



Technische Universität München



Fraunhofer

in Kooperation mit

IGB

Diplomarbeit

im Studiengang Restaurierung, Kunsttechnologie und
Konservierungswissenschaft

Parylene – eine Alternative in der Konservierung und Restaurierung

vorgelegt von

Jonas Jückstock

März 2012

Prüfer:

Prof. Erwin Emmerling

Dr. Uwe Vohrer

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit untersucht die Anwendungsmöglichkeiten von polymeren Parylenschichten auf Kulturgütern unterschiedlicher Materialien. In der Arbeit werden verschiedene Parylentypen, ihre Eigenschaften als auch ihre Vor- und Nachteile vorgestellt. Parylene werden mittels chemischer Gasphasenabscheidung auf die zu beschichtenden Substrate aufgetragen. So wird ermöglicht, berührungsfrei Polymerschichten besonders dünn aufzutragen. Parylene versprechen dadurch alternative Lösungen für Probleme der Konservierung und Restaurierung. Die Arbeit untersucht anhand zweier Parylentypen im Vergleich, inwiefern sich die verwendeten Parylene für die Konservierung und Restaurierung von Kulturgütern einsetzen lassen. Dabei werden die Schichten besonders auf mechanische und chemische Belastbarkeit, als auch auf ihre Beständigkeit gegenüber UV-Strahlung und Klimaschwankungen untersucht. Weiter wird aufgezeigt, inwiefern Parylenschichten empfindliche Materialien konsolidieren können und welche Möglichkeiten es gibt, aufgetragene Parylenschichten von Oberflächen wieder zu entfernen.

Abstract

This thesis analyzes the possibilities polymeric parylene coatings have to offer to use them on cultural heritage of different material. The study gives an introduction to the different parylene types and to their properties including their advantages and disadvantages. Parylenes are considered special, because they are deposited in chemical vapour and therefore making it possible to coat surfaces without any contact. Parylene coatings may be regarded as true solution for problems of conservation and restauration. Comparing parylene types this study examines parylene's usefulness for its appliance on cultural heritage. In addition, this paper explores the coating's resistance against mechanical, chemical, and climate-related stress. Also, its reaction to UV-exposure is tested. Furthermore, this study explores the coating's capabilities to consolidate fragile objects and how it can be removed from different surfaces.

Résumé

Ce mémoire de maîtrise étudie les possibilités de l'application de l'enduction avec des films polymère des parylènes sur le bien culturel. Cette étude donne une introduction des types parylènes différentes et ses propriétés, avantages et désavantages. Parylènes, déposant en phase vapeur, fait possible d'appliquer des revêtements minces. À travers parylènes offrent une bonne alternative pour quelques problèmes de la conservation et restauration. Cette œuvre enquête sur deux type des parylènes différentes. L'applicabilité des parylènes pour l'application sur bien culturel et la résistance des revêtements, contre rayonnement ultraviolet et contre stress mécanique, chimique et climatique sont testées. En plus les couches sont examinées concernant leur moyens à consolider des objets fragiles et comment décaper les films.

Erklärung

Ich, Jonas Jückstock versichere, dass ich diese Diplomarbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde noch keiner Kommission zur Prüfung vorgelegt und verletzt in keiner Weise Rechte Dritter. München den _____

Vorwort

Zuerst möchte ich mich ganz herzlich bei Dr. Uwe Vohrer für die ausgezeichnete Betreuung und Unterstützung während meiner Arbeit am Fraunhofer IGB bedanken.

Herrn Prof. Erwin Emmerling danke ich für meine Ausbildung und Begleitung während meines Studiums und meiner Diplomarbeit, besonders seine konstruktive Unterstützung, Anregung und Beratung diente mir stets als vertrauenswürdige Orientierung.

Weiter bedanke ich mich bei meinen Kollegen des Fraunhofer- Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik Stuttgart für die Zusammenarbeit und das angenehme Arbeitsklima.

Hier sei besonders Dipl. Ing. Bentsian Elkin für die hilfreiche Beratung und Unterstützung gedankt, sowie Dipl. Ing. Christina Weber für die Durchführung der UV-B Bestrahlung und Hilfestellung bei der FT-IR-Spektroskopie. Weiteren Dank gilt Dr. Christian Oehr, Dr. Michaela Müller, Dr. Jakob Barz, Dipl. Ing. Henrik Schykora und Monika Riedl. Für die Durchführung der Klimauntersuchung danke ich Dr. Paul Bellendorf, Gabriele Maas und Christian Mazzon vom Fraunhofer- Institut für Silicatforschung, Würzburg/ Bronnbach.

Die Bereitstellung der Artefakte, die für die Arbeit verwendet wurden verdanke ich:

Antiquariat: Daniela Kromp; Bayerisches Nationalmuseum: Frau Dipl. Rest. Dagmar Drinkler, Nico Deinzer und Egidius Roidl; Deutsches Museum: Frau Dr. Susanne Rehn und Dipl. Rest. Tatjana Kessler, Institut für Buch- und Handschriftenrestaurierung der Bayerischen Staatsbibliothek München: Frau Dr. Irmhild Schäfer und Ritsuko Schuster Ishii sei an dieser Stelle zusätzlich für die Unterstützung bei der Durchführung der Reißtests und Bereitstellung der Proben gedankt. Außerdem möchte ich mich bedanken bei: Landesmuseum Baden-Württemberg: Dr. Matthias Ohm, Dipl. Rest. Moritz Paysan und besonders bei Dipl. Rest. Verena Wollnik, die mir die Feinstrahlarbeiten in den Restaurierungswerkstätten ermöglichte. Dank auch an Sophie Kubitz. Weiterer Dank gilt den Restauratorinnen Meike Jockusch, Annegret Volk und Manuela Wiesend, für Unterkunft und Verpflegung. Mein besonderer Dank gilt meiner Großmutter Ursula Traun-Lieb für die Bereitstellung diverser Artefakte sowie meinen Eltern, die mir das Studium der Restaurierung ermöglicht haben.

Inhalt

1	Einführung	1
2	Vorgehensweise	3
3	Theoretische Grundlagen	4
3.1	Geschichte	4
3.2	Parylentypen – Vorteile und Eigenschaften	5
3.2.1	Zur Nomenklatur der Parylene	8
3.3	Schema der Parylenbeschichtung	8
4	Material und Methoden	13
4.1	Geräte	13
4.2	Chemikalien	14
4.3	Untersuchungsmethoden	14
4.3.1	Untersuchungsmethode der Beschichtungen	14
4.3.2	Mechanische Untersuchungsmethoden	15
4.3.3	Chemische Untersuchungsmethoden	17
4.3.4	Untersuchungsmethoden mittels Strahlung	18
4.3.5	Untersuchungsmethode zum klimatischen Verhalten	20
5	Versuchsdurchführung	21
5.1	Aufbau und Funktionsprinzip der Parylenbeschichtungsanlage am IGB	21
5.2	Applikation von Haftvermittlern (Primern)	23
5.3	Dokumentation des Vorzustandes	25
5.4	Durchführung der Beschichtungen	28
6	Ergebnisse	29
6.1	Ergebnisse der Untersuchung der Beschichtungen	29
6.2	Ergebnisse der Untersuchung zur Prüfung der Haftfestigkeit	54
6.2.1	Ergebnisse der Untersuchung zur Abnahme von Parylenschichten mittels Skalpell und Feinstrahlen an archäologischem Eisen	54
6.2.2	Ergebnisse der Untersuchungen zur Prüfung der Kratzfestigkeit von Parylenschichten und deren Entfernbarkeit mit Skalpell und Pinzette, Scotch – Tape – Test und Gitterschnittprüfung	54
6.3	Ergebnisse der Untersuchung zur Prüfung der Reißfestigkeit	62
6.4	Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten im täglichen Gebrauch	62
6.5	Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten gegenüber Lösemitteln	64
6.6	Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten gegenüber H ₂ S – Dämpfen	66
6.7	Ergebnisse der Untersuchung zum optischen Verhalten unter verschiedenen Leuchtmitteln	68
6.8	Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten gegenüber UV-B Strahlung	69
6.9	Ergebnisse der FT-IR-Spektroskopie	71

6.9.1	Ergebnisse Materialanalyse	71
6.9.2	Absorptionsspektren nach der UV-Bestrahlung	77
6.10	Ergebnisse der Untersuchung des klimatischen Verhaltens	82
7	Aktuelle Kosten für Parylenbeschichtungen	84
8	Zusammenfassung	85
9	Fazit und Ausblick	86
10	Literaturverzeichnis	V
11	Anhang	VII
11.1	Abbildungsverzeichnis	VII
11.2	Tabellenverzeichnis	VII
11.3	Versuchsprotokolle	IX
11.4	FT-IR – Spektren	X
11.5	Fotoverzeichnis	XI
11.6	Versuchsprotokolle und Beschichtungsparameter	XVI
11.7	Tabellen zu detaillierten Materialeigenschaften von Parylenen	XXIV
11.8	Fotodokumentation	XXVI
11.8.1	Vorzustand	XXVI
11.8.2	Zustand während der Bearbeitung	XXXVIII
11.8.3	Zustand nach der Beschichtung	XLV
11.8.4	Zustand nach der Schichtbeprobung	LIV
11.9	Angebote zu Parylenbeschichtungen	LVIII
11.10	Sicherheitsdatenblätter und sonstige Anlagen	LX

Abkürzungsverzeichnis

μm	Mikrometer
Ag	Silber
Al	Aluminium
Au	Gold
CH_4	Methan
cm^{-1}	Wellenzahl
Cu	Kupfer
CVD	chemical vapor deposition
d	Tag
Fa.	Firma
FT-IR - Spektrometer	Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer
g	Gramm
g/cm^3	Gramm pro Kubikzentimeter
g/mol	Gramm pro Mol
Gew.-%	Gewichtsprozent
h	Stunde
HCl	Salzsäure
H_2	Wasserstoff
H_2O	Wasser
H_2S	Schwefelwasserstoff
H_2SO_4	Schwefelsäure
$\text{H}_8\text{N}_2\text{S}$	Ammoniumsulfid
IBR	Institut für Buch- und Handschriftenrestaurierung München
IGB	Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik, Stuttgart
IPA	Isopropanol
K	Kelvin
Λ	Wellenlänge
l	Liter
LN_2	Flüssigstickstoff
mBar	Millibar
min	Minute
mind.	mindestens
mJ	Millijoule
mJ/cm^2	Millijoule pro Quadratzentimeter
ml	Milliliter
mm	Millimeter

mm/min	Millimeter pro Minute
mol	Mol
mol/l	Mol pro Liter
mW/cm ²	Milliwatt pro Quadratcentimeter
n	Brechungsindex
N	Newton
NaOH	Natronlauge
nm	Nanometer
PVC	Polyvinylchlorid
qm	Quadratmeter
rF in %	relative Feuchte in Prozent
s	Sekunde
SCS	Specialty Coating Systems™
T °C	Temperatur in Grad Celsius
Temp.	Temperatur
UV	Ultraviolett
V	Volt
VDP	vapor deposition polymerization
Vol.%	Volumenprozent
W	Watt

1 Einführung

Diese Diplomarbeit entstand, basierend auf einer vorangegangenen Seminararbeit „Versuche zur Parylenbeschichtung und Plasmareinigung“ TUM 2011¹, die im Rahmen des Forschungsprojekts „Plasmatechnologie – eine innovative Technologie zur Konservierung und Restaurierung von Kulturgütern“ der Forschungsallianz Kulturerbe in Zusammenarbeit mit den Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Landesmuseum Stuttgart, der Archäologischen Staatssammlung München und dem Lehrstuhl für Konservierung und Restaurierung an der Akademie der bildenden Künste Stuttgart entstanden ist. In der Seminararbeit wurde untersucht, inwiefern sich Polymerschichten aus Parylen C auf archäologische Artefakte, Metalle und Papier aufbringen lassen. Die Ergebnisse der Arbeit zeigten, dass Schichten mit einer Dicke unter 1,0 µm Interferenzen zeigten, die als Irisieren wahrgenommen wurden. Es wurde außerdem gezeigt, dass Parylen C – Schichten stabil gegen Säuren und Laugen sind, jedoch nur bedingt UV-stabil. Die beschichteten Papiere wurden durch die Beschichtung gefestigt.

In vorliegender Arbeit sollten weiterführende Untersuchungen zu den Parylenpolymeren durchgeführt werden. Der Interessensschwerpunkt lag dabei auf der Applikation zweier unterschiedlicher Parylene (Parylen N und Parylen C) auf Substraten unterschiedlicher Materialien, deren Konservierung und Festigung in der Restaurierung als problematisch angesehen werden. Es sollte untersucht werden, inwiefern sich Polymerschichten aus Parylen N und Parylen C im Vergleich zueinander eignen, um empfindliche Substratoberflächen zu konservieren und sich als Festigungsmittel eignen. Die Schichten sollten weiterhin auf ihre Haftfestigkeit auf unterschiedlichen Materialien mit unterschiedlichen Oberflächengeometrien untersucht werden. In diesem Zusammenhang sollte außerdem getestet werden, inwiefern Haftvermittler auf schlecht zu beschichtenden Substraten die Haftung verbessern können. Weiter sollte untersucht werden, inwiefern sich applizierte Schichten mit mechanischen und chemischen Mitteln entfernen lassen. Zudem sollte die Stabilität der Schichten gegenüber aggressiven Dämpfen, UV-B-Strahlung und Schwankungen im Raumklima untersucht werden. Nicht zuletzt sollten die aufgetragenen Schichten auch ästhetischen Ansprüchen gerecht werden.

Parylene sind in der Restaurierung und Konservierung von Kulturgut nur in geringem Maße erforscht. Erste Forschungen dazu lieferte Bruce Humphrey², der besonders die Konservierung und Einkapselung von Büchern und einzelnen Papierblättern empfiehlt. Sein Anstoß, Parylene als Konservierungsmaterial zu nutzen, fand besonders in Nordamerika Anklang, wo in mehreren Institutionen Versuche zur Parylenbeschichtung durchgeführt wurden. Namentlich seien das Canadian Conservation Institute, das Royal British Columbia Museum in Zusammenarbeit mit dem Getty Conservation Institute und das American Museum of History genannt. Anwendungsschwerpunkte waren die Konservierung von Archivmaterial aus Papier, von naturhistorischen, ethnologischen

¹ J. Jückstock 2011.

² B. Humphrey 1984.

1 Einführung

Objekten und biologischen Präparaten.³ In Deutschland untersuchten 1997 Helmut Bansa und Ritsuko Ishii am Institut für Buch- und Handschriftenrestaurierung die Festigungswirkung von Parylenen auf Papier im Vergleich zu anderen Festigungsmethoden, um Laminieren und Anfasern. Letztere warnen jedoch vor einer Anwendung von Parylenen im Bereich der Papierrestaurierung, da ihre Tests der beschleunigten Alterung den Abbau von parylenbeschichtetem Holzschliffpapier beförderten.⁴ Die vorliegende Arbeit möchte die Erforschung der Anwendbarkeit von Parylenbeschichtungen wieder aufnehmen und auf weitere Anwendungsgebiete überprüfen.

³ Humphrey 1990, S. 49-50.

⁴ Bansa/ Ishii 1997, S. 71.

2 Vorgehensweise

Für die Arbeit wurden, ausgehend von Problemen in der Restaurierung, und unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der vorangegangenen Seminararbeit Untersuchungsschwerpunkte festgelegt, die vertieft Einblick in die Anwendbarkeit von Parylenen auf Kulturgut geben sollen. Empfindliche Materialien – gealtertes Zeitungspapier, gealterte Seide, gealtertes Pastell, Pergament, Leder und fossiles Elfenbein – wurden verwendet um zu untersuchen, inwiefern sich Parylene eignen, diese Materialien zu verfestigen und wie sich die Beschichtungen auf den feuchteempfindlichen Substraten unter klimatischen Schwankungen verhalten. Weiter wurde die Anwendung von Parylenschichten auf empfindlichen Oberflächen von glasierter Keramik, Fotoaufnahmen, Diapositivfilmen und Glasplattennegativen auf ihre Anwendbarkeit als Konservierungsmittel getestet, wobei besonders die optischen Qualitäten der Parylenschichten bei den transparenten Materialien interessierten.

Bei einer Auswahl von Kunststoffen, – einem Treibriemen aus einer Erzbereitungsanlage; ein PVC-Spielzeug, einem schwammartigen Kunststoffes aus einem Mikrophon-Hauptverstärker, sowie eine Schlittschuhsohle sollte untersucht werden, inwiefern sich Parylenbeschichtungen zur Verfestigung poröser Kunststoffe eignen und ob Parylenschichten als Schutzschichten gegen UV-Strahlung geeignet sind, da besonders Kunststoffe durch UV-Strahlung geschädigt werden. Für die Untersuchung der mechanischen und chemischen Beständigkeit wurden verschiedene Metalloberflächen ausgewählt. Für die Untersuchung der Haftfestigkeit wurden Kupferplättchen, vergoldete und versilberte Kupferplättchen und oxidierte Silbergußrohlinge ausgewählt. Bei Oberflächen edler Metalle wie Gold ist aufgrund fehlender Oxidschichten die Haftung von Parylenen ungenügend⁵, weswegen an solchen Oberflächen eine Verbesserung der Haftfestigkeit mittels Primern untersucht wurde. Um zu untersuchen wie sich Parylenschichten im täglichen Gebrauch verhalten, wurden oxidierte Silbergußrohlinge beschichtet, und anschließend für 28 Tage an einem Schlüsselbund getragen.

In der Seminararbeit wurde beobachtet, dass es bei hochreflektierenden glatten Oberflächen zu Interferenzen bei monochromatischer Beleuchtung kam. Um diesen Effekt näher zu untersuchen und zu beschreiben wurden geprägte Unzen aus Feinsilber sowie polierte Edelstahlplättchen beschichtet und mit Leuchtmitteln unterschiedlicher Spektren untersucht. An mehreren archäologischen Artefakten wurde die Parylenbeschichtung auf Haftfestigkeit und Entfernbarekeit von rauen und porösen Oberflächen getestet.

⁵ Freundliche Mitteilung von Elkin.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Geschichte

Parylen, auch Poly(p-Xylylen) genannt, ist einer der bekanntesten Beschichtungsstoffe für die chemische Gasphasenabscheidung (CVD; chemical vapor deposition). Es wurde 1947 von Michael Mojzesz Swzarc in England an der Universität von Manchester entdeckt, als er Untersuchungen zu der Bindungsenergie von C – H – Bindungen in Toluol und Xylol durchführte. Bei der Vakuumpyrolyse (700–900° C) von p-Xylen stellte Swzarc fest, dass es sich bei der Reaktion um eine homogene Gasreaktion erster Klasse handelt.⁶ Das bedeutet, dass bei der Pyrolyse die Ausgangssubstanzen zu hundert Prozent in die Gasform (H₂ und CH₄) überführt werden. Dabei beobachtete er auch, dass sich in kälteren Bereichen der Pyrolysezone eine folienartige Polymerschicht ablagerte.⁷ Swzarc erkannte die Besonderheit seiner Entdeckung und deutete die chemischen Reaktionsabläufe, die zur Polymerisation führten, richtig.⁸ Die Polymerschicht wurde als Swzarcite bezeichnet, welches heute als Parylen N gehandelt wird.

1966 wurden Parylenfilme durch William Franklin Gorham bei Union Carbide weiter entwickelt. Gorham nutzte erstmals eine feste, pulvrige Form des Dimers, anstelle von flüssigem p-Xylen. Er benutzte das Dimer [2,2]Paracyclophan, (Di-Para-Xylylen), welches erstmals 1951 von Donald Cram⁹ synthetisiert wurde und entwickelte dadurch einen neuen Weg der Synthese von Parylen. Da das [2,2]Paracyclophan mit unterschiedlichen funktionellen Gruppen ausgestattet werden kann, war es nun auch möglich die Eigenschaften der Parylenschichten zu variieren.¹⁰ Gorhams Methode erlaubte es, den VDP-Prozess (VDP; Vapor deposition polymerization) bei einem Druck von weniger als 1,3 mbar und geringeren Brenntemperaturen von ca. 550° C ablaufen zu lassen.¹¹ Gorham erreichte damit eine Reduzierung der gasförmigen Nebenprodukte, welche die Beschichtung beeinträchtigen, sowie eine Verbesserung der Qualität bei dünnerer Schichtstärke. Eine wirtschaftlichere Verwendung und Kommerzialisierung von Parylenen wurde so möglich.

6 Swzarc 1948, S.132.

7 Swzarc 1948, S.134.

8 Vgl. Swzarc 1947, S. 48.

9 Vgl. Fortin/Lu 2004, S. 27.

10 Gorham 1966, S. 3039.

11 Vgl. Fortin/Lu 2004, S. 4.

3.2 Parylentypen – Vorteile und Eigenschaften

Die Verwendung von [2,2]Paracyclophan (Di-Para-Xylylen) als Dimer ermöglichte es durch chemische Reaktionen weitere funktionelle Gruppen einzuführen und somit verschiedene Typen von Parylenen herzustellen. Dadurch konnte das Anwendungsspektrum der Parylenbeschichtung erweitert, die Eigenschaften der abgedruckten Schichten optimiert und an die Anforderungen der zu beschichtenden Produkte angepasst werden.

Da Parylene im CVD-Verfahren aufgetragen werden, haben sie im Vergleich zu anderen Beschichtungsverfahren, wie Lackieren, Tauchen, Spritzen oder Sprühen, den entscheidenden Vorteil, dass durch sie Oberflächen getreue Schichten aufgebracht werden können.¹²

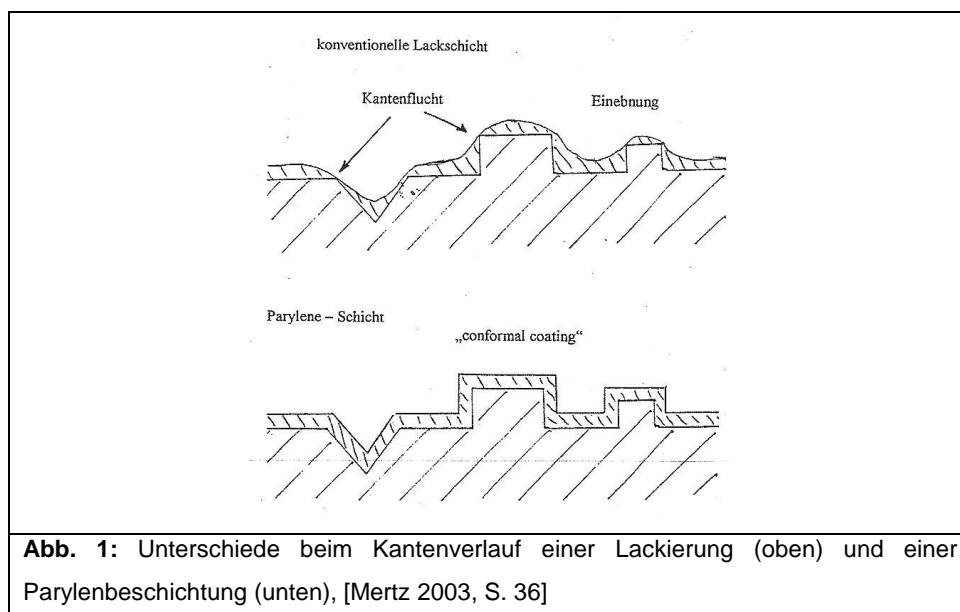


Abb. 1: Unterschiede beim Kantenverlauf einer Lackierung (oben) und einer Parylenbeschichtung (unten), [Mertz 2003, S. 36]

So können Substrate bei Raumtemperatur ultradünn mit einer Schichtstärke unter 500 nm beschichtet werden, ohne dass sich ein Kantenfluchteffekt einstellt oder dass sich Bläschen (pinholes) bilden.¹³ Der Kantenfluchteffekt tritt besonders bei Applikationen aus der flüssigen Phase durch das Einwirken der Schwerkraft auf. Dabei entstehen Schwächezonen in der Beschichtung. Viele Polymerbeschichtungen müssen zudem oberflächlich mechanisch, chemisch oder thermisch behandelt werden, damit die Beschichtungen haften oder aushärten. Bei Beschichtungen aus der flüssigen Phase werden häufig Lösemittel eingesetzt, die nach der Kondensation einen Polymerfilm zurücklassen und nur auf lösemittelbeständigen Oberflächen einsetzbar sind. Bei lose aufliegenden Partikeln oder Pulvern bieten Parylenbeschichtungen durch das Auftragen aus der Gasphase den Vorteil, quasi berührungsfrei Schichten aufzutragen, die durch andere Beschichtungsverfahren, außer durch Aerosole in der Restaurierung nicht erzielt werden können. Die aufgetragene Schicht ist lösemittelfrei und keinerlei Veränderung durch Trocknung oder Quellen unterworfen. Parylenschichten zeichnen sich außerdem dadurch aus, dass sie chemisch inert sind, eine hohe Temperatur- und

¹² Vgl. Fortin/Lu 2004, S. 3.

¹³ Vgl. Mertz (2003), S. 35-36 .

3 Theoretische Grundlagen

Chemikalienresistenz sowie eine hohe Durchschlagsfestigkeit bei niedriger Permittivität und einen niedrigen Reibungskoeffizienten aufweisen. Sie sind außerdem biokompatibel (Zertifikat USP Class IV) und teilweise UV-beständig.¹⁴

Die in der Industrie am häufigsten gebrauchten Parylene sollen vorgestellt werden.

Parylen N

Parylen N, auch Di-Para-Xylylen, ist die einfachste Form der Parylene und besteht aus zwei Benzolringen, die jeweils am ersten und vierten C-Atom mit Methylengruppen substituiert sind und über zwei Methylenebindungen verbunden sind.

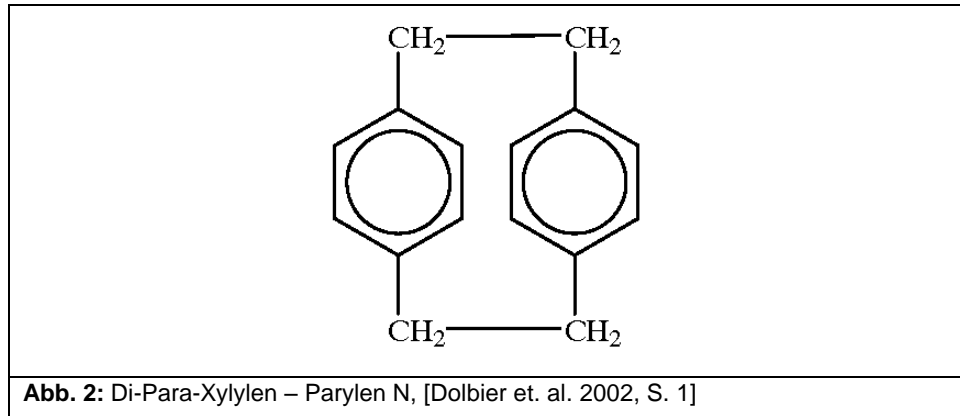


Abb. 2: Di-Para-Xylylen – Parylen N, [Dolbier et. al. 2002, S. 1]

Parylen N verfügt über eine sehr hohe Durchschlagsfestigkeit bei niedriger Dielektrizitätskonstante, hat eine sehr gute Spaltgängigkeit (halbe Schichtdicke nach 40 x Porendurchmesser) und weist eine hohe Chemikalienresistenz gegen Säuren und Laugen sowie Dampfdichtigkeit gegenüber einzelnen Gasen auf. Der Schmelzpunkt liegt bei 420° C, wobei für andauernde thermische Belastungen 60° C nicht überschritten werden sollten. Die Dichte liegt bei 1,10-1,12 g/cm³ mit einem Brechungsindex von $n = 1,661$.¹⁵

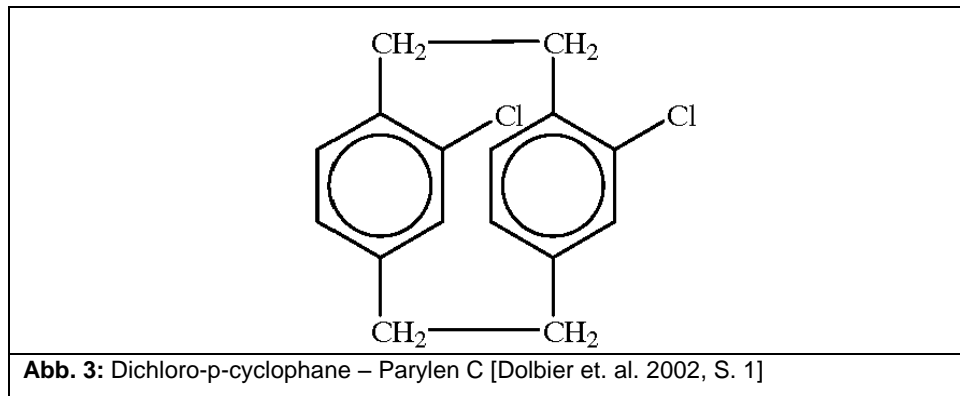
Parylen C

Parylen C, auch Dichloro-p-cyclophane besteht aus zwei Benzolringen, die jeweils am zweiten C-Atom der Benzolringe mit einem Chloratom und jeweils am ersten und vierten C-Atom des Ringes mit Methylengruppen substituiert sind.

¹⁴Tagungsheft: Specialty Coating Systems - Parylene Seminars Spring 2011, 11.05.2011 Stuttgart, Stuttgart 2011.

¹⁵ Ebd.

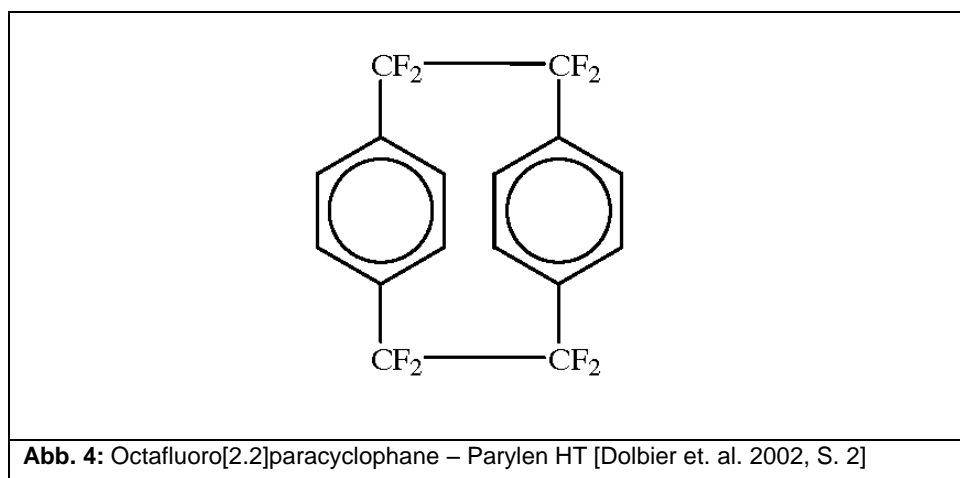
3 Theoretische Grundlagen



Parylen C weist gegenüber Parylen N eine geringere Durchschlagsfestigkeit bei höherer Dielektrizitätskonstante bei 8-fach geringerer Spaltgängigkeit auf. Der Schmelzpunkt liegt bei 290° C, wobei für andauernde thermische Belastungen 80° C nicht überschritten werden sollten. Die Dichte liegt bei 1,289 g/cm³ mit einem Brechungsindex von $n = 1,639$.¹⁶ Parylen C zeichnet sich vor allem durch seine hervorragende Barrierewirkung gegenüber Gasen und Wasserdampf aus.

Parylen HT

Parylen HT, auch Octafluoro[2.2]paracyclophane, besteht aus zwei Benzolringen, die jeweils am ersten und vierten C-Atom mit einer -CF₂-Gruppe substituiert sind.



Es weist gegenüber Parylen C eine geringere Durchschlagsfestigkeit auf, hat im Vergleich jedoch die niedrigste Dielektrizitätskonstante. Die Spaltgängigkeit ist 10-mal höher als bei Parylen C. Es hat eine geringere Barrierewirkung gegenüber Gasen und Wasserdampf und eine Dichte von 1,32 g/cm³ bei einem Brechungsindex von $n = 1,559$.¹⁷ Parylen HT zeichnet sich besonders durch seine hohe Temperaturbeständigkeit aus, der Schmelzpunkt liegt bei über 500° C, kontinuierliche thermische

¹⁶ Tagungsheft: Specialty Coating Systems - Parylene Seminars Spring 2011, 11.05.2011 Stuttgart, Stuttgart 2011 .

¹⁷ Ebd.

3 Theoretische Grundlagen

Belastungen sollen dabei 350° C nicht überschreiten.¹⁸ Damit einhergehend ist Parylen HT, als einziges Produkt, beständig gegen UV-Strahlung.

3.2.1 Zur Nomenklatur der Parylene

Die vorgestellten Parylene N, C und HT entsprechen den Produktnamen der früheren Firma Union Carbide, heute Specialty Coating Systems™, welche als erste Parylene kommerziell hergestellt und vertrieben hat und als Firma wesentlichen Anteil an der Entwicklung der Parylene hatte. Durch das Auslaufen des Patentschutzes haben sich weitere Firmen auf Parylenbeschichtungen spezialisiert. Einige Firmen bringen daher ihre eigenen Produkte, die einer eigenen Namensgebung folgen auf den Markt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der bedeutendsten drei Anbieter.

Tabelle 1: Anbieter von Parylenen

Substanz	[2.2]Para-Cyclophane	Dichloro[2,2]paracyclophane	Octafluoro[2.2]paracyclophane
CAS-Nr	1633-22-3	10366-05-9	3345-29-7
Firma SCS			
Produkt Name	Parylen N	Parylen C	Parylen HT
Firma Galentis S.r.l.			
Produkt name	Galxyl N	Galxyl C	-
Firma Kisco Conformal Coating LLC.			
Produkt name	diX N	diX C	diX SF

3.3 Schema der Parylenbeschichtung

Parylenschichten werden über chemische Gasphasenabscheidung unter Vakuum aufgetragen. Der Beschichtungsvorgang erfolgt in drei Schritten.

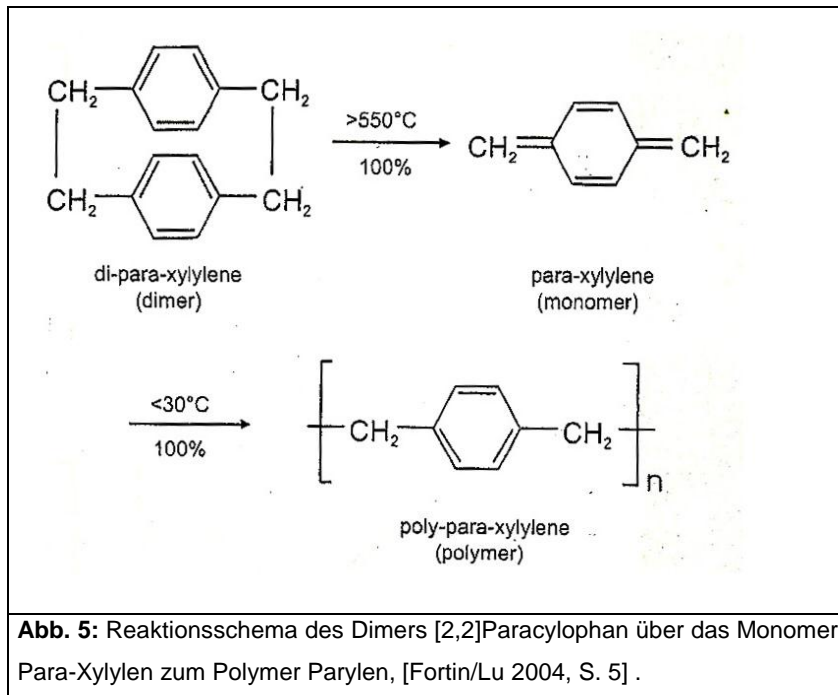
1. Schritt: Sublimation

Das Dimer, welches als Ausgangssubstanz für die folgende Parylenschicht benötigt und in verschiedenen Variationen angewendet wird, wird im ersten Schritt sublimiert. Dazu wird es unter Vakuum auf über 80° C erhitzt, wobei es im Bereich von 140° C – 170° C direkt vom festen in den gasförmigen Zustand übergeht.¹⁹

¹⁸ Ebd.

¹⁹ Vgl. Fortin/Lu: 2004, S. 28.

3 Theoretische Grundlagen



2. Schritt: Pyrolyse

Das entstandene Gas wird nun im Vakuum durch die Pyrolysezone geleitet. Bei Temperaturen über 385° C beginnt die Spaltung des gasförmigen Dimers zum reaktiven Monomer. Bei Temperaturen über 565° C²⁰, 600° C²¹ und 665° C²² wird das Dimer zu 100 % ins Monomer überführt. Dabei werden die Methylenebindungen, die unter relativ hoher räumlicher Spannung stehen aufgebrochen und in die vergleichsweise stabile Form des para-Xylylens überführt.²³

Das Monomer liegt dabei intermediär in zwei unterschiedlichen Stadien sowohl als Chinon, als auch als Benzoid vor, wobei die benzoide Form ein Diradikal ist.²⁴ M. Szwarc konnte bereits 1947 ausgehend von p-Xylol die Existenz des Diradikals nachweisen.²⁵

²⁰ Ebd. S. 37 .

²¹ Gorham:1966, S. 3027.

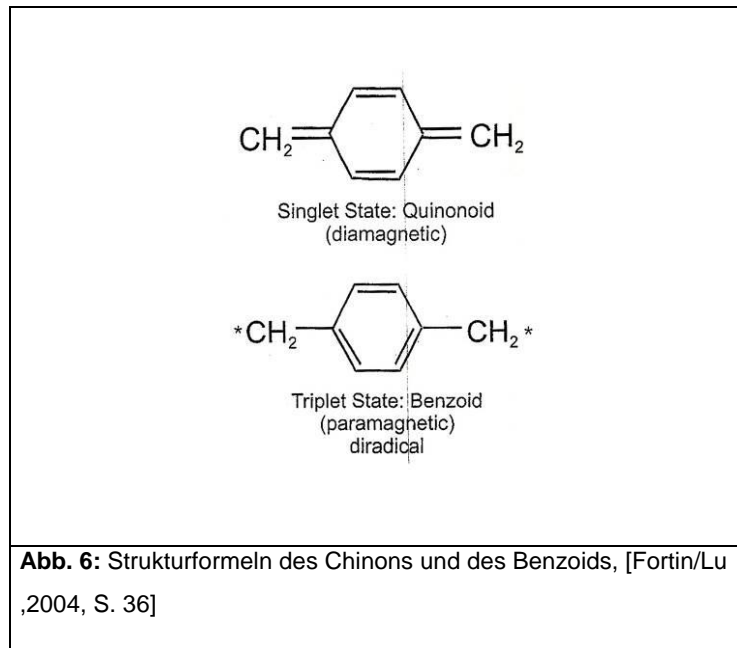
²² Vgl. Fortin/Lu 2004, S. 29.

²³ Gorham 1966, S. 3030.

²⁴ Vgl. Fortin/Lu: 2004, S. 36.

²⁵ Vgl. Szwarc 1947, S. 48, 49.

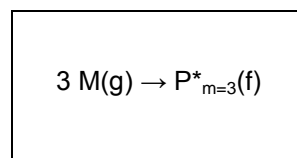
3 Theoretische Grundlagen



3. Schritt: Polymerisation

Da die benzoide Form wesentlich energetischer ist, ist sie erwiesener Maßen nicht annähernd im Gleichgewicht mit der chinoiden Form, welche als stabilere Form bevorzugt wird, so dass nur ein kleiner Prozentsatz des Monomers als Diradikal vorliegt. Da das Monomer jedoch nur unter Vakuum und als heißes Gas stabil ist, ist es selbst als Chinon noch so stark reaktiv, dass es sich bei Raumtemperatur auf dem Substrat abscheiden lässt.²⁶ Oberflächen, die weit über dem Schwellenwert der Kondensationstemperatur des jeweiligen Parylens liegen, werden nicht beschichtet.²⁷

Die Polymerreaktion wird nach folgender Gleichung gestartet:



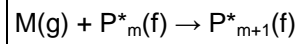
Dabei steht M für das Monomer, P für das Polymer, m gibt die Anzahl der Monomere im Polymer an und *, dass es sich um ein radikales Kettenende handelt. (g) = gasförmig und (f) = fest kennzeichnen die Aggregatzustände in denen sich die jeweiligen Substanzen befinden. In diesem Fall werden drei Monomere benötigt, um die Polymerreaktion zu initiieren und eine Polymerschicht auf dem Substrat entstehen zu lassen.

Die Reaktion setzt sich anschließend nach folgender Gleichung fort, bis die vorhandene Menge an Monomeren durch vollständige Umsetzung erschöpft ist:

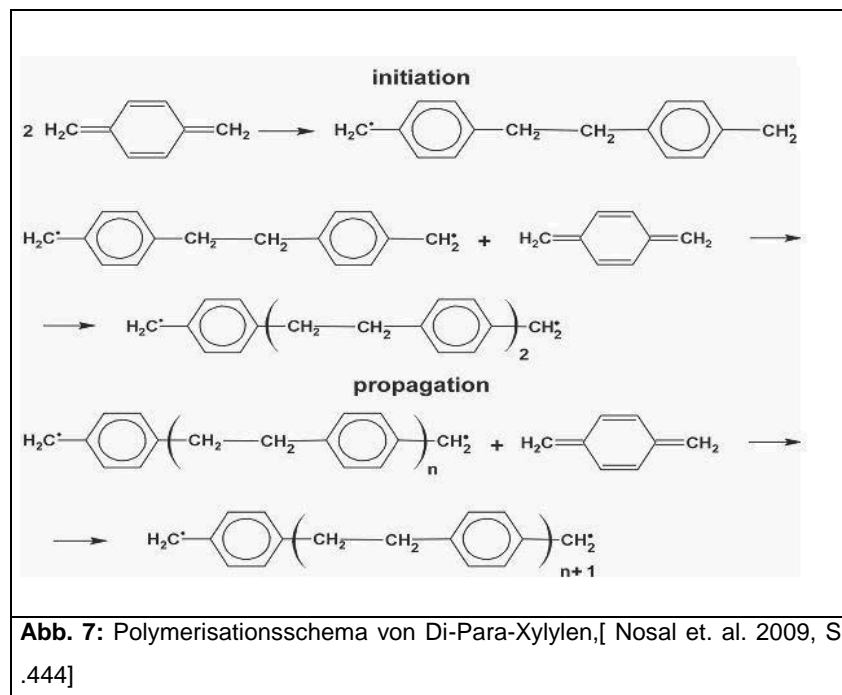
²⁶ Vgl. Fortin/Lu 2004, S. 35.

²⁷ Gorham 1966, S. 3029.

3 Theoretische Grundlagen

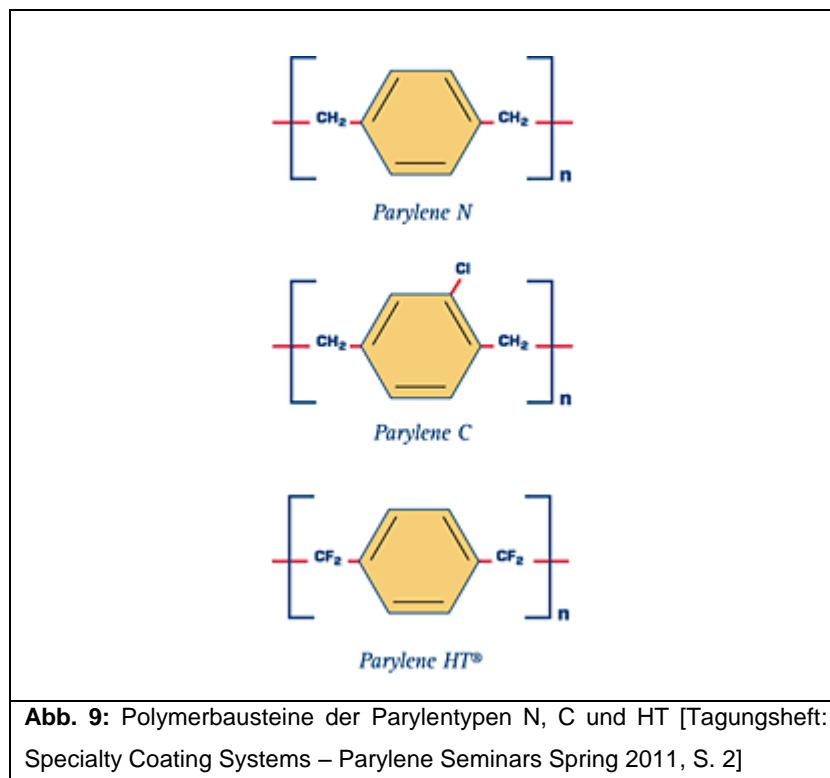
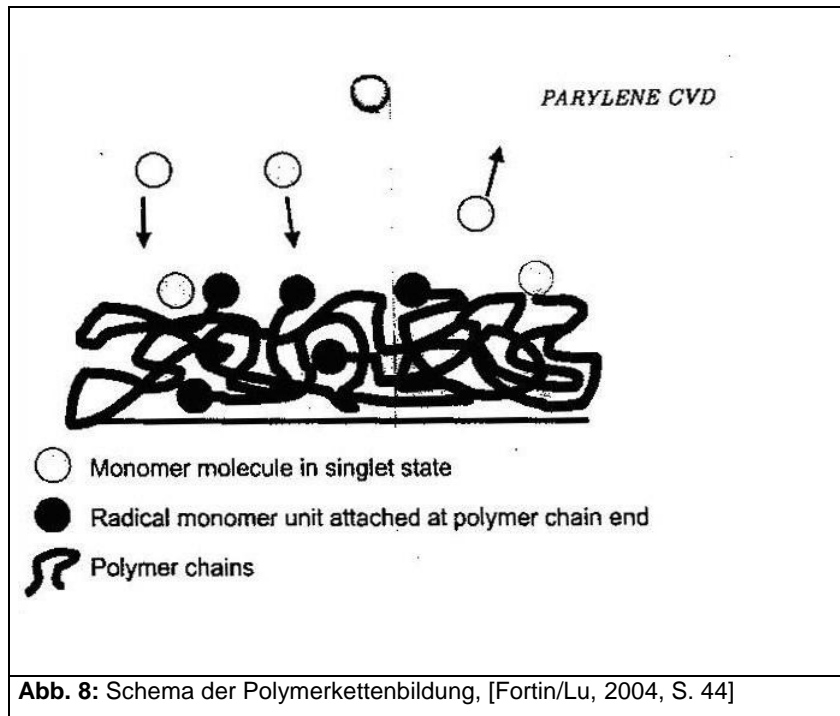


Der Verbrauch an Monomeren ist jedoch bei diesem Schritt der Polymerisation um das 2 – 3 fache größer als bei der Initiation der Polymerisation.²⁸ Ein Loslösen einzelner Monomere von der Oberfläche ist dabei möglich, der Beschichtungsprozess dauert solange an bis alles Dimer verdampft, pyrolysiert und als Polymer abgeschieden wurde.



²⁸ Vgl. Fortin/Lu 2004, S. 43.

3 Theoretische Grundlagen



4 Material und Methoden

4.1 Geräte

In Tabelle 2 sind alle Geräte aufgelistet, die für diese Arbeit verwendet wurden.

Tabelle 2: Geräteverzeichnis

Gerät	Bezeichnung	Hersteller/Lieferant
Analysenwaage	XS205	Mettler-Toldeo GmbH, Gießen
Feinstrahlgerät	Wika Feinstrahl Typ Eg 1	Wülsag Apparatebau AG, Zofingen (Schweiz)
Fotozelt	Tente à photo – petit modèle	Somikon, Selestat Cedex (Frankreich)
Glühlampe	OR 35 ⁰	Osram AG, München
Halogenstrahler	GU 10	Philips Deutschland GmbH, Hamburg
IR-Spektrometer	Equinox 55	Bruker, Ettlingen
Kamera	Nikon D 40	Nikon GmbH, Düsseldorf
Kameraobjektiv	Nikon Dx, AF-S Nikkor 18-55 mm 1:3.5 – 5.6 G II ED	Nikon GmbH, Düsseldorf
Klimakammer	WK 600	Weiß Technik AG, Altendorf (Schweiz)
Leuchtstofflampe - Tischlampe	Sylvania Standard F15W/129 –T8 warm white	Osram AG, München
Leuchtstofflampe - Raumbelichtung	Osram L58 / 25W Universal White	Osram AG, München
Parylenbeschichtungsanlage	PDS 2010 Labcoter™ 2	Specialty Coating Systems, Indianapolis, (USA)
Permacel Klebeband	P-99	Permacel, Wisconsin, (USA)
Ringlicht 5400K	Fluorescent Studiilight – Model No:No – 1327	Somikon, Selestat Cedex (Frankreich)
UV-Bestraher	Stratalinker UV-Crosslinker 1800	Stratagene, über Agilent Waldbronn
Vakuumtrockenschrank	MPC – Multilab	MPC Laborgeräte GmbH, Bochum
Zug- und Druckprüfmaschine	„EasyTest“ 86802 IE Nr. 27659	Karl Frank GmbH, Birkenau

4 Material und Methoden

4.2 Chemikalien

In Tabelle 3 sind alle Chemikalien aufgelistet, die in dieser Arbeit verwendet wurden.

Tabelle 3: Chemikalienverzeichnis

Chemikalie	Reinheit	CAS- Nummer	Hersteller/Lieferant
2-Mercaptobenzimidazole	97 %	CAS 583-39-1	Alfa Aesar GmbH&Co KG über Th. Geyer GmbH & Co, Renningen
Aceton	Reinst	CAS 67-64-1	Th. Geyer GmbH & Co, Renningen
Alloy Primer [®]	–	–	Kuraray Europe GmbH, Frankfurt
Ammoniumsulfid	20 Gew.-% Lsg. in Wasser	CAS 12135-76-1	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
Galxyl* C		CAS 10366-05-9	Galentis s.p.a., Marcon (Italien)
Galxyl* N		CAS 1633-22-3	Galentis s.p.a., Marcon (Italien)
Hexan	Anhydrous 95 %	CAS 110-54-3	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
Isopropanol	99,7 %	CAS 67-63-0	Th. Geyer GmbH & Co, Renningen
Natronlauge	1 mol/l vol. Lsg.	CAS 1310-73-2	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
Salzsäure	0,5 mol/l vol. Lsg.	CAS 7647-01-0	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
Schwefelsäure	25% 98,08 g/mol	CAS 7664-93-9	Merck KGaA, Darmstadt

4.3 Untersuchungsmethoden

4.3.1 Untersuchungsmethode der Beschichtungen

Die Beschichtungen wurden auf optische, haptische und festigende Eigenschaften sowie auf ihre Benetzungsfähigkeit untersucht.

Für die optischen Untersuchungen wurden die Beschichtungen makroskopisch unter Tageslicht und unter einer Leuchtstofflampe der Raumbelichtung betrachtet und auf optische Änderungen und Auffälligkeiten, wie etwa in gewissen Glanzwinkeln auftretende Interferenzen untersucht und mit einer unbeschichteten Referenz verglichen. Gleichermaßen wurden haptisch feststellbare Unterschiede sowie festigende Eigenschaften durch die aufgebrauchte Beschichtung subjektiv bewertet. Für die Untersuchung der Benetzungsfähigkeit wurde mit einer Pipette ein Wassertropfen auf die Oberfläche gegeben, der entsprechende Kontaktwinkel wurde durch Schätzung bestimmt. Durch anstellen der Proben in einem Winkel von 60 – 90° wurde untersucht, wie der Tropfen von der Oberfläche abrollt

4 Material und Methoden

und ob Flüssigkeitsrückstände zu beobachten waren. Eine entsprechende Skala von Bewertungskriterien hinsichtlich der Eigenschaften wurde erstellt.






4.3.2 Mechanische Untersuchungsmethoden

4.3.2.1 Untersuchungsmethode zur Prüfung der Haftfestigkeit

Um die Haftfestigkeit der Beschichtungen zu prüfen wurde auf glatten Oberflächen versucht die Schichten durch Kratzen zu verletzen. Kratzproben wurden mit Materialien unterschiedlicher Härte durchgeführt: Fingernagel, Holz, Glas, Metall. Außerdem wurden die Oberflächen mit dem Scotch-Tape-Test beprobt. Hierzu wurde das Klebeband P-99 der Fa. Permacel auf die beschichtete Oberfläche gedrückt, für eine Minute dort belassen und dann in einem Winkel von etwa 60° mit etwa gleichbleibender Geschwindigkeit abgezogen. Der Scotch-Tape-Test ermöglicht so eine subjektive Einschätzung der Schichthaftung. Außerdem wurde so überprüft, ob das Abnehmen von Parylenschichten mittels Klebeband ein probates Mittel zur Schichtentfernung ist. Bei den mit Haftvermittlern versehenen Substraten wurde außerdem eine Gitterschnittprüfung, vergleichbar nach DIN EN ISO 2409, durchgeführt. Dazu wurde in die Schicht ein Gitternetz aus 25 quadratischen Zellen im Abstand von 5 mm geschnitten. Anschließend wurde das Klebeband auf die Oberfläche gedrückt und wie beim Scotch-Tape-Test abgezogen. Anhand einer Tabelle wurden die Beurteilungen der Ergebnisse vorgenommen. Diese ergeben sich über den prozentualen Anteil der abgelösten Fläche.

4 Material und Methoden

Tabelle 4: Einstufung der Prüfungsergebnisse im Gitterschnitttest [DIN EN ISO 2409 :2010 – 4, S. 10]

Gitterschnitt-Kennwert	Beschreibung	Aussehen der Oberfläche im Bereich des Gitterschnittes, an der Abplatzung aufgetreten ist (Beispiel für sechs parallele Schnitte)
0	Die Schnittländer sind vollkommen glatt; keines der Quadrate des Gitters ist abgeplatzt.	
1	An den Schnittpunkten der Gitterlinien sind kleine Splitter der Beschichtung abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche nicht größer als 5 % der Gitterschnittfläche. ANMERKUNG Das Bild zeigt eine Fläche von 1,4 % Abplatzungen (ohne das Gitter).	
2	Die Beschichtung ist längs der Schnittländer und/oder an den Schnittpunkten der Gitterlinien abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche größer als 5 %, aber nicht größer als 15 % der Gitterschnittfläche. ANMERKUNG Das Bild zeigt eine Fläche von 15,4 % Abplatzungen (ohne das Gitter).	
3	Die Beschichtung ist längs der Schnittländer teilweise oder ganz in breiten Streifen abgeplatzt, und/oder einige Quadrate sind teilweise oder ganz abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche größer als 15 %, aber nicht größer als 35 % der Gitterschnittfläche. ANMERKUNG Das Bild zeigt eine Fläche von 24,7 % Abplatzungen (ohne das Gitter).	
4	Die Beschichtung ist längs der Schnittländer in breiten Streifen abgeplatzt, und/oder einige Quadrate sind ganz oder teilweise abgeplatzt. Abgeplatzte Fläche größer als 35 %, aber nicht größer als 65 % der Gitterschnittfläche. ANMERKUNG Das Bild zeigt eine Fläche von 33,3 % Abplatzungen (ohne das Gitter).	
5	Jedes Abplatzen, das nicht mehr als Gitterschnitt-Kennwert 4 eingestuft werden kann.	-

Weiter wurde getestet, inwiefern sich applizierte Parylenschichten mit dem Skalpell und einer Pinzette abnehmen lassen. Exemplarisch wurde an zwei archäologischen Objekten zudem eine Freilegung mittels Feinstrahlen getestet. Dafür wurde in den Restaurierungswerkstätten des Landesmuseums Baden-Württemberg, Stuttgart, ein Wika Feinstrahl Typ Eg 1 der Fa. Wülsag Apparatebau AG mit 4 bar Strahldruck und Edelkorund als Strahlmittel verwendet.

4.3.2.2 Untersuchungsmethode zur Prüfung der Reißfestigkeit

Um einen Eindruck der Reißfestigkeit von mit Parylen beschichtetem Zeitungspapier zu gewinnen, wurde in den Restaurierungswerkstätten des Instituts für Buch- und Handschriftenrestaurierung der Bayerischen Staatsbibliothek in München die Bruchkraft in N an einer Zug- und Druckprüfmaschine Typ „EasyTest“ 86802IE Nr.27659 ermittelt. Die Brucherkennung lag dabei bei 3 N, die Spannlänge bei 30 mm und die Zuggeschwindigkeit bei 5 mm/min. Das Prüfverfahren diente in erster Linie dazu, einen Eindruck der Reißfestigkeit zu bekommen, wurde jedoch nicht nach der DIN EN ISO 1924-2 durchgeführt. Um statistische Fehler zu minimieren, wurden am Referenzmaterial mehrere Reißtests durchgeführt und die Werte Bruchkraft in N, Zeit in s sowie der Dehnungskoeffizient dokumentiert. Mit den sich daraus ergebenden Durchschnittswerten wurden die Werte der Reißtests der beschichteten Proben verglichen und so eine relative Reißfestigkeit ermittelt.

4.3.2.3 Untersuchungsmethode zum Verhalten im täglichen Gebrauch

Um die Stabilität von Parylenschichten unterschiedlicher Schichtdicke (1,0–7,4 µm) im täglichen Gebrauch zu ermitteln wurden für 28 Tage mit Parylen C und N beschichtete Silbergussrohlinge an einem Schlüsselbund getragen, so dass es möglich war die Untersuchung für einen subjektiven Vergleich der Schichten heranzuziehen. Abnutzungerscheinungen, die durch den täglichen Gebrauch entstanden, wurden dokumentiert.

4.3.3 Chemische Untersuchungsmethoden

4.3.3.1 Untersuchungsmethode zum Verhalten gegenüber Lösemitteln

Um zu prüfen inwiefern sich applizierte Schichten lösen und entfernen lassen, wurden auf einseitig galvanisch vergoldeten Kupferplättchen applizierte Schichten mit Lösemitteln, Säuren und Laugen unterschiedlicher Polarität und Molekülgröße behandelt. Für die Versuche wurden jeweils die dünnsten Schichten von Parylen N (1,0 µm) und Parylen C (1,25 µm) ausgewählt, dickere Schichten lassen eine entsprechend höhere Resistenz gegen die getesteten Chemikalien erwarten. Es wurden die kupfernen Seiten beprobt, da Veränderungen durch Säuren und Laugen aufgrund des unedleren Charakters des Kupfers im Vergleich zum Gold besser sichtbar werden. Dazu wurde mit einer Pipette ein Tropfen der jeweiligen Chemikalie auf die Oberfläche gegeben und dort bei ca. 19° C Raumtemperatur und normalem Atmosphärendruck für 15 min. belassen.

Bei leichtflüchtigen Chemikalien wurde die Probe entsprechend vollständig mit der Chemikalie bedeckt.

4.3.3.2 Untersuchungsmethode zum Verhalten gegenüber H₂S - Dämpfen

Um zu prüfen, inwiefern sich Parylenschichten gegenüber aggressiven Dämpfen oder Luftschadstoffen verhalten, und so eine Einschätzung für die Schutzwirkung der Beschichtungen für Kulturgut zu erlangen, wurden die einseitig mit Silber besputterten Aluminiumplättchen in einem Exsikkator einer Schwefelwasserstoffatmosphäre ausgesetzt. Die H₂S-Atmosphäre wurde durch Zugabe einiger Tropfen HCl in eine Becherschale mit H₈N₂S erzeugt. Dabei wurde auch untersucht, ob Primer einen Einfluss auf die Dampfdichtigkeit haben.

4.3.4 Untersuchungsmethoden mittels Strahlung

4.3.4.1 Untersuchungsmethode zum optischen Verhalten unter verschiedenen Leuchtmitteln

In der Seminararbeit wurde bereits festgestellt, dass Parylenschichten unter monochromatischem Licht Interferenzen zeigen, die als Irisieren wahrgenommen werden.²⁹ Um diese Erscheinungen näher zu untersuchen und zu beschreiben wurden auf einem polierten Stahlplättchen aufgebrachte Parylenschichten mit einer Schichtdicke von 1,0–7,4 µm mit Leuchtmitteln verschiedener Farbtemperaturen und Frequenz beleuchtet. Durch ein Somikon Fotozelt 60 x 60x 60 cm wurde das von oben einfallende Licht gestreut. Es wurden eine Osram L58/25W Universal White Leuchtstoffröhre (Raumbeleuchtung), Sylvania Standard F15W/129 –T8 warm white Leuchtstoffröhre, OR 35⁰ Glühlampe der Fa. Osram, ein GU 10 Halogenstrahler der Fa. Philips sowie ein Fluorescent Studioliight – Model No:No – 1327 Ringlicht der Fa. Somikon verwendet. Für die fotografische Dokumentation (Foto 67 - Foto 71) wurde nach jedem Wechsel des Leuchtmittels ein Weißabgleich durchgeführt.

4.3.4.2 Untersuchungsmethode zum Verhalten gegenüber UV-B - Bestrahlung

Es wurde untersucht, inwiefern Parylenschichten gegenüber UV-B-Strahlung stabil sind und inwiefern sie als Schutzschicht vor UV-Strahlung für Kulturgut dienen können. Nach Bera et. al. wird UV-Strahlung von Parylen N bei einer Wellenlänge von $\lambda < 350$ nm stark absorbiert und damit einhergehend das Material unter Sauerstoffatmosphäre photooxidiert.³⁰ Dabei werden unter Abspaltung von H₂ die Methylengruppen oxidiert und dadurch freigewordene Radikale führen durch Rekombination zu konjugierten π -Elektronensystemen, die für eine Verfärbung verantwortlich sind. Dadurch verschiebt sich das Absorptionsspektrum dahingehend, dass auch bei längeren Wellenlängen Strahlung absorbiert wird – der Prozess setzt sich fort. Zudem begünstigen die freien Radikale zusätzliche Kettenbrüche.³¹ Für Parylen C wurden photooxidative Prozesse bei $\lambda > 300$ nm beobachtet.³² Eine UV-Spektroskopie der Parylene N und C wurde für die Untersuchung nicht durchgeführt, die vom Hersteller SCS angegebenen Absorptionsspektren können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

²⁹ Vgl. J. Jückstock 2011 S. 21.

³⁰ Bera et al 2000 a, S. 1754.

³¹ Ebd. S. 1755 .

³² Fortin/Lu 2004, S. 77.

4 Material und Methoden

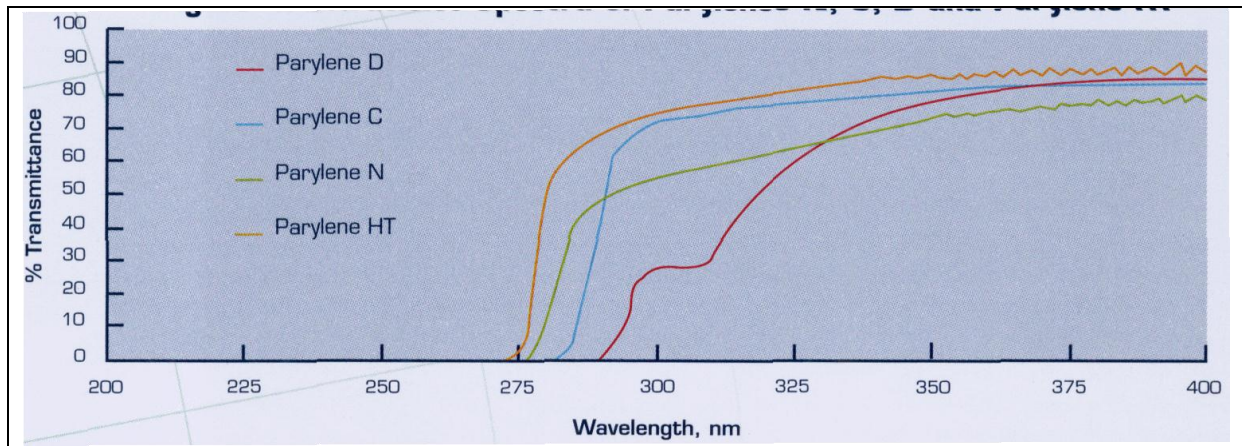


Abb. 10: UV-Spektren der Parylene N, C, D und HT [Tagungsheft : Specialty Coating Systems - Parylene Seminars Spring 2011, S. 8]

Die UV-B-Bestrahlung wurde mit dem Stratagene Stratalinker 1800 mittels dreier UV-B-Leuchtstoffröhren bei einer Wellenlänge von 312 nm durchgeführt. Die Entfernung der Proben zu den Leuchtstoffröhren war 20 cm, so dass sich daraus eine Strahlungsleistung von etwa 0,64 mW/cm² ergab. Die entsprechende Dosis der Strahlungsenergie wurde durch Veränderung der Strahlungsdauer nach der folgenden Formel erzielt.

$$\text{Dosis [mJ/cm}^2\text{]} = \text{Intensität [mW/cm}^2\text{]} \times \text{Zeit [s]}$$

Es wurden je sechs beschichtete Proben (Schichtdicke 1,0-7,4 µm) und je eine unbeschichtete Referenzprobe einer Schlittschuhsohle aus Polyurethan, eines Treibriemens auf Isoprenbasis und eines Spielzeugs aus Polyvinylchlorid mit UV-B Strahlung bestrahlt. Die Proben aus PVC waren nur zur Hälfte beschichtet, um einen direkten Vergleich am Substrat zu ermöglichen. Die Bestrahlungsdauer betrug 72 Stunden, nach jeweils 24 Stunden wurden Veränderungen fotografisch dokumentiert. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Strahlungsdosis für die entsprechende Bestrahlungsdauer.

Tabelle 5: Übersicht der verwendeten Strahlungsdosen für die UV-B Strahlung bei 312 nm

Dosis [mJ/cm ²]	Bestrahlungsdauer [h]
55296	24
110592	48
165888	72

Die bestrahlten Proben wurden makroskopisch auf Veränderungen der Farbigkeit und ihrer Stabilität untersucht. Zudem wurden die Proben mittels FT-IR-Spektroskopie auf geringfügige Veränderungen der Atombindungen untersucht.

4.3.4.3 Untersuchungen mittels FT-IR-Spektroskopie

Zu Analysezwecken wurden mehrere Aufnahmen verschiedener Proben mit einem FT-IR-Spektrometer durchgeführt. Es wurden Proben eines Treibriemens, einer Schlittschuhsohle, eines PVC-Spielzeugs und eines schwammartigen Kunststoffes aus einem Mikrofon-Hauptverstärker auf ihre Materialzusammensetzung untersucht. Außerdem wurde parylenbeschichtetes Filterpapier aus dem Institut für Buch- und Handschriftenrestaurierung der Bayerischen Staatsbibliothek untersucht, welches 1997 beschichtet wurde³³ und ca. 15 Jahre alterte. An dieser Probe wurde untersucht welcher Parylentyp verwendet wurde und ob sich Atombindungen durch die Alterung verändert hatten. Weiter wurden UV-B bestrahlte Proben, sowohl beschichtet als auch unbeschichtet, auf Veränderungen in den Atombindungen untersucht, zum Vergleich wurden an einer Parylen N und eine Parylen C-Schicht entsprechend Referenzbanden aufgenommen. Für Untersuchungen wurde ein FT-IR-Spektrometer Equinox 55 der Fa. Bruker Optics GmbH verwendet. Alle Spektren wurden mit der OPUS 65 Software ausgewertet und atmosphärisch kompensiert und, falls nötig, mit Origin Pro 8G basislinienkorrigiert. Es wurde in einem Wellenzahlbereich von 4000–400 cm^{-1} mit einer Diamant-ATR-Einheit DuraSAMPL/RII™ und einem Flüssigstickstoff gekühltem MCT-Detektor gemessen.

4.3.5 Untersuchungsmethode zum klimatischen Verhalten

Um einen Eindruck vom Verhalten von Parylenbeschichtungen und deren Stabilität bei Schwankungen im Raumklima zu erhalten, wurden beschichtete Substrate, die auf Veränderungen in der Raumfeuchte empfindlich reagieren in einer Klimakammer vom Typ WK 600 der Fa. Weiß Technik AG im Fraunhofer Institut für Silicatforschung (ISC) Würzburg für je eine Woche einer relativen Feuchte von 90 %, bei einer Temperatur von 40° C und eine Woche einer relativen Feuchte von 30 % und einer Temperatur von 10° C ausgesetzt. Es wurden je eine unbeschichtete Referenz, sowie je sechs Proben Pergament, Pastell auf Papier und Leder für die Untersuchung ausgewählt. Die Parylenschichten waren 1,0-7,4 μm dick. Als Untersuchungsparameter wurden zwei Extremklima ausgewählt, um einen möglichst großen Stress im Material zu erzielen.

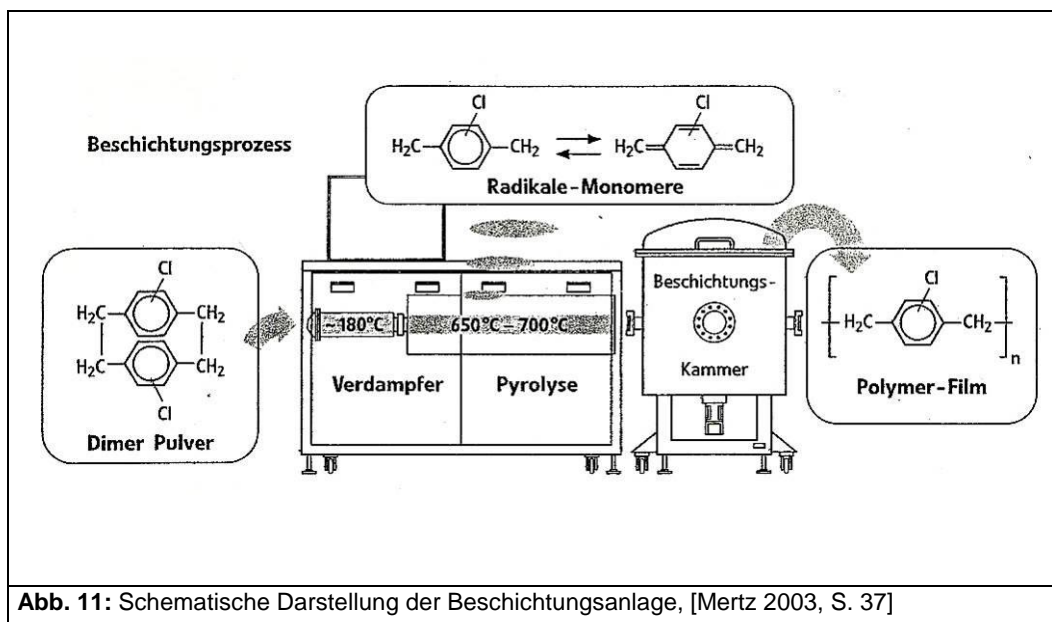
³³ Vgl. Bansa/Ishii 1997.

5 Versuchsdurchführung

5.1 Aufbau und Funktionsprinzip der Parylenbeschichtungsanlage am IGB³⁴

Für die Versuche wurde ein LabcoaterTM 2 (PDS2010) der Firma Specialty Coating Systems verwendet. Im Folgenden wird das Funktionsprinzip der Beschichtung anhand der Funktionen des Gerätes und des Versuchsablaufes erläutert.

Die wesentlichen Bestandteile des Gerätes sind die Beschichtungskammer (chamber), der Ofen (furnace), der Verdampfer (vaporizer), die Vakuumpumpe (pump), die Kühlfalle (cold trap) und der in der Kammer situierte beheizte Messkopf (chamber gauge), der den Innendruck der Kammer misst.



Im Fraunhofer IGB wurde das verwendete Gerät verbessert. Zusätzlich kommen neben den erwähnten Bauteilen als Steuerungselemente eine über einen Thermostaten steuerbare Glockentemperierung zum Einsatz, die mittels einer Pumpe Wasser zum kühlen bzw. heizen durch an der Kammerglocke befestigte Schläuche pumpt. Außerdem wurde die Glocke um einige Zentimeter vergrößert, so dass höhere Gegenstände in der Kammer Platz finden. Die Anlage enthält zusätzlich eine Technik in der Kammer unter Vakuum ein Plasma zu zünden, um Oberflächen vor der Beschichtung zu aktivieren.

Am Gerät lassen sich die gewünschten Prozessparameter über ein Display einstellen. Die Prozessparameter sind Arbeitsdruck, Temperatur des Ofens, Temperatur des Verdampfers und Temperatur des Messkopfes. Nutzt man die Automatikfunktion, steuert das Gerät solange die eingestellten Werte an, bis diese erreicht werden und beginnt anschließend mit dem Verdampfen des Parylens. Deuten die Messwerte daraufhin, dass der Prozess zu Ende ist, fährt das Gerät automatisch herunter. Der Beschichtungsprozess wird mit einem Computerprogramm überwacht und protokolliert.

³⁴ Kapitel 5.1 im wesentlichen entnommen aus: Jückstock 2011, S. 7 – 9.

5 Versuchsdurchführung

Das Gerät zeigt Temperaturen in °C an. Der Druck wird in Druckeinheiten angegeben (eine Druckeinheit $\hat{=}$ 0,0013 mBar).

Während des Prozesses ist zwischen dem Arbeitsdruck und dem Basisdruck zu unterscheiden. Der Basisdruck ist der Wert an Druckeinheiten, der erreicht wird, bevor beschichtet wird. Der Arbeitsdruck ist der Richtwert an Druckeinheiten, nach welchem beschichtet werden soll. Er liegt in der Regel über dem Basisdruck. Damit der Druckmesskopf, der sich in der Kammer befindet, nicht beschichtet wird, muss er auf 136 °C erhitzt werden.

Für die Beschichtung wird zunächst die Kammer evakuiert bis zum Druck von etwa 0,120 mBar und gehalten. Anschließend wird die Temperatur des Ofens "furnace temperature" eingestellt und dann beheizt. Für die Beschichtungen wurde in dieser Arbeit mit einer "furnace temperature" von 670° C gearbeitet. Durch die Ausdehnung der erhitzten Luft in dem Ofen steigt der Druck in der Kammer zügig an. Die Aufheizung des Ofens dauert etwa 60 Minuten, meist ist dann ein Basisdruck von etwa 1 mBar erreicht. Anschließend wird das System mit Stickstoff belüftet, damit man die Glocke der Kammer anheben kann, um die Substrate in die Kammer zu geben. Die Substrate werden auf ein Gestell gelegt und in der Mitte der Kammer positioniert. Damit die Proben während der Beschichtung nicht an die Kammerwand oder den Messkopf stoßen, lässt man sie kurzzeitig in der Kammer auf einem Teller rotieren. Dieser dreht sich auch während der Beschichtung und garantiert eine gleichmäßige Verteilung der Beschichtung. Die Verteilung der Proben in der Kammer wird photographisch dokumentiert. Anschließend wird die Kammer verschlossen und die gewünschte Menge Dimer in einer vorbereiteten Halbröhre aus Aluminiumfolie in die Verdampfungskammer geschoben, die danach verschlossen wird. Anschließend wird das System wieder evakuiert. Es wird solange evakuiert, bis der gewünschte Basisdruck erreicht ist. Für die Arbeit wurde ein Basisdruck von 0,0026 mBar für Parylen C, und 0,0013 mBar für Parylen N festgelegt. Um die Vakuumpumpe zu schützen ist ihr eine Kühlfalle vorgelagert, in die flüssiger Stickstoff eingefüllt wird. Durch das Einbringen der Kälte ins System und der einsetzenden Kondensation an der Kühlfalle fällt der Druck in der Kammer zunächst rapide ab, um dann immer langsamer abzunehmen. Während der Evakuierung auf Basisdruck und während des Beschichtungsprozesses ist es wichtig, dass die Kühlfalle immer mit flüssigem Stickstoff (LN₂) gefüllt ist. Mit dem Einschalten des Thermostaten und der damit verbundenen Wasserpumpe wird die Glocke der Kammer beheizt bzw. gekühlt. Während der Arbeiten lag die Raumtemperatur zwischen 17 - 19 °C, so dass der Thermostat auf etwa 21° C eingestellt wurde und die Glocke entsprechend geheizt wurde. Die Beheizung der Glocke bewirkte ebenfalls eine verstärkte Ausgasung, der in den Substraten gebundenen Gase. Um nicht zuviel Wärmeleistung zu verlieren wurden die Wasserschläuche an der Glocke mit einer Wärmeisolation isoliert. In der Regel dauert die Evakuierung bis der Basisdruck erreicht ist 90 – 120 min. Ist der Basisdruck erreicht kann der Verdampfer eingeschaltet werden, – es beginnt die Beschichtung. Durch das Verdampfen des Dimers, welches anschließend durch die Hochtemperaturzone geleitet wird, steigt der Druck in der Kammer an, und erreicht den zuvor festgesetzten Arbeitsdruck. Der Arbeitsdruck ist also mit der Temperatur des Verdampfers, die die Geschwindigkeit bestimmende Kenngröße. Je höher der Arbeitsdruck, desto höher ist die Abscheiderate des Monomers und desto schneller läuft der Beschichtungsprozess ab. Je höher die Temperatur des Verdampfers, und je niedriger der Arbeitsdruck, desto niedriger ist die Abscheiderate

5 Versuchsdurchführung

und desto langsamer ist der Prozess. Für die Abscheiderate gilt: je niedriger desto homogener die Beschichtung, da mehr Zeit bleibt, dass sich die Polymerisation ordentlich ausbildet. Die vom Hersteller angegebene Abscheiderate beträgt 5 $\mu\text{m}/\text{h}$. Durch den Umbau des Gerätes am IGB ergaben sich andere Werte für die Abscheiderate. Diese werden als Erfahrungswerte gesammelt. Für 1 g Dimer kann als Näherungswert der Abscheiderate für die Anlage ca. 1 – 1,5 $\mu\text{m}/\text{h}$ angenommen werden. Wenn das Dimer komplett verdampft ist fällt der Druck wieder ab. Der Druckabfall wird automatisch registriert und Ofen und Verdampfer sowie die Beheizung des Messkopfes werden abgeschaltet. Der Beschichtungsprozess ist beendet.

Die Kammer kann mit gasförmigem Stickstoff belüftet und die Proben entnommen werden. Da die Haftung der Schichten zum Substrat, für industrielle Anwendungen wichtig ist, kann die Schichthaftung durch die Verwendung so genannter Primerschichten (Haftvermittler) optimiert werden.

5.2 Applikation von Haftvermittlern (Primern)

Für die Arbeit wurden die Primer Alloy Primer® und 2-Mercaptobenzimidazole nasschemisch eingesetzt. Bei der nasschemischen Behandlung mit Haftvermittlern, wird der Primer auf die zu beschichtenden Oberflächen vor der Beschichtung aufgetragen. Um die Haftvermittlung auf dem Substrat zu ermöglichen besitzen Primer zwei unterschiedlich reaktive Enden im Molekül. Das eine Ende soll an die Metalloberfläche anbinden, das andere soll Bindungsmöglichkeiten für die Parylenbeschichtungen bieten.

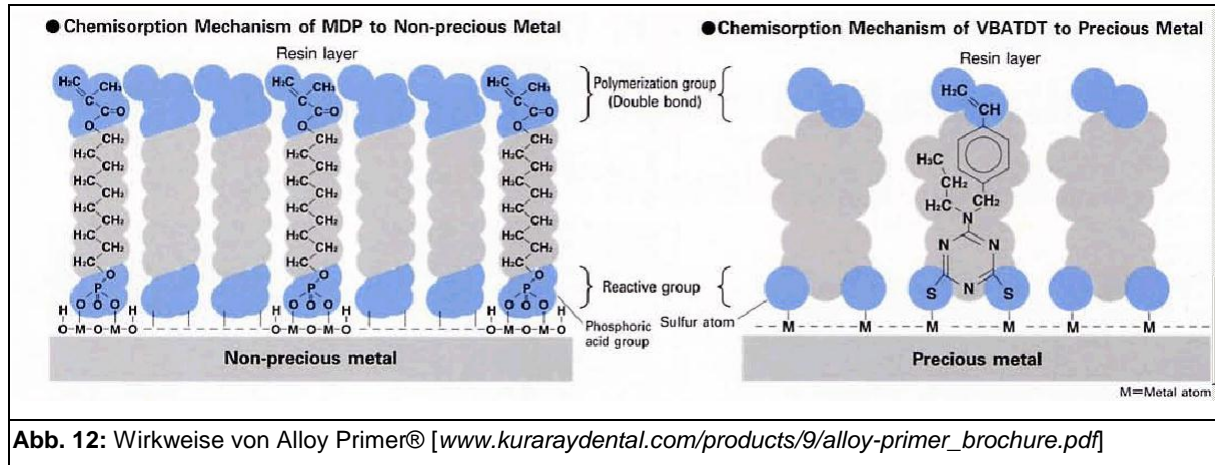
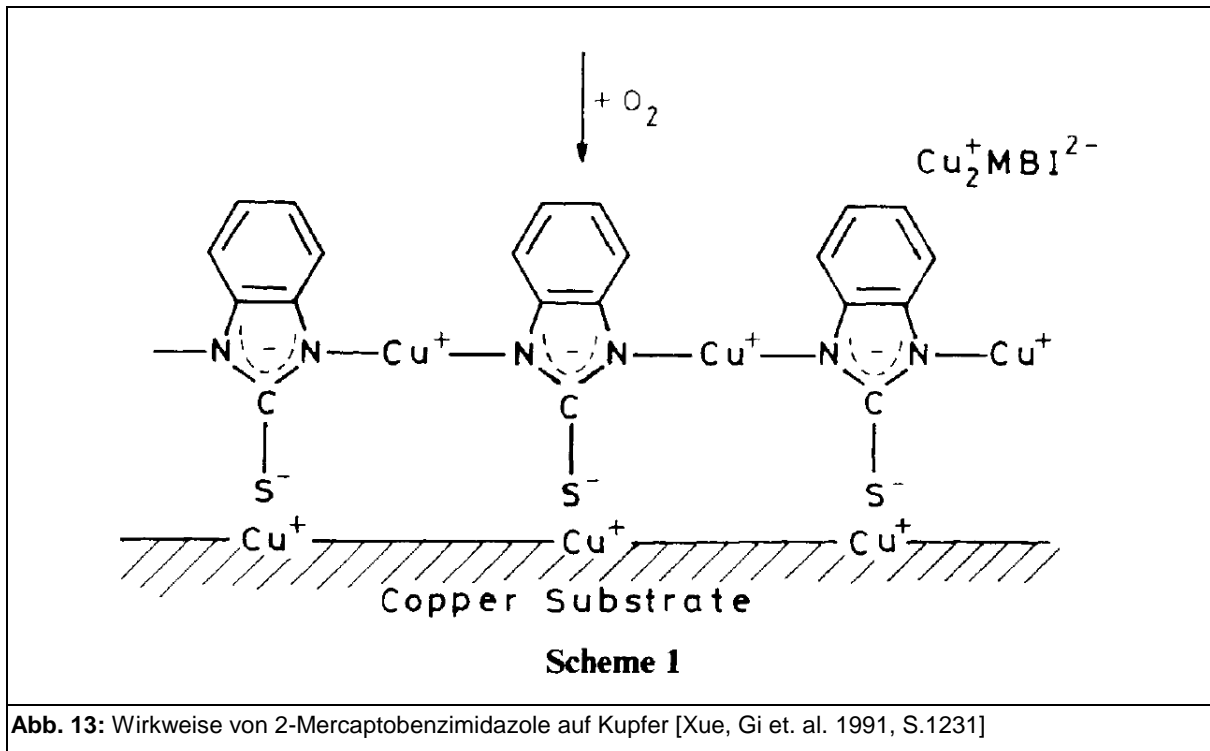


Abb. 12: Wirkweise von Alloy Primer® [www.kuraraydental.com/products/9/alloy-primer_brochure.pdf]

5 Versuchsdurchführung



Die Primer wurden wie folgt aufgetragen:

Alloy Primer® wurde flüssig auf die mit Aceton gereinigten Metalloberflächen aufgetragen und das Substrat nach dem Trocknen regulär beschichtet.

2 – Mercaptobenzimidazole wurde in 1% vol. Lösung in Aceton angesetzt und die Proben für 20 Minuten in der Primerlösung belassen. Die Proben wurden anschließend für 10 Minuten an der Raumluft getrocknet.

Neben den beschriebenen nasschemischen Verfahren, gibt es auch noch die Möglichkeit Haftvermittler aus der Gasphase zu verwenden.

5 Versuchsdurchführung

5.3 Dokumentation des Vorzustandes

Während der Arbeit wurden die in Tabelle 6 aufgeführten Objekte untersucht, ihr Vorzustand in Schrift und Bild (Foto 1 - Foto 58) dokumentiert und anschließend beschriftet.

Tabelle 6: Vorzustand der Objekte

Objektname	Größe (HxBxT)[mm]/ Gewicht [g]	Material	Oberflächen- beschaffenheit	Zustand	Provenienz	Datierung
6 Glas-negative	2 x 35 x 45mm 6 g	Glas, Fotoemulsion	Glas: spiegelnd, glatt Emulsion: matt, glatt	bis auf einige Kratzer in der Emulsion in gutem Zustand	Sophie Kubitz	vermutlich 1950er Jahre
5 Aufnahmen eines Diapositiv- Filmes	35 x 40 mm ca. 0,24 g	Kunststoff/ Fotoemulsion – Agfa Agfachrome CT 18	spiegelnd glatt, die emulgierte Seite zeigt ein leichtes Relief	sehr guter Zustand	Privatbesitz Frau Traun – Lieb	1963
6 Portraitfotos	60 x 50 mm ca. 0,59 g	Fotopapier/ Emulsion	glattes, glänzendes Papier, die matte Rückseite ist mit „Agfa-Lupex“ bedruckt	vereinzelt Kratzer, guter Zustand	Privatbesitz Frau Traun - Lieb	1940er Jahre
6 Zeitungs- Papiere	20 x 45 mm 0,05 g	Zeitungspapier	glattes, nicht glänzendes Papier von schwacher Rauhigkeit	leicht vergilbt, guter Zustand	Privatbesitz – Dr. Uwe Vohrer	23.12.1959
6 Pergament stücke	25 x 25 mm 0,1 g	Pergament	glatte, matt glänzende Oberseite von schwacher Rauhigkeit, pelzige Rückseite von starker Rauhigkeit	vereinzelt Knicke, guter Zustand	IBR – Bayerische Staats- bibliothek, Dr. Irmhild Schäfer	neuwertig
6 Zuschnitte aus einer Aktstudie/ Pastell	240 x 315 mm Einzelstücke: 25 x 25 mm 0,06 g	Bläuliches Zeichenpapier, Rötel	matte Oberfläche von starker Rauhigkeit, Rötel liegt ungebunden auf	Papier leicht gegilbt, an den Kanten abgenutzt, sonst guter Zustand	Antiquariat Daniela Kromp	1920er
6 Kupfer plättchen	30 x 30 mm ca. 8,5 g	Kupfer	spiegelnd glatt, eine Seite poliert, eine Seite matt oxidiert	vereinzelt Kratzer, guter Zustand	Metall- restaurierung BNM	neuwertig
6 Stahlplättchen	30 x 30 mm ca. 9,8 g	Stahl	beide Seiten spiegelnd glatt, poliert	sehr guter Zustand	Schlosserei BNM	neuwertig
12 Aluminiumplättc hen, Ag-besputtert	10 x 10 mm ca. 0,06 g	Aluminium, Silber	matt glänzende Oberflächen, eine silbern, eine aluminiumfarben	sehr guter Zustand, Ecke gebogen	REM Labor, IGB	neuwertig
20 Wiener Philharmoniker – Feinsilber- unzen der Österreichischen Münze 2008	Ø: 37,0 mm Dicke: 3,2 mm 31,32 g	Silber	geprägte, glatte, glänzende Oberflächen	Die Münzen sind prägefrisch und in tadellosem Zustand	Privatbesitz, Moritz Paysan über Landes- museum Württemberg, Stuttgart	2008

5 Versuchsdurchführung

Objektname	Größe (HxBxT)[mm]/ Gewicht [g]	Material	Oberflächen- beschaffenheit	Zustand	Provenienz	Datierung
9 silberne spätmittelalterliche Heller.	Ø: ca. 15 mm Dicke: 1 mm 0,17 g - 0,26 g	Silber, legiert	glatte Oberflächen, die Höhen sind berieben und glänzen silbern, die Tiefen sind mattgrau.	Die Heller sind dem Alter entsprechend abgegriffen, die Prägungen nicht lesbar. Vereinzelt fehlen Teile der Münzen. Vermutlich nach dem Fund gereinigt.	Landesmuseum Württemberg, Stuttgart Münzkabinett. Ansprechpartner: Dr. Matthias Ohm	14. Jh.
6 Silber - Gussrohlinge	10 x 22 mm 2,6 g	Silber, legiert	mattgraue Oberflächen, an den Höhen glänzend berieben, zerfurchte Objektgeometrie	Die Abfälle sind größtenteils schwarz – grau angelauten	Privatbesitz, Moritz Paysan über Landesmuseum Württemberg, Stuttgart	20. Jh.
8 Kupferplättchen, einseitig vergoldet	10 x 15 mm Ø 0,88 g	Kupferblech, galvanisch vergoldet	glatte, glänzende Oberflächen, kupferfarben und rotgolden	vereinzelt Kratzer im Kupfer	Metallrestaurierung BNM	neuwertig
6 Zuschnitte Ponge Seide	25 x 25 mm 0,02g	Seide, natur	glatte, fein gewebte Oberfläche, seidig glänzend	sehr guter Zustand	Textilrestaurierung, BNM	neuwertig
6 Zuschnitte Seidenbespannung	25 x 10 – 20 mm ca. 0,018 g	unterschiedlich gefärbte Seide	glatte, fein gewebte Oberfläche, seidig glänzend	Die Seide ist brüchig, Gewebe löst sich teilweise auf	Privatbesitz Prof. Erwin Emmerling	16. - 17. Jh.
6 Bruchstücke fossiles Elfenbein	ca. 3 x 10 x 15 mm 0,37 g	Elfenbein, fossil	matte, raue, poröse Oberfläche	Das Elfenbein ist sehr druckempfindlich und zerbröselt leicht	Kreismuseum Mühlendorf am Inn, über Sophie Kubitz	Pleistozän - Holozän
6 Proben eines Treibriemens zur Erzbereitungsanlage	ca. 7 x 30 x 10 mm ca. 2,78 g	vermutlich Isopren oder anderer vulkanisierter Kautschuk, im Verbund mit festen Pflanzenfasern	teilweise glatte, glänzende, teilweise raue, matte Oberfläche	Oberfläche ist druckempfindlich und splittert bei mechanischer Beanspruchung ab	Deutsches Museum, Inv.Nr.: 53511	Vor 1925
6 Bruchstücke eines schwammartigen Kunststoffes aus einem Mikrofon-Hauptverstärker der Fa. Siemens und Halske	ca. 10 x 25 x 25 mm ca. 1,57g	Vermutlich geschäumter Kautschuk	raue, schwammige Oberfläche, teilweise schwarz verschmutzt, teilweise mennigeorange. Die Innenseite ist glatt.	Oberflächen sind äußerst empfindlich, und bröseln, bzw. zerfallen bei Berührung. Dunkle Verschmutzungen auf der Oberfläche	Deutsches Museum, Inv.Nr.: 62395	Vor 1927

5 Versuchsdurchführung

Objektname	Größe (HxBxT)[mm]/ Gewicht [g]	Material	Oberflächen- beschaffenheit	Zustand	Provenienz	Datierung
6 Proben einer Schlittschuh- sohle vom Typ Rudi Cerne Crystal, Fa. Lico Sportschuh	ca. 10 x 25 x 15 mm ca. 2 g	Polyurethan	matte, sehr poröse Oberfläche, teilweise weiße Ausblühungen	schmierig- klebrige bröselige Oberfläche	Privatbesitz Kuratorin Dr. Susanne Rehn, Deutsches Museum	1985
PVC-Comicfigur	135 x 70 x 115 mm 69 g, Einzelteile ca. 1 x 20 x 30 mm ca. 2 g	PVC, durch Brennprobe nachgewiesen	glatte Oberflächen von blass gelber Farbe. Außenseite: matt glänzend Innenseite: spiegelnd glänzend,	Guter Zustand, stellenweise ist die Farbe abgerieben und die Figur verschmutzt. Es findet sich ein Hersteller- stempel am Hinterkopf.	Handel Ritschi Schwab	1960er Jahre-
F86/25.16 4 Fragmente eines archäo- logischen Messers	ca. 4 x 35 x 25 mm ca. 6,5 g	Eisen	matte, raue, zum Teil poröse, schwarze Oberfläche	Das Eisen ist stark korrodiert, die Korrosion fest verbacken	Landes- museum Württemberg, Stuttgart	Frühmittel- alter
2 Bruchstücke blau glasierter Keramik	5 x 65 x 45mm 17 g 5 x 45 x 25 mm 3,5 g	Keramik, glasiert	Glasur glatt spiegelnd und porös, stellenweise irisierend, Bruchkanten matt tonig	Grundsubstanz stabil, Glasur rissig und empfindlich auf mechanische Belastung.	Lehrstuhl für Restaurierung, TU München	
2 Fragmente eines Sax	5 x 40 x 40 mm bzw. 20 mm 31 g / 11 g	Eisen	matte, raue, zerfurchte und poröse Oberfläche	Das Eisen ist stark korrodiert, die gelbe und rote Eisenkorrosion ist teilweise in Schollen aufliegend, oder bröselig porös.	Landes- museum Württemberg. Stuttgart	Frühmittel- alter
6 Proben eines ledernen Buchdeckels	20 x 20 mm 0,12 g	Leder	matte, raue, poröse und rissige Oberfläche	Das Leder ist brüchig und fragil	IBR, Bayerische Staats- Bibliothek Fr. Schuster - Ishii	Ende 19. Jh.
6 galvanisch vergoldete Kupfer- plättchen	1 x 40 x 40 mm 10,2 g	Kupfer/Gold	glatte, goldspiegelnde Oberfläche	neuwertig	Metall- restaurierung BNM	neuwertig
6 galvanisch versilberte Kupfer- plättchen	1 x 40 x 40 mm 10,2 g	Kupfer/Silber	einseitig glatte silberspiegelnde Oberfläche, einseitig matte weißsilberne Oberfläche	neuwertig	Metall- restaurierung BNM	neuwertig
6 Kupfer- plättchen	1 x 40 x 40 mm 10,1 g	Kupfer	beidseitig glatte spiegelnde Oberfläche	neuwertig, vereinzelt Kratzer	Werkstätten Fraunhofer Institut	neuwertig

5 Versuchsdurchführung

5.4 Durchführung der Beschichtungen

Um die Evakuierungszeit so gering wie möglich zu halten, wurden alle organischen Substrate in einem MPC-Multilab Vakuumtrockenschrank der Fa. MPC Laborgeräte für 48 Stunden bei ca. 25° C und ca. 100 mBar vor dem Beschichten evakuiert. Die einzelnen Beschichtungsvorgänge mit den entsprechenden Parametern, der Charge und dem Parylentyp wurden tabellarisch zusammengefasst und finden sich mit den entsprechenden Versuchsprotokollen im Anhang unter Punkt 11.6 S. XVI.

Um die Schichtdicken der unterschiedlichen Parylentypen miteinander und untereinander vergleichen zu können wurde für jedes Material, je eine der sechs vorhandenen Proben einem Beschichtungsvorgang zugeteilt. Waren von einem Material nicht ausreichend Proben vorhanden, wurden diese Proben den Beschichtungsvorgängen, mit mittlerer Schichtdicke von 3,5 µm für Parylen C, beziehungsweise 3,0 µm Schichtdicke für Parylen N zugeordnet. So ließen sich gewonnene Erkenntnisse auch für dickere, beziehungsweise dünnere Schichten ableiten. Die Zuordnung der Proben zu den Beschichtungen erfolgte nach folgendem Schema:

Tabelle 7: Zuordnung der Proben bei der Beschichtung

Parylentyp /Schichtdicke	Probennummer
Parylen C, 6,85 µm	1
Parylen C, 3,5 µm	2
Parylen C, 1,25 µm	3
Parylen N, 1,0 µm	4
Parylen N, 3,0 µm	5
Parylen N, 7,4 µm	6

6 Ergebnisse

Die Proben, an denen die Primerwirkung im Besonderen untersucht werden sollte wurden nach folgendem Schema zugeordnet:

Tabelle 8: Zuordnung der mit Primer behandelten Proben bei der Beschichtung

Parylentyp /Schichtdicke	Probennummer /Primer
Parylen C, 3,4 µm	1 /2 – Mercaptobenzimidazole 2 /Alloy Primer 3 /ohne Primer
Parylen N, 3,0 µm	4 /2 – Mercapto-benzimidazole 5 /Alloy Primer 6 /ohne Primer

6 Ergebnisse

6.1 Ergebnisse der Untersuchung der Beschichtungen

Die Ergebnisse sind substratspezifisch in den Tabellen 9-35 dargestellt, für diese gelten die folgenden Erläuterungen.

Die untersuchten Eigenschaften sind im Vergleich zur Referenz bezeichnet mit:

- + stärkere Ausprägung
- ++ deutlich stärkere Ausprägung und
- +++ sehr viel stärkere Ausprägung
- 0 keine Veränderung
- schwächere Ausprägung
- – deutlich schwächere Ausprägung
- – – sehr viel schwächere Ausprägung

Die Oberflächenspannung H₂O - Tropfen ist unterteilt in:

- schwach \triangleq einem Kontaktwinkel von $\leq 30^\circ$
 - Tropfen benetzt, oder wird aufgesaugt.
- mäßig \triangleq einem Kontaktwinkel von $30^\circ \leq 60^\circ$ - Tropfen perlt mit Flüssigkeitsrückständen ab.
- gut \triangleq einem Kontaktwinkel von $60^\circ \leq 90^\circ$ - Tropfen perlt mit wenig Flüssigkeitsrückständen ab
- sehr gut \triangleq einem Kontaktwinkel von $\geq 90^\circ$ - Tropfen perlt ohne Flüssigkeitsrückstände ab.

6 Ergebnisse

Tabelle 9: Untersuchung der Glasplattenegative

Parylentyp/ Schicht-dicke	Glanz	Trans- parenz	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reib- wider- stand	OF- Wider- stand
			A	B	C					
Referenz										mäßig – Quellen der Emulsion auf der Fotoschicht
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	0	0	0	0	–	gut
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	0	0	0	0	–	gut
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	0	0	0	0	0	–	gut
Parylen N 1,0 µm	0	0	++	++	++	0	0	0	–	gut
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	+	0	0	0	–	gut
Parylen N 7,4 µm	0	0	0	0	+	0	0	0	–	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz, Transparenz, Form, Farbe und Festigkeit der Substrate werden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Ein Quellen der Fotoschicht, wie es bei der Referenz zu beobachten war blieb aus. Interferenzen traten bei den Beschichtungen mit Parylen N auf, diese waren abhängig von den Schichtdicken. Dabei gilt: je dünner die Schicht, desto deutlicher die Interferenzen (Foto 94 - Foto 97).

6 Ergebnisse

Tabelle 10: Untersuchung der Diapositivfilme

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Transparenz	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reib- wider- stand	OF- Wider- stand
			A	B	C					
Referenz										gut
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	0	0	0	+++	–	0
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	0	0	0	++	–	0
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	0	0	0	+	+	–	0
Parylen N 1,0 µm	0	0	0	+	0	0	0	++	–	0
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	0	0	+	+	–	0

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz, Transparenz und Farbe der Substrate werden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringern den Reibwiderstand. Bei zwei Substraten waren die Kanten leicht aufgezogen, so dass sie sich in der Form veränderten. Die Verformung kam vermutlich durch Änderungen der Materialfeuchte während der Behandlung im Vakuumtrockenschrank zustande. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen. Bei Parylen C wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht. Bei Parylen N verhielt es sich umgekehrt. Die dünnste Beschichtung zeigte schwache Interferenzen in monochromatischem Licht (Foto 98, Foto 99).

6 Ergebnisse

Tabelle 11: Untersuchung der Portraitfotos

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF- rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reib- wider- stand	OF- Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig – Quellen der Emulsion auf der Fotoschicht
Parylen C 6,85 µm	0	–	0	0	+	0	+	+++	–	gut
Parylen C 3,5 µm	0	–	0	0	+	0	0	++	–	gut
Parylen C 1,25 µm	0	–	0	0	+	0	0	+	–	gut
Parylen N 1,0 µm	0	–	0	0	+	0	0	+++	–	gut
Parylen N 3,0 µm	0	–	0	0	+	0	+	++++	–	gut
Parylen N 7,4 µm	0	–	0	0	+	0	+	++++	–	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz und Farbe der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand, die Oberflächenrauheit und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser – ein Quellen der Fotoschicht wie bei der Referenz beobachtet fand nicht statt. Bei drei Substraten waren die Kanten leicht aufgezogen, so dass sie sich in ihrer Form veränderten. Die Verformungen entstanden vermutlich durch Änderungen der Materialfeuchte während der Behandlung im Vakuumtrockenschrank. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen N war die Festigung stärker als bei Parylen C. Die Beschichtungen zeigten schwache Interferenzen im Spiegelglanzwinkel bei monochromatischem Licht (Foto 100, Foto 101).

6 Ergebnisse

Tabelle 12: Untersuchung der Zeitungspapiere

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Elastizität	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reib- wider- stand	OF- Widerstand
Referenz										schwach
Parylen C 6,85 µm	+	++	0	0	0	++	0	+++	-	mäßig
Parylen C 3,5 µm	+	++	0	0	0	+	0	++	-	mäßig
Parylen C 1,25 µm	0	+	0	0	0	0	+	+	-	mäßig
Parylen N 1,0 µm	+	+++	0	0	0	0	0	+++	-	mäßig
Parylen N 3,0 µm	++	+++	0	0	0	++ Rückseite scheint leicht durch	0	++++	-	mäßig
Parylen N 7,4 µm	++	+++	0	0	0	+++ Rückseite scheint durch	0	+++++	--	mäßig

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Die Beschichtungen erhöhten den Oberflächenglanz und die Elastizität der Substrate, die Merkmale waren jeweils bei Parylen N stärker ausgeprägt als bei Parylen C. Beschichtungen über 3,0 µm Schichtdicke führten zu einer Dunkelung der Substratoberfläche bis hin zu Transparenzen. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Bei einem Substrat waren die Kanten leicht aufgezogen, vermutlich durch Änderungen der Materialfeuchte während der Behandlung im Vakuumtrockenschrank. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen N war die Festigung stärker als bei Parylen C. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 102, Foto 103).

6 Ergebnisse

Tabelle 13: Untersuchung des Pergaments

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Oberflächen- rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reib- wider- stand	OF-Widerstand
			A	B	C					
Referenz									Vorderseite – mäßig	
									Rückseite – gut	
Parylen C 6,85 µm	+	Vorderseite: 0	0	0	0	0	++	++	–	Vorderseite – gut
		Rückseite: +++								Rückseite – sehr gut
Parylen C 3,5 µm	+	Vorderseite: 0	0	0	0	0	+	+	–	Vorderseite – gut
		Rückseite: ++								Rückseite – sehr gut
Parylen C 1,25 µm	+	Vorderseite: 0	0	0	0	0	+	+	–	Vorderseite – gut
		Rückseite: +								Rückseite – sehr gut
Parylen N 1,0 µm	0	Vorderseite: 0	0	0	0	0	+	+	–	Vorderseite – gut
		Rückseite: +								Rückseite – sehr gut
Parylen N 3,0 µm	0	Vorderseite: 0	0	0	0	0	+	+++	–	Vorderseite – gut
		Rückseite: ++								Rückseite – sehr gut
Parylen N 7,4 µm	++	Vorderseite: 0	0	0	0	0	++	++++	--	Vorderseite – gut
		Rückseite: +++								Rückseite – gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Die Beschichtungen erhöhten teils den Oberflächenglanz und die Oberflächenrauheit auf der Substratrückseite. Die Merkmale waren jeweils bei dickeren Schichten stärker ausgeprägt als dünneren. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Bei allen Substraten waren die Kanten mehr oder weniger stark aufgezogen, die Verformungen entstanden vermutlich durch Änderungen der Materialfeuchte während der Behandlung im Vakuumtrockenschrank. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen N war die Festigung stärker als bei Parylen C. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen oder Farbveränderungen (Foto 104, Foto 105).

6 Ergebnisse

Tabelle 14: Untersuchung der Aktstudie/ des Pastells

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Festigung Pigment	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reib- wider- stand	OF- Widerstand
			A	B	C					
Referenz										schwach
Parylen C 6,85 µm	0	wischfest	0	0	0	++	0	++	-	gut
Parylen C 3,5 µm	0	wischfest	0	0	0	+	0	++	-	gut
Parylen C 1,25 µm	0	wischfest	0	0	0	0	+	+	-	gut
Parylen N 1,0 µm	0	wischfest	0	0	0	+++	+	+++	-	mäßig
Parylen N 3,0 µm	0	wischfest	0	0	0	+++	0	++++	-	gut
Parylen N 7,4 µm	0	wischfest	0	0	0	++++	++	+++++	--	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Der Oberflächenglanz wurde durch die Beschichtungen nicht beeinflusst, die aufliegenden Pigmente wurden wischfest fixiert. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen und verringerten den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Bei drei Substraten waren die Kanten mehr oder weniger stark aufgezogen, vermutlich durch Änderungen der Materialfeuchte während der Behandlung im Vakuumtrockenschrank. Die Substrate verfestigten und verdunkelten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung und Verdunklung erreicht, bei Parylen N waren die Merkmale stärker ausgeprägt als bei Parylen C (Foto 106).

6 Ergebnisse

Tabelle 15: Untersuchung der Proben eines ledernen Buchdeckels

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Elastizität	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substratfestigung	Reibwiderstand	OF- Widerstand
			A	B	C					
Referenz										schwach
Parylen C 6,85 µm	+	--	0	0	0	+++	0	+++	-	mäßig
Parylen C 3,5 µm	+	-	0	0	0	++	0	++	-	mäßig
Parylen C 1,25 µm	+	-	0	0	0	+	0	+	-	mäßig
Parylen N 1,0 µm	+	-	0	0	0	+	0	+	-	mäßig
Parylen N 3,0 µm	+	--	0	0	0	+++	+	++++	-	mäßig
Parylen N 7,4 µm	++	---	0	0	0	+++	+	+++++	--	mäßig

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Die Beschichtungen erhöhten den Oberflächenglanz und verringerten die Elastizität der Substrate, die Merkmale waren jeweils bei Parylen N stärker ausgeprägt als bei Parylen C. Alle Beschichtungen führten zu einer Verdunkelung der Oberfläche, dickere Schichten verdunkelten stärker als dünnere. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. An zwei Substraten war zu beobachten, dass sich die Kanten leicht aufgezogen hatten, vermutlich entstanden diese Verformungen durch Änderungen der Materialfeuchte während der Behandlung im Vakuumtrockenschrank. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen N war die Festigung stärker als bei Parylen C. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 142, Foto 143).

6 Ergebnisse

Tabelle 16: Untersuchung der Zuschnitte von Ponge-Seide

Parylentyp/ Schicht- dicke	Glanz	Transparenz	Elastizität	Interferenz			Dunkelung	Form	Substrat- Festigung	Reib- wider- stand	OF-Wider- stand
				A	B	C					
Referenz											schwach
Parylen C 6,85 µm	--	+	+++	0	0	0	++ Nasseffekt	0	+++	-	gut
Parylen C 3,5 µm	-	+	++	0	0	0	++ Nasseffekt	0	++	-	gut
Parylen C 1,25 µm	0	0	+	0	0	0	+	0	+	-	gut
Parylen N 1,0 µm	0	0	+	0	0	0	0	0	+	-	gut
Parylen N 3,0 µm	-	+	++	0	0	0	+	0	++	-	gut
Parylen N 7,4 µm	--	+	+++	0	0	0	++ Nasseffekt	0	+++	-	gut – Tropfen sickert nicht durchs Gewebe

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Die Beschichtungen verringerten den Oberflächenglanz und erhöhten die Elastizität und Transparenz der Substrate, die Merkmale waren jeweils bei dickeren Schichten stärker ausgeprägt als bei dünneren. Beschichtungen mit einer Schichtdicke > 1,0 führten zu einer Verdunkelung der Oberfläche, dickere Schichten mehr als dünnere. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser – bis auf eine Ausnahme (Parylen N – 7,4 µm) sickerten die aufstehenden Tropfen langsam durch das Gewebe. Kein Substrat veränderte sich in der Form. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 119).

6 Ergebnisse

Tabelle 17: Untersuchung der Zuschnitte einer Seidenbespannung

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Oberflächen- rauheit	Elastizität	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reib- wider- stand	OF – Widerstand
				A	B	C					
Referenz											schwach
Parylen C 6,85 µm	---	++	+++	0	0	0	+++ Nasseffekt	0	++++	-	gut
Parylen C 3,5 µm	--	+	++	0	0	0	++ Nasseffekt	0	+++	-	gut
Parylen C 1,25 µm	-	+	+	0	0	0	+	0	+	-	gut
Parylen N 1,0 µm	-	+	++	0	0	0	+	0	++	-	gut
Parylen N 3,0 µm	--	+	+++	0	0	0	++ Nasseffekt	0	+++	-	gut
Parylen N 7,4 µm	--- -	++	++++	0	0	0	+++ Nasseffekt	0	++++	-	gut – Tropfen sickert nicht durchs Gewebe

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Die Beschichtungen verringerten den Oberflächenglanz und erhöhten die Elastizität und Oberflächenrauheit der Substrate, die Merkmale waren jeweils bei dickeren Schichten stärker ausgeprägt als bei dünneren. Alle Beschichtungen mit führten zu einer Verdunkelung der Oberfläche, dickere Schichten mehr als dünnere. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser – bis auf eine Ausnahme (Parylen N – 7,4 µm) sickerten die aufstehenden Tropfen langsam durch das Gewebe. Kein Substrat veränderte sich in der Form. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen N war die Festigung stärker als bei Parylen C. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 120, Foto 121).

6 Ergebnisse

Tabelle 18: Untersuchung der Bruchstücke fossilen Elfenbeins

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF- Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										schwach
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	0	0	0	++	–	mäßig
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	0	0	0	++	–	mäßig
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	0	0	0	0	+	–	mäßig
Parylen N 1,0 µm	0	0	0	0	0	0	0	+	0	mäßig
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	0	0	0	+	–	mäßig
Parylen N 7,4 µm	0	0	0	0	0	0	0	++	–	mäßig

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz, Oberflächenrauheit, Form und Farbe der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten großteils den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen. Dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen C war die Festigung stärker als bei Parylen N. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 122, Foto 123).

6 Ergebnisse

Tabelle 19: Untersuchung der Bruchstücke des schwammartigen Kunststoffes aus einem Mikrophon-Hauptverstärker

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF- Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
Referenz										gut
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	0	0	0	+++	0	0
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	0	0	0	++	0	0
Parylen C 1,25 µm	+ auf der Rück- seite	0	0	0	0	0	0	++	0	0
Parylen N 1,0 µm	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	0	0	0	+++	0	0
Parylen N 7,4 µm	0	0	0	0	0	0	0	+++	0	0

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Oberflächenrauheit, Form, Farbe und Reibwiderstand der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen N war die Festigung stärker als bei Parylen C. Bei einem Substrat trat auf der Rückseite bedingt durch dessen Oberflächenrauheit ein leichter Glanz auf. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 126, Foto 127).

6 Ergebnisse

Tabelle 20: Untersuchung der Proben einer PVC- Comicfigur

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF- Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										gut – Tropfen perlt ab
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	0	0	0	++	–	0
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	0	0	0	++	–	0
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	0	0	0	0	+	–	0
Parylen N 1,0 µm	0	0	0	0	0	0	0	+	–	0
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	0	0	0	+	–	0
Parylen N 7,4 µm	0	0	0	0	0	0	0	+++	–	0

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz, Oberflächenrauheit, Form und Farbe der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen C war die Festigung stärker als bei Parylen N. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 130, Foto 131).

6 Ergebnisse

Tabelle 21: Untersuchung der Proben eines Treibriemens zur Erzbereitungsanlage

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Geruch	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										gut
Parylen C 6,85 µm	+	–	0	0	0	0	0	++	–	0
Parylen C 3,5 µm	+	–	0	0	0	0	0	++	–	0
Parylen C 1,25 µm	+	–	0	0	0	0	0	++	–	0
Parylen N 1,0 µm	+	0	++	++	++	0	0	+	–	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	+	–	0	+	+	0	0	++	–	sehr gut
Parylen N 7,4 µm	+	–	0	0	0	0	0	++	–	sehr gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Die Beschichtungen erhöhten den Oberflächenglanz der Proben. Form und Farbe der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und teilweise auch die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Bei Beschichtungen mit Parylen N traten Interferenzen auf, diese waren abhängig von den Schichtdicken, bei dünneren Schichten waren die Interferenzen ausgeprägter.

Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen C war die Festigung stärker als bei Parylen N (Foto 124, Foto 125).

6 Ergebnisse

Tabelle 22: Untersuchung der Proben einer Schlittschuhsohle

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Elastizität	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										schwach
Parylen C 6,85 µm	0	--	0	0	0	+	0	+++	-	gut
Parylen C 3,5 µm	0	--	0	0	0	+	0	+++	-	gut
Parylen C 1,25 µm	0	-	0	0	0	0	0	+	-	gut
Parylen N 1,0 µm	0	-	0	+	+	0	0	++	-	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	0	-	0	0	0	0	0	++	-	sehr gut
Parylen N 7,4 µm	0	-	0	0	0	0	0	++	-	sehr gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz und Form der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Dickere Parylen C Schichten führten teilweise zu einer Dunkelung der Oberfläche, sowie einer verringerten Elastizität. Insgesamt wurde die Elastizität der Substrate verringert. Die Beschichtungen verringerten außerdem den Reibwiderstand und teilweise auch die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Bei Schichtdicken $\leq 1,0 \mu\text{m}$ traten Interferenzen unter monochromatischem Licht auf.

Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Festigung erreicht, bei Parylen C war die Festigung stärker als bei Parylen N (Foto 128, Foto 129).

6 Ergebnisse

Tabelle 23: Untersuchung der Bruchstücke glasierter Keramik

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substrat- festigung	Reibwiderstand	OF - Widerstand
		A	B	C					
Referenz		+	+	+					Glasur: mäßig Rückseite: schwach
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	+ Rückseite	0	++	-	gut
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	+ Rückseite	0	++	-	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz und Form der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verdunkelten die nicht glasierte Seite. Die Beschichtungen verringerten außerdem den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Die Substrate verfestigten sich durch die Beschichtungen. Neben dem Irisieren der Glasur wurden keine Interferenzen in der Beschichtung beobachtet (Foto 134-Foto 137).

Tabelle 24: Untersuchung der Silbergussrohlinge

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF- Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Wärmeableitung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										gut
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	-	-	0
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	-	-	0
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	0	0	+ Nasseffekt	0	-	-	0
Parylen N 1,0 µm	0	0	0	0	0	+ Nasseffekt	0	-	-	0
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	0	+ Nasseffekt	0	-	-	0
Parylen N 7,4 µm	0	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	-	-	0

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz, Oberflächenrauheit und Form der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Wärmeableitung. Die Substrate verdunkelten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Verdunkelung beobachtet. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 115, Foto 116).

6 Ergebnisse

Tabelle 25: Untersuchung der silbernen spätmittelalterlichen Heller

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF- Rauh- eit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Wärmeableitung	Reibwiderstand	OF - Widerstand
			A	B	C					
Referenz										sehr gut
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	–	–	gut
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	–	–	gut
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	0	+	+ Nasseffekt	0	–	–	gut
Parylen N 1,0 µm	0	0	+	+	+	+ Nasseffekt	0	–	–	gut
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	–	–	gut
Parylen N 7,4 µm	0	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	–	–	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz, Oberflächenrauheit und Form der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Wärmeableitung. Die Substrate verdunkelten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Verdunkelung beobachtet. Die Beschichtungen zeigten bei dünneren Schichtdicken Interferenzen, Parylen N wies dabei stärkere Interferenzen auf als Parylen C. Die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurde verbessert (Foto 113, Foto 114).

6 Ergebnisse

Tabelle 26: Untersuchung der Feinsilber Unzen – Wiener Philharmoniker

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF – Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Wärmeableitung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	0	0	0	–	–	gut
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	0	0	0	–	–	gut
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	0	0	0	0	–	–	gut
Parylen N 1,0 µm	–	0	0	++	++	0	0	–	–	gut
Parylen N 3,0 µm	–	0	0	0	0	0	0	–	–	gut
Parylen N 7,4 µm	–	0	0	0	0	0	0	–	–	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Oberflächenrauheit, Form und Farbe der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Wärmeableitung. Bei Substraten, die mit Parylen N beschichtet wurden, verringerte sich der Glanz der Oberfläche, außerdem zeigte die dünnste Beschichtung mit Parylen N, deutliche Interferenzen unter monochromatischem Licht. Die Beschichtungen verringerten die Benetzungsfähigkeit mit Wasser (Foto 111, Foto 112).

Tabelle 27: Untersuchung der vier archäologischen Fragmente eines Messers F86/25.16

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF – Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substratfestigung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										sehr gut
Parylen C 6,85 µm	+	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	+	–	gut
Parylen C 1,25 µm	+	0	0	0	0	++	0	+	–	gut
Parylen N 1,0 µm	+	0	0	0	0	++	0	+	–	gut
Parylen N 7,4 µm	+	0	0	0	0	++	0	+	–	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

6 Ergebnisse

Ergebnis: Oberflächenrauheit und Form der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und erhöhten den Glanz und die Festigkeit. Die Substrate verdunkelten sich durch die Beschichtungen, dabei wurde mit zunehmender Schichtdicke eine zunehmende Verdunkelung beobachtet. Die Beschichtungen zeigten bei dünneren Schichtdicken Interferenzen. Parylen N wies dabei stärkere Interferenzen auf als Parylen C. Die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurde verbessert (Foto 132, Foto 133).

Tabelle 28: Untersuchung der zwei archäologischen Fragmente eines Sax

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF – Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Substratfestigung	Reibwiderstand	OF - Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig
Parylen C 3,5 µm	+	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	++	–	gut
Parylen N 3,0 µm	+	0	0	0	0	++ Nasseffekt	0	++	–	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Oberflächenrauheit und Form der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser, erhöhten jedoch den Glanz und die Festigkeit. Die Substrate verdunkelten sich. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 138-Foto 141).

Tabelle 29: Untersuchung der Kupferplättchen – einseitig vergoldet

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF – Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Wärme- ableitung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	+ Au- Seite	0	0	–	–	gut
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	++ Au- Seite	0	0	–	–	gut
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	+++	+++	0	0	–	–	gut
Parylen N 1,0 µm	0	0	+++	+++	+++	0	0	–	–	gut
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	++ Au- Seite	0	0	–	–	gut
Parylen N 7,4 µm	0	0	0	0	++ Au- Seite	0	0	–	–	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

6 Ergebnisse

Ergebnis: Glanz, Oberflächenrauheit, Form und Farbe der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand, die Wärmeleitfähigkeit und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Auf den vergoldeten Seiten der Proben wurden im Spiegelglanzwinkel Interferenzen beobachtet, bei Schichtdicken < 3,0 µm wurden Interferenzen im Neonlicht sowie im Tageslicht (bei Parylen N) beobachtet (Foto 117, Foto 118).

Tabelle 30: Untersuchung der Stahlplättchen

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	OF – Rauheit	Interferenzen			Dunkelung	Form	Wärmeableitung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig
Parylen C 6,85 µm	0	0	0	0	+	0	0	–	–	gut
Parylen C 3,5 µm	0	0	0	0	+	0	0	–	–	gut
Parylen C 1,25 µm	0	0	0	0	+	0	0	–	–	gut
Parylen N 1,0 µm	0	0	+++	+++	+++	0	0	–	–	gut
Parylen N 3,0 µm	0	0	0	0	++	0	0	–	–	gut
Parylen N 7,4 µm	0	0	0	0	++	0	0	–	–	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Glanz, Oberflächenrauheit, Form und Farbe der Substrate wurden von den Beschichtungen nicht beeinflusst. Die Beschichtungen verringerten den Reibwiderstand, die Wärmeleitfähigkeit und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser. Im Spiegelglanzwinkel wurden Interferenzen beobachtet. Bei einer 1,0 µm dicken Parylen N-Schicht wurden Interferenzen im Neonlicht sowie im Tageslicht beobachtet. Insgesamt tendierten Parylen N Schichten zu stärkeren Interferenzen als Parylen C-Schichten (Foto 109).

6 Ergebnisse

Tabelle 31: Untersuchung der Kupferplättchen 30 x 30 mm

Parylentyp/ Schichtdicke	Primer	Glanz	Interferenzen			Verfärbungen	Form	Wärme- ableitung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig
Parylen C 3,5 µm	ohne	0	0	0	0	0	0	–	0	gut
Parylen C 3,5 µm	Alloy Primer	0	0	0	0	0	0	–	0	gut
Parylen C 3,5 µm	2- Mercapto- benz- imidazole	–	0	0	0	++ / weiße Schlieren vom Auftrocknen des Primers.	0	–	+	gut
Parylen N 3,0 µm	ohne	0	0	0	0	0	0	–	0	gut
Parylen N 3,0 µm	Alloy Primer	0	0	+	+	++ / gelbliche Ränder vom Auftrocknen des Primers	0	–	0	gut
Parylen N 3,0 µm	2- Mercapto- benz- imidazole	–	0	0	0	++ / weiße Schlieren vom Auftrocknen des Primers.	0	–	+	gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Substrate, die nicht mit Primer vorbehandelt wurden, zeigten keine Veränderungen in Glanz, Form, Farbe oder Reibwiderstand auch waren keine Interferenzen sichtbar. Die Wärmeableitung und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurden verringert.

Substrate, die mit Alloy Primer vorbehandelt wurden, wiesen ebenso keine Veränderungen in diesen Merkmalen auf. Die Wärmeableitung und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurden verringert. Parylen N beschichtete Kupferplättchen zeigten an gelblichen Rändern, die durch das Auftrocknen des Primers entstanden Interferenzen unter monochromatischem Licht.

Bei Substraten, die mit 2-Mercaptobenzimidazole vorbehandelt wurden, verringerten sich der Glanz, die Wärmeableitung und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser, es erhöhte sich jedoch der Reibwiderstand durch eine raue Oberfläche. Zudem hinterließ der aufgetrocknete Primer weiße Schlieren auf der Oberfläche. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 107, Foto 108).

6 Ergebnisse

Tabelle 32: Untersuchung der galvanisch vergoldeten Kupferplättchen 40 x 40 mm

Parylentyp/ Schichtdicke	Primer	Glanz	Interferenzen			Verfärbung	Form	Wärmeableitung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig
Parylen C 3,4 µm	ohne	0	0	+	+	0	0	0	++	sehr gut
Parylen C 3,4 µm	Alloy Primer	0	0	+	+	+ / leichter Rotstich, Ränder vom Auftrocknen des Primers	0	0	++	sehr gut
Parylen C 3,4 µm	2- Mercapto benz- imidazole	–	0	0	0	++ / weiße Schlieren vom Auftrocknen des Primers.	0	0	+	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	ohne	0	0	0	+	+ / leichter Grünstich	0	0	+	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	Alloy Primer	0	0	+	+	+ / leichter Rotstich, Ränder vom Auftrocknen des Primers	0	0	0	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	2- Mercapto benz- imidazole	–	0	0	0	++ / weiße Schlieren vom Auftrocknen des Primers.	0	0	+	sehr gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Substrate, die nicht mit Primer vorbehandelt wurden, zeigten keine Veränderungen in Glanz, Form, Farbe oder Wärmeableitung. Der Reibwiderstand wurde erhöht, die Oberfläche erschien leicht klebrig. Interferenzen waren unter monochromatischem Licht sichtbar, besonders an den Kanten und im Spiegelglanzwinkel. Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurde stark verringert. Ein Substrat bekam durch die Beschichtung mit Parylen N einen leichten Grünstich. Substrate, die mit Alloy Primer vorbehandelt wurden zeigten keine Veränderungen in Glanz, Form oder Wärmeableitung. Die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurde stark verringert. Neben einem leichten Rotstich wurden Ränder vom Auftrocknen des Primers beobachtet, welche unter monochromatischem Licht Interferenzen zeigten. Die Beschichtung mit Parylen C erschien leicht klebrig und hatte zudem einen höheren Reibwiderstand. Bei Substraten, die mit 2-Mercaptobenzimidazole vorbehandelt wurden, verringerten sich der Glanz, die Wärmeableitung und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser, es erhöhte sich jedoch der Reibwiderstand durch eine raue Oberfläche. Zudem hinterließ der aufgetrocknete Primer weiße Schlieren auf der Oberfläche. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen (Foto 144).

Tabelle 33: Untersuchung der Kupferplättchen 40 x 40 mm

6 Ergebnisse

Parylentyp/ Schichtdicke	Primer	Glanz	Interferenzen			Verfärbung	Form	Wärmeableitung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig
Parylen C 3,4 µm	ohne	0	0	0	0	0	0	0	+	sehr gut
Parylen C 3,4 µm	Alloy Primer	0	0	+	+	++ / gelbliche Ränder vom Auftrocknen des Primers	0	0	+	sehr gut
Parylen C 3,4 µm	2- Mercapto benz- imidazole	–	0	0	0	++ / weiße Schlieren vom Auftrocknen des Primers.	0	0	+	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	ohne	0	0	+	+	0	0	0	+	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	Alloy Primer	0	0	+	+	++ / gelbliche Ränder vom Auftrocknen des Primers	0	0	+	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	2- Mercapto benz- imidazole	–	0	+	+	++ / weiße Schlieren vom Auftrocknen des Primers.	0	0	+	sehr gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Substrate, ohne Primer-Vorbehandlung, zeigen keine Veränderungen in Glanz, Form, Farbe oder Wärmeableitung. Es sind keine Interferenzen sichtbar. Der Reibwiderstand wurde erhöht, die Oberfläche erschien leicht klebrig. Die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurde stark verringert.

Substrate, mit Alloy Primer vorbehandelt, zeigen ebenso keine Veränderungen in diesen Merkmalen. Der Reibwiderstand wurde erhöht und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurde stark verringert. Die beschichteten Kupferplättchen zeigten gelbliche Ränder vom Auftrocknen des Primers und wiesen unter monochromatischem Licht Interferenzen auf.

Substrate, mit 2-Mercaptobenzimidazole vorbehandelt, verringerten den Glanz und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser, es erhöhte sich jedoch der Reibwiderstand durch eine raue Oberfläche. Der aufgetrocknete Primer hinterließ weiße Schlieren auf der Oberfläche. Die Beschichtung mit Parylen N zeigte Interferenzen unter monochromatischem Licht (Foto 145).

6 Ergebnisse

Tabelle 34: Untersuchung der galvanisch versilberten Kupferplättchen 40 x 40 mm

Parylentyp/ Schichtdicke	Primer	Glanz	Interferenzen			Verfärbung	Form	Wärme- ableitung	Reibwiderstand	OF - Widerstand
			A	B	C					
Referenz										mäßig
Parylen C 3,4 µm	ohne	0	0	0	0	++/ rückseitig Gelbstich der Oberfläche	0	0	+	sehr gut
Parylen C 3,4 µm	Alloy Primer	0	0	+	+	++ / gelbliche Ränder vom Aufdrocknen des Primers, rückseitig Gelbstich der Oberfläche	0	0	+	sehr gut
Parylen C 3,4 µm	2- Mercapt obenz- imidazol e	-	0	0	0	++ / weiße Schlieren vom Aufdrocknen des Primers, rückseitig schwacher Gelbstich der Oberfläche	0	0	+	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	ohne	0	0	+ an den Kanten	+	++/ rückseitig Gelbstich der Oberfläche	0	0	+	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	Alloy Primer	0	0	+	+	++ / gelbliche Ränder vom Aufdrocknen des Primers, rückseitig Gelbstich der Oberfläche	0	0	+	sehr gut
Parylen N 3,0 µm	2- Mercapt obenz- imidazol e	-	0	+ nur auf der polierten Seite	+	++ / weiße Schlieren vom Aufdrocknen des Primers, rückseitig schwacher Gelbstich der Oberfläche	0	0	+	sehr gut

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Substrate, ohne Primer-Vorbehandlung zeigen keine Veränderungen in Glanz, Form oder Wärmeableitung. Interferenzen waren bei der Beschichtung mit Parylen N an den Kanten sichtbar. Der

6 Ergebnisse

Reibwiderstand wurde erhöht, die Oberfläche erschien leicht klebrig. Die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurde erheblich verringert.

Substrate, mit Alloy Primer vorbehandelt, zeigten keine Veränderungen in Glanz, Form und Wärmeableitung. Der Reibwiderstand wurde erhöht und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser stark verringert. An den beschichteten Silberoberflächen waren gelbliche Ränder vom Auftrocknen des Primers zu erkennen, welche unter monochromatischem Licht Interferenzen zeigten.

Bei Substraten, mit 2-Mercaptobenzimidazole vorbehandelt, verringerten sich der Glanz und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser, es erhöhte sich jedoch der Reibwiderstand durch eine raue Oberfläche. Der aufgetrocknete Primer hinterließ weiße Schlieren auf der Oberfläche. Die Beschichtung mit Parylen N zeigte auf der polierten Seite Interferenzen unter monochromatischem Licht. Alle Substrate waren rückseitig auf der nicht polierten Seite gelbstichig (Foto 146, Foto 147).

Tabelle 35: Untersuchung der Aluminiumplättchen Ag – besputtert

Parylentyp/ Schichtdicke	Glanz	Primer			Interferenzen			Dunkelung	Form	Wärme- ableitung	Reibwiderstand	OF – Widerstand
		1	2	3	A	B	C					
Referenz												mäßig
Parylen C 6,85 µm	0	X	X		0	0	0	0	0	0	–	gut
Parylen C 3,5 µm	0 (1,2) – (3)	X	X	X	0	0	+ (2) 0 (1,3)	+ (2,3)	0	0	– (1, 2) + (3)	gut
Parylen C 1,25 µm	0	X	X		0	0	+ (1,2)	0	0	0	–	gut
Parylen N 1,0 µm	0	X	X		0	++ (1,2)	++ (1,2)	0	0	0	–	gut
Parylen N 3,0 µm	0 (1,2) – (3)	X	X	X	0	0	++ (1,2) 0 (3)	+(2,3)	0	0	– (1, 2) + (3)	gut
Parylen N 7,4 µm	0	X	X		0	0	0	0	0	0	–	gut

1 = ohne Primer, 2 = Alloy Primer, 3 = 2-Mercaptobenzimidazole

A = Tageslicht, B = Neonröhre, C = Spiegelglanzwinkel in Leuchtstofflampenlicht

Ergebnis: Substrate, ohne Primer-Vorbehandlung, zeigen keine Veränderungen in Glanz, Farbe, Form, und Wärmeableitung. Der Reibwiderstand der Oberfläche und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurden reduziert. Interferenzen traten bei einem mit Parylen C beschichteten Substrat bei einer Schichtdicke von 1,25 µm im Spiegelglanz monochromatischen Lichts auf. Bei mit Parylen N beschichteten Substraten traten Interferenzen außerdem bei einer Schichtdicke von 1,0 µm unter monochromatischer Beleuchtung und bei einer Schichtdicke von 3,0 µm im Spiegelglanz monochromatischen Lichts auf.

Substrate, mit Alloy Primer vorbehandelt, zeigten keine Veränderungen in Glanz, Form und Wärmeableitung. Reibwiderstand der Oberfläche und die Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurden

6 Ergebnisse

verringert. Durch das Auftrocknen des Primers entstanden auf der Oberfläche stellenweise Ränder. Das Interferenzverhalten entsprach im Wesentlichen dem der Substrate ohne Primer, jedoch konnten Interferenzen auch bei einer Parylen C Schicht mit 3,5 µm Dicke an den Trocknungsrändern des Primers beobachtet werden.

Substrate, mit 2-Mercaptobenzimidazole als Primer vorbehandelt, zeigten keine Veränderungen in Form und Wärmeableitung. Glanz und Benetzungsfähigkeit mit Wasser wurden reduziert. Der Reibwiderstand wurde durch eine raue Oberfläche etwas erhöht. Durch das Auftrocknen des Primers bildeten sich auf der Oberfläche weiße Schlieren. Die Beschichtungen zeigten keine Interferenzen.

6.2 Ergebnisse der Untersuchung zur Prüfung der Haftfestigkeit

6.2.1 Ergebnisse der Untersuchung zur Abnahme von Parylenschichten mittels Skalpell und Feinstrahlen an archäologischem Eisen

Um zu überprüfen, inwiefern sich applizierte Parylenschichten mit typischen Arbeitsmethoden der Restaurierung archäologischen Kulturguts entfernen lassen, wurde die Abnahme der Parylenschicht mittels Skalpell und Feinstrahlen getestet. Dafür wurde ein Fragment eines Sax' verwendet, welches bereits in der Interdisziplinären Seminararbeit³⁵ mit 3,45 µm Schichtdicke mit Parylen C beschichtet worden war (Foto 65, Foto 66).

Die Entfernung mit dem Skalpell zeigte, dass es verhältnismäßig mühsam war die Parylenschicht von der Oberfläche zu entfernen. Durch die raue, inhomogene Oberfläche war es nur begrenzt möglich größere Stücke der Schicht abzunehmen. An Stellen an denen Korrosion auf der Oberfläche anhaftete konnten Schichten nicht entfernt werden ohne die Korrosion ebenso abzunehmen.

Das Feinstrahlen mit Edeldorund erwies sich als effektive Methode um die Parylenschicht zu entfernen. Besonders in den Tiefen der unebenen Oberfläche gelang ein einfaches Entfernen der Parylenschicht, anhaftende Korrosion wurde dabei ebenfalls entfernt (Foto 162, Foto 163).

6.2.2 Ergebnisse der Untersuchungen zur Prüfung der Kratzfestigkeit von Parylenschichten und deren Entfernbarekeit mit Skalpell und Pinzette, Scotch – Tape – Test und Gitterschnittprüfung

Während der Untersuchungen zeigte sich, dass die Haftfestigkeit umso niedriger war, je glatter die beschichtete Oberfläche war. Um Parylenschichten von porösen Oberflächen zu entfernen wäre in den meisten Fällen eine Verletzung der Substratoberfläche unvermeidbar gewesen, weswegen bei vielen Substraten auf eine Prüfung der Entfernbarekeit der Schicht verzichtet wurde. Das galt besonders für diejenigen Substrate, an denen die Parylenbeschichtung eine konsolidierende Funktion erfüllen sollte. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der beprobten Substrate zusammengefasst, für diese gelten die vorangestellten Erläuterungen.

³⁵ Jückstock 2011 .

6 Ergebnisse

Testergebnis:

- X positiv
- 0 negativ
- ++++ sehr leicht zu entfernen
- +++ leicht zu entfernen
- ++ mäßig leicht zu entfernen
- + schlecht zu entfernen
- nicht zu entfernen

Tabelle 36: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an einseitig vergoldeten Kupferplättchen

Parylentyp/ Schichtdicke	Kratztest				Entfernbarkeit mit Skalpell	Entfernbarkeit mit Pinzette	Scotch – Tape - Test	Substrat- rückstände
	A	B	C	D				
Parylen C 6,85 µm	0	0	X	X	Cu-Seite +++	Cu-Seite +++	Cu-Seite +++	0
					Au-Seite +	Au-Seite +	Au-Seite +	
Parylen C 3,5 µm	0	0	X	X	Cu-Seite ++	Cu-Seite ++	Cu-Seite +++	0
					Au-Seite +	Au-Seite +	Au-Seite +	
Parylen C 1,25 µm	0	0	X	X	Cu-Seite +	Cu-Seite +	Cu-Seite ++++	0
					Au-Seite +	Au-Seite +	Au-Seite ++++	
Parylen N 1,0 µm	0	0	X	X	Cu-Seite +	Cu-Seite +	Cu-Seite ++	0
					Au-Seite +	Au-Seite +	Au-Seite ++	
Parylen N 3,0 µm	0	0	X	X	Cu-Seite +++	Cu-Seite +++	Cu-Seite +++	0
					Au-Seite +++	Au-Seite +++	Au-Seite +++	
Parylen N 7,4 µm	0	0	X	X	Cu-Seite +++	Cu-Seite +++	Cu-Seite +++	0
					Au-Seite +++	Au-Seite +++	Au-Seite +++	

A = Fingernagel, B = Holzstab, C = Glas, D = Metall

Parylenschichten konnten nur durch Glas und Metall geritzt werden. Die Haftung von Parylen C auf der vergoldeten Oberfläche ist besser als auf der Kupferoberfläche. Die Abnahme mit dem Scotch – Tape – Test war effektiver und einfacher zu bewerkstelligen als die Abnahme mit Skalpell und Pinzette. Im Vergleich zeigte sich, dass dickere Schichten sich besser entfernen lassen als dünnere Schichten. Parylen N lässt sich leichter von der Au-Oberfläche entfernen als Parylen C (Foto 157, Foto 158).

6 Ergebnisse

Tabelle 37: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an archäologischen Fragmenten F86/25.16 und Sax P15, P11

Parylentyp/ Schichtdicke	Kratztest				Entfernbarkeit mit Skalpell	Entfernbarkeit mit Pinzette	Scotch – Tape - Test	Substrat- rückstände
	A	B	C	D				
Parylen C 6,85 µm	0	0	X	X	+++	+++	+	0
Parylen C 3,5 µm	0	0	X	X	Sax P11+	Sax P11+	Sax P11+	0
Parylen C 1,25 µm	0	0	X	X	+	+	+	0
Parylen N 1,0 µm	0	0	X	X	+	+	+	0
Parylen N 3,0 µm	0	0	X	X	Sax P15 +	Sax P15 +	Sax P15 +	0
Parylen N 7,4 µm	0	0	X	X	++	++	++	0

A = Fingernagel, B = Holzstab, C = Glas, D = Metall

Die Untersuchung der Haftfestigkeit auf den archäologischen Fragmenten zeigte, dass die Parylenschicht nur durch Glas und Metall geritzt wurde. Im Allgemeinen waren die Parylenschichten auf archäologischen Substraten bedingt durch die porösen und sehr unebenen Oberflächen schlecht zu entfernen. Es zeigte sich, dass dickere Schichten im Vergleich zu dünneren sich mit dem Skalpell und der Pinzette besser entfernen ließen als mit dem Klebeband (Foto 159).

6 Ergebnisse

Tabelle 38: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an Glasplattennegativen

Parylentyp/ Schichtdicke	Kratztest				Entfernbarkeit mit Skalpell	Entfernbarkeit mit Pinzette	Scotch – Tape - Test	Substrat- rückstände
	A	B	C	D				
Parylen C 6,85 µm	0	0	X	X	++++	++++	++++	0
Parylen C 3,5 µm	0	0	X	X	++++	++++	++++	0
Parylen C 1,25 µm	0	0	X	X	+++	+++	++++	0
Parylen N 1,0 µm	0	0	X	X	+++	+++	++++	0
Parylen N 3,0 µm	0	0	X	X	++++	++++	++++	0
Parylen N 7,4 µm	0	0	X	X	++++	++++	++++	0

A = Fingernagel, B = Holzstab, C = Glas, D = Metall

Die Überprüfung der Haftfestigkeit, der auf die Glasplattennegative applizierten Parylenschichten zeigte, dass die Schichten nur durch Glas und Metall zu ritzen waren. Alle Schichten waren sehr gut mit dem Klebeband abnehmbar, im Vergleich zur Abnahme mit Skalpell und Pinzette eignete sich das Klebeband besser, da die Substratoberfläche bei dünneren Schichten leicht verletzt werden kann. Substratrückstände an den abgenommenen Parylenschichten konnten weder auf der Glasoberfläche noch auf der Fotoemulsion beobachtet werden (Foto 148, Foto 149).

6 Ergebnisse

Tabelle 39: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an Porträtfotos

Parylentyp/ Schichtdicke	Kratztest				Entfernbarkeit mit Skalpell	Entfernbarkeit mit Pinzette	Scotch – Tape - Test	Substrat- rückstände
	A	B	C	D				
Parylen C 6,85 µm	X	X	X	X	Vorderseite +++	Vorderseite +++	Vorderseite +++	0
					Rückseite –	Rückseite –	Rückseite –	
Parylen C 3,5 µm	X	X	X	X	Vorderseite +++	Vorderseite +++	Vorderseite +++	0
					Rückseite –	Rückseite –	Rückseite –	
Parylen C 1,25 µm	X	X	X	X	Vorderseite +++	Vorderseite +++	Vorderseite +++	0
					Rückseite –	Rückseite –	Rückseite –	
Parylen N 1,0 µm	X	X	X	X	Vorderseite +	Vorderseite +	Vorderseite +++	0
					Rückseite –	Rückseite –	Rückseite –	
Parylen N 3,0 µm	X	X	X	X	Vorderseite +++	Vorderseite +++	Vorderseite +++	0
					Rückseite –	Rückseite –	Rückseite –	
Parylen N 7,4 µm	X	X	X	X	Vorderseite +++	Vorderseite +++	Vorderseite +++	0
					Rückseite –	Rückseite –	Rückseite –	

A = Fingernagel, B = Holzstab, C = Glas, D = Metall

Die Prüfung der Haftfestigkeit von Parylenschichten auf den Porträtfotos zeigte, dass applizierte Schichten durch Fingernagel, Holz, Glas und Metal zu ritzen waren. Auf der Fotovorderseite waren die aufgetragenen Schichten durchwegs leicht mit dem Klebeband zu entfernen. Ein Entfernen mit Skalpell und Pinzette war ebenso leicht durchführbar, einzig bei der 1,0µm dicken Parylenschicht erwies sich das Abnehmen der Schicht als mühsam und es bestand die Gefahr die Substratoberfläche mechanisch zu verletzen. Substratrückstände an den abgenommenen Parylenschichten wurden nicht beobachtet. Bei der Fotorückseite war ein Abnehmen der applizierten Schichten nicht möglich, da aufgrund der porösen Substratoberfläche das Parylen in das Papier eingedrungen ist (Foto 151).

6 Ergebnisse

Tabelle 40: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an Diapositivaufnahmen

Parylentyp/ Schichtdicke	Kratztest				Entfernbarkeit mit Skalpell	Entfernbarkeit mit Pinzette	Scotch – Tape - Test	Substrat- rückstände
	A	B	C	D				
Parylen C 6,85 µm	X	X	X	X	++++	++++	++++	0
Parylen C 3,5 µm	X	X	X	X	++++	++++	++++	0
Parylen C 1,25 µm	X	X	X	X	++++	++++	++++	0
Parylen N 1,0 µm	X	X	X	X	++++	++++	++++	0
Parylen N 3,0 µm	X	X	X	X	++++	++++	++++	0
Parylen N 7,4 µm	X	X	X	X	++++	++++	++++	0

A = Fingernagel, B = Holzstab, C = Glas, D = Metall

Überprüfung der Haftfestigkeit der Parylenschicht auf den Diapositivaufnahmen: Die aufgetragene Schicht ließ leicht durch Fingernagel, Holzstab, Glas und Metall ritzen. Mit dem Klebeband ließen sich applizierte Schichten leicht von der Oberfläche abziehen. Es blieben keine Substratrückstände an den abgezogener Parylenschicht haften. Auch die Fotoemulsion auf der Rückseite des Substrates wurde durch den Scotch-Tape-Test nicht geschädigt (Foto 150).

Tabelle 41: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an spätmittelalterlichem Heller

Parylentyp/ Schichtdicke	Kratztest				Entfernbarkeit mit Skalpell	Entfernbarkeit mit Pinzette	Scotch – Tape - Test	Substrat- rückstände
	A	B	C	D				
Parylen C 6,85 µm	0	0	X	X	++	++	++	X

A = Fingernagel, B = Holzstab, C = Glas, D = Metall

Die Schicht war durch Glas und Metall zu ritzen und bei der Entfernung der Parylenschicht mit dem Scotch-Tape-Test aufliegende Silberoxide der Substratoberfläche hafteten an der abgezogenen Schicht. Bei einer Entfernung mit Skalpell und Pinzette hafteten Oxide an der Oberfläche an (Foto 153, Foto 154).

6 Ergebnisse

Tabelle 42: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an glasierten Keramikbruchstücken

Parylentyp/ Schichtdicke	Kratztest				Entfernbarkeit mit Skalpell	Entfernbarkeit mit Pinzette	Scotch – Tape - Test	Substrat- rückstände
	A	B	C	D				
Parylen C 3,5 µm	0	0	X	X	glasierte Seite +++	glasierte Seite +++	glasierte Seite +++	0
					tonige Seite –	tonige Seite –	tonige Seite –	
Parylen N 3,0 µm	0	0	X	X	glasierte Seite +++	glasierte Seite +++	glasierte Seite +++	0
					tonige Seite –	tonige Seite –	tonige Seite –	

A = Fingernagel, B = Holzstab, C = Glas, D = Metall

Die Untersuchung zeigte, dass die aufgetragenen Parylenschichten durch Glas und Metall zu ritzen waren. Auf der glasierten Substratoberfläche ließen sich die Schichten mit Klebeband, Skalpell und Pinzette leicht entfernen. Eine Entfernung der Beschichtungen auf der tonigen Oberfläche war nicht möglich, da auf Grund der hohen Porosität des Materials die Parylene in das Material eingedrungen sind (Foto 160, Foto 161).

Tabelle 43: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an vergoldeten Kupferplättchen 40 x 40 mm

Parylentyp/ Schichtdicke	Gitterschnittkennwert		
	A	B	C
Parylen C 3,4 µm	5	2	5
Parylen N 3,0 µm	5	3	5

A= ohne Primer, B = Alloy Primer, C= 2 – Mercaptobenzimidazole

Die Gitterschnittprüfung zeigte, dass lediglich der Alloy Primer die Haftung auf der Goldoberfläche verbesserte (Foto 164).

Tabelle 44: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an versilberten Kupferplättchen 40 x 40 mm

Parylentyp/ Schichtdicke	Gitterschnittkennwert		
	A	B	C
Parylen C 3,4 µm	3	2	5
Parylen N 3,0 µm	5	3	5

A= ohne Primer, B = Alloy Primer, C= 2 – Mercaptobenzimidazole

Die Gitterschnittprüfung zeigte, dass Parylen C auf der Silberoberfläche eine bessere Haftung hatte als Parylen N, außerdem verbesserte der Alloy Primer im Gegensatz zu 2 – Mercaptobenzimidazole als Primer die Schichthaftung (Foto 166).

6 Ergebnisse

Tabelle 45: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Kupferplättchen 40 x 40 mm

Parylentyp/ Schichtdicke	Gitterschnittkennwert		
	A	B	C
Parylen C 3,4 µm	5	2	5
Parylen N 3,0 µm	4	0	5

A= ohne Primer, B = Alloy Primer, C= 2 – Mercaptobenzimidazole

Die Gitterschnittprüfung zeigt, dass Parylen N auf der Kupferoberfläche eine bessere Haftung erzielte als Parylen C. Der Alloy Primer verbesserte die Schichthaftung deutlich. 2-Mercaptobenzimidazole eignete sich nicht als Haftvermittler (Foto 165).

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass, je glatter eine Oberfläche, desto einfacher lassen sich Parylenschichten vom Substrat abnehmen. Bei rauen und porösen Oberflächen erwies sich das Abnehmen der Parylenschichten mit Klebeband, Skalpell und Pinzette als undurchführbar bzw. schwer durchführbar und mühselig. Ein Entfernen der Parylenschichten mittels Feinstrahlen ist jedoch auf solchen Oberflächen gut durchführbar. Die Gitterschnittprüfungen zeigen, dass im Vergleich der Alloy Primer eine bessere Haftung der Parylenschichten bewirkt, während 2-Mercaptobenzimidazole als Primer zur Haftungsverbesserung ungeeignet ist.

Materialien wie Fotos und Diapositivfilmaufnahmen waren auch mit dem Fingernagel und Holz zu kratzen, wohingegen bei härteren unflexiblen Materialien wie Metall oder Glas die Parylenschichten damit nicht zu ritzen waren. Prinzipiell erwies sich das Abnehmen der Schichten mit dem Klebeband effizienter und für die Oberflächen schonender.

6 Ergebnisse

6.3 Ergebnisse der Untersuchung zur Prüfung der Reißfestigkeit

Bei der Prüfung der Reißfestigkeit mit der Zug – und Druckprüfmaschine Typ „EasyTest“ 86802IE Nr.27659 der Fa. Karl Frank GmbH wurden an 20 Referenzproben Durchschnittswerte für Bruchkraft, Zeit bis der Bruch erfolgt und der entsprechende Dehnungskoeffizient ermittelt. Die Durchschnittswerte wurden mit den Werten verglichen, die parylenbeschichtete Zeitungspapiere erzielten. Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 46: Ergebnisse der Prüfung der Reißfestigkeit

Parylentyp/Schichtdicke	Bruchkraft [N]	Zeit bis zum Bruch [s]	Dehnungskoeffizient
Referenz	ø 10,91	ø 15,55	ø 31,33
Parylen C 6,85 µm	27,34	23	31,81
Parylen C 3,5 µm	23,34	17	31,34
Parylen C 1,25 µm	21,84	23	31,7
Parylen N 1,0 µm	23,09	18	31,43
Parylen N 3,0 µm	41,06	20	31,61
Parylen N 7,4 µm	45,09	22	31,69

Die Ergebnisse zeigen, dass mit größerer Schichtdicke die Bruchkraft entsprechend zunimmt und bereits bei einer Schichtdicke ab 1,0 µm die Bruchkraft sich verdoppelt. Der Dehnungskoeffizient, sowie die Zeit bis der Bruch auftrat haben sich nur geringfügig verändert. Vergleicht man die beiden Parylentypen untereinander so ist auffällig, dass Parylen N beschichtete Proben eine deutlich höhere Bruchkraft erzielen als Proben, die mit Parylen C beschichtet wurden. Die Ergebnisse stützen damit die Beobachtungen, die zur Festigungswirkung der Parylenbeschichtungen auf Papieren gemacht wurden und sind auf die höhere Penetrationsfähigkeit des Parylen N zurückzuführen (Foto 152).

6.4 Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten im täglichen Gebrauch

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten der auf die Silbergussrohlinge aufgetragenen Parylenschichten, die im täglichen Gebrauch 28 Tage an einem Schlüsselbund getragen wurden.

6 Ergebnisse

Tabelle 47: Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten im täglichen Gebrauch

Parylentyp/Schichtdicke	Veränderung der Beschichtung/ Substratoberfläche		
	nach 4 Tagen	nach 10 Tagen	nach 28 Tagen
Parylen C 6,85 µm	stellenweise fransig abgenutzt	keine Veränderung	Abnutzungserscheinung stärker, Höhen glänzen berieben
Parylen C 3,5 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	Höhen und Flächen glänzen berieben
Parylen C 1,25 µm	keine Veränderung	Höhen glänzen berieben	Höhen und Flächen glänzen berieben
Parylen N 1,0 µm	keine Veränderung	Höhen glänzen berieben	Höhen und Flächen glänzen berieben
Parylen N 3,0 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	Höhen und Flächen glänzen berieben, stellenweise fransig abgenutzt
Parylen N 7,4 µm	stellenweise fransig abgenutzt	keine Veränderung	Abnutzungserscheinung stärker, Höhen glänzen berieben

Fasst man die Ergebnisse zusammen hat die Untersuchung gezeigt, dass dickere Parylenschichten sich durch tägliche mechanische Beanspruchung leichter lösen als dünnere Schichten. Bedingt durch die größere Schichtdicke, lösen sich die Schichten in größeren Teilen. Dünnere Parylenschichten nutzen sich stetig ab, ohne sich als zusammenhängender Film von der Oberfläche zu trennen. Prinzipiell wurden die Parylenschichten an den exponierten Stellen stärker abgenutzt, als in den Tiefen, wo die Schichten nicht abgelöst wurden (Foto 155, Foto 156).

6 Ergebnisse

6.5 Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten gegenüber Lösemitteln

Die folgenden Tabellen fassen die Ergebnisse der Untersuchung zusammen.

Tabelle 48: Lösemittelverhalten Parylen C – 1,25 µm

Chemikalie	Konzentration	Einwirkzeit [min]	Benetzungsfähigkeit	Veränderung
Aceton	Reinst	15	gut, Lösemittel benetzt, sehr schlechte Oberflächenspannung	keine
Ammoniumsulfid	20 Gew.-% Lösung in Wasser	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, gute Oberflächenspannung	keine
Hexan	95 vol %.	15	gut, Lösemittel benetzt, sehr schlechte Oberflächenspannung	keine
IPA	99,7 vol %.	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, gute Oberflächenspannung	keine
Natronlauge	1 mol/l vol.	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, sehr gute Oberflächenspannung	keine
Salzsäure	0.5 mol/l vol.	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, sehr gute Oberflächenspannung	keine
Schwefelsäure	25 % 98,08g/mol	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, sehr gute Oberflächenspannung	keine
Toluol	min. 99,5 vol %.	15	gut, Lösemittel benetzt, sehr schlechte Oberflächenspannung	keine
Wasser	100 vol %.	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, gute Oberflächenspannung	keine

6 Ergebnisse

Tabelle 49: Lösemittelverhalten Parylen N – 1,0µm

Chemikalie	Konzentration	Einwirkzeit [min]	Benetzungsfähigkeit	Veränderung
Aceton	Reinst	15	gut, Lösemittel benetzt, sehr schlechte Oberflächenspannung	keine
Ammoniumsulfid	20 Gew.-% Lösung in Wasser	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, gute Oberflächenspannung	fleckenweise Schwärzung
Hexan	95 vol %.	15	gut, Lösemittel benetzt, sehr schlechte Oberflächenspannung	keine
IPA	99,7 vol %.	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, gute Oberflächenspannung	keine
Natronlauge	1 mol/l vol.	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, sehr gute Oberflächenspannung	keine
Salzsäure	0.5 mol/l vol.	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, sehr gute Oberflächenspannung	keine
Schwefelsäure	25 % 98,08g/mol	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, sehr gute Oberflächenspannung	keine
Toluol	min. 99,5 vol %.	15	gut, Lösemittel benetzt, sehr schlechte Oberflächenspannung	keine
Wasser	100 vol %.	15	schlecht, Lösemittel perlt ab, gute Oberflächenspannung	keine

Zusammenfassend bestätigten die gemachten Versuche die in der Literatur erwähnte hohe Chemikalienresistenz der Parylenschichten, wobei bei der Beprobung mit Ammoniumsulfid auch gezeigt werden konnte, dass Parylen N eine etwas schlechtere Barrierewirkung als Parylen C aufweist. Die Ergebnisse lassen eine entsprechend höhere Chemikalienresistenz für die dickeren Parylen C Schichten von 3,5 µm und 6,85 µm und die dickeren Parylen N Schichten von 3,0 µm und 7,4 µm erwarten und sind damit auch bei längerer Expositionsdauer stabil.

6 Ergebnisse

6.6 Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten gegenüber H₂S – Dämpfen

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Untersuchung zusammen.

Tabelle 50: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H₂S für Parylen C – 6,85µm

Vorbehandlung	Veränderung nach 24h	Veränderung nach 48h	Verschwärzung der Fläche in [%]
ohne	vereinzelt Salzkristalle an der Oberfläche.	unverändert	0
Alloy Primer	entlang der Trocknungsränder dunkelte die Oberfläche.	unverändert	ca. 2

Tabelle 51: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H₂S für Parylen C – 3,5µm

Vorbehandlung	Veränderung nach 24h	Veränderung nach 48h	Verschwärzung der Fläche in [%]
ohne	einzelne schwarze Punkte – evtl. durch Verletzungen in der Oberfläche.	unverändert	< 1
Alloy Primer	Schwärzungen entlang der Trocknungsränder.	leichte Gilbung durch Schwefelablagerungen.	< 1
2-Mercaptobenzimidazole	einzelne Punkte an der Ecke – wohl Oberflächenverletzung durch die Handhabung mit einer Pinzette.	an einer Ecke etwas gedunkelt.	< 1

Tabelle 52: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H₂S für Parylen C – 1,25µm

Vorbehandlung	Veränderung nach 24h	Veränderung nach 48h	Verschwärzung der Fläche in [%]
ohne	Verschwärzungen an Oberflächenverletzungen, Kratzern.	verstärkte Schwärzungen an den Kanten und vereinzelt auf der planen Oberfläche.	ca. 5
Alloy Primer	Schwärzungen entlang der Trocknungsränder und vereinzelt Kratzern.	verstärkte Schwärzung an den Kanten, vereinzelt auf der planen Oberfläche, leichte Gilbung durch Schwefelablagerungen.	ca. 5

6 Ergebnisse

Tabelle 53: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H₂S für Parylen N – 1,0µm

Vorbehandlung	Veränderung nach 24h	Veränderung nach 48h	Verschwärzung der Fläche in [%]
ohne	vereinzelt punktförmige Verschwärzungen	verstärkte Schwärzung an den Kanten und auf der planen Oberfläche, deutliche Interferenzen auf der gesamten Oberfläche.	ca. 30
Alloy Primer	Schwärzungen entlang der Trocknungsränder, schwache Interferenzen.	braungrüne Oberfläche mit großflächiger Schwärzung	ca. 50

Tabelle 54: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H₂S für Parylen N – 3,0µm

Vorbehandlung	Veränderung nach 24h	Veränderung nach 48h	Verschwärzung der Fläche in [%]
ohne	unverändert	Oberfläche hat sich mittig nahezu vollständig blau verfärbt	ca. 90
Alloy Primer	Schwärzungen entlang der Trocknungsränder und an vereinzelt Kratzern.	Oberfläche hat sich mittig nahezu vollständig bräunlich verfärbt	ca. 95
2-Mercaptobenzimidazole	Schwärzung an Kratzern in der Oberfläche	Schwärzungen entlang der Trocknungsränder	ca. 15

Tabelle 55: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H₂S für Parylen N – 7,4µm

Vorbehandlung	Veränderung nach 24h	Veränderung nach 48h	Verschwärzung der Fläche in [%]
ohne	unverändert	Oberfläche ist vollständig braun verfärbt	100
Alloy Primer	unverändert.	Oberfläche ist teils braun teils gelb verfärbt	ca. 20 bräunlich ca. 80 gelblich

Fasst man die Ergebnisse der Untersuchung zusammen, so hat sich gezeigt, dass Parylen C Schichten im Allgemeinen eine höhere Barrierewirkung für Schwefelwasserstoffdämpfe bieten als Parylen N Schichten. Die Untersuchung konnte die seitens der Literatur gemachten Angaben dadurch bestätigen (Tabelle 71 S.XXIV). Es wurde außerdem gezeigt, dass dickere Parylenschichten bei längerer Expositionsdauer einen besseren Schutz bieten als dünne Parylenschichten. Beobachtungen zeigten zudem, dass mit 2-Mercaptobenzimidazole vorbehandelte Proben weniger verschwärteten, als solche, die mit dem Alloy Primer behandelt wurden beziehungsweise gänzlich unbehandelt waren. Bedenkt man die hohe Konzentration, die in dem Exsikkator vorlag und die geringe Größe der H₂S-Moleküle, kann man von einer guten Schutzwirkung der Schicht vor Schadstoffen/gasen aus der Umgebungsluft ausgehen. Eine Parylen C Schicht mit mindestens 3 µm zeigte bereits eine gute Barrierewirkung (Foto 72-Foto 75).

6 Ergebnisse

6.7 Ergebnisse der Untersuchung zum optischen Verhalten unter verschiedenen Leuchtmitteln

Die Untersuchung zeigte, dass die auf die polierten Stahlplättchen aufgetragenen Parylenschichten unter dem Einsatz verschiedener Leuchtmittel ein unterschiedliches Interferenzverhalten zeigen. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst.

Tabelle 56: Interferenzverhalten der Parylenschichten bei unterschiedlichen Leuchtmitteln

Parylentyp/Schichtdicke	Intensität der Interferenzen bei				
	Ringlicht Fluorescent Studiolight	Leuchtstoff- röhre L58 / 25W universal White	Leuchtstoffröhre F15W/129 –T8 warm white	Glüh- lampe OR 35 ⁰	Halogen- strahler GU 10
Parylen C 6,85 µm	+	+	0	0	0
Parylen C 3,5 µm	++	++	+	0	0
Parylen C 1,25 µm	++	++	++	0	0
Parylen N 1,0 µm	+++	+++	+++	+	0
Parylen N 3,0 µm	+	++	+	0	0
Parylen N 7,4 µm	+	++	0	0	0

0 = keine Interferenzen, + = schwache Interferenz, ++ = deutliche Interferenz, +++ = sehr deutliche Interferenz

Zusammenfassend hat die Untersuchung gezeigt, dass je dünner die Parylenbeschichtung ist, desto deutlicher treten Interferenzen auf. Die Untersuchung hat außerdem gezeigt, dass Parylen N Beschichtungen stärkere Interferenzen zeigen als Parylen C Beschichtungen. Bei Leuchtmitteln mit polychromatischem Lichtspektrum war zu beobachten, dass Interferenzen nur bei einer Schichtdicke von $\leq 1,0 \mu\text{m}$ auftreten (Foto 67-Foto 71).

6 Ergebnisse

6.8 Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten gegenüber UV-B Strahlung

In Tabellen 57-59 sind die Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten gegenüber UV-B Strahlung der beschichteten sowie der unbeschichteten Proben zusammen gefasst.

Tabelle 57: Ergebnisse der UV-B bestrahlten Proben eines Treibriemens

Parylentyp/Schichtdicke	Veränderung der Beschichtung/ Substratoberfläche		
	nach 24 Stunden	nach 48 Tagen	nach 72 Tagen
Referenz	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen C 6,85 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen C 3,5 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen C 1,25 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen N 1,0 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen N 3,0 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen N 7,4 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung

Es wurden keine Veränderungen, weder in der Farbigkeit noch in der Festigkeit der beschichteten Proben beobachtet (Foto 76Foto 77Foto 78).

Tabelle 58: Ergebnisse der UV-B bestrahlten Proben eines PVC-Spielzeugs

Parylentyp/Schichtdicke	Veränderung der Beschichtung/ Substratoberfläche		
	nach 24 Stunden	nach 48 Tagen	nach 72 Tagen
Referenz	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen C 6,85 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen C 3,5 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen C 1,25 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen N 1,0 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen N 3,0 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung
Parylen N 7,4 µm	keine Veränderung	keine Veränderung	keine Veränderung

Es wurden keine Veränderungen beobachtet, weder hinsichtlich der Farbigkeit noch der Festigkeit der beschichteten Substrate. Auch konnten im direkten Vergleich bei den teilbeschichteten Proben keine Unterschiede festgestellt werden (Foto 82Foto 83Foto 84).

6 Ergebnisse

Tabelle 59: Ergebnisse der UV-B bestrahlten Proben einer Schlittschuhsohle aus Polyurethan

Parylentyp/Schichtdicke	Veränderung der Beschichtung/ Substratoberfläche		
	nach 24 Stunden	nach 48 Tagen	nach 72 Tagen
Referenz	etwas gedunkelt, leicht glänzende Oberfläche	gedunkelt, schwacher Oberflächenglanz	gedunkelt, Oberflächenglanz
Parylen C 6,85 µm	keine Veränderung	schwacher Oberflächenglanz	schwacher Oberflächenglanz
Parylen C 3,5 µm	keine Veränderung	Oberfläche wirkt gegilbt und glänzend	stellenweise gegilbt und glänzend
Parylen C 1,25 µm	keine Veränderung	Oberfläche wirkt gegilbt, und glänzend	stellenweise gegilbt und glänzend
Parylen N 1,0 µm	keine Veränderung	schwacher Oberflächenglanz	schwacher Oberflächenglanz
Parylen N 3,0 µm	keine Veränderung	schwacher Oberflächenglanz	schwacher Oberflächenglanz
Parylen N 7,4 µm	keine Veränderung	schwacher Oberflächenglanz	schwacher Oberflächenglanz

UV-B-Bestrahlung führt bei der Referenz als auch bei den beschichteten Proben zu einer Erhöhung des Oberflächenglanzes. Bei der Bestrahlung der Referenz trat bereits nach 24 h Bestrahlungsdauer eine Verdunkelung der Oberfläche ein, die mit zunehmender Dosis stärker wurde. Bei den mit Parylen C beschichteten Proben wurden ab einer Bestrahlungsdauer von 48 h, leichte Vergilbungen der Parylenschicht beobachtet, eine Dunklung der Oberfläche trat nicht auf. Es konnten keine Veränderungen in der Festigkeit der beschichteten Proben festgestellt werden (Foto 79Foto 80Foto 81).

Die Untersuchung zeigt, dass die Bestrahlungsdauer bei den Proben des PVC-Spielzeugs und des Treibriemens nicht ausreichte um Veränderungen im Substrat und an der Beschichtung zu erzielen. Die Untersuchung der Schlittschuhsohle aus Polyurethan zeigt, dass weder das Substrat noch die Parylen C Schicht gegen UV-B Strahlung stabil war. Der durch UV-Strahlung bedingte und deutlich sichtbare Abbau unbeschichteter Substrate ist nicht in dem Maße eingetreten wie erwartet. Das erschwerte die Auswertung und Bewertung der UV-Stabilität von Parylenen.

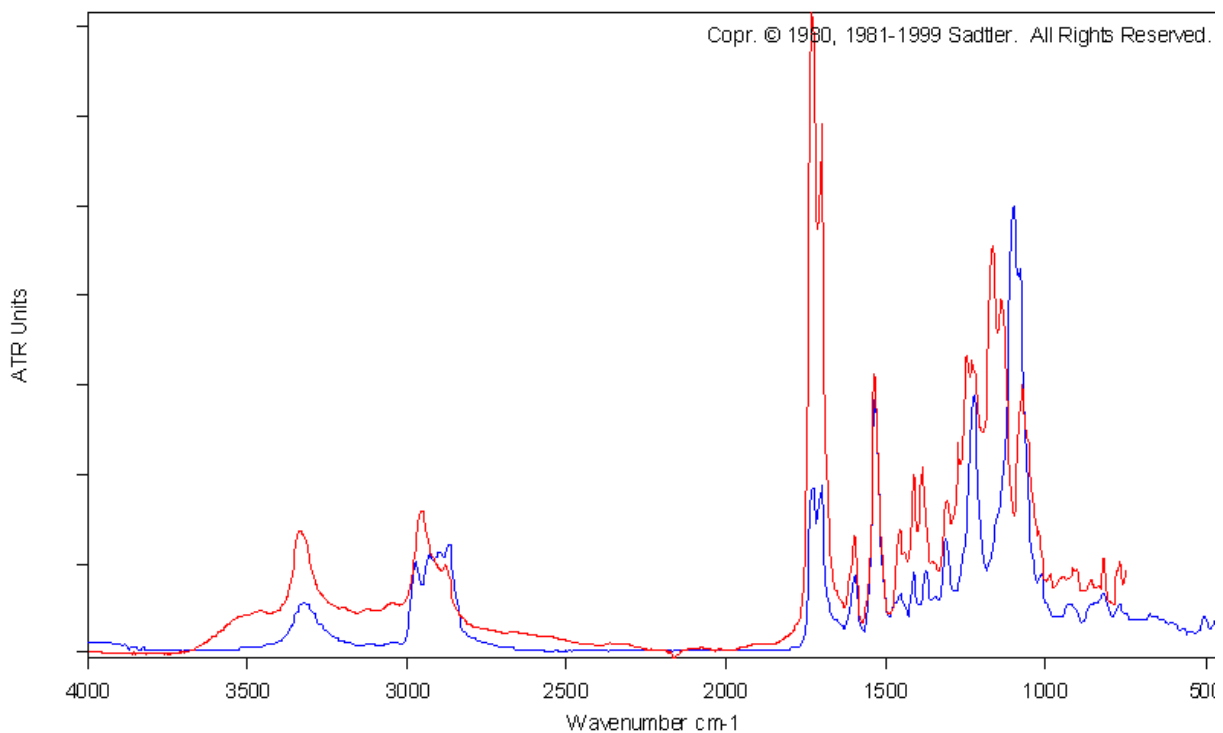
6 Ergebnisse

6.9 Ergebnisse der FT-IR-Spektroskopie

6.9.1 Ergebnisse Materialanalyse

Für die Analyse der Proben einer Schlittschuhsohle, eines Treibriemens, eines PVC-Spielzeugs und eines schwammartigen Kunststoffes aus einem Mikrofon– Hauptverstärker wurden die aufgenommenen Absorptionsspektren mit der, in der Opus Software installierten FT-IR- Bibliothek der Sadtler Research Laboratories verglichen. Das Absorptionsspektrum der Schlittschuhsohle wies große Ähnlichkeiten mit dem Spektrum von Polyurethan auf (Spektrum 1).

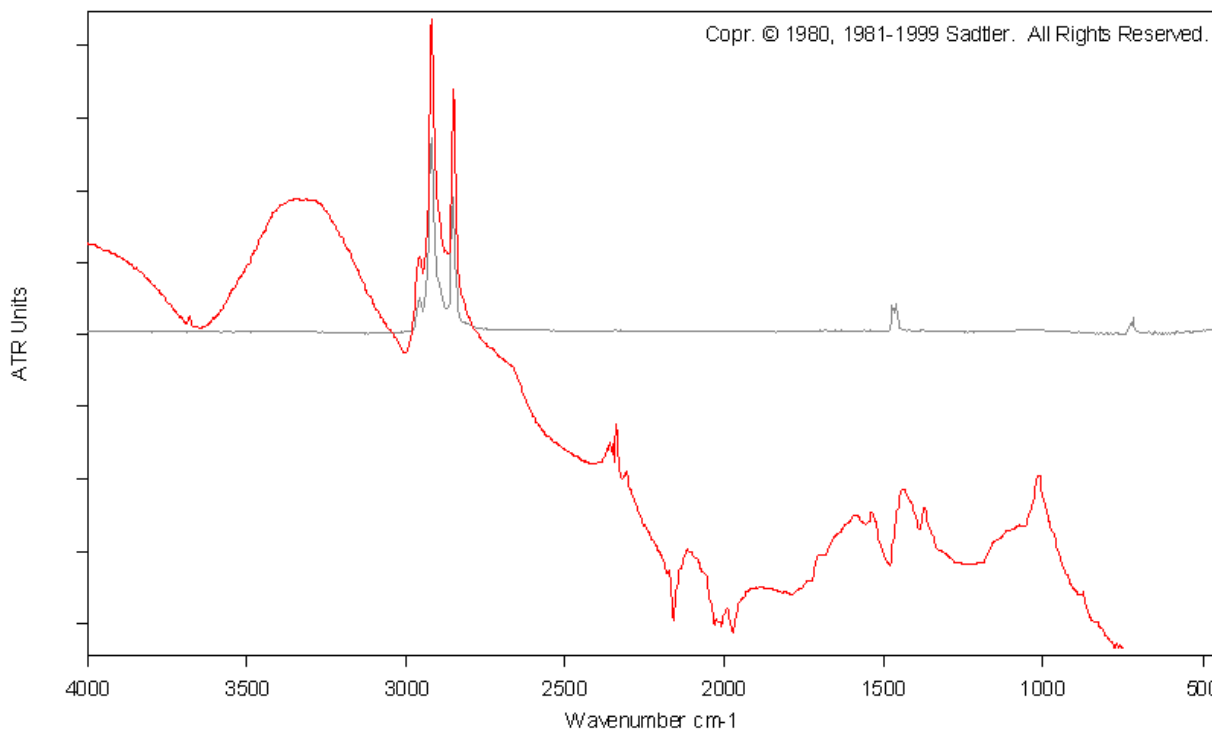
Spektrum 1: FT-IR-Spektrum der **Schlittschuhsohle (rot)** und von **Polyurethan (blau)**, Wellenbereich 4000–400 cm^{-1}



Das Absorptionsspektrum der Probe des Treibriemens war wegen des zugemischten Rußes und den damit einhergehenden hohen Kohlenstoffgehalts nicht aussagekräftig um eine eindeutige Identifizierung zu ermöglichen, da der Kohlenstoff die meisten Absorptionsbanden überlagerte. Es konnte Paraffinwachs nachgewiesen werden (Spektrum 2), welches jedoch auch Schmiermittelreste sein können, mit denen der Treibriemen, als er in Gebrauch war, geschmiert wurde.

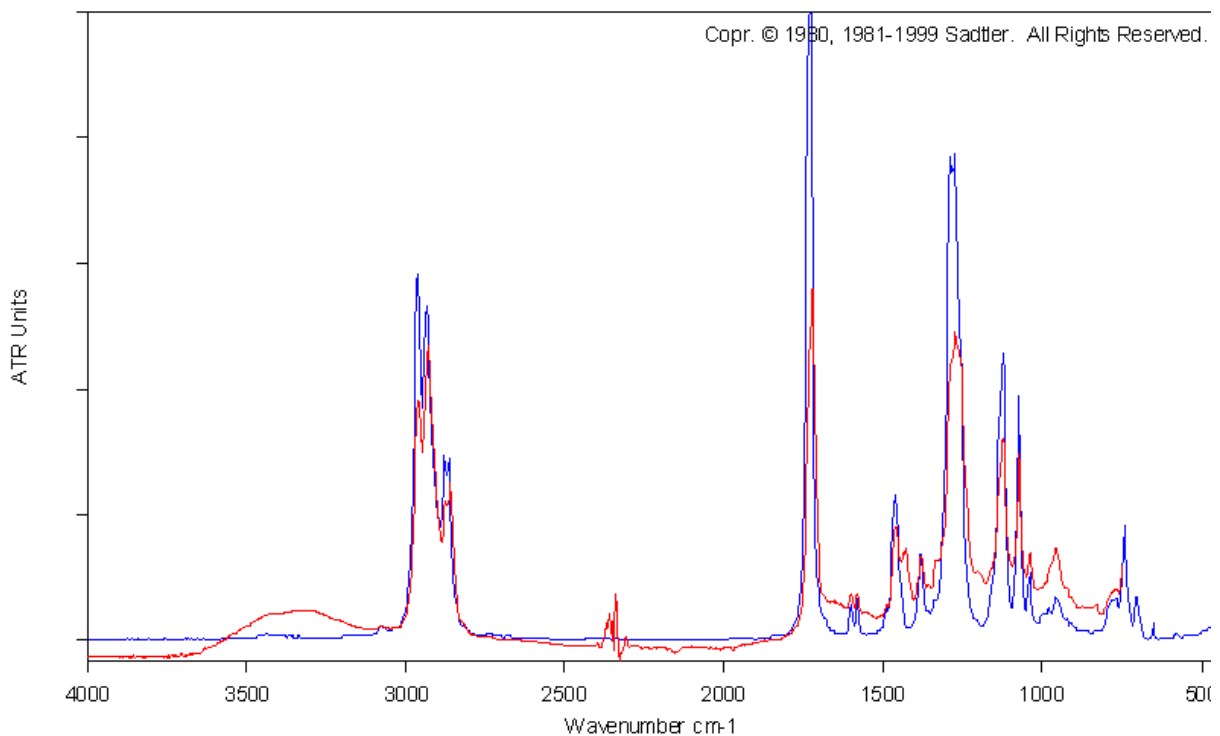
6 Ergebnisse

Spektrum 2: FT-IR-Spektrum des Treibriemens (rot) und von Paraffinwachs (grau), Wellenbereich: 4000–400 cm⁻¹



Der Verweis, dass der Treibriemen vor 1925 ins Deutsche Museum gelangt ist lässt den Schluss zu, dass es sich um einen frühen Synthetikgummi auf Isoprenbasis handeln könnte. Das Absorptionsspektrum des PVC – Spielzeugs stimmt mit denen diverser Phthalate (Spektrum 3) überein.

Spektrum 3: FT-IR-Spektrum des PVC-Spielzeugs (rot) und von Phthalaten (blau), Wellenbereich: 4000 – 400 cm⁻¹

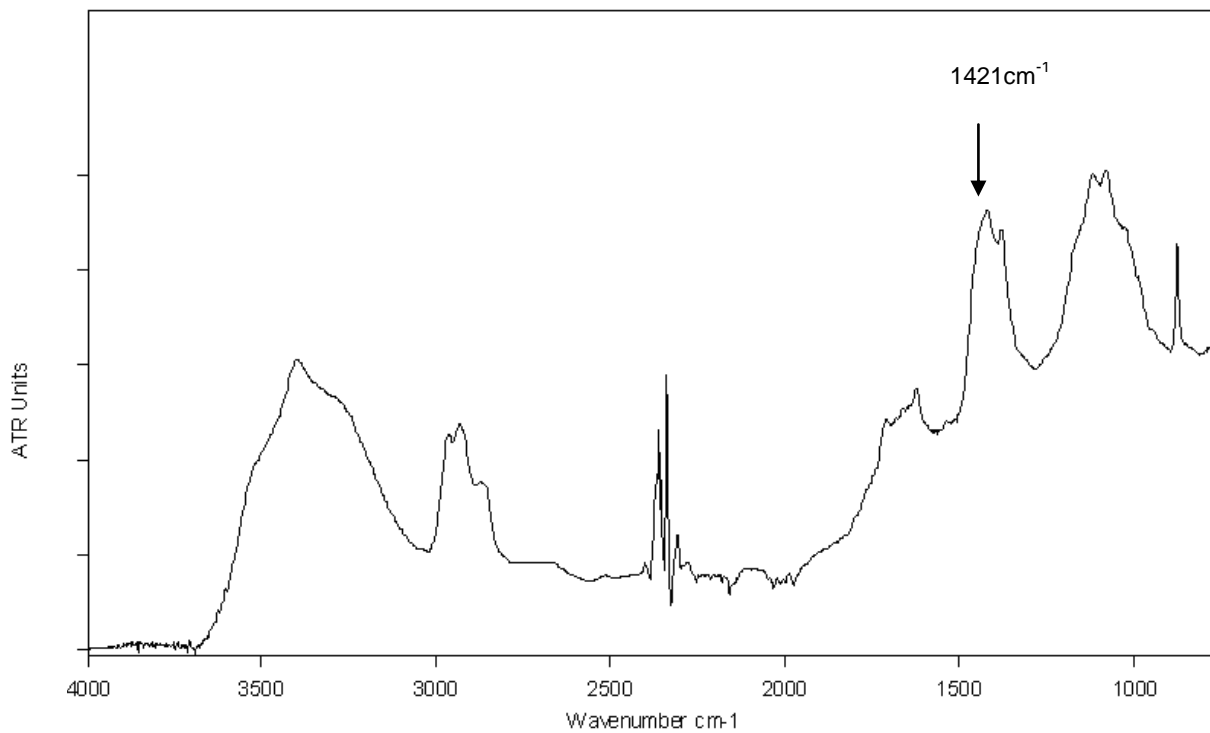


6 Ergebnisse

Unter Berücksichtigung einer durchgeführten Brennprobe, bei der Chlor als Bestandteil des untersuchten Substrats nachgewiesen wurde ist davon auszugehen, dass das Spielzeug aus Weich-PVC gefertigt wurde.

Das Material des schwammartigen Kunststoffes aus einem Mikrofon-Hauptverstärker konnte nicht eindeutig über das Absorptionsspektrum (Spektrum 4) identifiziert werden.

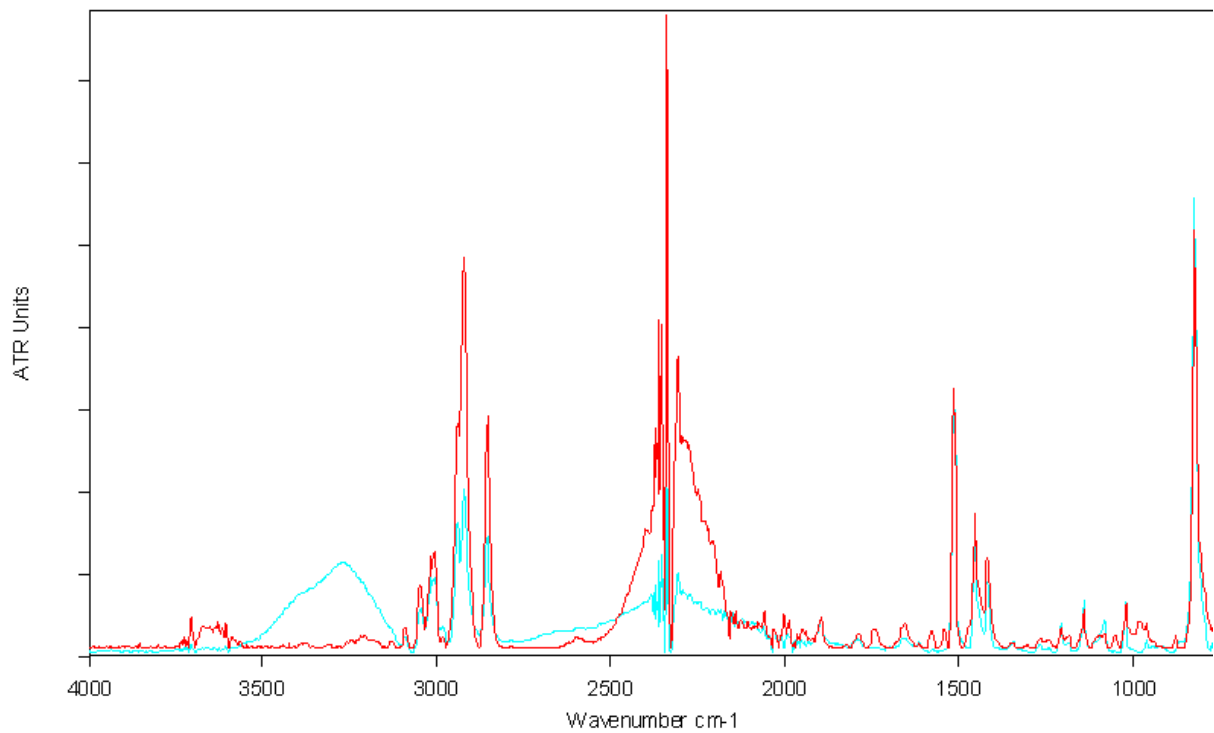
Spektrum 4: FT-IR-Spektrum des schwammartigen Kunststoffes, Wellenbereich 4000–800 cm^{-1}



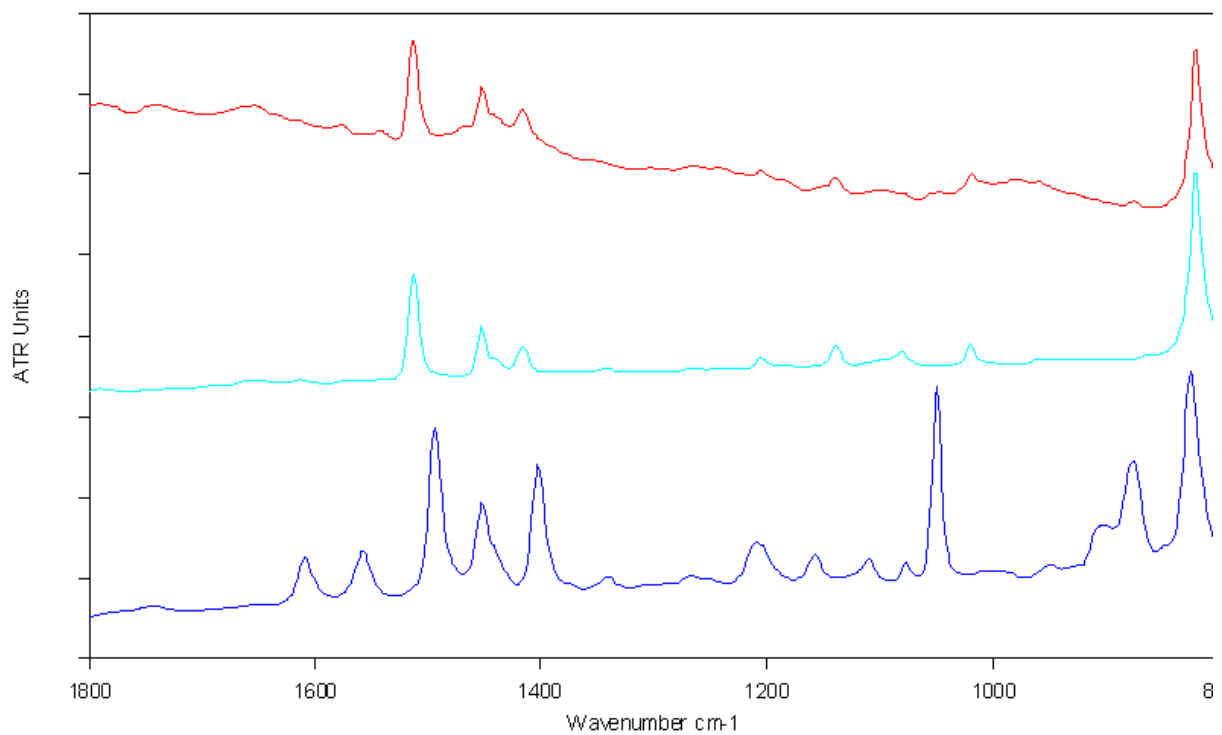
Die stark ausgeprägte Bande bei 1421 cm^{-1} zeigt eine SO_2 -Valenzschwingung, die auf eine Sulfonylverbindung zurückzuführen ist, so dass es sich bei dem Material um geschäumten Gummi handeln könnte. Das Absorptionsspektrum (Spektrum 5, Spektrum 6 und Spektrum 7) des parylenbeschichteten Filterpapiers aus dem IBR zeigte im Vergleich mit den Referenzspektren von Parylen C und Parylen N, dass das Papier mit Parylen N beschichtet worden ist.

6 Ergebnisse

Spektrum 5: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (blau), Wellenbereich 4000–400cm⁻¹

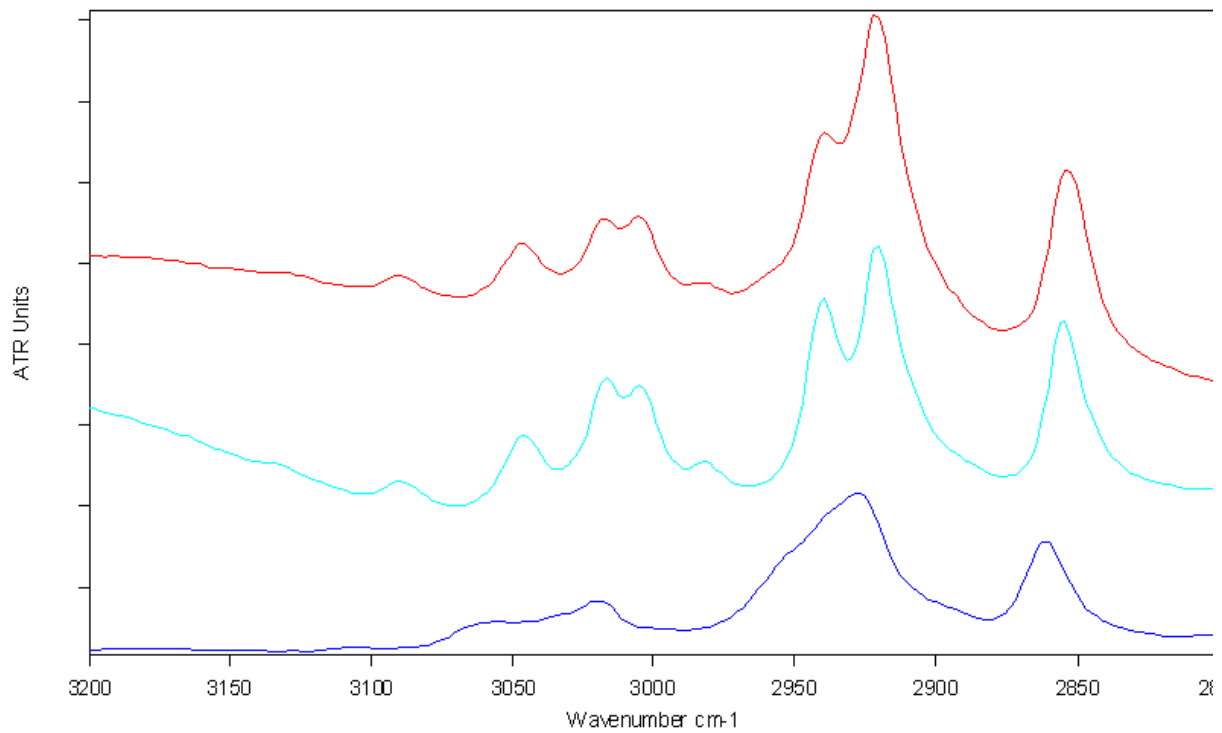


Spektrum 6: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (hellblau), Parylen C (dunkelblau), Wellenbereich 1800–800cm⁻¹



6 Ergebnisse

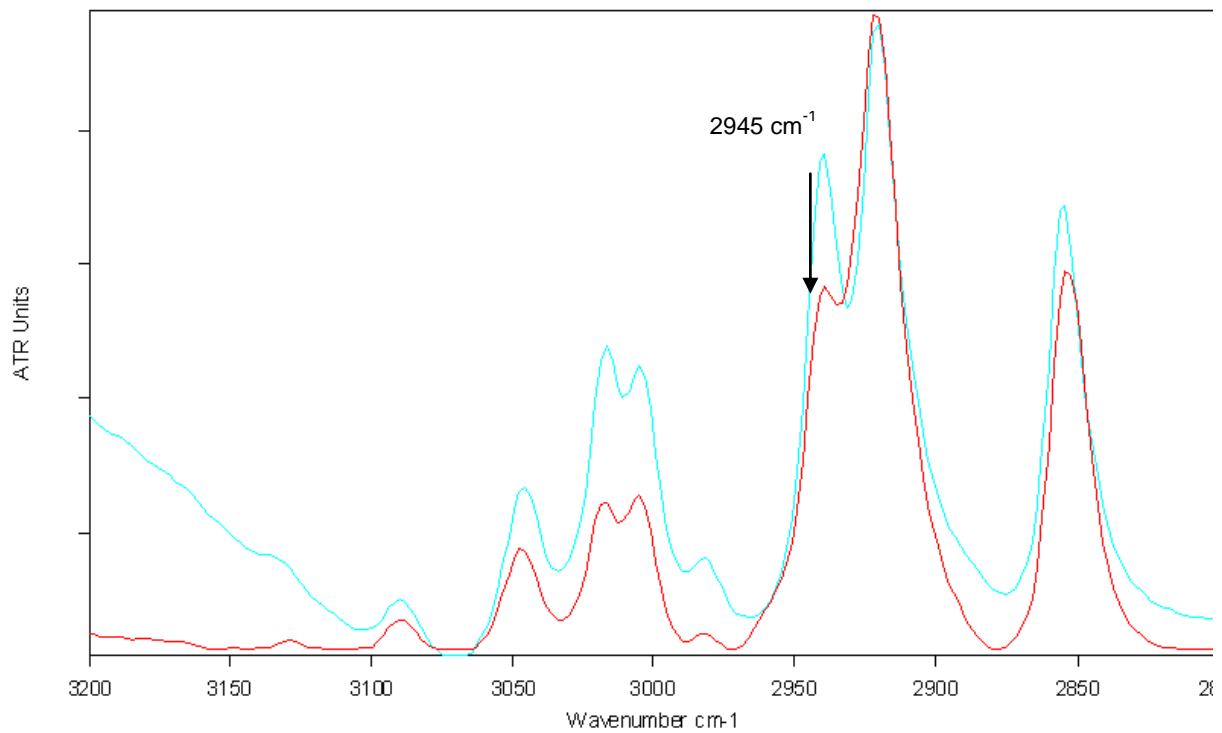
Spektrum 7: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (hellblau), Parylen C (dunkelblau), Wellenbereich 3200–2800cm⁻¹



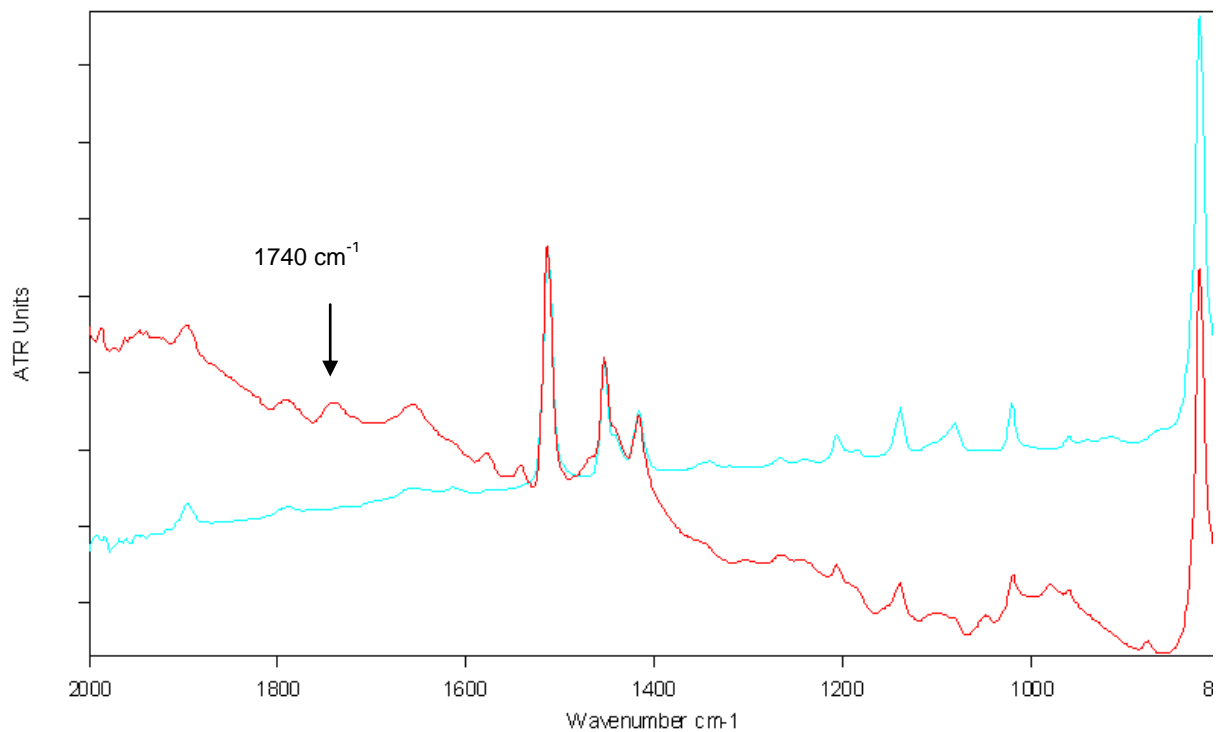
Das Absorptionsspektrum der 15 Jahre alten Probe wurde mit dem Absorptionsspektrum einer ungealterten Parylen N Schicht verglichen (Spektrum 8 und Spektrum 9) und auf mögliche Änderungen in den Atombindungen untersucht.

6 Ergebnisse

Spektrum 8: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (hellblau), Wellenbereich 3200–2800 cm^{-1}



Spektrum 9: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (hellblau), Wellenbereich 2000–800 cm^{-1}



Bei etwa 1740 cm^{-1} und 2945 cm^{-1} eine schwache CO-Valenz detektiert wird, die auf eine Carbonylverbindung zurückzuführen ist. Da Parylen N (Summenformel $\text{C}_{16}\text{H}_{16}$) keinen Sauerstoff

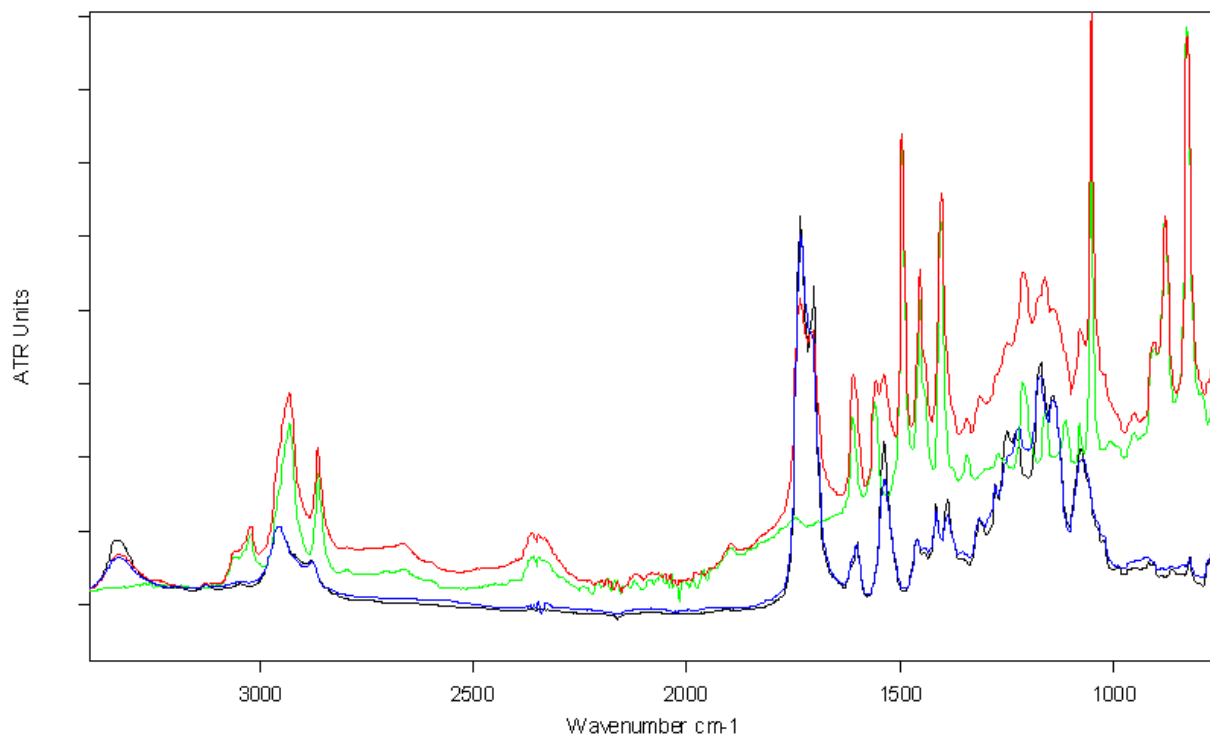
6 Ergebnisse

enthält, ist davon auszugehen, dass es sich hier um einen altersbedingten oxidativen Abbau der Parylenschicht handelt.

6.9.2 Absorptionsspektren nach der UV-Bestrahlung

Das Absorptionsspektrum, der mit Parylen C beschichteten Probe (Schichtdicke 6,85 μm) einer Schlittschuhsohle – 72 h mit UV-B Strahlung bestrahlt – wurde mit den Absorptionsspektren einer unbestrahlten Parylen C Schicht, einer bestrahlten Schlittschuhsohle und einer unbestrahlten Schlittschuhsohle verglichen (Spektrum 10).

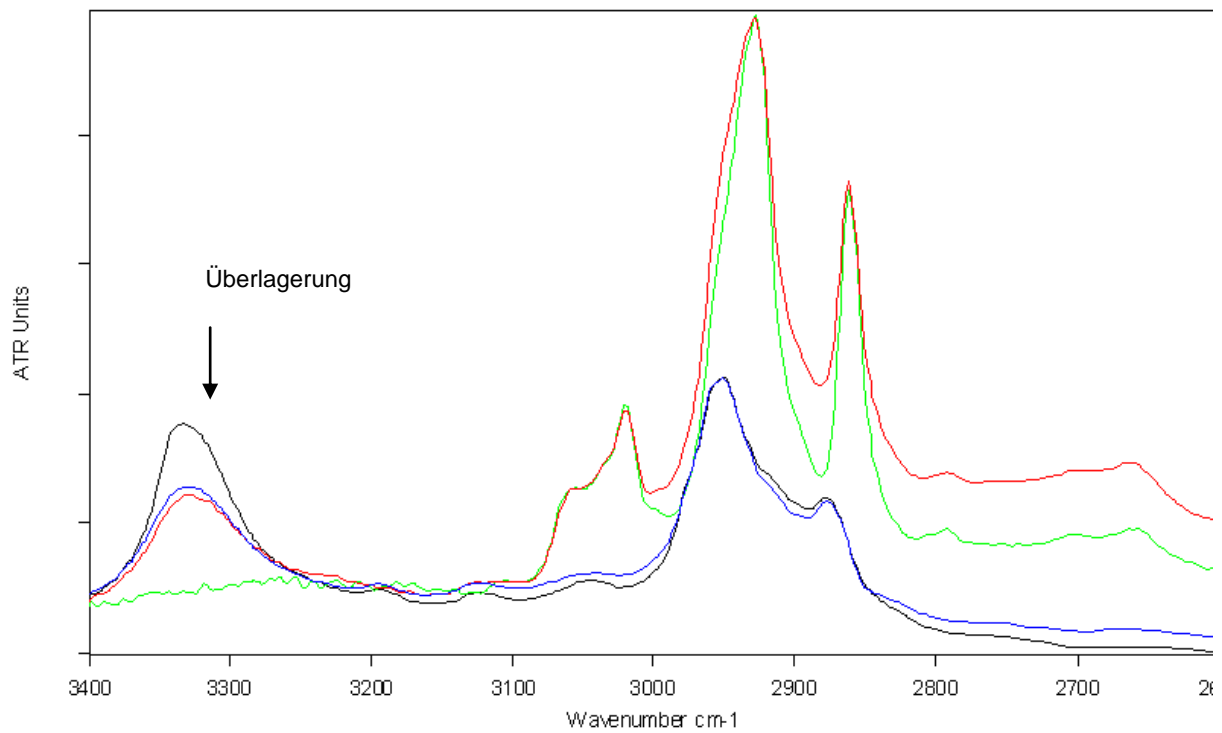
Spektrum 10: FT-IR-Spektrum der Schlittschuhsohle Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), Schlittschuhsohle unbestrahlt (schwarz), Schlittschuhsohle 72 h UV-bestrahlt (blau), Wellenbereich 4000–800 cm^{-1}



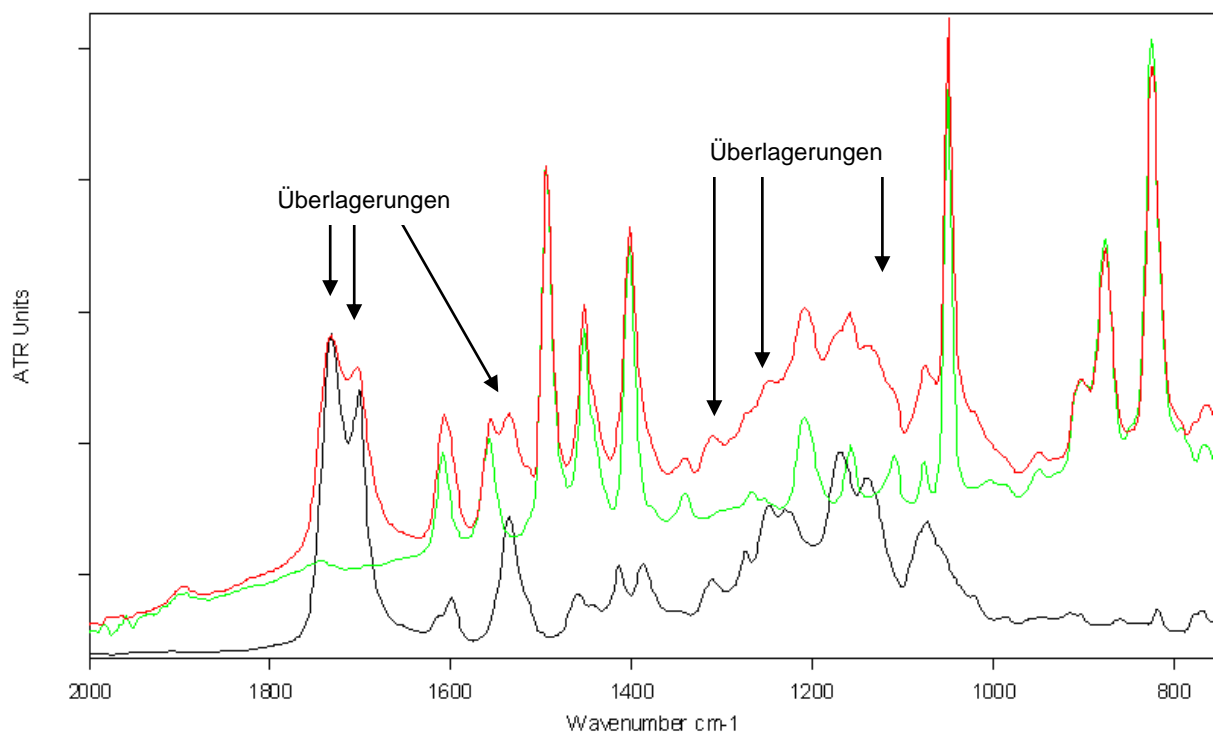
Durch den Vergleich war es möglich, durch UV-Strahlung induzierte Änderungen der Atombindungen im Substrat und in der Parylen C-Schicht zu untersuchen. Teilweise überlagern sich die Banden von Substrat und Parylenschicht, so dass sich die bestrahlte Parylen C-Schicht und die unbestrahlte Parylenschicht in diesen Bereichen Substratcharakteristisch unterscheiden. Deutlich zu erkennen sind Überlagerungen im Bereich von 3400–3300 cm^{-1} (Spektrum 11), 1800–1600 cm^{-1} bei 1550 cm^{-1} und bei 1350–1080 cm^{-1} (Spektrum 12).

6 Ergebnisse

Spektrum 11: FT-IR-Spektrum der **Schlittschuhsohle Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot)**, **Parylen C (grün)**, **Schlittschuhsohle unbestrahlt (schwarz)**, **Schlittschuhsohle 72 h UV-bestrahlt (blau)**, Wellenbereich 3400–2600cm⁻¹



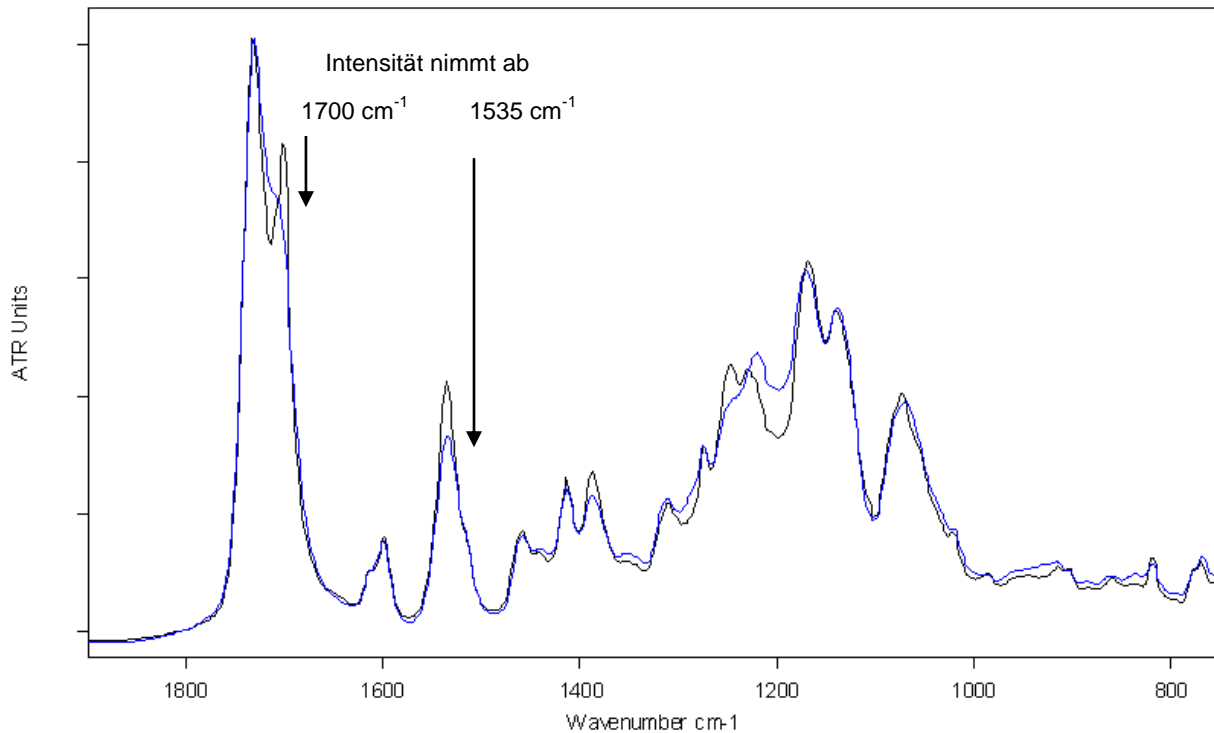
Spektrum 12: FT-IR-Spektrum der **Schlittschuhsohle Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot)**, **Parylen C (grün)**, **Schlittschuhsohle unbestrahlt (schwarz)**, Wellenbereich 2000–700cm⁻¹



6 Ergebnisse

Eine durch UV-Strahlung induzierte Veränderung der Parylenschicht konnte nicht festgestellt werden. Beim Vergleich der UV-bestrahlten Proben mit den unbestrahlten Proben der Schlittschuhsohle wurden jedoch Veränderungen sichtbar (Spektrum 13). Bei 1700 cm^{-1} wurde eine CO-Valenzschwingung detektiert, die möglicherweise auf ungesättigte aromatische Aldehyde zurückzuführen ist. Bei 1535 cm^{-1} wurde eine NO_2 -Valenzschwingung detektiert, die aromatischen Nitroverbindungen zuzuordnen ist.

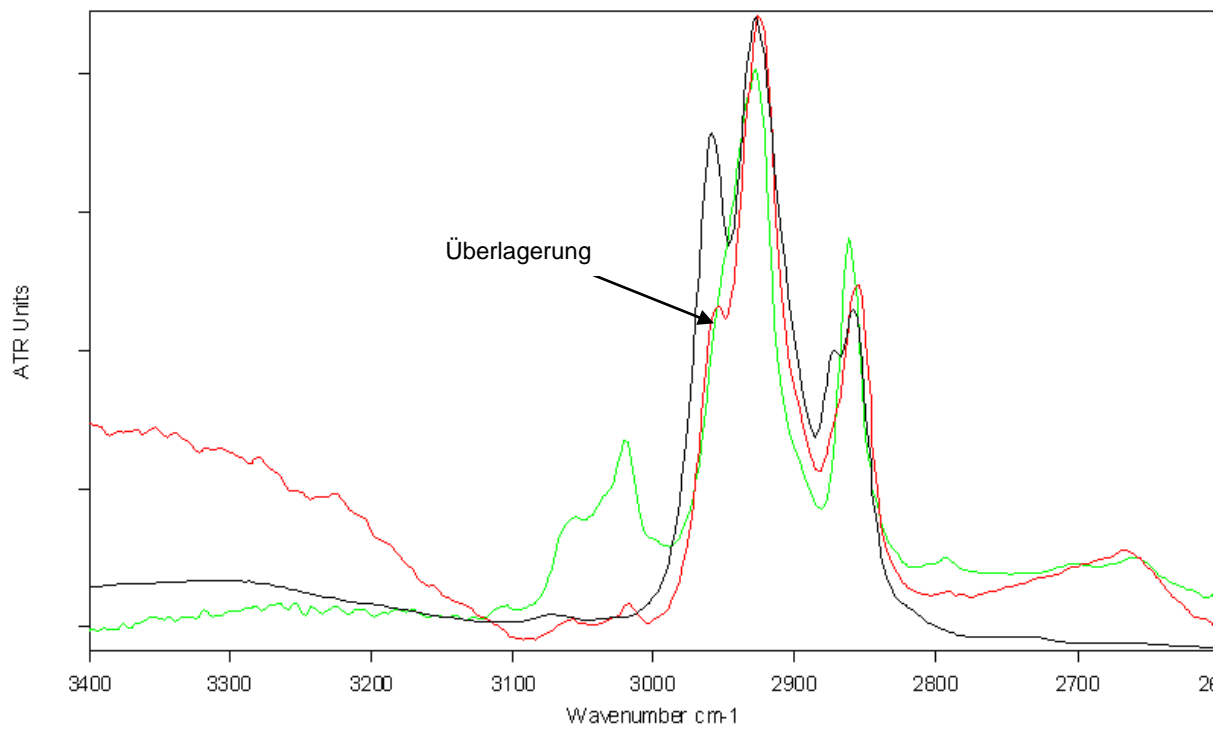
Spektrum 13: FT-IR-Spektrum der Schlittschuhsohle unbestrahlt (schwarz) und Schlittschuhsohle 72 h UV-bestrahlt (blau), Wellenbereich $2000\text{--}750\text{ cm}^{-1}$



Ebenso wurde mit den Proben des PVC-Spielzeugs verfahren. Hierbei zeigten sich bei 3000 cm^{-1} – 2900 cm^{-1} Überlagerungen der Absorptionsspektren des Substrats und der Parylenschicht (Spektrum 14).

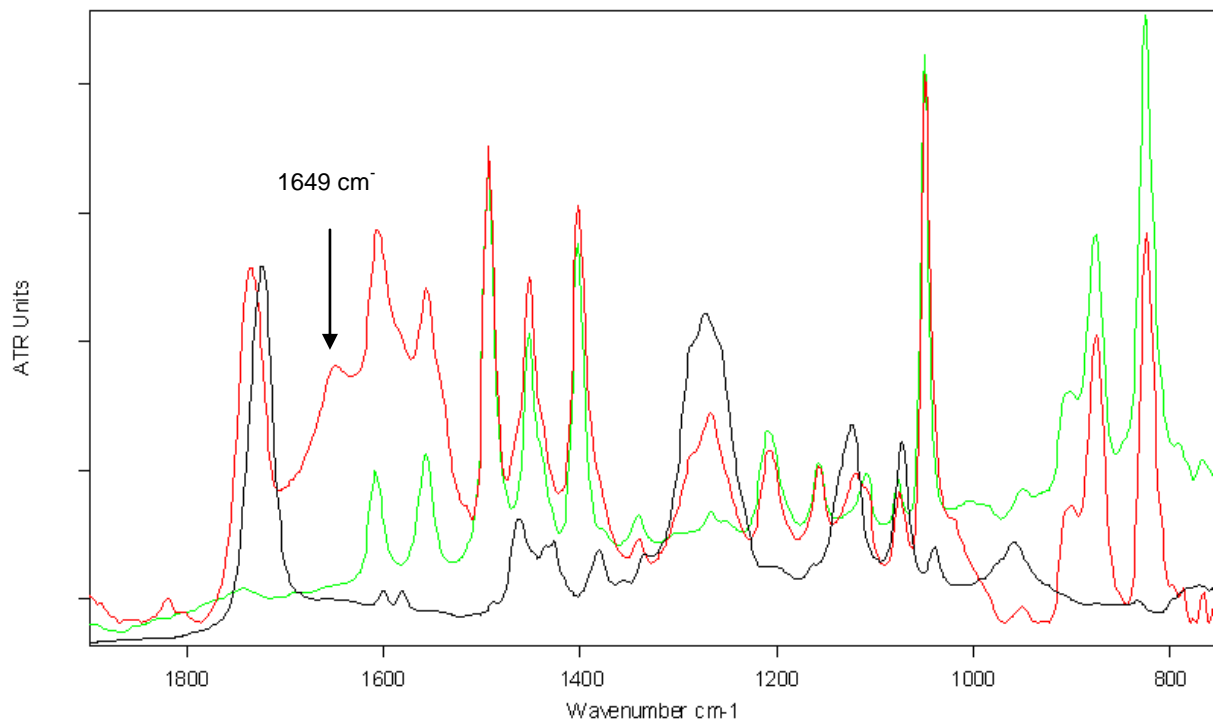
6 Ergebnisse

Spektrum 14: FT-IR-Spektrum des PVC-Spielzeugs Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), PVC-Spielzeug unbestrahlt (schwarz). Wellenbereich $3400\text{--}2600\text{cm}^{-1}$



Durch UV-Strahlung induzierte Veränderungen in der Parylenschicht wurden bei 1649cm^{-1} beobachtet (Spektrum 15).

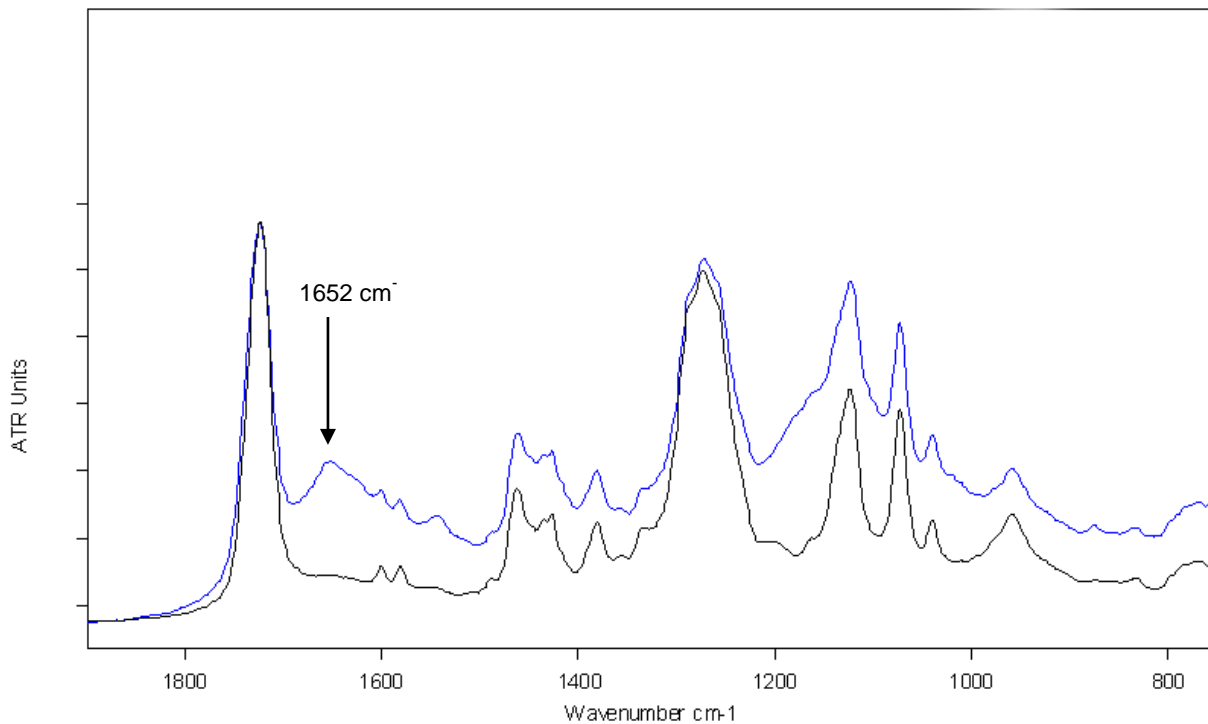
Spektrum 15: FT-IR-Spektrum des PVC-Spielzeugs Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), PVC-Spielzeug unbestrahlt (schwarz). Wellenbereich $2000\text{--}700\text{cm}^{-1}$



6 Ergebnisse

Im Vergleich der unbeschichteten Proben (bestrahlt und unbestrahlt) wurde bei 1652 cm^{-1} eine Veränderung im Absorptionsspektrum detektiert (Spektrum 16).

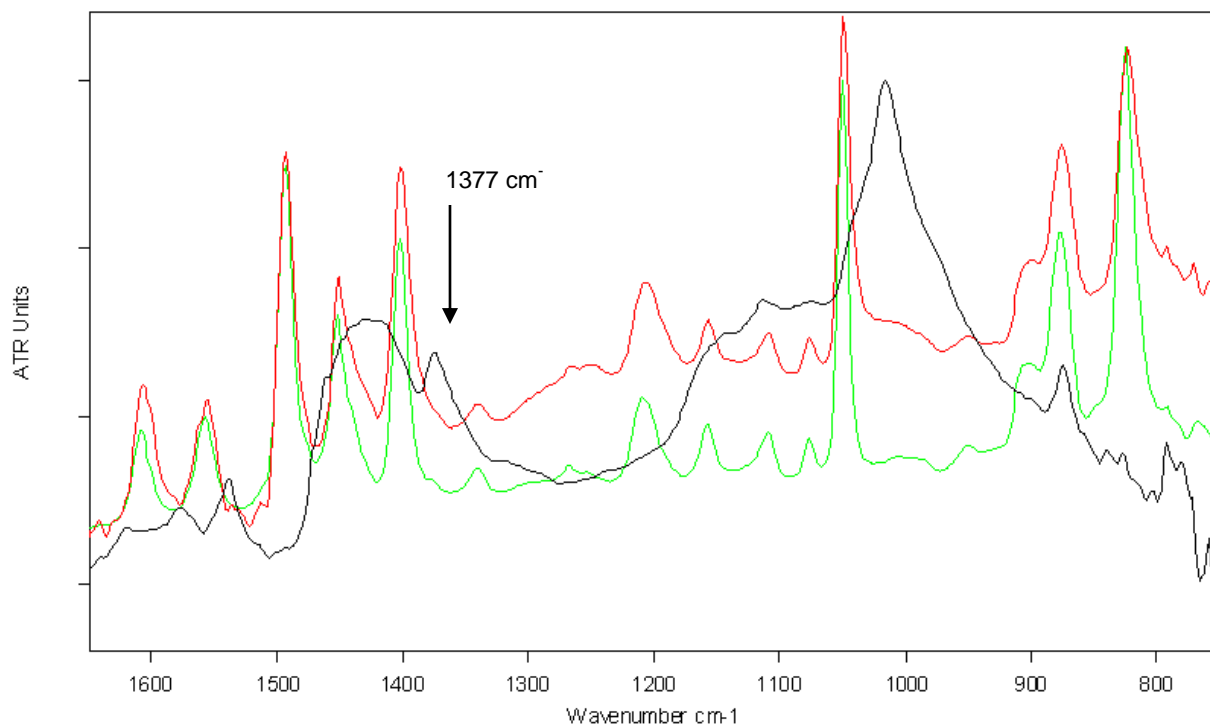
Spektrum 16: FT-IR-Spektrum des PVC-Spielzeugs unbestrahlt (schwarz), und PVC-Spielzeugs 72 h UV-bestrahlt (blau), Wellenbereich $2000\text{--}700\text{ cm}^{-1}$



Dabei handelt es sich um eine C=O–Valenzschwingung, die Carbonsäureamiden zugeordnet wird, der Grund für ihr Auftreten ist jedoch unbekannt. Bei den Proben des Treibriemens wurden ebenfalls die Absorptionsspektren beschichteter und unbeschichteter sowie bestrahlter und unbestrahlter Proben miteinander verglichen. Dabei wurde bei 1377 cm^{-1} eine Veränderung im Absorptionsspektrum der bestrahlten Parylen C-Schicht detektiert (Spektrum 17), die SO_2 -Valenz deutet auf vorhandene organische Sulfonylverbindungen hin.

6 Ergebnisse

Spektrum 17: FT-IR-Spektrum des Treibriemens Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), und Treibriemen unbestrahlt (schwarz). Wellenbereich 1800–700cm⁻¹



Zusammenfassung der FT-IR – Untersuchung: Es wurde nachgewiesen, dass die für die Beschichtungen verwendete Schlittschuhsohle aus Polyurethan hergestellt wurde, auf Grund der in der Spielzeugprobe enthaltenen Phthalate gilt es als wahrscheinlich, dass das Spielzeug aus Weich-PVC gefertigt wurde. Die Probe des schwammartigen Kunststoffes und des Treibriemens konnten nicht eindeutig einem Material zugewiesen werden. Des Weiteren wurde nachgewiesen, dass die parylenbeschichteten Proben des IBR mit Parylen N beschichtet wurden, welches innerhalb von 15 Jahren nachweislich gealtert ist. Die UV-B bestrahlten Proben der Kunststoffe zeigten allesamt durch die Strahlung induzierte Veränderungen an den Atombindungen. Bei den Proben des Treibriemens und des PVC-Spielzeugs wurden Änderungen in der Parylen C Schicht detektiert, der genaue Grund dafür konnte nicht geklärt werden.

6.10 Ergebnisse der Untersuchung des klimatischen Verhaltens

Die Auswertung der Ergebnisse der Untersuchung zum klimatischen Verhalten der Proben erfolgte über die fotografische Dokumentation, die während der Durchführung der Versuche im Fraunhofer-Institut für Silicatforschung Würzburg/Bronnbach von Christian Mazzon angefertigt wurde, sowie durch die Begutachtung der Proben nach den durchgeführten Versuchen. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

6 Ergebnisse

Tabelle 60: Klimaverhalten beschichteter Pastelle

Parylentyp/Schichtdicke	Veränderung der Proben	
	nach 7 d bei 90% rF, 40° C	nach 7 d bei 30% rF, 10 °C
Referenz	++ Verformung an den Kanten	++ Verformung an den Kanten
Parylen C 6,85 µm	0	0
Parylen C 3,5 µm	0	0
Parylen C 1,25 µm	0	0
Parylen N 1,0 µm	0	0
Parylen N 3,0 µm	0	0
Parylen N 7,4 µm	0	0

0 = keine Veränderung, + = schwach verformt, ++ = mäßig verformt, +++ = stark verformt, ++++ sehr stark verformt

Ergebnis: Das beschichtete Papier des Pastells zeigte keine Veränderungen (Foto 85Foto 86Foto 87).

Tabelle 61: Klimaverhalten beschichteten Leders

Parylentyp/Schichtdicke	Veränderung der Proben	
	nach 7 d bei 90% rF, 40° C	nach 7 d bei 30% rF, 10 °C
Referenz	++++, Stabilitätsverlust	0
Parylen C 6,85 µm	+, weißliches Craquelée der Parylenschicht	0
Parylen C 3,5 µm	++, weißliches Craquelée der Parylenschicht	0
Parylen C 1,25 µm	+++	0
Parylen N 1,0 µm	++	0
Parylen N 3,0 µm	0	0
Parylen N 7,4 µm	0, weißlicher Schleier auf der Oberfläche	0

0 = keine Veränderung, + = schwach verformt, ++ = mäßig verformt, +++ = stark verformt, ++++ sehr stark verformt

Ergebnis: Die mit Parylen C beschichteten Lederproben verformten sich innerhalb der ersten sieben Tage in einem Klima von 90% rF und 40 °C stärker als die mit Parylen N beschichteten Proben. Es war außerdem zu beobachten, dass auf die Lederproben applizierte Parylen C Schichten bei einer Schichtdicke $\geq 3,5 \mu\text{m}$ dazu neigten rissig zu werden, was sich in einem weißlichen Craquelée bemerkbar machte. Mit Parylen N beschichtete Proben mit einer Schichtdicke $\geq 3,0 \mu\text{m}$ verhielten sich bei den Versuchsbedingungen formstabil. Nach der Trockenphase von sieben Tagen bei 30% rF und 10 °C zeigte keine der Proben weitere Veränderungen (Foto 91Foto 92Foto 93).

Tabelle 62: Klimaverhalten beschichteten Pergaments

7 Aktuelle Kosten für Parylenbeschichtungen

Parylentyp/Schichtdicke	Veränderung der Proben	
	nach 7 d bei 90% rF, 40° C	nach 7 d bei 30% rF, 10 °C
Referenz	++	++
Parylen C 6,85 µm	+, Oberflächenstruktur auf der Parylenschicht	++
Parylen C 3,5 µm	+++	++
Parylen C 1,25 µm	+++	++
Parylen N 1,0 µm	++	+
Parylen N 3,0 µm	+	+
Parylen N 7,4 µm	+++ , Oberflächenstruktur auf der Parylenschicht	+

0 = keine Veränderung, + = schwach verformt, ++ = mäßig verformt, +++ = stark verformt, ++++ sehr stark verformt

Ergebnis: Mit Parylen C beschichtete Proben reagierten stärker auf klimatische Schwankungen, als mit Parylen N beschichtete Proben, außerdem neigten dickere Schichten nach der Bewitterung dazu eine strukturierte Oberfläche zu bilden. Bei den Ergebnissen sollte berücksichtigt werden, dass das Pergament herstellungsbedingt nicht von einheitlicher Dicke war – das Maß der Verformung also relativ betrachtet werden muss (Foto 88Foto 89Foto 90).

Zusammenfassung: Die Bewitterungstests zeigten bei den beprobten Pastellen keinen Einfluss. Bei der Bewitterung der Leder- und Pergamentproben zeigte sich, dass dickere Parylenschichten unempfindlicher gegen Verformungen durch Klimaschwankungen sind, sich die Parylenschichten jedoch in ihrer Oberflächenstruktur verändern. Prinzipiell erwiesen sich mit Parylen N beschichtete Proben in den Bewitterungstests als formstabiler.

7 Aktuelle Kosten für Parylenbeschichtungen

Um eine Einschätzung der Kosten einer Parylenbeschichtung mit Parylen N, C und HT geben zu können, wurde von den Firmen SCS Inc. und DiMer-Beschichtungen GmbH ein Angebot³⁶ eingeholt. Exemplarisch sollten je 10 Blätter DIN A4 Format mit Parylen N, C und HT beschichtet werden. Da ein Blatt im DIN A4 Format (210 x 297 mm) eine Oberfläche von etwa 1,2474 qm hat, sollte es für den Leser möglich sein, die Kosten für eine Beschichtung auf einem Substrat beliebiger Größe abzuschätzen. Es ist dabei jedoch zu berücksichtigen, dass Papier im Rahmen der Parylenbeschichtungen ein sehr poröses Material ist. Je nach Zusammensetzung des Papiers können also die Schichtdicken variieren, gleiches gilt für dichte Materialien. Die maximale Größe des Substrats

³⁶ Stand März 2012, s. Anhang S. LVIII .

8 Zusammenfassung

darf ein Meter Durchmesser nicht überschreiten, da dies die derzeit größtmögliche Substratgröße ist, die beschichtet werden kann.³⁷

Die Angebote der beiden Firmen lagen preislich etwa im gleichen Bereich. Demnach kostet bei der Firma DiMer-Beschichtungen GmbH, eine Beschichtung von 10 Blättern im DIN A4 Format mit diX N oder C bei einer Schichtdicke von 3-7 µm, 400 €. Für eine Beschichtung mit diX SF verlangt die Firma bei gleicher Stückzahl und bei gleicher Schichtdicke 800 €. Die Firma SCS Inc. verlangt für eine Beschichtung mit Parylen N oder C, bei gleicher Stückzahl und bei gleicher Schichtdicke etwa 500 \$, ein Angebot zur Beschichtung mit Parylen HT lag nicht vor. Weiter wurde bei SCS Inc. um ein Angebot für eine Parylenbeschichtungsanlage, welche für die Nutzung in der Konservierung und Restaurierung anwendbar wäre gebeten. Dem auf die Anfrage folgenden Angebot nach kostet eine Anlage, die für solche Zwecke in Frage käme 175 000 \$, wobei zur erfolgreichen Anwendung jahrelange Erfahrung und Expertise von Nöten sind.³⁸

8 Zusammenfassung

In der Diplomarbeit wurde untersucht, inwiefern sich Polymerschichten aus Parylen N und C auf verschiedenen Materialien abscheiden lassen und inwiefern sich aufgetragene Schichten zur Konservierung und Konsolidierung nutzen lassen. Es wurde der geschichtliche Hintergrund der Kunststoffe und die Erfahrungen, die damit bisher in der Restaurierung gemacht wurden, vorgestellt. Schematisch wurden der Beschichtungsprozess sowie verschiedene Typen von Parylenen vorgestellt und die wichtigsten Eigenschaften der damit möglichen Schichten beschrieben. Anhand verschiedener Artefakte wurde erprobt und untersucht wie sich Parylen N und C-Schichten auf diesen verhalten und ihr optisches Verhalten, sowie die Festigungswirkung im Vergleich zu unbeschichteten Referenzen beschrieben.

In mechanischen und chemischen Tests wurde untersucht, wie sich Parylenschichten entfernen lassen, beziehungsweise wie stabil sie gegenüber bestimmten Beanspruchungen sind. Durch die mechanischen Untersuchungsmethoden wurde festgestellt, dass, je glatter eine Oberfläche ist, desto einfacher lassen sich Parylenschichten vom Substrat abnehmen. Dabei erwies sich das Abnehmen mittels Klebeband als die Methode, die die Oberflächen am besten schonte. Im Vergleich zweier Haftvermittler wurde eine Verbesserung der Schichthaftung mit Alloy Primer[®] erzielt. Es wurde beobachtet, dass 2-Mercpatobenzimidazole auf Edelmetallen korrosionsinhibierend wirken könnten. Bei rauen und porösen Oberflächen erwies sich das Abnehmen mittels Feinstrahlen auf metallischen Oberflächen als gut durchführbar. Eine Entfernung applizierter Schichten auf porösen organischen Materialien war nicht möglich. In den mechanischen Tests konnte auch gezeigt werden, dass Parylenschichten auf harten Oberflächen nur mit Glas oder Metall ritzbar waren, auf flexiblen Oberflächen waren Schichten jedoch auch mit dem Fingernagel oder durch Holz ritzbar. Zur Überprüfung der Festigungswirkung wurden Reißtests durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass mit

³⁷ Freundliche Mitteilung: Guido Wolf, Sales Manager SCS Inc.

³⁸ Freundliche Mitteilung: Dick Molin Sr. R&D Engineer, SCS Inc.

9 Fazit und Ausblick

größerer Schichtdicke die Bruchkraft zunahm und bereits mit einer Schichtdicke von 1,0 µm eine Verdoppelung der Bruchkraft erzielt werden konnte. Im Vergleich beider Parylentypen fiel auf, dass Parylen N beschichtete Proben eine deutlich höhere Bruchkraft erzielten als Proben, die mit Parylen C beschichtet wurden.

Die chemischen Untersuchungen zeigten, dass Parylen C-Schichten gegenüber chemischen Einflüssen im Allgemeinen eine höhere Barrierewirkung bieten als Parylen N-Schichten. Ferner bieten dickere Parylenschichten einen besseren Schutz als dünne und überdauern auch länger in aggressiver Umgebung. Eine gute Barrierewirkung wurde bereits mit einer Parylen C -Schicht von mindestens 3 µm Schichtdicke erreicht.

Die Untersuchungen zum optischen Verhalten von Parylenschichten unter verschiedenen Leuchtmitteln zeigen, dass, je dünner die Parylenbeschichtung war, desto deutlicher Interferenzen auftraten. Parylen N-Schichten zeigten dabei stärkere Interferenzen als Parylen C-Schichten. Bei Leuchtmitteln mit polychromatischem Lichtspektrum traten Interferenzen nur bei einer Schichtdicke von $\leq 1,0$ µm auf. Um das Alterungsverhalten von applizierten Parylenschichten zu prüfen wurden Proben mit UV-Strahlung bestrahlt und Klimatests durchgeführt.

Für die Überprüfung der UV-Stabilität von Parylenschichten, wurden mit Parylen N und Parylen C beschichtete Proben, UV-B-Strahlung (312 nm) von einer Strahlendosis von 165888 mJ/cm² ausgesetzt. Auch wenn nach der Bestrahlung augenscheinlich keine deutlichen Veränderungen der Proben festgestellt werden konnten, wurden in anschließenden Untersuchungen der bestrahlten und unbestrahlten Proben mit dem FT-IR-Spektrometer durch UV-Strahlung induzierte Veränderungen sowohl in den Substraten als auch in den Beschichtungen festgestellt.

Mit der Untersuchung des Verhaltens von Parylenschichten unter klimatischem Stress wurde, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Substrate, gezeigt, dass dickere Parylenschichten unempfindlicher gegenüber Klimaschwankungen reagieren und, dass sich Parylen N-Schichten unter klimatischem Stress stabiler verhalten. Das Alterungsverhalten wurde am aussagekräftigsten über die 15 Jahre alte, mit Parylen N beschichtete Probe des Instituts für Buch- und Handschriftenrestaurierung der Bayerischen Staatsbibliothek beschrieben, deren Alterung augenscheinlich nicht wahrnehmbar war. Im FT-IR-Spektrogramm wurden jedoch an der Probe Anzeichen photooxidativen Abbaus nachgewiesen.

9 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass sich Polymerschichten aus Parylen N und C eignen, um Kulturgut (sofern vakuumtauglich) zu konservieren und in der Restaurierung als Festigungsmittel einzusetzen. Parylene wirken bei porösen, organischen Substraten oder lose aufliegenden Partikeln konsolidierend. Es zeigte sich während der Arbeit, dass Parylen N im Vergleich zu Parylen C bessere Festigungseigenschaften aufweist, jedoch nicht so stabil ist gegen chemische und mechanische Einflüsse. Parylen N neigt zudem besonders in dünnen Schichten dazu, Interferenzen zu bilden, die vom Betrachter als Irisieren wahrgenommen werden und so das Erscheinungsbild entscheidend stören können. Die Ergebnisse der Arbeit erlauben den Schluss, dass Parylen N und Parylen C Schichten mit

9 Fazit und Ausblick

einer Schichtdicke ab 3,0 µm prinzipiell in der Restaurierung gut anwendbar sind, ohne dass man wesentliche Nachteile hinsichtlich der konservierenden Wirkung, des Erscheinungsbildes oder der Festigung befürchten muss. Für quantifizierbare Aussagen zur Alterungsbeständigkeit sind die durchgeführten Untersuchungen nicht ausreichend, da Ergebnisse einen wesentlich längeren Zeitraum benötigen. Besonders bei der Untersuchung zum klimatischen Verhalten und zur UV-Stabilität von Parylenschichten sind längerfristige Studien notwendig. Die Arbeit gibt also mit den durchgeführten Untersuchungen Anstöße zur weiteren Erforschung der Anwendbarkeit von Parylenen in der Konservierung. Von besonderem Interesse dürfte hier das in dieser Arbeit kurz vorgestellte Parylen HT sein, welches laut Hersteller stabil gegen UV-Strahlung ist und wegen seiner guten Penetrationsfähigkeit besser festigend wirken könnte als Parylen N. Die Ergebnisse dieser Arbeit und der Überblick zu den aktuellen Kosten von Parylenbeschichtungen zeigen, dass eine weitere Erforschung von Parylenen, ein weiterer Schritt wäre, nachhaltige und finanzierbare Lösungen für Probleme im Bereich der Konservierung und Restaurierung zu entwickeln.

10 Literaturverzeichnis

- Bansa, Helmut; Ishii, Ritsuko: *The Effect of Different Strengthening Methods on Different Kinds of Paper*, in: Restaurator, Bd. 18, 1997, S. 51- 72.
- Baxamusa, Salmaan H. et al.: *Initiated and oxidative chemical vapor deposition: a scalable method for conformal and functional polymer films on real substrates*, in: Physical Chemistry Chemical Physics, Vol. 11, No.26, 2009, S. 5227- 5240.
- Becker, Heinz G. O et al.: "Organikum", 1990, 18. Auflage, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, S. 85- 90.
- Bera, M. et al.: *Photooxidation of poly(para-xylylene)*, in: European Polymer Journal, Vol. 36, No. 9, 2000 (a), S. 1753- 1764.
- Bera, M. et al.: *Comparison of the photodegradation of parylene C and parylene N*, in: European Polymer Journal, Vol. 36, No. 9, 2000 (b), S. 1765- 1777.
- Brown, C. J.; Farthing, A. C.: *Preparation and Structure of Di-p-Xylylene*, in: Nature, Vol.164, No. 4178, 1949, S. 915- 916.
- Carter, Henry A.: *The Chemistry of Paper Preservation Part 3. Strengthening of Paper*, in: Journal of Chemical Education, Vol. 73, No. 12, 1996, S. 1160- 1162.
- Dolbier, William R. et al.: *Process for the preparation of derivatives of octafluoro-[2,2]paracyclophane*, United States Patent, Patent No.:6392097, 2002.
- Dong, Jian, et al.: *Studies of polyimide/copper interface and its improvement by a two - component primer*, in: Die Angewandte Makromolekulare Chemie, Bd. 230, Ausgabe 1, 1995, S. 143- 157.
- Fortin, Jeffrey; Lu, Toh-Ming: *Chemical Vapor Deposition Polymerization – The Growth and Properties of Parylene Thin Films*, Norwell MA 2004.
- Fortin, Jeffrey; Lu, Toh-Ming: *Ultraviolet radiation induced degradation of poly-pa-xylylene (parylene) thin films*, in: Thin Solid Films, Vol. 397, No. 1-2, S. 223- 228.
- Gorham, William F.: *A New, General Synthetic Method for the Preparation of Linear Poly-p-Xylylenes*, in: Journal of Polymer Science, Vol. 4, Part A-1, 1966, S. 3027- 3039.
- Humphrey, Bruce, J.: *Paper Strengthening with Gas-Phase Parylene Polymers: Practical Considerations*, in: Restaurator 11, 1990, S. 48- 68.
- Humphrey, Bruce, J.: *The Application of Parylene Conformal Coating Technology to Archival and Artifact Conservation*, in: Studies in Conservation, Vol. 29, No. 3, 1984, S. 117- 123.
- Jückstock, J: Interdisziplinäre Seminararbeit TUM 2011
- Meng, Ellis, et al.: *Plasma removal of Parylene C*, in: Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 18, No. 4, 2008, S. 1- 13.
- Mertz, Klaus: *Vakuum mit Vorteilen*, in: Magazin für Oberflächentechnik, . Bd. 57, Ausgabe 7/8, 2003, S. 35- 38

10 Literaturverzeichnis

- Mitu, B. et al.: *Plasma-deposited parylene-like thin films: process and material properties*, in: Surface and Coatings Technology, Vol. 174-175, 2003, S. 124- 130.
- Nosal, A. et al.: *Parylene coating on biological specimens*, in: Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 37, Issue 2, 2009, S. 442- 447.
- Silikas, N. et al.: *Surface characterization of precious alloys treated with thione metal primers*, in: Dental Materials, Vol. 23, No. 6, 2007, S. 665- 673.
- Szwarc, Mojzesz: *Some Remarks on the CH₂=CH₂ Molecule*, in: Discussions of the Faraday Society, Vol. 2, 1947, S. 46- 49.
- Szwarc, Mojzesz: *The C-H Bond Energy in Toluene and Xylenes*, in: Journal of Chemical Physics, Vol. 16, No. 2, 1948, S.128- 136.
- Tagungsheft : Specialty Coating Systems - Parylene Seminars Spring 2011, 11.05.2011 – Stuttgart, Stuttgart 2011
- Taira, Yohsuke; Kamada, Kohji: *Effects of primers containing sulfur and phosphate monomers on bonding type IV gold alloy*, in: Journal of Dentistry, Vol. 36, No. 8, 2008, S. 595- 599.
- Xue, Gi et al.: *Surface reaction of 2-mercaptobenzimidazole on metals and its application in adhesion promotion*, in: Journal of Chemical Society, Faraday Transactions, Vol. 87, No. 8, 1991, S. 1229- 1232.
- Yoshida, Shuji: *A study on the orientation of imidazoles on copper as corrosion inhibitor and possible adhesion promoter for electric devices*, in: The Journal of Chemical Physics, Vol. 78, No. 11, 1983, S. 6960- 6969.

Internetquellen

- <http://emdt.co.uk/print/2083>
- http://www.kiscoparylene.com/what_is_parylene/parylene_properties
- <http://www.parylene.com/technology/specifications-properties.html>
- <http://www.kiscoparylene.com/parylenes/parylene-properties>
- http://scscoatings.com/parylene_knowledge/parylene
- http://www.photomed.de/fileadmin/download/Offizielle_Dokumente/UV-Fibel.pdf
- www.kuraraydental.com/products/9/alloy-primer_brochure.pdf

11 Anhang

11.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Unterschiede beim Kantenverlauf einer Lackierung (oben) und einer Parylenbeschichtung (unten), [Mertz 2003, S. 36]	5
Abb. 2: Di-Para-Xylylen – Parylen N, [Dolbier et. al. 2002, S. 1]	6
Abb. 3: Dichloro-p-cyclophane – Parylen C [Dolbier et. al. 2002, S. 1]	7
Abb. 4: Octafluoro[2.2]paracyclophane – Parylen HT [Dolbier et. al. 2002, S. 2].....	7
Abb. 5: Reaktionsschema des Dimers [2,2]Paracyclophan über das Monomer Para-Xylylen zum Polymer Parylen, [Fortin/Lu 2004, S. 5]	9
Abb. 6: Strukturformeln des Chinons und des Benzoids, [Fortin/Lu ,2004, S. 36].....	10
Abb. 7: Polymerisationsschema von Di-Para-Xylylen,[Nosal et. al. 2009, S .444].....	11
Abb. 8: Schema der Polymerkettenbildung, [Fortin/Lu, 2004, S. 44]	12
Abb. 9: Polymerbausteine der Parylentypen N, C und HT [Tagungsheft: Specialty Coating Systems – Parylene Seminars Spring 2011, S. 2].....	12
Abb. 10: UV-Spektren der Parylene N, C, D und HT [Tagungsheft : Specialty Coating Systems - Parylene Seminars Spring 2011, S. 8].....	19
Abb. 11: Schematische Darstellung der Beschichtungsanlage, [Mertz 2003, S. 37].....	21
Abb. 12: Wirkweise von Alloy Primer® [www.kuraraydental.com/products/9/alloy-primer_brochure.pdf]	23
Abb. 13: Wirkweise von 2-Mercaptobenzimidazole auf Kupfer [Xue, Gi et. al. 1991, S.1231]	24

11.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anbieter von Parylenen.....	8
Tabelle 2: Geräteverzeichnis	13
Tabelle 3: Chemikalienverzeichnis	14
Tabelle 4: Einstufung der Prüfungsergebnisse im Gitterschnitttest [DIN EN ISO 2409 :2010 – 4, S. 10]	16
Tabelle 5: Übersicht der verwendeten Strahlungsdosen für die UV-B Strahlung bei 312 nm	19
Tabelle 6: Vorzustand der Objekte	25
Tabelle 7: Zuordnung der Proben bei der Beschichtung	28
Tabelle 8: Zuordnung der mit Primer behandelten Proben bei der Beschichtung.....	29
Tabelle 9: Untersuchung der Glasplattenegative.....	30
Tabelle 10: Untersuchung der Diapositivfilme	31
Tabelle 11: Untersuchung der Portraitfotos.....	32
Tabelle 12: Untersuchung der Zeitungspapiere	33

11 Anhang

Tabelle 13: Untersuchung des Pergaments	34
Tabelle 14: Untersuchung der Aktstudie/ des Pastells	35
Tabelle 15: Untersuchung der Proben eines ledernen Buchdeckels.....	36
Tabelle 16: Untersuchung der Zuschnitte von Ponge-Seide	37
Tabelle 17: Untersuchung der Zuschnitte einer Seidenbespannung.....	38
Tabelle 18: Untersuchung der Bruchstücke fossilen Elfenbeins	39
Tabelle 19: Untersuchung der Bruchstücke des schwammartigen Kunststoffes aus einem Mikrofon-Hauptverstärker	40
Tabelle 20: Untersuchung der Proben einer PVC- Comicfigur.....	41
Tabelle 21: Untersuchung der Proben eines Treibriemens zur Erzbereitungsanlage	42
Tabelle 22: Untersuchung der Proben einer Schlitte-Sohle.....	43
Tabelle 23: Untersuchung der Bruchstücke glasierter Keramik	44
Tabelle 24: Untersuchung der Silbergussrohlinge.....	44
Tabelle 25: Untersuchung der silbernen spätmittelalterlichen Heller	45
Tabelle 26: Untersuchung der Feinsilber Unzen – Wiener Philharmoniker.....	46
Tabelle 27: Untersuchung der vier archäologischen Fragmente eines Messers F86/25.16	46
Tabelle 28: Untersuchung der zwei archäologischen Fragmente eines Sax.....	47
Tabelle 29: Untersuchung der Kupferplättchen – einseitig vergoldet	47
Tabelle 30: Untersuchung der Stahlplättchen.....	48
Tabelle 31: Untersuchung der Kupferplättchen 30 x 30 mm	49
Tabelle 32: Untersuchung der galvanisch vergoldeten Kupferplättchen 40 x 40 mm	50
Tabelle 33: Untersuchung der Kupferplättchen 40 x 40 mm	50
Tabelle 34: Untersuchung der galvanisch versilberten Kupferplättchen 40 x 40 mm	52
Tabelle 35: Untersuchung der Aluminiumplättchen Ag – besputtert	53
Tabelle 36: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an einseitig vergoldeten Kupferplättchen	55
Tabelle 37: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an archäologischen Fragmenten F86/25.16 und Sax P15, P11	56
Tabelle 38: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an Glasplattennegativen	57
Tabelle 39: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an Porträtfotos	58
Tabelle 40: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an Diapositivaufnahmen	59
Tabelle 41: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an spätmittelalterlichem Heller	59
Tabelle 42: Ergebnisse der Haftfestigkeitsprüfung an glasierten Keramikbruchstücken	60
Tabelle 43: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an vergoldeten Kupferplättchen 40 x 40 mm	60
Tabelle 44: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an versilberten Kupferplättchen 40 x 40 mm	60
Tabelle 45: Ergebnisse der Gitterschnittprüfung an Kupferplättchen 40 x 40 mm	61
Tabelle 46: Ergebnisse der Prüfung der Reißfestigkeit	62
Tabelle 47: Ergebnisse der Untersuchung zum Verhalten im täglichen Gebrauch	63
Tabelle 48: Lösemittelverhalten Parylen C – 1,25 µm	64
Tabelle 49: Lösemittelverhalten Parylen N – 1,0µm	65
Tabelle 50: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H ₂ S für Parylen C – 6,85µm	66
Tabelle 51: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H ₂ S für Parylen C – 3,5µm	66

11 Anhang

Tabelle 52: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H ₂ S für Parylen C – 1,25µm.....	66
Tabelle 53: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H ₂ S für Parylen N – 1,0µm.....	67
Tabelle 54: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H ₂ S für Parylen N – 3,0µm.....	67
Tabelle 55: Untersuchungsergebnisse Dampfdichtigkeit H ₂ S für Parylen N – 7,4µm.....	67
Tabelle 56: Interferenzverhalten der Parylenschichten bei unterschiedlichen Leuchtmitteln.....	68
Tabelle 57: Ergebnisse der UV-B bestrahlten Proben eines Treibriemens.....	69
Tabelle 58: Ergebnisse der UV-B bestrahlten Proben eines PVC-Spielzeugs.....	69
Tabelle 59: Ergebnisse der UV-B bestrahlten Proben einer Schliittschuhsohle aus Polyurethan.....	70
Tabelle 60: Klimaverhalten beschichteter Pastelle.....	83
Tabelle 61: Klimaverhalten beschichteten Leders.....	83
Tabelle 62: Klimaverhalten beschichteten Pergaments.....	83
Tabelle 63: Versuchsparameter Parylen C 6,85 µm.....	XVI
Tabelle 64: Versuchsparameter Parylen C 3,5 µm.....	XVI
Tabelle 65: Versuchsparameter Parylen C 1,25 µm.....	XVII
Tabelle 66: Versuchsparameter Parylen C 3,4 µm.....	XIX
Tabelle 67: Versuchsparameter Parylen N 1,0 µm.....	XX
Tabelle 68: Versuchsparameter Parylen N 3,0 µm.....	XXI
Tabelle 69: Versuchsparameter Parylen N 7,4 µm.....	XXI
Tabelle 70: Versuchsparameter Parylen N 3,0 µm.....	XXIII
Tabelle 71: Tabelle der Barriereigenschaften von Parylenen gegenüber Gasen und Wasserdampf.....	XXIV
Tabelle 72: Tabelle der physikalischen Eigenschaften von Parylenen.....	XXIV
Tabelle 73: Tabelle der Barriereigenschaften und Penetrationsfähigkeit von Parylenen.....	XXV
Tabelle 74: Tabelle der UV- Stabilität von Parylenen.....	XXV
Tabelle 75: Tabelle der thermischen Eigenschaften von Parylenen.....	XXVI

11.3 Versuchsprotokolle

Versuchsprotokoll 1: Parylen C Beschichtung 6,85 µm.....	XVI
Versuchsprotokoll 2: Parylen C Beschichtung 3,5 µm.....	XVII
Versuchsprotokoll 3: Parylen C Beschichtung 1,25 µm.....	XVIII
Versuchsprotokoll 4: Parylen C Beschichtung 3,4 µm.....	XIX
Versuchsprotokoll 5: Parylen N Beschichtung 1,0 µm.....	XX
Versuchsprotokoll 6: Parylen N Beschichtung 3,0 µm.....	XXI
Versuchsprotokoll 7: Parylen N Beschichtung 7,4 µm.....	XXII
Versuchsprotokoll 8: Parylen N Beschichtung 3,0 µm.....	XXIII

11.4 FT-IR – Spektren

Spektrum 1: FT-IR-Spektrum der Schlittschuhsohle (rot) und von Polyurethan (blau), Wellenbereich 4000–400 cm ⁻¹	71
Spektrum 2: FT-IR-Spektrum des Treibriemens (rot) und von Paraffinwachs (grau), Wellenbereich: 4000–400 cm ⁻¹	72
Spektrum 3: FT-IR-Spektrum des PVC-Spielzeugs (rot) und von Phtalaten (blau), Wellenbereich: 4000 – 400 cm ⁻¹	72
Spektrum 4: FT-IR-Spektrum des schwammartigen Kunststoffes, Wellenbereich 4000–800 cm ⁻¹	73
Spektrum 5: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (blau), Wellenbereich 4000–400cm ⁻¹	74
Spektrum 6: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (hellblau), Parylen C (dunkelblau) , Wellenbereich 1800–800cm ⁻¹	74
Spektrum 7: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (hellblau), Parylen C (dunkelblau) , Wellenbereich 3200–2800cm ⁻¹	75
Spektrum 8: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (hellblau), Wellenbereich 3200–2800cm ⁻¹	76
Spektrum 9: FT-IR-Spektrum der parylenbeschichteten Probe der IBR (rot) und von Parylen N (hellblau), Wellenbereich 2000–800cm ⁻¹	76
Spektrum 10: FT-IR-Spektrum der Schlittschuhsohle Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), Schlittschuhsohle unbestrahlt (schwarz), Schlittschuhsohle 72 h UV-bestrahlt (blau), Wellenbereich 4000–800cm ⁻¹	77
Spektrum 11: FT-IR-Spektrum der Schlittschuhsohle Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), Schlittschuhsohle unbestrahlt (schwarz), Schlittschuhsohle 72 h UV-bestrahlt (blau), Wellenbereich 3400–2600cm ⁻¹	78
Spektrum 12: FT-IR-Spektrum der Schlittschuhsohle Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), Schlittschuhsohle unbestrahlt (schwarz), Wellenbereich 2000–700cm ⁻¹	78
Spektrum 13: FT-IR-Spektrum der Schlittschuhsohle unbestrahlt (schwarz) und Schlittschuhsohle 72 h UV-bestrahlt (blau), Wellenbereich 2000–750cm ⁻¹	79
Spektrum 14: FT-IR-Spektrum des PVC-Spielzeugs Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), PVC-Spielzeug unbestrahlt (schwarz). Wellenbereich 3400–2600cm ⁻¹	80
Spektrum 15: FT-IR-Spektrum des PVC-Spielzeugs Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), PVC-Spielzeug unbestrahlt (schwarz). Wellenbereich 2000–700cm ⁻¹	80
Spektrum 16: FT-IR-Spektrum des PVC-Spielzeugs unbestrahlt (schwarz), und PVC-Spielzeugs 72 h UV-bestrahlt (blau), Wellenbereich 2000–700cm ⁻¹	81
Spektrum 17: FT-IR-Spektrum des Treibriemens Parylen C beschichtet – 72 h UV-bestrahlt (rot), Parylen C (grün), und Treibriemen unbestrahlt (schwarz). Wellenbereich 1800–700cm ⁻¹	82

11 Anhang

11.5 Fotoverzeichnis

Foto 1: Glasplattenegative 1-3 Vorderseite	XXVI
Foto 2: Glasplattenegative 1-3 Rückseite.....	XXVI
Foto 3: Glasplattenegative 4-6 Vorderseite	XXVII
Foto 4: Glasplattenegative 4-6 Rückseite.....	XXVII
Foto 5: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 Vorderseite.....	XXVII
Foto 6: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 Rückseite	XXVII
Foto 7: Porträtfotos 1-6 Vorderseite	XXVII
Foto 8: Porträtfotos 1-6 Rückseite.....	XXVII
Foto 9: Zeitungsausschnitte 1-6 Vorderseite.....	XXVII
Foto 10: Zeitungsausschnitte 1-6 Rückseite	XXVII
Foto 11: Pergamentproben 1-6 Vorderseite.....	XXVIII
Foto 12: Pergamentproben 1-6 Rückseite.....	XXVIII
Foto 13: Pastellzeichnung Gesamtansicht	XXVIII
Foto 14: Pastellproben 1-6	XXVIII
Foto 15: Kupferplättchen 30 x 30 mm Vorderseite.....	XXVIII
Foto 16: Kupferplättchen 30 x 30 mm Rückseite	XXVIII
Foto 17: Stahlplättchen 1-8 poliert.....	XXIX
Foto 18: Aluplättchen Ag-besputtert 1-12.....	XXIX
Foto 19: Feinsilberunze Vorderseite.....	XXIX
Foto 20: Feinsilberunze Rückseite	XXIX
Foto 21: spätmittelalterliche Heller 1-9(v.l.o.) Vorderseite.....	XXIX
Foto 22: spätmittelalterliche Heller 1-9(v.l.o.) Rückseite	XXIX
Foto 23: Silbergußrohlinge 1-6 Vorderseite.....	XXX
Foto 24: Silbergußrohlinge 1-6 Rückseite	XXX
Foto 25: Kupferplättchen einseitig vergoldet 1-6 Vorderseite.....	XXX
Foto 26: Kupferplättchen einseitig vergoldet 1-6 Vorderseite.....	XXX
Foto 27: Proben Ponge-Seide 1-6.....	XXX
Foto 28: Proben Seidenbespannung 1-6 Vorderseite	XXXI
Foto 29: Proben Seidenbespannung 1-6 Rückseite.....	XXXI
Foto 30: Proben fossiles Elfenbein 1-6 Vorderseite	XXXI
Foto 31: Proben fossiles Elfenbein 1-6 Rückseite.....	XXXI
Foto 32: Proben Treibriemen 1-6 Vorderseite	XXXI
Foto 33: Proben Treibriemen 1-6 Rückseite.....	XXXI
Foto 34: Schwammartiger Kunststoff aus einem Mikrofon-Hauptverstärker (Inv.Nr. DMM-62395). XXXII	
Foto 35: Proben DMM-62395 1-6 Vorderseite.....	XXXII
Foto 36: Proben DMM-62395 1-6 Rückseite	XXXII
Foto 37: Proben Schlittschuhsohle 1-6 Vorderseite	XXXII
Foto 38: Proben Schlittschuhsohle 1-6 Rückseite.....	XXXII

11 Anhang

Foto 39: Spielzeug aus PVC.....	XXXIII
Foto 40: Proben PVC-Spielzeug 1-6 Vorderseite	XXXIII
Foto 41: Proben PVC-Spielzeug 1-6 Rückseite.....	XXXIII
Foto 42: F86-25.16 Fragmente 1-4 Vorderseite	XXXIV
Foto 43: F86-25.16 Fragmente 1-4 Rückseite.....	XXXIV
Foto 44: kleines Bruchstück glasierter Keramik Vorderseite.....	XXXIV
Foto 45: kleines Bruchstück glasierter Keramik Rückseite	XXXIV
Foto 46: großes Bruchstück glasierter Keramik Vorderseite.....	XXXIV
Foto 47: großes Bruchstück glasierter Keramik Rückseite	XXXIV
Foto 48: Fragment Sax P11 - Vorderseite.....	XXXV
Foto 49: Fragment Sax P11 - Rückseite	XXXV
Foto 50: Fragment Sax P15 - Vorderseite.....	XXXV
Foto 51: Fragment Sax P11 - Rückseite	XXXV
Foto 52: Lederdeckel Gesamtaufnahme	XXXV
Foto 53: Proben Lederdeckel 1-6 Vorderseite.....	XXXVI
Foto 54: Proben Lederdeckel 1-6 Rückseite	XXXVI
Foto 55: Kupferplättchen 40 x 40 mm vergoldet 1-6	XXXVI
Foto 56: Kupferplättchen 40 x 40 mm 1-4	XXXVI
Foto 57: Kupferplättchen 40 x 40 mm versilbert 1-6 Vorderseite	XXXVI
Foto 58: Kupferplättchen 40 x 40 mm versilbert 1-6 Rückseite.....	XXXVI
Foto 59: Schlittschuhsohle Probe 7 vor UV-Bestrahlung.....	XXXVII
Foto 60: PVC-Spielzeug Probe 7 vor UV-Bestrahlung	XXXVII
Foto 61: Treibriemen Probe 7 vor UV-Bestrahlung	XXXVII
Foto 62: Lederprobe 7 vor Klimaversuch	XXXVII
Foto 63: Pergamentprobe 7 vor Klimaversuch	XXXVII
Foto 64: Pastellprobe 7 vor Klimaversuch.....	XXXVII
Foto 65: Fragment Sax P7 – Vorderseite, 3,4µm Parylen C beschichtet [Jückstock 2011, S.53]	XXXVIII
Foto 66: Fragment Sax P7 – Rückseite, 3,4µm Parylen C beschichtet [Jückstock 2011, S.53]	XXXVIII
Foto 67: Stahlplättchen mit Ringlicht 5400K beleuchtet	XXXVIII
Foto 68: Stahlplättchen mit Osram L58 / 25W Universal White beleuchtet	XXXVIII
Foto 69: Stahlplättchen mit Sylvania Standard F15W/129 –T8 warm white beleuchtet	XXXVIII
Foto 70: Stahlplättchen mit Halogenstrahler GU 10 beleuchtet	XXXVIII
Foto 71: Stahlplättchen mit Glühlampe OR 35 ⁰ beleuchtet	XXXIX
Foto 72: Ag-Al-Proben 1-3 nach 24 h H ₂ S-Atmosphäre (o = ohne Primer, a = Alloy Primer, 2m = 2-Mercaptobenzimidazole als Primer)	XXXIX
Foto 73: Ag-Al-Proben 4 -6 nach 24 h H ₂ S-Atmosphäre (o = ohne Primer, a = Alloy Primer, 2m = 2-Mercaptobenzimidazole als Primer)	XXXIX
Foto 74: Ag-Al-Proben 1-3 nach 48 h H ₂ S-Atmosphäre, Probe 7 als Referenz (o = ohne Primer, a = Alloy Primer, 2m = 2-Mercaptobenzimidazole als Primer).....	XXXIX
Foto 75: Ag-Al-Proben 4-6 nach 48 h H ₂ S-Atmosphäre, Probe 7 als Referenz (o = ohne Primer, a = Alloy Primer, 2m = 2-Mercaptobenzimidazole als Primer).....	XXXIX

11 Anhang

Foto 76: Proben Treibriemen 1-6, 24 h UV-bestrahlt	XL
Foto 77: Proben Treibriemen 1-6, 48 h UV-bestrahlt	XL
Foto 78: Proben Treibriemen 1-6, 72 h UV-bestrahlt	XL
Foto 79: Proben Schlittschuhsohle 1-6, 24 h UV-bestrahlt.....	XL
Foto 80: Proben Schlittschuhsohle 1-6, 48 h UV-bestrahlt.....	XL
Foto 81: Proben Schlittschuhsohle 1-6, 72 h UV-bestrahlt.....	XL
Foto 82: Proben PVC-Spielzeug 1-6, 24 h UV-bestrahlt	XLI
Foto 83: Proben PVC-Spielzeug 1-6, 48 h UV-bestrahlt	XLI
Foto 84: Proben PVC-Spielzeug 1-6, 72 h UV-bestrahlt	XLI
Foto 85: Pastellproben 1-6 und Referenz 7 unbewittert (Foto: C. Mazzon)	XLI
Foto 86: Pastellproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 40 °C und 90%rF (Foto: C. Mazzon) ..	XLII
Foto 87: Pastellproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 10 °C und 30%rF (Foto: C. Mazzon) ..	XLII
Foto 88: Pergamentproben 1-6 und Referenz 7 unbewittert (Foto: C. Mazzon).....	XLII
Foto 89: Pergamentproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 40 °C und 90%rF	XLIII
Foto 90: Pergamentproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 10 °C und 30%rF	XLIII
Foto 91: Lederproben 1-6 und Referenz 7 unbewittert (Foto: C. Mazzon)	XLIV
Foto 92: Lederproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 40 °C und 90%rF (Foto: C. Mazzon) ..	XLIV
Foto 93: Lederproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 10 °C und 30%rF (Foto: C. Mazzon) ...	XLV
Foto 94: Glasplattenegative 1-3 beschichtet – Vorderseite (Probe 2 beim Fotografieren zerbrochen)	XLV
Foto 95: Glasplattenegative 1-3 beschichtet – Rückseite (Probe 2 beim Fotografieren zerbrochen)	XLV
Foto 96: Glasplattenegative 4-6 beschichtet – Vorderseite	XLV
Foto 97: Glasplattenegative 4-6 beschichtet – Rückseite	XLV
Foto 98: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 beschichtet - Vorderseite	XLVI
Foto 99: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 beschichtet - Rückseite.....	XLVI
Foto 100: Porträtfotos 1-6 beschichtet - Vorderseite.....	XLVI
Foto 101: Porträtfotos 1-6 beschichtet - Rückseite	XLVI
Foto 102: Zeitungsausschnitte 1-6 beschichtet - Vorderseite	XLVI
Foto 103: Zeitungsausschnitte 1-6 beschichtet - Rückseite.....	XLVI
Foto 104: Pergamentproben 1-6 beschichtet - Vorderseite.....	XLVII
Foto 105: Pergamentproben 1-6 beschichtet - Rückseite	XLVII
Foto 106: Pastellproben 1-6 beschichtet	XLVII
Foto 107: Kupferplättchen 30 x 30 mm beschichtet – Vorderseite (Proben 1 & 4 mit Alloy Primer, Proben 2 & 5 mit 2-Mercaptobenzimidazole, Proben 3 & 6 ohne).....	XLVII
Foto 108: Kupferplättchen 30 x 30 mm beschichtet – Rückseite (Proben 1 & 4 mit Alloy Primer, Proben 2 & 5 mit 2-Mercaptobenzimidazole, Proben 3 & 6 ohne)	XLVII
Foto 109: Stahlplättchen 1-6 beschichtet	XLVIII
Foto 110: Aluplättchen Ag-besputtert 1-6 beschichtet.....	XLVIII
Foto 111: Feinsilberunzen 1-6 beschichtet - Vorderseite	XLVIII
Foto 112: Feinsilberunzen 1-6 beschichtet - Rückseite.....	XLVIII

11 Anhang

Foto 113: spätmittelalterliche Heller 1-6 beschichtet - Vorderseite	XLVIII
Foto 114: spätmittelalterliche Heller 1-6 beschichtet - Rückseite	XLVIII
Foto 115: Silbergußrohling 1-6 beschichtet - Vorderseite	XLIX
Foto 116: Silbergußrohling 1-6 beschichtet - Rückseite	XLIX
Foto 117: Kupferplättchen einseitig vergoldet 1-6 beschichtet - Vorderseite	XLIX
Foto 118: Kupferplättchen einseitig vergoldet 1-6 beschichtet - Rückseite	XLIX
Foto 119: Proben Ponge-Seide 1-6 beschichtet	XLIX
Foto 120: Proben Seidenbespannung 1-6 beschichtet - Vorderseite	L
Foto 121: Proben Seidenbespannung 1-6 beschichtet - Rückseite	L
Foto 122: Proben fossiles Elfenbein 1-6 beschichtet - Vorderseite	L
Foto 123: Proben fossiles Elfenbein 1-6 beschichtet - Rückseite	L
Foto 124: Proben Treibriemen 1-6 beschichtet - Vorderseite	L
Foto 125: Proben Treibriemen 1-6 beschichtet - Rückseite	L
Foto 126: Proben DMM-62395 1-6 beschichtet - Vorderseite	LI
Foto 127: Proben DMM-62395 1-6 beschichtet - Rückseite	LI
Foto 128: Proben Schlittschuhsohle 1-6 beschichtet - Vorderseite	LI
Foto 129: Proben Schlittschuhsohle 1-6 beschichtet - Rückseite	LI
Foto 130: Proben PVC-Spielzeug 1-6 beschichtet - Vorderseite	LI
Foto 131: Proben PVC-Spielzeug 1-6 beschichtet - Rückseite	LI
Foto 132: F86-25.16 Fragmente 1-4 beschichtet - Vorderseite	LII
Foto 133: F86-25.16 Fragmente 1-4 beschichtet - Rückseite	LII
Foto 134: kleines Bruchstück glasierter Keramik beschichtet - Vorderseite	LII
Foto 135: kleines Bruchstück glasierter Keramik beschichtet - Rückseite	LII
Foto 136: großes Bruchstück glasierter Keramik beschichtet - Vorderseite	LII
Foto 137: großes Bruchstück glasierter Keramik beschichtet - Rückseite	LII
Foto 138: Fragment Sax P11 beschichtet - Vorderseite	LIII
Foto 139: Fragment Sax P11 beschichtet - Rückseite	LIII
Foto 140: Fragment Sax P15 beschichtet - Vorderseite	LIII
Foto 141: Fragment Sax P15 beschichtet - Rückseite	LIII
Foto 142: Proben Lederdeckel 1-6 beschichtet - Vorderseite	LIII
Foto 143: Proben Lederdeckel 1-6 beschichtet - Rückseite	LIII
Foto 144: Kupferplättchen 40 x 40 mm vergoldet beschichtet (Proben 1 & 4 mit 2-Mercaptobenzimidazole Primer, Proben 2 & 5 mit Alloy Primer, Proben 3 & 6 ohne)	LIV
Foto 145: Kupferplättchen 40 x 40 mm beschichtet (Proben 1 & 4 mit 2-Mercaptobenzimidazole Primer, Proben 2 & 5 mit Alloy Primer, Proben 3 & 6 ohne)	LIV
Foto 146: Kupferplättchen 40 x 40 mm versilbert beschichtet – Vorderseite (Proben 1 & 4 mit 2-Mercaptobenzimidazole Primer, Proben 2 & 5 mit Alloy Primer, Proben 3 & 6 ohne)	LIV
Foto 147: Kupferplättchen 40 x 40 mm versilbert beschichtet – Rückseite (Proben 1 & 4 mit 2-Mercaptobenzimidazole Primer, Proben 2 & 5 mit Alloy Primer, Proben 3 & 6 ohne)	LIV
Foto 148: Glasplattenegative 1-3 nach der Beprobung	LIV
Foto 149: Glasplattenegative 4-6 nach der Beprobung	LIV

11 Anhang

Foto 150: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 nach der Beprobung	LV
Foto 151: Porträtaufnahmen 1-6 nach der Beprobung.....	LV
Foto 152: Zeitungsausschnitte 1-6 nach dem Reißtest	LV
Foto 153: spätmittelalterlicher Heller nach der Beprobung - Vorderseite.....	LV
Foto 154: spätmittelalterlicher Heller nach der Beprobung - Rückseite	LV
Foto 155: Silbergußrohlinge nach 28 Tagen Gebrauch - Vorderseite.....	LVI
Foto 156: Silbergußrohlinge nach 28 Tagen Gebrauch - Rückseite	LVI
Foto 157: einseitig vergoldete Kupferplättchen 1-6 nach der Beprobung - Vorderseite.....	LVI
Foto 158: einseitig vergoldete Kupferplättchen 1-6 nach der Beprobung - Rückseite	LVI
Foto 159: F86-25.16 Fragmente 1-4 nach der Beprobung - Vorderseite	LVI
Foto 160: kleines Bruchstück glasierter Keramik – nach der Beprobung.....	LVII
Foto 161: großes Bruchstück glasierter Keramik – nach der Beprobung.....	LVII
Foto 162: Fragment Sax P7 nach der Schichtentfernung mittels Feinstrahlen - Vorderseite	LVII
Foto 163: Fragment Sax P7 nach der Schichtentfernung mittels Feinstrahlen - Rückseite	LVII
Foto 164: Kupferplättchen 40 x40 vergoldet nach der Beprobung	LVII
Foto 165: Kupferplättchen 40 x40 nach der Beprobung.....	LVII
Foto 166: Kupferplättchen 40 x40 versilbert nach der Beprobung	LVIII

11 Anhang

11.6 Versuchsprotokolle und Beschichtungsparameter

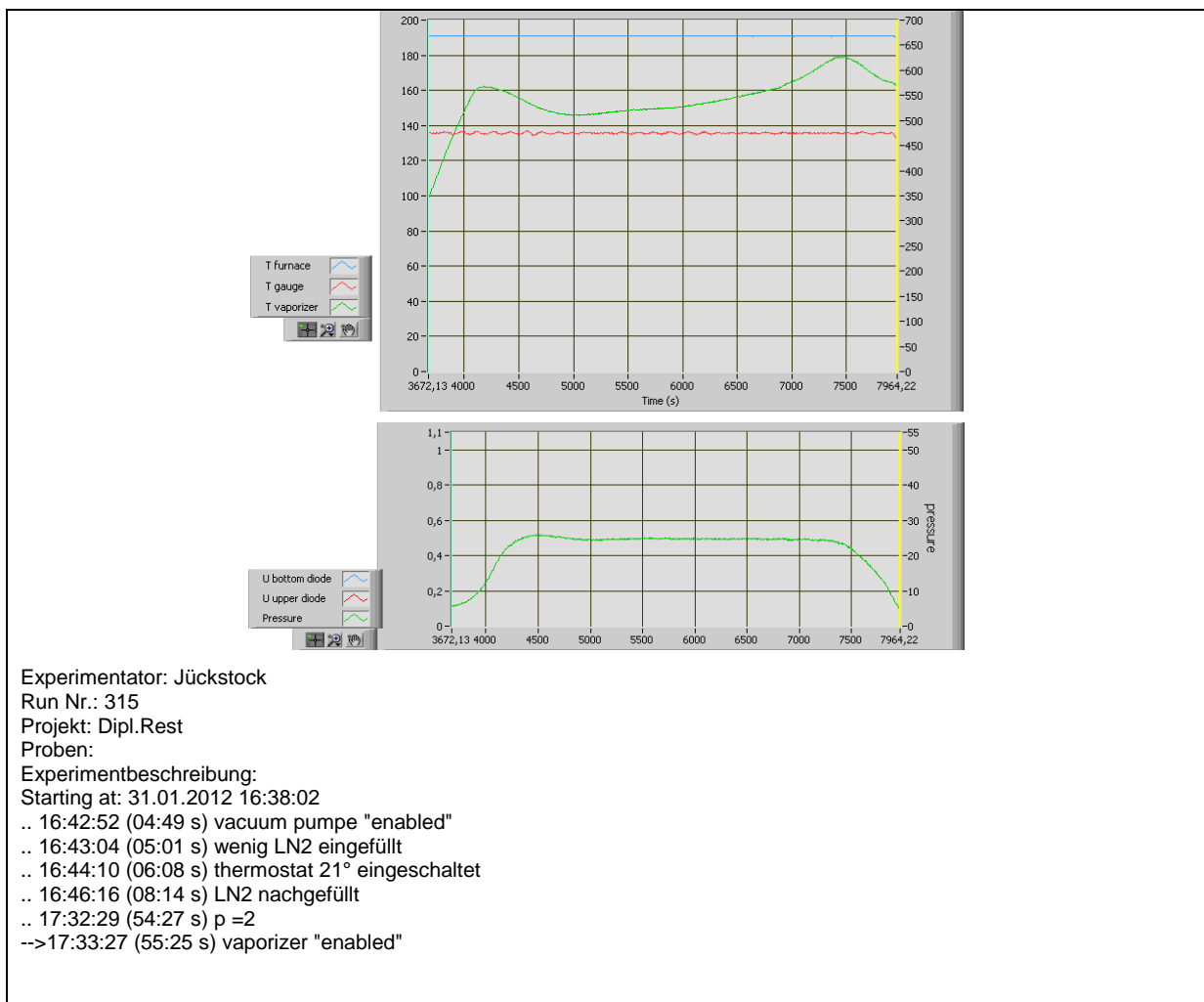
Tabelle 63: Versuchsparameter Parylen C 6,85 µm

Parylen	Ladung [g]	Furnace [T ° C]	Gauge [T ° C]	Vaporizer [T ° C]	Vacuum [units]	Blende ø	Glocke Temp. [T ° C]	Primer	Dauer Beschichtung [min]	Schicht- dicke [µm]
C	11,5	670	136	170	24	10	21	Alloy	76	6,854
Charge										

je einmal: Glasplattennegativ, Diapositivfilm, Fotoaufnahme, Zeitungspapier, Pergament, Pastell, Stahlplättchen, Feinsilberunze, spätmittelalterlicher Heller, Silbergussrohling, Kupferplättchen einseitig vergoldet, Zuschnitt Ponge – Seide, Zuschnitt Seidenbespannung, fossiles Elfenbein, Probe Treibriemen, Probe schwammartiger Kunststoff, Probe Schlitsschuhsohle, Probe PVC.Spielzeug, Fragment F86/25.16, Probe lederner Buchdeckel

zweimal: Aluminiumplättchen Ag-besputtert, eines davon mit Alloy Primer behandelt
Metalloberflächen mit Aceton zuvor gereinigt

Versuchsprotokoll 1: Parylen C Beschichtung 6,85 µm



Experimentator: Jückstock
Run Nr.: 315
Projekt: Dipl.Rest
Proben:
Experimentbeschreibung:
Starting at: 31.01.2012 16:38:02
.. 16:42:52 (04:49 s) vacuum pumpe "enabled"
.. 16:43:04 (05:01 s) wenig LN2 eingefüllt
.. 16:44:10 (06:08 s) thermostat 21° eingeschaltet
.. 16:46:16 (08:14 s) LN2 nachgefüllt
.. 17:32:29 (54:27 s) p =2
-->17:33:27 (55:25 s) vaporizer "enabled"

Tabelle 64: Versuchsparameter Parylen C 3,5 µm

11 Anhang

Parylen	Ladung [g]	Furnace [T ° C]	Gauge [T ° C]	Vaporizer [T ° C]	Vacuum [units]	Blende ø	Glocke Temp. [T ° C]	Primer	Dauer Beschichtung [min]	Schicht- dicke [µm]
C	6,0	670	136	170	24	10	21	Alloy, 2-Mercapto- benz- imidazole	30	3,55
Charge										
<p>je einmal: Glasplattennegativ, Diapositivfilm, Fotoaufnahme, Zeitungspapier, Pergament, Pastell, Stahlplättchen, Feinsilberunze, spätmittelalterlicher Heller, Silbergussrohling, Kupferplättchen einseitig vergoldet, Zuschnitt Ponge – Seide, Zuschnitt Seidenbespannung, fossiles Elfenbein, Probe Treibriemen, Probe schwammartiger Kunststoff, Probe Schlittschuhsohle, Probe PVC.Spielzeug, Fragment Sax P11, Bruchstück blau glasierte Keramik, Probe lederner Buchdeckel</p> <p>dreimal: Aluminiumplättchen Ag-besputtert, eines davon mit Alloy Primer, eines mit 2-Mercaptobenzimidazole behandelt</p> <p>dreimal Kupferplättchen 30 x 30 mm, eines davon mit Alloy Primer, eines mit 2-Mercaptobenzimidazole behandelt</p>										

Versuchsprotokoll 2: Parylen C Beschichtung 3,5 µm

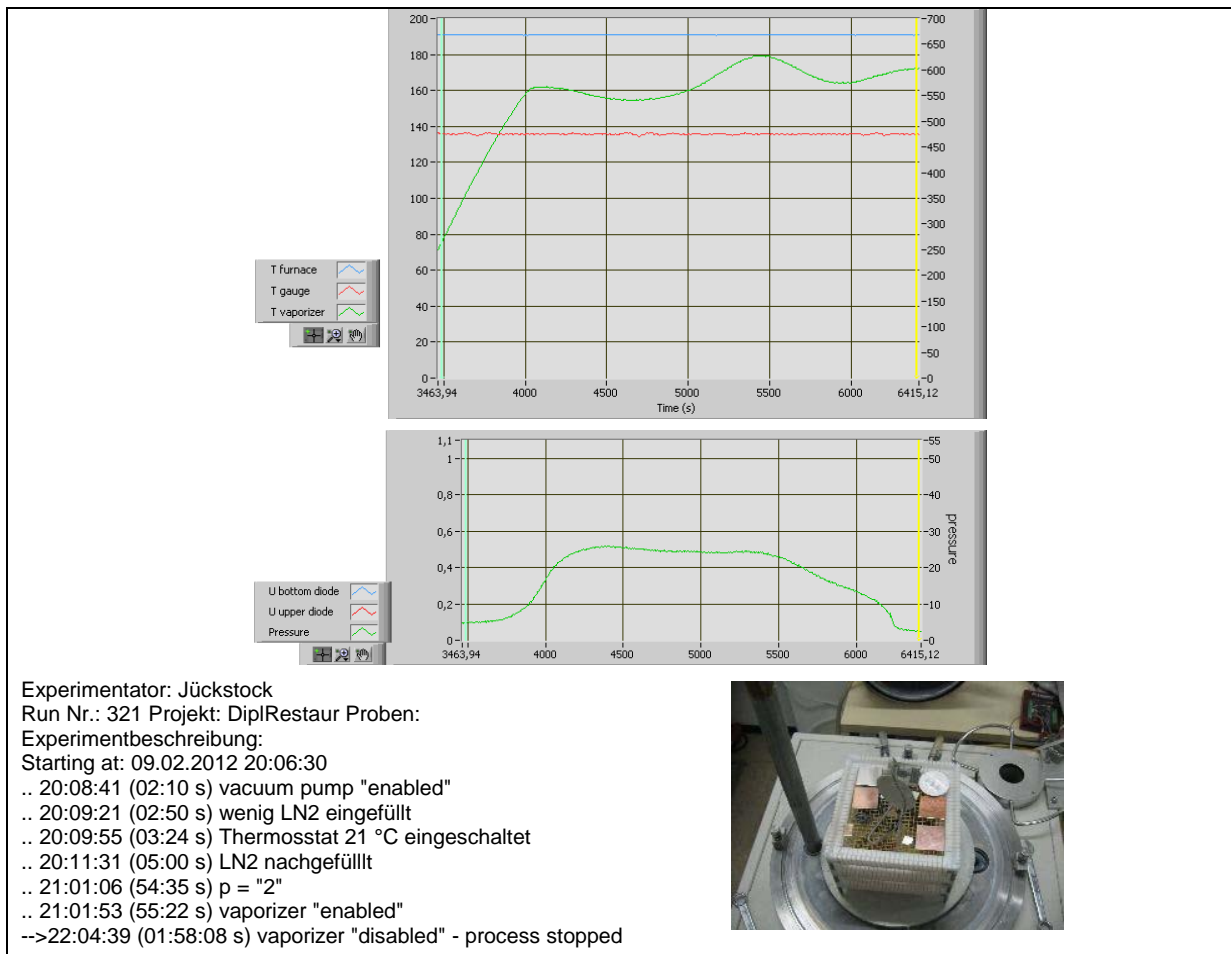


Tabelle 65: Versuchsparameter Parylen C 1,25 µm

11 Anhang

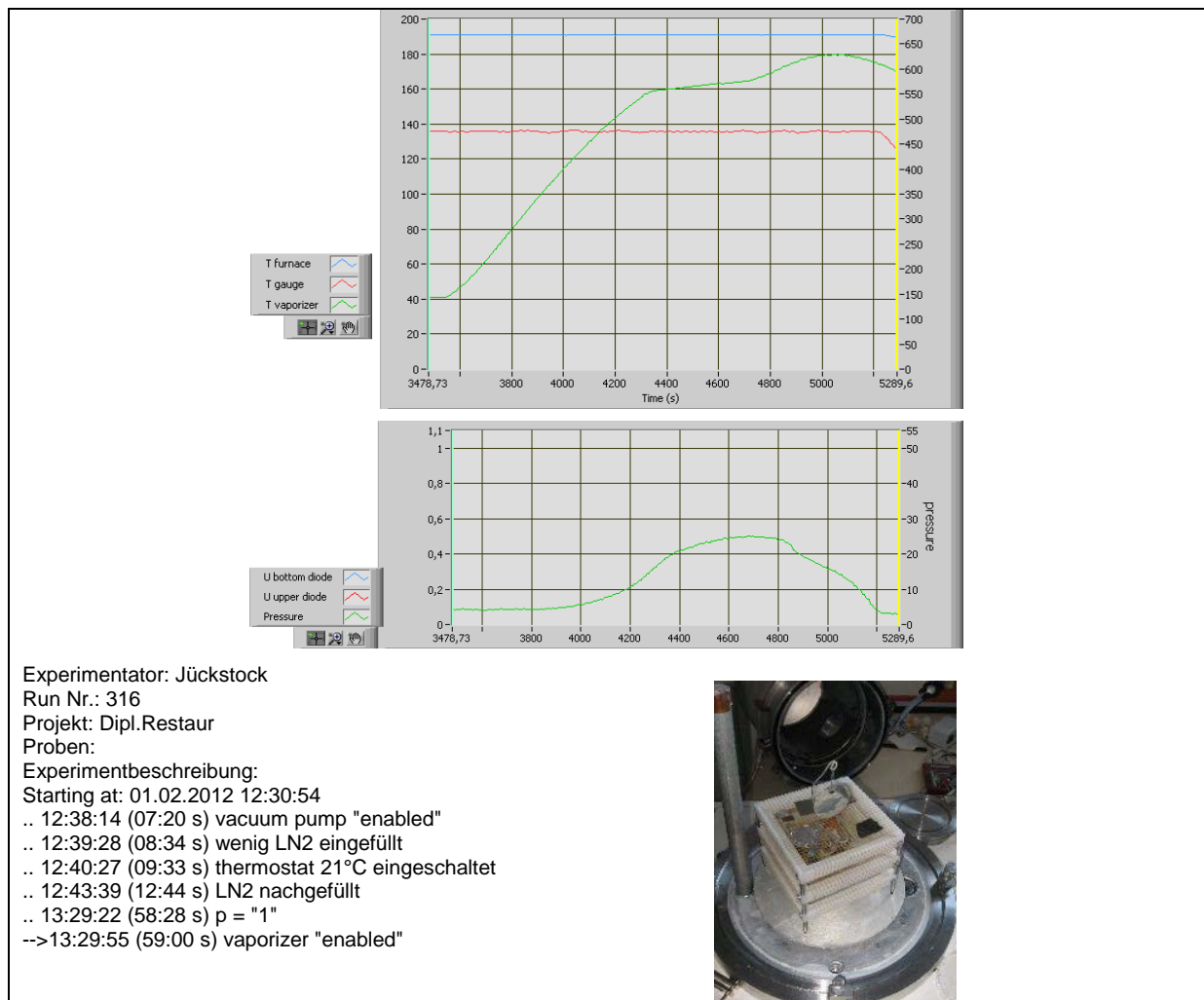
Parylen	Ladung [g]	Furnace [T ° C]	Gauge [T ° C]	Vaporizer [T ° C]	Vacuun [units]	Blende ø	Glocke Temp. [T ° C]	Primer	Dauer Beschichtung [min]	Schicht- dicke [µm]
C	2,2	670	136	170	24	10	21	Alloy	30	1,250

Charge

je einmal: Glasplattennegativ, Diapositivfilm, Fotoaufnahme, Zeitungspapier, Pergament, Pastell, Stahlplättchen, Feinsilberunze, spätmittelalterlicher Heller, Silbergussrohling, Kupferplättchen einseitig vergoldet, Zuschnitt Ponge – Seide, Zuschnitt Seidenbespannung, fossiles Elfenbein, Probe Treibriemen, Probe schwammartiger Kunststoff, Probe Schliittschuhsohle, Probe PVC.Spielzeug, Fragment F86/25.16, Probe lederner Buchdeckel

zweimal: Aluminiumplättchen Ag-besputtert, eines davon mit Alloy Primer behandelt
Metalloberflächen mit Aceton zuvor gereinigt

Versuchsprotokoll 3: Parylen C Beschichtung 1,25 µm

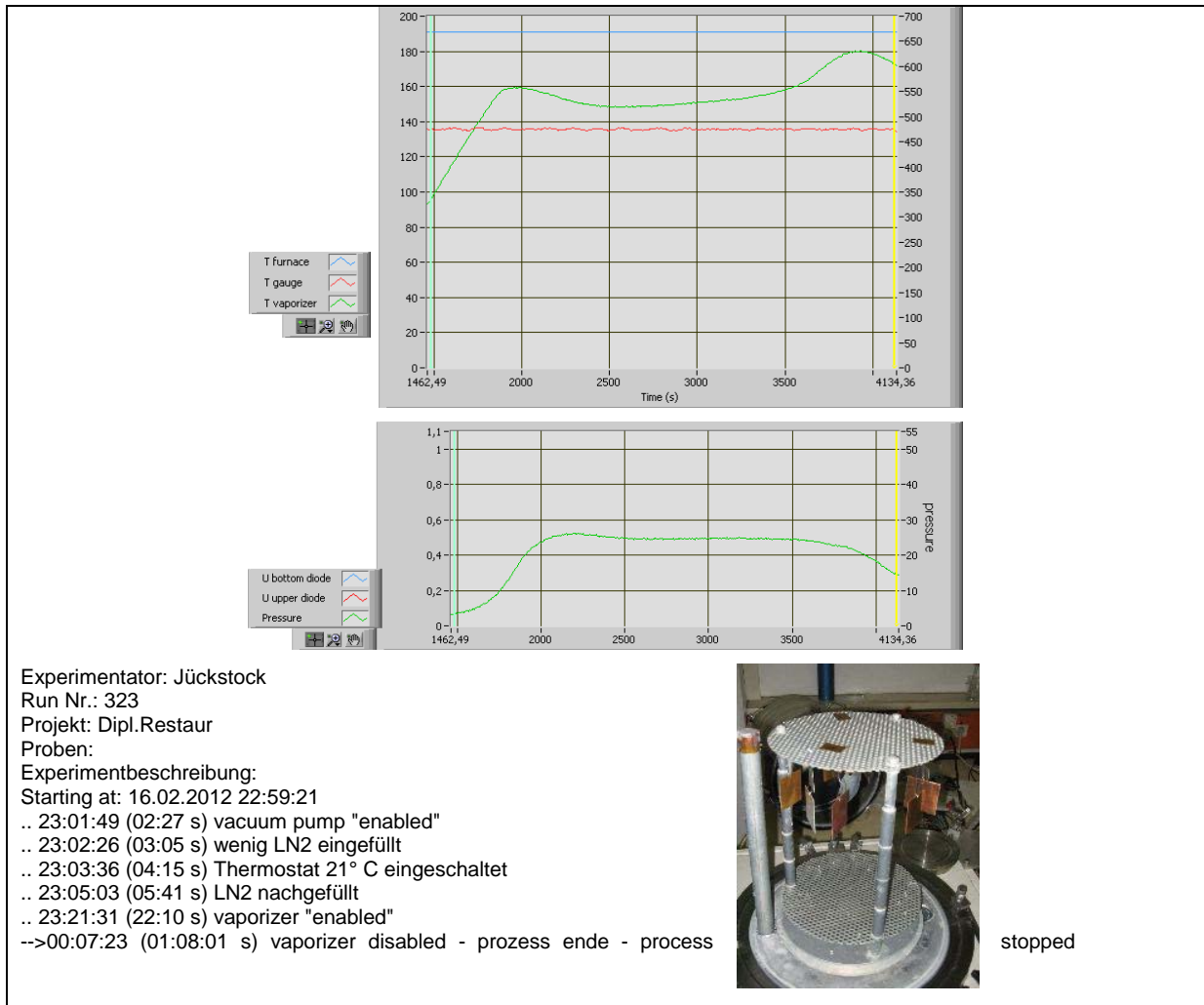


11 Anhang

Tabelle 66: Versuchsparameter Parylen C 3,4 µm

Parylen	Ladung [g]	Furnace [T ° C]	Gauge [T ° C]	Vaporizer [T ° C]	Vacuum [units]	Blende ø	Glocke Temp. [T ° C]	Primer	Dauer Beschichtung [min]	Schicht- dicke [µm]
C	6,0	670	136	170	24	10	21	Alloy, 2- Mercapto- benz- imidazole	40	3,410
Charge										
3 mal galvanisch vergoldete Kupferplättchen 40 x 40 mm, 3 mal galvanisch versilberte Kupferflächen 40 x 40 mm, 3 mal Kupferplättchen 40 x 40 mm – je eines mit Alloy Primer und 2 – Mercaptobenzimidazole vorbehandelt. Alle Oberflächen zuvor mit Aceton gereinigt.										

Versuchsprotokoll 4: Parylen C Beschichtung 3,4 µm

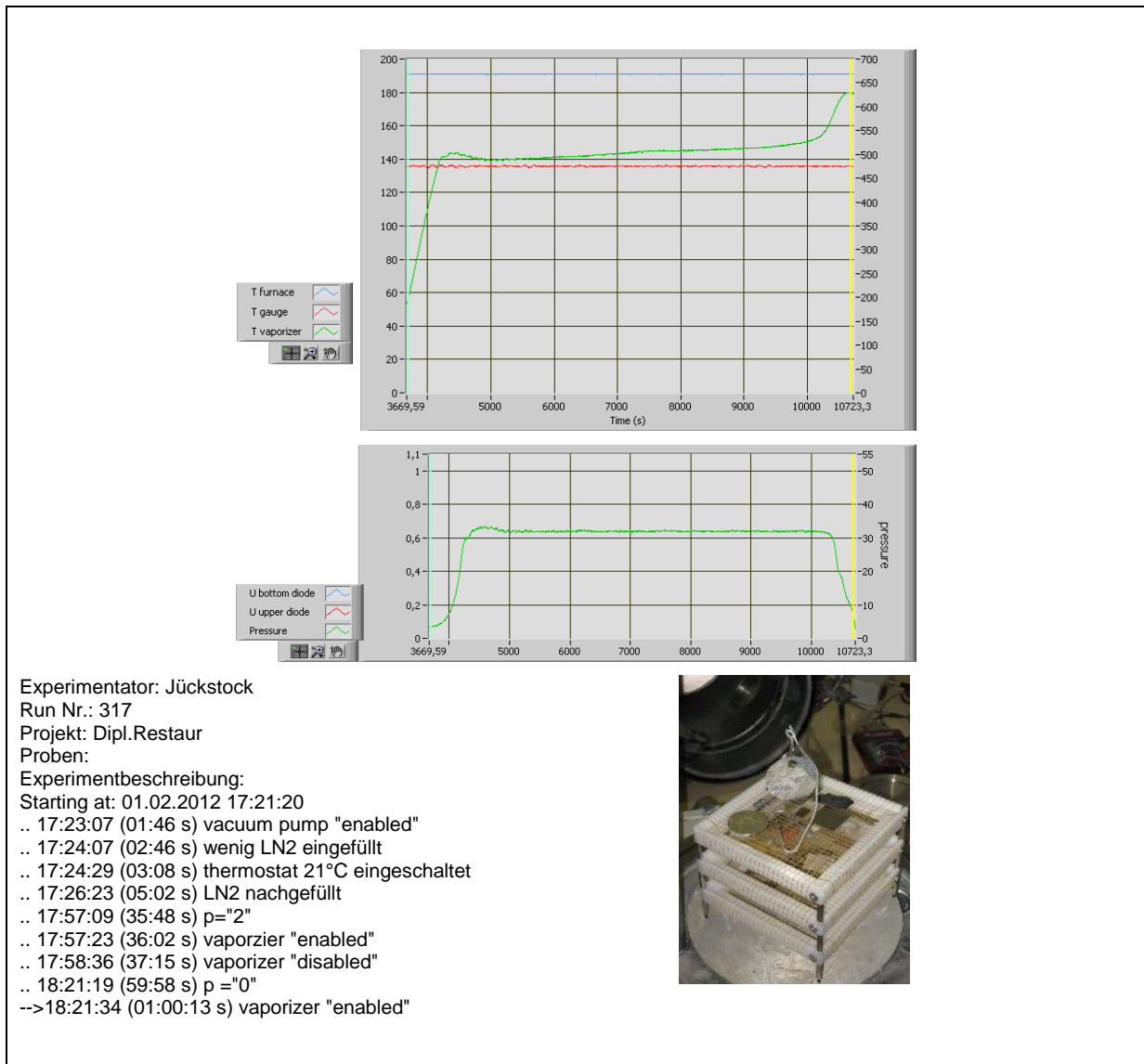


11 Anhang

Tabelle 67: Versuchsparameter Parylen N 1,0 µm

Parylen	Ladung [g]	Furnace [T ° C]	Gauge [T ° C]	Vaporizer [T ° C]	Vacuum [units]	Blende ø	Glocke Temp. [T ° C]	Primer	Dauer Beschichtung [min]	Schicht- dicke [µm]
N	2,2	670	136	170	32	10	21	Alloy	120	1,052
Charge										
<p>je einmal: Glasplattennegativ, Diapositivfilm, Fotoaufnahme, Zeitungspapier, Pergament, Pastell, Stahlplättchen, Feinsilberunze, spätmittelalterlicher Heller, Silbergussrohling, Kupferplättchen einseitig vergoldet, Zuschnitt Ponge – Seide, Zuschnitt Seidenbespannung, fossiles Elfenbein, Probe Treibriemen, Probe schwammartiger Kunststoff, Probe Schlittschuhsohle, Probe PVC.Spielzeug, Fragment F86/25.16, Probe lederner Buchdeckel</p> <p>zweimal: Aluminiumplättchen Ag-besputtert, eines davon mit Alloy Primer behandelt Metalloberflächen mit Aceton zuvor gereinigt</p>										

Versuchsprotokoll 5: Parylen N Beschichtung 1,0 µm



11 Anhang

Tabelle 68: Versuchsparameter Parylen N 3,0 µm

Parylen	Ladung [g]	Furnace [T °C]	Gauge [T °C]	Vaporizer [T °C]	Vacuum [units]	Blende ø	Glocke Temp. [T °C]	Primer	Dauer Beschichtung [min]	Schicht- dicke [µm]
N	6,0	670	136	170	32	10	21	Alloy, 2- Mercapto- benz- imidazole	330	3,019

Charge

je einmal: Glasplattennegativ, Diapositivfilm, Fotoaufnahme, Zeitungspapier, Pergament, Pastell, Stahlplättchen, Feinsilberunze, spätmittelalterlicher Heller, Silbergussrohling, Kupferplättchen einseitig vergoldet, Zuschnitt Ponge – Seide, Zuschnitt Seidenbespannung, fossiles Elfenbein, Probe Treibriemen, Probe schwammartiger Kunststoff, Probe Schlittschuhsohle, Probe PVC.Spielzeug, Fragment Sax P15, Bruchstück blau glasierte Keramik, Probe lederner Buchdeckel

dreimal: Aluminiumplättchen Ag-besputtert, eines davon mit Alloy Primer, eines mit 2-Mercaptobenzimidazole behandelt

dreimal Kupferplättchen 30 x 30 mm, eines davon mit Alloy Primer, eines mit 2-Mercaptobenzimidazole behandelt

Versuchsprotokoll 6: Parylen N Beschichtung 3,0 µm

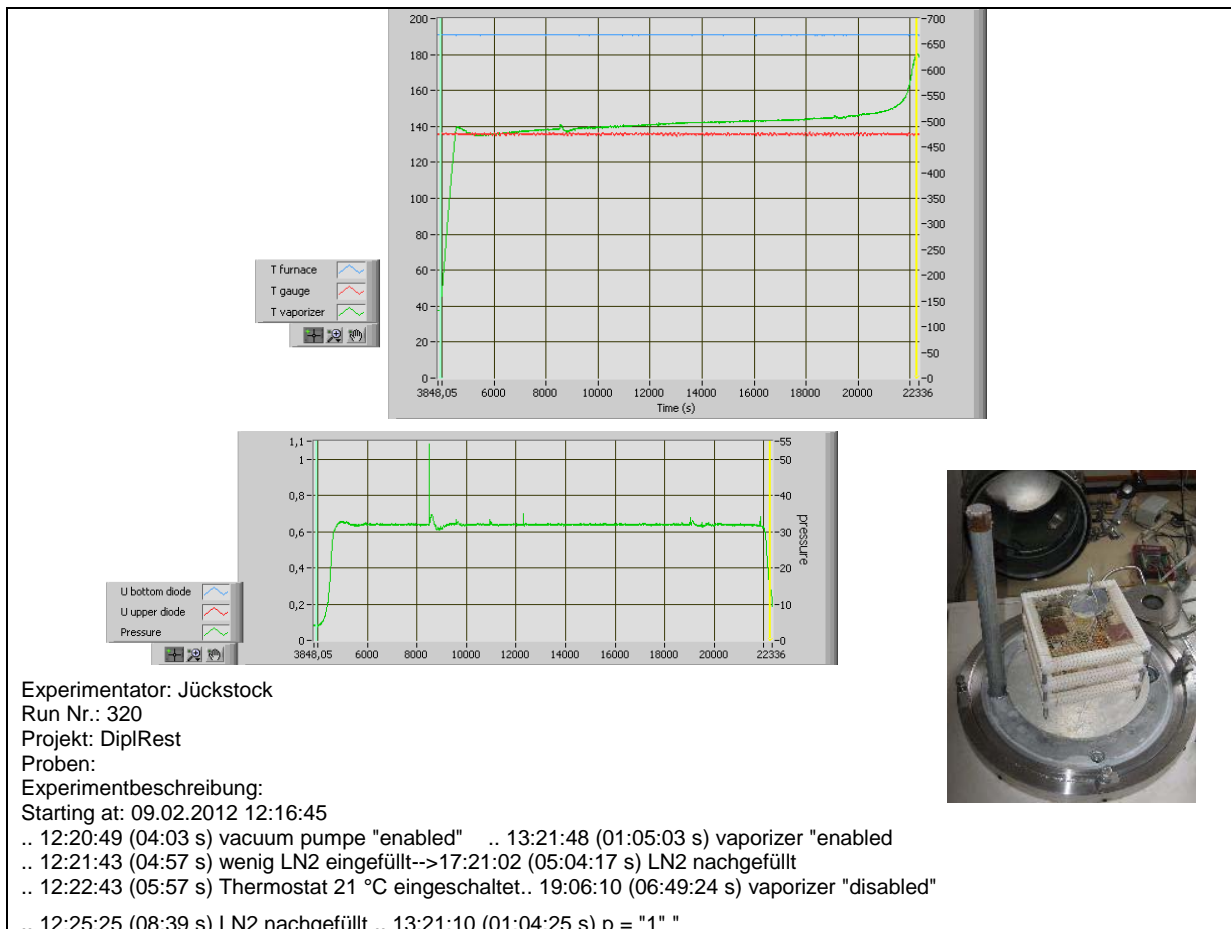
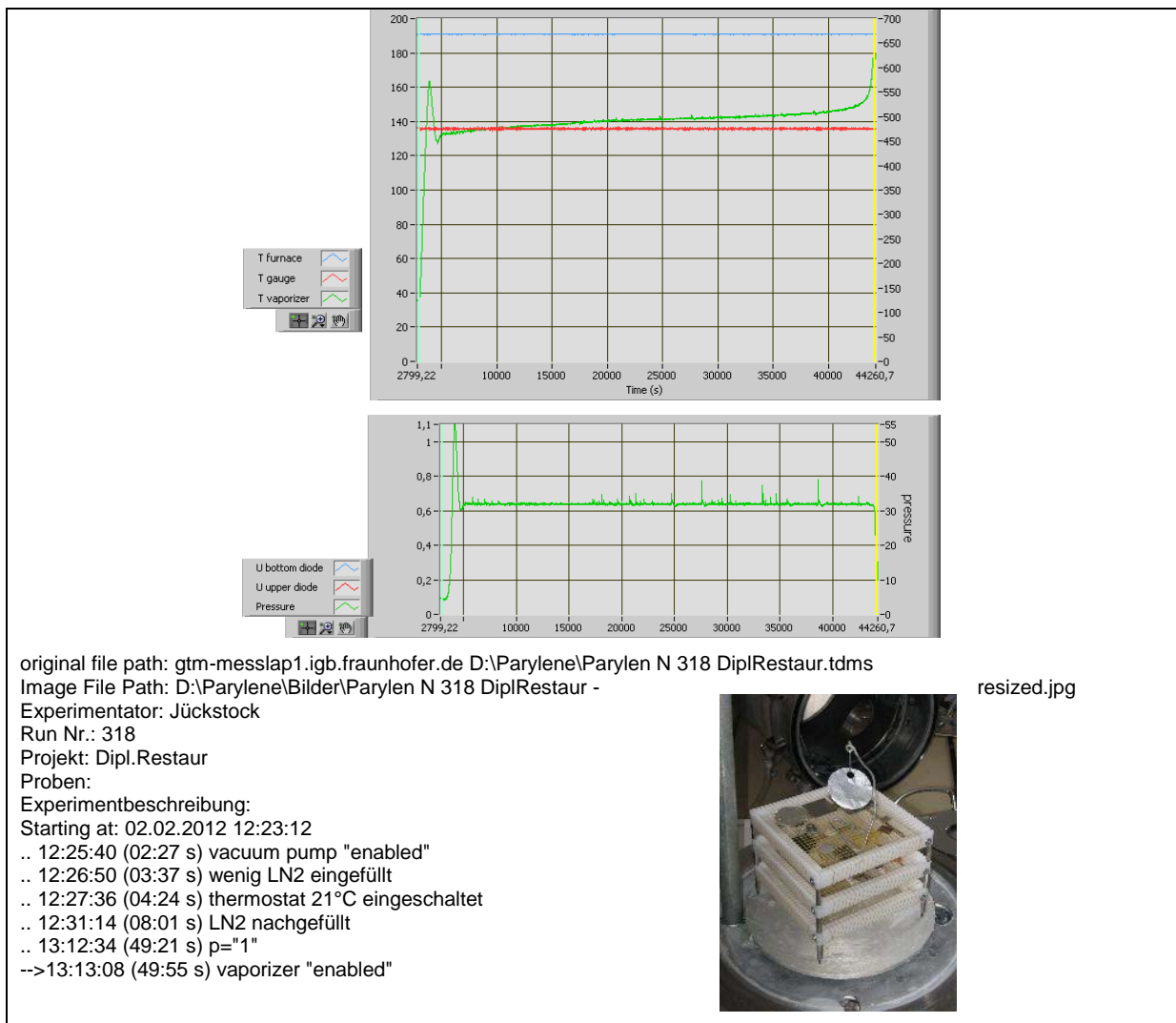


Tabelle 69: Versuchsparameter Parylen N 7,4 µm

11 Anhang

Parylen	Ladung [g]	Furnace [T ° C]	Gauge [T ° C]	Vaporizer [T ° C]	Vacuun [units]	Blende ø	Glocke Temp. [T ° C]	Primer	Dauer Beschichtung [min]	Schicht- dicke [µm]
N	14,3	670	136	170	32	10	21	Alloy	710	7,47
Charge										
<p>je einmal: Glasplattennegativ, Diapositivfilm, Fotoaufnahme, Zeitungspapier, Pergament, Pastell, Stahlplättchen, Feinsilberunze, spätmittelalterlicher Heller, Silbergussrohling, Kupferplättchen einseitig vergoldet, Zuschnitt Ponge – Seide, Zuschnitt Seidenbespannung, fossiles Elfenbein, Probe Treibriemen, Probe schwammartiger Kunststoff, Probe Schliittschuhsohle, Probe PVC.Spielzeug, Fragment F86/25.16, Probe lederner Buchdeckel</p> <p>zweimal: Aluminiumplättchen Ag-besputtert, eines davon mit Alloy Primer behandelt Metalloberflächen mit Aceton zuvor gereinigt</p>										

Versuchsprotokoll 7: Parylen N Beschichtung 7,4 µm

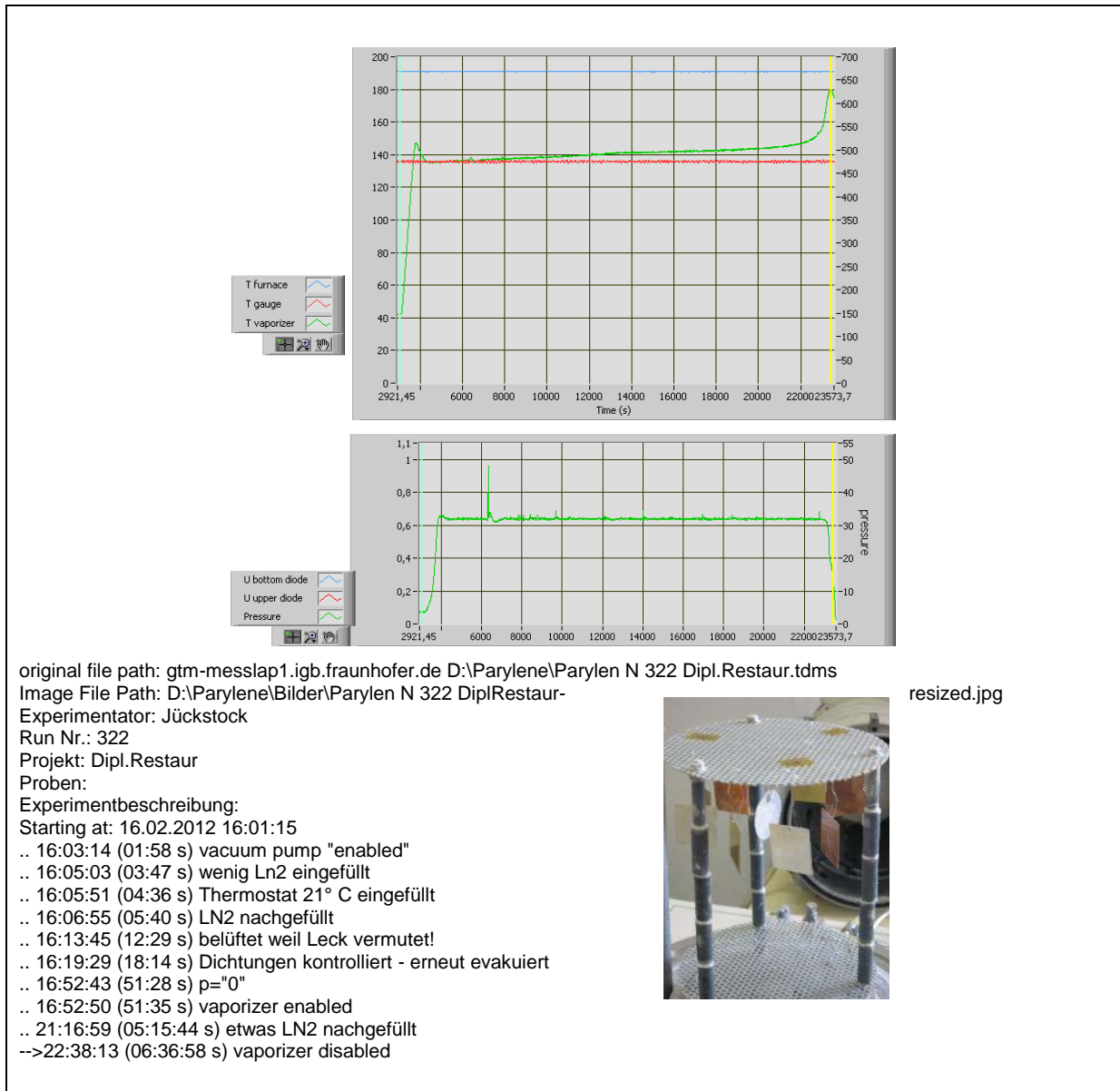


11 Anhang

Tabelle 70: Versuchsparameter Parylen N 3,0 µm

	Ladung [g]	Furnace [T° C]	Gauge [T °C]	Vaporizer [T °C]	Vacuum [units]	Blende ø	Glocke Temp. [T °C]	Primer	Dauer Beschichtung [min]	Schicht- dicke [µm]
N	6,0	670	136	170	32	10	21	Alloy, 2- Mercapto- benz- imidazole	340	3,06
Charge										
3 mal galvanisch vergoldete Kupferplättchen 40 x 40 mm, 3 mal galvanisch versilberte Kupferflächen 40 x 40 mm, 3 mal Kupferplättchen 40 x 40 mm – je eines mit Alloy Primer und 2 – Mercaptobenzimidazole vorbehandelt. Alle Oberflächen zuvor mit Aceton gereinigt.										

Versuchsprotokoll 8: Parylen N Beschichtung 3,0 µm



11 Anhang

11.7 Tabellen zu detaillierten Materialeigenschaften von Parylenen

Alle Tabellen entnommen aus: Tagungsheft : Specialty Coating Systems - Parylene Seminars Spring 2011, 11.05.2011 – Stuttgart, Stuttgart 2011

Tabelle 71: Tabelle der Barriereigenschaften von Parylenen gegenüber Gasen und Wasserdampf

Polymer	Gas Permeability at 25°C, (cc·mm)/(m ² ·day·atm) ^a				Water Vapor Transmission Rate (g·mm)/(m ² ·day)
	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂	
Parylene N	3.0	15.4	84.3	212.6	0.59 ^b
Parylene C	0.4	2.8	3.0	43.3	0.08 ^c
Parylene D	1.8	12.6	5.1	94.5	0.09 ^b
Parylene HT	4.8	23.5	95.4	–	0.22 ^d
Acrylic (AR)	–	–	–	–	13.9 ^e
Epoxy (ER)	1.6	2.0 – 3.9	3.1	43.3	0.94 ^e
Polyurethane (UR)	31.5	78.7	1,181	–	0.93 – 3.4 ^e
Silicone (SR)	–	19,685	118,110	17,717	1.7 – 47.5 ^e

^aASTM D 1434
^bASTM E 96 (at 90% RH, 37°C)
^cASTM F 1249 (at 90% RH, 37°C)
^dASTM F 1249 (at 100% RH, 38°C)
^eCoating Materials for Electronic Applications, Licari, J.J., Noyes Publications, New Jersey, 2003.

Tabelle 72: Tabelle der physikalischen Eigenschaften von Parylenen

Properties	Method	Parylene N	Parylene C	Parylene D	Parylene HT	Acrylic (AR) ^{a,b}	Epoxy (ER) ^{a,b}	Polyurethane (UR) ^{a,b}	Silicone (SR) ^{a,b}
Secant (Young's) Modulus (psi)	1, 2	350,000	400,000	380,000	370,000	2,000 – 10,000	350,000	1,000 – 100,000	900
Tensile Strength (psi)	3	7,000	10,000	11,000	7,500	7,000 – 11,000	4,000 – 13,000	175 – 10,000	350 – 1,000
Yield Strength (psi)	3	6,100	8,000	9,000	5,000	–	–	–	–
Elongation to Break (%)	3	Up to 250	Up to 200	Up to 200	Up to 200	2 – 5.5	3 – 6	>14	100 – 210
Yield Elongation (%)	3	2.5	2.9	3.0	2.0	–	–	–	–
Density (g/cm ³)	4	1.10 – 1.12	1.288	1.418	1.32	1.19	1.11 – 1.40	1.10 – 2.50	1.05 – 1.23
Index of Refraction [n _D ²⁰]	5, 6	1.661	1.639	1.669	1.559	1.48	1.55 – 1.61	1.50 – 1.60	1.43
Water Absorption (% after 24 hrs)	7	Less than 0.1	Less than 0.1	Less than 0.1	Less than 0.01	0.3	0.05 – 0.10	0.6 – 0.8	0.1
Rockwell Hardness	8	R85	R80	R80	R122	M68 – M105	M80 – M110	68A – 80D (Shore)	40A – 45A (Shore)
Coefficient of Friction									
Static	9	0.25	0.29	0.33	0.15	–	–	–	–
Dynamic		0.25	0.29	0.31	0.13	–	–	–	–

^aCoating Materials for Electronic Applications, Licari, J.J., Noyes Publications, New Jersey, 2003.
^bHandbook of Plastics, Elastomers, and Composites, Chapter 6, "Plastics in Coatings and Finishes," 4th Edition, McGraw Hill, Inc., New York, 2002.

Test Methods:
1. ASTM D 882 (except Parylene HT)
2. ASTM D 5026 (Parylene HT only)
3. ASTM D 882
4. ASTM D 1505
5. Abbe Refractometer (except Parylene HT)
6. ASTM D 542 (Parylene HT only)
7. ASTM D 570
8. ASTM D 785
9. ASTM D 1894

11 Anhang

Tabelle 73: Tabelle der Barriereigenschaften und Penetrationsfähigkeit von Parylenen

		Parylene N	Parylene C	Parylene HT	Silicone (SR)	Polyurethane (UR)
Water Absorption (%)		<0.1	<0.1	<0.01	0.1	0.6 – 0.8
Gas Permeability @ 25°C cc·mm m ² ·day·atm	N₂	3.0	0.4	4.8	—	31.5
	O₂	15.4	2.8	23.5	19,685	78.7
	CO₂	84.3	3.0	95.4	118,110	1,181
	H₂	212.6	43.3	—	17,717	—
Coefficient of Friction	Static	0.25	0.29	0.15	—	—
	Dynamic	0.25	0.29	0.13	—	—
Rockwell Hardness		R85	R80	R122	40A – 45A (Shore)	68A – 80D (Shore)
Tensile Strength		7,000 psi	10,000 psi	7,500 psi	350 – 1,000 psi	175 – 10,000 psi
Thermal Usage w/o Breakdown	Continuous	60°C	80°C	350°C	260°C	121°C
	Short-Term	80°C	100°C	450°C	—	—
Penetration Ability*		40 x dia.	5 x dia.	50 x dia.	Dip or Brush	Dip or Brush
Dielectric Strength @ 1 mil.		7.0KV	5.6KV	5.4KV	2.0KV	3.5KV
USP Class VI Polymer		Yes	Yes	Yes	Not All	Not All

**Depth in tubing and crevices. Note: For test methods and sources, see the SCS Parylene Properties brochure.*

Tabelle 74: Tabelle der UV- Stabilität von Parylenen

		Method	Parylene HT	Parylene C	Parylene N	Acrylic (AR) ^{a,b}	Epoxy (ER) ^{a,b}	Polyurethane (UR) ^{a,b}	Silicone (SR) ^{a,b}
UV Stability		1	≥ 2,000 hrs	≤ 100 hrs	≤ 100 hrs	—	—	—	—
Service Temperature	Continuous		350°C	80°C	80°C	82°C	177°C	121°C	260°C
	Short-Term		450°C	100°C	80°C	—	—	—	—
Water Absorption (% after 24 hours)		2	<0.01	<0.1	<0.1	0.3	0.05 – 0.10	0.6 – 0.8	0.1
Water Vapor Transmission Rate (g·mm)/(m²·day)		3, 4, 5	0.22	0.08	0.59	13.9 ^c	0.94 ^c	0.93 – 3.4 ^c	1.7 – 47.5 ^c
Dielectric Strength V/mil		5	5,400	5,600	7,000	3,500	2,200	3,500	2,000
Dielectric Constant	50 Hz	7	2.21	3.15	2.65	—	3.3 – 4.6	4.1	3.1 – 4.2
	1 KHz		2.20	3.10	2.65	—	—	—	—
	1 MHz		2.17	2.95	2.65	2.7 – 3.2	3.1 – 4.2	3.8 – 4.4	3.1 – 4.0
Dissipation Factor	50 Hz	7	<0.0002	0.020	0.0002	0.04 – 0.06	0.008 – 0.011	0.038 – 0.039	0.011 – 0.02
	1 KHz		0.0025	0.019	0.0002	—	—	—	—
	1 MHz		0.0010	0.013	0.0006	0.02 – 0.03	0.004 – 0.006	0.068 – 0.074	0.003 – 0.006
Tensile Strength (psi)		8	7,500	10,000	7,000	7,000 – 11,000	4,000 – 13,000	175 – 10,000	350 – 1,000
Penetration Ability^d			50 x dia.	5 x dia.	40 x dia.	Spray or Brush	Spray or Brush	Spray or Brush	Spray or Brush

a. Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites, Chapter 6, "Plastics in Coatings and Finishes," 4th Edition, McGraw Hill, Inc., New York, 2002.
b. Conformal Coating Handbook, Hummel Division, Chase Corporation, Pennsylvania, 2004.
c. Coating Materials for Electronic Applications, Licari, J.J., Noyes Publications, New Jersey, 2003.
d. Depth into tubing and crevices.

Test Methods:
 1. ASTM G 154
 2. ASTM D 570
 3. ASTM F 1249 (at 100% RH, 38°C) (Parylene HT only)
 4. ASTM F 1249 (at 90% RH, 37°C) (Parylene C only)
 5. ASTM E 96 (at 90% RH, 37°C) (Parylene N only)

B. ASTM D 149
7. ASTM D 150
B. ASTM D 682

11 Anhang

Tabelle 75: Tabelle der thermischen Eigenschaften von Parylenen

Properties	Method	Parylene N	Parylene C	Parylene D	Parylene HT	Acrylic (AR)	Epoxy (ER)	Polyurethane (UR)	Silicone (SR)
Melting Point (°C) ^a	1	420	290	380	>500	85 - 105 ^b	NA	~170 ^b	NA
T5 Point (°C) (modulus = 690 MPa)	2, 3	160	125	125	377	-	110	~30	~125
T4 Point (°C) (modulus = 70 MPa)	2, 3	>300	240	240	>450	-	120	-	~80
Continuous Service Temperature (°C)	-	60	80	100	350	82 ^b	177 ^b	121 ^b	260 ^b
Short-Term Service Temperature (°C)	-	80	100	120	450	-	-	-	-
Linear Coefficient of Thermal Expansion at 25°C (ppm)	4	89	35	38	36	55 - 205 ^{b,c}	45 - 65 ^{b,c}	100 - 200 ^{b,c}	250 - 300 ^{b,c}
Thermal Conductivity at 25°C (W/(m•K))	5, 6	0.126	0.084	-	0.096	0.167 - 0.21 ^{c,d}	0.125 - 0.25 ^{c,d}	0.11 ^{c,d}	0.15 - 0.31 ^{c,d}
Specific Heat at 20°C (J/(g•K))	-	0.837	0.712	-	1.04	1.04 ^b	1.05 ^b	1.76 ^b	1.46 ^b

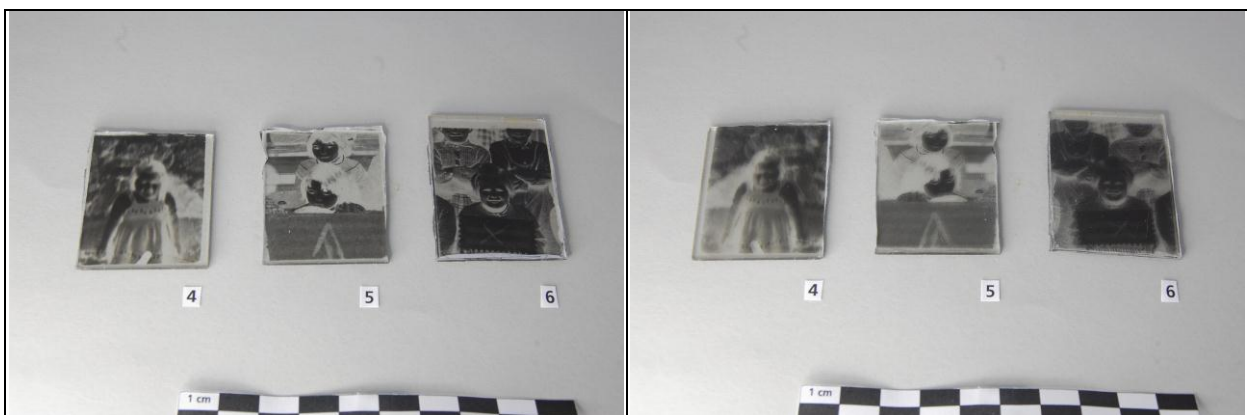
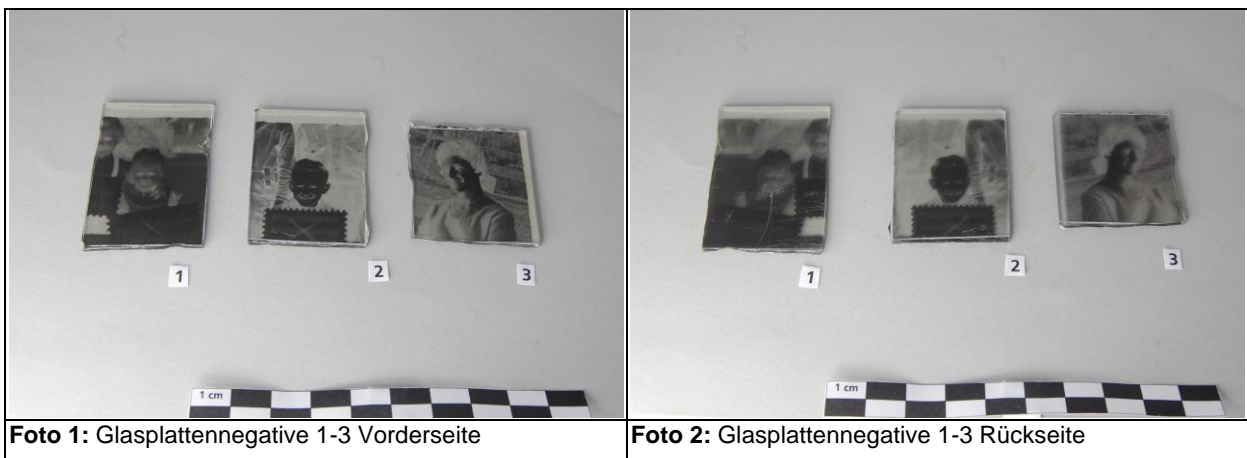
^aThe temperature at which heat flow properties show signs of change.
^bHandbook of Plastics, Elastomers, and Composites, Chapter 6,
^cPlastics in Coatings and Finishes, 4th Edition, McGraw Hill, Inc., New York, 2002.
^dCoating Materials for Electronic Applications, Licari, J.J.,
 Noyes Publications, New Jersey, 2003.
^eLarge's Handbook of Chemistry, 5th Edition, McGraw Hill, Inc., New York, 1999.

Test Methods:
 1. DSC
 2. Taken from Secant modulus-temperature curve (except Parylene HT)
 3. ASTM 5026 (Parylene HT only)
 4. TMA
 5. ASTM C 177 (except Parylene HT)
 6. ASTM 1481 (Parylene HT only)

11.8 Fotodokumentation

Alle Fotos stammen, sofern nicht anders gekennzeichnet vom Verfasser.

11.8.1 Vorzustand



11 Anhang

Foto 3: Glasplattennegative 4-6 Vorderseite

Foto 4: Glasplattennegative 4-6 Rückseite



Foto 5: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 Vorderseite

Foto 6: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 Rückseite

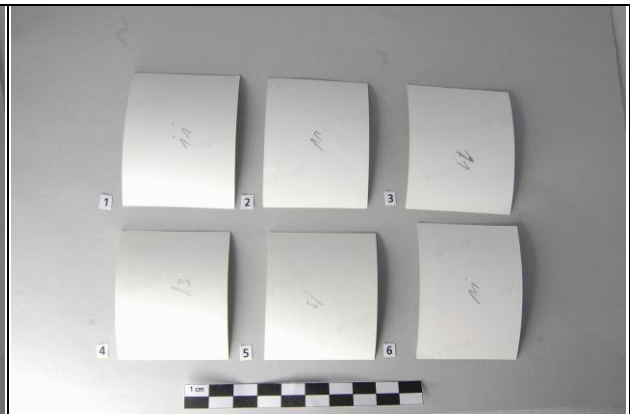


Foto 7: Porträtfotos 1-6 Vorderseite

Foto 8: Porträtfotos 1-6 Rückseite



Foto 9: Zeitungsausschnitte 1-6 Vorderseite

Foto 10: Zeitungsausschnitte 1-6 Rückseite

11 Anhang

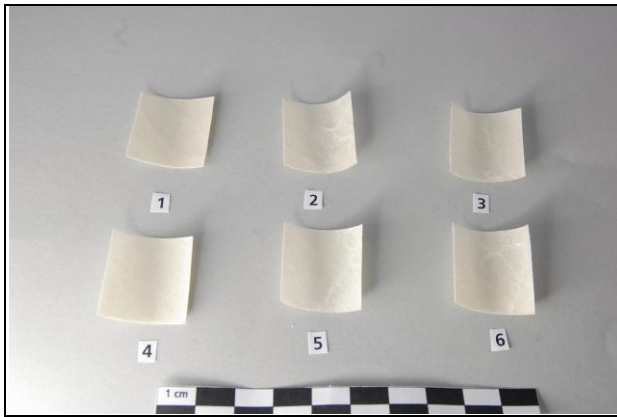


Foto 11: Pergamentproben 1-6 Vorderseite



Foto 12: Pergamentproben 1-6 Rückseite



Foto 13: Pastellzeichnung Gesamtansicht



Foto 14: Pastellproben 1-6



Foto 15: Kupferplättchen 30 x 30 mm Vorderseite

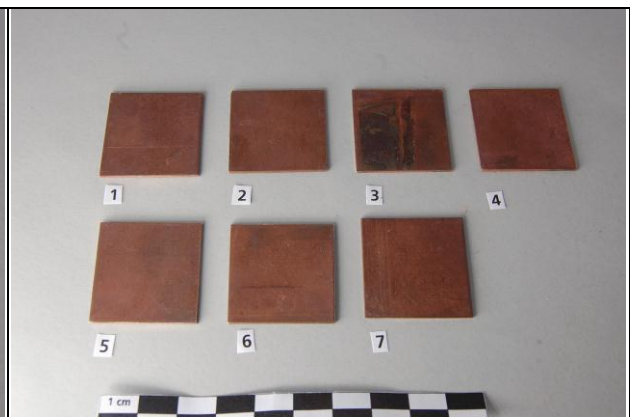


Foto 16: Kupferplättchen 30 x 30 mm Rückseite

11 Anhang

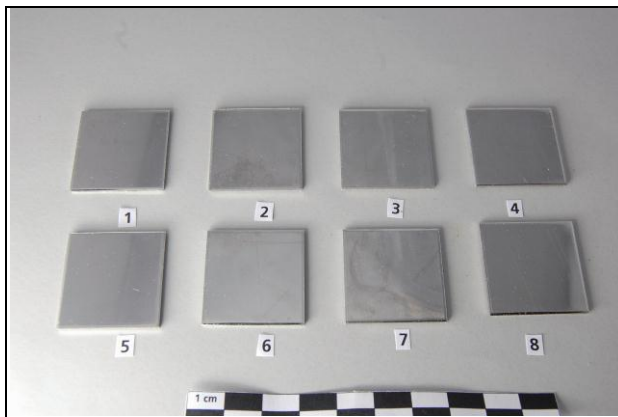


Foto 17: Stahlplättchen 1-8 poliert

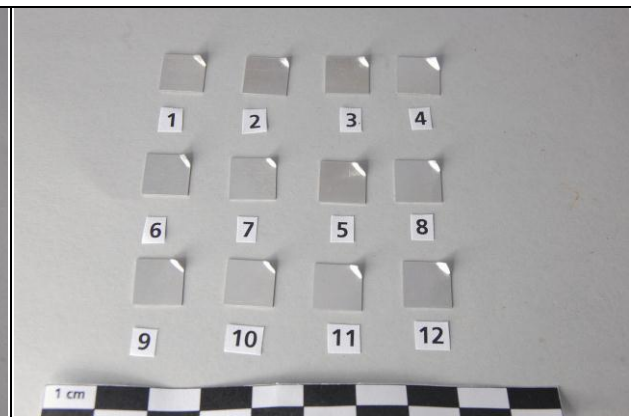


Foto 18: Aluplättchen Ag-besputtert 1-12



Foto 19: Feinsilberunze Vorderseite



Foto 20: Feinsilberunze Rückseite



Foto 21: spätmittelalterliche Heller 1-9(v.l.o.) Vorderseite



Foto 22: spätmittelalterliche Heller 1-9(v.l.o.) Rückseite

11 Anhang



Foto 23: Silbergußrohlinge 1-6 Vorderseite



Foto 24: Silbergußrohlinge 1-6 Rückseite

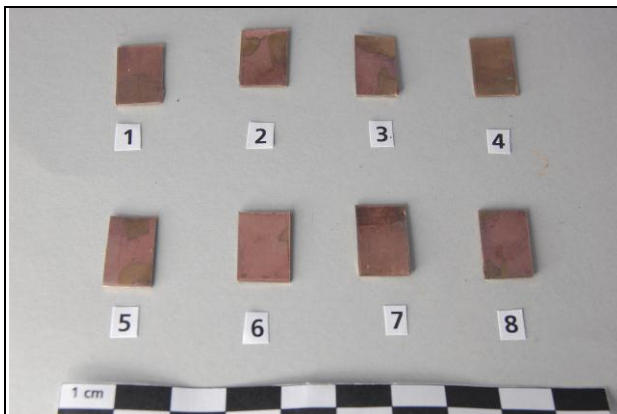


Foto 25: Kupferplättchen einseitig vergoldet 1-6
Vorderseite

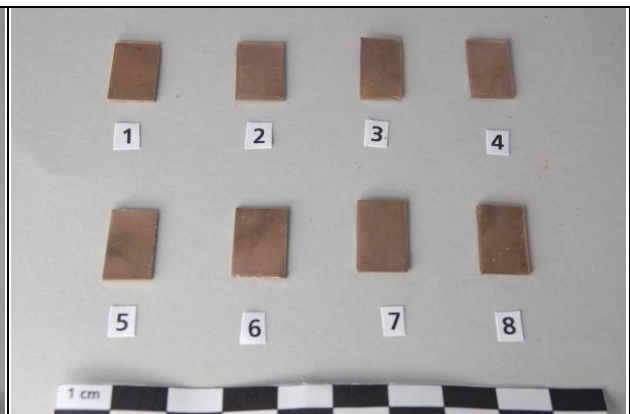


Foto 26: Kupferplättchen einseitig vergoldet 1-6
Vorderseite

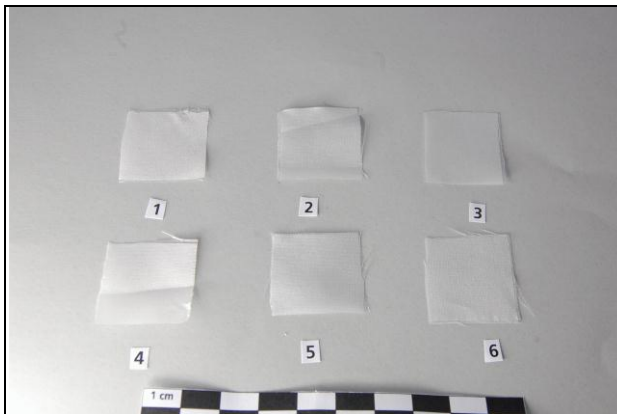


Foto 27: Proben Ponge-Seide 1-6

11 Anhang



Foto 28: Proben Seidenbespannung 1-6 Vorderseite

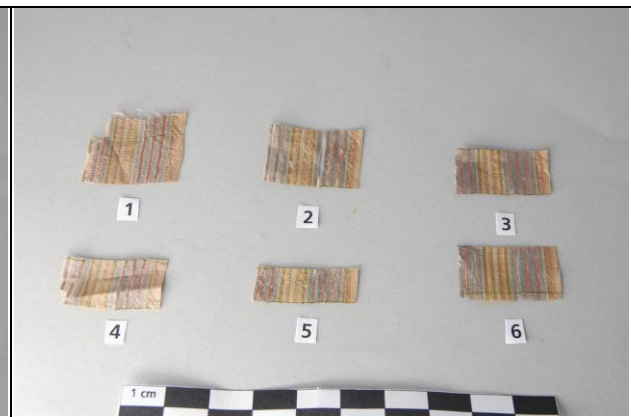


Foto 29: Proben Seidenbespannung 1-6 Rückseite



Foto 30: Proben fossiles Elfenbein 1-6 Vorderseite



Foto 31: Proben fossiles Elfenbein 1-6 Rückseite



Foto 32: Proben Treibriemen 1-6 Vorderseite



Foto 33: Proben Treibriemen 1-6 Rückseite

11 Anhang



Foto 34: Schwammartiger Kunststoff aus einem Mikrofon-Hauptverstärker (Inv.Nr. DMM-62395).



Foto 35: Proben DMM-62395 1-6 Vorderseite



Foto 36: Proben DMM-62395 1-6 Rückseite



Foto 37: Proben Schlittschuhsohle 1-6 Vorderseite



Foto 38: Proben Schlittschuhsohle 1-6 Rückseite

11 Anhang



Foto 39: Spielzeug aus PVC



Foto 40: Proben PVC-Spielzeug 1-6 Vorderseite



Foto 41: Proben PVC-Spielzeug 1-6 Rückseite

11 Anhang



Foto 42: F86-25.16 Fragmente 1-4 Vorderseite



Foto 43: F86-25.16 Fragmente 1-4 Rückseite



Foto 44: kleines Bruchstück glasierter Keramik
Vorderseite



Foto 45: kleines Bruchstück glasierter Keramik
Rückseite



Foto 46: großes Bruchstück glasierter Keramik
Vorderseite



Foto 47: großes Bruchstück glasierter Keramik
Rückseite

11 Anhang



Foto 48: Fragment Sax P11 - Vorderseite



Foto 49: Fragment Sax P11 - Rückseite



Foto 50: Fragment Sax P15 - Vorderseite



Foto 51: Fragment Sax P11 - Rückseite



Foto 52: Lederdeckel Gesamtaufnahme

11 Anhang



Foto 53: Proben Lederdeckel 1-6 Vorderseite

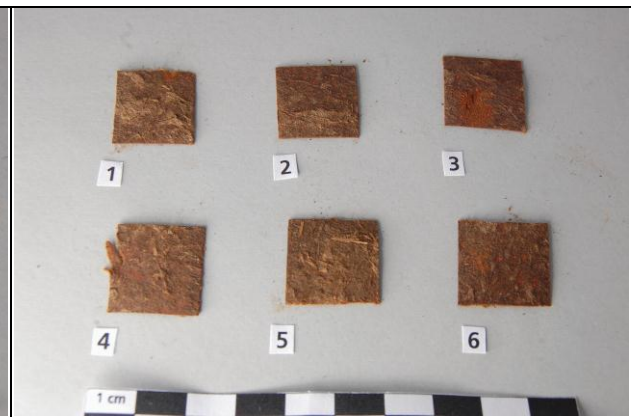


Foto 54: Proben Lederdeckel 1-6 Rückseite



Foto 55: Kupferplättchen 40 x 40 mm vergoldet 1-6



Foto 56: Kupferplättchen 40 x 40 mm 1-4

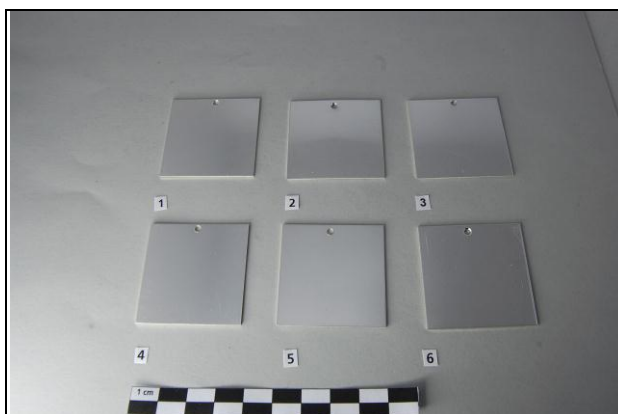


Foto 57: Kupferplättchen 40 x 40 mm versilbert 1-6
Vorderseite

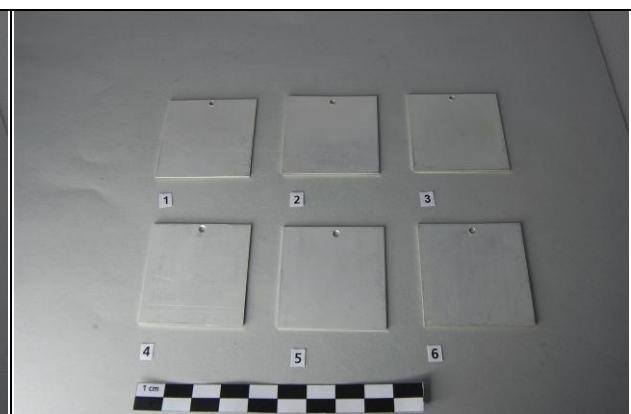


Foto 58: Kupferplättchen 40 x 40 mm versilbert 1-6
Rückseite

11 Anhang



Foto 59: Schlittschuhsohle Probe 7 vor UV-Bestrahlung

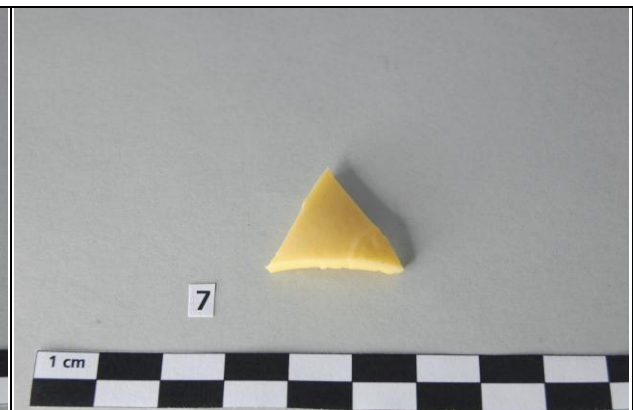


Foto 60: PVC-Spielzeug Probe 7 vor UV-Bestrahlung



Foto 61: Treibriemen Probe 7 vor UV-Bestrahlung



Foto 62: Lederprobe 7 vor Klimaversuch

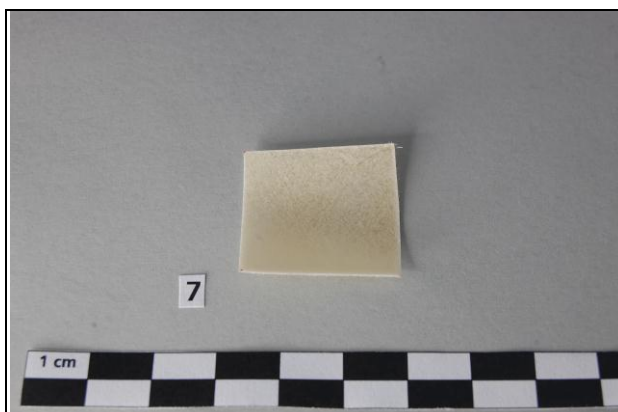


Foto 63: Pergamentprobe 7 vor Klimaversuch

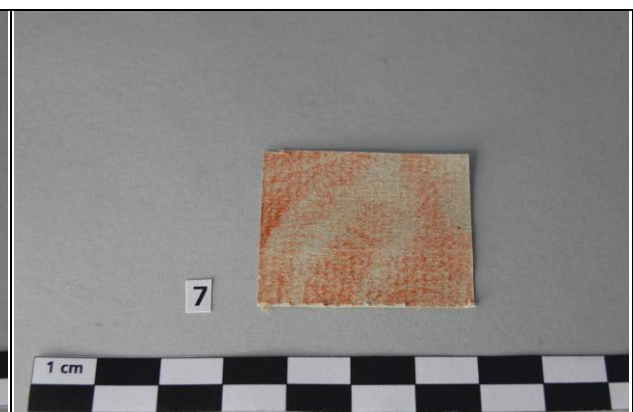


Foto 64: Pastellprobe 7 vor Klimaversuch

11 Anhang

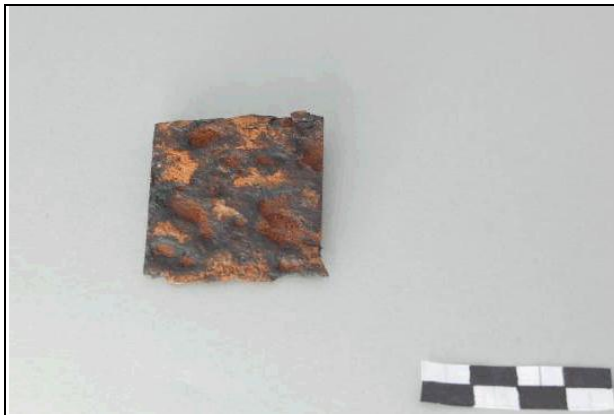


Foto 65: Fragment Sax P7 – Vorderseite, 3,4µm Parylen C beschichtet [Jückstock 2011, S.53]



Foto 66: Fragment Sax P7 – Rückseite, 3,4µm Parylen C beschichtet [Jückstock 2011, S.53]

11.8.2 Zustand während der Bearbeitung

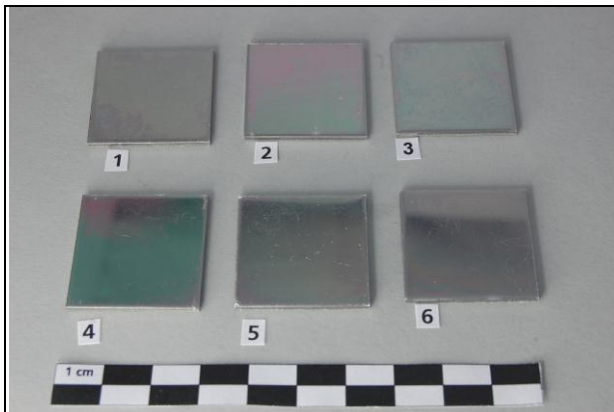


Foto 67: Stahlplättchen mit Ringlicht 5400K beleuchtet

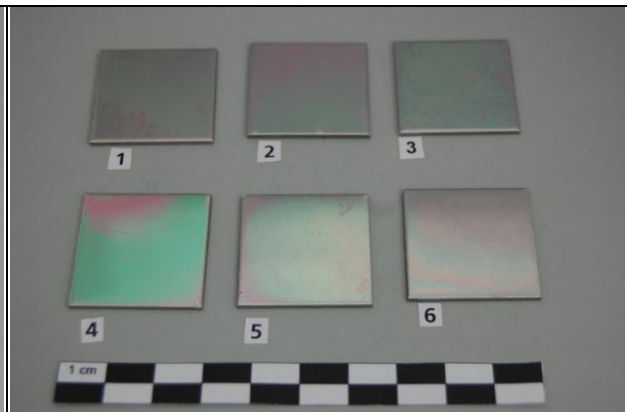


Foto 68: Stahlplättchen mit Osram L58 / 25W Universal White beleuchtet

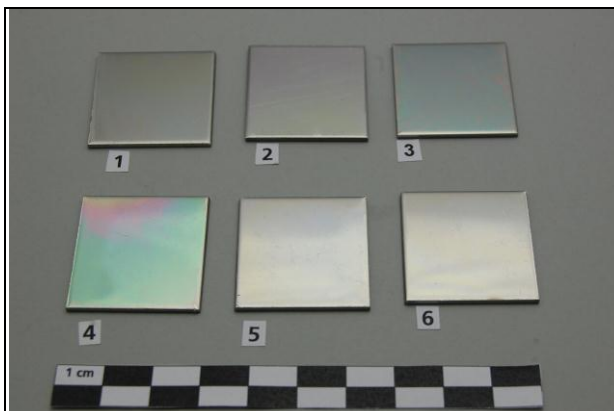


Foto 69: Stahlplättchen mit Sylvania Standard F15W/129 –T8 warm white beleuchtet

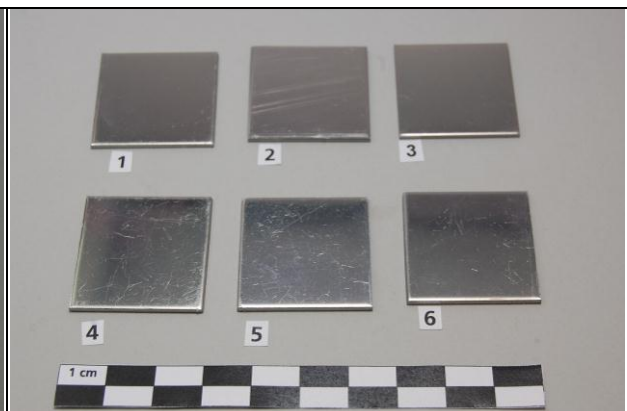


Foto 70: Stahlplättchen mit Halogenstrahler GU 10 beleuchtet

11 Anhang

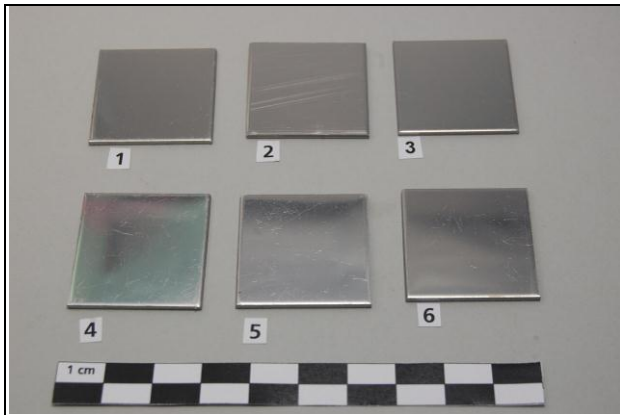


Foto 71: Stahlplättchen mit Glühlampe OR 35⁰ beleuchtet

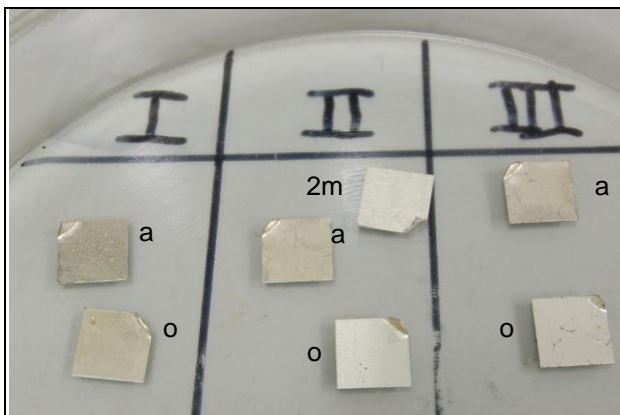


Foto 72: Ag-Al-Proben 1-3 nach 24 h H₂S-Atmosphäre (o = ohne Primer, a = Alloy Primer, 2m = 2-Mercaptobenzimidazole als Primer)

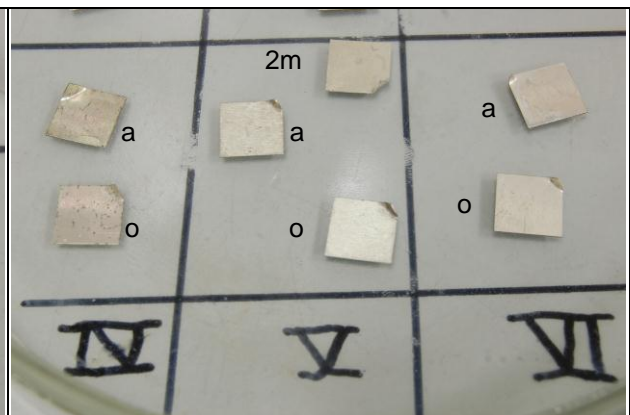


Foto 73: Ag-Al-Proben 4-6 nach 24 h H₂S-Atmosphäre (o = ohne Primer, a = Alloy Primer, 2m = 2-Mercaptobenzimidazole als Primer)

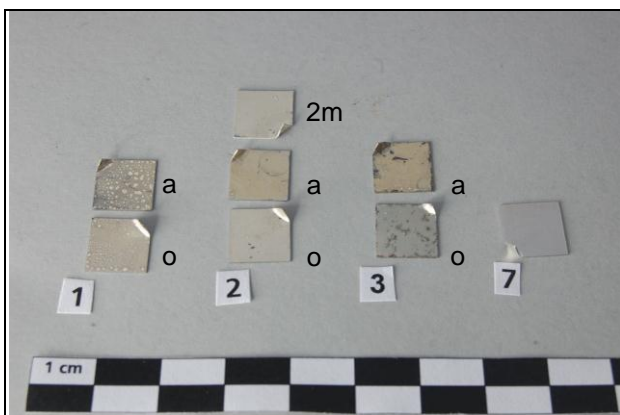


Foto 74: Ag-Al-Proben 1-3 nach 48 h H₂S-Atmosphäre, Probe 7 als Referenz (o = ohne Primer, a = Alloy Primer, 2m = 2-Mercaptobenzimidazole als Primer)

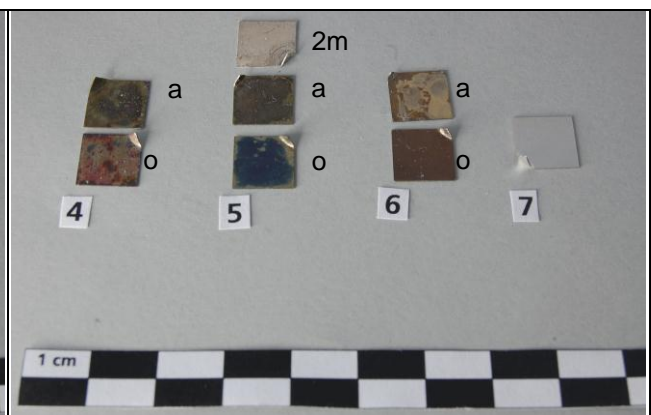


Foto 75: Ag-Al-Proben 4-6 nach 48 h H₂S-Atmosphäre, Probe 7 als Referenz (o = ohne Primer, a = Alloy Primer, 2m = 2-Mercaptobenzimidazole als Primer)

11 Anhang

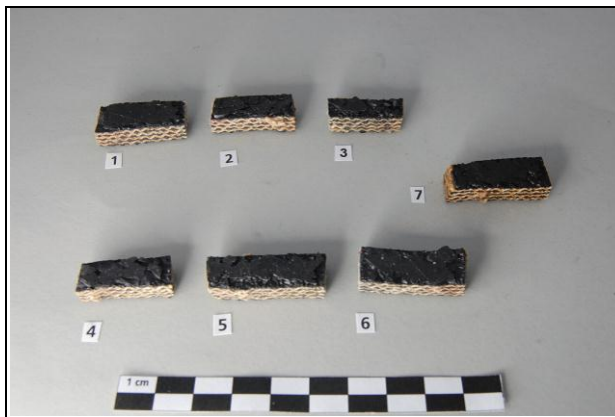


Foto 76: Proben Treibriemen 1-6, 24 h UV-bestrahlt



Foto 77: Proben Treibriemen 1-6, 48 h UV-bestrahlt



Foto 78: Proben Treibriemen 1-6, 72 h UV-bestrahlt



Foto 79: Proben Schlittschuhsohle 1-6, 24 h UV-bestrahlt



Foto 80: Proben Schlittschuhsohle 1-6, 48 h UV-bestrahlt



Foto 81: Proben Schlittschuhsohle 1-6, 72 h UV-bestrahlt

11 Anhang



Foto 82: Proben PVC-Spielzeug 1-6, 24 h UV-bestrahlt



Foto 83: Proben PVC-Spielzeug 1-6, 48 h UV-bestrahlt



Foto 84: Proben PVC-Spielzeug 1-6, 72 h UV-bestrahlt

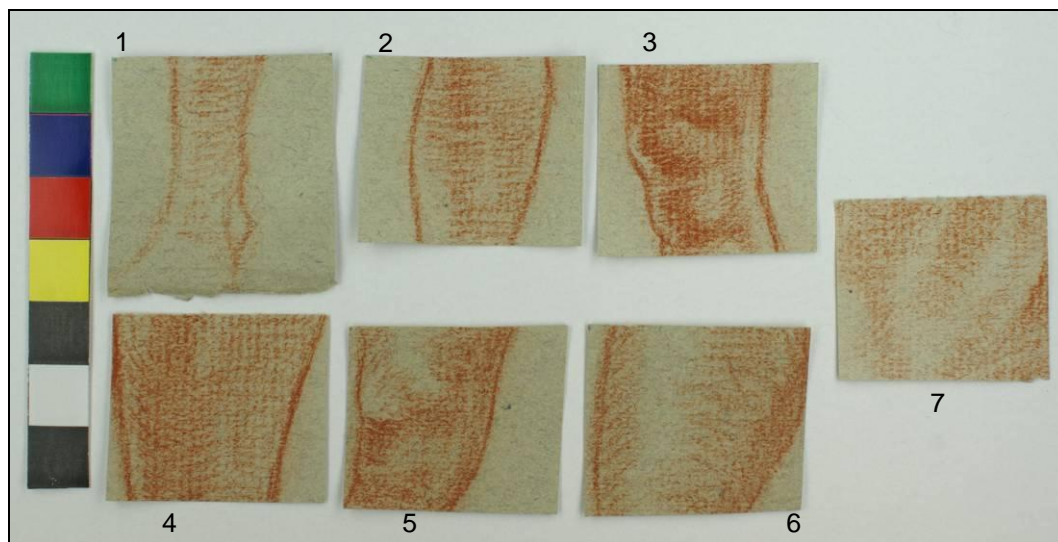
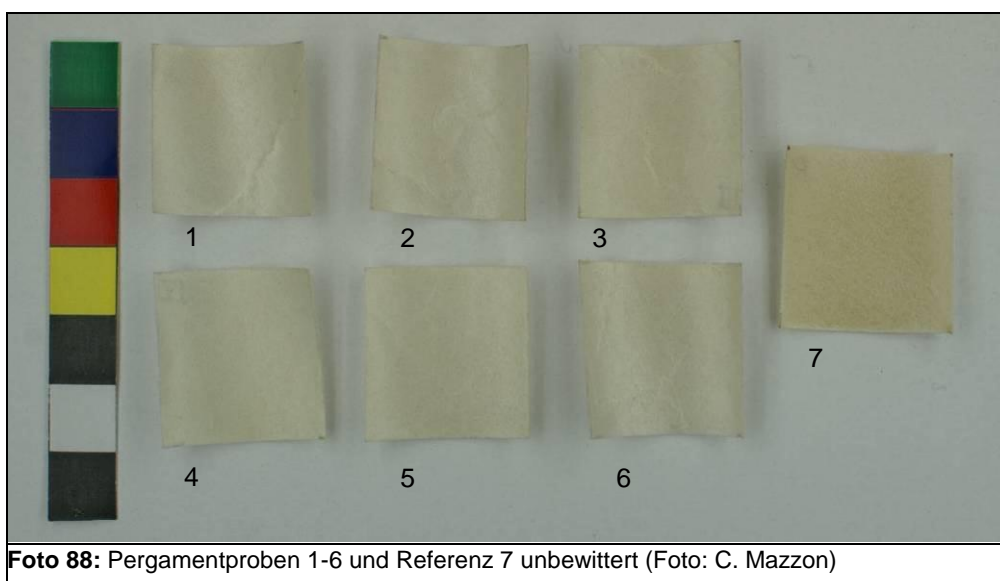
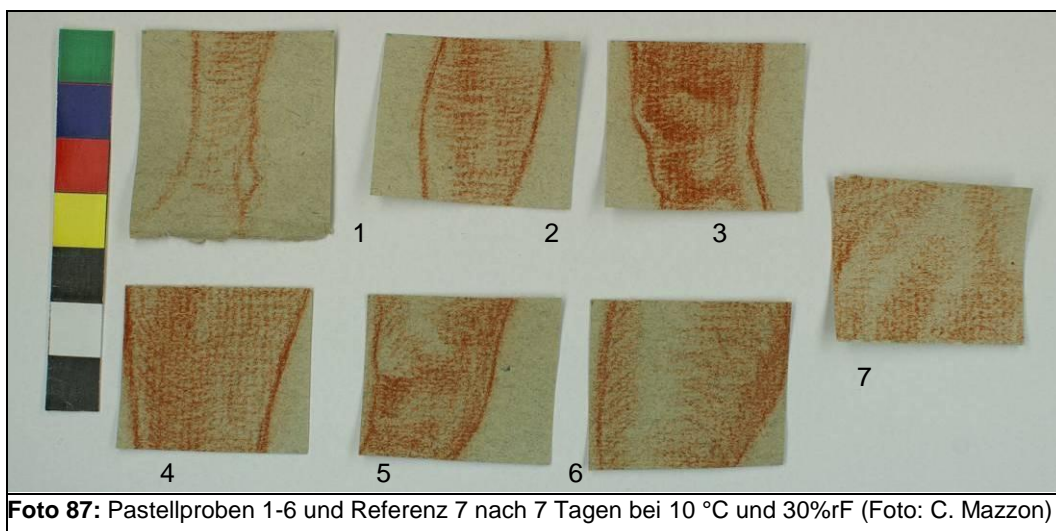
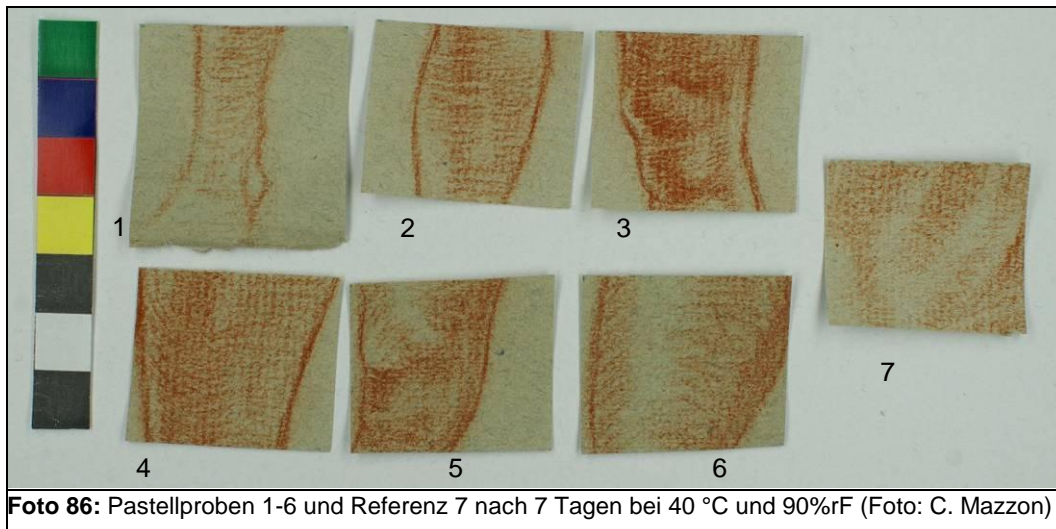


Foto 85: Pastellproben 1-6 und Referenz 7 unbewittert (Foto: C. Mazzon)

11 Anhang



11 Anhang

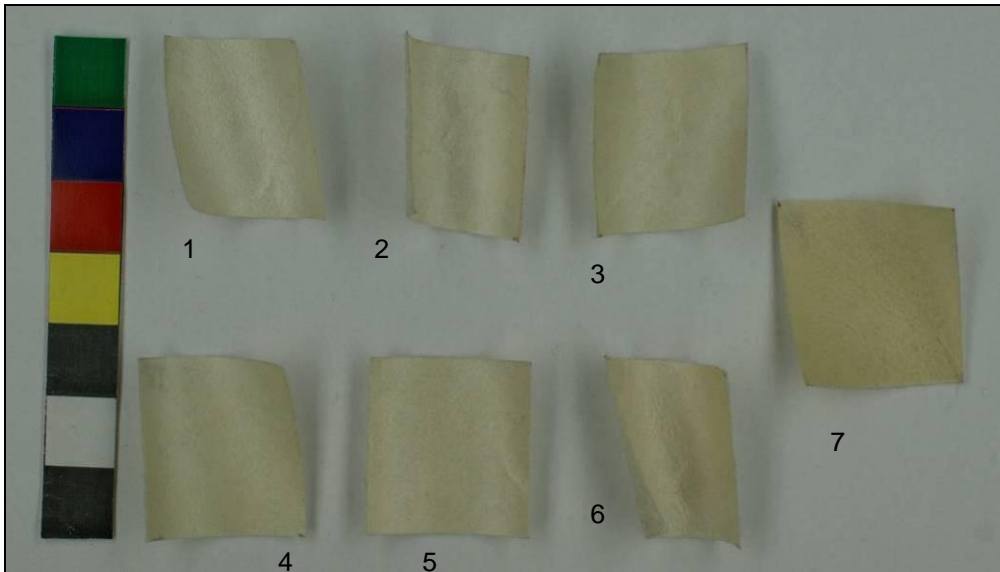


Foto 89: Pergamentproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 40 °C und 90%rF
(Foto: C. Mazzon)

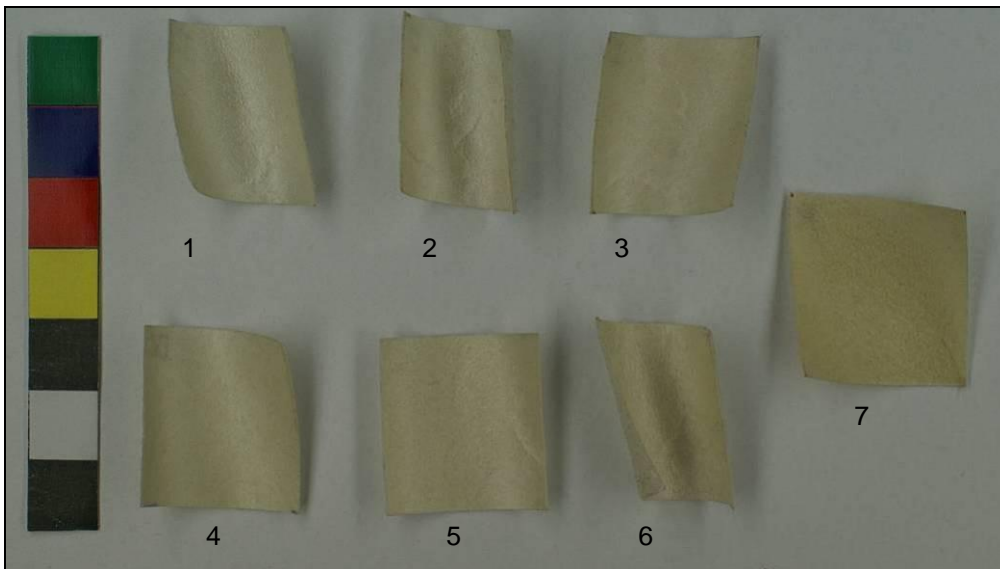


Foto 90: Pergamentproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 10 °C und 30%rF
(Foto: C. Mazzon)

11 Anhang



Foto 91: Lederproben 1-6 und Referenz 7 unbewittert (Foto: C. Mazzon)



Foto 92: Lederproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 40 °C und 90%rF (Foto: C. Mazzon)

11 Anhang



Foto 93: Lederproben 1-6 und Referenz 7 nach 7 Tagen bei 10 °C und 30%rF (Foto: C. Mazzon)

11.8.3 Zustand nach der Beschichtung

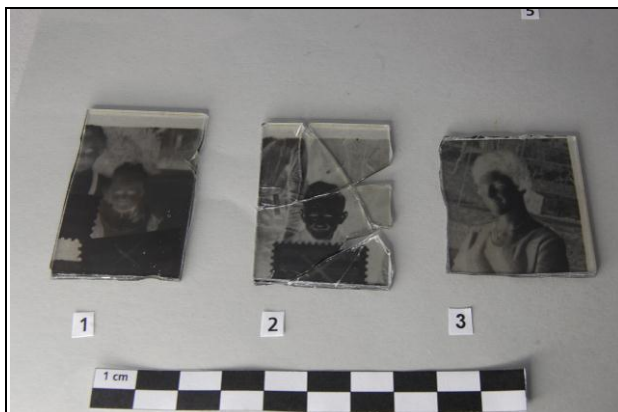


Foto 94: Glasplattenegative 1-3 beschichtet – Vorderseite (Probe 2 beim Fotografieren zerbrochen)

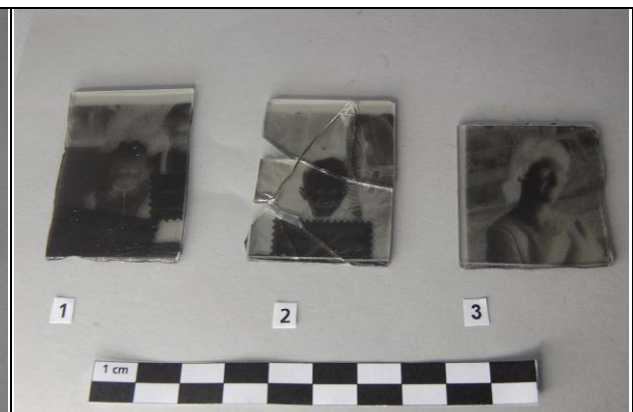


Foto 95: Glasplattenegative 1-3 beschichtet – Rückseite (Probe 2 beim Fotografieren zerbrochen)

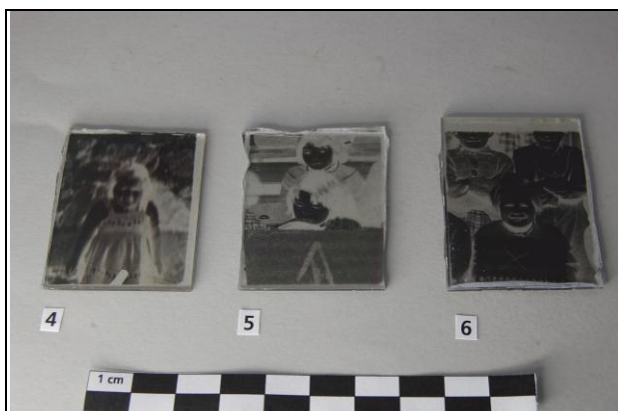


Foto 96: Glasplattenegative 4-6 beschichtet – Vorderseite

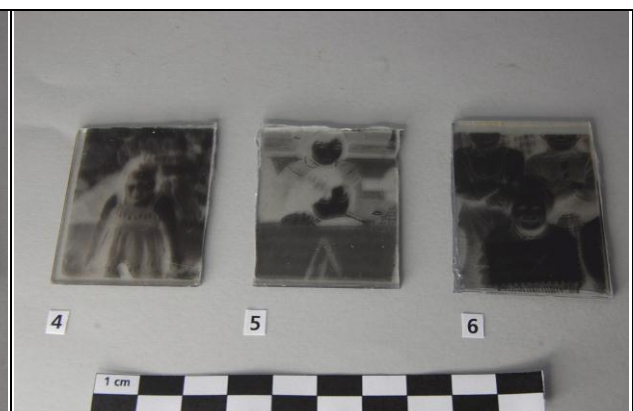


Foto 97: Glasplattenegative 4-6 beschichtet – Rückseite

11 Anhang

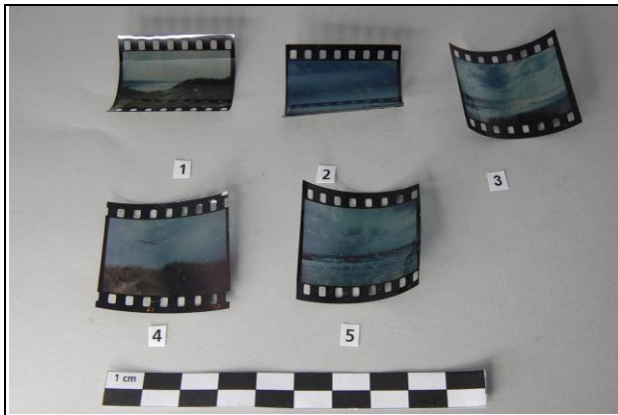


Foto 98: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 beschichtet - Vorderseite

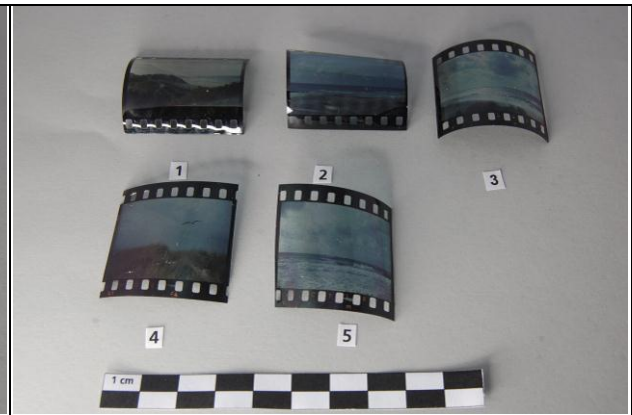


Foto 99: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 beschichtet - Rückseite



Foto 100: Porträtfotos 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 101: Porträtfotos 1-6 beschichtet - Rückseite



Foto 102: Zeitungsausschnitte 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 103: Zeitungsausschnitte 1-6 beschichtet - Rückseite

11 Anhang



Foto 104: Pergamentproben 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 105: Pergamentproben 1-6 beschichtet - Rückseite

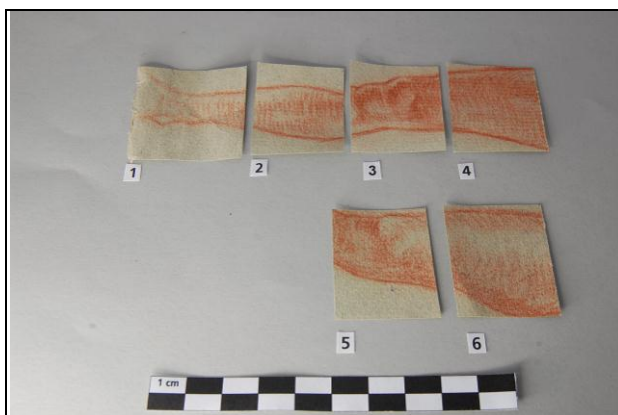


Foto 106: Pastellproben 1-6 beschichtet

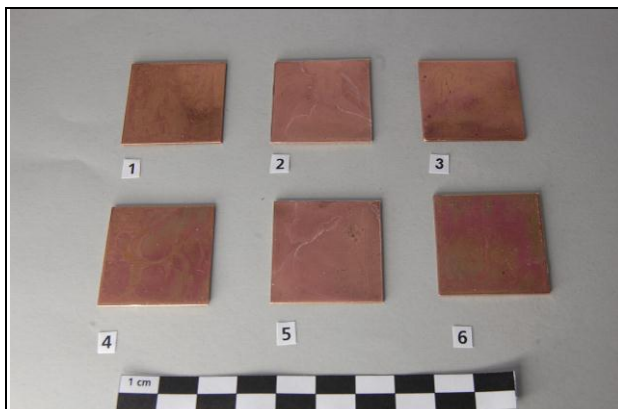


Foto 107: Kupferplättchen 30 x 30 mm beschichtet – Vorderseite (Proben 1 & 4 mit Alloy Primer, Proben 2 & 5 mit 2-Mercaptobenzimidazole, Proben 3 & 6 ohne)

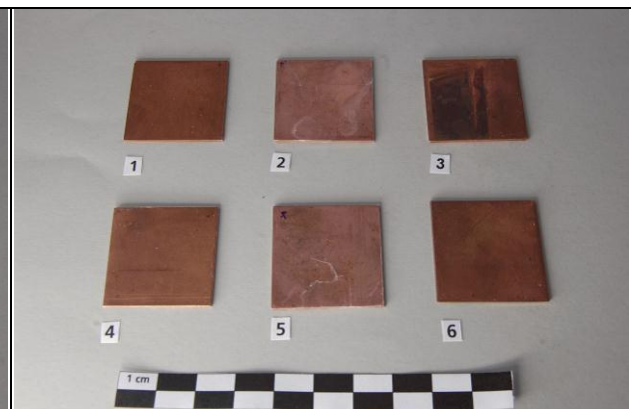


Foto 108: Kupferplättchen 30 x 30 mm beschichtet – Rückseite (Proben 1 & 4 mit Alloy Primer, Proben 2 & 5 mit 2-Mercaptobenzimidazole, Proben 3 & 6 ohne)

11 Anhang

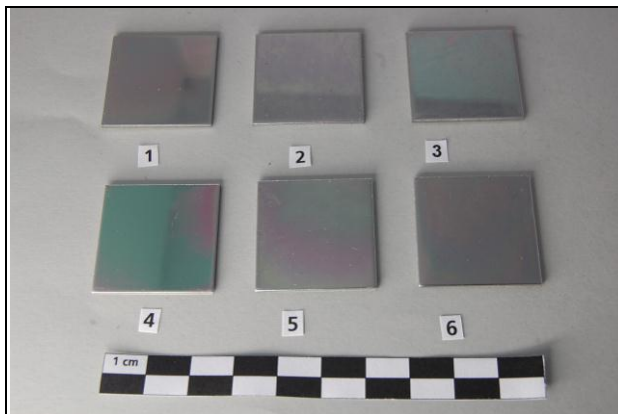


Foto 109: Stahlplättchen 1-6 beschichtet

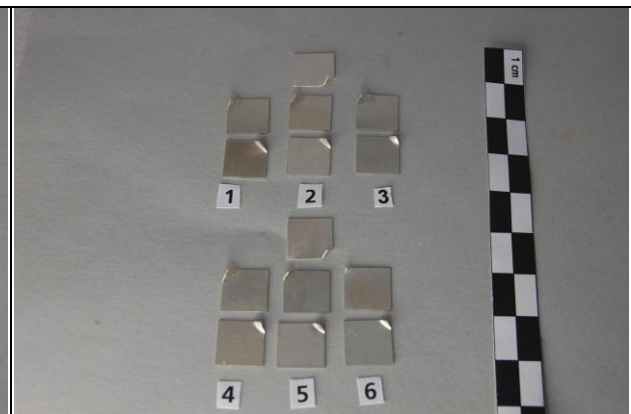


Foto 110: Aluplättchen Ag-besputtert 1-6 beschichtet

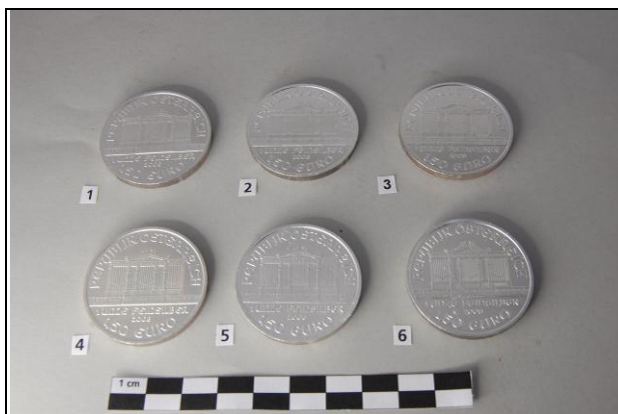


Foto 111: Feinsilberunzen 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 112: Feinsilberunzen 1-6 beschichtet - Rückseite



Foto 113: spätmittelalterliche Heller 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 114: spätmittelalterliche Heller 1-6 beschichtet - Rückseite

11 Anhang



Foto 115: Silbergußrohling 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 116: Silbergußrohling 1-6 beschichtet - Rückseite

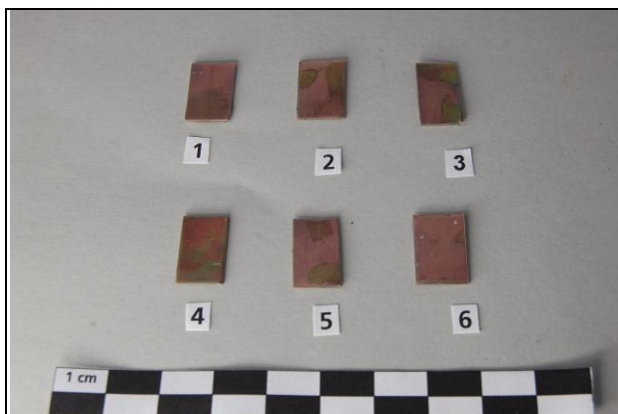


Foto 117: Kupferplättchen einseitig vergoldet 1-6 beschichtet - Vorderseite

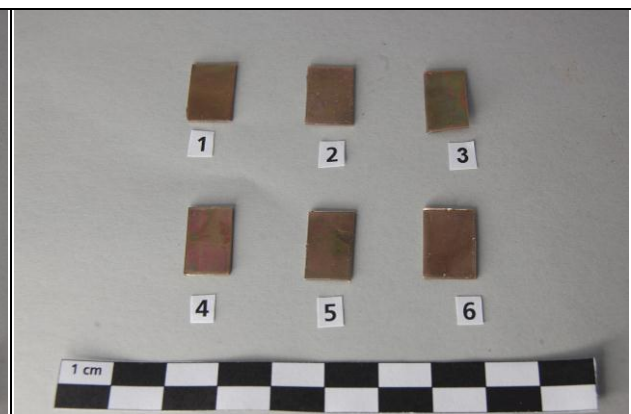


Foto 118: Kupferplättchen einseitig vergoldet 1-6 beschichtet - Rückseite

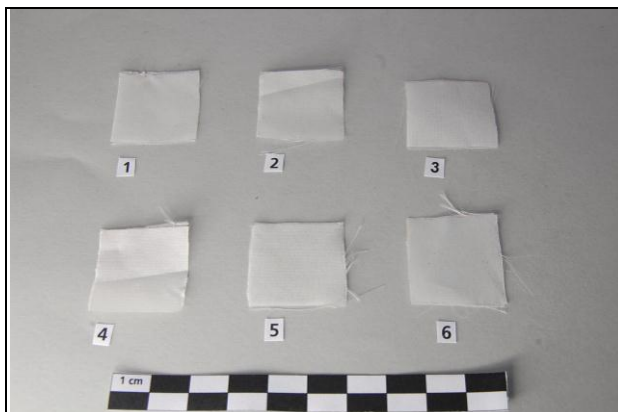


Foto 119: Proben Ponge-Seide 1-6 beschichtet

11 Anhang



Foto 120: Proben Seidenbespannung 1-6 beschichtet - Vorderseite

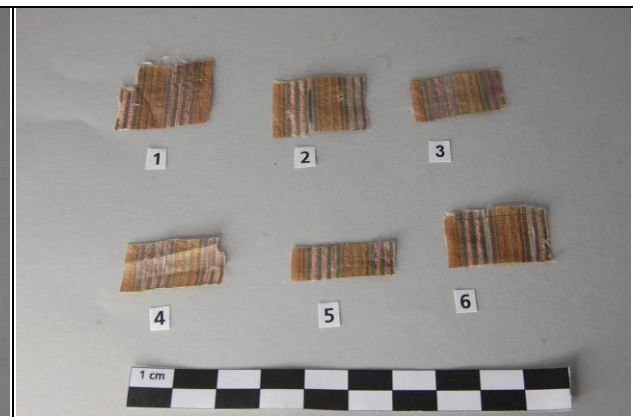


Foto 121: Proben Seidenbespannung 1-6 beschichtet - Rückseite



Foto 122: Proben fossiles Elfenbein 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 123: Proben fossiles Elfenbein 1-6 beschichtet - Rückseite



Foto 124: Proben Treibriemen 1-6 beschichtet - Vorderseite

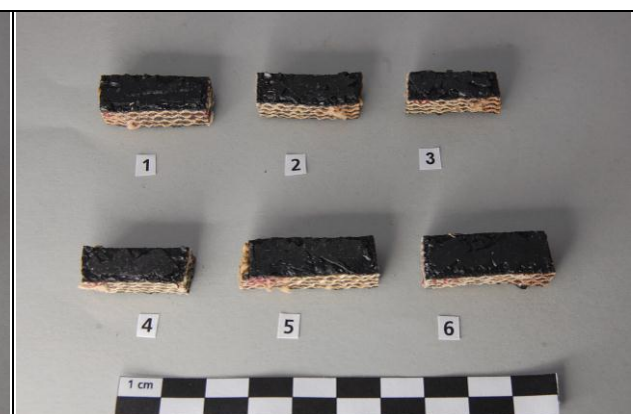


Foto 125: Proben Treibriemen 1-6 beschichtet - Rückseite

11 Anhang

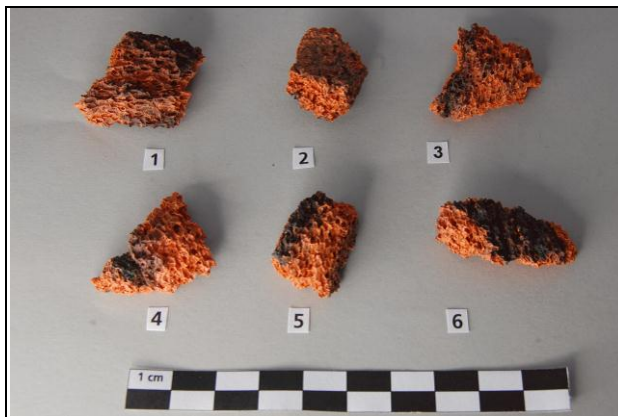


Foto 126: Proben DMM-62395 1-6 beschichtet - Vorderseite

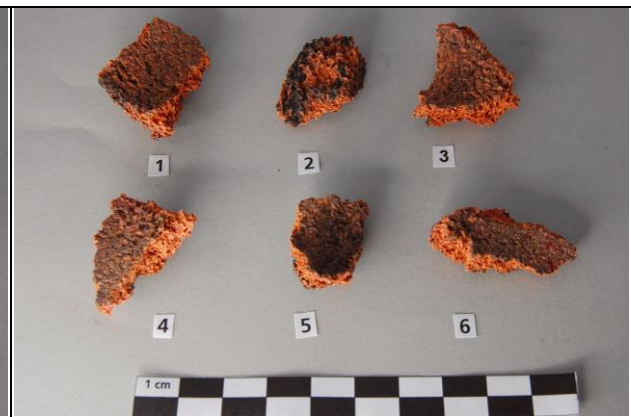


Foto 127: Proben DMM-62395 1-6 beschichtet - Rückseite



Foto 128: Proben Schlittschuhsohle 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 129: Proben Schlittschuhsohle 1-6 beschichtet - Rückseite



Foto 130: Proben PVC-Spielzeug 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 131: Proben PVC-Spielzeug 1-6 beschichtet - Rückseite

11 Anhang



Foto 132: F86-25.16 Fragmente 1-4 beschichtet - Vorderseite



Foto 133: F86-25.16 Fragmente 1-4 beschichtet - Rückseite



Foto 134: kleines Bruchstück glasierter Keramik beschichtet - Vorderseite



Foto 135: kleines Bruchstück glasierter Keramik beschichtet - Rückseite



Foto 136: großes Bruchstück glasierter Keramik beschichtet - Vorderseite



Foto 137: großes Bruchstück glasierter Keramik beschichtet - Rückseite

11 Anhang

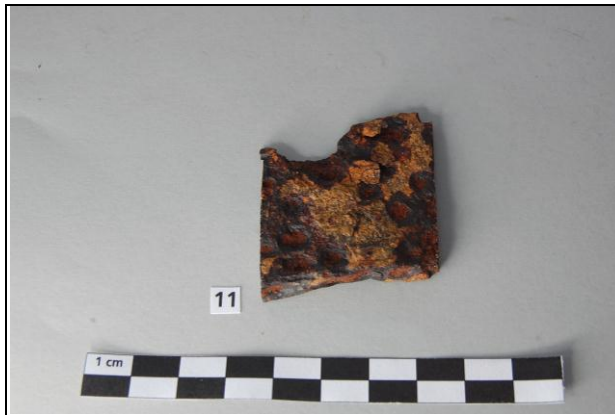


Foto 138: Fragment Sax P11 beschichtet - Vorderseite



Foto 139: Fragment Sax P11 beschichtet - Rückseite



Foto 140: Fragment Sax P15 beschichtet - Vorderseite



Foto 141: Fragment Sax P15 beschichtet - Rückseite



Foto 142: Proben Lederdeckel 1-6 beschichtet - Vorderseite



Foto 143: Proben Lederdeckel 1-6 beschichtet - Rückseite

11 Anhang

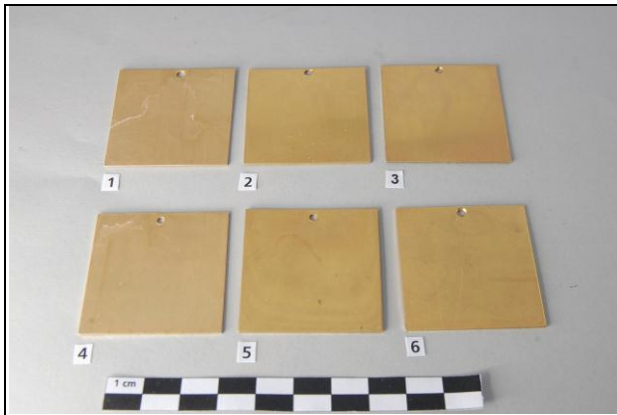


Foto 144: Kupferplättchen 40 x 40 mm vergoldet beschichtet (Proben 1 & 4 mit 2-Mercaptobenzimidazole Primer, Proben 2 & 5 mit Alloy Primer, Proben 3 & 6 ohne)

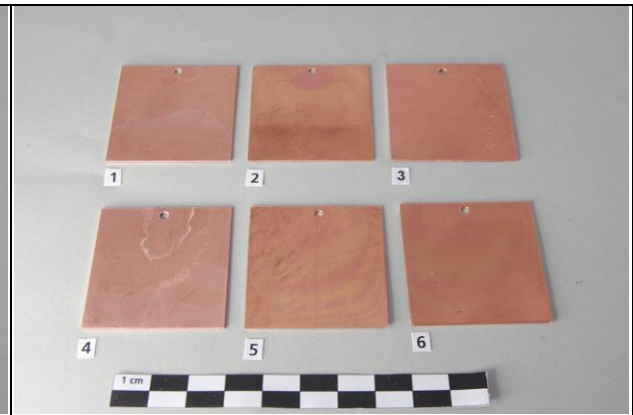


Foto 145: Kupferplättchen 40 x 40 mm beschichtet (Proben 1 & 4 mit 2-Mercaptobenzimidazole Primer, Proben 2 & 5 mit Alloy Primer, Proben 3 & 6 ohne)

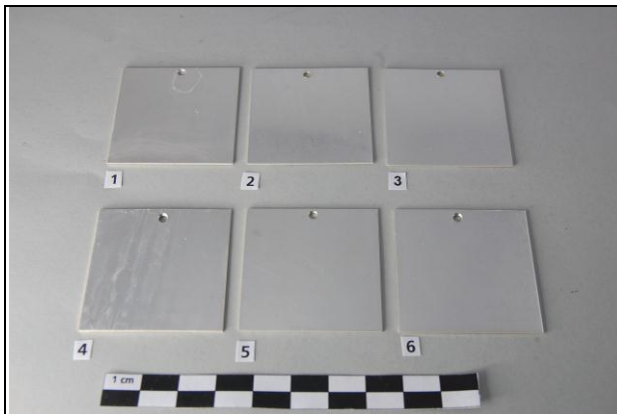


Foto 146: Kupferplättchen 40 x 40 mm versilbert beschichtet – Vorderseite (Proben 1 & 4 mit 2-Mercaptobenzimidazole Primer, Proben 2 & 5 mit Alloy Primer, Proben 3 & 6 ohne)

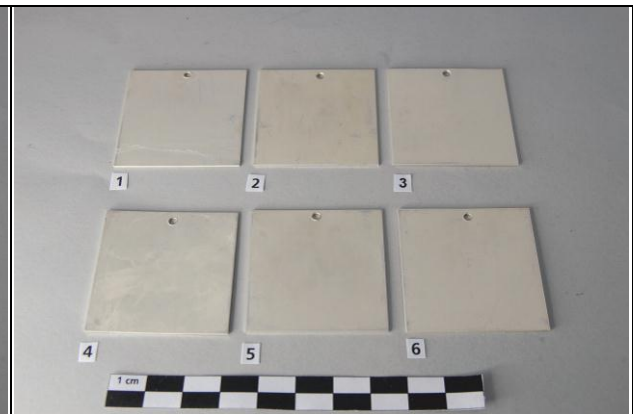


Foto 147: Kupferplättchen 40 x 40 mm versilbert beschichtet – Rückseite (Proben 1 & 4 mit 2-Mercaptobenzimidazole Primer, Proben 2 & 5 mit Alloy Primer, Proben 3 & 6 ohne)

11.8.4 Zustand nach der Schichtbepröbung



Foto 148: Glasplattenegative 1-3 nach der Bepröbung

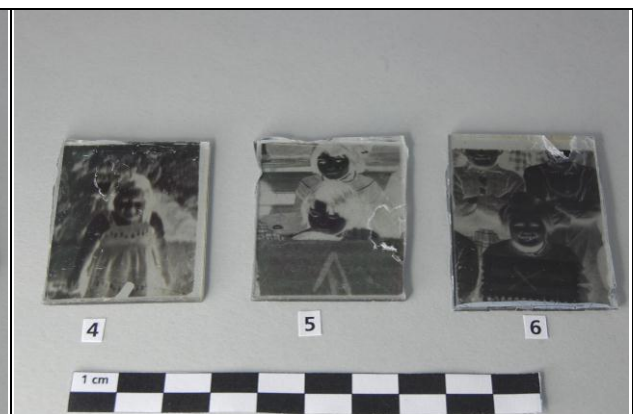


Foto 149: Glasplattenegative 4-6 nach der Bepröbung

11 Anhang

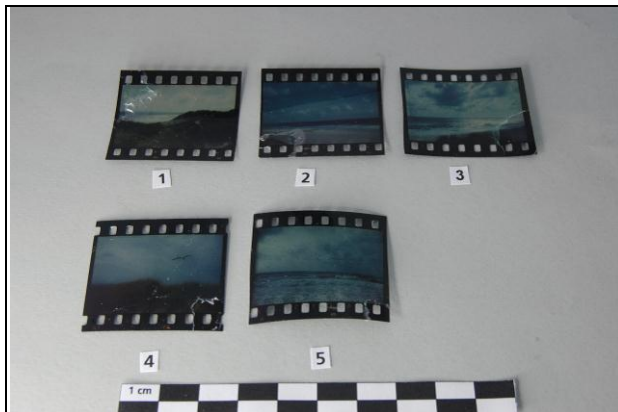


Foto 150: Diapositivfilmaufnahmen 1-5 nach der Beprobung



Foto 151: Porträtaufnahmen 1-6 nach der Beprobung



Foto 152: Zeitungsausschnitte 1-6 nach dem Reißtest

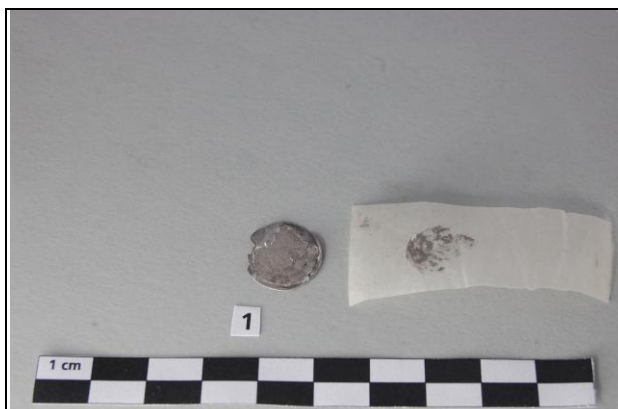


Foto 153: spätmittelalterlicher Heller nach der Beprobung - Vorderseite

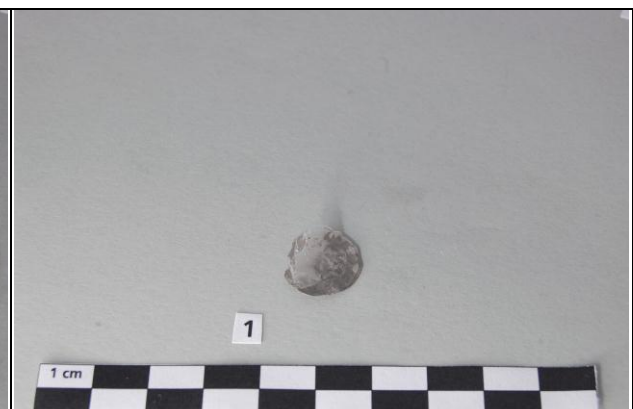


Foto 154: spätmittelalterlicher Heller nach der Beprobung - Rückseite

11 Anhang



Foto 155: Silbergußrohlinge nach 28 Tagen Gebrauch - Vorderseite



Foto 156: Silbergußrohlinge nach 28 Tagen Gebrauch - Rückseite

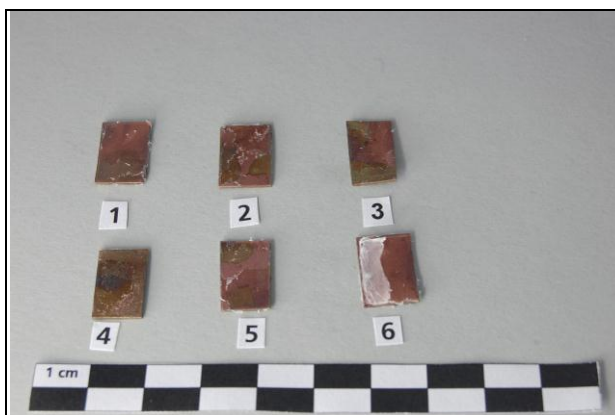


Foto 157: einseitig vergoldete Kupferplättchen 1-6 nach der Beprobung - Vorderseite



Foto 158: einseitig vergoldete Kupferplättchen 1-6 nach der Beprobung - Rückseite

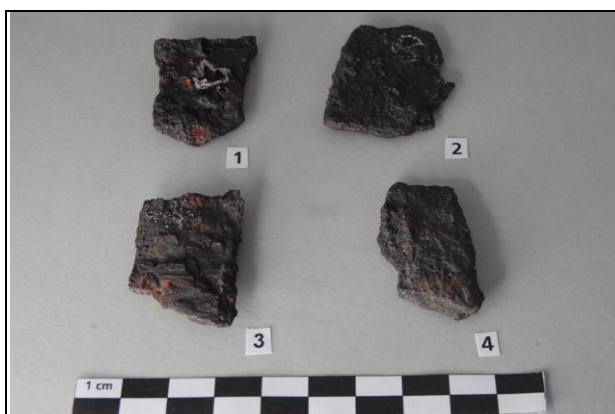


Foto 159: F86-25.16 Fragmente 1-4 nach der Beprobung - Vorderseite

11 Anhang



Foto 160: kleines Bruchstück glasierter Keramik – nach der Beprobung

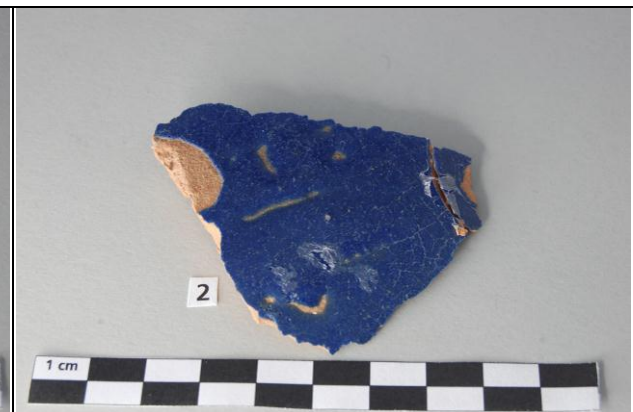


Foto 161: großes Bruchstück glasierter Keramik – nach der Beprobung



Foto 162: Fragment Sax P7 nach der Schichtentfernung mittels Feinstrahlen - Vorderseite



Foto 163: Fragment Sax P7 nach der Schichtentfernung mittels Feinstrahlen - Rückseite

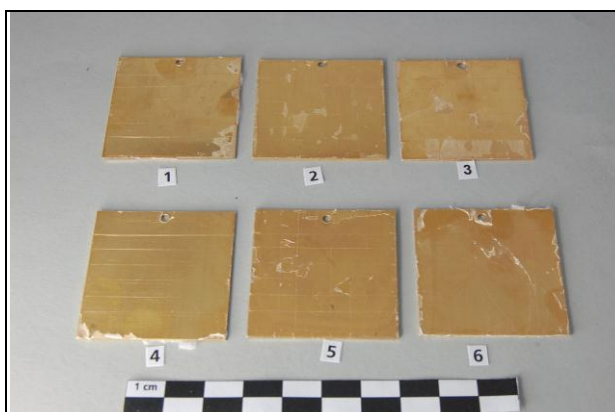


Foto 164: Kupferplättchen 40 x40 vergoldet nach der Beprobung

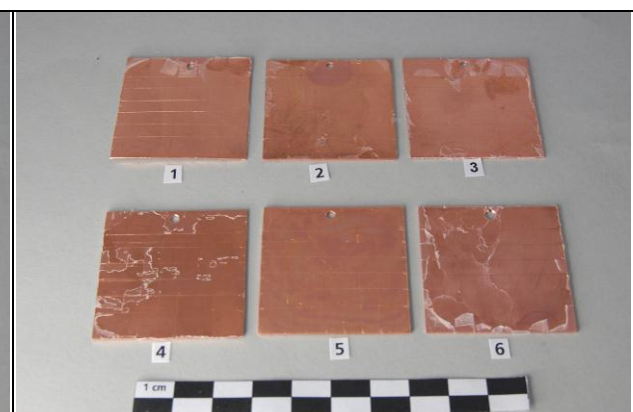


Foto 165: Kupferplättchen 40 x40 nach der Beprobung

11 Anhang

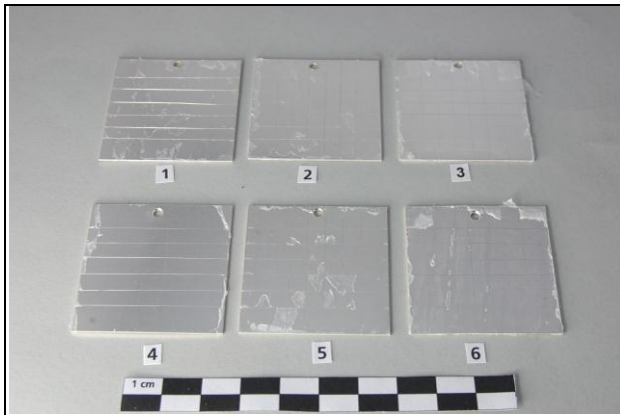


Foto 166: Kupferplättchen 40 x40 versilbert nach der Beprobung

11.9 Angebote zu Parylenbeschichtungen

Auszug aus dem Emailverkehr mit SCS Inc. bezüglich eines Angebotes zur Parylenbeschichtung:

„From: DMolin@scscoatings.com To: jonas.jueckstock@mytum.de

Greetings Jonas,

[...] If you would agree to share the Parylene test results with us prior to publication of your thesis I would offer to coat, for no charge, limited samples (coating of 5-8 of your papers of the size you mention below) here in my lab in order to provide you a sufficient quantity. I would be able to coat to one thickness of your choice (my recommendation is 3-5um). If you did require one or more of the other variants of Parylene such as N or C, I would need to submit this through our formal Engineering Run process which would require a coating charge of approximately \$500. US per variant. If you are amenable to the Parylene HT described above please let me know as soon as possible so that I can make the proper arrangements on my end.

As for the commercial cost do this in-house I would be remiss if I didn't clarify that while simple in concept, Parylene coating requires an advanced level of expertise in order to achieve the kind of results that a preservation would require. The cost of the coating system is only the first piece, which may be on the order of \$175,000 US to have a 100 liter sized chamber so that you could fit a reasonable number of samples in. Hiring and/or developing the expertise to minimize the risk to the specimens will add to this cost. The learning curve is no insurmountable, but it does take years to develop a high level of expertise. Having said this, the value of preserving for generations documents that become more valuable over time far surpasses the costs.

Please feel free to contact me with further questions, or decisions regarding how you would like to proceed.

With kind regards,

Dick Molin

Sr. R&D Engineer

Specialty Coating Systems“

Vorgelegtes Angebot der Fa. DiMer Beschichtungen GmbH, bezüglich Parylenbeschichtungen:



DiMer Beschichtungen GmbH

QUOTATION # DM-M120308-6

To: **Mr. Jonas Jückstock**

From: **Tsutomu Mochizuki**
Managing Director

Technischen Universität München

DIMER Beschichtungen GmbH
Robert-Bosch-Straße 22
72124 Pliezhausen, Germany

Phone:

Phone: +49 (0)7127 23 73 38

Fax:

Fax: +49 (0)7127 23 74 15

E-mail: jonas.jueckstock@mytum.de

E-mail: info@dimer-beschichtungen.de

Terms of Payment: Net 10 days
 Delivery Point: EXW Pliezhausen, Germany
 Lead Time: TBD (nomally 8 business days)
 Validity of This Quotation: Valid until further notice
 Other Special Conditions: n/a

Item Description	Unit Price (Price Per Piece)	Quantity	Total Amount
A4 Paper/diX-N	€ 42.00	10pcs	€ 420.00
A4 Paper/diX-C	€ 40.00	10pcs	€ 400.00
A4 Paper/diX-SF	€ 80.00	10pcs	€ 800.00
Total:			-

SPECIFICATIONS:

Parylene Type: diX-N, diX-C, diX-SF
 Target Coating Thickness: 3-7um
 Special Handling:

Confirmation method of coating thickness:

Measurement objects: Al witness coupons (n-more than 1 pcs per production batch, depending on the qty)
 Analytical tool: Optically Measurement

Other conditions:

Customer to ensure parts arrive in clean condition.
 Applicable sales taxes will be added to the invoice unless customer provides exemption certification.

TERMS AND CONDITIONS

DIMER Beschichtungen GmbH (DIMER) limits its liability for customer parts, whether in its possession or in transit, to the amount of value added as generated by the services performed by DIMER. The terms, conditions, and specifications of services rendered by DIMER to the customer are governed by this quotation. By issuing a purchase order based on this quotation, customer agrees to the terms contained herein as written for all related shipments. DIMER rejects and is not contractually bound by any additional terms or requirements which may appear in customer's forms or other documentation except as specifically agreed separately in writing. Please attach a signed copy of this quotation ("Agreed by") with your first purchase order.

For a period of 90 days from the date of shipment, DIMER warrants to customer that services sold hereunder conform to agreed specifications, provided that the customer notifies DIMER in writing of any non-conformities covered by this warranty within 30 days of their first appearance. DIMER's obligation is limited, at its option, to repair or recoat any non-conforming goods, or otherwise refund the cost of coating services for any goods which are proven to be non-conforming. The foregoing warranties and remedies are exclusive and there are no other warranties, oral or written, express or implied, with respect to any goods or services sold, whether as to merchantability or fitness for a particular purpose.

DIMER will not under any circumstances, whether as a result of a breach of contract, breach of warranty, tort or otherwise be liable for consequential, incidental, special, or exemplary damages including, but not limited to, loss of profits or revenues, loss of use of or damage to any associated equipment, cost of capital, cost of substitute products, facilities or services, downtime costs, or claims of customer's customers. The warranties and remedies set forth herein do not apply to goods which have been misused, inadequately maintained or stored, or incorrectly or negligently installed or serviced.

Issued by: 望月 辰 Tsutomu Mochizuki

Date: 08 March 2012

Agreed by: _____

Date: _____

Robert-Bosch-Straße 22 72124 Pliezhausen, Germany

a KISCO Group Company 

11 Anhang

11.10 Sicherheitsdatenblätter und sonstige Anlagen