

# 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..

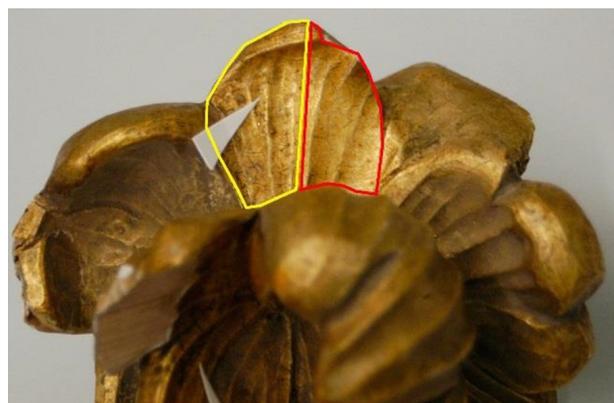
### Vorgeschichte

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.

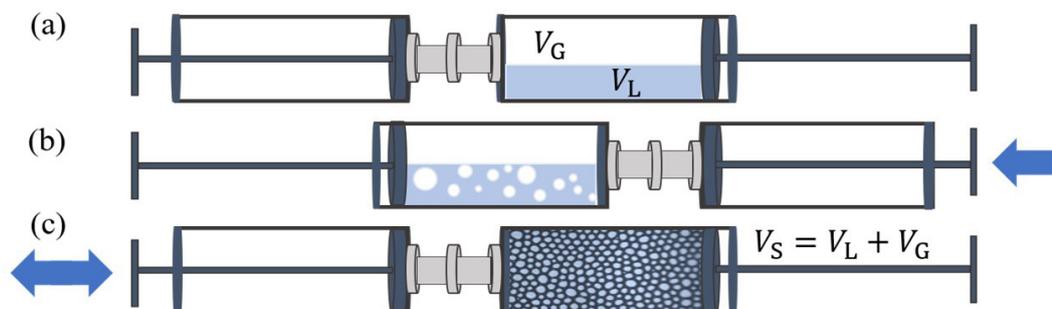
### Fragestellung

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.

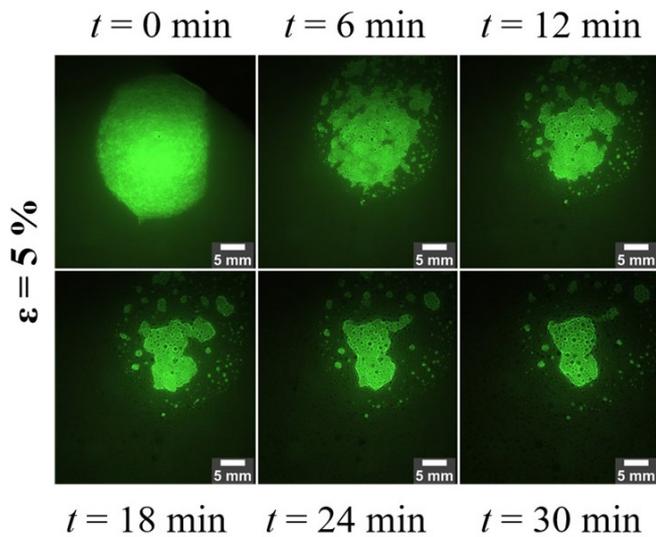
Am Zerfall des Schaums sind drei Mechanismen beteiligt.<sup>2</sup> Der erste ist die Drainage, wobei die Flüssigkeit aufgrund der Schwerkraft aus dem Schaum fließt. Der zweite Mechanismus ist die Koaleszenz, bei der die dünnen Schaumfilme zwischen den Schaumblasen platzen. Die Ostwald-Reifung ist der 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

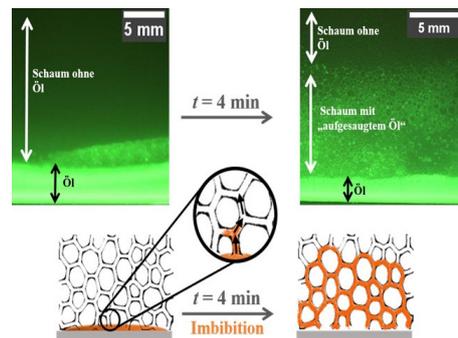


3 Reinigungstests mit einem Schaum mit einem Flüssigkeitsgehalt von 5 % auf der grün fluoreszierenden Modellverschmutzung zu verschiedenen Zeiten

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.

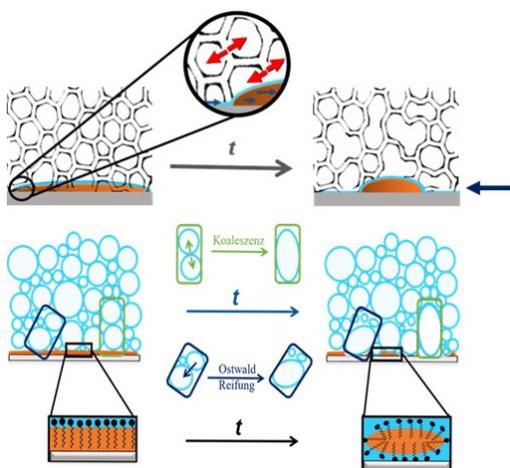
### Warum reinigt der Schaum?

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

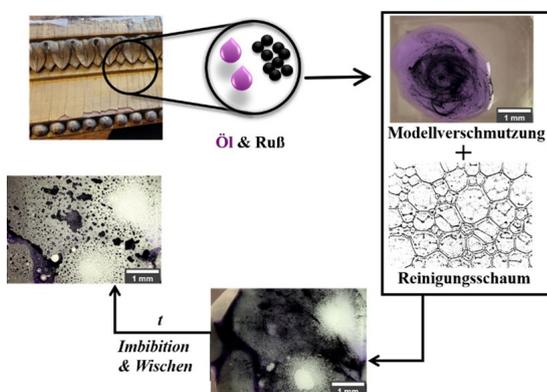
Durch die Koaleszenz und die Ostwald-Reifung bewegen sich die Schaumblasen auf der zu reinigenden Fläche und ordnen sich neu an. Durch diese Bewegungen entstehen starke Scherkräfte auf der Fläche, die dem händischen Abwischen eines Tisches ähneln, weshalb der Prozess als Wischen bezeichnet wird. Das 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 schonende, 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.

