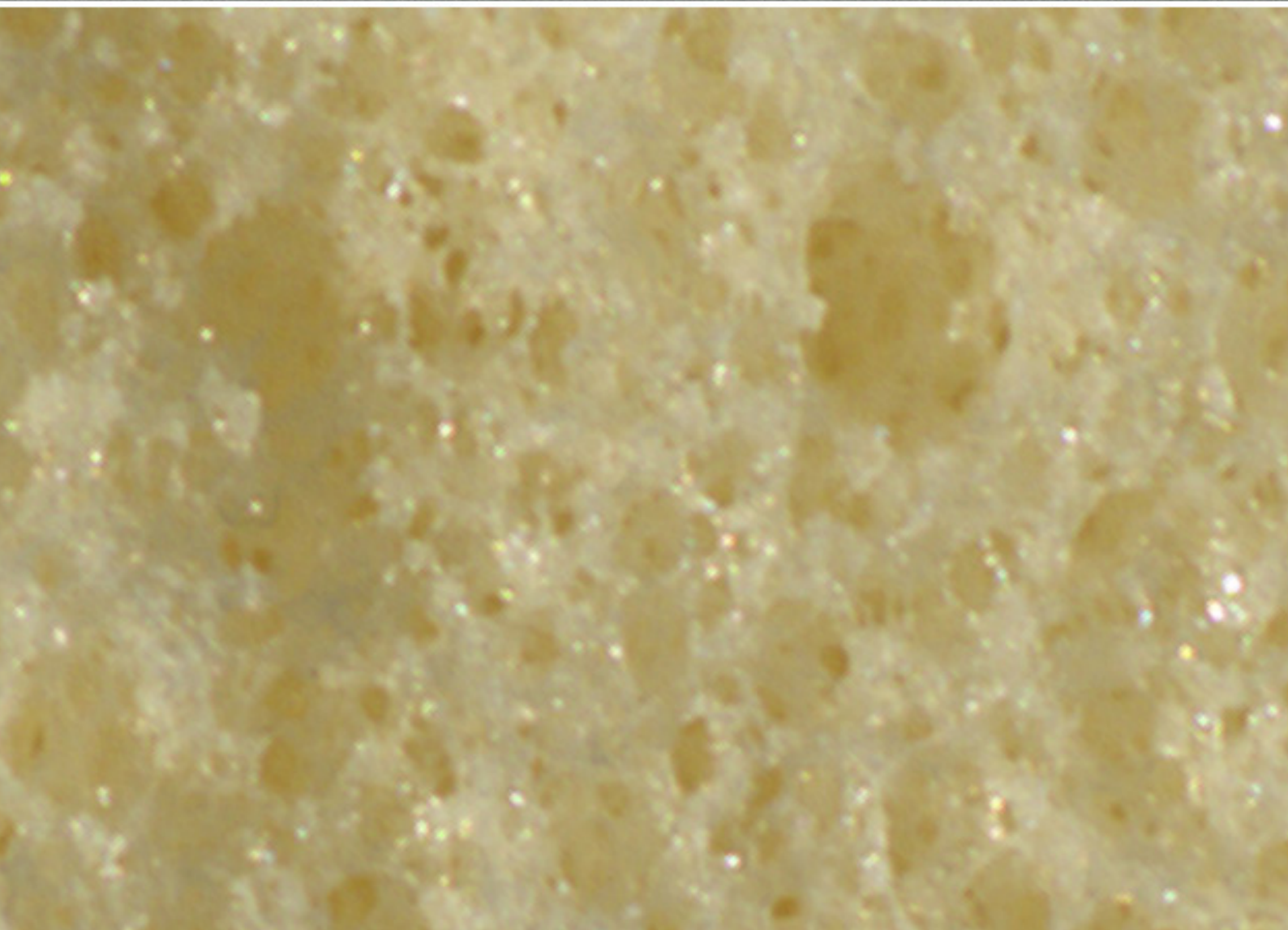
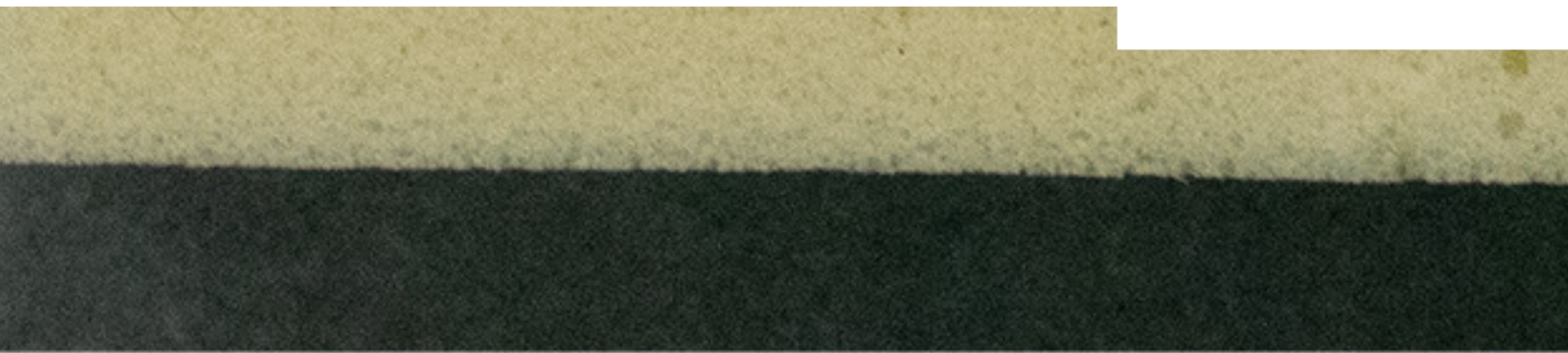


Polyurethan (PUR)-Schwämme als Reinigungsmedium in der Konservierung-Restaurierung

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.

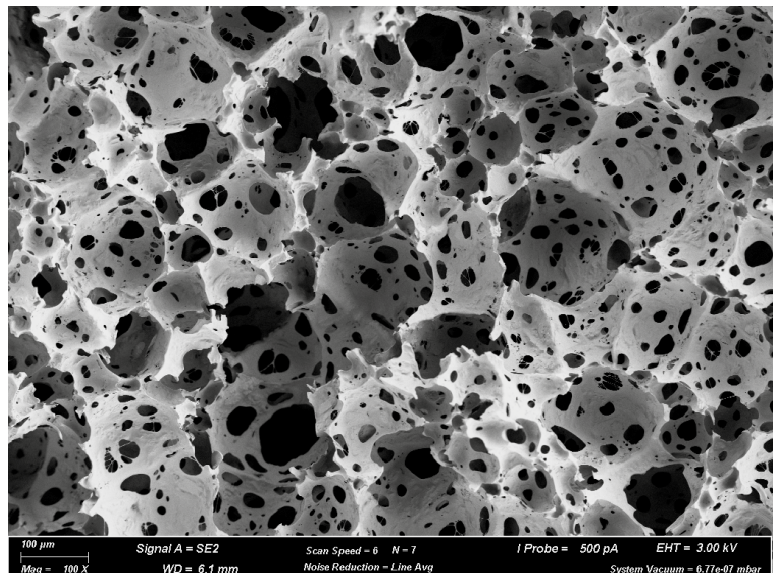
Im Rahmen einer Bachelor-Semesterarbeit an der Hochschule der Künste Bern (HKB) wurden Eigenschaften von PUR-Schwämmen untersucht. Der Fokus lag dabei auf weißen, latexfreien PUR-Schwämmen mit hoher Dichte, vertrieben vom Fachhandel für Restaurierungsbedarf Deffner & Johann GmbH (D&J)¹.

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 Restauratorenenschaft Anfang 2023 erhoben.² 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.³ Im Allgemeinen bestehen Kosmetikschwämme am häufigsten aus Isopren, Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) oder aus einer Mischung von beiden und seltener aus PUR.⁴ 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.⁵ 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.⁶ 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.⁷ In Fortsetzung der Studie untersuchen Daudin-Schotte und Keulen⁸ 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.⁹ Ein weiterer Aufsatz von Mendes et al.¹⁰ nimmt in einer Testreihe zur Reinigungswirkung und möglichen Oberflächenveränderungen von ungefirnissten Gemälden einen halbdichten, weichen und flexiblen PUR-Schwamm¹¹ auf. Der jüngste Artikel zu PUR-Schwämmen stammt von Stoveland et al.¹² 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.¹³ Ergänzend beschäftigen sich zwei Hochschularbeiten von Handke¹⁴ und Anderson¹⁵ 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 ¹	Arkivprodukter AS, Norwegen ²
Latex-Free Hydrophilic Sponges	keilförmig	PUR	University Products, USA ³
Latex-Free Rectangular Sponges und Latex-Free Wedge Sponges	rechteckig und keilförmig	PUR	Gaylord Archival, USA ⁴
Make-up Schwamm	keilförmig	PUR-Ether ⁵	Make-up for ever™
Make-up Schwamm	keilförmig	PUR-Ether ⁶	QVS™, Spanien
Make-up Schwamm	keilförmig	PUR-Ether ⁷	Studio 35 Beauty™
Make-up Schwamm	keilförmig	PUR ⁸	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.¹⁶

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

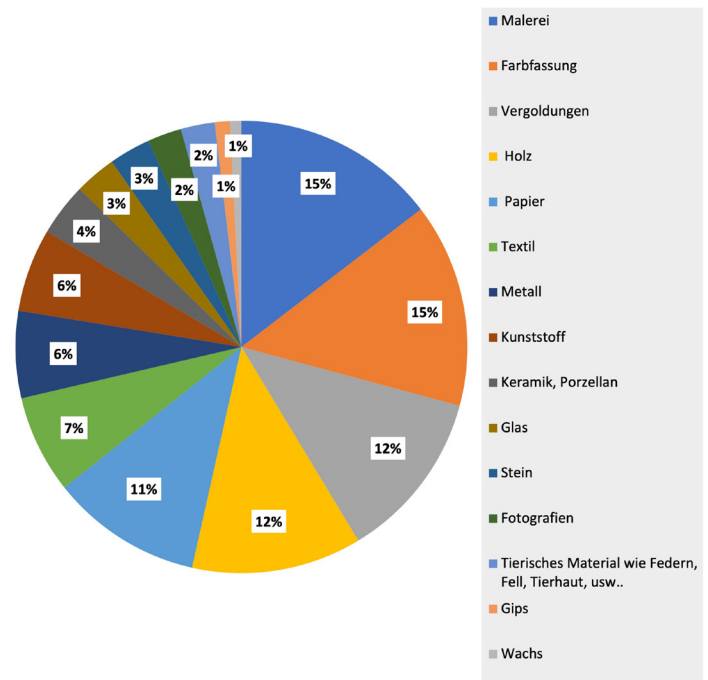
Für fragile Oberflächen, wie beispielsweise lose und pudrige Farbschichten, eignet sich der mechanische Einsatz eines Schwamms nicht. Auch sind PUR-Schwämme für die meisten rauen, strukturierten, pastösen und porösen Oberflächen nur bedingt einsetzbar.¹⁷ Bei zu rauen Oberflächen wird die Schwammoberfläche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

Als Reinigungstechnik nannten die Befragten mehrheitlich eine streichende, tupfende und rollende Bewegung der Schwämme.¹⁸ Auch wird der Schwamm als Kompressе eingesetzt.¹⁹

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

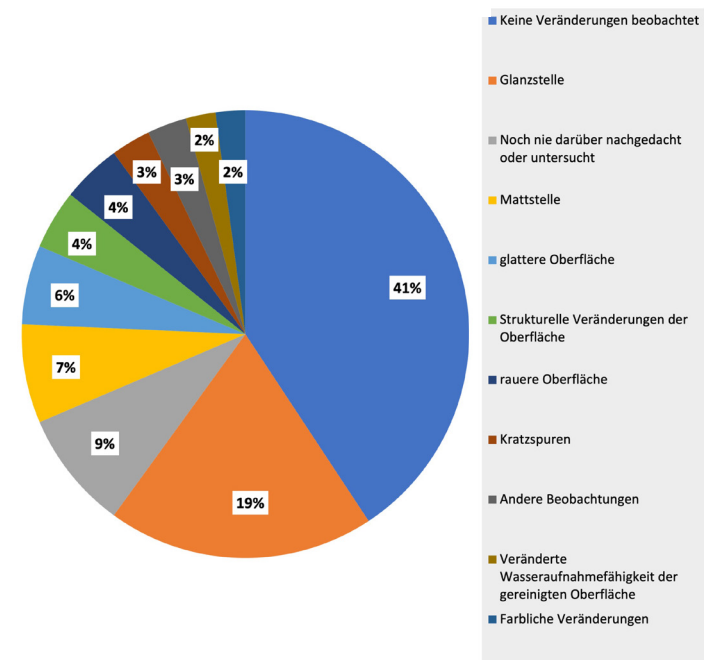
Die Mehrheit der Studienteilnehmenden haben unabhängig von der materiellen Beschaffenheit des Kunstwerks keine visuellen Veränderungen auf der gereinigten Oberfläche beobachtet (Grafik 2).

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.²⁰ Die Glanzerhöhung resultiert aus der mechanischen Interaktion zwischen dem Schwamm und der zu reinigenden Materialoberfläche.²¹ Gemäß Mendes et al. besteht möglicherweise ein Zusammenhang zwischen einer Steigerung der Verdichtung der Oberfläche in Abhängigkeit zur Zunahme der Materialdichte des Schwamms.²²

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

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.²⁵ 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.²⁶ Seit den 1950er Jahren werden PUR-Schaumstoffe kommerziell vertrieben und seit den 1980er Jahren sind Reinigungsschwämme für private Haushalte zu erwerben.²⁷

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.²⁸ Beim Entweichen des Gases platzen die dünnen Zellwände unter dem Gasdruck und fließen zum Zellsteg zurück, wodurch eine offene Zellstruktur entsteht.²⁹ Als Polyole werden hauptsächlich Polyether oder Polyester eingesetzt, weshalb diese Schaumstoffe entsprechend als PUR-Ether oder als PUR-Ester bezeichnet werden.³⁰ 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.³¹

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.³² Neben der Erhöhung der Steifigkeit minimieren Füllstoffe die Klebrigkeit des Schwamms.³³

Die meisten Füllstoffe sind anorganischer Herkunft. Am häufigsten wird Calciumcarbonat zugefügt.³⁴ Das Endprodukt ist von der chemischen Zusammensetzung, der Aufschäumzeit und Temperatur und den diversen Zusatz- und Füllstoffen abhängig.³⁵

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-Resultaten³⁶ 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.³⁷

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 (CaCO₃). Somit entsprechen die detektierten Füllstoffe denen von anderen Make-up Schwämmen auf PUR-Basis, bei denen auch Calciumcarbonat und Alumosilicat nachgewiesen wurden.³⁸ Im Vergleich zu anderen PUR-Schwämmen konnte hingegen kein Titanoxid oder Zinkoxid als Füllstoff und/oder UV-Absorber festgestellt werden.³⁹ 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.⁴⁰

Tabelle 2
In dieser Arbeit angewendete analytische Untersuchungsmethoden

Analytische Methode	PUR-Schwamm	Institution	Beteiligte Personen
Thermal Gravimetry Analysis (TGA) ¹	PUR-Schwamm, hohe Dichte (D&J, Artikelnummer 2269300)	Departement für Materialwissenschaften, ETH Zürich	durchgeführt und interpretiert von Dr. Kirill Feldmann ²
Differential Scanning Calorimetry (DSC) ³			
Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FT-IR) ⁴			
Scanning Electron Microscopy (SEM) und Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) ⁵			
FT-IR ⁶	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⁻¹/settings: 64 scans/4 cm⁻¹ resolution/range 4000–600cm⁻¹ (gemessen in Transmission-Technik)

Tabelle 3

Zusammenfassung der chemischen Zusammensetzung des PUR-Schwamms hoher Dichte (D&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 ¹
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. ² PEG ist löslich in Wasser, hygroskopisch und nicht flüchtig, sodass es als Weichmacher und Feuchthaltemittel dient. ³ Die hohe Hygroskopizität des Schwamms zeigt sich beispielhaft in der schnellen Aufnahme der Feuchtigkeit aus der Luft. ⁴	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. ⁵	TGA-Analyse
Calciumcarbonat (CaCO ₃)	Füllstoff, Additiv	SEM-EDX, TGA-Analyse, FT-IR ⁶
Silicat (SiO ₂) (geringe Menge)	Füllstoff, Additiv (eventuell Zersetzungsprodukt aus CaSiO ₃)	SEM-EDX
Calciumsilicat (CaSiO ₃) in Form von Wollastonit ⁷ mit 10 mg/m ³	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 (CaSiO₃).

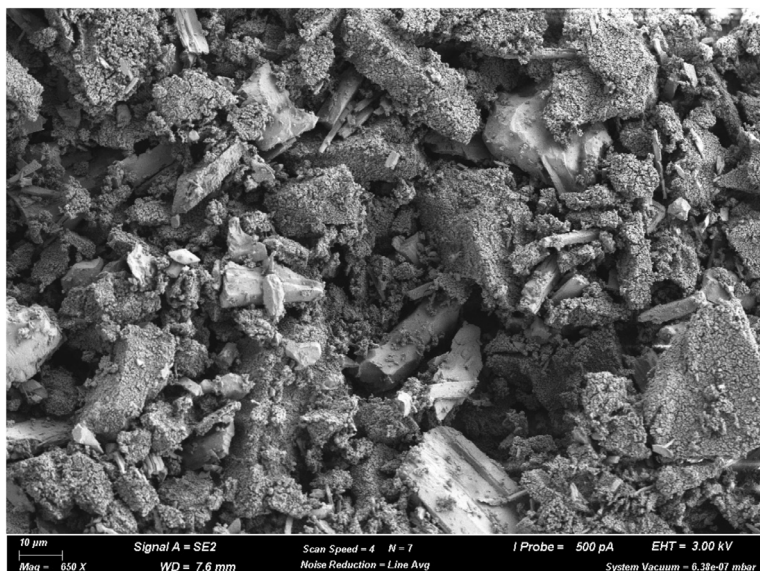
Das mehrmals in Kosmetikschwämmen auf PUR-Basis analysierte Lichtschutzmittel Tinuvin® oder Vitamin E als natürliches Antioxidans wurde nicht nachgewiesen⁴¹, obwohl die thermische Zersetzungskurve der TGA-Analyse des Schwamms eine mehrstufige Massenänderung aufweist, welche auf verschiedene Bestandteile 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-Tests⁴² und einem erweiterten und modifizierten Oddy-Test-Verfahren⁴³ 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.⁴⁴ 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.⁴⁵ 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.⁴⁶ Deswegen wird empfohlen, zugeschnittene PUR-Schwämme nur dann punktuell anzuwenden, falls es für die Oberflächenstruktur des Objekts notwendig ist.⁴⁷ 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.⁴⁸ 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.⁴⁹ Zwar waren die meisten Verunreinigungen mittels SEM-BSE⁵⁰ nicht eindeutig analysierbar, aber wenige kristalline Fragmente wurden als Calciumcarbonat-Füllstoff und andere vage als Schwammstücke interpretiert.⁵¹ 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.⁵² 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.⁵³ Die durch das jeweilige Lösemittel gelösten Stoffe (Tab. 4) können potenziell auf die behandelte Oberfläche übertragen werden.

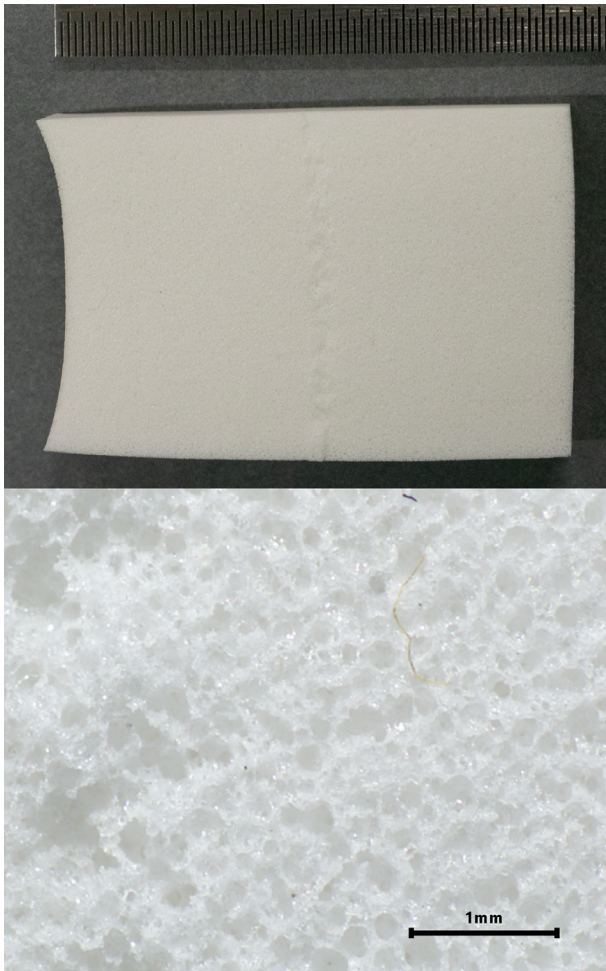
Bei der Umfrage zu PUR-Schwämmen 2023 gaben mehr als die Hälfte der Teilnehmenden an, die Schwämme vor Erstgebrauch nicht auszuwaschen. Die Gründe lagen sowohl in der Annahme, dass der Schwamm für den direkten Gebrauch vorgesehen ist, als auch in der Vermeidung eines zusätzlichen Arbeitsschrittes. Weiterhin wird nach reiner empirischer Beobachtung vereinzelt bemängelt, dass durch das Auswaschen des Schwamms die Schmutzaufnahmekapazität verringert⁵⁴ und die Stabilität geringfügig herabgesetzt würde.⁵⁵

Pietsch empfiehlt ein gründliches Auswaschen der PUR-Schwämme⁵⁶ aus dem Haushaltswarenbedarf mit Wasser vor dem Gebrauch.⁵⁷ 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.⁵⁸ 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.⁵⁹ Eipper erwähnt sowohl vor dem ersten als auch nach dem Gebrauch von PUR-Schwämmen ein Waschen bei 60 °C.⁶⁰

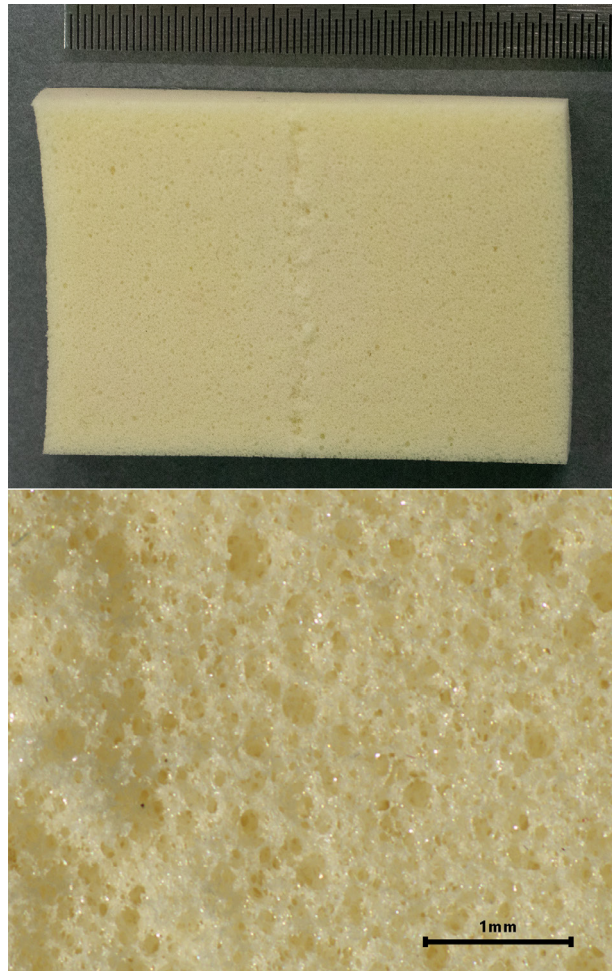
Im Rahmen dieser Arbeit konnten durch den Vergleich von FT-IR-Spektren eines neuen, zweimal in deionisiertem Wasser ausgewaschenen und eines nicht ausgewaschenen PUR-Schwamms (D&J) Veränderungen der Mengenverhältnisse von Silicat und Calciumcarbonat festgestellt werden.⁶¹ Beim nicht ausgewaschenen Schwamm 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.⁶²

Aus materialwissenschaftlicher Sicht empfiehlt Feldmann⁶³ 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.⁶⁴ Bei kontaminierten Oberflächen kann eine kontinuierliche Mehrfachverwendung des Reinigungsschwamms zur Verschleppung von Verunreinigungen führen.⁶⁵ 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.⁶⁶ Hinzu kommen äußere Umgebungsfaktoren, wie Licht und UV-Strahlen, Temperatur und Luftfeuchtigkeit, den Abbauprozess.⁶⁷ 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.⁶⁸ 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.⁶⁹ 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.⁷⁰

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.⁷¹

Fazit und Ausblick

Durch die durchgeführten Analysen der PUR-Ether-Schwämme waren keine bekannten, das Kunstwerk schädigenden Stoffe und insbesondere kein Vulkanisationsbeschleuniger MBT nachweisbar.⁷² 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.⁷³ 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.⁷⁴

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.⁷⁵

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 Schwammkrümel 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

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 [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.

