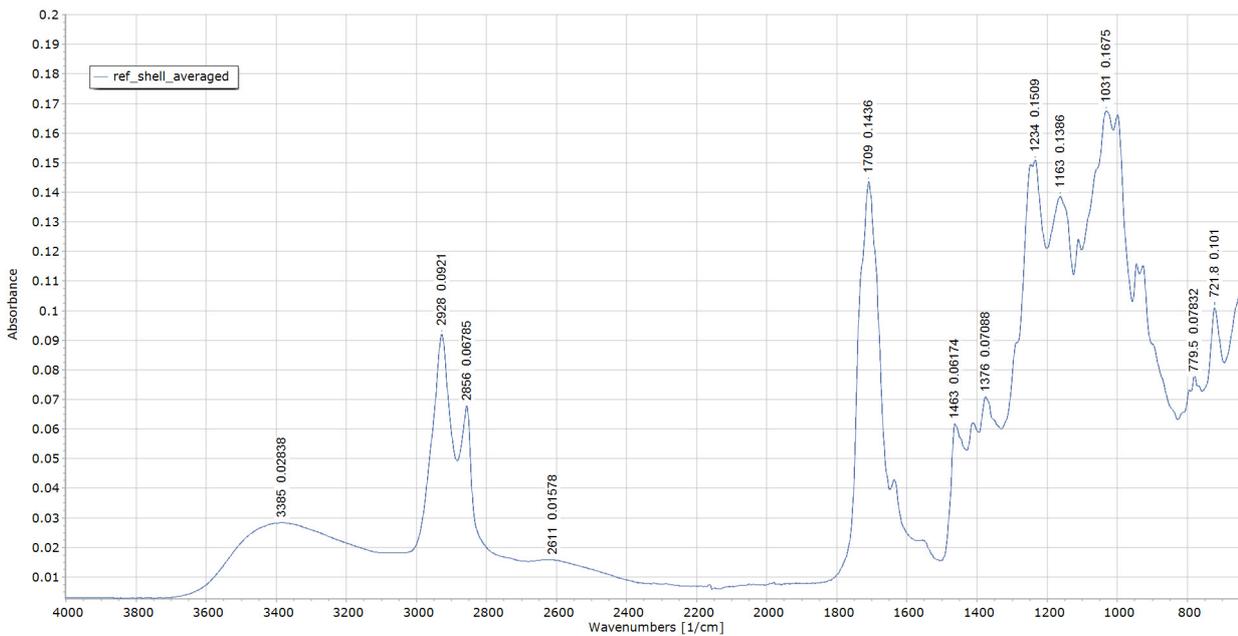
Für die zweite Phase wurden eigens Proben hergestellt, um eine genaue Kenntnis der beteiligten Parameter und Materialien zu erhalten. Zu diesem Zweck wurden zwei Ahornbrettchen mit einer klassischen Schellack-Ballen-Politur beschichtet. Um den Effekt einer gealterten Lackoberfläche zu simulieren, wurden die Probeplatten in einer XENON Test Chamber<sup>35</sup> intensiver UV-Strahlung ausgesetzt (Bestrahlungsstärke: 1,1 W/m<sup>2</sup> bei 420 nm, Temperatur: 45 °C, Expositionsdauer: 168 Stunden, was einer Alterung von ca. 80,8 Jahren unter „normalen“ Bedingungen entspricht).<sup>36</sup> Natürlich ist der Effekt einer derartig beschleunigten und aggressiven Art der induzierten Alterung nicht mit der natürlichen Alterung einer Lackoberfläche gleichzusetzen. Das Ziel dieser Maßnahme war in diesem Fall jedoch, eine degenerierte, mit Mikrorissen und Hohlräumen durchzogene und somit „poröse“ Oberfläche zu erzeugen. Bestimmt wurde der Grad der Degeneration durch die Messung des Glanzgrades vor und nach der induzierten Alterung mit einem Glossmeter<sup>37</sup> (Messwinkel: 20°, Messeinheit: Gloss Units). Basierend auf den an verschiedenen Stellen vorgenommenen Messungen ergab sich ein Glanzverlust von 40 % bei Probeplatte 1 und 44 % bei Probeplatte 2. Auf die gealterten Probeplatten wurde das Renaissance Wachs™ in Streifen aufgetragen. Daraufhin wurden Probestücke (2 x 4 cm) geschnitten, deren Oberfläche zu je 50 % gewachst und zu 50 % unbehandelt war. Ein Set von 30 Probestücken wurde erneut in die XENON Test Chamber gelegt (Bestrahlungsstärke: 1,1 W/m<sup>2</sup> bei 420 nm, Temperatur: 45 °C, Expositionsdauer: 109 Stunden, was einer Alterung von ca. 50 Jahren unter „normalen“ Bedingungen entspricht)<sup>38</sup>, um im Rahmen der Möglichkeiten zumindest eine ansatzweise Alterung des Wachses zu induzieren.<sup>39</sup>

Die Reihe der Entfernungsmethoden, denen die Proben im Anschluss unterzogen wurden, wurde auf Basis der in Phase 1 gewonnenen Erkenntnisse modifiziert. Außerdem fiel bei ersten Testläufen auf, dass die Carbopol®-Ethomeen®-Gele, die Shellsol® A 100 beinhalteten (T2.2 und T2.4), die Oberfläche der künstlich gealterten Lackplatten angriffen und deutlich eintrübten. Auch diese beiden Gele wurden in der Folge aus der Auswahl entfernt. Die übrig gebliebenen Entfernungsmethoden der Testserie T können **Tabelle 3** entnommen werden.

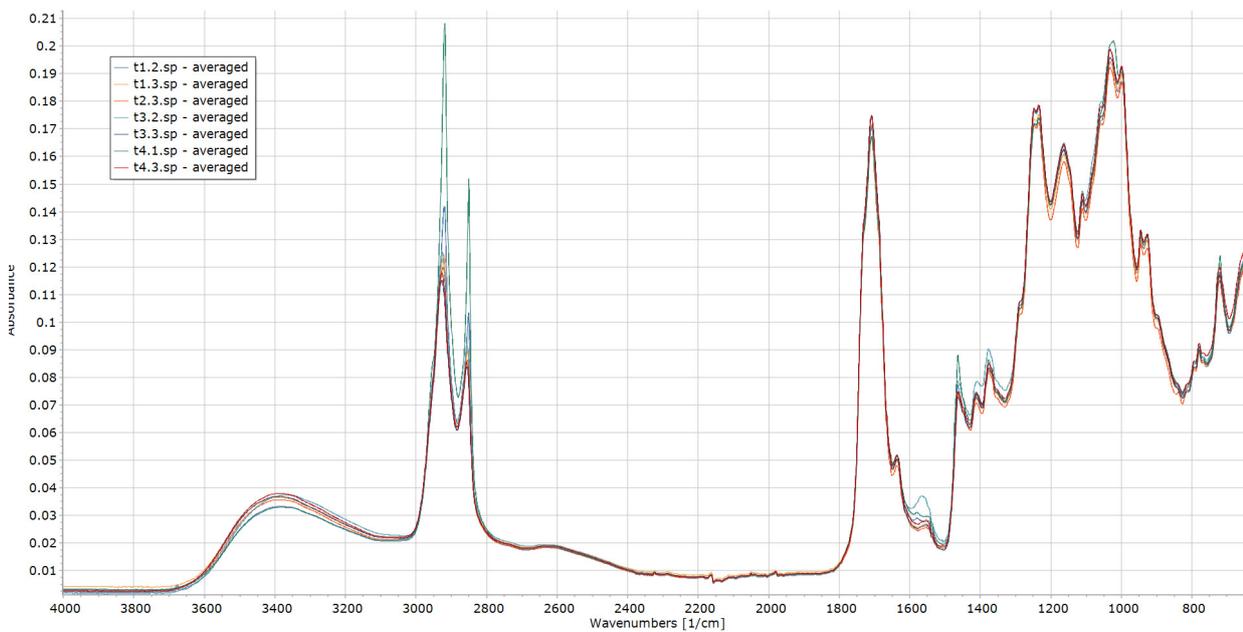
In einem ersten Durchlauf wurden je Methode fünf Proben behandelt. Nach der Auswertung der Zwischenergebnisse wurden je fünf weitere Proben mit den fünf erfolgreichsten Methoden behandelt, um die Reliabilität der Ergebnisse zu steigern. Die nach dem Wachsauftrag erneut künstlich gealterten Proben wurden in einer zweiten Testserie (TD) bearbeitet. Hier fiel auf, dass die in der Folge der verlängerten induzierten Alterung noch stärker degenerierte Lackoberfläche nun auch von den verbleibenden zwei Carbopol®-Ethomeen®-Gele angegriffen wurde. Daraufhin wurde das Shellsol® T-Gel aufgrund mangelnder Effektivität aus den Versuchen ausgeschlossen. Die Einwirkzeit des Shellsol® D70-Gels wurde auf 2,5 Minuten verkürzt. Eines der Carbopol®-Ethomeen®-Gele wurde beibehalten, um der möglichen Notwendigkeit der Behandlung von wasserempfindlichen Oberflächen mit einem nicht-wässrigen Gel Rechnung zu tragen.

	Shellsol® T	Shellsol® A100	Shellsol® D70	Shellsol® A100/ D70 (1:1)
Wattestäbchen (20 s)				Serie: 4.1 Proben: 5
Gel 1 (Carbopol® + Ethomeen®, Einwirkzeit: 5 min)	Serie: T1.2 Proben: 5		Serie: T3.2 Proben: 10	
Gel II (Xanthan, Einwirkzeit: 10 min)	Serie: T1.3 Proben: 10	Serie: T2.3 Proben: 10	Serie: T3.3 Proben: 10	Serie: 4.3 Proben: 10

Tabelle 3 Entfernungsmethoden und Testserien, Phase 2



5 Referenzspektrum Schellack. Aus 14 Messungen erstelltes Durchschnittsspektrum. Methode: ATR-FTIR



6 Durchschnittsspektren der Testreihe T Methode: ATR-FTIR

### Analyse und Auswertung (Phase 2)

Die Analyse der Proben erfolgte mit ATR-FTIR<sup>40</sup>, je Probe wurden fünf Messungen an unterschiedlichen Stellen der zuvor behandelten Probenoberfläche genommen. Die Spektren wurden als Absorptionsspektren aufgezeichnet und mit der Software „Spectragryph“ verarbeitet.

Die Auswertung der Spektren mit dem Ziel, die An- oder Abwesenheit des Renaissance Wachses™ eindeutig festzustellen, ist nicht einfach. Sowohl mikrokristallines Wachs als auch Polyethylenwachs besteht ausschließlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff. C-H-Bindungen sind also das, was ein

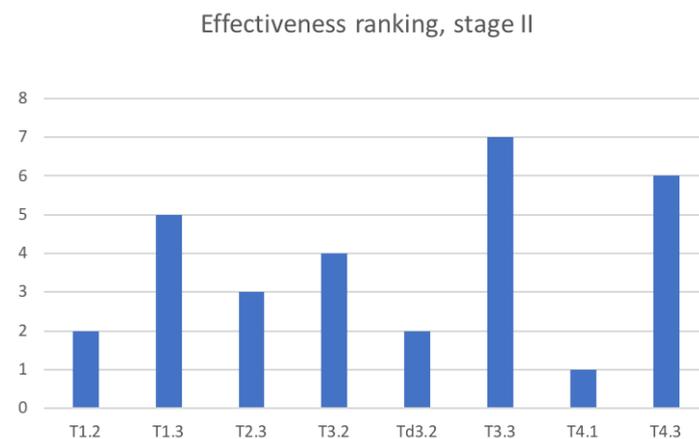
FTIR-Spektrum dieser Stoffe abbildet. Doch auch Schellack besteht als organischer Stoff vorrangig aus diesen Elementen. Ein von einer gewachsenen Oberfläche erstelltes Spektrum zeigt zusätzlich zu den C-H-Bindungen des Wachses immer auch die C-H-Bindungen des Schellacks. Es ließ sich jedoch feststellen, dass ein „Überhang“ an C-H-Bindungen auf die Anwesenheit des Wachses verweist. Um einen Basiswert für diesen Überhang festzulegen, wurde ein auf 14 Messungen basierendes Durchschnittsspektrum der unbehandelten Schellackoberfläche erstellt (Abb. 5). Das Verhältnis des C-H-Peaks in der Region 2928 Wellennummer/cm

zum OH-Peak in der Region 1709 Wellennummer/cm wurde aus diesem Durchschnittsspektrum berechnet. Die Absorption lag mit 0,09072 Absorptionseinheiten (AU) in der Region 2928 Wellennummer/cm (C-H) um 0,05138 AU niedriger als in der Region 1709 Wellennummer/cm (O-H) mit 0,1421. Der Wert von 0,05138 AU Unterschied zwischen O-H-Peak und C-H-Peak wurde somit als kritischer Wert festgelegt, an dem die Effektivität der Entfernungsmethoden gemessen werden kann.

Um erste Erkenntnisse über die Effektivität der Methoden zu erlangen, wurden auf Basis der von der behandelten Oberfläche genommenen Spektren je Entfernungsmethode ein Durchschnittsspektrum erstellt. Diese Durchschnittsspektren wurden in der Folge auf den kritischen Wert hin überprüft. **Abbildung 6** zeigt die in der Testreihe T erstellten Durchschnittsspektren.

Die Auswertung der Durchschnittsspektren der Testserie T ergab, dass lediglich das Xanthan-Gel mit Shellsol® D70 bzw. dasjenige mit Shellsol® A100/ D70 das Wachs vollständig entfernen konnten. Alle anderen Methoden führten nur zu einer Reduktion des Wachses (**Tabelle 4**).

Aufgrund relativ starker Schwankungen in der Peakintensität der einzelnen Spektren wurde der Vergleich der Durchschnittsspektren als unzureichend für die definitive Feststellung einer Effektivitätshierarchie eingestuft. Um eine verlässliche Graduierung vorzunehmen, wurden alle 450 individuellen Spektren auf den kritischen Wert von 0,0515 AU zwischen O-H- und C-H-Peak hin überprüft. Im Ergebnis konnte Folgendes festgestellt werden: In Testserie T3.3 zeigten 45 von 50 Spektren (± 90 %) eine Differenz über dem kritischen Wert, während es in T4.3 nur 37 von 50 (± 74 %) waren. In T1.3 waren es 24 von 50 (± 48 %), in T3.2 18 von 50 (± 36 %) und in T2.3 16 von 50 (± 32 %), in T1.2 nur 1 von 25 (± 4 %). In T4.1 erreichte kein Spektrum den kritischen Wert, tatsächlich war die Differenz zwischen O-H- und C-H-Peak in der Mehrzahl der Spektren ein negativer Wert. Die Analyse und Auswertung der in Testserie TD er-



7 Effektivität der Entfernungsmethoden, Phase 2

stellten Spektren bestätigten mit wenigen Ausnahmen diese Ergebnisse mit leichten Variationen in den Prozentzahlen, die entscheidend durch die deutlich geringere Anzahl an Proben beeinflusst wird. Das auf Basis aller gemessenen und ausgewerteten Spektren erstellte Effektivitätsranking ist in **Abbildung 7** zu sehen.

Zusammenfassen lassen sich die Ergebnisse der zweiten Phase der experimentellen Forschung wie folgt: Das Xanthan-Gel mit Shellsol® D70 erwies sich als effektivstes Mittel zur Entfernung des Renaissance Wachses™ von einer degenerierten Schellackoberfläche. Auch unter Berücksichtigung der Umweltverträglichkeit und der Angaben zur gesundheitsschädigenden Wirkung der getesteten Lösemittel und Gelbildner ist diese Methode zu empfehlen.

**Marie-Luise Rönsch M. A.**  
 Konservatorin-Restauratorin für Möbel  
 und Holzobjekte  
 Kaulbachstraße 77  
 80802 München  
[nachricht@restaurierung-roensch.de](mailto:nachricht@restaurierung-roensch.de)

	O-H-Peak	C-H-Peak	Differenz
Schellack, Durchschnitt	0,1436	0,0921	0,0515
T1.2, Durchschnitt	0,1684	0,1485	0,0199
T1.3, Durchschnitt	0,1718	0,1284	0,047
T2.3, Durchschnitt	0,1672	0,1199	0,0473
T3.3, Durchschnitt	0,1749	0,1152	0,0597
T3.2, Durchschnitt	0,1711	0,1255	0,0456
T4.1, Durchschnitt	0,1674	0,2081	-0,0407
T4.3, Durchschnitt	0,1746	0,1179	0,0567

Tabelle 4 Vergleich der O-H- und C-H-Peaks der Durchschnitts-Spektren, Phase 2, Testserie 1 (T)

## Anmerkungen

- 1 Übers.: „allgemein anerkanntes Standard-Produkt in der Konservierung“
- 2 BERGER/ZELIGER 1975; MOFFETT 1996; SCHOTTE/ADRIAENS 2006; WEBB 1998
- 3 BERGER/ZELIGER 1975, S. 75, 11, 2–8; MOFFETT 1996, S. 5; SCHOTTE/ADRIAENS 2006, S. 297–304, WEBB 1998, S. 119
- 4 REBBER 2007, S. 118–129
- 5 HERRSCHAFT 2012, S. 367–386; HEGINBOTHAN 2001
- 6 Mit Komponenten gemeint sind die beiden Wachse, Cosmoloid H80 und Luwax A, aus denen sich Renaissance Wachs zusammensetzt.
- 7 CAPADOSE 2011, S. 371
- 8 PATERSON/MAHONEY/SPIRYDOWICZ 1979, S. 93–107; VUORI/HANSEN 2000, S. 115–128; CANO ET AL. 2007, S. 121
- 9 HORIE 2011, S. 127
- 10 Im Originaltext ist von „White Spirit“ die Rede, eine relativ unspezifische Bezeichnung, hinter der sich Testbenzine verschiedenster Siedepunkte verbergen können.
- 11 PLENDERLEITH 1971, S. 374
- 12 NIIR BOARD OF CONSULTANTS AND ENGINEERS 2011, S. 139
- 13 BOWER 2006, Kapitel 21, S. 3
- 14 YETGIN ET AL. 2020, S. 493 (Die Schmelzbereiche variieren je nach Quelle, liegen am oberen Ende aber stets über den mikrokristallinen Wachsen.)
- 15 TORRACA 2005, S. 24–25
- 16 NICHOLSON 1994, S. 48
- 17 HORIE 2011, S. 126
- 18 Cosmoloid H80: Webseite Kremer Pigmente GmbH & Co. KG, <https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/62800.pdf> [Zugriff: 07.06.2024]
- 19 Webseite Mychem.IR: <https://mychem.ir/uploads/tds/25352.pdf> [Zugriff: 05.05.2020]
- 20 BERGER/ZELIGER 1975, S. 75, 11, 2–10
- 21 ASHLEY-SMITH 1999, S. 308
- 22 WEBB 1998, S. 119
- 23 CANO ET AL. 2007, S. 125; THICKETT/PRETZEL 2020, S. 9
- 24 SCHOTTE/ADRIAENS 2006, S. 297–304
- 25 MOFFETT 1996, S. 5
- 26 JOHNSON 1984, S. 107–109
- 27 JAEGER 2008, S. 220
- 28 LAUGHTON/WARNE 2002, S. 7, 15
- 29 MCGLINCHEY 2002
- 30 STAVROUDIS/BLANK 1989
- 31 BURNSTOCK/KIESLICH 1996, S. 260; PIETSCH 2005, S. 149
- 32 KOPP 2017, S. 244
- 33 Technische Informationen: Mikroskop: Zeiss Axioskop 2, Lichtquelle: Prior Lumen 200 (Belichtungsstärke 25), Betrachtung bei 50-facher Vergrößerung
- 34 Bei einer Zugabe von 10 % Pigment entsteht keine geschlossene Pigmentschicht. Dadurch gibt es in der gewachsenen Oberfläche Bereiche, in denen kein Pigment sichtbar ist. Eine höhere Konzentration an Pigment kann nicht zugegeben werden, ohne die Eigenschaften des Waxes zu verändern.
- 35 Technische Informationen: Das verwendete Gerät war die Xenon Test Chamber von Q-Lab mit dem Filter Q-Sun.
- 36 Die Exposition der Probeplatten entspricht unter diesen Parametern einer konservativen Berechnung zufolge 80,8 Jahren unter „normalen“ Bedingungen bei einer Beleuchtung von 12/h/d und 365 d/y. Die Berechnung dieser Expositionsdauer basiert auf den Angaben des Herstellers der Xenon-Test-Kammer (Q-Lab), den eingestellten Parametern, Empfehlungen aus Garry Thomsons „The Museum Environment“ (THOMSON 2011 und der vom Canadian Conservation Institute publizierten Formel zur Berechnung der maximalen akzeptierten UV-Exposition von Museums-Objekten:  
$$UVAB = \frac{LxUVR}{1000}$$
  
<https://www.canada.ca/content/dam/cci-icc/documents/services/conservationpreservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/2-2-eng.pdf> [Zugriff: 05/06/2020])
- 37 Technische Information: Bei dem verwendeten Glossmeter handelte es sich um das Novo-Gloss Trio von Rhopoint.
- 38 Entspricht o. g. Berechnungen nach etwa 50 Jahren
- 39 Die Alterung von Polyethylen findet vor allem durch chemische Einflüsse, ionisierte Strahlung oder Bestrahlung im Wellenlängen-Bereich unter 320 nm statt – Bedingungen, die für diese Arbeit nicht realisiert werden konnten.
- 40 Technische Information: Bei dem verwendeten Gerät handelte es sich um das Frontier FT-IR-Spektrometer von Perkin Elmer.

## Literatur

### ASHLEY-SMITH 1999:

Jonathan Ashley-Smith, Risk assessment for object conservation. London/New York 1999

### BERGER/ZELIGER 1975:

Gustav A. Berger und Harold I. Zeliger, Detrimental and irreversible effects of wax impregnation on easel painting. In: International Council of Museums (ICOM) (Hrsg.), ICOM Committee for Conservation 4<sup>th</sup> triennial meeting, 13.–18. Oktober 1975, Venedig. Paris 1975, 75/11/2–16

### BOWER 2006:

J. D. Bower, Waxes. In: Arthur A. Tracton (Hrsg.), Coatings materials and surface coatings. Boca Raton 2006, Kapitel 21, S. 1–6

### BURNSTOCK/KIESLICH 1996:

Aviva Burnstock und Tanya Kieslich, A study of the clearance of solvent gels used for varnish removal from paintings. In: International Council of Museums (ICOM) (Hrsg.), Proceeding of ICOM Committee for Conservation 11<sup>th</sup> triennial meeting, 1.–6. September 1996, Edinburgh. London 1996, S. 153–262

### CANO ET AL. 2007:

Emilio Cano, David M. Bastidas, Vasilike Argyropoulos und Amelia Siatou, Electrochemical techniques as a tool for testing the efficiency of protecting systems for historical steel objects. In: Vasilike Argyropoulos, Anno Hein und Mohamed Abdel Harith (Hrsg.), Strategies for Saving our Cultural Heritage. Papers presented at the International Conference on Conservation Strategies for saving indoor metallic Collections with a satellite meeting on legal issues in the conservation of cultural heritage, 25. Februar–1. März 2007, Kairo. Athen 2007, S. 121–126

### CAPADOSE 2011:

Jeremy Capadose, Furniture. In: The National Trust manual of housekeeping. Care of collections in historic houses. Swindon 2011, S. 363–373

### HEGINBOTHAN 2001:

Arlen Heginbothan, What's old is new: B-72 and the treatment of degraded furniture finishes. In: WAG sessions of the AIC Annual Meetings. Dallas 2001, [https://www.wag-aic.org/2001/WAG\\_01\\_heginbotham.pdf](https://www.wag-aic.org/2001/WAG_01_heginbotham.pdf) [Zugriff: 19.06.2024]

### HERRSCHAFT 2012:

Jana Herrschaft, Firnisreinigung. Ansätze zur Behandlung des Schadensbildes mit dem niedermolekularen Kohlenwasserstoffharz Regalrez. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Bd. 2, 2012, S. 367–386

### HORIE 2011:

Velson Horie, Materials for Conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings. Abingdon/New York 2011, S. 126–127

### JAEGER 2008:

Tamara Jaeger, Removal of paraffin wax in the re-treatment of archeological iron. In: Journal of the American Institute for Conservation, Bd. 47 (4), 2008, S. 217–223

### JOHNSON 1984:

Rosemarie Johnson, The removal of microcrystalline wax from archeologic ironwork. In: Studies in Conservation, Bd. 29, Suppl. 1, 1984, S. 107–109

### KOPP 2017:

Peter Kopp, Reinigung von Möbeloberflächen und Oberflächen architekturgebundener Holzausstattungen. In: Paul-Bernhard Eipper (Hrsg.): Handbuch der Oberflächenreinigung, Bd 1. München 2017, S. 241–250

### LAUGHTON/WARNE 2002:

M. A. Laughton und D. F. Warne, Electrical engineer's reference book. Oxford 2002

### MCGLINCHY 2002:

Christopher McGlinchey, Boundaries of the Teas solubility concept. In: WAAC Newsletter 22(2), 2002, <https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn24/wn24-2/wn24-205.html> [Zugriff: 31.05.2020]

### MOFFETT 1996:

Dana L. Moffett, Wax coatings on ethnographic metal objects: Justifications for allowing a tradition to wane. In: Journal of the American Institute for Conservation, Bd. 35 (1), 1996, S. 1–7

### NICHOLSON 1994:

John W. Nicholson, The chemistry of polymers. Cambridge 1994

### NIIR BOARD OF CONSULTANTS AND ENGINEERS 2011:

NIIR Board of Consultants and Engineers, The complete technology book on wax and polishes. Delhi 2011

### PATERSON/MAHONEY/SPIRYDOWICZ 1979:

Edward T. Paterson, Suzanne M. Mahoney und Krystyna E. Spirydowicz, The conservation of the HD-4: Alexander Graham Bell's Hydrofoil. In: Studies in Conservation, Bd. 24 (3), 1979, S. 93–107

### PIETSCH 2005:

Annik Pietsch, Lösemittel. Ein Leitfaden für die restauratorische Praxis. Stuttgart 2005

### PLENDERLEITH 1971:

Harold J. Plenderleith, Alfred E. A. Werner, The Conservation of Antiquities and Works of Art. Treatment, Repair and Restoration, 2. Aufl. Oxford 1971

### REBBER 2007:

Wolfgang Rebber, Lösemittel für die Regenerierung. Eine wissenschaftliche Langzeitstudie zu ihrer Wirkung. In: Restaura, Heft 2, 2007, S. 118–129

### SCHOTTE/ADRIAENS 2006:

Bart Schott und Mieke Adriaens, Treatments of corroded lead artefacts: an overview. In: Studies in Conservation, Bd. 51 (4), 2006, S. 297–304

### STAVROUDIS/BLANK 1989:

Chris Stavroudis und Sharon Blank, Solvents & sensibility. In: WAAC Newsletter 11 (2), 1989, <https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn11/wn11-2/wn11-202.html> [Zugriff: 31.05.2020]

### THICKETT/PRETZEL 2020:

David Thickett und Boris Pretzel, FTIR surface analysis for conservation. In: Heritage Science, Bd. 8, 2020, Artikel Nr. 5

### THOMSON 2011:

Garry Thomson, Museum Environment. London/New York 2011

### TORRACA 2005:

Giorgio Torraca, Solubility and solvents for conservation problems. Rom 2005

### VUORI/HANSEN 2000:

Jan Vuori und Robin Hansen, Conservation of a military tunic including the use of guide threads for positioning repairs. In: Journal of the American Institute of Conservation, Bd. 29 (2), 2000, S. 215–228

### YETGIN ET AL. 2020:

Senem Yetgin, Sevdije Atakul Sarik, Mehmet Gönen und Devrim Balköse, Polyethylene wax: uses, characterization, and identification. In: European Journal of Technique (EJT), Bd. 10, 2, 2020, S. 489–500

### WEBB 1998:

Marianne Webb, Methods and Materials for filling losses on lacquer objects. In: Journal of the American Institute for Conservation, Bd. 38 (1), 1998, S. 117–133

## Abbildungsnachweis

Alle Abbildungen und Grafiken wurden von der Autorin 2020 erstellt.

Titel:

Detail aus Abb. 2

## Lizenz

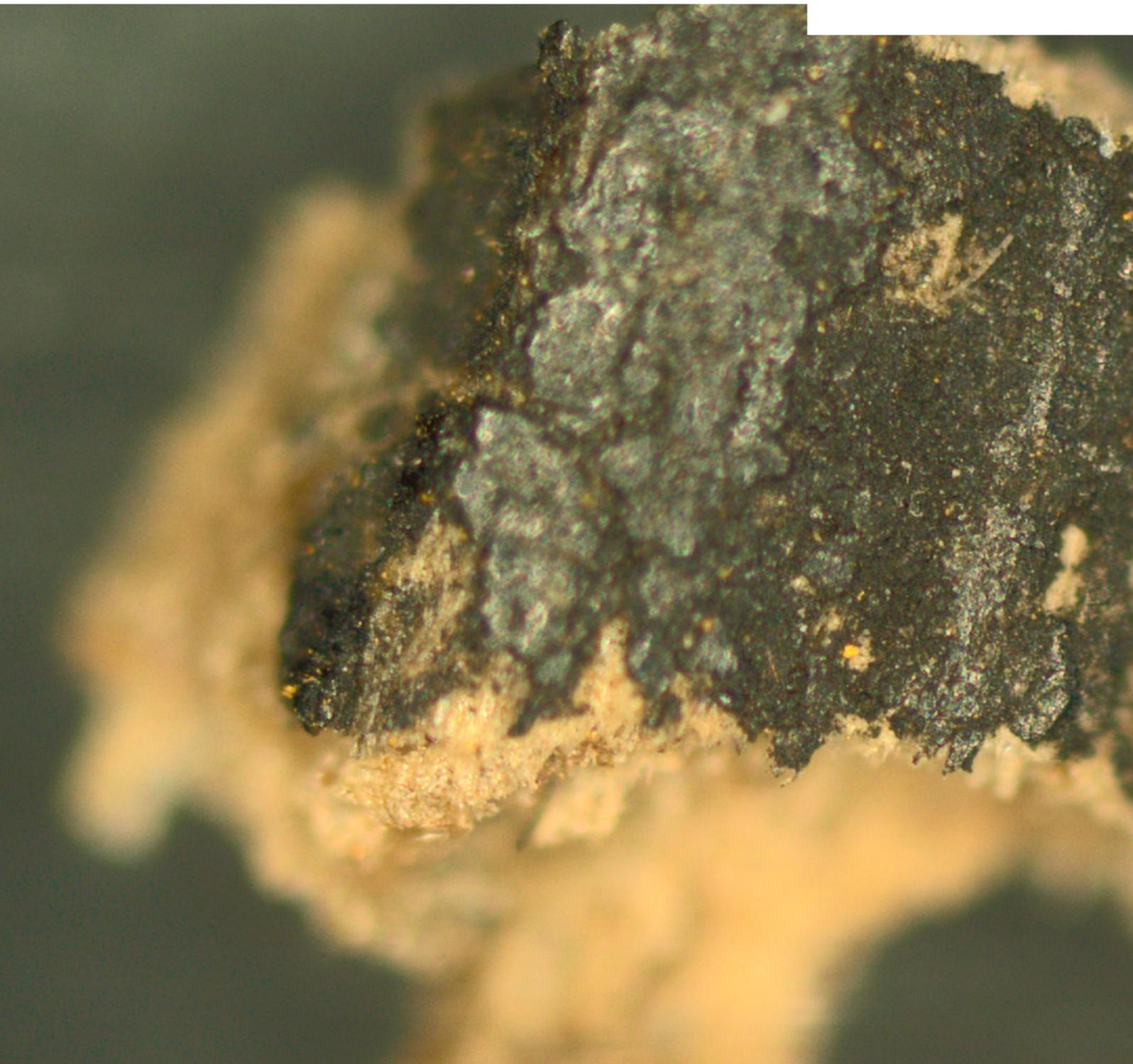
Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# Alles nur Staub und Dreck? Möglichkeiten und Grenzen bei der Reinigung von Holzsärgen

Ein Beispiel zum würdevollen Umgang mit Gruftbestattungen aus dem 18. Jahrhundert

Richard Engel



## Alles nur Staub und Dreck? Möglichkeiten und Grenzen bei der Reinigung von Holzsärgen Ein Beispiel zum würdevollen Umgang mit Gruftbestattungen aus dem 18. Jahrhundert

Richard Engel

In der Dorfkirche St. Georg zu Lüdershagen in Mecklenburg-Vorpommern ist bis heute eine Gruft mit Bestattungen aus dem 18. Jahrhundert erhalten. Der schlechte Zustand der geplünderten und stark beschädigten Särge macht einen Eingriff zur langfristigen Erhaltung notwendig. Die im Jahr 2021 verfasste Masterarbeit, welche diesem Beitrag zugrunde liegt, befasst sich mit der umfangreichen Untersuchung des Gesamtbestandes und bietet mit der Erarbeitung eines denkmalgerechten und ethisch vertretbaren Konservierungs- und Restaurierungskonzeptes eine Grundlage, um die barocken Holzsärgе zukünftig wieder in der Gruft aufstellen zu können und sie bei eingeschränkter Zugänglichkeit angemessen und würdig zu präsentieren. Eine gründliche Reinigung ist für die langfristige Erhaltung unabdingbar, mit Rücksicht auf die Totenruhe und dem Respekt vor den Verstorbenen jedoch nur bis zu einem gewissen Grad vertretbar. Die Aufmerksamkeit gilt einigen Voruntersuchungen an den Sargoberflächen und den daraus resultierenden Maßnahmen zur Reinigung.

Die Konservierung und Restaurierung von Särgen mit den darin noch befindlichen Verstorbenen ist ein besonders sensibles Thema. Wie weit darf man bei der Reinigung dieser Objekte gehen? Ist das ethisch überhaupt vertretbar, oder bedeuten jegliche Maßnahmen an diesen besonders rituellen Objekten bereits eine Störung der Totenruhe? Sollte man nicht lieber Abstand vor diesen letzten Möbeln nehmen und sie einfach so belassen, wie sie sind?

Nur sehr selten sind eine alte Gruft und ihr gesamtes Inventar noch heute in einem guten und würdevollen Zustand. Grüfte als Zeugnisse der Sepulkralkultur sind besondere Grabdenkmale, deren Wert lange Zeit unbeachtet blieb. Es handelt sich hierbei nach Ströbl und Ströbl nicht um Orte des Verfalls, sondern um Auferstehungsorte.<sup>1</sup> Eine in der Vergangenheit geplünderte und zum Teil zerstörte Grabstätte sollte aus Respekt vor den Verstorbenen nicht ihrem Schicksal überlassen werden, sondern in angemessenem Rahmen erhalten und gepflegt werden, denn Artikel 1 des Grundgesetzes besagt: „Die Würde des Menschen ist unantastbar.“ Ist diese Würde bereits derart verletzt worden, gilt es, sie nach bestem Bemühen und mit allen Möglichkeiten wiederherzustellen.

Außerdem sind diese Grabstätten wertvolles Kulturgut und enthalten ebenso wertvolle Informationen über eine längst vergangene Bestattungskultur.

### *Is it all just dust and dirt? - Possibilities and limitations when cleaning wooden coffins*

*An example of the dignified handling of crypt burials from the 18th century*

*In the village church of St. Georg in Lüdershagen in Mecklenburg-Vorpommern, a crypt with burials from the 18th century has been preserved to this day. The poor condition of the looted and severely damaged coffins makes intervention necessary for long-term preservation. The master's thesis written in 2021, on which this article is based, deals with the extensive examination of the entire inventory and, by developing a monument-appropriate and ethically justifiable preservation and conservation concept, offers a basis for being able to put the baroque wooden coffins back in the crypt in the future to present them in an appropriate and dignified manner with limited accessibility. Thorough cleaning is essential for long-term preservation, but is only justifiable to a certain extent in consideration of the peace of the dead and respect for the deceased. Attention is given to some preliminary tests on the coffin surfaces and the resulting cleaning measures.*

Aufgrund anfallender Stäube, die in Verbindung mit Feuchtigkeit Nährboden für mikrobiellen Befall bilden, ist selbst bei gut erhaltenen Grüften eine regelmäßige Reinigung der Sargoberflächen konservatorisch wichtig. Nur so ist eine langfristige Erhaltung von Holzsärgen mitsamt der Bestattung gewährleistet.

### **Möglichkeiten der Reinigung am Beispiel der Ramelow-Gruft in der Dorfkirche von Lüdershagen**

Die Gruft in der alten Sakristei in der Dorfkirche von Lüdershagen wird der bürgerlichen Familie Ramelow zugeschrieben. Das Familienoberhaupt Chrysanthus Ehrenreich Eduard Vollrath Ramelow (\*um 1700, †01.11.1756) war im 18. Jahrhundert Domänenpächter und Patronats-herr der Kirche. In dem kleinen Gruftgewölbe sind heute zehn Erwachsenensärge und vier Kindersärge erhalten. Bisher konnten nur noch drei weitere Personen namentlich zugeordnet werden: Anna Dorothea Ramelow, geb. Helm (†28.08.1738), Anna Gertrud von Scheven (\*22.04.1712, †17.09.1758) und Dorothea Christina Gustaviana Ramelow (\*27.03.1754, †22.04.1757).

Der heutige Erhaltungszustand der Holzsärgе ist Resultat aus verschiedenen äußeren Einflüssen, die über einen längeren Zeitraum zu natürlichen Abbauprozessen und Materialveränderungen geführt haben (Abb. 1). Grundsätzlich



1 Dorfkirche St. Georg, Lüdershagen, vorgefundener Lagerzustand der Särge

muss zwischen natürlicher Patina, Schäden und Schmutz unterschieden werden. Metall- und Holzoberflächen sowie Überzüge und Fassungen haben aufgrund natürlicher Alterung heute eine veränderte optische Wirkung erhalten. Im Zusammenhang mit dem feuchten Klima vergrauten und verschmutzten die Holzoberflächen durch Staub und herabgefallenen Putz.

Die ungünstigen klimatischen Einflüsse begünstigten biogenen Befall, der wiederum zur Destabilisierung der Holzsubstanz oder gar zu komplettem Materialverlust führte. Die größten Schäden entstanden aufgrund von Plünderungen, Vandalismus sowie schlechten Lagerungsbedingungen. Die meisten der massiven Eichenholzsärge waren übereinandergestapelt und drohten zusammenzubrechen (Abb. 2). Teilweise bestand auch direkter Kontakt zum Boden, was den Verfall ebenfalls vorantrieb. Menschliche Überreste lagen verstreut auf dem Boden, was einem würdevollen Umgang mit den Verstorbenen widerspricht.

Der Zustand der stark geschädigten Särge ließ einen Eingriff für die langfristige Erhaltung dringend notwendig erscheinen. Gegenüber den Verstorbenen hatte von Anfang an vor allem ein pietätvoller Umgang mit der Gruft und all ihrem Inventar oberste Priorität.

Eine sorgfältige Dokumentation des Fundzustandes erfolgte in Zusammenarbeit mit den Archäologen Dr. Regina Ströbl und Dr. Andreas Ströbl der „Forschungsstelle Gruft“ aus Lübeck.



2 Bereits zusammengebrochener Sarg in der Gruft der Kirche Lüdershagen

Hierbei konnten alle Särge sowie ihre Inhalte behutsam geborgen, wissenschaftlich untersucht und gesichert werden. Alle stark gestörten Bestattungen wurden entnommen, archäologisch sowie anthropologisch untersucht und in beschrifteten Kartons zwischengelagert. Grundsätzlich gilt mit Rücksicht auf die Totenruhe, ungestörte Bestattungen nach Möglichkeit nicht zu entnehmen. Falls Särge noch verschlossen sind, werden diese nicht geöffnet. Leider war dies in Lüdershagen nicht mehr der Fall. Hier konnten nur in zwei Särge die Bestattungen in situ belassen werden, da sie weitestgehend ungestört erschienen.

## Voruntersuchungen

### Schimmel

An den Oberflächen der Särge war ein massiver Befall durch Schimmelpilze zu erkennen. Sie wurden im Labor für Mikrobiologie an der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) Hildesheim untersucht. Im Ergebnis konnte überwiegend die Schimmelpilzart *Chaetomium* festgestellt werden, die in Hölzern auch Moderfäule verursachen kann und bei diesen Särgen zu Würfelbruch geführt hat.<sup>2</sup> Die Strukturen erschienen erfreulicherweise eingetrocknet und fragmentiert, was auf einen vorliegenden Altbefall hindeutet.

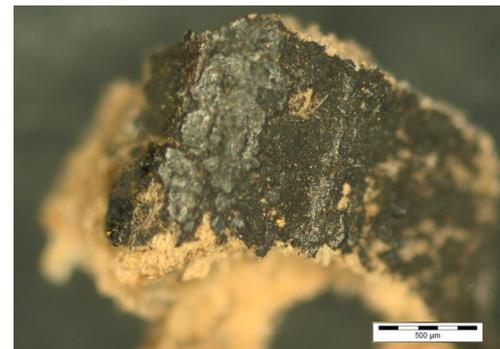
### Oberflächen und Beschichtungen

Einige der aus Eichenholz bestehenden Außensärge sind holzsichtig. Die meisten Sargoberflächen allerdings hatten eine monochrom schwarze Oberflächengestaltung erhalten. Auf zwei Särgen ist ein glänzend transparenter oder bereits stark krepierter Überzug erkennbar (Abb. 3). Insgesamt scheinen Oberflächen von Särgen bisher noch kaum untersucht worden zu sein. Da die Möglichkeiten aussagekräftiger mikroskopischer (Abb. 4–6) und mikrochemischer Untersuchungen bei dieser Fassung doch recht begrenzt sind, konnte eine im Labor der Fachhochschule Potsdam durchgeführte Infrarotspektroskopie<sup>3</sup> und weiterhin die Gaschromatografie sowie eine Massenspektroskopie am Doerner Institut in München weiterhelfen.<sup>4</sup>

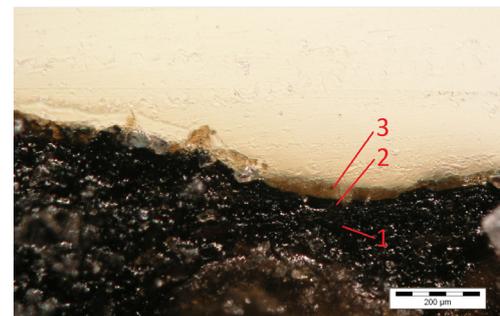
Bei diesen Untersuchungen stellte sich heraus, dass für die schwarze Fassung Kienruß verwendet wurde. Ausgesägte Bestandteile von Bindemitteln lagen nicht vor. Der transparente Überzug auf einem der Särge enthält oxidierte und abgebaute Diterpene, welche vermutlich aus Kolophonium stammen. Als Verdünnungsmittel diente wohl Terpentinöl.



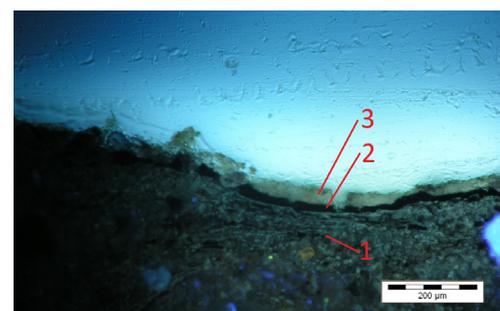
3 Probenentnahme zur Analyse der Oberflächenbeschichtung, 1: Holz- oder Kienruß, 2: Kolophonium und Terpentinöl



4 Draufsicht auf Probenmaterial der schwarzen Sargfassung



5 Querschliff im Dunkelfeld, auf Eichenholz (1) eine schwarze Schicht (2) und ein transparenter Überzug (3)



6 Querschliff unter UV-Licht, auf Eichenholz (1) eine schwarze Schicht (2) und ein transparenter Überzug (3)

### Lösemitteltest

Ein durchgeführter Lösemitteltest zeigte, dass die schwarze Oberfläche mit allen angewendeten Lösemittelgemischen wenig bis annähernd vollständig abgenommen werden kann, was entweder das bereits ursprüngliche Fehlen oder das durch mikrobiellen Abbau nicht mehr Vorhandensein eines Bindemittels kennzeichnet (Abb. 7). Der Wattaustausch mit Siedegrenzbenzin zeigte nur eine sehr geringe Schwarzfärbung. Mit einem in diesem Lösemittel getränkten Wattestäbchen ließ sich in rollender Bewegung und damit geringer mechanischer Belastung sowie nur kurzzeitiger Einwirkzeit auch fest anhaftender Schmutz entfernen. Die schwarze Fassung wurde dadurch nicht beeinträchtigt.



7 Lösemitteltest an einer Sargrandleiste

### Textilien

Der Sarg von Anna Dorothea Ramelow besaß als einziger unter den erhaltenen Särgen eine flächendeckende Textilbespannung, von der heute nur noch Fragmente unter den Beschlägen erhalten sind (Abb. 8). Aufgrund der Struktur handelt es sich in diesem Fall um schwarzen Wollfilz.<sup>5</sup> Diese Gestaltung kann als Nachahmung von Paradesärgen des Hochadels gesehen werden. Waren diese Säрге meist mit schwarzem Samt, Seide oder Brokat<sup>6</sup> bezogen, so sollte der kostengünstigere Wollfilz einen vergleichbaren Eindruck erzeugen. Die darauf befindlichen versilberten und polierten Zinn-Blei-Beschläge unterstrichen ursprünglich zusätzlich den herrschaftlichen Eindruck.

### Metallbeschläge

Um weiteren Aufschluss über die Zusammensetzung der Metallbeschläge und ihrer Fassung zu erhalten, wurden einige Griff- und Zierbeschläge mittels portabler Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie (pXRF) im Labor der Fachhochschule Potsdam untersucht.<sup>7</sup> Die Messungen ergaben, dass es sich bei den Zierbeschlägen überwiegend um Zinn-Blei-Legierungen mit dem Verhältnis 2:1 handelt.

Außerdem konnte an den Griffbeschlägen eines Sarges eine Versilberung nachgewiesen werden, die heute stark verschwärzt erscheint (Abb. 8). Die Sichtseiten der Eisenblechbeschläge waren ursprünglich verzinkt (Abb. 9).



8 Sarggriff aus Zinn-Blei mit verschwärzter Versilberung, hinter dem Beschlag Reste einer textilen Bespannung aus schwarzem Wollfilz



9 Eisenblechbeschläge mit Verzinnung

## Maßnahmen

Die durch Staub und herabgefallenen Putz verschmutzten Holzoberflächen bieten Potential für weiteren mikrobiellen Befall und damit einhergehende Abbauprozesse. Zudem besteht durch Pilzsporen und lose Stäube eine hohe Gesundheitsgefährdung.<sup>8</sup> Alle Objekte mussten daher einer gründlichen Reinigung unterzogen werden.

### Befreiung von Pilzbefall

Da eine Verteilung von aktiven Pilzsporen unbedingt zu vermeiden ist, dürfen die Schimmelpilzstrukturen generell erst abgenommen werden, wenn sie durch Behandlung inaktiv geworden sind. Aus diesem Grund wurde vorher getestet, ob der Schimmel trocken und pudrig ist (inaktiv) oder ob er „schmiert“ (aktiv). Die makroskopische Untersuchung aller Särge zeigte, dass nur ein inaktiver Pilzbefall vorlag.

Zum Schutz der Gesundheit ist auf entsprechenden Arbeitsschutz zu achten. Die persönliche Schutzkleidung für die Reinigungsarbeiten an den Särgen und in der Gruft sollte mindestens Nitrilhandschuhe und eine FFP3-Atemschutzmaske umfassen.<sup>9</sup> Die Abluft des Staubsaugers ist mit einem HEPA-Filter zu filtern.<sup>10</sup>

Schimmelpilze lassen sich grundsätzlich nicht vollständig abtöten. Hierzu müssten die Objekte über einen längeren Zeitraum hinweg in Desinfektionslösung eingelegt werden, was sich von vornherein ausschließt. Stattdessen wurde eine nebelbeuchte Behandlung mittels Ethanol angewendet.<sup>11</sup> Sie wirkt fungitoxisch, indem die Pilzzelle dehydriert und der Pilz dadurch inaktiv wird.<sup>12</sup> Hierzu muss die Konzentration eines Ethanol-Wasser-Gemisches genau 70:30 betragen. Ist der Ethanol-Gehalt höher, fehlt das Trägermaterial (Wasser), um von den Pilzen aufgenommen zu werden. Ist andererseits die Konzentration des Ethanols zu niedrig, wird zu viel Feuchtigkeit in das Objekt transportiert, was wiederum das Pilzwachstum begünstigt.<sup>13</sup> Die Einwirkzeit des Gemisches sollte mindestens zwei bis drei Minuten betragen. Nach dieser Art der Desinfizierung und entsprechender Trocknungszeit konnte der Schimmel mittels Staubsauger und weichem Pinsel trocken gereinigt werden.

Eine weitere fungitoxische Behandlung der Objekte ist derzeit nicht nötig. Voraussetzung ist zukünftig die Vermeidung von erneutem Feuchteintrag durch unkontrollierte Klimaverhältnisse. Deshalb ist die Funktionstüchtigkeit einer meist schon beim Bau einer Gruft angelegten Querlüftung, so wie es hier vorliegt, das wichtigste Kriterium für die langfristige Erhaltung von Holzsärgen in einer Gruft. Ständiges Monitoring ist dringend zu empfehlen, um ein Wiederaufkeimen jeglicher Pilzarten rechtzeitig zu unterbinden.



10 Trockenreinigung eines Sargdeckels mittels Schablonierpinsel, rechts ungereinigt, links nach der Reinigung

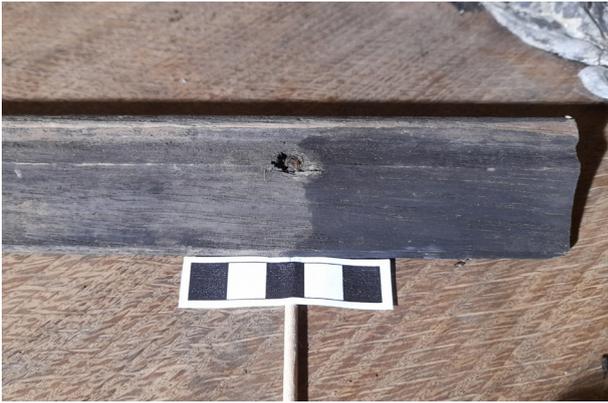
### Oberflächenreinigung

Die weitere Reinigung der Stäube von den Oberflächen erfolgte zunächst trocken mittels unterschiedlich weicher Pinsel und Staubsauger. War die Oberfläche stabil, so konnten neben weichen auch härtere Pinsel, wie etwa ein Schablonierpinsel, zur Anwendung kommen (Abb. 10). Hierdurch ließen sich insbesondere die waagerechten Flächen erfolgreich reinigen, die durch herabgefallenen Putz sowie weitere Schmutzablagerungen vergraut waren.

Für die fest anhaftenden Verschmutzungen wurde eine Feuchtreinigung der gefassten Oberflächen durchgeführt, die mitunter sehr behutsam erfolgen musste. Da es sich überwiegend um große Flächen handelte, war die Verwendung von „Blitz-Fix“-Saugschwämmen<sup>14</sup> geeignet, welche gemäß des ausgeführten Lösemitteltests mit Siedegrenzbenzin nebelbeuchtet benetzt und auf die Oberflächen getupft werden konnten (Abb. 11). Bereiche, an denen der transparente Überzug noch erhalten ist, durften nicht mit Alkoholen oder anderen organischen Lösemitteln behandelt werden, da dieser dadurch angelöst worden wäre.<sup>15</sup> Hier war lediglich eine behutsame Reinigung mit destilliertem Wasser und einem nebelbeuchten Wattestäbchen möglich.

Holzlichtige Sargoberflächen ließen sich hingegen problemlos mittels Schablonierpinsel trocken reinigen (Abb. 12).

Die an einem Sarg erhaltenen Reste von schwarzem Wollfilz wurden nur mit weichen Pinseln und Staubsauger gereinigt.



11 Tupfende Reinigung mittels eines in Siedegrenzbenzin befeuchteten „Blitz-Fix“-Saugschwamms



12 Gereinigte Oberflächen holzsichtiger Kindersärge

### Abschließende Oberflächenbehandlung und Schutz der schwarzen Oberflächen

Auch in Zukunft gilt es, die Gruft zu pflegen und erneute Staubablagerungen in regelmäßigen Abständen abzusaugen, sodass es ratsam erschien, die zum Teil recht empfindlichen schwarzen Oberflächen zu schützen. Als abschließende Behandlung kam hier eine 2%ige Lösung von Klucel® E in Ethanol zur Anwendung.<sup>16</sup> Für die schwarz gefassten Sargoberflächen konnte durch diese Maßnahme neben der Anreicherung mit Bindemittel auch eine höhere Tiefenwirkung bei mattem Erscheinungsbild erreicht werden (Abb. 13). Der Auftrag der Klucel® E-Lösung erfolgte mit einem Pinsel. Eine weitere Behandlung der Oberfläche ist vorerst nicht vorgesehen, da mit Klucel® E bereits eine stabilisierte und sogar abriebfeste Oberfläche geschaffen war.

### Arbeiten an den Beschlägen und Metallteilen

Die Metallbeschläge zeigten ebenfalls starke Verschmutzung und sollten zukünftig vor weiterer Korrosion geschützt werden. Die Reinigung erfolgte trocken mittels unterschiedlicher weicher und harter Pinsel, wodurch auch die lose aufliegenden Korrosionsprodukte entfernt wurden. Für die Zinn-Blei-Beschläge waren diese Reinigungsmaßnahmen ausreichend.

Größere Verkrustungen aus Rost und Schmutz an den Bügelgriffen und den Eisenblech-Zierbeschlägen ließen sich mithilfe eines Ultraschallscalers entfernen.<sup>17</sup> Hierzu wurde



13 Sarg von C. E. V. Ramelow nach der Reinigung und Behandlung mit 2%iger Klucel® E-Lösung in Ethanol

die Scalerspitze, oder in einigen Bereichen auch nur die Rückseite der Scalerspitze, vorsichtig über die Oberfläche geführt. Bei den bereits mehr oder minder vollständig durchmineralisierten Eisenblechbeschlägen war besondere Vorsicht geboten, da diese sehr fragil sind. In diesen Fällen bestand hohe Bruchgefahr, weshalb mitunter feste Korrosionsprodukte und Verkrustungen belassen werden mussten. Die Nachreinigung erfolgte mit einem Ethanol getränkten Tuch.

Ein auf alle Beschläge aufgetragener schützender Oberflächenüberzug soll den weiteren Verfall der Metallteile verhindern (Abb. 14 und 15). Für die Zinn-Blei-Beschläge wurde nach Absprache mit Metallrestauratoren ein 10%ig in Ethylacetat gelöstes Gemisch aus 3 Teilen Paraloid B 72 und 1 Teil Paraloid B 48 genutzt.<sup>18</sup>



14 Zinn-Bleibeslag im Vorzustand



15 Zinn-Bleibeslag nach der Reinigung und Konservierung



16 Eisengriffbeschlag im Vorzustand



17 Eisengriffbeschlag nach der Reinigung und Konservierung

Alle Eisenbeschläge erhielten eine Behandlung mit dem Oberflächen- und Korrosionsschutzwachs Elaskon Aero 46.<sup>19</sup> Dabei handelt es sich um ein Korrosionsschutzwachs, welches aufgrund seiner chemisch resistenten Eigenschaften, Transparenz und Polierbarkeit bereits vielfältig in der Restaurierungspraxis für Metallobjekte Anwendung findet (Abb. 16 und 17).

#### Weitere Maßnahmen an den Särgen

Bei der Bearbeitung von Holzsärgen sollte der konservatorische Gedanke mit der Sicherung und dem Erhalt des Bestandes im Vordergrund stehen. Dennoch ist für die Erfüllung ihrer Funktion zur Aufbahrung des Leichnams neben der Konservierung originaler Substanz auch die Ergänzung einiger Teile nötig (Abb. 18). Zudem müssen bezüglich der Reversibilität Kompromisse eingegangen werden. Das betrifft vor allem die Festigung von würfelbrüchigem Holz. Hier ist die Festigung mit einer 20%igen Lösung von Plexigum PQ 610 in Shellsol A und Shellsol T (1:4) angewendet worden.<sup>20</sup> Zuvor erprobte Testversuche zeigten, dass 10%ige Lösungen zum Vornetzen geeignet sind.

#### Rückbettung

Die Gebeine der Verstorbenen wurden in weiße Leinentücher geschlagen und in würdiger Manier in die gereinigten und konservierten Holzsärgen rückbestattet. Lose Kleidungsstücke und Beigaben wurden nach gründlicher Dokumentation in Tyvek® eingnäht und den Bestattungen beigelegt. Bestattungen, die weitestgehend ungestört erschienen, beließ man mit Rücksicht auf die Totenruhe in ihrem Zustand unberührt. Hier hatte dann auch die gründliche Reinigung ihre Grenzen. Anschließend wurden alle Särgen mit den zum Teil wieder gängigen Sargschrauben dauerhaft verschlossen (Abb. 19).

18 Sarg von Anna Dorothea Ramelow, geb. Helm († 28.08.1738), nach der Konservierung und Restaurierung





19 Sarg von Dorothea Christina Gustaviana Ramelow († 22.04.1757) nach der Konservierung

### Klimatische Einflüsse

Die Überwachung und Optimierung der klimatischen Einflüsse sind konservatorisch wichtig, um weiteren Schäden vorzubeugen. Mit der Schaffung eines intakten Backsteinfußbodens ist bereits eine deutliche Verbesserung des Raumklimas erreicht worden (Abb. 20). Ebenfalls ermöglicht dieser Fußboden eine verbesserte Reinhaltung der Gruft.

Das Allerwichtigste ist die Belüftung der Gruft mit einem deutlich spürbaren Luftzug. Die Öffnung der Gruft zum Kirchenraum führte zu einer gut funktionierenden Querlüftung und verbesserte die zuvor nur geringe Luftzirkulation innerhalb der Gruft.

Um die Aufstellung aller erhaltenen Säрге in diesem kleinen Raum zu ermöglichen, sind eine Regalkonstruktion aus Eichenholz sowie weitere separate Podeste vorgesehen. Ziel

ist es, die Gruft letztendlich in einen würdevollen Zustand zu versetzen, damit sie den Verstorbenen damit wieder als letzte und langfristige Ruhestätte dienen kann. Mit Blick auf den Vergänglichkeitsgedanken ist auch die Raumschale weitestgehend in ihrem Zustand belassen worden. Wenige lose Putzstücke an der Decke wurden abgenommen. Der Zustand scheint vorerst stabil zu sein.

Neben einer angemessenen Beleuchtung ist im Eingangsbereich eine Glaskonstruktion geplant, die es erlaubt, die Gruft und ihre repräsentativ gefertigten Säрге mit diskretem Abstand zu besichtigen, ohne die Totenruhe zu stören.

Um ihre langfristige Erhaltung zu gewährleisten, ist es nötig, die Gruft auch zukünftig zu pflegen und zu warten. Anders als in einem Museum ist in einem Kirchenraum kein ideal geregeltes Klima möglich und immer eine gewisse Grundfeuchtigkeit vorhanden.

## Schlussbetrachtung

Nach jahrzehntelanger Verwahrlosung sowie Verachtung, Schändung oder vollständiger Zerstörung ist inzwischen erfreulicherweise wieder ein vermehrtes Interesse an der Erhaltung, Pflege und Präsentation von Gräften zu beobachten. In erster Linie ist eine Gruft die letzte Ruhestätte für die Verstorbenen und gebietet die Wahrung der diesen Orten angemessenen Pietät. Dennoch sind diese Objekte auch Denkmale, deren Erhaltung langfristig nur dann zu gewährleisten ist, wenn sie für die Öffentlichkeit erfahrbar gemacht werden. Da zumindest seit der Barockzeit Angehörige oder auch andere Interessierte eine Gruft besuchen konnten, ist das Betreten und Besichtigen einer Gruft mit ihren erhaltenen Holzsärgen grundsätzlich nicht als etwas Verbotenes anzusehen. Eine würdevolle Darbietung der repräsentativ gestalteten Särge dürfte womöglich sogar sehr im Sinne der Bestatteten sein, denn ein jahrhundertlanges Nichtbeachten einer Gruft oder gar das Vergessen der Namen war mit Sicherheit ursprünglich nicht beabsichtigt. Demnach sollte auch einer musealen Präsentation von Särgen in einer Gruft nichts entgegenstehen. Sie ist mitunter identitätsstiftend für die Region und kann für die heutige Gesellschaft und ihre meist fehlende Auseinandersetzung mit dem Thema Tod und Sterben förderlich

sein. Es lohnt sich allein schon eine Beschäftigung mit der Kunstgeschichte, insbesondere mit der Ikonografie dieser zum Teil sehr reich und hochwertig ausgeführten Totentruhen, die bis heute in der Möbelstilkunde keine Berücksichtigung finden aber nicht selten sogar in die Reihe der Prunkmöbel einzuordnen wären. Gefertigt im Glauben an die kommende Auferstehung sollten diese Möbel bis dahin den Zweck der Aufbahrung für den möglichst vollständig erhaltenen Leichnam erfüllen. Die Konservierung und Restaurierung sowie die weitere Pflege dieser rituellen Möbel ist daher ethisch vertretbar. Für ihre langfristige Erhaltung spielt die Reinigung eine entscheidende Rolle.

**Richard Engel M. A.**  
Restaurator  
18314 Lüdershagen



**20** Die hergerichtete Gruft in der Dorfkirche St. Georg, Lüdershagen, mit einem trockenen Backsteinboden und einer funktionierender Belüftung

## Anmerkungen

- 1 Vgl. A. STRÖBL/R. STRÖBL 2018, S. 35
- 2 13 Klebefilmproben wurden auf mikrobiellen Befall durch Prof. Dr. Karin Petersen untersucht. Bericht vom 12.05.2021
- 3 Die Untersuchung von Fassungsproben erfolgte IR-spektroskopisch mit dem Spektrum 100 von Perkin Elmer in ATR-Technik am Chloroformextrakt durch Dipl.-Chem. Christine Fuchs. Bericht vom 30.07.2021
- 4 Um Hinweise auf Binde- und Farbmittel zu erhalten, wurden von zwei ausgewählten Särgen die schwarze Fassung sowie ein transparenter Überzug gaschromatografisch und eine massenspektroskopisch untersucht. Bericht von Ursula Baumer und Dr. Patrick Dietemann vom 27.07.2021
- 5 Freundliche Auskunft von Dr. Regina Ströbl (Forschungsstelle Gruft) in Lübeck
- 6 STRÖBL 2014, S. 113 ff. Beispiele sind in der Fürstengruft der Schelfkirche zu Schwerin, in der Mirower Fürstengruft, in der Hohenzollerngruft und in der Braunschweiger Domgruft zu finden.
- 7 Bericht vom 05.04.2021 durch Prof. Steffen Laue
- 8 Eine Gesundheitsgefährdung ist insbesondere dann zu befürchten, wenn Pilzsporen und Stäube sowohl von den Sargoberflächen als auch von den Bestattungen ausgehend, aufgewirbelt und eingeatmet werden. Bereits durch die Luftbewegung kann deshalb schon eine Gefährdung für Besucher entstehen. Bei der Bearbeitung der Särge ist diese Gefahr noch erheblich größer.
- 9 FFP3-Atemschutzmasken (filtering face piece) bieten Schutz vor Partikeln und Pilzsporen, vgl. ACHHAMMER 2014, S. 101
- 10 Hoch effiziente Partikelfilter HEPA-Filter (High Efficiency Particulate Airfilter) reinigen die Abluft des Filters, vgl. HAMMER 2017, S. 74
- 11 Verwendet wurde ein Gloria Drucksprüher
- 12 HAMMER 2017, S. 72
- 13 HAMMER 2017, S. 76
- 14 Bezug über Deffner & Johann GmbH
- 15 Diese Maßnahme gilt ausschließlich für die schwarz gefassten Oberflächen. Die wenigen Bereiche an den zwei Särgen, an denen der transparente Oberflächenüberzug vorhanden war, sind aufgrund der Ethanol- Empfindlichkeit nicht behandelt worden.
- 16 MÖCKEL/MARTY 2017, S. 30
- 17 Produkt: Ultrasonic Scaler, Model: YS-CS-A(B)
- 18 Freundliche Auskunft von der Metallrestauratorin Anne Batzilla-Kempf, Kiel
- 19 Empfehlung von der Metallrestauratorin Anne Batzilla-Kempf, Kiel
- 20 FINGER/GOTTMANN/KÜHNEL 2007, S. 35

## Literatur

- ACHHAMMER 2014:**  
Christina Achhammer, Holzrestaurierung und -konservierung. In: Dirk Preuß, Andreas Ströbl, Regina Ströbl, Dana Vick, Grüfte retten! Ein Leitfaden zum pietätvollen Umgang mit historischen Grüften. Frankfurt am Main 2014
- ENGEL 2021:**  
Richard Engel, Die Gruft in der Dorfkirche St. Georg zu Lüdershagen, Untersuchungen und Methodik zur Erhaltung der barocken Holz-Särge mit Hinblick auf die Aufstellung und Präsentation in der Gruft. Masterthesis Fachhochschule Potsdam. Potsdam 2021 (unveröffentlicht)
- FINGER/GOTTMANN/KÜHNEL 2007:**  
Toni Finger, Peter Gottmann und Katharina Kühnel, Dokumentation über einen Vitrinenschrank zur Aufbewahrung einer Totenkrone aus der Stadtpfarrkirche St. Marien in Bernau. Projektarbeit, Fachhochschule Potsdam. Potsdam 2007 (unveröffentlicht)
- HAMMER 2017:**  
Astrid Hammer, Reinigung von schimmelbefallenen Oberflächen. In: Paul-Bernhard Eipper (Hrsg.), Handbuch der Oberflächenreinigung, 5. Auflage, E-Book. München 2017, S. 68–90
- MÖCKEL/MARTY 2017:** Viola Möckel und Hanspeter Marty, Matte Malerei mit Haftungsverlust, Konservierung und Restaurierung des Gemäldes „Velocità d'automobile + luce + rumore“ von Giacomo Balla. In: Restauro, Zeitschrift für Konservierung und Restaurierung, Heft 4, 2017, S. 28–31
- STRÖBL 2014:**  
Andreas Ströbl, Entwicklung des Holzсарges von der Hochrenaissance bis zum Historismus im nördlichen und mittleren Deutschland, Dissertation Humboldt Universität Berlin. Kasseler Studien zur Sepulkralkultur, Bd. 20. Düsseldorf 2014
- A. STRÖBL/R. STRÖBL 2018:**  
Andreas Ströbl und Regina Ströbl, Bad Wilsnack – Wunderblutkirche. Särge der Familie von Saldern in alter Pracht. In: Brandenburgische Denkmalpflege, Jg. 4, Heft 2018-1, S. 19-25

## Abbildungsnachweis

**Abbildungen 1–20:**  
Richard Engel

**Titel:**  
Detail aus Abb. 4

## Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# Dekontamination biozidbelasteter Sammlungsobjekte aus Holz durch Fest-Flüssig-Extraktion mit organischen Lösemitteln

Achim Unger, Sabrina Zoppke, Jörg Weber



## Dekontamination biozidbelasteter Sammlungsobjekte aus Holz durch Fest-Flüssig-Extraktion mit organischen Lösemitteln

Achim Unger, Sabrina Zoppke, Jörg Weber

Museales Sammlungsgut aus Holz und transportable Kleinobjekte aus der Denkmalpflege wurden in der Vergangenheit oftmals intensiv mit biozidhaltigen Holzschutzmitteln in Form von Anstrichen oder Volltränkungen behandelt. Die Konzentrationen von Organochlorverbindungen (PCP, DDT, Lindan) im Holz liegen deshalb bei vielen Gegenständen im Bereich einer sehr hohen Belastung.

Die bisher in der Praxis angewandten Technologien zur Dekontamination des schadstoffbelasteten Holzes reichen vor allem hinsichtlich des erforderlichen Minimierungsgrads bei Weitem noch nicht aus, um die von den Objekten ausgehende latente Gesundheitsgefährdung dauerhaft zu beseitigen.

Im Rahmen eines ZIM-Projekts mit der Bezeichnung „RWTec-DeTox“ wurden deshalb Methoden zur Tiefendekontamination entwickelt. Sie beinhalten eine Reduzierung der genannten Biozide durch Extraktion oder Auslaugung mittels organischer Lösemittel und deren Gemische.

Die Ergebnisse der Lösemittelbehandlung an kontaminierten Sammlungsgegenständen im Technikumsmaßstab lassen den Schluss zu, dass hohe Schadstoffkonzentrationen objektschonend bis in den Bereich einer geringen Belastung abgesenkt werden können. Das Gesundheitsrisiko bei weiterem Umgang mit den Gegenständen wird nachhaltig minimiert.

Durch die gegenwärtig angewandten Methoden der Dekontamination von mit Organochlorbioziden wie Pentachlorphenol (PCP), Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Lindan ( $\gamma$ -HCH) belasteten Holzobjekten wird zwar die Gesundheitsgefährdung gemindert, aber nicht im notwendigen Maße nachhaltig minimiert. Eine Reduzierung der teilweise sehr hohen Biozidgehalte in den Objekten von großen ethnologischen Museen, aber auch von Regionalmuseen und Naturalienkabinetten, in den Bereich einer geringen Belastung ist jedoch die Voraussetzung für einen risikoarmen Umgang mit ihnen. Insbesondere in Bezug auf die aktuellen Forderungen hinsichtlich der Restitution von kolonialem Raubgut an die Ursprungsländer ist die Frage nach ihrer Biozidfreiheit von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus spielt die Dekontamination der Biozide in Kulturgut aus Holz auch bei Restaurierungsmaßnahmen, Ausstellungen und Ausleihen sowie Vorführungen von Handwerkskünstlern eine große Rolle.

### *Dekontamination of biocide-contaminated wooden collection objects by solid-liquid extraction with organic solvents*

*In the past, wooden museum collection objects and small transportable objects from monument preservation often received intensive treatment with wood preservatives containing biocides by coating or complete impregnation. The concentrations of organochlorine compounds (PCP, DDT, lindane) in the wood are therefore in the very high contamination range for many objects. The technologies used in practice to date to decontaminate polluted wood are still far from sufficient, particularly with regard to the required degree of minimization, to permanently eliminate the latent health hazards posed by the objects.*

*Methods for deep decontamination have therefore been developed as part of a ZIM project called "RWTec-DeTox". They include a reduction of the biocides mentioned by extraction or leaching using organic solvents and their mixtures.*

*The results of the solvent treatment of contaminated collection objects on a pilot plant scale allow the conclusion that high concentrations of pollutants can be reduced to low levels in a way that protects the object. The health risk associated with further handling of the items is sustainably minimized.*

Um das Ziel einer geringen Biozidbelastung des gesamten kontaminierten Objektes zu erreichen, ist eine Tiefendekontamination notwendig, welche mit einer sogenannten Fest-Flüssig-Extraktion mit organischen Lösemitteln realisiert werden kann. Bei diesem Extraktionstyp wird ein Feststoff, beispielsweise ein mit einem Schutzmittel behandeltes Holz, einem geeigneten Extraktionsmittel ausgesetzt. Das Mittel soll die Biozide und schwerflüchtigen Lösemittelreste des ehemals verwendeten Präparats herauslösen. Es diffundiert in die Holzmatrix und mobilisiert dort zunächst die Schadstoffe, die sich dann in ihm anreichern. Infolge des Diffusionsgefälles wandert die kontaminierte Flüssigkeit an die Holzoberfläche und geht von dort in das umgebende Extraktionsmittel über.

Es ist allerdings nicht möglich, die im Holz enthaltenen Biozide zu 100 % zu eliminieren. Durch eine optimale Prozessführung lässt sich jedoch dieser Wert nahezu erreichen, wodurch die Biozidbelastung auf ein Mindestmaß reduziert werden kann.

Zu den häufig benutzten Techniken der Fest-Flüssig-Extraktion gehören die Soxhlet-Extraktion sowie verschiedene Auslaug- und Elutionsverfahren. Bei der Soxhlet-Extraktion handelt es sich um einen temperaturabhängigen Kreisprozess, während eine Auslaugung auch bei Raumtemperatur durchgeführt werden kann. Die beiden Prozesse unterscheiden sich hinsichtlich des Zeitfaktors deutlich. So liegt er bei der Soxhlet-Extraktion für Sammlungsobjekte im Stundenbereich, während er bei der Auslaugung Wochen oder sogar Monate betragen kann.

Die Anwendung der Fest-Flüssig-Extraktion zur Dekontamination setzt voraus, dass die in den Alt-Holzschutzmitteln (Alt-HSM) enthaltenen Organochlorbiozide lediglich in die Zellstruktur des Holzes eingelagert sind und keine chemisch stabilen Verbindungen mit dem Material eingehen. Salzartige, anorganische Alt-HSM, die beispielsweise mit Dichromaten im Holz fixiert wurden, lassen sich auf diesem Wege kaum entfernen.

In den Alt-HSM wird das Fungizid PCP oftmals mit den Insektiziden Lindan oder DDT kombiniert (Tab. 11). Die drei Biozide besitzen eine unterschiedliche Polarität. Das polare PCP tritt mit den Hauptkomponenten des Holzes stärker in Wechselwirkung als Lindan und DDT. Um diese Biozide gemeinsam in ausreichendem Maße entfernen zu können, müssen daher geeignete Lösemittel bzw. Lösemittelgemische für ihre Entfernung aus dem Holz ermittelt werden. Eine wichtige Prämisse ist dabei eine geringe Quellung des Holzes durch das Lösemittelsystem.

Als Maß für die Effizienz der einzelnen Lösemittel beziehungsweise ihrer Gemische dient bei den Laborversuchen der Dekontaminationsgrad (DKG) in Prozent. Bei den Technikumsversuchen mit realen Objekten (Abb. 1) werden in den Ergebnistabellen die Biozidgehalte des Holzes vor und nach der Dekontamination in mg/kg angegeben, um eine Einstufung hinsichtlich der Biozidbelastung des Objekts auf Basis der Angaben des Bremer Umweltinstitutes e. V. (1995)<sup>2</sup> vornehmen zu können (Tab. 2).

Alt-Holzschutzmittel	Enthaltene Biozide
<b>BRD</b>	
Xylamon LX-Hell	PCP, Lindan
Xylamon BV	PCP, Lindan
Xylamon Holzwurm-Tod	Lindan
Xyladecor farblos	PCP, Lindan, Dichlofluorid
Xylophen SC	PCP, Lindan
Xylamon bzw. Basileum LX härtend	Lindan, erst Cumaronharz, dann Plexigum P 28
Impra Hgf	PCP, Lindan
<b>DDR</b>	
Anobitol	DDT, Lindan, 1,2-Dichlorbenzen
Hylotox 59	DDT, Lindan
Hylotox IP	PCP, DDT
Paratectol HvEO	PCP

Tabelle 1 Alt-Holzschutzmittel mit den Bioziden PCP, DDT und Lindan (Auswahl)

Die im Folgenden dargestellten Untersuchungen fanden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten ZIM-Kooperationsprojekts mit der Bezeichnung „RWtec-Detox“<sup>3</sup> statt, welches von der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig initiiert wurde.

Belastung mit PCP/ DDT *	Belastung mit Lindan	Bewertung
bis 30 mg/kg	bis 5 mg/kg	geringe Belastung
30-200 mg/kg	5-30 mg/kg	deutliche Belastung
200-1000 mg/kg	30-100 mg/kg	hohe Belastung
über 1000 mg/kg	über 100 mg/kg	sehr hohe Belastung

Tabelle 2 Bewertung des Belastungsgrads des Holzes durch die Biozide PCP, DDT und Lindan nach dem Bremer Umweltinstitut (1995)

\* Für DDT kann das Bewertungsraster von PCP angewendet werden.



1 Technikum des  
bbz Chemie in Berlin

## Teil 1: Laborversuche zur Ermittlung von Lösemitteln für Organochlorbiozide im Holz

### Einsatz von Prüfkörpern aus kontaminiertem Holz

Generell gelangten keine mit Alt-HSM frisch imprägnierten Prüfkörper zum Einsatz, sondern solche von kontaminierten Altholzresten aus der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude. Dadurch wurden die im Laufe der Zeit mögliche, veränderte Zugänglichkeit des Materials durch das in ihm enthaltene HSM und ihr Einfluss auf die Extraktion beziehungsweise den Auslaugprozess berücksichtigt.

Im Einzelnen handelte es sich um holzsichtige Bauteile aus der Schuttbergung einer Wandvertäfelung aus Kiefernholz des Grünen Gewölbes in Dresden, behandelt mit den DDR-Holzschutzmitteln „Hylotox 59“ (DDT, Lindan) und „Hylotox IP“ (PCP, DDT), sowie um Kiefernholzdielen aus dem Dachstuhl des Gemeindehauses der Kirche Pankow/Heinersdorf in Berlin, ebenfalls behandelt mit „Hylotox 59“ und „Hylotox IP“.

Die daraus hergestellten Prüfkörper besaßen in den meisten Fällen eine Tiefe von 20 mm, eine Breite von 25 mm und eine Länge von 50 mm in Faserrichtung und waren sägerau. Wenn möglich, wurden jeweils zwei Splintholz- und zwei Kernholzprüfkörper mit kantenparallelem Jahrringverlauf pro Lösemittelversuch eingesetzt.

### Kriterien für die Lösemittelauswahl

Vorrangig sollten solche reinen Lösemittel oder Lösemittelgemische gefunden werden, mit denen sich PCP, DDT und Lindan simultan in hohem Grade aus dem Holz entfernen lassen. Dabei sollten keine oder nur minimale, reversible Dimensionsänderungen an holzsichtigen und gefassten Objekten auftreten und bei den am häufigsten vorkommenden Fassungen und Leimverbindungen keine nachteiligen Veränderungen stattfinden.

Aufgrund der unterschiedlichen Polarität von PCP, DDT und Lindan werden diese Biozide in Übereinstimmung mit der bekannten Chemiker-Regel *Similia similibus solvuntur* (Ähnliches wird von Ähnlichem gelöst) in unterschiedlich starkem Maße durch die einzelnen Lösemittel aus dem Holz herausgelöst. Für das polare PCP eignen sich das polare Methanol und Ethanol besonders gut. Allerdings verursachen diese beiden Lösemittel eine merkliche Quellung des Holzes. Lindan löst sich bevorzugt in schwach polaren Lösemitteln wie Aceton und verschiedenen aliphatischen Ethern. DDT ist in apolaren Lösemitteln wie *n*-Hexan, *n*-Heptan oder Cyclohexan leicht löslich.

Es ist bekannt, dass sich reines PCP auch in *n*-Hexan löst, aber sobald die Substanz im Holz vorliegt, tritt seine phenolische OH-Gruppe mit den phenolischen OH-Gruppen des Lignins unter Bildung von Wasserstoffbrückenbindungen in Wechselwirkung. Diese Bindungen sind zwar recht schwach, aber mit apolaren Lösemitteln lassen sie sich dennoch nur sehr langsam lösen, was insbesondere bei Vollholz von Nachteil ist.

Aufgrund der unterschiedlichen Polarität der drei Biozide war abzusehen, dass die Verwendung eines nicht quellenden Lösemittels allein wahrscheinlich nicht möglich sein würde und deshalb ein Lösemittelgemisch für die simultane Dekontamination herangezogen werden muss. Bei der Soxhlet-Extraktion sind jedoch Lösemittelgemische prozessbedingt nur dann einsetzbar, wenn es sich um Azeotrope handelt.

Hinter einem Azeotrop verbirgt sich ein Lösemittelgemisch, welches sich nicht durch Destillation trennen lässt und sich wie ein Reinstoff mit definiertem Siedepunkt verhält.

### Verwendete Laborgeräte und Versuchsbedingungen

Die Extraktionen fanden in einem 150 ml-Soxhlet-Aufsatz aus Glas statt (Abb. 2). Die kontaminierten Vollholzprüfkörper wurden direkt in ihm platziert. Die Extraktionszeit betrug in den überwiegenden Fällen vier bis sechs Stunden. Vor und direkt nach der Extraktion wurden die Abmessungen der Prüfkörper sowie ihre Masse bestimmt. Danach wurde an ihnen nach einer vereinfachten Methode in Anlehnung an DIN 52184<sup>4</sup> ihre Quellung in tangentialer und radialer Richtung ermittelt. Somit handelt es sich lediglich um Näherungswerte zur Charakterisierung des Ausmaßes der Quellung durch das jeweilige organische Lösemittel.<sup>5</sup>

Für die Auslaugversuche kamen Schraubdeckelgläser zum Einsatz. Das Volumenverhältnis von Prüfkörper zu Lösemittel betrug etwa 1:2,5. Die Auslaugzeit lag bei 40 Tagen. Danach wurde das kontaminierte Lösemittel entfernt, frisches Lösemittel in die Probengläser mit den Vollholzprüfkörpern eingefüllt, einige Minuten umgeschüttelt und 24 Stunden in der Flüssigkeit belassen. Anschließend wurde der gleiche Vorgang für weitere 24 Stunden wiederholt und die Prüfkörper wurden unter einem Abzug getrocknet. Nachdem das jeweilige Lösemittel verdampft und die Massekonstanz der Prüfkörper erreicht war, wurden mittels eines Forstnerbohrers Spanproben für die Bestimmung des Biozidgehalts entnommen. Vor der Extraktion sowie Auslaugung wurde ebenfalls eine Beprobung an den Prüfkörpern bis zur mittleren Eindringtiefe (4 mm) des Holzschutzmittels vorgenommen (Abb. 2, helles Bohrloch).

Die Biozidanalyse aller Holzproben (Bohrspäne) wurde durch das AnalySELabor in Berlin (ALAB GmbH) vorgenommen. Eine Liste der relevanten Prüfberichte befindet sich am Ende des Beitrags. Ein Aliquot der Probe wurde im Soxhlet mit Aceton/Methanol extrahiert. Der eingeeengte Extrakt wurde im Alkalischen zur Derivatisierung des PCP mit Essigsäureanhydrid versetzt und anschließend in Toluol überführt. Die Analyse erfolgte nach dem akkreditierten Hausverfahren ALAB 9a 1996 mittels Kapillar-Gaschromatografie und Elektroneneinfang-Detektor (GC/ECD) bzw. Massenspektrometer (GC/MS). Die einzelnen Substanzen wurden nach der Methode des Internen Standards über Vergleichsgemische quantifiziert.



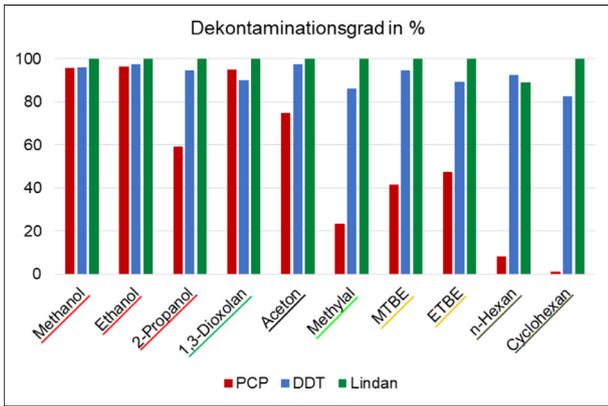
2 Labor-Soxhlet-Aufsatz mit Vollholzprüfkörper

### Resultate und Diskussion der Soxhlet-Extraktionen

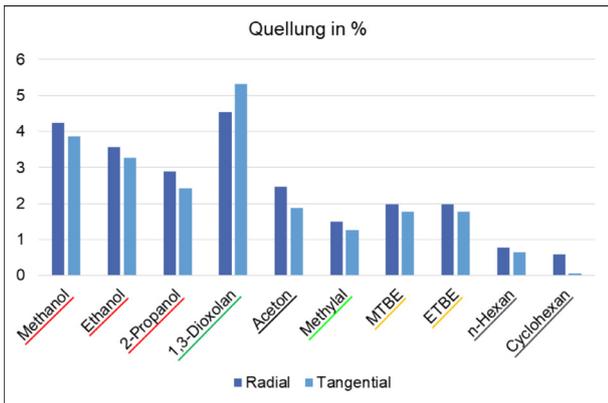
Diagramm 1 gibt den durch Soxhlet-Extraktion mit verschiedenen, nach abnehmender Polarität geordneten Lösemitteln erreichten Dekontaminationsgrad (DKG) für PCP, DDT und Lindan der mit „Hylotox IP“ (PCP + DDT) kontaminierten Vollholzprüfkörper wieder. Hinter den Abkürzungen MTBE und ETBE verbergen sich dabei die als Kraftstoffadditive eingesetzten Ether Methyl-*tert*-butylether und Ethyl-*tert*-butylether.

Beim PCP bewirkten die polaren Lösemittel Methanol, Ethanol und 1,3-Dioxolan einen DKG von über 90 %. Für DDT ließ sich mit allen Lösemitteln ein DKG von über 80 % erzielen. Lindan konnte in den überwiegenden Fällen nahezu vollständig eliminiert werden. Dieses Ergebnis ist aber mit Vorbehalt zu betrachten, weil Lindan normalerweise nicht im „Hylotox IP“ enthalten war und im behandelten Holz nur in sehr geringer Menge als Verunreinigung vorlag. Diese Einschränkung für Lindan gilt auch in den folgenden Diagrammen für die mit „Hylotox IP“ kontaminierten Prüfkörper.

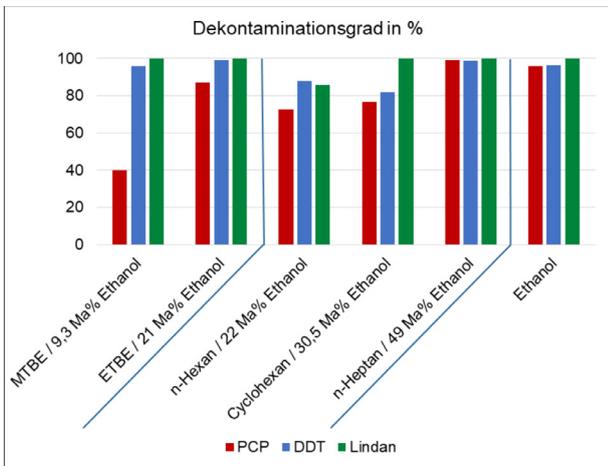
Mit MTBE ließ sich in einem früheren Beitrag<sup>6</sup> bei DDT-haltigen Holzobjekten ein hoher DKG erzielen. Deshalb wurden dieser Ether und ETBE zunächst auch für PCP- und Lindanhaltige Objekte wegen ihres niedrigen Quellungsvermögens favorisiert. Das Diagramm 1 zeigt aber, dass die beiden Lösemittel nur unzureichend in der Lage sind, das polare PCP aus dem Vollholz herauszulösen.



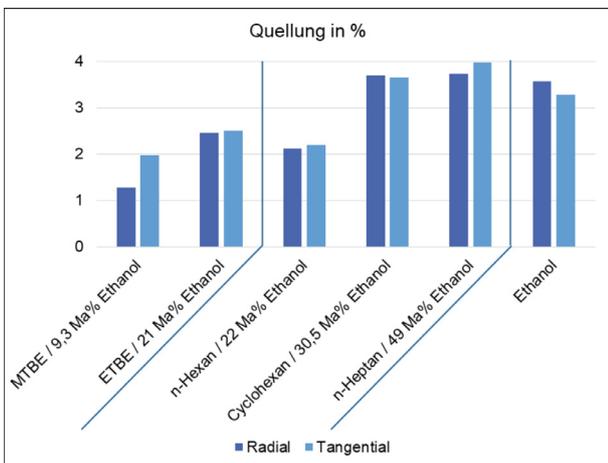
**Diagramm 1** Vergleich des Dekontaminationsgrads von Prüfkörpern aus kontaminiertem Kiefernspilnholz nach der Soxhlet-Extraktion mit reinen Lösemitteln



**Diagramm 2** Vergleich der Quellung von Prüfkörpern aus kontaminiertem Kiefernspilnholz nach der Soxhlet-Extraktion mit reinen Lösemitteln



**Diagramm 3** Vergleich des Dekontaminationsgrads von Prüfkörpern aus kontaminiertem Kiefernspilnholz nach der Soxhlet-Extraktion mit Azeotropen



**Diagramm 4** Vergleich der Quellung von Prüfkörpern aus kontaminiertem Kiefernspilnholz nach der Soxhlet-Extraktion mit Azeotropen

## Resultate und Diskussion der Auslaugversuche

Die Bestimmung der Quellung der Prüfkörper nach der Soxhlet-Extraktion ergab, dass die Lösemittel mit den höchsten DKG für PCP auch die stärkste Quellung des Holzes verursachen (**Diagramm 2**). Besonders ausgeprägt war dieser Effekt bei Verwendung von 1,3-Dioxolan.

Geht man beim Ethanol von einer mittleren Quellung von etwa 3 % aus, kann ein Objekt mit 15 cm Breite um 4 bis 5 Millimeter quellen. Die Quellung war zwar nach dem Verdampfen des jeweiligen Lösemittels aus dem Holz reversibel, für gefasste Objekte ist sie aber kaum beziehungsweise nicht tolerierbar. Außerdem ist bei holzsichtigen Objekten mit bereits vorhandenen Schäden, wie beispielsweise einer starken Rissbildung oder offenen Leimfugen, Vorsicht geboten.

Um bei gleichzeitiger Anwesenheit von PCP, DDT und Lindan im Holz einen hohen DKG bei moderater Quellung des Trägermaterials erreichen zu können, war daher der Einsatz binärer Lösemittelsysteme mit einer polaren und apolaren Komponente vonnöten.

Um die verfahrensmäßig gebotenen Bedingungen einer Soxhlet-Extraktion zu erfüllen, wurden zwei Ether-Azeotrope und drei Kohlenwasserstoff-Azeotrope mit unterschiedlichen Ethanolanteilen ausgewählt. Die Ether-Azeotrope hatten die Zusammensetzung MTBE/Ethanol (90,7/9,3 Ma %) und ETBE/Ethanol (79/21 Ma %). Die Kohlenwasserstoff-Azeotrope enthielten folgende Komponenten und Anteile: *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %); Cyclohexan/Ethanol (69,5/30,5 Ma %); *n*-Heptan/Ethanol (51/49 Ma %).

Aus **Diagramm 3** ist ersichtlich, dass sich der DKG für PCP mit wachsendem Ethanolgehalt im Azeotrop erhöht. 49 Ma % Ethanol im Azeotrop mit *n*-Heptan bewirken prinzipiell die gleiche Reduktion der drei Biozide wie Ethanol allein. Bei einem Anteil von ca. 20 Ma % Ethanol ist das Azeotrop mit ETBE demjenigen mit *n*-Hexan im Hinblick auf die Dekontamination der Biozide überlegen. Bei Betrachtung der dazugehörigen Quellungswerte (**Diagramm 4**) fällt auf, dass die Quellung bei den Azeotropen mit einem Anteil deutlich über 20 Ma % Ethanol größer als bei reinem Ethanol ist. Dagegen nimmt die Quellung mit sinkendem Ethanolanteil ab und steht mit etwa 2 % bei den Azeotropen mit ca. 20 Ma % in einem akzeptablen Verhältnis zum DKG der drei Biozide. Wegen der beim *n*-Hexan-Azeotrop gegenüber dem ETBE-Azeotrop geringeren Quellung wird Ersteres bei den weiteren Untersuchungen favorisiert.

Ob für die Reduktion der Quellung allein der abnehmende Anteil an Ethanol verantwortlich ist oder dabei auch die sinkende Siedetemperatur der Azeotrope eine Rolle spielt, wurde nicht weiter untersucht.

Die Versuche wurden mit dem Ziel durchgeführt, die aufwendigere Soxhlet-Extraktion durch ein technisch einfacheres Auslaugverfahren zu substituieren, wobei trotzdem die gleichen oder höhere DKG ohne merkliche Quellung des Holzes durch das Lösemittel erreicht werden sollten.

Es zeigte sich, dass mit den für die Auslaugung ausgewählten reinen Lösemitteln (Ethanol, 1,3-Dioxolan, MTBE und ETBE) tendenziell ähnliche DKG erzielbar sind. Ein Vergleich der Quellungswerte ergab jedoch, dass die Soxhlet-Extraktion gegenüber der Auslaugung bei allen Lösemitteln eine stärkere Quellung des Holzes verursacht. Wahrscheinlich sind hierfür die höheren Temperaturen<sup>7</sup> und der ständige Austausch des Lösemittels durch die Umläufe bei der Soxhlet-Extraktion verantwortlich.

Bei den binären Lösemittelgemischen galt das Interesse den Systemen mit 20%igem polarem Anteil, da mit diesem Mischungsverhältnis bei der Soxhlet-Extraktion eine akzeptable Quellung im Verhältnis zum DKG erzielt werden konnte. Es wurden folgende Azeotrope verwendet: ETBE/Ethanol (79/21 Ma %); MTBE/1,3-Dioxolan (81,1/18,9 Ma %); *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %).

Nach der Behandlung der Prüfkörper lagen die DKG für PCP in der angegebenen Reihenfolge bei 42 %, 85 % und 98 %. DDT ließ sich zu 81 %, 84 % und 95 % reduzieren. Die DKG für Lindan betragen 46 %, 57 % und nahezu 100 %.

In einem Auslaugtestversuch zeigte sich, dass *n*-Hexan durch das weniger gesundheitsschädliche *n*-Heptan in einem Gemisch nahezu gleicher Zusammensetzung substituiert werden kann und sich dadurch ebenfalls hohe DKG für die einzelnen Biozide erzielen lassen. Allerdings gibt es beim *n*-Heptan kein geeignetes Azeotrop mit Ethanol für die Soxhlet-Extraktion (**Diagramm 4**).

Für das ETBE/Ethanol-Gemisch wurden Quellungswerte von 0,8 % und 1,2 % in radialer und tangentialer Richtung ermittelt. Das MTBE/1,3-Dioxolan-System verursachte eine radiale und tangentiale Quellung von 1,2 % und 1,5 %. Für *n*-Hexan/ Ethanol wurden 1,8 % und 2,0 % Quellung in radialer und tangentialer Richtung bestimmt.

### Vergleich der Resultate von Soxhlet-Extraktion und Auslaugung mit binären Lösemittelsystemen

Für den Vergleich wurden die DKG für PCP, DDT und Lindan nach Anwendung der drei Azeotrope ETBE/Ethanol, MTBE/1,3-Dioxolan und *n*-Hexan/Ethanol mit einem Gehalt des polaren Ethanols oder 1,3-Dioxolans von jeweils ca. 20 Ma % herangezogen. Bei den Ether-Azeotropen mit Ethanol und 1,3-Dioxolan zeigte sich, dass die Soxhlet-Extraktion der Auslaugung hinsichtlich der drei Biozide überlegen ist. Dagegen bewirkte das *n*-Hexan-Azeotrop bei der Auslaugung eine stärkere Biozidreduktion als bei der Soxhlet-Extraktion.

Bei der Gegenüberstellung der Werte für die Quellung war zu erkennen, dass auch bei den binären Systemen die Soxhlet-Extraktion gegenüber der Auslaugung eine stärkere Dimensionsänderung der Prüfkörper auslöst. Allerdings war der Unterschied beim *n*-Hexan-Azeotrop sehr gering. Mit Quellungswerten um 2 % erscheint seine Anwendung bei holzsichtigen, kontaminierten Objekten mit Schäden wie Rissbildung oder offenen Leimfugen noch möglich.

### Dekontaminationsversuch eines holzsichtigen Museumsobjekts durch Auslaugung

Zur Ermittlung des DKG, der Quellung und der Stabilität von Leimfugen bei realen Objekten mit gegenüber den Vollholzprüfkörpern größeren Dimensionen wurde ein holzsichtiger, aus Birnbaum angefertigter Backmodel ohne Oberflächenüberzug vom Museum für Thüringer Volkskunde in Erfurt eingesetzt. Die Vorzustandsanalyse ergab, dass der Model höchstwahrscheinlich mit dem Alt-HSM „Hylotox 59“ (DDT + Lindan) behandelt worden war. In ihm wurde auch eine sehr geringe Menge an PCP gefunden, die als Verunreinigung gedeutet wird<sup>8</sup>.

Der Model (Inv.-Nr. 1512) hatte die Abmessungen 18,8 cm x 33,9 cm x 1,4 cm und wies mittig zwei nahezu durchge-

hende Längsrisse auf. Auf seiner Oberfläche waren Ausblühungen sichtbar, die typisch für das in „Hylotox 59“ enthaltene DDT sind (Abb. 3).

Die Analysenproben zur Bestimmung des Biozidgehalts wurden vor und nach der Auslaugung an den 1,4 cm starken Hirnholzseiten entnommen. Die Bohrtiefe betrug 10 mm und der Durchmesser 8 mm.

Für die Auslaugung kam ein dampfdicht verschließbares, durchsichtiges Gefäß aus Polyethylen zum Einsatz. Als Lösemittel wurde Ethanol wegen des mit ihm erreichten DKG und zur Überprüfung seines Quellungsvermögens bei realen Objekten ausgewählt. Die Gesamtdauer der Auslaugung wurde mit 40 Tagen festgelegt, wobei nach 20 Tagen ein Wechsel des Lösemittels erfolgte. Nach den 40 Tagen wurde der Model noch für zwei Tage in frischem Lösemittel, unter gelegentlichem Umschütteln desselben, gelagert.

Der Model hatte sich nach 20 Tagen nicht verworfen und gewölbt. Die weißen DDT-Kristalle waren verschwunden (Abb. 4). Da jedoch die etwa 2%ige Quellung des Holzes ein leichtes Öffnen des durchgängigen Risses verursachte, wurde er bereits zu diesem Zeitpunkt aus dem Ethanolbad entfernt, zum Trocknen unter den Abzug gestellt und anschließend eine Probe für eine Zwischenanalyse entnommen. Der Riss wurde danach mit einem Gemisch aus Knochen- und Hautleim geschlossen und der Model für weitere 20 Tage in Ethanol deponiert, weil nach den ersten 20 Tagen die DKG für PCP, DDT und Lindan lediglich 78 %, 69 % und 57 % betragen. Die Leimverbindung blieb auch nach 40-tägiger Auslaugung stabil, und die Farbigkeit sowie das Erscheinungsbild der Holzoberfläche hatten sich nicht verändert. Im Endergebnis lagen die DKG für PCP, DDT und Lindan bei 90 %, 88 % und 89 %. Quellungswerte um 2 % wie im Falle des Ethanols lassen daher seine Anwendung bei kontaminierten, holzsichtigen Objekten mit Schäden, wie Rissen oder offenen Leimfugen, durchaus möglich erscheinen.



3 Weiße, kristalline DDT-Ausblühungen auf dem Backmodel mit der Inv.-Nr. 1512 (Detailaufnahme)



4 Backmodel (Inv.-Nr. 1512) nach der ersten Dekontamination ohne DDT-Kristalle (Detailaufnahme)



5 Back- und Blaudruckmodel aus dem Museum für Thüringer Volkskunde in Erfurt mit Inv.-Nr. (MEK-Model aus dem Museum Europäischer Kulturen SPK, Berlin)

## Teil 2: Technikversuche an Prüfkörpern und realen Sammlungsobjekten Soxhlet-Extraktion

### Versuchsobjekte

Im Einzelnen wurde das Verhalten holzsichtiger Prüfkörper aus stark mit PCP und DDT belastetem Kiefernholzdielen mit einer Größe von 10 cm x 10 cm x 2 cm sowie von Spanplattenprüfkörpern (5 cm x 5 cm x 2 cm) mit einer 25 Jahre natürlich gealterten Kreidegrundierung sowie einer Polimentvergoldung untersucht.

Des Weiteren stand ein Konvolut holzsichtiger Back- und Blaudruckmodel vom Museum für Thüringer Volkskunde in Erfurt zur Verfügung, die mit „Hylotox 59“ kontaminiert waren (Abb. 5). Außerdem konnten geschnitzte und vergoldete Zierelemente aus Lindenholz von den Kunstsammlungen des Bistums Regensburg eingesetzt werden, die nicht mehr zuzuordnen waren.

### Apparatur und Versuchsparameter

Die Extraktionen wurden in einer technischen Soxhlet-Apparatur des Berufsbildungszentrums bbz Chemie in Berlin durchgeführt. Der vertikal installierte, zylindrische Extraktionsbehälter aus Glas für die Aufnahme von Feststoffen besaß ein Volumen von 10 l (Abb. 6). Er hatte eine Höhe von 500 mm und einen Innendurchmesser von 150 mm. Der Rundkolben aus Glas für das Extraktionsmittel umfasste 50 l (Abb. 7). Er wurde wegen der möglichen Bildung explosiver Gemische mit Heißdampf beheizt. Als Extraktionsmittel dienten Ethanol und MTBE sowie die Azeotrope MTBE/1,3-Dioxolan (81,1/18,9 Masse-%) und *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Masse-%).

Der Extraktionsbehälter der Soxhlet-Apparatur wurde jeweils mit holzsichtigen und gefassten Prüfkörpern sowie verschiedenen Model bestückt. Die Extraktionszeit betrug sechs Stunden, in der im Schnitt 16 Abhebungen<sup>9</sup> des jeweiligen Extraktionsmittels stattfanden. Die kontaminierten Lösemittel bzw. Lösemittelgemische wurden im Technikum destilliert und die Rückstände im dortigen Rotationsverdampfer weiter aufkonzentriert. Das zurückbleibende Konzentrat gelangte zur Entsorgung. Vor seiner Wiederverwendung wurde das jeweilige Destillat auf Biozidfreiheit geprüft.



## Resultate und Diskussion der Soxhlet-Extraktionen

### Reine Lösemittel – Holzlichtige Prüfkörper

Während bei den holzsichtigen Prüfkörpern mit Ethanol 86 % des im Holz eingelagerten PCP extrahiert werden konnten, waren es beim Einsatz von MTBE dagegen nur 12 % (Tab. 3). Andererseits betrug der DKG für DDT bei Verwendung von Ethanol nur 68 % gegenüber MTBE mit 96 %. Diese Ergebnisse bestätigen die Beobachtung bei den Laborversuchen, dass sich MTBE für das Herauslösen des polaren PCP aus dem Holz wenig eignet. Andererseits lässt sich mit diesem Lösemittel eine beträchtliche Reduzierung von DDT in damit belasteten Objekten erreichen. Generell lagen die Werte für die Quellung sowohl für Ethanol als auch für MTBE bei den Technikumsversuchen gegenüber den Laborversuchen niedriger. Im Falle des MTBE ging die Quellung in radialer und tangentialer Richtung sogar gegen null.

### Reine Lösemittel – Model

Bei den stark mit „Hylotox 59“ kontaminierten, holzsichtigen Back- und Blaudruckmodel unterschiedlicher Dimension und Holzart fällt die Heterogenität der DKG für PCP, DDT und Lindan auf (Tab. 3). Die PCP-Belastung der Model wird als Verunreinigung des in ihnen enthaltenen „Hylotox 59“ sowie als Sekundärkontamination gewertet. Anhand der zusammengehörigen Modelteile 1451a und 1451b aus Birnbaum können die mit Ethanol und MTBE erreichten DKG für die angegebenen Biozide direkt miteinander verglichen werden. Während für PCP mit Ethanol ein DKG von 86 % erzielt wird, bewirkt MTBE keine Reduzierung, was mit dem schlechten Ergebnis bei den Kiefernholzprüfkörpern korreliert. DDT wird durch MTBE mit einem DKG von 97 % etwas stärker als durch Ethanol mit 90 % reduziert. Beim Lindan bewirkt Ethanol eine Verringerung um 72 % und MTBE von 52 %.

6 Mit Kulturgut bestückter 10 Liter-Extraktor der Soxhlet-Apparatur im bbz Chemie Berlin in Betrieb



7 50 Liter-Kolben der Soxhlet-Apparatur im bbz Chemie Berlin mit Extraktionsmittel in Betrieb (braune Färbung durch extrahiertes Holzschutzmittel)

Objekt Nr.	Holzart	PCP in mg/kg			DDT in mg/kg			Lindan in mg/kg		
		vorher	nachher	DKG %	vorher	nachher	DKG %	vorher	nachher	DKG %
<b>Lösemittel Ethanol</b>										
Diele 1b	Kiefer	2230	320	85,7	1230	393	68,1	1,2	0,7	41,7
Model 1351	Birnbaum	9,1	6,2	31,9	668	123	81,6	14,6	2,5	82,9
Model 1441	Birnbaum	4,1	4,2	-	558	138	75,3	8,8	3,5	60,2
Model 1451b	Birnbaum	38,6	5,3	86,3	2480	237	90,4	85,1	23,6	72,3
<b>Lösemittel MTBE</b>										
Diele 1c	Kiefer	2390	2110	11,7	917	36,7	96,0	1,4	1,3	7,1
Model 1451a	Birnbaum	30,2	52,1(?)	-	1300	40,5	96,9	91,2	43,5	52,3
Model 4901	Birnbaum	2,0	2,5	-	312	180	43,9	4,1	6,4	-
Model 4897	Birnbaum	8,0	6,8	15	1970	169	91,4	213	197	7,5
Model 6944	Linde	1,1	3,4	-	3240	1380	57,4	193	108	44,0
<b>Azeotrop MTBE/1,3-Dioxolan (81,1/18,9 Ma %)</b>										
Diele 2b	Kiefer	1680	999	40,5	2460	127	94,8	2,8	1,4	50,0
Gaubbr. A2.2	Kiefer	987	798	20,1	-	-	-	82,5	51,3	37,8
Model 1448	Birnbaum	13,4	13,5	-	1120	191	83,0	10,9	6,4	41,3
Model 4916	Linde	1,3	39,2 (?)	-	2030	1620	20,2	39,4	58,6 (?)	-
Model 4918	Linde	7,3	3,2	56,0	572	274	52,1	94,3	70,9	24,8
<b>Azeotrop n-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %)</b>										
Diele 2c	Kiefer	2260	155	93,1	1120	24,6	97,8	54,0	4,1	92,4
Gaubbr. A2.3	Kiefer	3410	182	94,7	-	-	-	110	14,3	87,0
Model 4916*	Linde	3,7	12,7	-	4310	2870	33,4	120	110	8,3
Model 6944*	Linde	3,5	4,1	-	2030	1600	21,2	128	103	19,5

Tabelle 3 Dekontaminationsgrad (DKG) von Kiefernholzprüfkörpern und Model durch Soxhlet-Extraktion im Technikum mit reinen Lösemitteln und Azeotropen

\* Erneute Behandlung

Vergleicht man die bei den Kiefernholzprüfkörpern erhaltenen DKG mit denjenigen der Model, so wurden bei Letzteren mit Ethanol höhere DKG für DDT (75 bis 90 %) und Lindan (60 bis 83 %) erreicht. Die mit MTBE bei den Birnbaummodel für DDT erhaltenen DKG gleichen annähernd dem DKG an den Prüfkörpern aus den Kiefernholzdielen.

Eine Ausnahme stellt der DKG für DDT für die aus Lindenholz gefertigte Blaudruckmodel 6944 dar. Bei ihm konnte mit MTBE lediglich ein DKG von 57 % realisiert werden (Tab. 3). Offensichtlich hat die Holzart einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis. Lindenholz besitzt gegenüber Birnbaumholz ein deutlich höheres Porenvolumen, wodurch erheblich mehr Holzschutzmittel aufgenommen werden kann. Wahrscheinlich ist die Extraktionszeit von sechs Stunden zu gering, um die tief in das Lindenholz eingedrungenen Biozide in der notwendigen Menge herauszulösen. Sowohl bei den

Birnbaummodell als auch dem Lindenholzmodell wird generell deutlich, dass die gewählte Extraktionszeit nicht ausreicht, um beim DDT und Lindan mit den beiden Lösemitteln sicher in den Bereich einer geringen Belastung zu gelangen. Deshalb wurde beschlossen, die betreffenden Modelle im länger dauernden Auslaugverfahren nachzubehandeln. Die durchschnittliche Quellung der Modelle durch Ethanol entsprach etwa derjenigen bei den Kiefernholzprüfkörpern. Durch MTBE wurde bei den Modellen ebenso wie bei den Kiefernholzprüfkörpern keine Quellung verursacht.

### Reine Lösemittel – Gefasste Objekte

Für gefasste Objekte ist ihre Quellung durch die Lösemittel Ethanol und MTBE ein entscheidendes Kriterium. Deshalb wurde deren Wirkung auf Spanplattenprüfkörper mit einer gealterten Kreidegrundierung sowie einer Polimentvergoldung untersucht. Spanplatten besitzen die generelle Eigenschaft, im Dickenmaß stark zu quellen. Die Soxhlet-Extraktion mit Ethanol bewirkte eine Dickenquellung von 7 % und verursachte dadurch eine Craquelébildung im Kreidegrund. Außerdem trat eine vermutlich durch angelöste Klebstoffbestandteile der Spanplatte hervorgerufene, partiell gelbliche Verfärbung auf. Durch MTBE wurde weder eine Quellung noch Farbveränderung induziert. Im Falle der Polimentvergoldung verhielten sich die beiden Lösemittel ähnlich unterschiedlich. Wegen seines starken Quellvermögens kommt daher die Anwendung von Ethanol bei gefassten Objekten nicht infrage.

### Azeotrope – Holzichtige Prüfkörper

Hinsichtlich der Effizienz binärer Lösemittelsysteme hatten sich die Azeotrope MTBE/1,3-Dioxolan (81,1/18,9 Ma %) und *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %) in den Laborversuchen als besonders geeignet erwiesen. Daher kamen diese auch für die Technikumsversuche zum Einsatz.

Bei den holzsichtigen Prüfkörpern standen außer denjenigen aus den Kiefernholzdielen noch Kiefern Bretter von einer Gaubenverkleidung des Edelspeichers vom Diözesanmuseum Regensburg zur Verfügung. Aus den mit PCP und Lindan kontaminierten Gaubenbrettern wurden Prüfkörper mit den Abmessungen 10 cm x 10 cm x 2 cm hergestellt.

Mit dem Azeotrop MTBE/1,3-Dioxolan konnte für DDT in Analogie zu den Laborversuchen ein hoher DKG von 95 % bei den Dielenbrettprüfkörpern erreicht werden (Tab. 3). Dagegen waren die DKG für PCP und Lindan im Vergleich mit den Laborwerten um weniger als die Hälfte gesunken. Mit diesem Azeotrop können offensichtlich die beiden Biozide in der gewählten Extraktionszeit nur ungenügend in der Holzmatrix mobilisiert und herausgelöst werden. Deutlich bessere Ergebnisse ließen sich dagegen mit dem Azeo-

trop *n*-Hexan/Ethanol erzielen. Hier lagen die DKG für Lindan, PCP und DDT bei 87 %, 94 % und 98 % (Tab. 3). Bei den Laborversuchen wurde beobachtet, dass dieses Azeotrop rasch in das Holz eindringt und daher die Extraktionszeit von sechs Stunden für das fast vollständige Herauslösen der Biozide ausreicht.

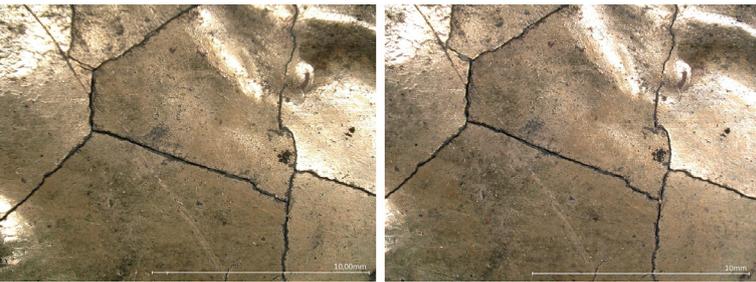
Wie bei den reinen Lösemitteln verringerte sich auch bei den genannten Azeotropen beim Übergang von den Labor- zu den Technikumsversuchen die Quellung des Kiefernholzes. Weitere Veränderungen an den holzsichtigen Prüfkörpern waren nicht erkennbar.

### Azeotrope – Modell

Den Abschluss der Soxhlet-Versuche im Technikum mit den beiden Azeotropen bildete eine Versuchsreihe mit jeweils zwei Modellen aus Lindenholz sowie einem Modell aus Birnbaumholz als Vergleichsobjekt (Tab. 3). Bei Betrachtung der Ausgangswerte für DDT und Lindan im kontaminierten Holz ist zu erkennen, dass die Modelle aus Lindenholz aufgrund ihres größeren Porenvolumens beim Vergleich mit der Birnbaummodell überwiegend wesentlich stärker belastet sind. Mit dem Azeotrop MTBE/1,3-Dioxolan lassen sich der DDT- und Lindangehalt der Birnbaummodell um 83 % beziehungsweise 41 % reduzieren, womit annähernd die Werte bei den Kiefernholzprüfkörpern erreicht werden. Das gleiche Azeotrop bewirkt bei den Lindenholzmodell für DDT und Lindan nur DKG von 20 bis 52 % beziehungsweise 25 %. Nicht besser sieht es beim *n*-Hexan/Ethanol-Azeotrop aus. Hier liegen die Werte für DDT und Lindan bei 21 % bis 33 % beziehungsweise 8 % bis 20 %. Die mit diesem Azeotrop an den größeren Lindenholzmodell bei gleicher Extraktionszeit erzielten DKG unterscheiden sich gravierend von denjenigen der kleineren Kiefernholzprüfkörper. Da die Rohdichten (und somit auch die Porenräume) für Kiefern Splintholz und Lindenholz annähernd gleich sind, ist auch die Größe der Objekte für den Extraktionserfolg mitentscheidend. Aufgrund der mit beiden Azeotropen bei den Lindenholzmodell erreichten niedrigen DKG traten an ihnen nach einigen Wochen erneut DDT-Ausblühungen auf. Daher wurden sie im Auslaugverfahren nachbehandelt. Soll die Soxhlet-Extraktion dennoch Anwendung finden, dann müssen die Versuchsbedingungen weiter optimiert werden.



8 Lindenholzzierelement 1 mit Polimentvergoldung



9 Detailaufnahmen vom Lindenholzzierelement 1  
links: Craquelé im Vorzustand  
rechts: Zustand nach der Soxhlet-Extraktion mit MTBE/1,3-Dioxolan

### Azeotrope – Gefasste Objekte

Das Quellungsvermögen der Azeotrope bei gefassten Objekten wurde an den polimentvergoldeten Lindenholzzierelementen 1 und 2 mit feinem Craquelé und holzsichtiger Rückseite ermittelt (Abb. 8). Sowohl MTBE/1,3-Dioxolan (Abb. 9) als auch *n*-Hexan/Ethanol bewirkten keine Veränderungen an den Fassungen der beiden Elemente.

### Auslaugung

#### Versuchsobjekte

Es wurden zwei Auslaugexperimente durchgeführt. Für die erste Auslaugung kamen holzsichtige Kiefernholzprüfkörper mit den Abmessungen 10 cm x 10 cm x 2 cm aus Dielen- und Gaubenbrettern sowie zwei Blaudruckmodel zum Einsatz (Tab. 4). Letztere wiesen zwei miteinander verleimte Schichten unterschiedlicher Holzarten auf. An ihnen sollte der Einfluss der Holzart auf den DKG ermittelt werden. Die Druckseite war jeweils aus Birnbaum gefertigt, während die Griffseite entweder aus Fichte oder Eiche bestand.

In die zweite Auslaugung gelangten alle Model, deren Biozidgehalte nach einer bereits erfolgten Dekontamination durch das Soxhlet-Verfahren noch im Bereich der sehr hohen sowie hohen Belastung lagen (Tab. 4). Von besonderem Interesse war dabei, ob das Auslaugverfahren bei den Lindenholzmodel eine höhere Effizienz gegenüber der Soxhlet-Extraktion zeigt. Außerdem wurde ein noch nicht behandeltes, kontaminiertes Birnbaummodell (Inv.-Nr. 4893) eingesetzt, um festzustellen, ob bei seiner sehr hohen Belastung in einem Schritt eine geringe Belastung erreicht werden kann.

### Apparatur und Versuchsparameter

Für die Experimente stand am bbz Chemie Berlin ein vakuumdicht verschließbarer 50 Liter-Glasbehälter mit Deckel, montiert auf einem fahrbaren Gestell, zur Verfügung (Abb. 10). Sein Innendurchmesser betrug 300 mm. Die Höhe des Unterteils bis zum Rand lag bei 600 mm, mit aufgesetztem Deckel bei 750 mm. Ein im Deckel angebrachter Stutzen konnte mit einer Vakuumpumpe verbunden werden. Außerdem war es möglich, die im Behälter enthaltene Flüssigkeit durch Einblasen von Stickstoff sprudelnd („bubbling“) umzuwälzen. Als Lösemittelgemisch diente das *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %)-Azeotrop, mit dem sowohl bei der Soxhlet-Extraktion als auch bei der Auslaugung im Labormaßstab die höchsten DKG für PCP, DDT und Lindan erzielt werden konnten und welches ein verhältnismäßig geringes Quellungsvermögen besaß.

Bei der ersten Auslaugung wurde aus den holzsichtigen Prüfkörpern und zweischichtigen Model im Glasgefäß innerhalb von 30 Minuten mittels Vakuum die Luft aus den Poren des Holzes entfernt und danach das Azeotrop durch Entspannen auf Normaldruck eingesaugt. Die Auslaugdauer betrug 30 Tage. Innerhalb dieser Zeit fanden drei Spülungen (Austausch des Lösemittels) statt. Zwischen den Spülungen sowie direkt vor seiner Erneuerung wurde das Azeotrop mit Stickstoff umgewälzt.

Die zweite Auslaugung erfolgte unter analogen Versuchsbedingungen. Lediglich bei dem stark kontaminierten Birnbaummodell mit der Inv.-Nr. 4893 wurde die Auslaugzeit auf 40 Tage verlängert.



10 50 Liter-Glasbehälter für die Auslaugung

Objekt Nr.	Holzart	PCP in mg/kg			DDT in mg/kg			Lindan in mg/kg		
		vorher	nachher	DKG %	vorher	nachher	DKG %	vorher	nachher	DKG %
Diele 2d	Kiefer	2150	72,4	96,6	1610	31,9	98,3	36,7	1,8	95,1
Gaubbr. A2.4	Kiefer	1990	63,5	96,8	-	-	-	112	4,1	96,3
Model 4922.1	Birnbaum	1,7	0,8	52,9	721	31,8	95,6	5,5	1,4	74,5
Model 4922.2	Fichte	5,0	3,0	40,0	667	188	71,8	26,4	14,0	47,0
Model MEK.1	Birnbaum	5,1	2,5	51,0	3990	120	97,0	35,3	8,7	75,3
Model MEK.2	Eiche	9,2	2,4	73,9	861	182	78,9	23,3	7,4	68,2
Model 1451b	Birnbaum	5,3	< BG	100	237	15,4	93,5	23,6	1,6	93,2
Model 4901	Birnbaum	2,5	< BG	100	180	10,4	94,2	6,4	1,4	78,1
Model 4893	Birnbaum	0,9	< BG	100	1850	105	94,3	41,1	21,0	48,9
Model 4897	Birnbaum	6,8	< BG	100	169	27,5	83,7	197	27,3	86,1
Model 4916*	Linde	12,7	< BG	100	2870	31,3	98,9	110	4,7	95,7
Model 4918	Linde	3,2	< BG	100	274	42,8	84,4	70,9	8,5	88,0
Model 6944*	Linde	4,1	< BG	100	1600	14,2	99,1	103	4,1	96,0
Model 1451b	Birnbaum	5,3	< BG	100	237	15,4	93,5	23,6	1,6	93,2

Tabelle 4 Dekontaminationsgrad (DKG) von Kiefernholzprüfkörpern und Model durch Auslaugung im Technikum mit dem *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %)-Azeotrop  
 BG = Bestimmungsgrenze; \* Erneute Behandlung

### Resultate und Diskussion der Auslaugversuche

#### Azeotrop *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %) – 1. Auslaugversuch

Nach der Auslaugung wiesen die holzsichtigen Kiefernholzprüfkörper DKG für die drei Biozide zwischen 95 % und 98 % auf (Tab. 4) und bestätigten die Ergebnisse der Laborversuche.

Die Zweischichtmodel mit den Inv. Nr. 4922.1/2 und MEK 1/2 ergaben im Fall des Birnbaums für die drei Biozide nahezu identische DKG. Die durch Sekundärkontamination verursachten, niedrigen PCP-Werte wurden durch die Behandlung bei allen Model und ihren unterschiedlichen Holzarten weiter reduziert. Die DKG für DDT lagen beim Birnbaum trotz der unterschiedlichen Ausgangswerte mit 96 % bis 97 % gleichermaßen hoch. Für Fichte und Eiche waren die DKG für dieses Biozid mit 72 % und 79 % gegenüber Birnbaum um etwa 20 % niedriger. Lindan wurde beim Birnbaum um 75 % reduziert, während die DKG für dieses Biozid bei Fichte und Eiche mit 47 % und 68 % darunter lagen.

Die Dekontaminationsraten spiegeln die bekannten Unterschiede der Holzarten hinsichtlich ihrer Tränkbarkeit mit HSM deutlich wider und gelten offensichtlich auch für ihre Auslaugung. In der Reihenfolge Kiefernspiltholz, Birnbaum, Eiche und Fichte ist eine signifikante Abnahme der DKG zu verzeichnen. Die Model wurden gegenüber den Kiefernholzprüfkörpern etwas stärker gequollen, aber offene Risse hatten sich nur minimal verändert. Die ursprünglich vorhandenen Ausblühungen von DDT-Kristallen waren nicht mehr sichtbar, und es wurde auch nach mehreren Monaten keine Neubildung auf den Oberflächen beobachtet.

## Azeotrop *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %) – 2. Auslaugversuch

Durch diese Auslaugung konnten sowohl bei den Birnbaum- als auch bei den Lindenhholzmodell hohe DKG für alle drei Biozide erzielt werden (Tab. 4). Die niedrigen PCP-Werte wurden unter die Bestimmungsgrenze abgesenkt, sodass die Model hinsichtlich dieses Biozids als „clean“ angesehen werden können. Die Auslaugung der bereits vorbehandelten Model führte beim DDT zu einer Absenkung seines Gehalts in die Nähe des Bereichs bzw. in den Bereich einer geringen Belastung. Ein ähnliches Ergebnis ergab sich auch für Lindan.

Durch die Auslaugung der bisher unbehandelten Birnbaummodell mit der Inv.-Nr. 4893 ließ sich ihre sehr hohe bzw. hohe Belastung durch DDT und Lindan in den Bereich einer deutlichen Belastung mit begrenztem Gesundheitsrisiko überführen. Soll der Bereich einer geringen Belastung in einem Schritt erreicht werden, dann ist voraussichtlich eine Verlängerung der Auslaugzeit von 40 auf 60 Tage erforderlich.

An allen Model wurden keine bzw. nur minimale Veränderungen beobachtet (Abb. 11) und auch im Abstand von einigen Monaten waren keine neuen DDT-Kristalle an den Objekten zu sehen. Die blaue Druckfarbe blieb unverändert (Abb. 12).

### Schlussbetrachtung

Die Versuche im Technikum des bbz Chemie in Berlin führten zu dem Ergebnis, dass Soxhlet-Extraktionen bei realen Objekten wie den Model keine ausreichend hohen Biozidreduktionsraten bewirken (Tab. 5, Block Soxhlet-Extraktion).

Dagegen erwies sich bei den Model das Auslaugverfahren als deutlich effektiver. Mit ihm konnten in vielen Fällen die teilweise sehr hohen Belastungswerte für DDT und Lindan in die Nähe des Bereichs einer geringen Belastung abgesenkt werden (Tab. 5, Block Auslaugung).

Die durch Soxhlet-Extraktion ungenügend dekontaminierten Model ließen sich durch eine anschließende Auslaugung oftmals in den Bereich einer geringen Biozidbelastung überführen (Tab. 5, Block Soxhlet-Extraktion/Auslaugung). PCP, welches in den Model bereits in niedriger Konzentration als Verunreinigung vorlag, war durch die vom ALAB – AnalySELabor in Berlin angewandte Bestimmungsmethode praktisch nicht mehr nachweisbar.<sup>10</sup>

Die Resultate bedeuten, dass sich die genannten Biozide prinzipiell nahezu vollständig aus dem Holz entfernen lassen. Im Rahmen der Restitution mit organischen Bioziden behandelter, kolonialer Holzobjekte an indigene Völker und Stämme erscheint es daher möglich, sie soweit zu dekontaminieren, dass sie ohne erhebliches Gesundheitsrisiko u. a. wieder für spirituelle Zeremonien benutzt werden können. In jedem Fall sind aber vorher eine genaue Bestimmung der Materialzusammensetzung des Objekts und wahrscheinlich auch Testversuche im Labor notwendig, um die geeigneten Parameter für seine Dekontamination zu ermitteln.



11 Blaudruckmodell (Inv.-Nr. 4916), links: Vorzustand mit DDT-Kristallen; rechts: Nachzustand ohne Kristalle mit nur minimaler Veränderung der Risse nach der Auslaugung mit *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %)



12 Blaudruckmodell (Inv.-Nr. 4916), oben: Vorzustand; unten: unveränderte Farbigkeit nach 40-tägiger Auslaugung mit *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %)

Objekt Nr.	Größe L x B x H in cm	Holzart	Verfahren	PCP in mg/kg		DDT in mg/kg		Lindan in mg/kg	
				vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher
<b>Soxhlet-Extraktion</b>									
Model 1351	17,9x6,1x4,4	Birnbaum	S	9,1	6,2	668	123	14,6	2,5
Model 1441	20,6x9,2x2,8	Birnbaum	S	4,1	4,2	558	138	8,8	3,5
Model 1448	20,6x12,7x1,9	Birnbaum	S	13,4	13,5	1120	191	10,9	6,4
Model 1451a	33,8x14,8x2,7	Birnbaum	S	30,2	52,1 (?)	1300	40,5	91,2	43,5
Model 1451b	33,8x14,8x2,7	Birnbaum	S	38,6	5,3	2480	237	85,1	23,6
Model 4901	28,5x4,5x3,8	Birnbaum	S	2,0	2,5	312	180	4,1	6,4
Model 4897	41,5x6,4x2,0	Birnbaum	S	8,0	6,8	1970	169	213	197
Model 4918	23,3x8,7x3,1	Linde	S	7,3	3,2	572	274	94,3	70,9
Model 4916	29,3x7,2x4,5	Linde	S	1,3	39,2 (?)	2030	1620	39,4	58,6 (?)
Model 6944	26,6x6,1x3,3	Linde	S	1,1	3,4	3240	1380	193	108
<b>Auslaugung</b>									
Model 1512	34,1x18,7x1,5	Birnbaum	A(L)	9,0	0,9	448	55,1	8,0	1,6
Model 1376	24,5x8,1x1,4	Birnbaum	A(L)	8,4	1,9	688	172	5,1	3,7
Model 4893	29,7x22,9x3,2	Birnbaum	A	0,9	<BG	1850	105	41,1	21,0
Model 4922.1	20,2x17,2x2,5	Birnbaum	A	1,7	0,8	721	31,8	5,5	1,4
Model 4922.2	20,2x17,2x2,5	Fichte	A	5,0	3,0	667	188	26,4	14,0
MEK.1	16,5x14,7x3,3	Birnbaum	A	5,1	2,5	3990	120	35,3	8,7
MEK.2	16,5x14,7x3,3	Eiche	A	9,2	2,4	861	182	23,3	7,4
<b>Soxhlet-Extraktion/Auslaugung</b>									
Model 1451b	33,8x14,8x2,7	Birnbaum	S+A	38,6	< BG	2480	15,4	85,1	1,6
Model 4901	28,5x4,5x3,8	Birnbaum	S+A	2,0	< BG	312	10,4	4,1	1,4
Model 4897	41,5x6,4x2,0	Birnbaum	S+A	8,0	< BG	1970	27,5	213	27,3
Model 4918	23,3x8,7x3,1	Linde	S+A	7,3	< BG	572	42,8	94,3	8,5
Model 4916	29,3x7,2x4,5	Linde	2xS+A	1,3	< BG	2030	31,3	39,4	4,7
Model 6944	26,6x6,1x3,3	Linde	2xS+A	1,1	< BG	3240	14,2	193	4,1

Tabelle 5: Biozidbelastung von Back- und Blaudruckmodel vor und nach der Behandlung im Technikum (Endergebnisse)

BG = Bestimmungsgrenze; S = Soxhlet-Extraktion; A = Auslaugung; (L) = Labor; unterstrichene Werte liegen nahe an der Grenze zur geringen Belastung

Allerdings ist es in Abhängigkeit von den Bedingungen am Aufbewahrungsort nicht immer sinnvoll, die Biozide aus dem Holzobjekt völlig zu entfernen, weil dann möglicherweise die Gefahr eines Neubefalls durch holzerstörende Organismen besteht.

Auf Basis der Versuchsergebnisse bieten sich für eine Tieffendekontamination kleinerer, biozidbelasteter Gegenstände aus Holz folgende Verfahrensvarianten an:

Ein holzsichtiges Objekt, das PCP, DDT und Lindan allein oder im Gemisch enthält und bei dem eine größere, reversible Quellung tolerierbar ist, kann mit Ethanol durch eine Auslaugung oder Soxhlet-Extraktion ausreichend detoxifiziert werden.

Ein holzsichtiges oder gefasstes Objekt, das DDT und Lindan allein oder in Kombination enthält und bei dem eine Quellung vermieden werden muss, lässt sich mit Methyl-*tert*-butylether (MTBE) durch beide Verfahren ebenfalls weitgehend detoxifizieren.

Ein holzsichtiges oder gefasstes Objekt, das PCP und Lindan oder PCP und DDT sowie DDT und Lindan in Kombination enthält und bei dem eine minimale, reversible Quellung toleriert werden kann, ist mit einem *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %)-Lösemittelgemisch durch Auslaugung fast vollständig detoxifizierbar.

Im Technikumsmaßstab ist eine Nutzung gläserner Extraktoren sowie Auslauggefäße bis zu einem Volumen von 50 l realisierbar. Industrielle Soxhlet-Anlagen mit Edelstahl-Exraktoren ermöglichen noch größere Volumina.

Bei einer Dekontamination mit PCP, DDT und Lindan kontaminierter, holzsichtiger Objekte durch Auslaugung mit einem *n*-Hexan/Ethanol (78/22 Ma %)-Gemisch ist es grundsätzlich möglich, in den Bereich einer geringen Gesundheitsbelastung oder in seine Nähe zu gelangen. Jedoch müssen dafür die Auslaugparameter insbesondere im Hinblick auf die Abmessungen der Objekte und ihre Holzart sowie im Hinblick auf die Höhe des Biozidgehalts jeweils optimiert werden, sodass keine Wiederholung der Behandlung notwendig ist, um dieses Ziel zu erreichen.

Die dekontaminierten Model des Thüringer Museums für Volkskunde in Erfurt wurden bereits wieder in den Sammlungsbestand integriert.

## Danksagung

Für die Förderung und Unterstützung der Arbeiten am Projekt gilt unser Dank folgenden Institutionen und Firmen:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der BRD, Berlin

Fachhochschule Potsdam

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Leipzig

Bildungswerk Nordostchemie e.V., Berlin  
(I. Krämer, D. Höhle)

ALAB GmbH – Analyzelabor in Berlin

Rosneft Deutschland GmbH, Berlin

De Dietrich Process Systems GmbH, Mainz

Museum für Thüringer Volkskunst, Erfurt

Kunstsammlungen des Bistums Regensburg

AXEL SEEMANN – Planung in der Denkmalpflege, Berlin

### Dr. Achim Unger

Dipl.-Chemiker  
Waldesruh 12  
16225 Eberswalde

### Sabrina Zoppke

Dipl.-Restauratorin  
Sültstr. 4  
10409 Berlin

### Jörg Weber

Dipl.-Restaurator  
Fachhochschule Potsdam  
Fachbereich Stadt Bau Kultur  
Studiengang Konservierung und Restaurierung – Holz  
Kiepenheuerallee 5  
14469 Potsdam

## Anmerkungen

- 1 UNGER 1988
- 2 BREMER UMWELTINSTITUT 1995
- 3 ZIM-KOOPERATIONSPROJEKT 16 KN: Entwicklung eines modularen Anlagenkonzepts zur Dekontamination von Kunst- und Kulturgütern – RWTec-Detox
- 4 DIN 52 184: 1979-05 Prüfung von Holz: Bestimmung der Quellung und Schwindung
- 5 ABSCHLUSSBERICHT ZIM-KOOPERATIONSPROJEKT 16 KN 2023
- 6 WEBER/UNGER 2018, S. 60–73
- 7 MANTANIS/YOUNG/ROWELL 1995, S. 239–248
- 8 ALAB Prüfberichte Nr. A 721 10 008 H, A 722 01 003 H
- 9 Bei den Abheberungen handelt es sich um eine automatische Ableitung des Lösemittels nach dem Prinzip des Ablaufsiphons.
- 10 ALAB Prüfbericht Nr. A 723 04 003 H

## Literatur

- ABSCHLUSSBERICHT ZIM-KOOPERATIONSPROJEKT 16 KN 2023:**  
Achim Unger, Sabrina Zoppke, Jörg Weber, Abschlussbericht ZIM Kooperationsprojekt 16 KN: Entwicklung eines modularen Anlagenkonzeptes zur Dekontamination von Kunst- und Kulturgütern - RWTec-Detox, Teilprojekt 16 KN 04 145316: Entwicklung von Extraktionsverfahren für die Dekontamination von Kunst- und Kulturgütern, 2023
- BREMER UMWELTINSTITUT e.V. 1995:**  
Bremer Umweltinstitut e.V. (Hrsg.), Gift im Holz mit Extraktteil Formaldehyd, 7. Aufl. Bremen 1995
- DIN 52184:** 1979-05 Prüfung von Holz: Bestimmung der Quellung und Schwindung, Herausgeber: Deutsches Institut für Normung Berlin 1979, DOI: <https://dx.doi.org/10.31030/1260153>
- MANTANIS/YOUNG/ROWELL 1995:**  
George I. Mantanis, Raymond A. Young und Roger M. Rowell, Swelling of Wood, Part III. Effect of Temperature and Extractives on Rate and Maximum Swelling. In: Holzforschung, Bd. 49, 1995, S. 239–248
- UNGER 1988:**  
Achim Unger, Schutz und Festigung von Kulturgut aus Holz. Leipzig 1988
- WEBER/UNGER 2018:**  
Jörg Weber und Achim Unger, Experimente zur Entfernung alter Holzschutz- und Holzfestigungsmittel mit Methyl-*tert*-butylether (MTBE) aus ungefassten und gefassten Holzproben. In: VDR-Beiträge, Heft 2, 2018, S. 60–73

## Liste Prüfberichte ALAB GmbH

- A 521 05 011 H, 05 012 H, 2021, verantwortlich: Barbara Kafadaroglu
- A 721 03 002 H, 03 004 H, 04 001 H, 05 002 H, 06 001 H, 06 002 H, 06 003 H, 07 003 H, 08 007 H, 09 001 H, 09 002 H, 10 002 H, 10 007 H, 10 008 H, 10 010 H, 11 006 H, 11 007 H, 12 001 H, 12 003 H, 2021, verantwortlich: Barbara Kafadaroglu
- A 722 01 002 H, 01 003 H, 02 002 H, 02 003 H, 03 002 H, 04 001 H, 04 002 H, 04 004 H, 06 001 H, 06 002 H, 06 007 H, 08 001 H, 09 002 H, 09 003 H, 11 003 H, 12 002 H, 12 003 H, 2022, verantwortlich: Barbara Kafadaroglu
- A 723 04 003 H, 04 004 H, 2023, verantwortlich: Barbara Kafadaroglu

## Abbildungsnachweis

**Abb.1:**  
bbz chemie Berlin, D. Höhle

**Alle weiteren Abb.:**  
S. Zoppke

**Titel:**  
Detail aus Abb. 8

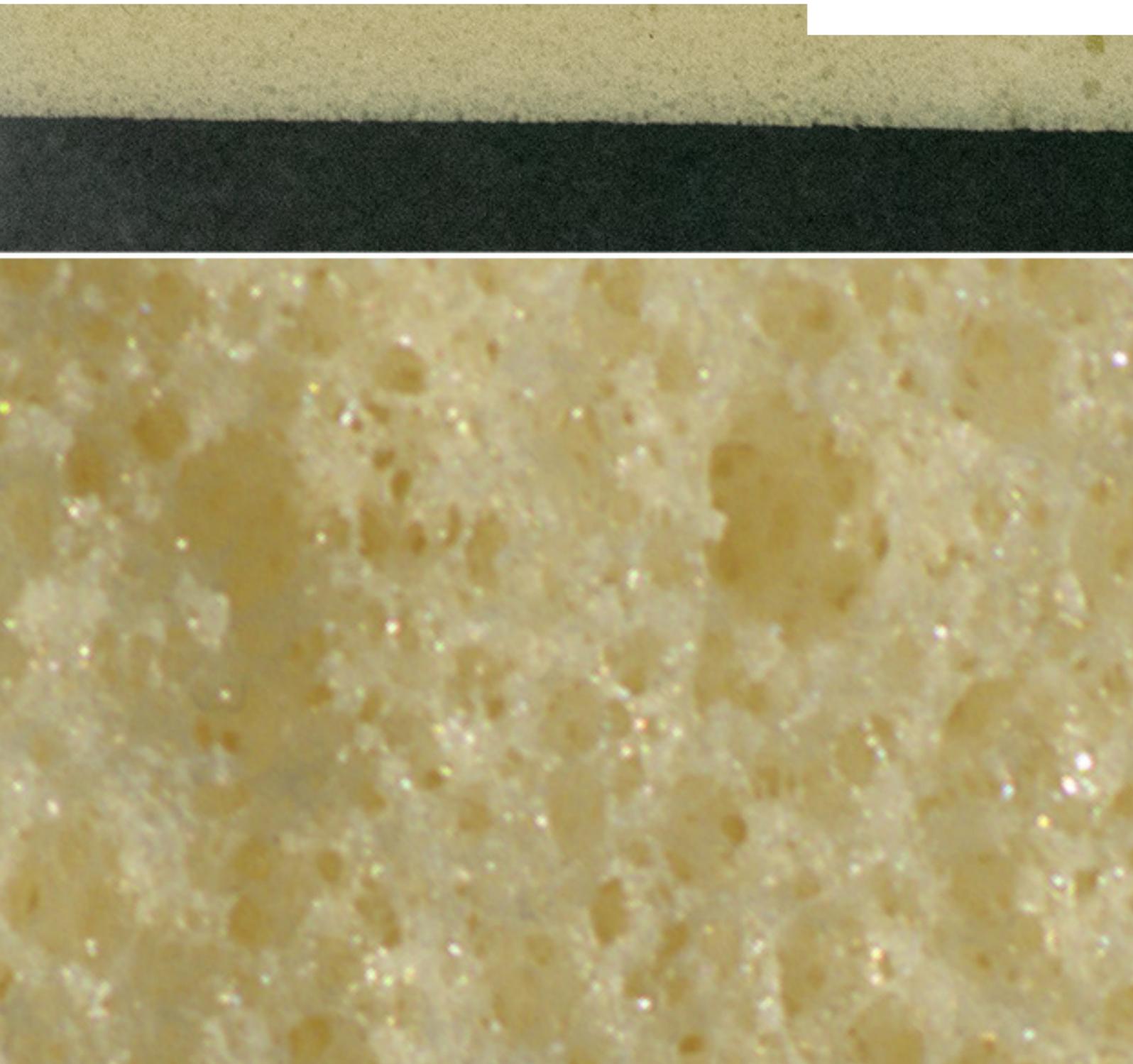
## Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



# Polyurethan (PUR)-Schwämme als Reinigungsmedium in der Konservierung-Restaurierung

Gesine Betz, Virginia Müller



## Polyurethan (PUR)-Schwämme als Reinigungsmedium in der Konservierung-Restaurierung

Gesine Betz, Virginia Müller

Weißer mikroporöser PUR-Schwamm mit hoher Weichheit und feiner Struktur haben sich zur Oberflächenreinigung für ein breites Materialspektrum in der Konservierung-Restaurierung etabliert. Der aus dem Kosmetikbereich stammende bei Restaurator:innen beliebte Make-up Schwamm wird sowohl trocken als auch mit wässrigen und organischen Lösemitteln verwendet.

Der Beitrag widmet sich, am Beispiel des latexfreien PUR-Ether-Schwamms mit hoher Dichte, offenen Fragen und bezieht dabei den Forschungsstand und eigene Versuche mit ein. Dabei werden Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung des Schwamms in der Praxis aufgezeigt. Weitere Fragen beschäftigen sich mit möglichen chemischen Rückständen auf der behandelten Oberfläche, dem Auswaschen vor Erstgebrauch sowie der Degradation und der Aufbewahrung des PUR-Schwamms.

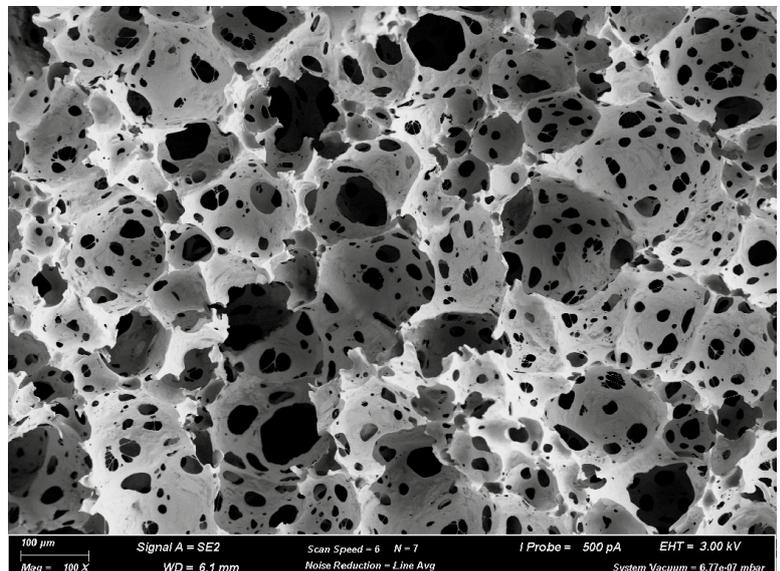
Im Rahmen einer Bachelor-Semesterarbeit an der Hochschule der Künste Bern (HKB) wurden Eigenschaften von PUR-Schwämmen untersucht. Der Fokus lag dabei auf weißen, latexfreien PUR-Schwämmen mit hoher Dichte, vertrieben vom Fachhandel für Restaurierungsbedarf Deffner & Johann GmbH (D&J)<sup>1</sup>.

Zur Erlangung eines ersten Überblicks auf die Fragen wo, wie und wann PUR-Schwämme in der Konservierung-Restaurierung eingesetzt werden, wurde eine Online-Datenanalyse in der deutschsprachigen Restauratorenschaft Anfang 2023 erhoben.<sup>2</sup> Anhand einer hohen Rücklaufquote mit über 160 Teilnehmenden lässt sich die Popularität des PUR-Schwamms erkennen, sodass Teilergebnisse der Studie hier miteinfließen.

Bei PUR-Schwämmen handelt es sich eigentlich um trockene offenzellige Schäume, die auch als Schwamm bezeichnet werden. Der weiche und elastische Schaumstoff kann aufgrund seiner offenen Zellstruktur Flüssigkeiten aufnehmen und abgeben (Abb. 1). Die in der Restaurierung seit Anfang der 2000er Jahre etablierten PUR-Schwämme mit hoher Weichheit und feiner Struktur stammen ursprünglich aus dem Kosmetikbereich.<sup>3</sup> Im Allgemeinen bestehen Kosmetikschwämme am häufigsten aus Isopren, Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) oder aus einer Mischung von beiden und seltener aus PUR.<sup>4</sup> Der oftmals erwähnte, in Japan hergestellte und durch die Kaufhauskette Muji™ vertriebene Make-up Schwamm basiert beispielsweise auf

## Polyurethane (PUR) sponges for cleaning in conservation-restoration

White microporous PUR sponges with a high degree of softness and fine structure have become established for surface cleaning of a wide range of materials in conservation-restoration. The make-up sponge, which originates from the cosmetics sector and is popular with restorers, is used both dry and with aqueous and organic solvents. Using the example of the latex-free PUR ether sponge with high density, the article addresses open questions and includes the current state of research as well as our own experiments. The possibilities and limitations of using the sponge in practice are shown. Further questions deal with possible chemical residues on the treated surface, washing out before first use, degradation and the storage of the PUR sponge.



1 REM-Aufnahme, Bruchfläche des offenzelligen PUR-Schwamms (D&J)

einem Acrylnitril-Butadien-Kautschuk.<sup>5</sup> Problematisch bei den Kosmetikschwämmen als kommerzielles Massenprodukt ist der verbreitete Wechsel von Produktnamen, der chemischen Zusammensetzung und den Herstellungsverfahren. Im Fachhandel werden meistens rechteckige oder keilförmige, aus einem größeren Block vorgeschchnittene PUR-Schwämme angeboten (Tab. 1).

## Forschungsstand Kosmetikschwamm auf PUR-Basis

Als Basiswissen von PUR-Schwämmen zur Oberflächenreinigung in der Konservierungswissenschaft dienen bis heute die Ergebnisse von Daudin-Schotte et al.<sup>6</sup> Diese entstammen aus einem Forschungsprojekt der Cultural Heritage Agency of the Netherlands (RCE) (2006–2009) zu gängigen Trockenreinigungsmedien für eine mechanische Oberflächenreinigung bei ungefirnissten Gemälden.<sup>7</sup> In Fortsetzung der Studie untersuchen Daudin-Schotte und Keulen<sup>8</sup> mögliche schädigende Rückstände der Kosmetikschwämme auf Objektoberflächen. Unter anderem werden zehn Make-up Schwämme inklusive zweier Schwämme auf PUR-Basis analysiert. Das Ergebnis zeigt, dass der Vulkanisationsbeschleuniger Mercaptobenzothiazol (MBT) irreversible Veränderungen auf Objektoberflächen verursachen kann. MBT konnte bei einigen getesteten Kosmetikschwämmen aus Styrol-Butadien-Kautschuk und Isopren-Kautschuk nachgewiesen werden, nicht aber bei Schwämmen auf PUR-Basis. Daher wird der Gebrauch von PUR-Schwämmen, für

deren Herstellungsprozess kaum Zusatzstoffe benötigt werden, empfohlen.<sup>9</sup> Ein weiterer Aufsatz von Mendes et al.<sup>10</sup> nimmt in einer Testreihe zur Reinigungswirkung und möglichen Oberflächenveränderungen von ungefirnissten Gemälden einen halbdichten, weichen und flexiblen PUR-Schwamm<sup>11</sup> auf. Der jüngste Artikel zu PUR-Schwämmen stammt von Stoveland et al.<sup>12</sup> und evaluiert ein Praxisbeispiel eines Restaurierungsprojekts aus den Jahren 2009–2011. Damals wurden bei einer raumfüllenden Gemäldeserie von Edvard Munch in der Aula der Osloer Universität die unterbundene, wasserempfindliche und ungefirnisste Malerei mit trockenen, nicht näher definierten PUR-Schwämmen gereinigt.<sup>13</sup> Ergänzend beschäftigen sich zwei Hochschularbeiten von Handke<sup>14</sup> und Anderson<sup>15</sup> schwerpunktmäßig mit dem mechanischen Abrieb von PUR-Schwämmen zur trockenen Oberflächenreinigung für Kunstobjekte aus Papier und Textil.

**Tabelle 1**

### Produktbeispiele von weißen latexfreien Make-up Schwämmen auf PUR-Basis

Produktname	Form	Chemische Zusammensetzung	Vertrieben von / Markenname
PU-Schwämme – latexfrei, hohe Dichte	rechteckig	PUR-Ether	Deffner & Johann, Deutschland
Polyurethane trekantsvamper und Polyurethane svampblokk rektangulær	rechteckig und keilförmig	PUR-Ether <sup>1</sup>	Arkivprodukter AS, Norwegen <sup>2</sup>
Latex-Free Hydrophilic Sponges	keilförmig	PUR	University Products, USA <sup>3</sup>
Latex-Free Rectangular Sponges und Latex-Free Wedge Sponges	rechteckig und keilförmig	PUR	Gaylord Archival, USA <sup>4</sup>
Make-up Schwamm	keilförmig	PUR-Ether <sup>5</sup>	Make-up for ever™
Make-up Schwamm	keilförmig	PUR-Ether <sup>6</sup>	QVS™, Spanien
Make-up Schwamm	keilförmig	PUR-Ether <sup>7</sup>	Studio 35 Beauty™
Make-up Schwamm	keilförmig	PUR <sup>8</sup>	up & up™

1 VAN KEULEN ET AL. 2010

2 Polyurethane trekantsvamper (Produktnummer Q20187), <https://www.arkivprodukter.no/konservingsmateriell/papir-reparasjon/papir-rengjoring/polyurethane-trekantsvamper-24pk/Q20187> und Polyurethane svampblokk rektangulær (Produktnummer 2269300), <https://www.arkivprodukter.no/konservingsmateriell/papir-reparasjon/papir-rengjoring/polyurethane-svampblokk-rektangulær-40-pk/2269300> [Zugriff: 13.01.2024]

3 <https://www.universityproducts.com/latex-free-hydrophilic-sponges.html> [Zugriff: 13.01.2024]

4 <https://www.gaylord.com/Preservation/Conservation-Supplies/Cleaning-Supplies/Latex-Free-Rectangular-Sponges-%2825-Pack%29/p/20189> und <https://www.gaylord.com/Preservation/Conservation-Supplies/Cleaning-Supplies/Latex-Free-Wedge-Sponges-%2825-Pack%29/p/20162> [Zugriff: 13.01.2024]

5 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 217

6 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 211; VAN KEULEN 2010

7 ANDERSON 2016, S. 32, 38; VAN KEULEN 2010

8 ANDERSON 2016, S. 38

### Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von PUR-Schwämmen

PUR-Schwämme werden sowohl für trockene als auch für feuchte Oberflächenreinigungen gemäß den Teilnehmenden der Studie 2023 für ein breites Materialspektrum von Malerei, Farbfassung, Vergoldung, Holz, Papier, Textil, Metall, Kunststoff, Keramik, Porzellan, Glas, Stein, Fotografien, organischen tierischen Materialien, Gips bis hin zu Wachs eingesetzt (Grafik 1). Ergänzend wird der trockene Einsatz von PUR-Schwämmen als Möglichkeit zur weiteren Behandlung von mit Schimmel kontaminierten Objekten genannt, nachdem eine erste Trockenreinigung mit Absaugen stattgefunden hat.<sup>16</sup>

Als positiv gaben viele Teilnehmende die weiße Farbe des PUR-Schwamms an, um eine einfache visuelle Kontrolle während der Schmutzreduzierung zu erhalten.

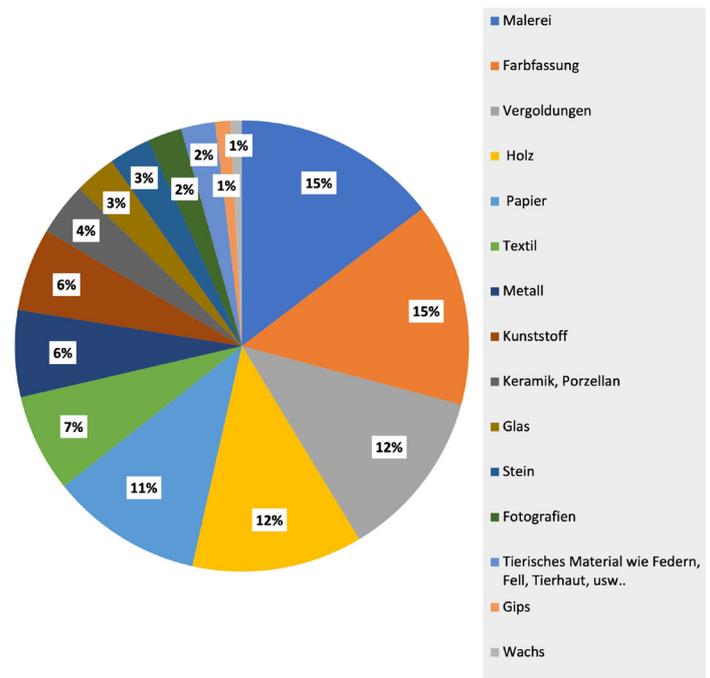
Für fragile Oberflächen, wie beispielsweise lose und pudrige Farbschichten, eignet sich der mechanische Einsatz eines Schwamms nicht. Auch sind PUR-Schwämme für die meisten rauen, strukturierten, pastosen und porösen Oberflächen nur bedingt einsetzbar.<sup>17</sup> Bei zu rauen Oberflächen wird die Schwammoberfläche schnell zerstört und es kommt zur vermehrten Ausbildung von Schwammkrümeln.

Als Reinigungstechnik nannten die Befragten mehrheitlich eine streichende, tupfende und rollende Bewegung der Schwämme.<sup>18</sup> Auch wird der Schwamm als Komresse eingesetzt.<sup>19</sup>

Von Nachteil kann bei flächigen Anwendungen die geringe Größe der käuflichen PUR-Schwämme sein.

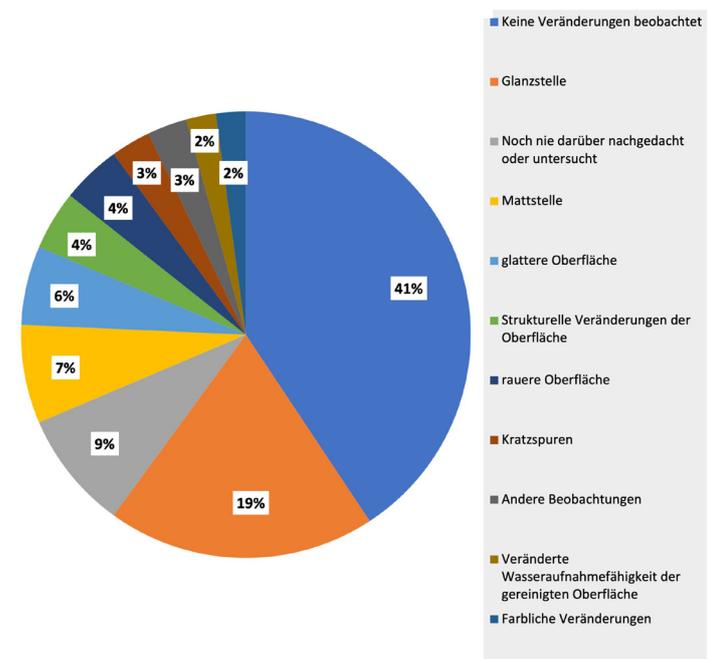
Die Mehrheit der Studienteilnehmenden haben unabhängig von der materiellen Beschaffenheit des Kunstwerks keine visuellen Veränderungen auf der gereinigten Oberfläche beobachtet (Grafik 2).

### Für welche Materialien werden die Schwämme verwendet?



Grafik 1 Materialien bei denen PUR-Schwämme zur Oberflächenreinigung verwendet werden (Studie 2023)

### Wurden Veränderungen auf der gereinigten Oberfläche beobachtet?



Grafik 2 Wahrgenommene Veränderungen an der behandelten Objektfläche (Studie 2023)

## Allgemeine Herstellung von PUR-Schwämmen

Nicht präzisierte negative Erfahrungen werden vom Einsatz von PUR-Schwämmen auf Wachsflächen und Fotografien genannt. Als häufigste optische Veränderung wird ein stärkerer Glanz und selten eine Zunahme der Mattigkeit der Oberfläche erwähnt.<sup>20</sup> Die Glanzerhöhung resultiert aus der mechanischen Interaktion zwischen dem Schwamm und der zu reinigenden Materialoberfläche.<sup>21</sup> Gemäß Mendes et al. besteht möglicherweise ein Zusammenhang zwischen einer Steigerung der Verdichtung der Oberfläche in Abhängigkeit zur Zunahme der Materialdichte des Schwamms.<sup>22</sup>

Bei jungen künstlich gealterten Mock-ups mit Farbschichten ohne Firnis zeigten sich durch den mechanischen Einsatz von trockenen PUR-Schwämmen Abriebe und Pigmentverluste.<sup>23</sup> Mit einer tupfenden statt einer streichenden Bewegung kann die Gefahr von abrasiven Eigenschaften der Schwämme reduziert werden.<sup>24</sup>

Außerdem wurde bei einer Probe mittels Rasterelektronenmikroskop bei 500-facher Vergrößerung ein Mikrokratzer interpretiert, der möglicherweise durch das mechanische Mitreißen fester Schmutzpartikel durch den Schwamm entstanden sein könnte.<sup>25</sup> Aufgrund dessen wird von der Entfernung grober Schmutzpartikel mit Schwämmen abgeraten. Vor der Anwendung von PUR-Schwämmen sollte stets eine Vorreinigung der Oberfläche durch Absaugen erfolgen.

PUR ist ein Kunststoff, der am häufigsten als flexibler und harter Schaum vorkommt, aber auch in Form von Gummi, Fasern, Bindemittel von Farben und Klebstoffen. Erstmals hergestellt wurde das Polymer 1937 von einem Forscherteam um Otto Bayer in der I. G. Farbenindustrie AG in Leverkusen.<sup>26</sup> Seit den 1950er Jahren werden PUR-Schaumstoffe kommerziell vertrieben und seit den 1980er Jahren sind Reinigungsschwämme für private Haushalte zu erwerben.<sup>27</sup>

Bei der Herstellung reagieren Isocyanate exotherm mit einer wasserstoffaktiven Verbindung, den Polyolen. Hierbei reagiert das Wasser mit den Isocyanatgruppen und bildet Kohlendioxidgas als Treibmittel, das eine Blasenbildung und -ausdehnung bewirkt.<sup>28</sup> Beim Entweichen des Gases platzen die dünnen Zellwände unter dem Gasdruck und fließen zum Zellsteg zurück, wodurch eine offene Zellstruktur entsteht.<sup>29</sup> Als Polyole werden hauptsächlich Polyether oder Polyester eingesetzt, weshalb diese Schaumstoffe entsprechend als PUR-Ether oder als PUR-Ester bezeichnet werden.<sup>30</sup> Gängige Praxis bei der Herstellung von PUR ist das Zufügen von Additiven. Bei den Zusatzstoffen gibt es sowohl für die Produktion notwendige sogenannte Prozessadditive, wie beispielsweise Treibmittel, als auch Funktionsadditive, um Eigenschaften des Endprodukts gezielt zu beeinflussen, wie beispielsweise UV-Stabilisatoren und Antioxidantien.<sup>31</sup>

Weiterhin können dispergierte Feststoffe den Kunststoffen zugesetzt werden, um einerseits als Streckmittel die Masse zu erhöhen und dadurch Kosten zu reduzieren oder andererseits als sogenannte aktive Füllstoffe gezielt die mechanischen Eigenschaften wie beispielsweise Zug- und Schlagfestigkeit zu verstärken.<sup>32</sup> Neben der Erhöhung der Steifigkeit minimieren Füllstoffe die Klebrigkeit des Schwamms.<sup>33</sup>

Die meisten Füllstoffe sind anorganischer Herkunft. Am häufigsten wird Calciumcarbonat zugefügt.<sup>34</sup> Das Endprodukt ist von der chemischen Zusammensetzung, der Aufschäumzeit und Temperatur und den diversen Zusatz- und Füllstoffen abhängig.<sup>35</sup>

### Chemische Zusammensetzung latexfreier PUR-Schwamm mit hoher Dichte

Um sich den Fragen nach der chemischen Zusammensetzung und dem Herstellungsprozess des PUR-Schwamms hoher Dichte vertrieben von D&J anzunähern, wurde das unspezifische Datenblatt von 2005 sowie als Erweiterung das vom Anbieter Arkivprodukt AS von 2010 ausgewertet. Neben dem Einbeziehen von Publikationen und veröffentlichten Oddy-Test-Resultaten<sup>36</sup> beruhen die Ergebnisse hauptsächlich auf durchgeführten Materialanalysen (Tab. 2). Ergänzend wurden Lösemittelextrakte von Schwämmen hergestellt, um die gelösten Stoffe der Raffinate analytisch zu bestimmen.

Die Analyseergebnisse ergaben folgende tabellarisch dargestellte chemische Zusammensetzungen der untersuchten PUR-Schwämme (Tab. 3). Für andere Produktionsphasen der Schwämme sind Abweichungen nicht auszuschließen.<sup>37</sup>

Zudem ließ sich beim Schwamm hoher Dichte ein 44%iger Anteil an Füllstoffen mittels TGA-Analyse nachweisen. Nach der Zersetzung des Schwamms bei 700 °C blieben noch 44 Gewichtsprozent anorganische Füllstoffe übrig (Abb. 2). Der hohe anorganische Füllstoffanteil besteht hauptsächlich aus Calciumcarbonat (CaCO<sub>3</sub>). Somit entsprechen die detektierten Füllstoffe denen von anderen Make-up Schwämmen auf PUR-Basis, bei denen auch Calciumcarbonat und Alumosilicat nachgewiesen wurden.<sup>38</sup> Im Vergleich zu anderen PUR-Schwämmen konnte hingegen kein Titanoxid oder Zinkoxid als Füllstoff und/oder UV-Absorber festgestellt werden.<sup>39</sup> Auch konnte das im Produktdatenblatt von D&J aufgeführte hydrophile Prepolymer durch die Analysen weder nachgewiesen noch weiter identifiziert werden.

Der PUR-EtherSchwamm von Arkivprodukt AS enthält Toluyldiisocyanat (TDI) als Prepolymer, welches das gebräuchlichste Isocyanat für die Herstellung von Weichschaumstoffen ist.<sup>40</sup>

**Tabelle 2**  
In dieser Arbeit angewendete analytische Untersuchungsmethoden

Analytische Methode	PUR-Schwamm	Institution	Beteiligte Personen
Thermal Gravimetry Analysis (TGA) <sup>1</sup>	PUR-Schwamm, hohe Dichte (D&J, Artikelnummer 2269300)	Departement für Materialwissenschaften, ETH Zürich	durchgeführt und interpretiert von Dr. Kirill Feldmann <sup>2</sup>
Differential Scanning Calorimetry (DSC) <sup>3</sup>			
Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FT-IR) <sup>4</sup>			
Scanning Electron Microscopy (SEM) und Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) <sup>5</sup>			
FT-IR <sup>6</sup>	PUR-Schwämme (D&J) und einen keilförmigen Referenzschwamm (Arkivprodukt AS, Artikelnummer Q20187)	Kunsttechnologisches Labor, HKB Bern	durchgeführt von Virginia Müller und interpretiert von Dr. Stefan Zumbühl
	Lösemittelextrakte von PUR-Schwämmen (D&J)		

1 TGA: Model – TGA5500 from TA Instruments, USA  
 2 Alle Ergebnisse der TGA-, FT-IR, SEM-EDX- und DSC-Analysen entstammen aus einem unveröffentlichten Untersuchungsbericht von Dr. Kirill Feldman, Professur für Weiche Materialien, ETH Zürich, 2023.  
 3 DSC: Model Discovery 2500 from TA Instruments, USA  
 4 FT-IR Gerät: Cary 630 FT-IR by Agilent, USA  
 5 SEM-EDX Gerät: ZEISS Gemini SEM 450, Germany  
 6 FT-IR Bruker Lumos: single element LN-MCT detector 10000–600cm<sup>-1</sup>/settings: 64 scans/4 cm<sup>-1</sup> resolution/range 4000–600cm<sup>-1</sup> (gemessen in Transmission-Technik)

Tabelle 3

## Zusammenfassung der chemischen Zusammensetzung des PUR-Schwamms hoher Dichte (D&amp;J)

Auswertung der Schwammproben	Beschreibung, Funktion	Analytische Methode
chemisch vernetztes duroplastisches PUR-Elastomer	Die Glasübergangstemperatur erfasst einen Mittelpunkt von -33 °C und liegt unter der Gebrauchstemperatur. Bis zur Erreichung der maximalen Temperatur von circa 200 °C konnte kein Schmelzen des Schwamms beobachtet werden.	DSC
PUR-Ether (Basisstoff)	Als Polyol wurde ein Polyether bei der Herstellung eingesetzt.	FT-IR <sup>1</sup>
Polyethylenglycol (PEG)	Als Polyether-Polyol konnte ein langkettiges PEG analysiert werden, das die Weichheit und die Elastizität des Schaums bedingt. Der exakte PEG-Typ konnte nicht ermittelt werden. PEG ist das am meisten eingesetzte Polyether-Polyol bei der PUR Herstellung. <sup>2</sup> PEG ist löslich in Wasser, hygroskopisch und nicht flüchtig, sodass es als Weichmacher und Feuchthaltemittel dient. <sup>3</sup> Die hohe Hygroskopizität des Schwamms zeigt sich beispielhaft in der schnellen Aufnahme der Feuchtigkeit aus der Luft. <sup>4</sup>	FT-IR (PUR-Schwamm und Lösemittlextraktion)
Chemische Treibmittel	Das nicht bestimmte chemische Treibmittel für die Schaumerzeugung ist so konzipiert, dass es sich bei ungefähr 140 °C spurlos zersetzt. <sup>5</sup>	TGA-Analyse
Calciumcarbonat (CaCO <sub>3</sub> )	Füllstoff, Additiv	SEM-EDX, TGA-Analyse, FT-IR <sup>6</sup>
Silicat (SiO <sub>2</sub> ) (geringe Menge)	Füllstoff, Additiv (eventuell Zersetzungsprodukt aus CaSiO <sub>3</sub> )	SEM-EDX
Calciumsilicat (CaSiO <sub>3</sub> ) in Form von Wollastonit <sup>7</sup> mit 10 mg/m <sup>3</sup>	Füllstoff, Additiv	Produktdatenblatt von D&J
Apolare Kohlenwasserstoffverbindung	undefiniert	FT-IR (Lösemittlextraktion)
Glycacyl L (durch Analyse nicht nachgewiesen)	Glycacyl L ist mit großer Wahrscheinlichkeit ein Produktname, undefiniert	Produktdatenblatt von D&J
hydrophiles Prepolymer	zur Herstellung benötigtes Polymer	Produktdatenblatt von D&J
inerte Bestandteile	undefiniert	Produktdatenblatt von D&J

1 Im unveröffentlichten Untersuchungsbericht von Dr. Kirill Feldman, Professur für Weiche Materialien, ETH Zürich, 2023 stimmt das FT-IR-Spektrum des PUR-Schwamms zu 84 % mit einem Produkt namens «Future Foam 40220 White» überein.

2 LATTUATI-DERIEUX/LAVÉDRINE/THAO-HEU 2011, S. 4507

3 DAUDIN-SHOTTE/KEULEN 2014, S. 365; ELIAS 1971, S. 706

4 Freundliche schriftliche Mitteilung von Dr. Kirill Feldman, Professur für Weiche Materialien, ETH Zürich, am 01.05.2023

5 Freundliche schriftliche Mitteilung von Dr. Kirill Feldman, Professur für Weiche Materialien, ETH Zürich, am 02.05.2023

6 SEM-EDX- und TGA-Analyse aus einem unveröffentlichten Untersuchungsbericht von Dr. Kirill Feldman, ETH Zürich, 2023. FT-IR-Analyse durchgeführt im Kunsttechnologischen Labor der HKB

7 Wollastonit ist ein natürlich vorkommendes Calciumsilicat (CaSiO<sub>3</sub>).

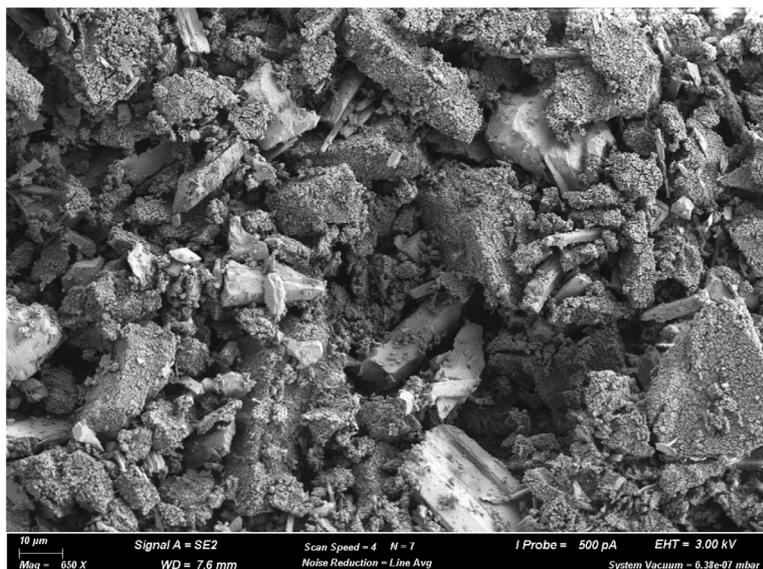
Das mehrmals in Kosmetikschwämmen auf PUR-Basis analysierte Lichtschutzmittel Tinuvin® oder Vitamin E als natürliches Antioxidans wurde nicht nachgewiesen<sup>41</sup>, obwohl die thermische Zersetzungskurve der TGA-Analyse des Schwamms eine mehrstufige Massenänderung aufweist, welche auf verschiedene Bestandteile mit jeweils unterschiedlichen Zersetzungstemperaturen deutet. Dadurch ist das Vorhandensein von weiteren Additivpolymeren nicht auszuschließen.

Prinzipiell beinhalten PUR-Schwämme mittlerer Dichte und hoher Dichte (D&J) aber keine korrosionsfördernde und Cellulose schädigende Ausgasungen von Schadstoffen. Bei den veröffentlichten Ergebnissen von zwei durchgeführten Oddy-Tests<sup>42</sup> und einem erweiterten und modifizierten Oddy-Test-Verfahren<sup>43</sup> konnten sowohl durch nicht ausgewaschene als auch durch ausgewaschene Schwämme keine sichtbare Korrosion an den Metallfolien aus Blei, Silber und Kupfer sowie Indikatorpapieren nachgewiesen werden.

**Mögliche Rückstände der PUR-Schwämme auf der behandelten Materialoberfläche**

Neben der Problematik von Partikelrückständen des PUR-Schwamms war die Gefahr des Herauslösen von Stoffen durch Lösemittel bei den Studienteilnehmenden (2023) von großem Interesse. Die Befragten gaben als übliche Lösemittel deionisiertes Wasser, Ethanol, Ethylalkohol, Benzin, Tensid, Komplexbildner und 0,2%ige Methylcellulose (A4C) an.

Die Tendenz der Krümelausbildung eines mikroporösen Schwamms ist einerseits von der Objektoberfläche und andererseits von dessen materialspezifischen Eigenschaften abhängig. So war gemäß Handke nach einem fünffachen Reinigungsdurchgang mit einer gleitenden Bewegung auf einer Papieroberfläche der PUR-Schwamm (D&J) von mittlerer Dichte stärker beschädigt und neigte zur Krümelbildung als jener mit hoher Dichte.<sup>44</sup> Außerdem hinterlassen selbstzugeschnittene PUR-Schwämme an den Schnittstellen wegen der partiell zerstörten Oberflächenstruktur beim



2 REM-Aufnahme, anorganische Rückstände des PUR-Schwammmaterials (D&J) nach Erhitzen auf 700 °C (entspricht 44 Gewichtsprozenten)

mechanischen Einsatz mehr rückständige Partikel.<sup>45</sup> Diese Beobachtung steht im Widerspruch zum Vorschlag von Daudin-Schotte et al. die Schwämme klein zu schneiden, um durch einen minimierten Materialeinsatz die Menge an möglichen Rückständen auf der Oberfläche zu reduzieren.<sup>46</sup> Deswegen wird empfohlen, zugeschnittene PUR-Schwämme nur dann punktuell anzuwenden, falls es für die Oberflächenstruktur des Objekts notwendig ist.<sup>47</sup> Auch kann davon ausgegangen werden, dass degradierte PUR-Schwämme aufgrund der Zunahme an Sprödigkeit mehr Schwamm-partikel hinterlassen werden. Größere Schwammrückstände in Partikelform können durch ein nachträgliches Absaugen verringert werden. Schwieriger ist das Entfernen von Schwammrückständen in Größe von Mikrometern, die wahrscheinlich nicht absaugbar sind.<sup>48</sup> Solche Kleinstpartikel fand Anderson auf Objektträgern, die zuvor mit drei unterschiedlichen trockenen PUR-Schwämmen durch eine

**Tabelle 4**  
**Detektierbare Bestandteile der Raffinate (FT-IR-Analysen)**

Lösemittel	in Spuren herausgelöste Stoffe nach 5 Minuten Einwirkzeit des jeweiligen Lösemittels		
deionisiertes Wasser	PEG		
Ethanol	PEG	gesättigte Kohlenwasserstoffverbindung (nicht weiter definiert)	
Aceton	PEG	gesättigte Kohlenwasserstoffverbindung	PUR
Siedegrenzbenzin 100–140 °C		gesättigte Kohlenwasserstoffverbindung	

## Auswaschen des PUR-Schwamms vor Erstgebrauch und Wiederverwendung

Stoßbewegung bearbeitet wurden.<sup>49</sup> Zwar waren die meisten Verunreinigungen mittels SEM-BSE<sup>50</sup> nicht eindeutig analysierbar, aber wenige kristalline Fragmente wurden als Calciumcarbonat-Füllstoff und andere vage als Schwammstücke interpretiert.<sup>51</sup> Im Gegensatz dazu konnten bei einer feuchten Oberflächenreinigung eines Gemälde-Mock-ups mit Lösemittel getränktem PUR-Schwamm von hoher Dichte (D&J) mit demselben analytischen Verfahren (SEM-BSE) im kunsttechnologischen Labor der HKB keine Rückstände nachgewiesen werden.<sup>52</sup> Hierfür sollten allfällige Partikel inklusive organische Rückstände auf Malschichtproben mit einem Zentimeter Durchmesser optisch detektiert werden. Dabei konnten weder bei den Reinigungsproben mit Schwamm und Siedegrenzbenzin 40–60 °C noch bei den Proben mit Schwamm und destilliertem Wasser Rückstände optisch erfasst werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Lösemittelextrakte von nicht ausgewaschenen PUR-Schwämmen hoher Dichte hergestellt, um gelöste Stoffe der Raffinate mit Hilfe von FT-IR qualitativ zu bestimmen. Zur Herstellung der Extrakte wurden gängige Lösemittel von verschiedenen Polaritäten – deionisiertes Wasser, Ethanol, Aceton, Siedegrenzbenzin 100–140 °C – ausgewählt. Die PUR-Schwammproben wurden für fünf Minuten in dem jeweiligen Lösemittel eingelegt. Anschließend wurden jeweils 100 µm der unterschiedlichen Lösemittelextrakte auf einen Objektträger gegeben, um zu verdunsten. Der verbliebene Rückstand wurde mit einer Wolframnadel beprobt, sodass nur sehr geringe Mengen der Extrakte analysiert wurden.<sup>53</sup> Die durch das jeweilige Lösemittel gelösten Stoffe (Tab. 4) können potenziell auf die behandelte Oberfläche übertragen werden.

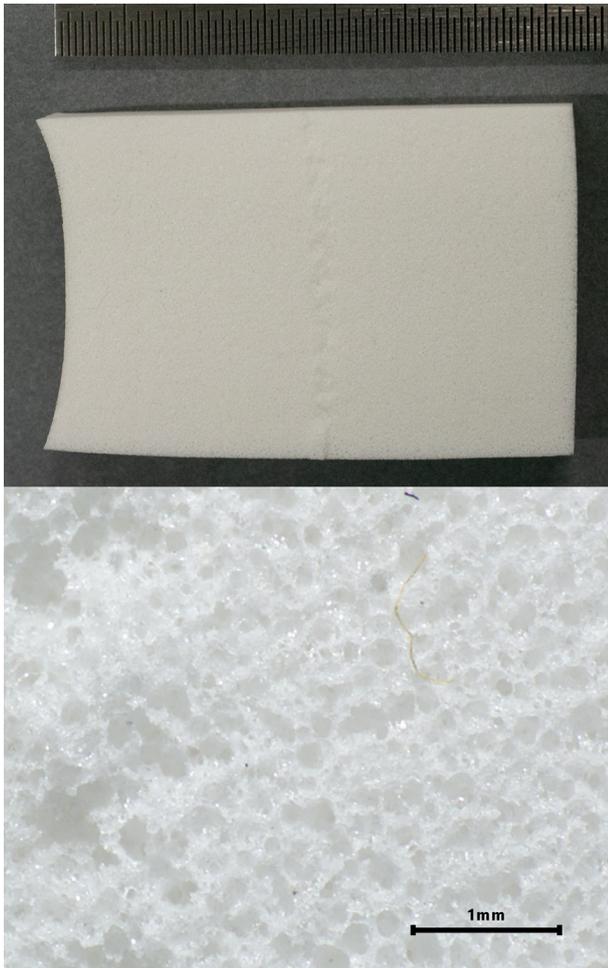
Bei der Umfrage zu PUR-Schwämmen 2023 gaben mehr als die Hälfte der Teilnehmenden an, die Schwämme vor Erstgebrauch nicht auszuwaschen. Die Gründe lagen sowohl in der Annahme, dass der Schwamm für den direkten Gebrauch vorgesehen ist, als auch in der Vermeidung eines zusätzlichen Arbeitsschrittes. Weiterhin wird nach reiner empirischer Beobachtung vereinzelt bemängelt, dass durch das Auswaschen des Schwamms die Schmutzaufnahmekapazität verringert<sup>54</sup> und die Stabilität geringfügig herabgesetzt würde.<sup>55</sup>

Pietsch empfiehlt ein gründliches Auswaschen der PUR-Schwämme<sup>56</sup> aus dem Haushaltswarenbedarf mit Wasser vor dem Gebrauch.<sup>57</sup> Eine präzisere, heute als Standard geltende Anweisung mit einem 15-minütigen Auswaschen in deionisiertem Wasser von Make-up Schwämmen zur Entfernung möglicher Zusatzstoffe und anschließend einer Trocknung zwischen Papiertüchern liefern Daudin-Schotte et al.<sup>58</sup> Zwar lassen sich die meisten organischen Zusatzstoffe des Schwamms nicht mit Wasser auswaschen, aber idealerweise migrieren sie an die Oberfläche des Schwamms und können anschließend mit einem Papiertuch aufgenommen werden.<sup>59</sup> Eipper erwähnt sowohl vor dem ersten als auch nach dem Gebrauch von PUR-Schwämmen ein Waschen bei 60 °C.<sup>60</sup>

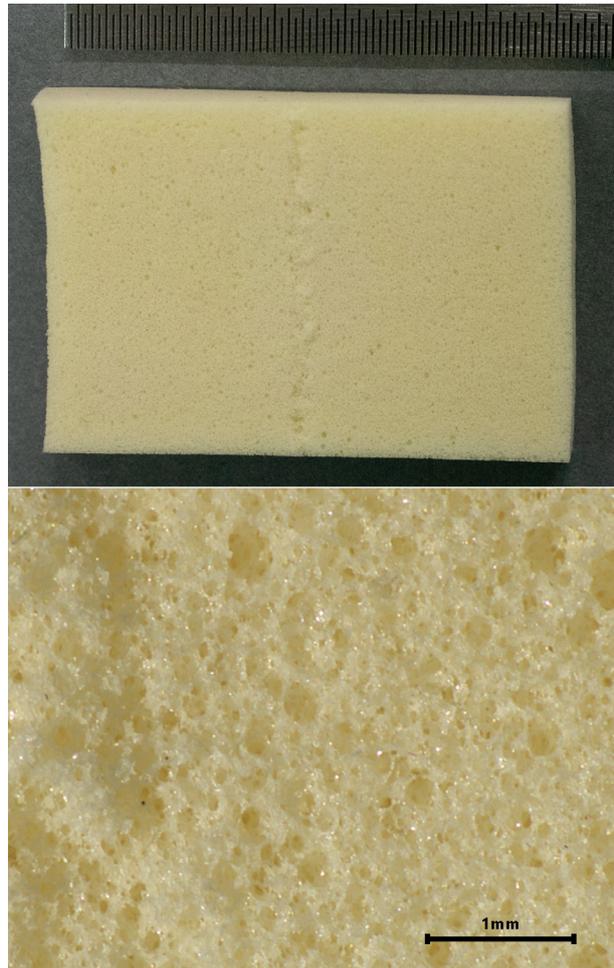
Im Rahmen dieser Arbeit konnten durch den Vergleich von FT-IR-Spektren eines neuen, zweimal in deionisiertem Wasser ausgewaschenen und eines nicht ausgewaschenen PUR-Schwamms (D&J) Veränderungen der Mengenverhältnisse von Silicat und Calciumcarbonat festgestellt werden.<sup>61</sup> Beim nicht ausgewaschenen Schwamm erscheint die Calciumcarbonat-Bande dominant, während beim ausgewaschenen Schwamm die Silicat-Signale stärker waren. Ob das Herausschwemmen von Kalkpartikeln durch deionisiertes Wasser dafür verantwortlich war oder ob die Ursache in einer Materialheterogenität des Schwamms begründet liegt, kann anhand der gemessenen Mikroprobe nicht abschließend geklärt werden. Für ein Herauslösen von Calciumcarbonat spricht eine Verschiebung des pH-Werts des Auswaschwassers in einen leicht basischen Bereich. Da in Abhängigkeit von der Einweichzeit des Schwamms der basische pH-Wert leicht zunahm, kann davon ausgegangen werden, dass das Lösen des Calciumcarbonats mehrere Stunden dauert.<sup>62</sup>

Aus materialwissenschaftlicher Sicht empfiehlt Feldmann<sup>63</sup> ein Auswaschen der Schwämme zuerst in Aceton, dann in einem Testbenzin und schlussendlich in einem Alkohol, um das Risiko von etwaigen schädlichen Zusatzstoffen zu minimieren.

Die Schwämme sind klein, weisen einen hohen Materialverbrauch auf und bestehen aus Kunststoff. Da die Aufnahmekapazität des Schwamms an Schmutz mit dem Grad der Verschmutzung abnimmt, werden in der Regel mehrere



3 Gering degradiertes Schwamm 1 (PUR-Schwamm [D&J], erworben 2021)



4 Stärker degradiertes, vergilbtes Schwamm 2 (PUR-Schwamm [D&J] seit 2019 Licht- und Sauerstoffeinwirkung ausgesetzt)

### Degradation und Aufbewahrung von PUR-Ether-Schwämmen

saubere Schwämme benötigt.<sup>64</sup> Bei kontaminierten Oberflächen kann eine kontinuierliche Mehrfachverwendung des Reinigungsschwamms zur Verschleppung von Verunreinigungen führen.<sup>65</sup> Insbesondere wegen dieses großen Verschleißes begründen Studienteilnehmende 2023 PUR-Schwämme nicht zu verwenden. Andere Teilnehmende verwenden PUR-Schwämme aufgrund der Nachhaltigkeit mehrmals. Die gebrauchten Schwämme werden gemäß der Umfrage zum Beispiel in einer wässrigen 0.02%igen Marlipal® 1618/25-Lösung gereinigt und anschließend mehrmals in deionisiertem Wasser ausgespült. Oder sie werden bei 40 °C ohne Waschmittel in einem Wäschenetz in der Waschmaschine gereinigt. Grundsätzlich besteht bei der Wiederverwendung die Gefahr von zurückgebliebenen Schmutzpartikeln im Schwamm, die für eine größere Abrasion oder Kratzer auf der zu reinigenden Oberfläche sorgen können. Zudem kann durch das Herauslösen von Füllstoffen die Stabilität und die Festigkeit der Schwämme herabgesetzt werden, sodass diese eher zur Ausbildung von Krümeln neigen. Die Risikoabwägung, inwieweit eine mehrfache Verwendung von PUR-Schwämmen vertretbar ist, muss in jedem Einzelfall unter Berücksichtigung der jeweiligen Vor- und Nachteile auf der Basis des spezifischen Reinigungskonzept individuell erfolgen.

Die Degradation der Schwämme wird durch die chemische Zusammensetzung, den strukturellen Aufbau und durch die jeweils beigefügten Zusatzstoffe eines Polymers bedingt. Die Abbaureaktionen von PUR finden je nach molekularer Zusammensetzung an den schwachen Bindungsstellen der Urethan-, Ester- oder Ether-Gruppen statt, die unterschiedlich stark auf Oxidation und Hydrolyse reagieren.<sup>66</sup> Hinzukommend beeinflussen äußere Umgebungsfaktoren, wie Licht und UV-Strahlen, Temperatur und Luftfeuchtigkeit, den Abbauprozess.<sup>67</sup> Charakteristische Abbaureaktionen sind Veränderungen der chemischen und physikalischen Eigenschaften, des Molekulargewichts sowie Farbveränderungen. Im Allgemeinen degradiert PUR auf Ester-Basis schneller als PUR auf Ether-Basis sowie die Degradation von PUR als Schaumstoff setzt aufgrund der offenen Poren und der großen inneren Oberfläche früher ein als beim Vollstoff.<sup>68</sup> Es zeigen sich weitere Unterschiede in der Degradation zwischen PUR-Ether und PUR-Ester: Einerseits ist die Hydrolysebeständigkeit von PUR-Ether viel besser als die von PUR-Ester, bei dem sich schneller saure Abbauprodukte nachweisen lassen, andererseits sind PUR-Ether-Schwämme sehr empfindlich gegenüber Photooxidation.<sup>69</sup> Zum Beispiel verdeutlichen die Farbveränderungen der beiden PUR-Ether-Schwämme (Abb. 3, 4) unterschiedliche Degradationssta-

dien: Der Schwamm 1 wird seit 2021 in der offenen originalen Kunststoffverpackung vor Licht geschützt in einem Metallschrank aufbewahrt. Der Schwamm 2 wird seit 2019 offen im Raum weder vor Licht noch Sauerstoff geschützt gelagert. Die Farbigkeit von Weiß zu Gelb hat sich stark verändert, die mechanischen Eigenschaften unterscheiden sich jedoch nur gering. Die haptischen Eigenschaften der beiden Schwämme erscheinen beim händischen Fühlen gleich. Unter mikroskopischer Vergrößerung zeigt sich unter mechanischer Einwirkung, dass der Schwamm 2 minimal spröder ist und eine geringere Flexibilität aufweist. Durch diese Veränderungen kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Oberflächenreinigung mit einem stärker oxidierten Schwamm 2 die Schwammoberfläche durch den schnelleren Abrieb mehr Partikel als Rückstände hinterlässt. Anhand der FT-IR-Analysen der beiden PUR-Schwämme wurden keine chemischen Veränderungen festgestellt, die auf eine Degradation hinweisen würden.<sup>70</sup>

Um die durch Licht ausgelöste Photooxidation von PUR-Ether-Schwämmen zu minimieren, sollten diese entsprechend der üblichen Praxis der Mehrheit der Teilnehmenden unbedingt lichtgeschützt gelagert werden. Bestenfalls findet dazu noch eine sauerstoffarme Aufbewahrung statt, um die Degradation der Schwämme weiter zu verlangsamen.<sup>71</sup>

### Fazit und Ausblick

Durch die durchgeführten Analysen der PUR-Ether-Schwämme waren keine bekannten, das Kunstwerk schädigenden Stoffe und insbesondere kein Vulkanisationsbeschleuniger MBT nachweisbar.<sup>72</sup> Der analytische Nachweis von Additivpolymeren ist schwierig, da sie sowohl einem schnell fluktuierenden und expandierenden Markt unterliegen als auch in geringen Millionstel Gramm Mengen zugesetzt werden.<sup>73</sup> Auch konnten keine Stoffe nachgewiesen werden, welche die anfängliche Schaumbildung beim Auswaschen der Schwämme mit deionisiertem Wasser verursachen. Ein Grund des kurzweiligen Aufschäumens könnte im Entweichen der Luft aus den zahlreichen Einschlüssen im Schaum liegen. Durch das Eintauchen des Schwamms unter die Wasseroberfläche steigt die Luft in Form von Blasen auf.<sup>74</sup>

Um potenzielle zurückbleibende chemische Rückstände auf der Objektoberfläche zu minimieren, sollten die Schwämme vor der Anwendung mit deionisiertem Wasser und/oder organischen Lösemitteln ausgewaschen werden. Wegen der geringen Beständigkeit des Polyurethans gegenüber dem dipolaren Aceton ist von einer Benutzung des Schwamms mit diesem Lösemittel abzuraten.

Speziell bei sensiblen Materialien gegenüber alkalischen Reaktionen bietet sich zur Reduktion von möglichen Calciumcarbonat-Rückständen auf der behandelten Oberfläche ein gründliches Auswaschen der Schwämme zum Beispiel über Nacht vor dem Erstgebrauch in deionisiertem Wasser an.<sup>75</sup>

Gleichzeitig ist zu beachten, dass sich durch das Herauslösen von Füllstoffen die physikalischen Eigenschaften des Schwamms ändern.

Ferner fehlt bis dato eine Differenzierung der physikalischen Eigenschaften – Dichte, Festigkeit, Zellgrößen, Feststoffanteil in den Stegen und Wänden – von Kosmetikschwämmen für individuelle Anforderungen. Zum Beispiel könnte je nach der Wassersensibilität einer zu reinigenden Oberfläche durch die Wahl der Zellgröße des Schwamms das Absorptions- und Retentionsvermögen angepasst werden.

Ähnlich verhält es sich mit einer gezielteren Auswahl der Dichte der Schwämme: Für kratz-, abrieb- und polierempfindliche Farbschichten wäre der Einsatz von weichen, weniger dichten PUR-Schwämmen zu überlegen. Wohingegen bei stabileren Malschichten Schwämme mit höherer Dichte eingesetzt werden könnten, um eine Ausbildung von Schwammkrümeln zu minimieren.

### Dank

Besonderer Dank geht an Dr. Kirill Feldmann für die unkomplizierte Unterstützung und die großzügige Durchführung der Analysen eines PUR-Schwamms (D&J) an der ETH Zürich. Ebenso gebührt ein großer Dank Dr. Stefan Zumbühl für die Hilfe bei der Durchführung und Interpretation der FT-IR-Analysen. Bei Friederike Steckling (Senior Conservator, Fondation Beyeler) bedanken wir uns für das Teilen wertvoller Informationen aus einem unveröffentlichten Analysebericht über Rückstände von PUR-Schwämmen auf Gemäloberflächen aus dem Jahr 2020. Lisa Handke (Buch- und Papierrestauratorin M.A.) danken wir für die unveröffentlichten Ergebnisse des erweiterten Oddy-Tests. Weiterhin danken wir Margarete Eska und Maria Zielke (Redaktion Conserva) für das Lektorat und allen Teilnehmenden an der Studie 2023. Abschließend sei Florence Lépine (Restauratorin M.A. Bundesamt für Kultur) für die Anregung zu diesem Thema gedankt.

### Gesine Betz M. A.

Dipl. Restauratorin (FH)  
Hochschule der Künste Bern  
Konservierung und Restaurierung  
Fellerstrasse 11  
CH-3027 Bern  
[gesine.betz@hkb.bfh.ch](mailto:gesine.betz@hkb.bfh.ch)

### Virginia Müller

BA Konservierung  
Hochschule der Künste Bern  
Konservierung und Restaurierung  
Fellerstrasse 11  
CH-3027 Bern

## Anmerkungen

- 1 PU Schwämme – latexfrei, hohe Dichte, Artikelnummer 2269300, <https://deffner-johann.de/de/PUR-schwaemme-latexfrei-hohe-dichte.html> [Zugriff: 13.01.2024]. Seit 2020 ist der PUR-Schwamm mit mittlerer Dichte nicht mehr lieferbar und daher aus dem Sortiment von D&J genommen worden. Freundliche schriftliche Mitteilung von Xaver Hippler, Auftragsabwicklung, D&J am 31.07.2023
- 2 Die Umfrage wurde mit dem Programm SoSci Survey erstellt. Versendet wurde ein Link zur Online-Umfrage an acht deutschsprachige Hochschulen, das Goering Institut, den österreichischen und deutschen Berufsverband und direkt an Mitglieder des Schweizerischen Verbandes der Konservierung und Restaurierung. Die Datenerhebung fand im Zeitraum vom 24.11.2022 bis 15.01.2023 statt. Alle Fragen waren als Multiple Choice mit offenen Textfeldangaben gestaltet und es konnten mehrere zutreffende Antworten angekreuzt werden. Insgesamt haben 162 Restaurator:innen aus der Schweiz, Deutschland, Österreich und vier anderen Ländern teilgenommen. Von den insgesamt 162 Teilnehmenden verwenden rund 118 Personen PUR-Schwämme vertrieben von D&J.
- 3 Das jeweilige Produktdatenblatt des PUR-Schwamms vertrieben sowohl von D&J (2005) als auch von dem norwegischen Anbieter Arkivprodukter AS (2010) führt auf, dass es sich um einen Kosmetikschwamm handelt.
- 4 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 216
- 5 Auf der deutschsprachigen Homepage von Muji™ werden die Schwämme unter der Bezeichnung „Make-up Schwämmchen“ geführt; <https://germany.muji.eu/products/make-up-sponges-40pcs-2300> [Zugriff: 01.02.2024]
- 6 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 209–219
- 7 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 211, 215, 216
- 8 DAUDIN-SCHOTTE/KEULEN 2014, S. 363–372
- 9 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 216; DAUDIN-SCHOTTE/KEULEN 2014, S. 366
- 10 MENDES ET AL. 2014, S. 373–388
- 11 Unter dem Produktnamen „HD Make-up sponge“ im Kosmetikhandel erworben
- 12 STOVELAND ET AL. 2021, S. 1–32
- 13 FRØYSAKER/MILIANI/LIU 2011, S. 26, 61
- 14 HANDKE 2015
- 15 ANDERSON 2016, S. 14, 32, 35 untersucht folgende drei zuvor nicht ausgewaschene PUR-Schwämme: einen aus dem Restaurierungsbedarf vertrieben von University Products und zwei aus dem kommerziellen Kosmetikbedarf (Studio 35 Beauty™ und up & up™).
- 16 HAMMER 2021, S. 76; BUNSE/HALLER 2023, S. 326
- 17 MENDES ET AL. 2014, S. 383
- 18 Dies entspricht nach KRAUSE/HÄHNER/BANIK 2021, S. 60, 68 den üblichen Bewegungstypen – Gleiten, Stoßen, Rollen – von trockenen Reinigungsmedien auf Papier, die das Reinigungsergebnis mitbeeinflussen.
- 19 Neben den Teilnehmenden der Studie 2023 siehe auch PIETSCH 2002, S. 160
- 20 MENDES ET AL. 2014, S. 382; STOVELAND ET AL. 2021, S. 26
- 21 MENDES ET AL. 2014, S. 382, 386
- 22 MENDES ET AL. 2014, S. 382, 386, 387
- 23 STOVELAND ET AL. 2021, S. 23, 26; MENDES ET AL. 2014, S. 382, 383
- 24 MENDES ET AL. 2014, S. 387
- 25 STOVELAND ET AL. 2021, S. 23, 26
- 26 FELIXBERGER 2017, S. 588; WAENTIG 2004, S. 295; PEYRTON/AVÉROUS 2021, S. 3
- 27 OOSTEN 2011, S. 15, 19
- 28 PUGH 2016, S. 188
- 29 PUGH 2016, S. 188; BÜTZER 2001, S. 106, 107; OOSTEN 2011, S. 32
- 30 OOSTEN 2011, S. 37; ELIAS 1996, S. 111
- 31 GÄCHTER/MÜLLER 1983, S. 733; OERTEL 1994, S. 25
- 32 ELIAS 1996, S. 329, 330, 360; GÄCHTER/MÜLLER 1983, S. 411
- 33 Unveröffentlichter Untersuchungsbericht von Dr. Kirill Feldman, Professur für Weiche Materialien, ETH Zürich, 2023; SHASHOUA 2008, S. 188
- 34 DEFONSEKA 2013, S. 47, 54, 63
- 35 OOSTEN 2011, S. 32
- 36 S. Anm. 43, 44
- 37 Gemäß DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 216 können trotzdem allgemeingültige Tendenzen aufgezeigt werden.
- 38 ANDERSON 2016, S. 32, 35, 46
- 39 ANDERSON 2016, S. 35; SMITH ET AL. 2004, S. 2, 10, 20; MENDES ET AL. 2014, S. 375
- 40 Gemäß der bei DEFONSEKA 2013, S. 42 aufgeführten Chemical Abstract Service (CAS)-Nummer
- 41 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 217; DAUDIN-SCHOTTE/KEULEN 2014, S. 366; MENDES ET AL. 2014, S. 375; ANDERSON 2016, S. 35
- 42 Nach KIMMEL/SCHWENCK/EISENHARDT 2021, S. 303, 310 erfolgte ein Oddy-Test im naturwissenschaftlichen Labor des Kunsthistorischen Museums Wien im Jahr 2010. Ein weiterer Oddy-Test ist im Rathgen-Forschungslabor der Staatlichen Museen zu Berlin für die Restaurierungsabteilung der Alten Nationalgalerie im Jahr 2017 durchgeführt worden, veröffentlicht unter [https://www.smb.museum/fileadmin/website/Institute/Rathgen-Forschungslabor/02\\_Forschung/01\\_Forschungsergebnisse/Oddy\\_Liste\\_verschiedene\\_Materialien\\_Jan23.pdf](https://www.smb.museum/fileadmin/website/Institute/Rathgen-Forschungslabor/02_Forschung/01_Forschungsergebnisse/Oddy_Liste_verschiedene_Materialien_Jan23.pdf) [Zugriff: 15.01.2024]
- 43 HANDKE 2015, S. 49 und freundliche schriftliche Mitteilung von Lisa Handke am 14.01.2023 und 27.02.2024. Die Auswertung erfolgte an der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien am 19.02.2016 und lautet „anhand der mittleren Molmasse und der Molmassenverteilung konnte kein Einfluss der PU-Schwämme auf das Whatman Filterpapier nach einer Alterung festgestellt werden“.
- 44 HANDKE 2017, S. 54
- 45 MENDES ET AL. 2014, S. 387
- 46 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 218
- 47 MENDES ET AL. 2014, S. 387
- 48 ANDERSON 2016, S. 46–48
- 49 ANDERSON 2016, S. 29, 30
- 50 SEM mit Hilfe von Bildern durch die Detektion von zurückgestreuten Elektronen (engl. Backscattered Electrons [BSE])
- 51 ANDERSON 2016, S. 29, 30, 46
- 52 Unveröffentlichter Untersuchungsbericht von Dr. Stefan Zumbühl, Kunsttechnologisches Labor, HKB, 2020, S. 2. im Rahmen eines Untersuchungsprojektes an der Fondation Beyeler, Riehen/Basel
- 53 FT-IR-Analysen durchgeführt im Kunsttechnologisches Labor der HKB und interpretiert von Dr. Stefan Zumbühl 2023

- 54 Drei Teilnehmende an der Umfrage zu PUR-Schwämmen 2023 erwähnen eine geringere Effektivität des Schwamms nach dem Waschen.
- 55 HANDKE 2017, S. 54
- 56 Fälschlicherweise werden nach PIETSCH 2002, S. 146, 160 die Saugschwämme Blitzfix® und Supersauger® auf Basis von PUR angegeben.
- 57 PIETSCH 2002, S. 146, 160
- 58 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 217
- 59 DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 217, 218
- 60 EIPPER 2021, S. 96
- 61 FT-IR-Analysen durchgeführt im kunsttechnologischen Labor der HKB und interpretiert von Dr. Stefan Zumbühl 2023
- 62 Ein handelsüblicher PUR-Schwamm (D&J) wurde jeweils in 100 ml deionisiertes Wasser für fünf Minuten, einer und 24 Stunden eingelegt.
- 63 Unveröffentlichter Untersuchungsbericht von Dr. Kirill Feldman, Professur für Weiche Materialien, ETH Zürich, 2023
- 64 ANDERSON 2016, S. 41
- 65 KRAUSE/HÄHNER/BANIK 2021, S. 58
- 66 OOSTEN 2011, S. 43
- 67 OOSTEN 2011, S. 43, 44
- 68 OOSTEN 2011, S. 43; SHASHOUA 2008, S. 188
- 69 LATTUATI-DERIEUX/LAVÉDRINE/THAO-HEU 2011, S. 4498, 4507; OOSTEN 2011, S. 43; SHASHOUA 2008, S. 188
- 70 FT-IR-Analysen durchgeführt im kunsttechnologischen Labor der HKB und interpretiert von Dr. Stefan Zumbühl 2023
- 71 BÜTZER 2001, S. 116
- 72 DAUDIN-SCHOTTE/KEULEN 2014, S. 365, 366; DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013, S. 216
- 73 Freundliche schriftliche Mitteilung von Dr. Kirill Feldman, Professur für Weiche Materialien, ETH Zürich, am 02.05.2023
- 74 Freundliche mündliche Mitteilung von Dr. Stefan Zumbühl, kunsttechnologisches Labor HKB am 26.02.2024
- 75 ANDERSON 2016, S. 49

## Literatur

- ANDERSON 2016:**  
Allison M. Anderson, Comparison of Dry-Cleaning Sponges Used to Remove Soot from Textiles, Master Thesis Universität Rhode Island (USA) 2016, <https://digitalcommons.uri.edu/theses/949> [Zugriff: 11.02.2024]
- BUNSE/HALLER 2023:**  
Franziska Bunse und Ursula Haller, Methylcellulose als Retuschierbindemittel in der Konservierung zeitgenössischer monochrom-matter Malerei – Ein Fallbeispiel. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jg. 36, Heft 2, 2023, S. 326–333
- BÜTZER 2001:**  
Judith Bützer, Polyurethan-Weichschaum als Werkstoff für zeitgenössische Objekte. Das Sitzobjekt «Pratone» von Gruppo Sturn. In: Kunststoff als Werkstoff: Celluloid und Polyurethan-Weichschaum. Material – Eigenschaften – Erhaltung, Kölner Beiträge zur Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut, Bd. 13, München 2001, S. 99–186
- DAUDIN-SCHOTTE ET AL. 2013:**  
Maude Daudin-Schotte, Madeleine Bisschoff, Ineke Joosten, Henk van Keulen und Klaas Jan van den Berg, Dry Cleaning Approaches for Unvarnished Paint Surfaces. In: Marion F. Mecklenburg, Elena A. Charola und Robert J. Koestler (Hrsg.), New Insights into the Cleaning of Paintings. Proceedings from the Cleaning 2010 International Conference, Universität Politecnica de Valencia und Museum Conservation Institute. Washington DC 2013, S. 209–219
- DAUDIN-SCHOTTE/KEULEN 2014:**  
Maude Daudin-Schotte und Henk van Keulen, Dry Cleaning: Research and Practice. In: Klaas Jan van den Berg, Aviva Burnstock, Matthijs de Keijzer, Jay Krueger, Tom Learner, Alberto de Tagle, Gunnar Heydenreich (Hrsg.), Issues in Contemporary Oil Paint. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London 2014, S. 363–372
- DEFONSEKA 2013:**  
Chris Defonseka, Practical Guide to Flexible Polyurethane Foams. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire 2013
- EIPPER 2021:**  
Paul-Bernhard Eipper, Historische und zeitgenössische Substanzen, Materialien und Methoden zur Reinigung von Ölgemäldeoberflächen. In: Paul-Bernhard Eipper (Hrsg.), Handbuch der Oberflächenreinigung, 7. Aufl., Teil 1. München 2021, S. 91–128
- ELIAS 1971:**  
Hans-Georg Elias, Makromoleküle: Struktur – Eigenschaften – Synthese – Stoffe. Basel, Heidelberg 1971
- ELIAS 1996:**  
Hans-Georg Elias, Polymere: von Monomeren und Makromolekülen zu Werkstoffen. Zug, Heidelberg, Oxford 1996
- FELIXBERGER 2017:**  
Josef K. Felixberger, Chemie für Einsteiger. Berlin 2017
- FRØYSAKER/MILIANI/LIU 2011:**  
Tine Frøysaker, Costanza Miliani und Mirjam Liu, Non-invasive Evaluation of Cleaning Tests Performed on "Chemistry" (1909–1916). A Large Unvarnished Oil Painting on Canvas by Edvard Munch. In: Restauo, Heft 4, 2011, S. 53–63
- GÄCHTER/MÜLLER 1983:**  
Reinhard Gächter und Andreas H. Müller, Taschenbuch der Kunststoff-Additive, 2. Ausg. München, Wien 1983

**HAMMER 2021:**

Astrid Hammer, Reinigung von Schimmelbefallenen Oberflächen. In: Paul-Bernhard Eipper (Hrsg.), Handbuch der Oberflächenreinigung, 7. Aufl., Teil 1. München 2021, S. 68–90

**HANDKE 2015:**

Lisa Handke, Oberflächenreinigung in der Papierrestaurierung: Untersuchungen zum Einsatz von Kosmetikschwämmen. Bachelorthesis Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen 2015 (unveröffentlicht)

**KIMMEL/SCHWENCK/EISENHARDT 2021:**

Tanja Kimmel, Britta Schwenck und Barbara Eisenhardt, Zur Reinigung von Textilien am Institut Konservierung und Restaurierung der Universität für angewandte Kunst Wien. In: Paul-Bernhard Eipper (Hrsg.), Handbuch der Oberflächenreinigung, 7. Aufl., Teil 1. München 2021, S. 298–312

**KRAUSE/HÄHNER/BANIK 2021:**

Friederike Krause, Ulrike Hähner und Gerhard Banik. Mechanische Belastungen durch manuelle Oberflächenreinigungstechniken auf Papier. In: Paul-Bernhard Eipper (Hrsg.), Handbuch der Oberflächenreinigung, 7. Aufl., Teil 2. München 2021, S. 57–69

**LATTUATI-DERIEUX/LAVÉDRINE/THAO-HEU 2011:**

Agnès Lattuati-Derieux, Bertrand Lavédrine und S Thao-Heu, Assessment of the degradation of polyurethane foams after artificial and natural ageing by using pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and headspace-solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry. In: Journal of Chromatography A, Bd. 1218, 2011, S. 4498–4508, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.05.013> [Zugriff: 11.02.2024]

**MENDES ET AL. 2014:**

Beatriz Veríssimo Mendes, Klaas Jan Van den Berg, Luc Megens und Ineke Joosten, New Approaches to Surface Cleaning of Unvarnished Contemporary Oil Paintings – Moist Sponges and Cloths. In: Klaas Jan van den Berg, Aviva Burnstock, Matthijs de Keijzer, Jay Krueger, Tom Learner, Alberto de Tagle und Gunnar Heydenreich (Hrsg.), Issues in Contemporary Oil Paint. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London 2014, S. 373–388

**OERTEL 1994:**

Günter Oertel, Polyurethane Handbook, 2. Aufl. München, Wien, New York 1994

**OOSTEN 2011:**

Thea van Oosten, PUR Facts. Conservation of Polyurethane Foam in Art and Design. Amsterdam 2011

**PEYRTON/AVÉROUS 2021:**

Julien Peyrton und Luc Avérous, Structure-properties relationships of cellular materials from biobased polyurethane foams. In: Materials Science & Engineering: R: Reports, Bd. 145, 2021, 100608, <https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100608> [Zugriff: 11.02.2024]

**PIETSCH 2002:**

Annik Pietsch, Lösemittel. Ein Leitfaden für die restauratorische Praxis, VDR-Schriftenreihe zur Restaurierung, Bd. 7. Bonn 2002

**PUGH 2016:**

Robert J. Pugh, Bubble and Foam Chemistry. Cambridge 2016

**SHASHOUA 2008:**

Yvonne Shashoua, Conservation of Plastics. Materials science, degradation and preservation. Oxford 2008

**SMITH ET AL. 2004:**

James A. Smith, Wolfhard Scholz, Heike Schelges, Armin Wadle und Bernhard Banowski, Cosmetic Sponges, United States Patent Application Publication, Pub. No. US 200470170670 A1, 2.9.2004, <https://www.freepatentsonline.com/y2004/0170670.html>

**STOVELAND ET AL. 2021:**

Lena Porsmo Stoveland, Tine Frøysaker, Maartje Stols-Witlox, Terje Grøntoft, Calin Constantin Steindal, Odile Madden und Bronwyn Ormsby, Evaluation of novel cleaning systems on mock-ups of unvarnished oil paint and chalk-glue ground within the Munch Aula Paintings Project, Heritage Science, Bd. 9, Artikel 144, 2021, S. 1–32, <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00599-w>

**VAN KEULEN ET AL. 2010:**

Henk van Keulen, Suzan de Groot, Marjolein Groot Wassink, Ineke Joosten und Maude Daudin-Schotte, Dry cleaning products analysed and tested at the Cultural Heritage Agency of the Netherlands (RCE) Amsterdam, October 2009–December 2012; <https://de.scribd.com/doc/28005037/Painting-Dry-Cleaning-Table> [Zugriff: 02.02.2024]

**WAENTIG 2004:**

Friederike Waentig, Kunststoffe in der Kunst. Eine Studie unter konservatorischen Gesichtspunkten. Petersberg 2004

**Abbildungsnachweis**

**Abb. 1, 2**

Kirill Feldmann, ETH Zürich

**Abb. 3, 4**

Virginia Müller, HKB

**Grafik 1, 2**

Virginia Müller, HKB

**Titel:**

Detail aus Abb. 4

**Lizenz**

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.



Miscellanea

# Datenbank Deutsche Tafelmalerei des Spätmittelalters

Geballtes Wissen der Forschungsprojekte des Germanischen Nationalmuseums Nürnberg jetzt online verfügbar

Beate Fückler, Judith Hentschel

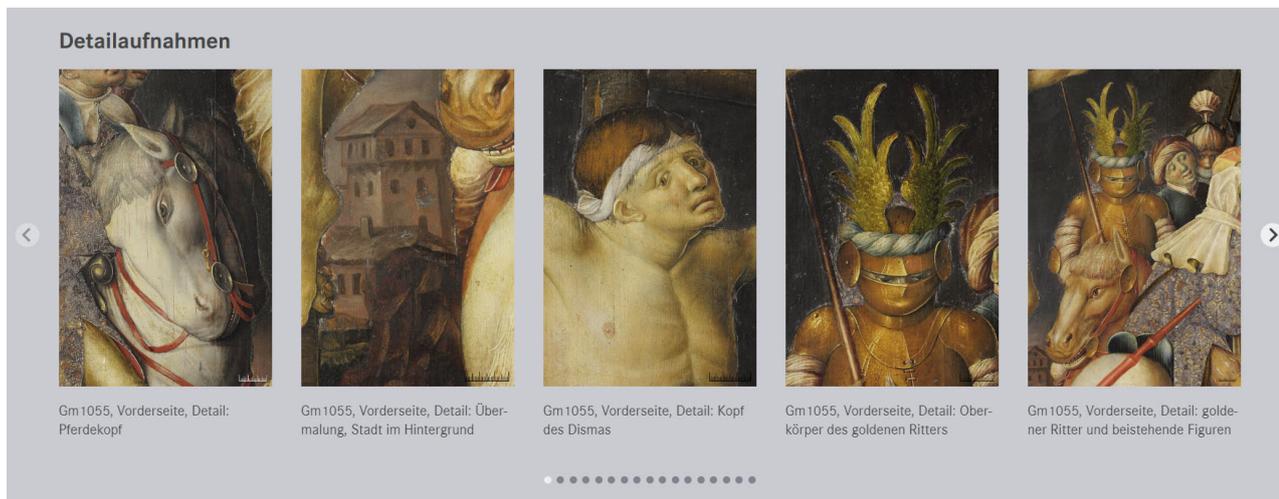
Das Germanische Nationalmuseum (GNM) in Nürnberg hat sich in den letzten zehn Jahren zu einem Kompetenzzentrum in der Erforschung spätmittelalterlicher Malerei entwickelt. Zur umfangreichen Sammlung des Museums von etwa 250 Gemälden des 13. bis 15. Jahrhunderts aus dem gesamten deutschen Sprachraum gehören Meisterwerke hochkarätiger Künstler wie Stefan Lochner, Konrad Witz, Hans Pleydenwurff und Albrecht Dürer. In mehreren international beachteten Forschungsprojekten wurden seit 2013 bisher rund 200 spätmittelalterliche Tafelgemälde sowohl mit den Methoden der klassischen Kunstgeschichte als auch mit modernsten kunsttechnologischen Verfahren untersucht. Die in den Projekten generierten Forschungs-

ergebnisse werden sukzessive in Bestandskatalogen publiziert – die beiden Bände zu den Werken aus Köln, den Niederlanden und den Gebieten längs des Rheins sind soeben erschienen. Auch die Gemälde aus Nürnberg und Franken sind bereits bearbeitet; die Werke aus Bayern, Österreich und Südtirol sind Gegenstand des aktuell laufenden Forschungsprojekts.

Nun stellt das Germanische Nationalmuseum die umfangreichen Forschungsdaten aller bisherigen Untersuchungen in einer reich bebilderten Datenbank der breiten Öffentlichkeit und der wissenschaftlichen Community zur Verfügung. Die dort im Open Access abrufbaren mehr als 2000 Fotogra-

fien sowie zahlreiche technische Aufnahmen stellen eine einzigartige Materialbasis für die künftige Erforschung spätmittelalterlicher Tafelgemälde dar. Die Datenbank enthält hochauflösende Gesamt- und Detailbilder sowie Röntgen-, Infrarot- und UV-Fluoreszenzaufnahmen aller Gemälde. Auch die Protokolle aller Röntgenfluoreszenz- und Holzartenanalysen an den Kunstwerken sind hinterlegt. Insbesondere die bildgebenden Untersuchungsverfahren ermöglichen Aussagen zur Konstruktion der Tafeln, zeigen in vielen Fällen die von den Farbschichten verborgene Unterzeichnung und ermöglichen mit-

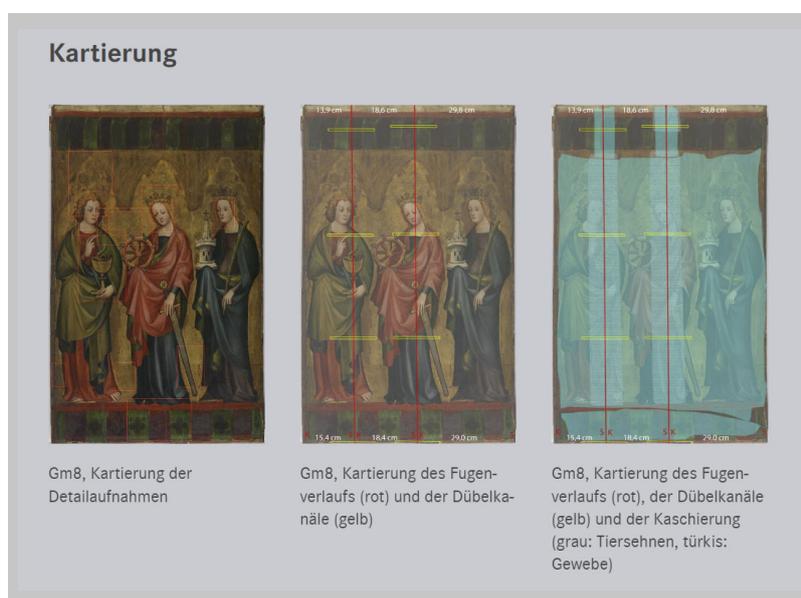




unter Aussagen zu Ausbesserungen und früheren Restaurierungsmaßnahmen. Dank eines speziellen Open-Source-Bildviewers (Mirador) können verschiedene technologische Aufnahmen eines Gemäldes im direkten Vergleich nebeneinander betrachtet und in paralleler Ansicht in die Aufnahmen hineingezoomt werden. Zudem ist über den Mirador-Viewer auch eine direkte Gegenüberstellung der Werke des GNM mit Objekten in anderen internationalen Sammlungen möglich, sofern diese über ein IIIF-Manifest verfügen.

In der Datenbank können Werke nach Künstler, Datierung, Auftraggeber oder Herstellungsort gefiltert werden. Auch eine Suche nach Gemälden mit Wappendarstellungen oder Inschriften ist möglich, ebenso das Sortieren nach Objektgattungen wie Retabel, Epitaph oder Porträt. Die Filterfunktion ermöglicht es außerdem, nach einzelnen Bestandteilen von Retabeln zu suchen, etwa den Flügeln oder Predellen. Die Datenbank bietet zudem digitale Rekonstruktionen größerer Altaraufbauten, deren einzelne Gemälde einst demontiert wurden und sich inzwischen in unterschiedlichen Museen befinden. Soweit bekannt, sind die früheren Standorte der untersuchten Werke – in der Regel Kirchen oder Kapellen – auf einer Karte geografisch verzeichnet. Über den Suchfilter können auch Herstellungstechniken abgefragt werden. So ist es bspw. möglich, nach Angaben zur Konstruktion der Holztafeln, deren Grundierung, Rahmung und Kaschierungsmaterial zu sortieren. Informationen zur Unterzeichnung sind ebenso vorhanden wie Angaben zu Ritzungen, Blattmetallaufgaben und Verzierungstechniken.

Grundlagen für weitere Forschungen liefert der in die Datenbank integrierte Musterkatalog. Häufig sind die Goldhintergründe von Tafelgemälden mit gravierten oder punzierten Mustern verziert, daneben existieren auch gemalte Ornamente und solche aus Pressbrokat. Mehr als 100 Umzeichnungen dieser Muster geben einen Einblick in den vielfältigen Motivvorrat spätmittelalterlicher Werkstätten. Zugleich ist vermerkt, wenn identische oder ähnliche Muster auf unterschiedlichen Gemälden zum Einsatz kamen. So werden Arbeits- und Transferprozesse innerhalb spätmittelalterlicher Werkstätten besser nachvollziehbar.



Die Datenbank zur spätmittelalterlichen Tafelmalerei am Germanischen Nationalmuseum ist damit nicht nur eine Ergänzung zu den gedruckten Bestandskatalogen, sondern bietet in ihrer Fülle an Bildmaterial und technologischen Informationen eine reichhaltige Ressource für das Studium spätmittelalterlichen Kunstschaffens.

<https://tafelmalerei.gnm.de/>

**Dr. Beate Fückler**

Germanisches Nationalmuseum  
Institut für Kunsttechnik und Konservierung  
Kartäusergasse 1  
90402 Nürnberg  
[b.fuecker@gnm.de](mailto:b.fuecker@gnm.de)

**Judith Hentschel M. A.**

Germanisches Nationalmuseum  
Kartäusergasse 1  
90402 Nürnberg  
[j.hentschel@gnm.de](mailto:j.hentschel@gnm.de)