

Zusammenfassung

Brück, Dorothee

Ermittlung eines pigmentierten Beschichtungssystems zur Konservierung von historischen Stahlbauten bei Erhalt der Altbeschichtung – Am Beispiel eines Dachtragwerkes in Hamburg

Determination of a pigmented coating system for the conservation of historical steel monuments by maintenance of the aged coating – on the example of a roof supporting frame in Hamburg

Diploma thesis; 15. März 2010; German; 108 p; 57 ill.

Supervisor: Prof. Jörg Freitag, Collaborating supervisor: Dr. Stefan Brüggerhoff.

-Publication not foreseen

Zusammenfassung: Die Verfahren auf dem Spezialgebiet zur Instandhaltung von historischen pigmentierten Beschichtungen wurden bisher wenig systematisch erprobt und bedürfen dringend einer Optimierung. Anhand eines unter Denkmalschutz stehenden Bauwerkes werden Lösungsansätze im Bereich der genannten Problematik erarbeitet. Die Ermittlung des Zustandes und Befundes der Altbeschichtung bilden dabei die Grundlage. Untersuchungen zur Eignung von vier ausgewählten Systemen vertiefen die Risiken im Umgang mit historischen Beschichtungen und verdeutlichen die erforderlichen Maßnahmen zur Konservierung der defekten Bereiche.

Schlagnworte: pigmentiert, Altbeschichtung, Korrosionsschutz, Bleimennige

Summary:

The studies in procedures in maintaining corrosion protection of aged pigmented coatings are insufficient by now and need to be optimised. Primary solutions concerning the problem as mentioned are made by a listed example. Analyses in the damaged state and the composition of the aged coating are forming the basis. The study of the eligibility of four coating-systems enlarge the risks in handling historical coatings and illustrate the necessary measures for the conservation of damaged parts. The evaluation and investigation of the eligibility of four selected coating-systems not only show the risk of handling historical coatings but also point out the necessary measures for conserving them.

Keywords: pigmented, aged coating, corrosion protection, red lead

FACHHOCHSCHULE POTSDAM
FACHBEREICH ARCHITEKTUR UND STÄDTEBAU
STUDIENGANG RESTAURIERUNG

Ermittlung eines pigmentierten Beschichtungssystems zur Konservierung
von historischen Stahlbauten bei Erhalt der Altbeschichtung
– am Beispiel eines Dachtragwerkes in Hamburg

Überarbeitete und ergänzte Version (12.12.2010)

Diplomarbeit
in der Studienrichtung
Metallkonservierung

vorgelegt von
Dorothee Brück
Potsdam, den 15.03.2010

Erstprüfer: Herr Prof. Jörg Freitag
Zweitprüfer: Herr Dr. Stefan Brüggerhoff

Danksagung

Mein herzlicher Dank für die fachliche Betreuung und freundliche Unterstützung gebührt besonders den folgenden Personen, Firmen und Instituten:

Prof. Jörg Freitag, Fachhochschule Potsdam

Dr. Stefan Brüggerhoff, Deutsches Bergbau-Museum Bochum

Dipl.-Rest. Eva Laabs, Fachhochschule Potsdam

Stefan Lasch-Abendroth, Schmiedemeister & Restaurator,
Hamburg

Dipl.-Ing. Mathias Conrads, Fa. Conrads Lacke GmbH & Co. KG,
Wuppertal

Dr. Volker Koesling, Deutsches Technik Museum Berlin

Dr. Michael Prange und Herr Wanger, Deutsches Bergbau-
Museum Bochum

Dipl.-Rest. Dr. Peter Kozub, Fachhochschule Potsdam

Harald Weber und Dipl.-Rest. Martin Engel, Stiftung Preußische
Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg

Dipl.-Ing. Andreas Schultz, Fachhochschule Potsdam

Dipl.-Chem. & Freischaffender Restaurator Wolfgang Conrad,
Lutherstadt Eisleben

Dr. Ulrich Christ und Rainer Schmidt, Forschungsinstitut für
Pigmente und Lacke Stuttgart

Dipl.-Rest. Martin Kaufmann, Duisburg

Dipl.-Rest. Sunniva Vohland, Stiftung Preußische Schlösser und
Gärten Berlin-Brandenburg

Dipl.-Rest. Thomas Baldauf, Haber & Brandner GmbH
Regensburg

Dipl.-Rest. Steffen Seidel, Deutsches Bergbau-Museum Bochum

Meiner Familie, Freunden und Kommilitonen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Aufgabenstellung und Zielsetzung	8
3 Das Dachtragwerk der „Alten Post“ in Hamburg	10
3.1 Hintergrundinformationen zum Gebäudekomplex der „Alten Post“	10
3.2 Beschreibung des Dachtragwerkes.....	12
3.3 Erste visuelle Untersuchung des Oberflächenzustandes	15
3.4 Konstruktionselemente für weitere Untersuchungen.....	17
4 Vergleichsobjekte zur Problematik des Erhaltes von Altbeschichtungen	21
4.1 Das Geländer auf der Pergolawehrmauer von Schloss Stolzenfels ...	21
4.2 Gusseiserne Fensterrahmen am Rathaus in Engelskirchen	22
4.3 Der Glockenstuhl des Ulmer Münster	22
4.4 Der Eiffelturm in Paris	23
4.5 Das Posttor (Südtor) vom Schlosspark Sanssouci.....	24
4.6 Die Wuppertaler Schwebebahn.....	25
4.7 Die Umzäunung der Mainzer Nagelsäule auf dem Liebfrauenplatz ...	25
4.8 Die ehemalige Kupfer-Silber-Hütte in Hettstedt.....	27
4.9 Hessisches Braunkohle-Bergbaumuseum Borken	28
4.10 Weitere Recherchen und Überlegungen	29
5 Untersuchung der Altbeschichtung des Hamburger Dachtragwerkes...	32
5.1 Aufbau und Zusammensetzung der Altbeschichtung.....	32
5.1.1 Mikrochemische Nachweise	33
5.1.2 Querschliffe.....	34
5.1.3 Schichtdickenmessungen	38
5.1.4 Infrarotspektroskopie	39
5.1.5 Rasterelektronenmikroskopie	41
5.1.6 Interpretation der Untersuchungsergebnisse	43

5.2 Haftzugfestigkeitsmessungen	46
5.2.1 Durchführung der Messungen	46
5.2.2 Ergebnisse und Auswertung der Messungen	48
5.3 Gitterschnittprüfungen.....	51
5.3.1 Durchführung der Prüfungen	51
5.3.2 Ergebnisse und Auswertung der Gitterschnittprüfungen.....	52
5.4 Kreuzschnittprüfungen	54
5.4.1 Durchführung der Kreuzschnittprüfungen	54
5.4.2 Ergebnisse und Auswertung der Kreuzschnittprüfungen	55
5.5 Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse	57
6 Vorbereitung der historischen Oberfläche für die Konservierung	59
6.1 Vorversuche	60
6.2 Oberflächenvorbereitung der Probeplatten	64
7 Auswahl pigmentierter Beschichtungssysteme.....	66
7.1 Ölbleimennige-Grundierung, Öl-Decklack	70
7.2 Ölbleimennige-Grundierung, Alkydharz-Decklack.....	72
7.3 Zinkphosphat-Alkydharz-Grundierung, Alkydharz-Decklack	73
7.4 Polyurethansystem.....	74
8 Ermittlung eines pigmentierten Beschichtungssystems	
zur Konservierung	76
8.1 Beschichten der Probeplatten	77
8.2 Künstliche Bewitterung der Probeplatten	79
8.3 Haftzugfestigkeitsmessungen der beschichteten Probeplatten	81
8.3.1 Durchführung der Messungen	81
8.3.2 Ergebnisse und Auswertung der Messungen	82
8.4 Gitterschnittprüfungen der beschichteten Probeplatten	85
8.5 Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse	86
9 Vorschläge zur Konservierung des Hamburger Dachtragwerkes	87
10 Schlussbetrachtung.....	89

Literaturverzeichnis	91
Tabellenverzeichnis	96
Abbildungsnachweis	97
Glossar	98
Abkürzungsverzeichnis	100

Anhang

Anhang I	Fotoverzeichnis, Fotodokumentation
Anhang II	Eigentums- und Nutzungshistorie
Anhang III	Lageplan, Baupläne
Anhang IV	Katalogisierung des Bestands
Anhang V	Untersuchungen der Altbeschichtung
Anhang VI	Tabelle der Versuche zur Oberflächenvorbereitung
Anhang VII	Schichtdickenmessungen der beschichteten Probeplatten
Anhang VIII	Haftzugfestigkeitsmessungen
Anhang IX	Technische Datenblätter

1 Einleitung

Mit der Industrialisierung setzte eine vielseitige und vor allem sehr umfangreiche Verwendung des Werkstoffes Stahl ein.¹ Es entstanden Industrieanlagen, Brücken, Hallen, Maschinen, Schiffe und unzählige weitere Güter und Bauwerke. Parallel dazu wurde die Forderung nach einem wirksamen Schutz der Oberfläche vor Umwelteinflüssen und dem gefürchteten, die Substanz zerstörenden „Rost“ immer größer. Diente ein Anstrich anfänglich noch überwiegend dekorativen Zwecken oder zur Kennzeichnung bestimmter Bereiche, so gewann nun seine schützende, konservierende Wirkung immer mehr an Bedeutung. Natürliche Rohstoffe wie Öle und Harze, pur oder mit Korrosionsschutzpigmenten versetzt, wurden als Anstrich auf die Stahloberfläche aufgetragen. Man verwendete hauptsächlich aktive Pigmente, wie Bleimennige, Bleisilicochromat, Bleipulver, Zinkoxid, Zinkstaub und Zinkchromat, aber auch inaktive oder barriereartig wirkende Pigmente, wie zum Beispiel das Eisenoxidrot, Eisenglimmer, Aluminiumpulver, Graphit.² Die Deckfarben beinhalteten farbgebende Pigmente, wie Bleiweiß, Titanoxid, Chromoxidgrün, Berliner Blau, Eisenoxidschwarz, Eisenoxidrot und viele weitere.³ Die meisten dieser Pigmente finden auch heute noch Anwendung in Korrosionsschutzbeschichtungen. Der Nachteil der Anwendung dieser öl- und harzhaltigen Beschichtungsstoffe lag allerdings in der langsamen Trocknung von mehreren Wochen. Eine deutliche Verbesserung brachte im 20. Jahrhundert⁴ das Aufkommen der Polymer- bzw. Kunststoffchemie⁵. 1907 kamen die ersten vollsynthetischen Kunstharze auf den Markt. Kurz darauf folgte die Produktion der Vinylharze und Harnstoffharze, ab den dreißiger Jahren die Alkydharze, Acrylharze, Polyurethane und Melaminharze. Die

¹ Vgl. PROPYLÄEN 1997.

² Vgl. OETEREN 1980.

³ Vgl. WULF 1958, S 261 ff.

⁴ Vgl. BROCK/ GROTEKLAES/ MISCHKE 1998, S. 11 ff.

⁵ Öle und Harze bilden auch hier noch eine wichtige Grundlage. Sie werden chemisch modifiziert als Bindemittelbestandteil zugefügt.

Einführung der Epoxidharze erfolgte Ende der vierziger Jahre.⁶ Mit dieser enormen lackchemischen Entwicklung begann auch die stetige Optimierung der Applikationstechniken. Der Variante des Streichens folgten unter anderem das Rollen, Spritzen, das Elektrotauchlackieren, das Fluten, das elektrostatische Lackieren und das Pulverlackieren.⁷

Die Erforschung der mannigfaltigen Probleme der Korrosion und des Korrosionsschutzes von Stahl haben sich mit der Zeit zu einem eigenen Technologiegebiet entwickelt. Der Auftrag von organischen Beschichtungen wird dabei dem Bereich des passiven Korrosionsschutzes zugeordnet.⁸ Sein Prinzip beruht auf der Unterbindung des Angriffes korrosionsfördernder Substanzen und Medien, und muss dem jeweilig vorliegenden Objekt sowie dessen Umgebungsbedingungen unbedingt stets individuell angepasst werden. Die internationale Normenreihe DIN EN ISO 12944⁹ erläutert und definiert in acht Teilen alle wichtigen Aufgaben zum Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme:

Teil 1: DIN EN ISO 12 944 – 1 (1998)	Allgemeine Einleitung
Teil 2: DIN EN ISO 12 944 – 2 (1998)	Einteilung der Umgebungsbedingungen
Teil 3: DIN EN ISO 12 944 – 3 (1998)	Grundregeln zur Gestaltung
Teil 4: DIN EN ISO 12 944 – 4 (1998)	Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung
Teil 5: DIN EN ISO 12 944 – 5 (2007)	Beschichtungssysteme
Teil 6: DIN EN ISO 12 944 – 6 (1998 + 2005)	Laborprüfungen zur Bewertung von Beschichtungssystemen
Teil 7: DIN EN ISO 12 944 – 7 (1998)	Ausführung und Überwachung der Beschichtungsarbeiten
Teil 8: DIN EN ISO 12 944 – 8 (1998)	Erarbeiten von Spezifikationen für Erstschutz und Instandsetzung

⁶ Vgl. BROCK/ GROTEKLAES/ MISCHKE 1998, S. 11 ff.

⁷ Vgl. RUF 1993, S. 633 ff.

⁸ Vgl. OETEREN, S 216 ff.

⁹ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, S. 340 ff.

Das Beschichtungssystem beschreibt fernerhin die Gesamtheit der Schichten, die auf das Substrat¹⁰ aufgebracht werden und somit die erwünschten spezifischen Eigenschaften erbringen.¹¹ Das System besteht in der Regel aus Grundbeschichtung und Deckbeschichtungen. Jede dieser Schichten ist aufeinander abgestimmt und in ihrer stofflichen Zusammensetzung¹² mit einer bestimmten, unterschiedlichen Funktion versehen. Die Grundbeschichtung stellt den Kontakt zum Substrat dar und dient dem Korrosionsschutz, sowie der Haftvermittlung zum Metalluntergrund. Sie enthält in den meisten Fällen antikorrosive Stoffe wie aktive, passivierend wirkende Korrosionsschutzpigmente oder inaktive, barriereartig wirkende Pigmente (sog. Schuppenpigmente). Die Deckbeschichtung ist unter anderem verantwortlich für die optischen Eigenschaften wie Farbgebung, Glanz- und Reflexionsverhalten und vor allem die Abschirmung von atmosphärischen Schadstoffen, UV-Licht, Chemikalien und mechanischen Einflüssen. Außerdem sollte sie weitestgehend chemisch inert¹³ sein. Gegebenenfalls wird die Grundbeschichtung und/ oder die Deckbeschichtung für den Ausgleich von Unebenheiten des Untergrundes und für die Verbesserung der Deckkraft und Brillanz mehrfach aufgetragen. Je nach Beanspruchung, Beschichtungsstoff und Applikationstechnik kann der Aufbau eines Systems in seiner Schichtanzahl und Schichtdicke variieren, welches sich neben weiteren Parametern fundamental auf die Effektivität des Korrosionsschutzes auswirken kann. Eine zu geringe Schichtdicke übt sich negativ auf die Schutzwirkung aus. Eine zu hohe Schichtdicke kann unter Umständen zu Problemen bei der Trocknung, der Härtung und der Haftfestigkeit führen.

Heutzutage werden im Bereich der Metallkonservierung vorzugsweise pigmentierte Beschichtungsstoffe mit oxidativ trocknenden Bindemitteln (wie Öl und Alkydharz), Bindemitteln mit Reaktions-Komponenten (Epoxidharz und

¹⁰ Die nähere Erläuterung des Begriffes befindet sich im Glossar.

¹¹ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, DIN ISO EN 12944-1, S. 346.

¹² Je nach Zusammensetzung enthält ein Lack: Bindemittel, Pigmente, Lösemittel, Füllstoffe, Sikkative, Antiabsetzmittel und weitere Additive.

¹³ Die Erläuterung des Begriffes befindet sich im Glossar.

feuchtigkeitshärtende Polyurethane), sowie die physikalisch trocknenden Acryl-Copolymer-Lacke eingesetzt. In Grundierungen werden hauptsächlich die Korrosionsschutzpigmente Zinkphosphat und Zinkstaub verwendet.¹⁴ Bleimennige und Bleistaub dürfen seit 2005 nur noch sehr eingeschränkt, ausschließlich in Sonderfällen mit der entsprechenden Genehmigung eingesetzt werden. Zinkchromate und Calciumplumbate werden heutzutage ebenfalls aus Gründen der Gesundheit und Sicherheit wenig verwendet.¹⁵ Andere Pigmente, wie zum Beispiel Eisenoxidrot und Zinkoxid zeigen im Vergleich zu den Erstgenannten eine geringere Schutzwirkung, finden aber dennoch Anwendung. Die gebräuchlichen Pigmente für Deckbeschichtungen sind Aluminiumpulver, Eisenglimmer, Eisenoxid, Titanoxid und Zinkoxid. Mit der Zugabe verschiedener Füllstoffe wie Schwerspat, Glimmer, Graphit und Talkum wird die gewünschte Schichtdicke erzielt. Für die Färbung der Anstriche werden je nach Bindemittel und Einsatzgebiet entsprechende Farbpigmente hinzu gegeben.

Mit den Jahren ist das überaus vielfältige Angebot an Korrosionsschutzbeschichtungen sehr unübersichtlich geworden. Ein gewisser Überblick lässt sich allenfalls mit dem Aufzeigen der wichtigsten Eigenschaften eines Lackes, anhand des Bindemittels und gegebenenfalls des Korrosionsschutzpigmentes herstellen. Ausführliche Tabellen im Teil 5 der DIN EN ISO 12944¹⁶ erlauben die Auswahl des am besten geeigneten Beschichtungssystems für den jeweiligen Anwendungszweck, die vorliegenden Umgebungsbedingungen¹⁷ und die geforderte Schutzdauer¹⁸. Hier muss betont werden, dass die Verwendung der in der Norm aufgeführten Systeme nicht unbedingt verpflichtend ist, sondern Vorschläge darstellt, die unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, Schadstoffarmut und Effizienz

¹⁴ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, DIN ISO EN 12944-5, S. 411 ff.

¹⁵ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, DIN ISO EN 12944-5, S. 422.

¹⁶ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, DIN ISO EN 12944-5, S. 428 ff.

¹⁷ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, DIN ISO EN 12944-2, S. 356 ff.

¹⁸ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, DIN ISO EN 12944-1, S. 447.

ausreichend Spielraum für alternative Lösungen eines Korrosionsschutzes geben.

Ein weiterer wichtiger Punkt, die Beschaffenheit der zu beschichtenden Oberfläche (z. B. der Rostgrad¹⁹) wird in der DIN EN ISO 4628²⁰ berücksichtigt. Die Wirksamkeit und Nachhaltigkeit eines Korrosionsschutzes ist in entscheidendem Maß von der sachgemäßen Beurteilung und auch der Prüfung²¹ und Vorbereitung der Oberfläche abhängig. Mit der Bewertung des Ausgangszustandes und Festlegung des zu erreichenden Vorbereitungsgrades²², kann die geeignete Maßnahme zur Oberflächenvorbereitung bestimmt werden. Die unterschiedlichen Verfahren zur Entfernung artfremder²³ und arteigener²⁴ Substanzen reichen vom Trocken-Strahlen mit Abrasiva über Nass-Strahlen mit Wasserdampf oder Trockeneisstrahlen bis hin zum Schleifen, Abbrennen, Abbeizen und dem empirischen Handentrostern mit Drahtbürsten und Schabern, um nur einige Beispiele zu nennen.²⁵

Die Dauerhaftigkeit²⁶ eines Beschichtungssystems kann trotz einer sachgerechten, gründlichen Vorbereitung, Planung und Recherche nicht genau festgelegt werden. Sie wird von vielen Parametern beeinflusst, die den nachhaltigen Erfolg beeinträchtigen können: korrosionsschutzgerechte Gestaltung des Bauwerks, Umgebungsbedingungen, Wirksamkeit der

¹⁹ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 4, DIN ISO EN 4628-3, S. 484 ff.

Weitere Bewertungen der Schäden in einer Beschichtung in dieser Norm DIN EN ISO 4628 sind der Blasengrad, Rissgrad, Abblätterungsgrad, Kreidungsgrad, Bewertung der Filiformkorrosion und Bewertung der von einem Ritz ausgehenden Enthftung und Korrosion.

²⁰ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 4, S458 ff.

²¹ Haftzugfestigkeitsmessungen, Gitterschnittprüfungen und Kreuzschnittprüfungen nach DIN EN ISO 4624, DIN EN ISO 2409 und OENORM EN ISO 16276-2.

²² Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008, DIN ISO EN 12944-4, S. 382 ff.

²³ z. B. loser Schmutz, lose Beschichtung, Öle, festsitzende Ablagerungen/ Beschichtungen.

²⁴ z. B. Korrosionsprodukte und Zunder.

²⁵ Vgl. PETERS 1994, S. 184 ff.

²⁶ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008, DIN ISO EN 12944-1, S. 347.

Einteilung der Schutzdauer in drei Zeitspannen: kurz (2 bis 5 Jahre), mittel (5 bis 15 Jahre) und lang (über 15 Jahre).

Oberflächenvorbereitung, Zustand der Stahloberfläche vor der Vorbereitung, Art des Beschichtungssystems, Ausführung der Beschichtungsarbeiten, Bedingungen während des Beschichtens und der Belastung nach dem Beschichten. Gleichwohl bedeutet ein Verhindern oder Vermindern von Korrosion eine grundsätzliche Werterhaltung, die mit dem Fortschritt in der Technologie des Korrosionsschutzes bereits generell gute Erfolge erzielt.

Eine Besonderheit im Korrosionsschutz stellen unter Denkmalschutz stehende Stahlbauten dar. Die Problematik liegt dabei im Umgang mit der historischen Substanz und speziell der historischen Beschichtung. Inwieweit kann die sogenannte Altbeschichtung erhalten werden, oder inwieweit soll sie erhalten werden? Welche Aspekte stehen im Vordergrund? Der Kostenfaktor, die Sicherheit, der Erhalt, der Korrosionsschutz, der Umweltschutz oder der Denkmalcharakter? Welche Methode der Oberflächenvorbereitung sollte angewendet werden? Ist eine ausreichende Haftung der Beschichtung, vor allem im Bereich von schadhafte Stellen (Grenzflächenbereich) überhaupt noch gegeben? Können die fehlerhaften, beschädigten Bereiche einer Altbeschichtung ohne weiteres überbeschichtet werden? Was muss dabei beachtet werden? Sollte man generell streng nach dem ermittelten historischen Befund agieren? Welche Korrosionsschutzstoffe sollte man bei welchem Rost- und Reinheitsgrad verwenden? Ist das neu aufgebraute Beschichtungssystem eigentlich kompatibel mit der historischen Beschichtung? Ist es reversibel? Es wird deutlich, dass sich der Fragenkatalog zu diesem Thema als sehr komplex gestaltet. Daher sollte das Ziel der Arbeiten unter anderem in Verbindung mit den Grundlagen für den Umgang mit historischer Substanz²⁷ genau definiert und geplant werden.

Für den Restaurator und Konservator der heutigen Zeit gehört es bereits zum Alltag, Instandhaltungs- bzw. Ausfleckungsarbeiten an Altbeschichtungen vorzunehmen, bringt es doch einige Vorteile mit sich. Zum Beispiel kann der Aufwand im Gegensatz zu einer kompletten Erneuerung der Beschichtung geringer sein. Doch ist bislang unklar, welcher Anstrichstoff nun im jeweiligen

²⁷ Vgl. www.restauratoren.de (Stand 02.03.2010): Charta von Venedig 1964, Artikel 1 bis 14.

Fall verwendet werden kann. Jedes denkmalgeschützte Objekt steht für sich und erfordert eine sorgfältige, individuelle Behandlung. Auch wird die Oberfläche oft unzureichend vorbereitet, so dass arteigene und artfremde Schichten nicht entfernt und einfach mit überstrichen werden. Eine lange Standzeit²⁸ kann somit nicht mehr garantiert werden. Des Weiteren gelten heutzutage strenge Umweltschutzgesetze, die eingehalten werden müssen. Je nach Zusammensetzung der Altbeschichtung ist ggf. eine gesonderte Entsorgung erforderlich. Bleimennige²⁹ muss zum Beispiel als Sondermüll gesammelt und in Untertage deponien verbracht werden. Bei der Oberflächenvorbereitung müssen also besondere Schutzvorkehrungen getroffen werden. Zusätzlich verlangen die Dimensionen von Stahlbauten, ermöglicht durch einen dauerhaften Korrosionsschutz, große Wartungsintervalle. Denn Überholungsarbeiten in kurzen Abständen können aufgrund des Kostenaufwandes wirtschaftliche Schwierigkeiten bereiten.

Die notwendigen Verfahren auf dem Gebiet der Instandhaltung von historischen pigmentierten Beschichtungen stehen noch am Anfang ihrer Erprobung und Ausreifung. Mit der vorliegenden Diplomarbeit soll versucht werden, einen Ansatz im dringenden Forschungsbedarf zu schaffen. Die Arbeit befasst sich anhand eines Beispiels – das stählerne Dachtragwerk der „Alten Post“ in Hamburg – mit der Untersuchung der Zusammensetzung, sowie der Haftfestigkeit von Altbeschichtungen. Des Weiteren wird versucht die Eignung verschiedener Beschichtungssysteme für die Konservierung der beschädigten Bereiche in der historischen Beschichtung des Beispielobjektes herauszustellen.

²⁸ Die Erläuterung des Begriffes befindet sich im Glossar.

²⁹ In der Diplomarbeit bezeichnet der Begriff Bleimennige (wie auch in allgemeingültiger Literatur) den Anstrichstoff mit dem Bindemittel Leinöl. Wird von dem Pigment allein gesprochen oder von einem Bleimennigeanstrichstoff mit einem anderen Bindemittel, fällt der entsprechende Hinweis.

2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Diplomarbeit folgt dem Ziel der Ermittlung eines pigmentierten Beschichtungssystems zur Konservierung von Stahlbauten bei Erhalt der Altbeschichtung. Anhand eines unter Denkmalschutz stehenden, stählernen Beispielobjektes, dem Dachtragwerk der „Alten Post“ in Hamburg, sollen Untersuchungen und Vorschläge zum Umgang mit der Problematik des Erhaltes einer historischen Beschichtung praxisnah erarbeitet werden. Das Tragwerk wurde aufgrund umfangreicher Sanierungsarbeiten am umstehenden Gebäude zu Beginn des Jahres 2009 demontiert. Es stehen somit kleinere Stahlelemente dieser gewaltigen Konstruktion für die Ausarbeitung der Diplomarbeit zur Verfügung³⁰. Bedingt durch die Dimension des Beispielobjektes und den Umgang mit der historischen Substanz kann ausschließlich eine exemplarische Auseinandersetzung mit der Problematik erfolgen.

Mittels einzelner Vergleichsobjekte werden unterschiedliche Verfahren der Konservierung von Altbeschichtungen vorgestellt. Neben dem traditionellen Einsatz des Korrosionsschutzes Bleimennige und weiterer Beschichtungsstoffe sollen verschiedene Oberflächenvorbereitungen kurz aufgezeigt werden. Anschließend ist vorgesehen eine Befundanalyse der Altbeschichtung des Hamburger Dachtragwerkes vorzunehmen. Die Untersuchung des Zustandes der Altkonservierung mit Hilfe von Haftzugfestigkeitsmessungen, Gitterschnittprüfungen und Kreuzschnittprüfungen, in Anlehnung an DIN EN ISO 4624³¹, DIN EN ISO 2409³² und DIN EN ISO 16276-2³³ bildet dabei den Schwerpunkt. Das Augenmerk liegt auf der optisch intakten Beschichtung und dem Grenzflächenbereich zwischen intakter und beschädigter oder fehlender Beschichtung.

³⁰ Unter Absprache mit den zuständigen Bauherren, der Denkmalpflege und dem beauftragten Restaurator.

³¹ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 4, DIN EN ISO 4624 (2003-08), S.439 ff.

³² Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 4, DIN EN ISO 2409 (2007-08), S. 294 ff.

³³ Vgl. DIN EN ISO 16276-2 (2007).

Ein nächster zu beachtender Aspekt bei der Erarbeitung des Zieles ist die Oberflächenvorbereitung der zu reparierenden Stellen. Es müssen Versuche durchgeführt werden, mit denen eine optimale Vorbereitung für die anschließende Neubeschichtung dieser Bereiche erfolgen kann. Voraussetzung ist die partielle Abnahme loser und lockerer Beschichtung, loser Korrosionsprodukte und Verunreinigungen, möglichst ohne weitere Beschädigung der historischen Substanz. Dies entspricht in etwa einem Vorbereitungsgrad von P Sa 2 bis P Sa 2 ½ (mittels Strahlen) oder P Ma 2 bis P Ma 2 ½ (mittels mechanischer Reinigungsvorgänge).³⁴

In einem nächsten Schritt müssen dann Beschichtungssysteme auf der Basis des historischen Befundes und in Bezug auf den angestrebten Oberflächenvorbereitungsgrad ausgewählt werden. Diese werden dann auf die entsprechend vorbereiteten Bereiche der historischen Probeplatten aufgetragen und in einem Labor-Kurzzeittest einer künstlichen Kondenswasserbewitterung³⁵ unterzogen. Der Auftrag soll, gemäß des Schwerpunktes der Diplomarbeit, auf den beschädigten Stellen erfolgen. Zusätzlich ist geplant, die gleichen Systeme auf weitere historische Probeplatten aufzubringen, von denen die Beschichtung insgesamt entfernt wurde. Zur Überprüfung der Haftung dieser Systeme, sowie der Kompatibilität der homogenen und heterogenen Stoffe müssen erneut Haftfestigkeitsmessungen und Gitterschnittprüfungen in Anlehnung an die DIN -Normen durchgeführt werden.

Abschließend sollen mit Hilfe aller Untersuchungsergebnisse Vorschläge zur Erhaltung der Altbeschichtung des Dachtragwerkes genannt werden.

Mit der Diplomarbeit sollen Lösungsansätze in der Problematik des risikobehafteten Umgangs mit historischen Beschichtungen erarbeitet werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen können nicht zum Vergleich dienen, sondern müssen bei jedem Objekt individuell ermittelt werden.

³⁴ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, DIN EN ISO 12944-4, S. 382 ff.

³⁵ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2009, DIN EN ISO 6270-2, S. 341 ff.

3 Das Dachtragwerk der „Alten Post“ in Hamburg

3.1 Hintergrundinformationen zum Gebäudekomplex der „Alten Post“

Das denkmalgeschützte Gebäude aus dem Jahr 1925/ 1926³⁷ diente mit seinem glasüberdachten Innenhof – dem Dachtragwerk – und den hieran angrenzenden Remisen³⁸ der Wartung der ersten Kraft- und Elektrofahrzeuge im Postdienst. In den Obergeschossen befanden sich die Verwaltungsbüros für postalische Zwecke.

Die Anlage ist in der Hamburger Neustadt zwischen „Drehbahn“ und „Dammtorwall“ zu finden.³⁹

Das Gebäude wurde im Jahr 1931 fertig gestellt und



Abb. 2 Die Baustelle auf dem Innenhof Richtung Süden.

seitdem von der Deutschen Telekom AG und deren Rechts-

vorgängern, der Deutschen Reichspost und der Deutschen Bundespost genutzt.⁴⁰ Die Grundfläche beträgt ca. 2.455 m², die Bruttogeschosßfläche ca. 11.910 m².⁴¹ Das Verwaltungsgebäude besteht aus drei Stockwerken inklusive Kellergeschoss. Im Bereich des überdachten, südlichen Hofes befindet sich keine Unterkellerung. Mit einer grundlegenden Sanierung wird das Bauwerk seit Beginn 2009



Abb. 1 Ansicht des Innenhofes Richtung Süden, 2009.³⁶
Foto: STRABAG Real Estate GmbH.

³⁶ Die Abbildung befindet sich als Farbfoto unter der Bezeichnung Bild 2 im Anhang I. Fotoverzeichnis, Fotodokumentation.

³⁷ s. Bild 1 im Anhang I.

³⁸ Die Erläuterung des Begriffes befindet sich im Glossar.

³⁹ Vgl. Anhang III, Lageplan (Drehbahn 47-48, 20354 Hamburg).

⁴⁰ Vgl. Anhang II Eigentums- und Nutzungshistorie.

⁴¹ Auskunft von Hr. Neuwald, STRABAG Real Estate GmbH.

aufgewertet. Hierzu werden sowohl die einzelnen Bestandsetagen entkernt und neu aufgebaut, als auch das Gebäude straßenseitig von zwei auf acht-, und hofseitig von zwei auf sechs Vollgeschosse aufgestockt. Die vierflügelige Hofanlage mit dem glasüberdachten, stählernen Tragwerk im Innenhof des Erdgeschosses soll als Ensemble erhalten bleiben und wurde vor dem Beginn der Bauarbeiten demontiert (Oktober 2008). Die Unterbringung der Remisentore erfolgte in einer Halle ⁴² in Moorburg (Hamburg). Die Konstruktionsteile des Dachtragwerkes wurden auf dem Außenhof eines Stahlbetriebes ⁴³ in Georgswerder (Hamburg) verwahrt. Von den zehn ehemaligen Remisen sollen zwei als Mitarbeiterrestaurant mit großflächigen Außensitzplätzen genutzt werden, die übrigen acht als Büro- und Konferenzbereiche bzw. als Einzelhandelsflächen. Unter der gesamten Fläche des Innenhofes ist der Bau einer Tiefgarage geplant. Die zentrale Fußgängererschließung des Gebäudes soll über ein neu gestaltetes Foyer (drehbahnseitig) erfolgen. Die Haupteerschließung innerhalb des Gebäudes soll durch zwei Treppenkerne mit Aufzügen ermöglicht werden. Im vorderen Teil wird westlich hierzu ein neues Treppenhaus mit einer Doppelaufzugsgruppe eingebaut. Im östlichen Teil, ebenfalls im Vorderhaus, entsteht ein neuer Aufzug. Die angrenzende Bestandstreppe ergänzt diesen zweiten Erschließungskern. Nach der Fertigstellung des Bauvorhabens, soll das Dachtragwerk wieder gemäß seiner Ursprungssituation an gleicher Position aufgebaut werden. Die mit Draht durchzogene historische Glaseindeckung soll komplett durch Verbundsicherheitsglas ersetzt werden. ⁴⁴

Der Auftrag einer Bestandsaufnahme sowie der Betreuung weiterer restauratorischer und konservatorischer Maßnahmen wurde an den Restaurator und Schmiedemeister Stefan Lasch-Abendroth ⁴⁵ vergeben.

⁴² Moorburger Elbdeich 263, 21079 Hamburg.

⁴³ Stahl – Maschinenbau GmbH, Georgswerder Bogen 13A, 21109 Hamburg.

⁴⁴ Auskunft von Hr. Neuwald, STRABAG Real Estate GmbH.

⁴⁵ Behringstr. 34, 22763 Hamburg.

3.2 Beschreibung des Dachtragwerkes

Das Gebäude der „Alten Post“ besitzt die Form eines Karrees⁴⁶ und umschließt somit einen rechteckigen Innenhof.⁴⁷ Dieser Innenhof, auch Lichthof genannt, wird in seiner waagerechten Ausdehnung von einem Tragwerk mit etwa 15 m Breite, 43 m Länge und 8,6 m Höhe überdacht. Die Stahlfläche des Tragwerkes umfasst circa 720 m².⁴⁸ Es liegt in einer Höhe von 4,86 m auf einem den Hof horizontal umlaufenden Traufgesims aus Stahlbeton auf.⁴⁹ Das Gesims wird zusätzlich von Konsolen unterstützt, die in regelmäßigen Abständen angebracht sind. Die Stahlkonstruktion zeigt mit ihren schräg abfallenden Flächen die Form eines Walmdaches, zusammengesetzt aus Fachwerkbindern, Trägern, Pfetten und Glasleisten sowie dem Dach aus Glasplatten. Unzählige Niete und Schrauben in unterschiedlichen Größen verbinden die einzelnen Elemente. Der First wird von dem Oberlicht gebildet, welches die Form des Walmdaches erneut aufgreift. Ein Abstand - auch Hutze genannt - zwischen der Überdachung des Oberlichtes und der darunter liegenden Konstruktion lockert den monumentalen Charakter des Dachtragwerkes auf und gewährleistet die Luftzirkulation im Hof.⁵⁰

Die detaillierte Betrachtung der Stahlkonstruktion zeigt einen annähernd dreieckigen „Querschnitt“, welcher durch vier baugleiche Fachwerkbinder gebildet wird. Die Binder sind in regelmäßigen Abständen angeordnet und zeigen die Form spitz zulaufender Scherenbinder mit schrägen Streben zur Stabilisierung von Ober- und Untergurt (Abb. 3).

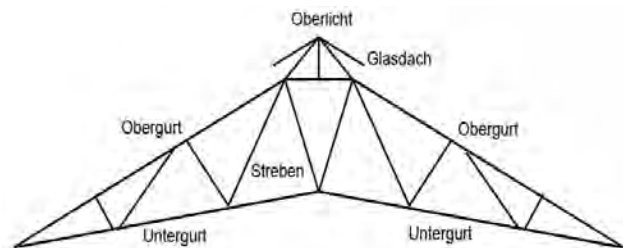


Abb. 3 Vereinfachte Darstellung eines Scherenbinders mit den schrägen Streben zwischen Ober- und Untergurt, sowie dem Oberlicht.

⁴⁶ Die Erläuterungen zu den bautechnischen und architektonischen Begriffen befinden sich im Glossar.

⁴⁷ s. Anhang III, Lageplan.

⁴⁸ Information bezogen von Stefan Lasch-Abendroth.

⁴⁹ s. Bild 3 in Anhang I.

⁵⁰ s. Bild 4 und Bild 5 im Anhang I.

An den Stirnseiten des Dachtragwerkes befindet sich jeweils ein Walmbinder. Dieser unterscheidet sich in seiner Ausführung vom Scherenbinder (Abb. 4). Ober- und Untergurt bilden ein Trapez. Auch hier befinden sich schräg sitzende Streben im Zwischenraum. Die Fachwerkbinder und Walmbinder werden nun wiederum mit in Längsrichtung angebrachten Pfetten verbunden.⁵¹

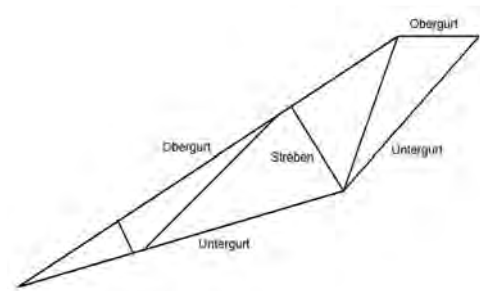


Abb. 4 Vereinfachte Darstellung eines Walmbinders mit den schrägen Streben zwischen Ober- und Untergurt.

Zusätzlich dazu befindet sich an der Stirnseite in südlicher Ausrichtung ein mittig angebrachter Walmträger⁵² und drei Walmträger⁵³ - mittig, links und rechts daneben - in nördlicher Ausrichtung.⁵⁴ Einzelne Versteifungen in

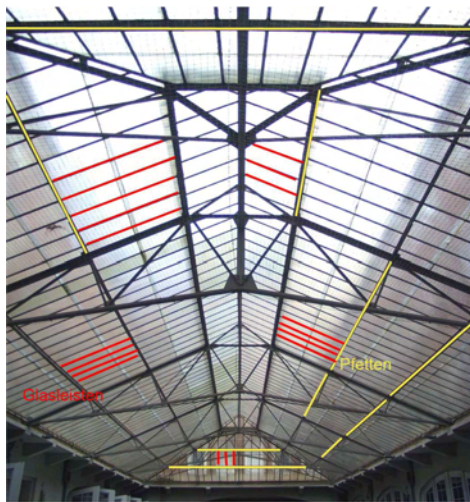


Abb. 5 Die Fachwerkbinder, das Oberlicht, die Pfetten (gelb) und die Glasleisten (rot) in nördlicher Richtung.
Foto: STRABAG Real Estate GmbH; Überarbeitung von der Diplomatin.

Längsrichtung, zwischen den (mittigen) Fachwerkbindern geben der Konstruktion zusätzlichen Halt.⁵⁵ Im rechten Winkel zu den Pfetten liegen dann die Glasleisten auf der Stahlkonstruktion (Abb. 5). Sie dienen als Einfassung für die Drahtglas-Platten. Die Endpunkte der Binder sind abermals mit Pfetten verbunden, den Traufpfetten. Sie liegen auf dem Traufgesims und werden dort mit Hilfe von Ankern befestigt. Die Endpunkte der Binder selbst werden mit Gleitlager-Ankern oder festen Ankern am Traufgesims fixiert.⁵⁶

⁵¹ s. Anhang IV Katalogisierung des Bestands, Pfetten.

⁵² s. Bild 6 im Anhang I.

⁵³ s. Bild 7 im Anhang I.

⁵⁴ s. Anhang IV, Walmträger.

⁵⁵ s. Anhang IV, Versteifungen.

⁵⁶ s. Anhang IV, Anbindungen; s. Bild 13 im Anhang I.

Das Oberlicht nimmt nicht nur – wie bereits erwähnt – die Ausführung als Walmdach erneut auf, sondern zeigt auch eine sehr ähnliche Konstruktion. An den Stirnseiten befindet sich jeweils ein Walmfirst⁵⁸. Dazwischen erstreckt sich auf der gesamten Länge des Tragwerkes der Firstbinder⁵⁹, stabilisiert durch die oberen Bereiche der vier Fachwerkbinder (Abb. 3 und Abb. 6). Die



Abb. 6 Die Konstruktion des Oberlichtes: der Firstbinder, die Glasleisten und die Fachwerkbinder.⁵⁷
Foto: STRABAG Real Estate GmbH.

unterschiedlichen Winkel des Oberlichtes (ca. 110°) und der des darauf liegenden Daches (130°) bilden dann die sog. Hutze. Um auch diesem Zwischenraum Stabilität zu verleihen, wurde ein Lüftungsgitter angebracht. Die Absperrung mit Maschendrahtzaun Soll vor Laub und Vogeleinflug schützen (Abb. 7).

In der Nordwest-Ecke und in der Südost-Ecke befindet sich jeweils ein Fenster mit einer Feuerleiter (im Inneren).⁶¹ Sie wurden vermutlich während einer nachträglichen Umbaumaßnahme⁶² gemäß Brandschutzbestimmungen im Dachtragwerk integriert.

Der Stahl des Tragwerkes wurde vermutlich als Walzstahl in unterschiedlichen Profilen angefertigt.⁶³



Abb. 7 Das Lüftungsgitter des Oberlichtes. Die mit Kittmasse verfüllten Fugen zwischen Glas und Glasleisten, so genannte Kittfasen.⁶⁰
Foto: Stefan Lasch-Abendroth.

⁵⁷ s. Bild 8 im Anhang I.

⁵⁸ s. Anhang IV, Walmfirste.

⁵⁹ s. Anhang IV, Firstbinder.

⁶⁰ s. Bild 9 im Anhang I.

⁶¹ s. Bild 10 und Bild 11 im Anhang I.

⁶² Auskunft von Stefan Lasch-Abendroth. Der Zeitpunkt der Umbaumaßnahme ist nicht bekannt.

⁶³ U-Profile, T-Profile und L-Profile.

Die Demontage des Dachtragwerkes fand am 29.10.2008 statt.⁶⁴ Die Kittfasen, welche zur Befestigung der Glasplatten dienten wurden mit Spachteln entfernt, die Drahtglasplatten abgenommen und die Stahlkonstruktion durch Lösen der entsprechenden Schraubverbindungen sukzessiv auseinander genommen.⁶⁵ Anschließend wurden die Einzelteile zu einer Stahlbaufirma transportiert und dort zur Lagerung auf dem Außenhof platziert.⁶⁶

3.3 Erste visuelle Untersuchung des Oberflächenzustandes

Die Untersuchungen fanden am demontierten Dachtragwerk auf dem Außenhof des Stahlbetriebes statt. Auf den ersten Blick befindet sich die Oberfläche in einem moderaten, leicht verschmutzten Zustand. Die Stahlkonstruktion ist mit einem grauen, gleichmäßig glänzenden Decklack versehen. Die Beschichtung scheint lediglich an den Stellen der gelösten Schraubverbindungen beschädigt und verlustig zu sein.⁶⁷

Bei genauerer Betrachtung ist allerdings festzustellen, dass die Kanten vieler Stahlelemente Schäden in den Anstrichen aufweisen. Die ebenen Flächen sind von kleinen unzähligen, punktuellen Unterrostungen gezeichnet.⁶⁸ Besonders die Glasleisten, von denen während der Demontage die Kittfasen mit Spachteln entfernt wurden, zeigen einen hohen Verlust der Beschichtung. Durch die Lagerung im Außenbereich und den daraus resultierenden Feuchtigkeitseintrag schälen sich die Anstriche dort bereits großflächig ab.⁶⁹ Auf den Stößen, der einst durch Schrauben miteinander verbundenen Konstruktionsteile, befindet sich außer einer roten Grundierung kein weiterer flächiger Anstrich.⁷⁰

⁶⁴ Die Demontage wurde von der Stahlbaufirma Stahl – Maschinenbau GmbH, Georgswerder Bogen 13A, 21109 Hamburg durchgeführt.

⁶⁵ s. Bild 12 und Bild 13 im Anhang I. (Die Nietverbindungen wurden nicht gelöst.)

⁶⁶ s. Bild 14 und Bild 15 im Anhang I.

⁶⁷ s. Bild 14 und Bild 15 im Anhang I.

⁶⁸ s. Bild 16 und Bild 17 im Anhang I.

⁶⁹ s. Bild 18 im Anhang I.

⁷⁰ s. Bild 19 im Anhang I.

Vermutlich wurde der Stahl nach der Herstellung mit dieser roten Grundierung behandelt, auf den Hof der „Alten Post“ transportiert, montiert und erst abschließend mit weiteren Konservierungsschichten versehen. Einzelne Laufspuren anderer Anstriche auf mit dem Pinsel nicht zu erreichenden Flächen bzw. Zwischenräumen können diese Vorgehensweise belegen.⁷¹ In allen Bereichen bei denen die Stahloberfläche durch Schäden in der Beschichtung, aber auch durch das Lösen von Verbindungsstellen zum Vorschein gekommen ist, können die Erscheinungen punktueller bis ebenmäßiger Korrosion, sowie Spaltkorrosion festgestellt werden. An den Anbindungen (Anker) zum Traufgesims – zwischen Stahl und Beton – ist korrosionsbedingt bereits eine deutliche Volumenzunahme zu verzeichnen.

Zur genaueren Untersuchung des Aufbaus der Beschichtung des Dachtragwerkes wurde vor Ort eine Farbtreppe auf der ebenen Fläche eines Fachwerkbinders (Binder 5⁷³) von etwa 105 x 20 mm angelegt. Bei dem



Abb. 8 Farbtreppe auf Binder 5.
Schichtaufbau von links nach rechts: grau, orange, grün-schwarz, dunkelgrün, grün, rot-braun, Substrat.⁷²

Vorgang werden in aller Regel die einzelnen Schichten graduell abgetragen. Der so ermittelte Beschichtungsaufbau (Abb. 6) zeigt links eine graue, glänzende Deckschicht. Darunter folgen eine orange, eine dunkelgraue, eine dunkelgrüne, eine grüne und eine rot-braune Schicht. Das letzte Feld (rechts) zeigt das Substrat Stahl. Der Farbton der grauen Deckschicht kann nach dem genormten RAL-Farbsystem mit hoher Wahrscheinlichkeit dem Farbton RAL 7045 Telegrau 1 oder RAL 7046 Telegrau 2 zugeordnet werden.⁷⁴ Die Farben wurden 1992⁷⁵ von der Deutschen Bundespost - Telekom eingeführt.

⁷¹ s. Bild 20 im Anhang I.

⁷² s. Bild 21 im Anhang I.

⁷³ s. Anhang IV, Binder.

⁷⁴ Die Zuordnung wurde von Dipl.-Rest. M. Kaufmann nach dem RAL-System vorgenommen.

⁷⁵ Vgl. www.wikipedia.org (Stand 23.02.2010).

3.4 Konstruktionselemente für weitere Untersuchungen

Demontagebedingt konnten für intensivere Untersuchungen einzelne kleinere Konstruktionselemente zur Verfügung gestellt werden. Dieses fand unter Absprache mit den zuständigen Bauherren, der Denkmalpflege und dem beauftragten Restaurator Stefan Lasch-Abendroth statt.

Bei den Stahlelementen handelt es sich um fünf kleine und vier große Laschen, zwei große und zwei kleine Winklelemente sowie 21 Traufanker.

Die Traufanker dienen zur Befestigung der horizontalen Traufpfetten mit dem Gesims.⁷⁶ Von insgesamt 21 zur Verfügung stehenden Ankern sollen 14 für

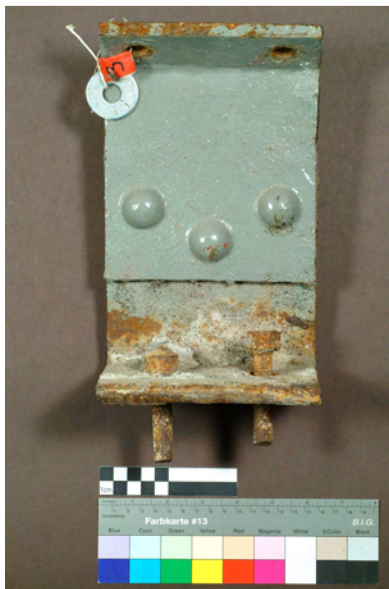


Abb. 9 Traufanker R3.⁷⁷

weitere Untersuchungen genutzt werden. Es ist vorgesehen, Messungen zur Haftzugfestigkeit der historischen Beschichtung, sowie Versuche zur Vorbereitung der Oberfläche für eine anschließende Konservierung der Fehlstellen durchzuführen.⁷⁸ Die Anker besitzen eine durchschnittliche Länge⁷⁹ von 245 mm, eine Breite von 150 mm und eine Materialstärke von etwa 10 mm. Sie sind aus zwei abgewinkelten, sich leicht überlappenden und miteinander vernieteten Platten zusammengesetzt (Abb. 9).

Der untere Winkel beträgt 90°. Sein waagerechter Schenkel liegt auf dem Traufgesims auf. Zwei einbetonierte Schraubstifte sorgen für zusätzlichen Halt. Der Winkel des oberen Schenkels, an dem die Traufpfetten befestigt waren beträgt etwa 120°. Die durch das Lösen der Schrauben in diesem Bereich nun sichtbaren Bohrlöcher

⁷⁶ s. Bild 22 im Anhang I.

⁷⁷ s. Bild 23 im Anhang I.

⁷⁸ Traufanker R1, R3, R4, R7, R8, R9, R12, GR1, GR2, GR3, GR4, GR5, GR8, GR11.
s. Anhang IV Katalogisierung des Bestands, Anbindungen.

⁷⁹ Die Maße der Konstruktionselemente konnten bedingt durch die Schichtdicke der Anstriche nicht exakt ermittelt werden.

sind leicht korrodiert. Der einst von den Schraubköpfen bedeckte Bereich liegt jetzt frei. Bei einigen dieser Bohrlöcher sind durch die fehlende Beschichtung noch die Umrisse des einst dort befestigten Schraubkopfes zu sehen. Die Beschichtung ist beschädigt und größtenteils beim Lösen, vermutlich durch Torsionskräfte⁸⁰ abgeplatzt. Ebenso sind Schäden an den Kanten vorzuweisen. Das Schichtpaket scheint insgesamt relativ dick zu sein. Einzelne bis viele kleine Blasen auf der Fläche der grauen Beschichtung verweisen nach DIN EN ISO 4628⁸¹ auf einen Blasengrad⁸² von m2/ g2 bis m3/ g3. Wenige dieser erhabenen Stellen liegen korrosionsbedingt (Durchrostungen) offen und können nach der genannten Norm einem Rostgrad⁸³ von Ri 1 bis Ri 2 (0,05 % bis 0,5 %) zugeordnet werden.

Bis auf kleinere Abweichungen in den Maßen sind alle Anker annähernd identisch. Auffällig ist allerdings, dass die drei Niete zur Verbindung der beiden Platten bei drei Ankern etwa 6 mm kleiner sind. Des Weiteren ist anhand leicht beschädigter Stellen in der Beschichtung zu erkennen, dass von den 14 Ankern vermutlich vier den Beschichtungsaufbau des bereits näher untersuchten Fachwerkbinders 5⁸⁴ aufweisen, die restlichen zehn jedoch in den letzten bzw. obersten Schichten Unterschiede aufzeigen. Unter der grauen Deckschicht befindet sich ein roter Anstrich⁸⁵, darunter abermals ein Grau. Die darunter folgenden Schichten entsprechen optisch (erkennbar am Bruchbild der beschädigten Stellen) wieder dem bereits genannten Farbaufbau. Auf diese Abweichung, sowie die detaillierte Analyse des gesamten Schichtpaketes wird in Kapitel 5.1 weiter eingegangen. Die Rückseite ist nur teilweise mit der roten

⁸⁰ Auskunft von Dipl.-Ing. Andreas Schultz, FHP.

⁸¹ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 4, DIN ISO EN 4628.

⁸² Der Blasengrad wird mittels eines Kennbuchstabens und einer Kennzahl für die Häufigkeit der Blasen je Flächeneinheit, sowie mittels eines Kennbuchstabens und einer Kennzahl für die Größe der Blasen angegeben.

Der Blasengrad kann durch den Vergleich der Bilder in der Norm festgestellt werden.

⁸³ Der Rostgrad beschreibt den Anteil an von Korrosion durchbrochenen Flächen. Er wird ebenfalls durch den Vergleich der in der Norm gezeigten Bilder festgelegt.

⁸⁴ s. Kapitel 3.3, S. 16.

⁸⁵ s. Bild 24 im Anhang I.

Grundierung beschichtet. Hier sind oberflächlich Korrosionsprodukte zu erkennen. Besonders im Bereich des unteren Winkels und der Stiftschrauben ist eine stark fortgeschrittene korrosionsbedingte Volumenzunahme festzustellen. An einigen Stellen sind Betonreste auf dieser unteren Hälfte der Vorderseite zu sehen.

Die zwei kleinen und großen winkelförmigen Konstruktionselemente dienen zur Verbindung der Pfetten sowie der Traufpfetten. Die Schenkel bilden bei einer Materialstärke von ca. 6,5 mm einen 90° Winkel. Außerdem sind sie bei den kleinen Winkelementen durchschnittlich jeweils 83 mm lang und 60 mm breit, bei den großen 100 mm lang und 60 mm breit. Für die Befestigung mit Schrauben befinden sich eine oder zwei Bohrungen in den Flächen (Abb. 10 und Abb. 11). Auch hier ist die Beschichtung im Bereich der Bohrungen und der Kanten beschädigt. Der graue Decklack ist nicht mehr vorhanden. Die darunter



Abb. 10 Kleiner Winkel 1, Vorderseite 1 (WK1-V1).⁸⁶



Abb. 11 Großer Winkel 1, Vorderseite 1 (WG1-V1).⁸⁷

liegenden Anstriche sind ebenfalls zum Teil verlustig. An einigen Stellen sind Korrosionsprodukte auf dem Substrat zu erkennen. Die Flächen der optisch intakten, glänzenden, grauen Deckbeschichtung zeigen leichte Unebenheiten, vereinzelt kleine Blasen (Blasengrad von m2/ g2) und Laufspuren.

Mit Hilfe der Winkelemente soll die Haftung der historischen Beschichtung im Grenzflächenbereich untersucht werden, d.h. der Bruchbereich mit vorhandener, unvollständiger und fehlender historischer Beschichtung.

⁸⁶ s. Bild 25 im Anhang I.

⁸⁷ s. Bild 26 im Anhang I.

Die kleinen und großen Laschen (Abb.12 und Abb. 13) verbinden ebenfalls die einzelnen Pfetten bzw. die Traufpfetten (in Längsrichtung) miteinander. Die Maße der fünf kleinen Laschen betragen durchschnittlich 123 x 50 x 6 mm, die Maße der großen Laschen durchschnittlich 187 x 71 x 8 mm. Auch diese Konstruktionselemente weisen die bereits beschriebenen Schäden im Bereich der Bohrungen und Kanten auf. Die Oberfläche der kleinen Laschen ist allerdings im Vergleich zur Beschichtungen der Winkel, Anker und großen Laschen sehr uneben, porös und übersät mit kleinen Blasen und Runzeln (Blasengrad m4/ g5). Auf der Fläche sind zahlreiche offen liegende Stellen zu sehen (Rostgrad Ri 4). Die sonst eher glänzende graue Deckschicht wirkt hier durch die vielen Unebenheiten und sichtbaren Unterrostungen und Durchrostungen matt bis rau. Anhand des Bruchbildes der Fehlstellen lässt sich erkennen, dass bei den kleinen Laschen – wie bereits bei den Traufankern bemerkt – Unterschiede im Beschichtungsaufbau vorliegen. Hier besteht der Unterschied allerdings nicht in der vermuteten Anwesenheit einer roten Schicht unter der grauen Deckschicht, sondern in der Abwesenheit der orangen Schicht. Weiterhin scheint die Oberfläche hier deutlich stärker verschmutzt zu sein. Um die offen liegenden Stellen herum sind die Anstriche bräunlich verfärbt. Das Substrat ist korrodiert.



Abb. 12 Kleine Lasche LK1,
Vorderseite.⁸⁸

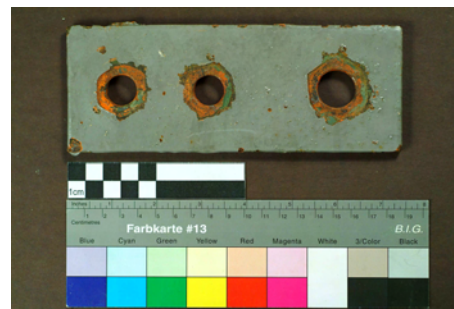


Abb. 13 Große Lasche LG1,
Vorderseite.⁸⁹

Die Laschen werden im weiteren Verlauf der Diplomarbeit zur Ermittlung eines geeigneten Beschichtungssystems verwendet, mit welchem die Fehlstellen konserviert werden könnten.

⁸⁸ s. Bild 27 im Anhang I. Lasche LK2 bis Lasche LK5 - Bild 28 bis Bild 31 in Anhang I.

⁸⁹ s. Bild 32 im Anhang I. Lasche LG2 bis Lasche LG4 – Bild 33 bis Bild 35 in Anhang I.

4 Vergleichsobjekte zur Problematik des Erhaltes von Altbeschichtungen

4.1 Das Geländer auf der Pergolawehrmauer von Schloss Stolzenfels

Schloss Stolzenfels befindet sich am Rhein bei Koblenz und wird seit 2009



Abb. 14 Teilansicht des Geländers auf der Pergolawehrmauer. Grundierung mit Bleimennige an Trenn- bzw. Schweißstellen. Foto: Dipl.-Chem. & Freischaffender Restaurator Wolfgang Conrad.

umfangreich restauriert und saniert. Das Geländer am Wehrgang auf der Pergolamauer des Pergolagartens ist vermutlich bauzeitlichen Ursprungs, etwa aus dem Jahr 1846. In Folge von Sanierungsarbeiten am Wehrgang musste es an einigen Stellen durchtrennt und demontiert werden. Für die Wiederaufstellung wurden die einzelnen Teile mittels Schweißungen zusammengefügt. Die anschließende Überarbeitung der Montagenähte erfolgte mechanisch. Aufgrund dieser notwendigen Arbeiten war die historische Beschichtung nun stellenweise verlustig. Auf der übrigen Oberfläche des Geländers waren Durchrostungen der Beschichtung von 30-40% festzustellen. Die Vorgabe der Ausschreibung erforderte eine

partielle Ausfleckung der beschädigten Bereiche nach Befund⁹⁰. Demnach wurden die entsprechenden Stellen der Altbeschichtung mit Drahtbürsten von losem Schmutz und Korrosionsprodukten befreit und anschließend mit einer einschichtigen Vorkonservierung, einer Rostschutz-Bleimennige, grundiert.⁹¹ Der zweifache Deckanstrich erfolgte mit einem Öllack, wobei dieser auf die komplette Fläche des Geländers aufgetragen wurde.⁹²

⁹⁰ Befundbericht von Dipl.-Rest. Martin Kaufmann: Grundierung – „Mennige / Anlassgrund“.

⁹¹ Öl-Bleimennige orange, klassisch seidenmatt OM-200419, Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG, Wuppertal.

⁹² Informationen über die Arbeiten am Geländer bezogen von Dipl.-Chem. & Freischaffender Restaurator Wolfgang Conrad.

4.2 Gusseiserne Fensterrahmen am Rathaus in Engelskirchen

Das Gebäude entstand um 1880. Die zu Beginn der Restaurierung im Jahr 2000 vorliegende Beschichtung der Gusseisen-Fensterrahmen stammt vermutlich aus Mitte der 80er Jahre (Umbaumaßnahmen). Die Vorgabe des Auftraggebers war, eine möglichst witterungsbeständige und haltbare Reparaturbeschichtung aufzubringen. Somit wurde die



Abb. 15 Das Rathaus in Engelskirchen.
Foto: Dipl.-Rest. Martin Kaufmann.

Instandsetzung der Altbeschichtung der Fensterrahmen mit einem Polyurethansystem⁹³ als Grundierung und Zwischengrund vorgenommen. Der Auftrag eines Alkydharz-Decklackes erfolgte auf der ganzen Fläche der historischen Rahmen.⁹⁴

4.3 Der Glockenstuhl des Ulmer Münster



Abb. 16 Der Ulmer Münster während der Sanierungs- und Restaurierungsarbeiten.
Foto: Dipl.-Rest. Martin Kaufmann.

Der Glockenstuhl (Dachstuhl) des Ulmer Münster entstand um 1870/ 1885. Die genietete Konstruktion reicht über drei Stockwerke. Sie wurde vermutlich nach dem Krieg mit einem PVC-Lack versehen, der mit den Jahren einen hohen Verwitterungsgrad zeigte. Die Schichten hatten sich bereits großflächig vom Untergrund gelöst. Besonders in den Zwischenräumen und Spalten war eine deutliche Volumenzunahme, bedingt durch Korrosionsvorgänge zu

⁹³ EK-PUR-System (Reaktionsgrund, Gelbsilber-Zwischengrund, Alkydharz-Decklack in grau, Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG, Wuppertal.

⁹⁴ Informationen über die Arbeiten an den Fenstern bezogen von Dipl.-Rest. Martin Kaufmann.

verzeichnen. Die Restaurierung des Glockenstuhls wurde von 2007 bis 2010 vorgenommen. Entsprechend der Ausschreibung der Denkmalpflege des Landes Baden-Württemberg erfolgte eine partielle Handentrostung und eine anschließende Reparatur der historischen Beschichtung mit einem klassischen Ölsystem⁹⁵. Dazu wurden die Zwischenräume und Fehlstellen mit einer Penetrationsmennige behandelt. Anschließend erfolgte eine partielle Ausfleckung mit einer Bleimennigegrundierung. Den Abschluss bildeten zwei Öl-Decklack-Anstriche über die gesamte Fläche der Stahlkonstruktion, sowie ein transparenter Firnis zum Schutz vor einem möglichen Kreiden der Ölfarben.



Abb. 17 Instandsetzung der Altbeschichtung mit Bleimennige-Grundierung.
Foto: Dipl.-Rest. Martin Kaufmann.

Nach Korrosionsschutzbestimmungen sollte die Beschichtung nach Beendigung der Instandsetzungsarbeiten eine Sollsichtdicke⁹⁶ von 180 bis 240 μm aufweisen. Die Überprüfung dieser weiteren Vorgabe wurde von den Bauherren bei der Abnahme vorgenommen.⁹⁷

4.4 Der Eiffelturm in Paris

Die Beschichtung des beeindruckenden, über 300 m hohen Baudenkmals aus dem Jahr 1887/ 89 wird etwa alle sieben Jahre überarbeitet. Dabei werden die jeweiligen Etagen farblich voneinander nuanciert. In der Literatur werden folgende Beschichtungszyklen aufgelistet:

1892: Grundbeschichtung mit Leinöl, Deckbeschichtung mit Bleiweiß und Ocker in Leinöl.

1899: Deckbeschichtung mit Bleiweiß und Ocker in Leinöl.

⁹⁵ Produkte bezogen von Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG, Wuppertal.

⁹⁶ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008, DIN EN ISO 12944-5.

⁹⁷ Informationen über die Instandsetzungsarbeiten am Glockenstuhl bezogen von Dipl.-Rest. Martin Kaufmann.

- 1907: Ausfleckung der Altbeschichtung mit Bleimennige in Leinöl,
 Deckbeschichtung mit Eisenoxid/ Eisenglimmer in Leinöl.
- 1914 und 1917: unbekannt.
- 1924, 1932, 1939, 1947 und 1955: Ausfleckung mit Bleimennige in Leinöl,
 Deckbeschichtung mit Eisenoxid/ Eisenglimmer in Leinöl.
- 1962 und 1969: Ausfleckung der Altbeschichtung mit Bleimennige in Leinöl,
 Deckbeschichtung mit Eisenoxid, Bleisilicochromat und Zinkweiß in
 Leinöl/ Holzöl/ Alkydharz.⁹⁸

4.5 Das Posttor (Südtor) vom Schlosspark Sanssouci



Abb. 18 Hist. Abbildung des Posttores.
 Quelle: Dipl.-Rest. Sunniva Vohland (SPSG).

Das schmiedeeiserne Tor wurde 1893 mit zwei weiteren Toren als Ensemble für die Weltausstellung in Chicago angefertigt. Seine letztendliche Aufstellung als Südtor erfuhr es schließlich 1896 im Schlosspark Sanssouci. 1997 wurde es aufgrund seines schlechten Erhaltungszustands demontiert und im Jahr 2008/ 2009 restauriert. Die Oberflächenvorbereitung bzw. Reinigung erfolgte mittels Wasserstrahlverfahren. Dies ermöglichte den Abtrag locker aufliegender Anstriche und Korrosionsprodukte. Anschließend fand eine Vorbehandlung schwer zugänglicher Bereiche und Verbindungsstellen mit Penetriermennige⁹⁹ statt. Die

Grundierung der Fehlstellen der historischen Beschichtung erfolgte mit einer Ölbleimennige. Der abschließende Deckanstrich wurde – wie auch die vorherigen Anstriche – nach Befund mit einem grünen Öl-Alkydharz durchgeführt.¹⁰⁰

⁹⁸ Vgl. OETEREN 1980, S. 455 ff.

⁹⁹ Anstrichsystem der Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG, Wuppertal.

¹⁰⁰ Informationen bezogen von Dipl.-Rest. Sunniva Vohland (SPSG).

4.6 Die Wuppertaler Schwebebahn



Abb. 19 Teilabschnitt der Schwebebahn. Quelle: www.stadtnetz-wuppertal.de (Stand 25.02.2010)



Abb. 20 Detailansicht eines Knotenpunktes: Ausfleckung der Fehlstellen. Foto: Dipl.-Ing. Mathias Conrads.

Die Wuppertaler Schwebebahn wurde um 1900 in genieteter Fachwerkkonstruktion erbaut und ist noch heute als Verkehrsmittel in Betrieb. In Abständen von etwa zehn bis zwölf Jahren wird die Beschichtung der stählernen Tragkonstruktion überholt. Dazu werden die Fehlstellen mit Drahtbürsten und Schabern handentrostet und dann mit zwei Grundanstrichen Öl-Bleimennige¹⁰¹ grundiert.

Abschließend folgt ein zweifacher Auftrag mit einem Öl-Decklack (ebenfalls nur partiell).¹⁰²

4.7 Die Umzäunung der Mainzer Nagelsäule auf dem Liebfrauenplatz

Im Jahr 1916 wurde das Nageldenkmal zur Erinnerung an die Kriegsgefallenen eingeweiht. Die Nagelsäule ist in ihrer Ausführung mit drei im Kreis angeordneten Steinsäulen verbunden. Zwischen den Steinsäulen stehen drei dem Radius folgende, verzierte Eisengitter als Umzäunung.

2007 wurde die Nagelsäule demontiert und auf dem Innenhof des Museums für Antike Schifffahrt mit einer Stützkonstruktion gesichert, eingerüstet und abgeplant. Die beschränkte Ausschreibung der Stadtverwaltung Mainz sah eine

¹⁰¹ Anstrichsystem der Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG. Wuppertal.

¹⁰² Informationen bezogen von Dipl.-Ing. Mathias Conrads.

Musterrestaurierung des Denkmals vor. Dazu wurden exemplarisch sechs Flächen ausgewählt, an denen dann die Restaurierung und Konservierung stattfand. Die Musterfläche der Umzäunung umfasste ein Teilstück bestehend aus einem verzierten Pfosten und dem daran anschließenden eingerahmten Rautengitter (rechtes Feld der Umzäunung auf der Nordseite). Vorab konnte beobachtet werden, dass die Beschichtung dieser Flächen einen starken Verwitterungsgrad zeigte. Besonders die Deckschicht war bereits lose, teilweise verlustig und bis in darunter liegende Schichten von einem feinen Craquele durchzogen. Zum Teil hatten sich ganze Farbschollen gelöst. Korrosionsprodukte konnten vor allem im Bereich der Fugen und



Abb. 21 Mainzer Nagelsäule auf dem Liebfrauenplatz. Quelle: www.regionalgeschichte.net (Stand 18.02.2010)

Spalte festgestellt werden. Einige Profile waren zudem aufgrund der Korrosionsvorgänge und einer daraus resultierenden Volumenzunahme auseinander gedrückt worden.

Spalte festgestellt werden. Einige Profile waren zudem aufgrund der Korrosionsvorgänge und einer daraus resultierenden Volumenzunahme auseinander gedrückt worden.



Abb. 22 Partieller Korrosionsschutz mit Bleimennige. Foto: Dipl.-Rest. Christian Bode.



Abb. 23 Partieller Korrosionsschutz mit Bleimennige auf der Gitterfüllung. Foto: Dipl.-Rest. Christian Bode.

Die Reinigung der Musterflächen erfolgte mittels Trockeneisstrahlen mit Schnee. Dabei konnten lose Farbschollen, Schmutz, oberflächliche Verfärbungen und Korrosionsprodukte entfernt werden. Spalte und Fugen wurden mechanisch entrostet. Nach dieser Oberflächenvorbereitung wurde auf

die unzähligen Fehlstellen als Korrosionsschutzgrund Bleimennige aufgetragen. Darauf folgte retuschierend ein Alkydsystem und abschließend eine zweifache Wachsconservierung mit Cosmoloid H80 auf der gesamten Musterfläche.¹⁰³

4.8 Die ehemalige Kupfer-Silber-Hütte in Hettstedt

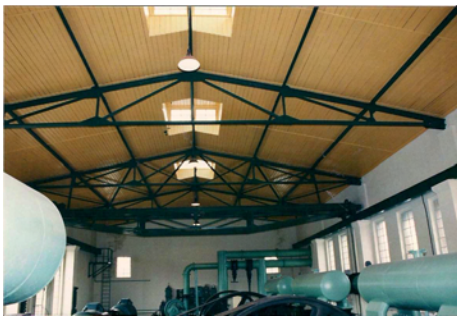


Abb. 24 Die Dachbinderkonstruktion der Kompressorenhalle. Foto: Dipl.-Chem. & Freischaffender Restaurator Wolfgang Conrad.

Auf dem Gelände des um 1926 entstandenen Industriedenkmals befindet sich eine heute stillgelegte Kompressorenhalle. Die Restaurierung und Konservierung der Dachbinderkonstruktion dieser Halle wurde 2007 fertig gestellt.

Der historische Farbaufbau wurde visuell mit Hilfe des RAL-Farbkartensystems bestimmt.

Es handelt sich vermutlich um eine

Eisenoxidrot-Grundierung, sowie eine Chromoxidgrün-Deckbeschichtung.

Zu Beginn der Arbeiten war eine Entfernung der losen und stark beschädigten, schlecht haftenden historischen Beschichtung notwendig. Dies geschah mittels Drahtbürsten und Spachteln.

Korrosionsprodukte waren kaum festzustellen (etwa 1%). Die anschließende Reparatur der Altbeschichtung wurde durch

Ausflecken der fehlerhaften Stellen mit einem Alkydharzgrund und -zwischengrund vorgenommen. Der Chromoxidgrün-Decklack, ebenfalls auf Alkydharzbasis, wurde auf die gesamte Stahlfläche aufgebracht.¹⁰⁴



Abb. 25 Altbeschichtung an einem Knotenpunkt der Konstruktion vor der Bearbeitung. Foto: Dipl.-Chem. & Freischaffender Restaurator Wolfgang Conrad.

¹⁰³ Informationen bezogen über Dipl.-Chem. & Freischaffender Restaurator Wolfgang Conrad (Vgl. BODE 2007).

¹⁰⁴ Informationen bezogen von Dipl.-Chem. Wolfgang Conrad (Vgl. CONRAD 1997, S. 26-29).

4.9 Hessisches Braunkohle-Bergbaumuseum Borken

Das Museum wurde 1992 eröffnet und bietet seinen Besuchern einen Überblick über die 400-jährige Bergbaugeschichte. In dem 3,5 Hektar großen besucherzugänglichen Themenpark „Kohle und Energie“ werden viele Exponate ausgestellt. Unter anderem verschiedene Typen von historischen Lokomotiven mit Anhängern.¹⁰⁵



Abb. 26 Lokomotive im Themen Park des Braunkohle-Bergbaumuseums Borken. Foto: Prof. Jörg Freitag (FHP).



Abb. 27 Oberleitungswagen im Themenpark des Braunkohle-Bergbaumuseums Borken. Foto: Prof. Jörg Freitag (FHP).

In den Jahren von 2002 bis 2007/ 2008 wurden die stählernen Massentransportmittel in mehreren Kampagnen restauriert und konserviert. Die Ausschreibung sah unter anderem eine Erhaltung der Altbeschichtungen vor. Aus diesem Grund wurden die beschädigten Oberflächen mittels Strahlen und Handentrostern für die anschließenden partiellen Konservierungsarbeiten vorbereitet. Zu Beginn wurden einige Bereiche der Objekte mit einem Polyurethanharz-System (EK-PUR-System¹⁰⁶), bestehend aus mehreren Grundanstrichen, einem Kunstharz-Decklack und einer abschließenden Schicht mit Schutzwachsdispersion behandelt.¹⁰⁷ Weitere Bereiche wurden mit einer Polyurethan-Grundierung und dem zweifachen Auftrag eines transparenten Polyurethan-Decklackes konserviert. Diese genannten Oberflächenbehandlungen entfalteten sich allerdings als problematisch. Neben anderen

¹⁰⁵ Vgl. <http://www.braunkohle-bergbaumuseum.de> (Stand 01.03.2010).

¹⁰⁶ Ein-Komponenten-Polyurethansystem der Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG, Wuppertal.

¹⁰⁷ Anstrichsystem der Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG, Wuppertal.

Schwierigkeiten traten farbliche Veränderungen in den Deckschichten und der Wachsdispersion auf. Daher wurde in späteren Kampagnen auf ein anderes Korrosionsschutzsystem, das harzhaltige Brantho-Korrux-System ausgewichen. Der Anstrich erfolgt nun mit einer zweifachen Grundierung, einem Decklack und einem abschließenden farblosen Lack im geforderten Wachsglanzgrad.¹⁰⁸ Dieses System verhielt sich unproblematisch und ermöglichte eine Nachbesserung mit gleichen Produkten ohne Schwierigkeiten, sowie eine Abnahme von Verschmutzungen ohne Verletzung der Beschichtung.¹⁰⁹

4.10 Weitere Recherchen und Überlegungen

Wie die vorangegangenen Beispiele zeigen, besteht für den Restaurator und Konservator also der Wunsch und Wille, nicht nur die Objekte an sich, sondern auch die historischen Beschichtungen instand zu halten. Die vorgestellten Maßnahmen stellen nur einige wenige Möglichkeiten dar. Auffällig ist jedoch der häufige Gebrauch von Bleimennige. Moderne Alternativen werden eher zaghaft eingesetzt.

Im Rahmen einer Facharbeit wurde ein Referenzkatalog mit insgesamt 55 historischen Objekten aus Eisen und Stahl zur Thematik der Verwendung des Korrosionsschutzes Bleimennige im 18., 19. und 20. Jahrhundert angelegt.¹¹⁰ Dabei konnte festgestellt werden, dass Bleimennige sowohl als Korrosionsschutz-Grundbeschichtungsstoff, als Grundbeschichtung auf historischen Anstrichen bzw. als Zwischenschicht und als Mittel zur Reparatur bzw. Ausfleckung von beschädigten Altanstrichen verwendet wurde. Auffällig war jedoch die hohe Anzahl an Objekten, bei denen der eigentliche bleimennigehaltige Grundanstrichstoff nicht als solcher verwendet wurde, sondern als Zwischenschicht bzw. Überbeschichtung historischer Anstriche.

¹⁰⁸ Anstrichsystem der Fa. Branth-Chemie A.V. Branth Hamburg.

¹⁰⁹ Informationen bezogen von Prof. Jörg Freitag (FHP) und Dipl.-Rest. Thomas Baldauf (Haber & Brandner GmbH Regensburg).

¹¹⁰ Vgl. BRÜCK 2009.

Wie sich bei mikroskopischen Untersuchungen herausstellte¹¹¹, konnte bei etwa 39 Objekten Bleimennige nachgewiesen werden. Auf 15 dieser Referenzen war Bleimennige als Korrosionsschutzgrundierung vorzufinden. An vier Objekten wurde explizit eine Ausfleckung der Altbeschichtung durchgeführt.¹¹²

Anhand der in diesem Kapitel (4) aufgeführten Beispiele sowie der in der Facharbeit aufgelisteten Objekte ist zu erkennen, dass der Konservator Reparaturarbeiten bei Altbeschichtungen vorzugsweise auf empirischer Grundlage mit dem traditionellen Korrosionsschutz Bleimennige vorgenommen hat. Dabei wurde in der Regel eine Ausfleckung mit Öl-Bleimennige-Grundierung durchgeführt und der darauf folgende Decklack über die gesamte Fläche des Objektes aufgebracht. In einigen Fällen wurde dieser klassische Grundierungsstoff von vorn herein auf die gesamte historische Oberfläche gebracht, der Decklack ebenfalls.¹¹³ Allerdings kann sich diese Vorgehensweise problematisch auf die Gesamtheit der Schichten auswirken. Eine zu dicke Schicht – historische Beschichtungen zeigen ohnehin zumeist eine hohe Anzahl an Anstrichen - ist anfälliger gegenüber mechanischer Belastung. Sie kann zum Beispiel durch Versprödung reißen und abplatzen. Außerdem ist die Tatsache zu unterstreichen, dass eine Öl-Bleimennige ihre Wirkung lediglich in Form eines Korrosionsschutz-Anstriches direkt auf dem Substrat entfalten kann.¹¹⁴ Wird sie als Beschichtung auf historischen Anstrichen verwendet, sorgt das aktive Pigment in seiner elektrochemischen Reaktion sowie mit dem Ölbindemittel durch die Verseifung sicherlich für eine stabile und gleichzeitig elastische Schicht, die direkte Korrosionsschutzwirkung bleibt allerdings aus.¹¹⁵ Hier stellt sich die Frage, warum dieser eigentliche Korrosionsschutzgrund-Beschichtungsstoff auf Altbeschichtungen aufgebracht wird. Die Verwendung der seit 2005 verbotenen Bleimennige wird im Korrosionsschutz oft mit der

¹¹¹ Vgl. BRÜCK 2009.

¹¹² Drei davon werden in den Kapiteln 4.4 bis 4.6 näher erläutert.

¹¹³ Vgl. BRÜCK 2009 (Referenzkatalog).

¹¹⁴ Vgl. SCHUSTER 1955.

¹¹⁵ Nähere Erläuterungen zur Öl-Bleimennige befinden sich in Kapitel 7.1.

Vorgabe von Ausschreibungen begründet. Der Metallkonservator soll im historischen Befund bleiben und demnach mit dem traditionellen Beschichtungsmittel arbeiten. Die erforderliche Sondergenehmigung wird erteilt. Die Recherchen der Facharbeit ergaben allerdings, dass Bleimennige zwar vielfach im historischen Befund vorkommt, jedoch in den meisten Fällen nicht als Korrosionsschutz-Grundierung.¹¹⁶ Aus welchem Grund wurde und wird Bleimennige denn nun eigentlich so oft verwendet? Vermutlich kann diese Frage mit der in der Praxis über Jahrhunderte gezeigten, hervorragenden Wirkung begründet werden. Des Weiteren ist Bleimennige im Gegensatz zu anderen Grundierungen sehr günstig. Der Konservator möchte richtig handeln und verwendet diesen Korrosionsschutz aufgrund des guten Rufes. Auch eignet sich der Anstrichstoff speziell zum Schutz von restrothaltigen Oberflächen¹¹⁷. Weitere Argumente wären die Neutralisierung von möglichen Korrosionsstimulatoren auf der Oberfläche und die Verträglichkeit der Öl-Bleimennige mit historischen Öl- und/ oder Alkydharzlacken. Vermutlich entstand somit die Schlussfolgerung, dass Bleimennige auch auf Altbeschichtungen schützend wirkt – hält sie auf Korrosion, dann hält sie auch auf defekten Farbschichten und dringt in die Fehlstellen im Anstrich ein. Nicht desto trotz sollte der Aspekt, unbedingt Bleimennige als dauerhaftes System zu verwenden, überdacht werden. Gerade bezogen auf die heutzutage gültigen Umweltschutz-Auflagen. Moderne Alternativen wurden in diesem Kapitel (4) kurz vorgestellt. Deren Anwendung ist nach Artikel 10 der Charta von Venedig von 1964 theoretisch gestattet, jedoch praktisch, besonders auf dem Gebiet von Ausfleckungen bzw. Instandhaltungen von Beschichtungen, noch nicht ausreichend erforscht. Mit der Diplomarbeit werden Lösungsansätze bezüglich dieser Thematik erarbeitet.

¹¹⁶ Vgl. BRÜCK 2009 (Referenzkatalog).

¹¹⁷ s. Anhang VIII, Technisches Datenblatt zu Bleimennige.

5 Untersuchung der Altbeschichtung des Hamburger Dachtragwerkes

Im folgenden Kapitel werden die Zusammensetzung und der Aufbau der historischen Beschichtung mit Hilfe unterschiedlicher Analysemethoden ermittelt. Des Weiteren wird der Zustand, insbesondere die Haftfestigkeit der Altbeschichtung in Anlehnung an die DIN-Normen mittels Haftzugfestigkeitsmessung, Gitterschnittprüfung und Kreuzschnittprüfung untersucht.¹¹⁸

5.1 Aufbau und Zusammensetzung der Altbeschichtung

Für die detaillierte Untersuchung des historischen Befundes wurden Proben des gesamten Schichtpaketes von Fachwerkbinder B5, von den Walmbindern WF2 und WF3, von Pfette 18 und von Traufanker R8 entnommen.¹¹⁹ Außerdem wurde der Traufanker zu diesem Zweck zertrennt¹²⁰, so dass der Zustand der historischen Beschichtung direkt auf dem Substrat untersucht werden konnte.

Die Untersuchung und Analyse der Beschichtung erfolgte in der Fachhochschule Potsdam von der Diplomantin mittels Mikroskopie und mikrochemischer Nachweise. Des Weiteren wurden eine Infrarotspektroskopie von Herrn Dr. Koesling im Deutschen Technikmuseum Berlin und eine Rasterelektronenmikroskopie von Herrn Dr. Prange im Deutschen Bergbaumuseum in Bochum vorgenommen.¹²¹

¹¹⁸ Sämtliche Untersuchungs- und Analysemethoden sind zerstörende Verfahren.

¹¹⁹ Die Lokalisierung der Konstruktionselemente befindet sich in Anhang IV.

¹²⁰ Der Traufanker R8 ist deformiert, so dass ein Wiedereinbau dieser Anbindung aus statischen Gründen ausgeschlossen werden kann. Der Trennvorgang wurde ausführlich dokumentiert und im Vorfeld genehmigt.

¹²¹ Bilder, Graphiken und Spektren befinden sich im Anhang V.

5.1.1 Mikrochemische Nachweise

Die Methode des mikrochemischen Nachweises eignet sich zur Ermittlung einzelner charakteristischer Hauptbestandteile oder Bindemittelstoffgruppen. Dabei kann bereits anhand mikroskopischer Beobachtungen die Eigenfarbe von Pigmenten erste Hinweise auf das Vorhandensein eines Elementes liefern. Die vorliegenden Proben¹²² einzelner Schichten werden gelöst beziehungsweise aufgeschlossen und mikrochemisch analysiert.¹²³

Erste Untersuchungen des Schichtaufbaus mit Hilfe einer dazu angelegten Farbtreppe bei Fachwerkbinder B5 zeigten eine rot-braune Schicht als Grundierung.¹²⁴ Darauf folgen zwei grüne Schichten, eine grau-schwarze Schicht, eine orange Schicht und abschließend ein grauer Decklack.¹²⁵ Aus den vorherigen Erläuterungen und Überlegungen¹²⁶ zur Verwendung von Korrosionsschutzstoffen könnte es sich bei der farbintensiven orangen Schicht um Öl-Bleimennige handeln und bei der rot-braunen Grundierung um einen Eisenoxidrot-Öllack oder auch eine durch Alterungsprozesse farbveränderte Bleimennigeschicht. Es wurden vorerst nur diese beiden Schichten aufgrund der genannten, relativ eindeutigen Vermutungen mittels mikrochemischer Nachweise genauer untersucht. Die grauen und grünen Schichten der historischen Beschichtung konnten aufgrund fehlender Erfahrungswerte nicht näher zugeordnet werden und sollen anschließend mit der Infrarotspektroskopie und der Rasterelektronenmikroskopie detaillierter untersucht werden.

Der mikrochemische Nachweis als Bleisulfid, als Bleinitrat und als Bleijodid bestätigte die Vermutung auf das Pigment Bleimennige in der orangen Schicht.¹²⁷ Der zusätzliche Nachweis auf eventuell vorhandenes Eisen in diesem Anstrich fiel negativ aus. Die rot-braune Schicht direkt auf dem Substrat ergab einen negativen Bleinachweis und einen positiven Eisennachweis als

¹²² Die zu untersuchende Schicht muss sauber vom restlichen Schichtpaket abgetrennt werden.

¹²³ Vgl. SCHRAMM & HERING 1995.

¹²⁴ s. Kapitel 3.3, S. 16 (Farbtreppe).

¹²⁵ s. Bild 21 in Anhang I.

¹²⁶ s. Kapitel 1, S. 1 ff. und Kapitel 4, S. 21 ff.

¹²⁷ Vgl. SCHRAMM & HERING 1995.

Eisenrhodanid und als Berliner Blau. Aufgrund sicher vorhandener Korrosionsprodukte in dieser Grundbeschichtung konnte der positive Nachweis von Eisen als nicht eindeutig gelten. Es muss eine weitere Analyse mit der Röntgenelektronenmikroskopie erfolgen. Die Anwesenheit von Öl als organisches Bindemittel in der orangefarbenen und der rot-braunen Schicht wurde mit einem Verkohlungstest, mit einem Test auf alkalische Verseifbarkeit und mit einem Nachweis auf trocknende Öle überprüft.¹²⁸ Eine sichere Aussage über das vorliegende Bindemittel kann jedoch erst mit einer weiteren Analyse, zum Beispiel mit der Infrarotspektroskopie vorgenommen werden, denn mit den vorher genannten Methoden könnten auch gleichermaßen Harze nachgewiesen werden.

5.1.2 Querschliffe

Für die Untersuchung des Beschichtungsaufbaus wurden Proben vom Binder B5, von Pfette 18, von den Walmfirsten WF3 und WF4 sowie von Traufanker R8 mit und ohne Substrat entnommen und in Kunstharz¹²⁹ eingebettet.¹³⁰ Erste Betrachtungen der Querschliffe unter dem Mikroskop ergaben, dass sich die Beschichtungsproben von Walmfirst WF3 und WF4 aufgrund unvollständiger Entnahme des gesamten Schichtpaketes nicht zur weiteren Untersuchung eigneten. Bei den anderen Proben konnte mit der Betrachtung der Querschliffe im Dunkelfeld und unter UV-Anregung festgestellt werden, dass bis auf kleinere Abweichungen in den letzten, oberen Schichten ein einheitlicher Aufbau vorliegt. Die nachfolgende Auflistung zeigt die Anordnung der einzelnen Anstriche im vollständigen Schichtpaket.¹³¹ Die Schichten 1 bis 7 sind bei allen Proben vorzufinden, Schicht 8 und 9 nur bei den Proben des Traufankers R8.

¹²⁸ Vgl. SCHRAMM & HERING 1995.

¹²⁹ Zwei-Komponenten EpoFix Resin oder Zwei-Komponenten SpeziFix Resin, Fa. Struers.

¹³⁰ Die Lokalisierung der Konstruktionselemente befindet sich in Anhang IV.

¹³¹ Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Anstriche befindet sich in Anhang V.

- 0 das Substrat Stahl und/ oder dessen Korrosionsprodukte
- 1 rot-braune Schicht
- 2 grüne Schicht
- 3 orange-rote bis bräunliche dünne Schicht
- 4 grüne Schicht
- 5 graue Schicht
- 6 orange, dicke Schicht (vermutlich Bleimennige)
- 7 hellgraue Schicht
- (8 bei den Traufankern: rote Schicht)¹³²
- (9 bei den Traufankern: hellgraue Schicht)

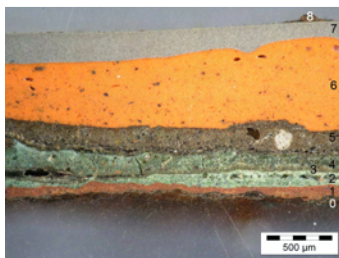


Abb. 28 Querschliff der Probe Binder B5 im Dunkelfeld.¹³³

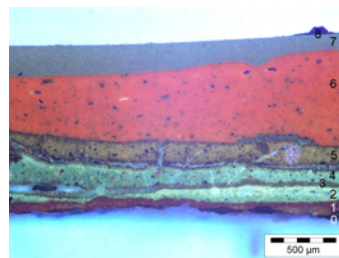


Abb. 29 Querschliff der Probe Binder B5 unter UV-Anregung.

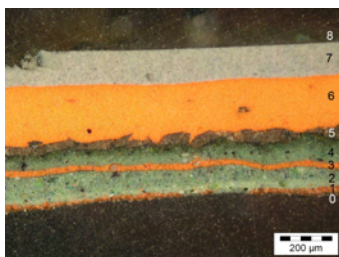


Abb. 30 Querschliff der Probe Pfette 18 im Dunkelfeld.

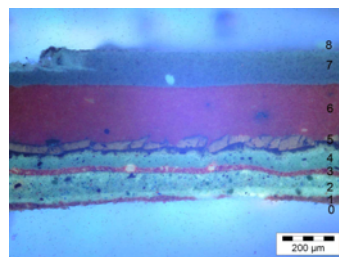


Abb. 31 Querschliff der Probe Pfette 18 unter UV-Anregung.

Bis zur 7. Schicht können die Anstriche insgesamt drei Beschichtungszyklen zugeordnet werden. Bestehend aus Grundbeschichtung und einer oder mehreren Deckbeschichtungen (Abb. 28 bis Abb. 31). Die Schichten 8 und 9 bei der Probe des Traufankers R8 (Abb. 32, Abb. 33) verweisen auf einen vierten Beschichtungs-

vorgang, ebenfalls aufgebaut aus Grundbeschichtung (8) und Deckbeschichtung (9). Des Weiteren erscheint Schicht 3, vermutlich infolge unterschiedlicher Abbauprozesse, in leicht differenzierten Farbnuancen von orange über orange-rot bis bräunlich. Auch kann festgestellt werden, dass die unteren Schichten (1 bis 6) in einem mäßigen bis sehr schlechten Zustand sind.

¹³² s. Abb. 32 und Abb. 33 auf Seite 36.

¹³³ Abb. 28 bis Abb. 31 befinden sich unter der Bezeichnung Bild 36 bis Bild 39 in Anhang I.

Viele Hohlräume und Brüche durchziehen diese Anstriche.¹³⁴ Zwischen dem Substrat und den Korrosionsprodukten sowie in den Korrosionsschichten sind

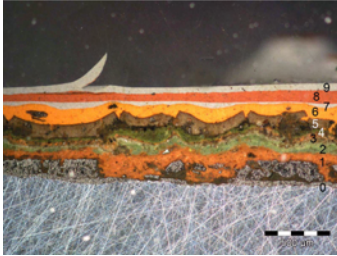


Abb. 32 Querschliff der Probe Traufanker R8 mit Substrat im Dunkelfeld.¹³⁵

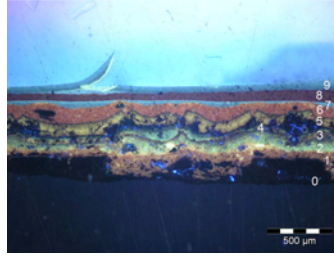


Abb. 33 Querschliff der Probe Traufanker R8 mit Substrat unter UV-Anregung.

zahlreiche flächige Hohlräume zu verzeichnen.¹³⁶

Dies wird besonders unter UV-Anregung deutlich.¹³⁷ Bei der

Betrachtung der Querschliffe der Beschichtungsproben mit

Substrat ist insgesamt eine ebene Unterrostung der Anstriche festzustellen. An einigen Stellen tritt Korrosion punktuell auf.¹³⁸ Des Weiteren ist zu erkennen, dass die orange Grundbeschichtung des dritten Beschichtungszyklus vermutlich ohne eine Entfernung loser Beschichtungen oder eine entsprechende Oberflächenvorbereitung erfolgte.¹³⁹ Die Brüche, Unterhöhungen und Partikel der angrenzenden Schichten in dem orangenen Anstrich (Schicht 6) sprechen für diese Annahme. Die Applikation des Korrosionsschutzanstriches erfolgte vermutlich auf der gesamten Oberfläche, denn die orange Schicht ist bei allen Querschliffen gleichermaßen auf den beschädigten Stellen der Altbeschichtungen¹⁴⁰ und auf den Bereichen fehlender historischer Beschichtung¹⁴¹ vorzufinden. Eine gezielte Ausfleckung könnte folglich ausgeschlossen werden.

Die Betrachtung der Querschliffe unter UV-Anregung lassen darüber hinaus Rückschlüsse auf die Anwesenheit organischer Bindemittel zu. Bei einer Fluoreszenz der jeweiligen Schicht kann von dergleichen ausgegangen werden.

¹³⁴ s. Bild 40, Bild 42 bis Bild 44 in Anhang I.

¹³⁵ Abb. 32 und Abb. 33 befinden sich unter der Bezeichnung Bild 40 und Bild 41 in Anhang I.

¹³⁶ s. Bild 45 und Bild 46 in Anhang I.

¹³⁷ s. Bild 48 bis Bild 51 in Anhang I.

¹³⁸ s. Bild 40, Bild 42, Bild 45 und Bild 46 in Anhang I.

¹³⁹ s. Bild 40, Bild 42, Bild 43 und Bild 45 in Anhang I.

¹⁴⁰ s. Bild 42, Bild 43 und Bild 45 in Anhang I.

¹⁴¹ s. Bild 46 und Bild 47 in Anhang I.

Sämtliche Schichten der Proben fluoreszieren mehr oder weniger stark. Liegt eine schwache Fluoreszenz vor, kann davon ausgegangen werden, dass der Pigment- und Füllstoffanteil im vorliegenden Anstrich sehr hoch ist. Liegt eine starke Fluoreszenz vor, so ist der Anteil an organischem Bindemittel hoch. Bei den vorliegenden Proben zeigen das Substrat und die Korrosionsprodukte daher keine Fluoreszenz. Die Schichten 2, 4 und 5 fluoreszieren stark. Hier könnte also ein hoher Bindemittelanteil vorliegen. Die Schichten 1, 3 und 6 bis 9 fluoreszieren mäßig bis sehr schwach. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Bindemittelanteil in diesen Anstrichen gering, der Pigment- und Füllstoffanteil hoch ist.¹⁴² Zudem können Rückschlüsse auf die Größe der Pigmente gezogen werden, wenn sie aufgrund des um sie herum fluoreszierenden Bindemittels sichtbar werden, wie es zum Beispiel in den Schichten 3 und 6 beobachtet werden kann.¹⁴³ In der 3. Schicht sind die Pigmente im Vergleich zu denen in der 6. Schicht größer. Die unter UV-Anregung sichtbaren Hohlräume in den Korrosionsschichten stellen einen Hinweis auf die Anwesenheit organischer Verbindungen dar.

Eine weitere Methode bestimmte Bindemittelgruppen darzustellen, ist die histochemische Anfärbung.

Dazu erfolgte in diesem Fall eine Anfärbung auf Öle mit Sudanschwarz B.¹⁴⁵ Das Schichtpaket der Probe B5 erscheint nun insgesamt dunkler. Besonders die unteren Schichten 2 bis 5 sind deutlich angefärbt. Die feinen, unzähligen Pigmente der Anstriche 1, 6 und 7 sind in ihrer Farbigkeit unverändert, wo hingegen die Pigmente in den darunter liegenden Schichten nicht mehr zu erkennen sind. Der Raum zwischen den Pigmenten ist



Abb. 34 Querschliff der Probe Binder B5 im Dunkelfeld. Histochemische Anfärbung auf eventuell vorhandene Öle.¹⁴⁴

¹⁴² s. Bild 37, Bild 39, Bild 41, Bild 48 bis Bild 52 in Anhang I.

¹⁴³ s. Bild 52 in Anhang I.

¹⁴⁴ s. Bild 53 in Anhang I.

¹⁴⁵ Vgl. SCHRAMM & HERING 1995, S 214 ff.

dunkel gefärbt. Die Farbveränderungen in den Schichten kann für die Anwesenheit vom Bindemittel Öl sprechen, eine genaue Aussage über das Bindemittel lässt sich allerdings nur mit Hilfe einer weiteren Analyse (z. B. der Infrarotspektroskopie) vornehmen.

5.1.3 Schichtdickenmessungen

Die Schichtdickenmessung der historischen Beschichtung erfolgte mit einem digitalen Schichtdickenmessgerät in Anlehnung an die DIN EN ISO 2802¹⁴⁶. Die Ermittlung der Gesamtschichtdicke wurde exemplarisch an drei Traufankern (R4, GR4, GR11), an den zwei kleinen Winkeln (WK1, WK2) und an sämtlichen Laschen (LG1 bis LG4, LK1 bis LK5) vorgenommen.¹⁴⁷ Je Konstruktionselement wurden an möglichst den gleichen Stellen der optisch intakten Beschichtung vier Messungen durchgeführt. Aus den Werten wurde dann der Mittelwert errechnet. Die Berechnung aller dieser Mittelwerte ergab dann abschließend eine durchschnittliche Gesamtschichtdicke von 248 µm.

Auffällig bei den Messungen war, dass die Schichtdicke auf zwei Traufankern um 87 µm über dem Wert des Dritten lag. Dies kann vermutlich damit begründet werden, dass auf zweien der Anker (R4 und GR4) die Beschichtung wahrscheinlich aus neun Anstrichen¹⁴⁸ und auf einem Anker (GR11) aus sieben Anstrichen¹⁴⁹ besteht. In Kapitel 3.4 konnte bereits bei der ersten visuellen Untersuchung der Oberfläche aller 21 vorliegenden Traufanker festgestellt werden, dass diese vermutlich Unterschiede im Beschichtungsaufbau aufzeigen. An beschädigten Stellen des historischen Anstriches wurde bei fünfzehn Ankern unter der grauen Deckschicht eine rote Schicht festgestellt. Bei sechs Traufankern war der rote Anstrich nicht zu sehen, dafür die farbintensive orange Bleimennige. Folglich lässt sich also vermuten, dass die fünfzehn

¹⁴⁶ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1.

¹⁴⁷ s. Anhang V Untersuchung der Altbeschichtung, Schichtdickenmessungen.

¹⁴⁸ Aufbau der Beschichtung aus neun Schichten z. B. bei Traufanker R8, s. Bild 40 in Anhang I.

¹⁴⁹ Aufbau der Beschichtung aus sieben Schichten z. B. bei Binder B5 und Pfette 18, s. Bild 38 oder Bild 36 in Anhang I.

Konstruktionsteile mit „roter Beschichtung“ den Schichtaufbau von Traufanker R8¹⁵⁰ aufweisen. Anhand des Bruchbildes könnten die übrigen sechs Anker in ihrem Schichtaufbau dem von Binder B5 und Pfette 18¹⁵¹ zugeordnet werden. Die kleinen Winkelelemente besitzen mit 113 µm die geringste Schichtdicke. Die Werte der großen Laschen entsprechen annähernd der ermittelten Gesamtschichtdicke bei einem Mittelwert von 240 µm. Die Schichtdicke der Anker liegt mit durchschnittlich 217 µm leicht unter dem Wert der großen Laschen. Den höchsten Durchschnittswert von 421 µm wiesen die kleinen Laschen auf.

Insgesamt konnte bei den Messungen festgestellt werden, dass die Schichtdicken der Anstriche auf den einzelnen Konstruktionselementen keinen direkten Vergleich miteinander zulassen. Aufgrund unterschiedlicher Verwitterungsgrade und Zustände der Oberflächen zeigen die Messergebnisse bereits innerhalb der Fläche eines Elementes große Differenzen in der Beschichtung von über 100 µm. Besonders bei den kleinen Laschen machten sich diese oft enormen Unterschiede bemerkbar.

5.1.4 Infrarotspektroskopie

Die exakte Bestimmung der Zusammensetzung einer Beschichtung kann oft nur begrenzt erfolgen. Mit einer physikalischen Analyse kann jedoch die Anwesenheit einer bestimmten organischen Bindemittelstoffgruppe sowie bestimmter Pigmente relativ stark quantitativ eingegrenzt werden. Mittels der Infrarotspektroskopie sollte dies bei der historischen Beschichtung des Dachtragwerkes erfolgen. Die Identifizierung bekannter Substanzen wird durch deren objektive Interpretation anhand eines Referenzspektrums (Datenbankvergleich) ermöglicht. Die Untersuchung wurde an der Beschichtung von Fachwerkbinder B5 durchgeführt. Dazu mussten die Schichten mit einem

¹⁵⁰ s. Kapitel 5.1.2.

¹⁵¹ s. Kapitel 5.1.2, S. 34 ff.

Skalpell sukzessiv schabend von der Oberfläche abgenommen werden.¹⁵² Die Infrarotspektroskopie wurde im Labor des Deutschen Technik Museums in Berlin von Dr. Volker Koesling mit einem FTIR-Spektrometer (Perkin-Elmer Spectrum one) mit Diamant ATR-Einheit ausgeführt. Die Interpretation der einzelnen Banden¹⁵³ durch den Datenbankvergleich ergab das folgende Ergebnis¹⁵⁴:

- rot-braune Schicht (Grundierung auf dem Substrat, Schicht 1¹⁵⁵): sehr intensive Banden für die Pigmente oder Füllstoffe Schwerspat und Kreide; nur sehr spekulativ Banden eines Öl-Bindemittels erkennbar, da keine Oleate aufgezeigt werden
- grüne Schichten und dunkelgraue Schicht (Schicht 2, 4, 5): trotz unterschiedlicher Farbgebung nahezu identische Spektren; typische Banden für die Pigmente oder Füllstoffe Schwerspat (Bariumsulfat), Gips, Berliner Blau; sehr hohe Wahrscheinlichkeit eines Öllackes mit Mangan- oder Blei-Oleat-Bestandteilen (vermutlich Abbauprodukte oder dem Bindemittel zugesetzte freie Fettsäure)
- orange Schicht (Schicht 6): sehr intensive Banden des organischen Pigments oder Füllstoffes Schwerspat; weitere mineralische Füllstoffe wie Schiefer und ähnliche Gesteinsmehle; Bande des Pigments Bleimennige im IR nur schwer zu erkennen; Vermutung auf ein trocknendes kurzkettiges Öl als Bindemittel; mit hoher Wahrscheinlichkeit ölgebundene, stark gestreckte Bleimennige (Blei-Oleate des Leinöls mit Bleimennige)
- graue Schicht (Schicht 7): typische Banden eines Alkydharzlackes; durch den Vergleich mit Spektren anderer Alkydharz- und Polyesterlacke gute Übereinstimmung mit einem Polyesterlack aus den 1950er Jahren

¹⁵² Andere Beschichtungsflächen konnten aus Substanz schonenden Gründen, sowie aufgrund des Platzmangels nicht für Analysezwecke dienen.

¹⁵³ Die nähere Erläuterung des Begriffes befindet sich im Glossar.

¹⁵⁴ Die Spektren der Infrarotspektroskopie befinden sich in Anhang V.

¹⁵⁵ Die Nummerierung der Schichten folgt der Beschreibung des Schichtaufbaus in Kapitel 5.1.2, S. 34 ff. (s. a. Anhang V).

5.1.5 Rasterelektronenmikroskopie

Mit der Rasterelektronenmikroskopie können anorganische feste Substanzen ermittelt werden. Die Analysemethode eignet sich daher für die nähere Untersuchung der charakteristischen Elemente in den historischen Anstrichen. Die Analyse wurde im Archäometallurgischen Labor des Deutschen Bergbau-Museums Bochum von Dr. Michael Prange an den Beschichtungsproben des Traufankers R8 mit Substrat und Binder B5 durchgeführt.¹⁵⁶

Zu Beginn wurden die einzelnen Messstellen festgelegt und diese dann näher untersucht.¹⁵⁷ Die einzelnen REM-Spektren und detaillierten Analyseergebnisse können in Anhang V eingesehen werden.

Die ermittelten Elemente der beiden Querschliffe der Beschichtungsproben sollten direkt auf Übereinstimmungen in ihrer qualitativen Zusammensetzung miteinander verglichen werden. Die Bezeichnungen der Schichten folgen dem bereits in Kapitel 5.1.2 beschriebenen Aufbau.

- In Schicht 0 der beiden Proben befinden sich Eisenoxide, Produkte der Korrosion von Eisen.
- In Schicht 1 (rot-braun) der beiden Proben befinden sich Barium und Schwefel (also vermutlich Bariumsulfat) als Füllstoff, Calcium, vermutlich als Calciumoxid, Siliciumoxid, Molybdän und etwa 10% Eisen als Pigment Eisenoxidrot. Die Anwesenheit von Eisen kann in diesem rot-braunen Anstrich als farbgebende Komponente des Eisenoxidrot interpretiert werden.
- Die Schicht 2 (grün) von Probe Binder B5 besteht hauptsächlich aus einer Verbindung von Schwefel, Barium, Silicium und Zink in unterschiedlichen Konzentrationen. Es kann vermutet werden, dass in den Schichten Bariumsulfat (Schwerspat) und Zinkoxid als Füllstoff vorliegen. Molybdän und Chrom liegen in geringen Konzentrationen vor.

¹⁵⁶ Gemessen mit REM: JSM 6400, Fa. Jeol; EDX: NoranSystemSeven, Fa. Thermo.

¹⁵⁷ s. Abbildungen in Anhang V, Rasterelektronenmikroskopie.

Bei der Probe des Traufankers R8 (mit Substrat) wurde Schicht 2 mit keinem der Messpunkte erreicht.

- Schicht 3 (orange bis braun) wurde nicht genauer untersucht. Die Messungen bei Schicht 4 ergaben jedoch bei der Probe des Traufankers R8 (mit Substrat) einen hohen Bleianteil, woraus auf die Zusammensetzung von Schicht 3 geschlossen werden kann (also ebenfalls bleihaltig).

Bei der Probe des Binders B5 konnte weder in der Schicht 4 noch in der Schicht 2 Blei nachgewiesen werden.

- Die Schichten 5 (dunkelgrau) und 4 (grün) der beiden Proben bestehen hauptsächlich aus einer Verbindung von Schwefel, Barium und Zink in unterschiedlichen Konzentrationen. Es kann vermutet werden, dass in den Schichten Bariumsulfat (Schwerspat) und Zinkoxid als Füllstoff vorliegen. Weiterhin konnten in den Schichten Molybdän und Chrom in unterschiedlichen Konzentrationen festgestellt werden.
- Schicht 6 (orange) besteht bei beiden Proben hauptsächlich aus Bleimennige mit dem Füllstoff Bariumsulfat (Schwerspat).
- Schicht 7 (hellgrau) besteht bei beiden Proben aus Titanoxid.
- Schicht 8 (rot) besteht bei der Probe des Traufankers R8 hauptsächlich aus Zink, Eisen und Silicium. Diese Zusammensetzung ist in keiner der Schichten in der Probe des Fachwerkbinders B5 vorzufinden. Das Silicium ist vermutlich Schiefer- oder Glimmerpartikeln zuzuordnen, das Eisen als Eisenoxid (farbgebendes Pigment) der roten Schicht und das Zink vermutlich als aktiv wirkendes Zinkphosphat zur Unterbindung von Korrosionsprozessen.
- Schicht 9 (hellgrau) besteht bei der Probe des Traufankers R8 aus Titanoxid.

5.1.6 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Mit Hilfe der sukzessiven Untersuchung des historischen Befundes der Altbeschichtung bei den Proben von Fachwerkbinder B5 (mit Substrat), von Pfette 18 und von Traufanker R8¹⁵⁸ konnten die vorliegenden Beschichtungen in deren Zusammensetzung weitestgehend analysiert werden.¹⁵⁹ Die folgende Auflistung gibt die Untersuchungs- und Interpretationsergebnisse der einzelnen Schichten zusammenfassend wieder.

- 0 das Substrat Stahl und dessen Korrosionsprodukte
- 1 rot-braune Schicht: Das Bindemittel dieser Schicht konnte nicht eindeutig bestimmt werden, eine Vermutung fällt lediglich auf Öl. Wahrscheinlich ist das Bindemittel aufgrund von unterschiedlichen Alterungs- und Abbauprozessen nicht mehr erkennbar. Das farbgebende Pigment dieser Schicht ist Eisenoxidrot. Bei den Füllstoffen könnte es sich um Schwerspat, Zinkoxid, Kreide, möglicherweise Glimmer¹⁶⁰- oder Schieferpartikel, Calciumoxid und Chromatpigmente¹⁶¹ (Molybdän, Chrom) oder mineralische Zugaben handeln.
- 2 grüne Schicht: Das Bindemittel dieser Schicht ist Öl. Mangan- oder Blei-Oleat-Bestandteile verweisen vermutlich auf Abbauprodukte oder dem Bindemittel zugesetzte freie Fettsäure. Die vorliegenden Pigmente und Füllstoffe sind Berliner Blau (grüne Chromatpigmente¹⁶²), Gips, Zinkoxid, möglicherweise Glimmer- oder Schieferpartikel und hauptsächlich Schwerspat¹⁶³.
- 3 orange-rote bis bräunliche dünne Schicht: Wahrscheinlich handelt es sich hier um eine bereits stark gealterte und abgebaute Öl-Bleimennigeschicht.

¹⁵⁸ Die Lokalisierung der Konstruktionselemente befindet sich in Anhang IV.

¹⁵⁹ Bilder, Tabellen, Graphiken und Spektren befinden sich im Anhang V.

¹⁶⁰ Vgl. RUF 1993, S. 315.

¹⁶¹ Vgl. <http://de.wikipedia.org> (Stand 09.03.2010).

¹⁶² Berliner Blau und Chromatgelb ergeben Chromgrün (empirische Bezeichnung).

¹⁶³ Schwerspat ist ein typischer Füllstoff für technische Beschichtungsstoffe.

- 4, 5 grüne Schicht und graue Schicht: Das Bindemittel dieser Schicht ist Öl. Mangan- oder Blei-Oleat-Bestandteile verweisen auf Abbauprodukte oder dem Bindemittel zugesetzte freie Fettsäure. Die vorliegenden Pigmente und Füllstoffe sind Berliner Blau (grüne Chromatpigmente), Gips, Zinkoxid, möglicherweise Glimmer- oder Schieferpartikel¹⁶⁴ und hauptsächlich Schwerspat.
- 6 orange, dicke Schicht: Das Bindemittel dieser Schicht ist Öl. Das vorliegende Pigment Bleimennige liegt in stark gestreckter Form mit dem Füllstoff Schwerspat vor. Ebenso sind auch hier mineralische Füllstoffe vorhanden, wahrscheinlich Schiefer.
- 7 hellgraue Schicht: Das Bindemittel dieser Schicht ist Alkydharz. Titanoxid¹⁶⁵ ist das farbgebende Pigment in sehr feiner Verteilung.
- 8 rote Schicht: Das Bindemittel dieser Schicht wurde nicht ermittelt. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass es sich hier, wie auch bei der hellgrauen Schicht, um ein Alkydharz eines Beschichtungssystems (Grundbeschichtung und hellgraue Deckbeschichtung) handelt. Das farbgebende Pigment ist Eisenoxidrot. Füllstoffe sind Zinkoxid und Zinkphosphat, vermutlich als ein Korrosionsschutzbestandteil. Bei den unzähligen waagrecht angeordneten Partikeln handelt es sich um sog. Schuppenpigmente (vermutlich Glimmer oder Zinkstaub).
- 9 hellgraue Schicht: Das Bindemittel dieser Schicht ist Alkydharz. Titanoxid ist in sehr feiner Verteilung das farbgebende Pigment.
- Die Stahloberfläche hat insgesamt etwa drei bis vier Überholungsbeschichtungen¹⁶⁶ mit einer Gesamtschichtdicke von

¹⁶⁴ Vgl. <http://www.baunetzwissen.de> (Stand 07.03.2010).

¹⁶⁵ Ab 1919 setzte sich Titanoxid als wichtigstes Pigment in Deckbeschichtungen durch. Vgl. BROCK/ GROTEKLAES/ MISCHKE 1998, S. 12.

¹⁶⁶ 1. Beschichtungsvorgang: Schicht 1 und 2
2. Beschichtungsintervall: Schicht 3, 4 und 5
3. Beschichtungsintervall: Schicht 6 und 7 (sowie Schicht 8 als zweiter grauer Deckanstrich)
4. Beschichtungsintervall: Schicht 8 und 9

durchschnittlich 248 μm erfahren. Man kann also davon ausgehen, dass die Beschichtung vermutlich, wie bei anderen Großobjekten¹⁶⁷, etwa alle 20 bis 25 Jahre überarbeitet wurde.

Die Auswertung der Querschliffe verdeutlicht die Schwachstellen der Altbeschichtung. Sie ist flächig bis punktuell unterrostet und zeigt dort bereits große Hohlräume. Außerdem geben zahlreiche Hohlräume und Brüche innerhalb und zwischen den unteren älteren Anstrichen (1 bis 5) Hinweise auf einen fehlenden Zusammenhalt im Verbund. Korrosionsbedingte Schäden bis hin zu Enthaltungen einzelner Schichten können also rein optisch bei Weitem nicht erfasst werden und verdeutlichen die Risiken im Umgang mit Altbeschichtungen. Die präzise Untersuchung des Zustands und des Schichtaufbaus ist daher für ein weiteres Vorgehen von enormer Bedeutung. Die unter Denkmalschutz stehende historische Substanz des Dachtragwerkes kann nur auf der Basis einer Befundanalyse fachgerecht konserviert und nachhaltig bewahrt werden. Die vorliegenden Bindemittel sind Öl und Alkydharz. Damit eine weitere Schädigung durch ungünstige Wechselwirkungen in und an der Altbeschichtung vermieden werden kann, sollte die Auswahl eines Beschichtungssystems auf der Grundlage dieser Bindemittel erfolgen. Es kann also eine erste Eingrenzung der für die Instandhaltungsarbeiten in Frage kommenden Systeme vorgenommen werden. Wie sich diese Systeme dann auf dem Substrat und der historischen Beschichtung verhalten, wird in den Kapiteln 7 und 8 untersucht. Außerdem sollte erörtert werden, ob aufgrund des schlechten Zustands der Altbeschichtung nicht doch eine komplette Neubeschichtung des Dachtragwerkes ratsam wäre.

¹⁶⁷ Auskunft von Dipl.-Ing. Mathias Conrads.

5.2 Haftzugfestigkeitsmessungen

Das Verfahren der Haftzugfestigkeitsmessung nach DIN EN ISO 4624¹⁶⁸ wird zur Bestimmung der Haftfestigkeit einzelner Schichten oder eines Beschichtungssystems angewendet. Dabei wird die minimale Zugspannung in N/ mm² oder MPa ermittelt, die für eine senkrechte Abtrennung der Beschichtung erforderlich ist. Die Schicht in welcher der Abriss erfolgte, wird anschließend einem Adhäsionsbruch, Kohäsionsbruch oder einer Kombination von beiden (einem Mischbruch) zugeordnet und bewertet.

Die Haftzugfestigkeitsmessungen der Altbeschichtung des Dachtragwerkes folgen dem Ziel der Verifizierung, ob die optisch intakten Flächen gegenüber den Grenzflächenbereichen eine höhere Haftung aufweisen, und natürlich der Ermittlung der Zugfestigkeit der jeweils vorliegenden Beschichtung. Mit Hilfe der Bruchbilder soll anschließend nachgewiesen werden, in welcher Schicht der historischen Anstriche das Versagen auftritt.

5.2.1 Durchführung der Messungen

Die Messung der Haftzugfestigkeit der historischen Beschichtung des Dachtragwerkes wurde an den optisch intakten Flächen der Traufanker R1, GR1, R4, GR4, R7 und GR11¹⁶⁹ durchgeführt. Die Haftfestigkeit der Grenzflächenbereiche zwischen intakter und beschädigter oder fehlender Beschichtung wurde an den Winkelementen WK1, WK2, WG1 und WG2 überprüft. Aufgrund der begrenzt verfügbaren Probeflächen konnte die Durchführung der Haftzugfestigkeitsmessungen ausschließlich in Anlehnung an die aufgeführte Norm stattfinden.

Nach einer gründlichen Reinigung und Entfettung der Oberfläche¹⁷⁰ wurden je

¹⁶⁸ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 4, S. 439 ff.

¹⁶⁹ Die Lokalisierung der Traufanker befindet sich in Anhang IV.

¹⁷⁰ Im Vorfeld wurde eine Lösemitteltestreihe zur Ermittlung eines für die Reinigung der historischen Oberfläche geeignetes Lösemittels durchgeführt.

Vgl. PIETSCH 2005.

Traufanker drei Prüfstempel¹⁷¹ mit einem Durchmesser von 20 mm auf die optisch intakte, relativ ebene Beschichtung geklebt¹⁷².¹⁷³ Bei den kleinen Winkelementen (WK1 und WK2) wurden je zwei Stempel auf den Grenzflächenbereich geklebt¹⁷⁴, also etwa zur Hälfte auf der historischen Beschichtung und zur anderen Hälfte im Bereich fehlender bzw. kaum noch vorhandener Beschichtung.¹⁷⁵ Bei den großen Winkelementen wurden ebenso jeweils zwei Prüfstempel aufgeklebt¹⁷⁶. Hier fand deren Platzierung allerdings im Grenzflächenbereich direkt neben der größtenteils verlustigen Beschichtung auf dem optisch intakten Bereich statt.¹⁷⁷ Während des Klebevorgangs musste beachtet werden, dass sich der Klebstoff ohne Luft einschließt vollständig unter der Fläche des Stempels befand. Etwaige Überschüsse waren zu entfernen.¹⁷⁸ Nach ausreichender Trocknung von etwa 50 Std. konnten die Traufanker und Winkelemente mit Hilfe einer eigens dazu angefertigten Stahlkonstruktion¹⁷⁹ auf der starren unteren Traverse (Abb. 35) des Zugprüfgerätes arretiert werden. Anschließend wurden die Prüfstempel mit



Abb. 35 Gerät zur Messung der Haftzugfestigkeit.

¹⁷¹ Die Norm schreibt an dieser Stelle mindestens sechs Stempel vor, was aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Probeflächen nicht realisierbar war.

¹⁷² Zwei-Komponenten-Klebstoff: Araldite 2011 der Fa. Huntsman, s. Anhang IX.

¹⁷³ s. Bild 54 und Bild 55 in Anhang I.

¹⁷⁴ Zwei-Komponenten-Klebstoff: Araldite 2010 der Fa. Huntsman, s. Anhang IX.

Bei großen Niveauunterschieden wird ein zähflüssiger Klebstoff verwendet.

¹⁷⁵ s. Bild 56 in Anhang I.

¹⁷⁶ Zwei-Komponenten-Klebstoff: Araldite 2010 der Fa. Huntsman, s. Anhang IX.

¹⁷⁷ s. Bild 57 in Anhang I.

¹⁷⁸ Die Norm sieht anstelle dieses Arbeitsvorganges eigentlich nach der Trocknung eine Durchtrennung des überstehenden Klebstoffes mitsamt der Beschichtung mittels einer Schneidvorrichtung vor. Dies konnte allerdings nicht realisiert werden, da die historische Beschichtung sehr empfindlich auf diesen mechanischen Eingriff reagierte (Abplatzen).

¹⁷⁹ Die Konstruktion ist notwendig, damit bei der Zugprüfung eventuell auftretende Verformungen der Probeanker unterbunden werden und diese in einer horizontalen Position sicher befestigt werden können.

der ebenfalls eigens dazu angefertigten Aufnahmekonstruktion und der beweglichen oberen Traverse verbunden. Dabei war die möglichst waagerechte Ausrichtung der Prüfflächen und die möglichst senkrechte Ausrichtung der Stempel zu beachten. Die Durchführung¹⁸¹ der Haftzugfestigkeitsmessungen wurde computergesteuert vorgenommen.¹⁸²



Abb. 36 Haftfestigkeitsmessungen bei Traufanker R1. Vor dem Abreißen des 3. Stempels.¹⁸⁰

5.2.2 Ergebnisse und Auswertung der Messungen

Prüffläche	Mittelwert
AB/ i/ 9	1,25 N/ mm ²
AB/ i/ 7	1,58 N/ mm ²
GFB/ i/ 7	1,15 N/ mm ²
GFB/ H-H/ 7	1,03 N/ mm ²

AB = Altbeschichtung
 GFB = Grenzflächenbereich
 I = Grenzflächenbereich auf den optisch intakten hist. Flächen
 7 = 7-schichtiger Aufbau
 9 = 9-schichtiger Aufbau
 H-H = zur Hälfte auf optisch intakter hist. Fläche und zur anderen Hälfte auf der beschädigten Beschichtung

Tabelle I Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsmessungen.

Die Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessungen (Tabelle I) im Bereich der optisch intakten historischen Beschichtung sowie im Grenzflächenbereich zeigen eine insgesamt geringe Haftung¹⁸³ der Altbeschichtung, unabhängig in welchem Bereich diese ermittelt wurde. Im Grenzflächenbereich liegen die Nennwerte um maximal 0,55 N/ mm² unter den Werten der intakten Bereiche, welches die im Vorfeld aufgestellte Vermutung der geringeren Haftfestigkeit der Grenzflächen bestätigt. Weiterhin ist zu bemerken, dass die Beschichtung mit dem

¹⁸⁰ s. Bild 58 in Anhang I.

¹⁸¹ s. Bild 58 bis Bild 60 in Anhang I.

¹⁸² Die Graphiken und Statistiken der Haftzugfestigkeitsmessungen befinden sich in Anhang V.

¹⁸³ Die ermittelte geringe Haftung wurde als solche von Herrn Rainer Schmidt (FPL) bestätigt.

7-schichtigen Aufbau, im Vergleich zu den Messungen der Flächen mit 9-schichtigem Aufbau, bessere Werte zeigt. Betrachtet man die Ergebnisse aller einzelnen Messungen, so können generell große Differenzen in der Haftzugfestigkeit auf allen Prüfflächen festgestellt werden.¹⁸⁴ Es kann also davon ausgegangen werden, dass eine historische Beschichtung, auch wenn sie optisch intakt erscheint, sehr unterschiedliche Schwachpunkte verbirgt. Anhand der Bruchflächen können vier Bereiche als derartige Schwachpunkte bezeichnet werden. Das größte Versagen zeigten die Schichten C bis F¹⁸⁵. Hier traten sowohl Adhäsions- als auch Kohäsionsbrüche auf, sog. Mischbrüche. Ein Zusammenhalt zwischen und innerhalb dieser unteren, älteren Schichten ist folglich nicht mehr gegeben.¹⁸⁶ In der Bleimennigeschicht



Abb. 37 Detailansicht nach dem Stempelabriss (Traufanker R7). Fehlende Haftung innerhalb und zwischen den unteren Schichten C bis F.

(G) waren vermehrt Adhäsionsbrüche festzustellen, aber auch Kohäsionsbrüche zwischen G/ B und G/ F oder G/ E, welche auf die einst vorgenommen Überholungsarbeiten der Beschichtung hinweisen, wie bereits in Kapitel 5.1.2 festgestellt werden konnte. Bleimennige wurde auf die gesamte Oberfläche aufgetragen, so dass sie Fehlstellen und historische Schichten abdeckte. Es wird

deutlich, dass Bleimennige, appliziert auf historischen Schichten, zwar eine gute Penetrierwirkung¹⁸⁷ zeigt, jedoch eine schlechte Haftung zu angrenzenden

¹⁸⁴ s. Anhang VIII.

¹⁸⁵ Nach DIN EN ISO 4624 wird die Art des Bruches mit Buchstaben gekennzeichnet. Hier bezeichnet A das Substrat, B bis J die einzelnen Schichten 1 bis 9. (B = rotbraun, C = grün, D = braun, E = grün, F = dunkelgrau, G = Bleimennige, H = grau, I = rot, J = grau). Ein Kohäsionsbruch wird z. B. als A angegeben, ein Adhäsionsbruch als A/ B. Bei Mischbrüchen werden üblicherweise die Anteile der einzelnen Brüche in den Schichten in Prozent angegeben.

¹⁸⁶ s. Bild 61, Bild 63 und Bild 64, Bild 66 und Bild 67 in Anhang I.

¹⁸⁷ Die Erklärung des Begriffes befindet sich im Glossar.

Schichten und eine nur geringe Bindung in sich selbst aufweist.¹⁸⁸ Der dritte Schwachpunkt liegt im Bereich der Eisenoxidrot-Grundierung (B).¹⁸⁹ Es waren Kohäsionsbrüche innerhalb der Schicht und Adhäsionsbrüche zwischen Schicht B/ G, B/ C und B/ D zu verzeichnen. Des Weiteren konnte zumeist im Randbereich der Bruchflächen ein deutliches Adhäsionsversagen der Schichten I/ J festgestellt werden¹⁹⁰, welches sich mit der visuellen Beurteilung der historischen Beschichtung der Traufanker deckt.¹⁹¹ Ablösungen vom Substrat waren nur in sehr geringem Umfang zu verzeichnen (max. 5 %).

Die Auswertung der Bruchflächen im Grenzflächenbereich bestätigt, wie bereits anhand der Nennwerte der Zugfestigkeitsmessungen festgestellt, die erwartungsgemäß schlechtere Haftung der historischen Schichten in diesem Bereich. Unabhängig von der Stelle, auf welcher sich der Prüfstempel befand, ist eine Ablösung vom Substrat zu 30 - 95 % als Adhäsionsbruch zwischen A/ B, sowie zwischen A/ C zu verzeichnen. Einzelne fest anhaftende Reste der roten (B) und grünen Schicht (C) sind auf den Flächen verblieben.¹⁹²



Abb. 38 Detailansicht eines kleinen Winkелеlementes (WK2-V1) nach dem Abreißen der Stempel. Adhäsionsbruch zwischen Substrat bzw. dessen Korrosionsprodukten und angrenzenden Schichten (A/ B, A/ C).

¹⁸⁸ s. Bild 62, Bild 64 und Bild 65 in Anhang I.

¹⁸⁹ s. Bild 68 in Anhang I.

¹⁹⁰ s. Bild 61, Bild 63, Bild 66 und Bild 67 in Anhang I.

¹⁹¹ s. Kapitel 3.4, S. 18.

¹⁹² s. Bild 69 und Bild 70.

5.3 Gitterschnittprüfungen

Das Verfahren der Gitterschnittprüfung nach DIN EN ISO 2409¹⁹³ wird zur Abschätzung des Widerstandes einer Beschichtung mittels Trennung vom Substrat bzw. zur Abschätzung der Haftfestigkeit angewendet. Die Ergebnisse der Prüfung werden anhand der in der Norm aufgeführten Tabelle bewertet und dem jeweiligen Gitterschnitt-Kennwert (0 bis 5)¹⁹⁴ zugeordnet. Das Verfahren eignet sich nicht für Prüfungen von Beschichtungen mit einer Gesamtschichtdicke von über 250 µm.

Anhand der Gitterschnittprüfungen soll abermals der Verbund innerhalb und zwischen den einzelnen Anstrichen auf den optisch intakten Flächen und im Grenzflächenbereich bewertet werden. Der Vorteil dieses Verfahrens, im Vergleich zu den vorangegangenen Zugfestigkeitsmessungen, besteht im empirischen Vorgehen. Es werden keine aufwendigen Apparaturen und Vorbereitungen zur Ausführung benötigt.

5.3.1 Durchführung der Prüfungen

Die Gitterschnittprüfungen wurden im Anschluss an die Haftzugfestigkeitsmessungen auf der übrigen Versuchsfläche der Traufanker R1, GR1, R4, GR4, R7 und GR11 vorgenommen. Bei den Winkelelementen WK1 und WG2 fand nun deren zweiter Schenkel Verwendung. Auch bei diesem Verfahren konnte dessen Umsetzung aufgrund nur sehr begrenzt zur Verfügung stehender Prüffelder ausschließlich in Anlehnung an die aufgeführte Norm stattfinden.

Für die Prüfung wurden je Traufanker drei rechtwinklige Gitter mit sechs Schnitten in jeder Richtung angelegt (kleine Quadrate), wobei zu beachten war, dass durch sämtliche Anstriche bis auf das Substrat hindurch geschnitten wurde. Entsprechend der ermittelten Gesamtschichtdicke (248 µm) der zu

¹⁹³ Vgl. DIN-TASCHENBURCH 2008/ 4, S. 294 ff.

¹⁹⁴ 0 = sehr gute Haftung bzw. keine Schädigung der Beschichtung; 5 = mangelhafte Haftung.

prüfenden Flächen wurden die Gitterschnitte in Abständen von 3 mm angeordnet.¹⁹⁵ In der Regel wird hierzu eine Schablone verwendet, welches jedoch auf der unebenen Fläche der historischen Beschichtung nicht realisiert werden konnte. Auch wiesen die Schichten eine extreme Härte auf, so dass die Schnitte nicht mit einem Skalpell, sondern nur unter hohem Kraftaufwand mit Kutter und Stahllineal angelegt werden konnten. Die zu prüfende Fläche der Anker wurde mit Hölzern unterlegt und waagrecht ausgerichtet. Des Weiteren wurden zur besser kontrollierbaren Durchführung der Schnitte die Konstruktionselemente mit Schraubzwingen am Tisch fixiert. Nach der Ausführung aller Schnitte musste die Fläche mit einer weichen Bürste von losen Oberflächenprodukten gereinigt werden. Anschließend wurde ein 50 mm breites Klebeband¹⁹⁶ parallel zu einer Richtung der Schnitte mit etwas Überstand auf das Gitter geklebt und dann ruckartig, etwa in einem 60° Winkel abgezogen. Dadurch wurden die Teile der Beschichtung entfernt, die nur noch wenig bzw. gar keine Haftung mehr aufwiesen.

5.3.2 Ergebnisse und Auswertung der Gitterschnittprüfungen

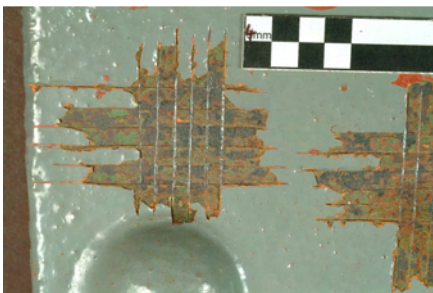


Abb. 39 Gitterschnitt auf der Fläche von Traufanker R4. Deutliches Versagen der unteren Anstriche.

Schon bei der Ausführung der ersten beiden Gitterschnitte war ein Abplatzen der historischen Beschichtung in großen Schollen zu verzeichnen, teilweise bis auf das Substrat. Nach der Anlegung aller Schnitte und dem anschließenden Klebeband-Abriss waren lediglich einzelne wenige Reste noch fest anhaftender unterer Schichten auf der Prüffläche vorhanden. Die Ergebnisse der

¹⁹⁵ Nach DIN EN ISO 2409 sollten die Gitterschnitte bei einer Schichtdicke bis 60 µm in 1 mm Abständen, ab 61 µm bis 120 µm in 2 mm Abständen und bei über 120 µm Schichtdicke im Abstand von 3 mm angelegt werden.

¹⁹⁶ Gaffa Tape (Gewebeband).

einzelnen Prüfungen entsprechen durchweg einem Gitterschnitt-Kennwert von 5 (mangelhaft), unabhängig davon, in welchem Bereich und bei welchem Beschichtungsaufbau sie angewendet wurden.¹⁹⁷ Die Bruchbilder decken sich annähernd mit den Ergebnissen der Haftzugfestigkeitsmessungen. Nur hat hier ein deutlich umfangreicheres Ablösen vom Substrat stattgefunden (bis zu 80%). Der Schwachpunkt liegt auch hier in den unteren, älteren Anstrichen. Bei Traufanker GR11 ist zum Beispiel ein deutliches Versagen in der Eisenoxidrot-Grundierung zu verzeichnen (Kohäsionsbruch). Auch im Bereich der Grenzflächen, untersucht an den Winkelementen, konnten die genannten Ergebnisse festgestellt werden. Unterschiede im Gitterschnitt-Kennwert sind nicht aufgetreten.

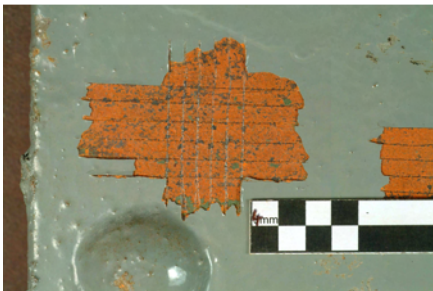


Abb. 40 Gitterschnitt auf der Fläche des Traufankers GR11. Deutliches Versagen in der Eisenoxidrot-Grundierung.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die historische Beschichtung sehr anfällig auf jede mechanische Belastung reagiert. Möglicherweise wird durch das Schneiden eine Art Sekundäreffekt ausgelöst, der die Anstriche fast vollständig zum Abplatzen bringt. Außerdem weist die Beschichtung eine sehr hohe Härte und somit eine sehr hohe Eigenspannung auf.

¹⁹⁷ s. Bild 61, Bild 63 und Bild 64, Bild 66, Bild 68 in Anhang I.

5.4 Kreuzschnittprüfungen

Die Kreuzschnittprüfung nach DIN EN ISO 16276-2¹⁹⁸ ist ebenfalls ein empirisches Verfahren zur Abschätzung der Haftfestigkeit eines Beschichtungssystems. Das Ergebnis wird wie beim Gitterschnittverfahren, einem qualitativen Kennwert von 0 bei geringster Schädigung und 5 bei größter Schädigung zugeordnet. Die Kreuzschnittprüfung wird vor allem bei harten Beschichtungen vorgenommen. Sie eignet sich daher gut für die Prüfung der vorliegenden historischen Beschichtung. Eine Schichtdickenbegrenzung besteht hier nicht. Des Weiteren kann diese Methode unter Verwendung einer Feucht-Kompresse¹⁹⁹ ausgeübt werden, um anschließend das Verhalten der Beschichtung unmittelbar nach der gezielten Kurzzeit-Belastung zu überprüfen. Mit der Kreuzschnittprüfung kann außerdem die Adhäsion bzw. Kohäsion einzelner Schichten ermittelt werden. Dazu führt man den Kreuzschnitt nicht bis auf das Substrat durch, sondern lediglich bis zur gewünschten Tiefe.²⁰⁰

5.4.1 Durchführung der Kreuzschnittprüfungen

Die Kreuzschnittprüfungen wurden auf den Flächen von Traufanker GR5 und GR8 in Anlehnung an die Norm durchgeführt. Dazu wurden auf dem Anker mit einem 9-schichtigen Aufbau (GR5) fünf X-förmige Schnitte in unterschiedlichen Tiefen angelegt. Die Schnitte des ersten Kreuzes reichten bis etwa zur roten Grundierung unter der grauen Deckschicht. Mit den weiteren Kreuzschnitten wurde versucht, sukzessiv in immer tiefer liegendere Schichten zu schneiden, bis hin zum letzten Kreuz, bei dem die Schnitte bis auf das Substrat reichten. Anschließend wurde auf diese Stellen, wie bereits beim Gitterschnittverfahren, ein Klebebandstreifen aufgebracht und dann ruckartig abgerissen. Dadurch wurden die Teile der Beschichtung entfernt, die nur noch wenig bzw. gar keine Haftung mehr aufwiesen.

¹⁹⁸ Vgl. DIN EN ISO 16276-2 (2007).

¹⁹⁹ Informationen bezogen von Herrn Rainer Schmidt (FPL Stuttgart).

²⁰⁰ Informationen bezogen von Herrn Rainer Schmidt (FPL Stuttgart).

Auf der Fläche des Traufankers GR8 mit einem 7-schichtigen Aufbau wurden vier Kreuzschnitte in ebenfalls immer tiefer durch die historische Beschichtung hindurchgehenden Schnitten angelegt. Die einzelnen Klebeband-Abrisse erfolgten in einem nächsten Arbeitsschritt. Neben diesen Kreuzschnitten wurde auf eine weitere Fläche der Traufanker eine Feuchtkompresse aus Watte, destilliertem Wasser und Folie aufgebracht. Diese wurde nach 48 Std. wieder entfernt. Unmittelbar im Anschluss daran erfolgte die Kreuzschnittprüfung wie bereits beschrieben.

5.4.2 Ergebnisse und Auswertung der Kreuzschnittprüfungen

Es lässt sich allgemein feststellen, dass mit dieser Methode, gerade bei der vorliegenden sehr dicken und harten historischen Beschichtung, die Ergebnisse besser bewertet werden können. Der Sekundäreffekt, bedingt durch das Schneiden, ist hier offensichtlich geringer. Es werden lediglich zwei Schnitte angelegt, die in ihrer X-Form eine größere Fläche als die Quadrate von je 9 mm^2 bei der Gitterschnittprüfung bilden. Die Beschichtung platzt daher nicht bereits komplett bei der Anlegung der Prüffläche ab. Nicht desto trotz decken sich die Ergebnisse der Kreuzschnittprüfungen annähernd mit denen der



Abb. 41 Kreuzschnittprüfung auf dem Traufanker GR8. Untere Bildhälfte: Felder 1 bis 4 von links nach rechts; obere Hälfte: Kompressen-Test in gleicher Anordnung der Prüffelder.²⁰¹

Gitterschnittprüfung. Bei der Beschichtung des Traufankers GR8 mit 7-schichtigen Aufbau ist ein Adhäsions- und Kohäsionsversagen in der rot-braunen Grundierung und den darauf folgenden unteren Anstrichen zu verzeichnen (Feld 4 in der nebenstehenden Abb.). Der Kreuzschnitt-Kennwert liegt bei 5 (mangelhaft). Auf den Prüfflächen, bei denen der Schnitt nicht bis zum Substrat

durchgeführt wurde, ist zu erkennen, dass mit zunehmender Schnitttiefe die

²⁰¹ s. Bild 73 in Anhang I.

Beschichtung verstärkt abplatzte. In Folge dessen kann gesagt werden, dass die Enthftung der historischen Anstriche aus dem Schneidvorgang resultiert. Die Anfälligkeit der Beschichtung auf mechanische Angriffe wird somit erneut deutlich. Die Ergebnisse der Prüfungen nach der Kompressen-Auflage zeigen ähnliche Resultate, jedoch fand hier zusätzlich ein vollständiges Adhäsionsversagen der grauen Deckschicht statt. Sie wurde großflächig abgezogen. Zum Vorschein kommt eine weitere graue Schicht, die bisher nicht erkannt wurde. Es handelt sich bei dieser Beschichtung also nicht um einen 7-schichtigen, sondern um einen 8-schichtigen Aufbau. Des Weiteren kann festgestellt werden, dass bei der Bleimennige-Schicht (6) ein Kohäsionsversagen aufgetreten ist.

Die Kreuzschnittprüfungen auf der Fläche des Traufankers GR5 ergeben mit dem Anlegen der Schnitte bis auf das Substrat einen Kennwert von 4 (ausreichend). Auf allen Prüfflächen konnte ein Kohäsionsversagen in der roten Schicht festgestellt werden (Kennwert 5), welches besonders nach der Kompressen-Auflage deutlich wird. Auch waren, bedingt durch die Feuchte der Komresse, unzählige kleine Bläschen im gesamten Bereich der Auflage zu erkennen. Somit kann festgestellt werden, dass die historische Beschichtung nicht nur auf mechanische Belastung sehr anfällig reagiert, sondern auch auf den Eintrag von Feuchtigkeit.



Abb. 42 Kreuzschnittprüfung auf der Fläche des Traufankers GR5. Untere Hälfte: Feld 1 bis 5 von links nach rechts, obere Hälfte: Kompressen-Test in gleicher Anordnung der Prüffelder.²⁰²

²⁰² s. Bild 74 in Anhang I.

5.5 Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Mit Hilfe der unterschiedlichen Analyse- und Untersuchungsmethoden konnte festgestellt werden, dass die historische Beschichtung aus insgesamt acht bis neun Schichten besteht. Sie wurden in drei bis vier Beschichtungszyklen aufgetragen. Die Anstriche enthalten aktive (Bleimennige, Chromatpigmente, Zinkphosphat oder Zinkstaub) und inaktive (z. B. Schuppenpigmente) Korrosionsschutzpigmente, sowie farbgebende Pigmente (Eisenoxidrot, Titanoxid, Berliner Blau). Bei den Füllstoffen handelt es sich um Gips, Zinkoxid, mineralische Substanzen und vorwiegend Schwerspat. Das Bindemittel der Beschichtungen ist vorrangig Öl. Die oberen letzteren Schichten sind alkydharzgebunden. Der aktive Korrosionsschutz Bleimennige wurde zur Ausbesserung von Fehlstellen und als Grundlage für Folgeanstriche verwendet.

Die Haftfestigkeit der historischen Anstriche ist gering. Der Schwachpunkt liegt hauptsächlich in der Kohäsion und Adhäsion der unteren älteren Schichten der ersten zwei Beschichtungszyklen und dem Substrat. Weiteres Versagen ist in der Bleimennige-Grundierung des dritten Überholungsintervalls (Adhäsions- und Kohäsionsbruch) sowie in der roten Grundierung (Kohäsionsbruch) und in der grauen Deckschicht (Adhäsionsbruch) des vierten Überholungsintervalls, besonders unter Feuchtigkeitseintrag, festzustellen. Die historische Beschichtung reagiert sehr empfindlich auf mechanische und klimatische Belastung. Sie weist aufgrund ihrer Härte und Dicke (248 µm) eine hohe, jedoch innerhalb und zwischen den Anstrichen eine geringe Eigenspannung (Verspröden) auf. Ebenso konnte festgestellt werden, dass die Beschichtung bereits großflächig von Korrosionsprodukten unterwandert ist, wodurch sich die schlechte Haftung zusätzlich begründet. Es kann also davon ausgegangen werden, dass eine historische Beschichtung, auch wenn sie optisch weitgehend intakt erscheint, sehr unterschiedliche Schwachpunkte verbirgt. Verantwortlich dafür sind nicht nur beschichtungsrelevante Faktoren, sondern auch die Umgebungsbedingungen. Gleichfalls wird das Risiko von Ausfleckungsarbeiten deutlich. Sind die zu reparierenden Bereiche nicht entsprechend vorbereitet,

führt dies erneut zu Schwachpunkten in der Oberflächenkonservierung, die auch – wie festgestellt – trotz Bleimennige nicht verhindert werden konnten. Wie kann nun mit dem hier vorliegenden Befund umgegangen werden? Dazu gilt es, folgende entscheidenden Fragen im Vorfeld einer Instandhaltung dieser Altbeschichtungen und auch allgemein bei jeder Instandhaltung zu erörtern. Übertagt der Denkmalwert des Objektes inklusive der historischen Beschichtung? Ist eine Instandhaltung der historischen Beschichtung überhaupt tragbar? Welche Voraussetzungen sind gegeben, die diese Variante rechtfertigen könnten? Oder gebührt dem langfristigen Erhalt des/ eines Bauwerkes der höhere Stellenwert? Kann der hohe Eingriff in die historische Substanz durch die Entfernung sämtlicher Altbeschichtungen vertreten werden? Sind bei dieser Variante die das Vorgehen begründenden Voraussetzungen gegeben?

6 Vorbereitung der historischen Oberfläche für die Konservierung

Das Ziel der Vorbereitung der Oberfläche ist die zuverlässige partielle Entfernung arteigener und artfremder Stoffe in den jeweiligen Bereichen, welche die Haftung der Grundierung des Beschichtungssystems beeinträchtigen könnten. Der historischen Substanz sollte dabei kein zusätzlicher Schaden zugefügt werden. Für die sog. sekundäre Oberflächenvorbereitung sind die P-Vorbereitungsgrade P Sa (durch Strahlen), P Ma (durch maschinelle Verfahren) und P St (durch manuelle Verfahren) nach DIN EN ISO 12944-4 anzuwenden.²⁰³

Die gängigen Methoden zur Vorbereitung von beschädigten Stellen in der Beschichtung sind das Handentrostern und das Niederdruckstrahlen²⁰⁴. Beide Verfahren sollen hier ihre praxisorientierte Anwendung finden. Die Voraussetzung zur Ermittlung einer geeigneten Vorbereitungsmethode für die zur Verfügung stehenden Konstruktionselemente des Dachtragwerkes ist demnach ein Vorbereitungsgrad von P Sa 2 bis P Sa 2 ½ oder P Ma 2 bis P Ma 2 ½. Anhand von Vorversuchen sollen die genannten Methoden getestet werden. Ziel ist die optimale Vorbereitung der zu konservierenden Oberflächen unter Berücksichtigung der Effektivität, der Wirtschaftlichkeit und der Einhaltung der Arbeitsschutz- und Umweltschutzauflagen²⁰⁵. Ebenso sollte der Zustand der historischen Beschichtung berücksichtigt werden. Die stark schadhafte Bereiche müssen entfernt werden, um eine Nachhaltigkeit der Ausfleckungsarbeiten gewährleisten zu können.

²⁰³ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1, DIN EN ISO 12944-4.

²⁰⁴ 0,4 bis 4,0 bar.

²⁰⁵ Die Strahlversuche wurden in der Metallrestaurierungs-Werkstatt der SPSG ausgeführt (Harald Weber und Dipl.-Rest. Martin Engel). Die Strahlkabine mit Abzug gewährleistete den Arbeits- und den Umweltschutz.

6.1 Vorversuche

Die Versuche wurden auf den Traufankern R1, R3, R4, R8, R9, R12, GR1, GR2, GR3, GR4, GR5, GR8 und GR11 im Bereich der zwei oberen Bohrungen durchgeführt. Die historische Beschichtung ist dort, bedingt durch das Lösen der Schrauben (Torsionskräfte), beschädigt und eignet sich daher zur Ermittlung einer Methode zur Oberflächenvorbereitung.

Für die Vorversuche mittels Niederdruckstrahlen wurde die Fläche um die Bohrungen herum mit einer Schablone in jeweils vier Felder aufgeteilt (Abb. 43). Anschließend wurde das Feld 1 mit 1 bar, Feld 2 mit 1,5 bar, Feld 3 mit 2 bar und Feld 4 mit 2,5 bar für etwa 30 bis 40 Sekunden gestrahlt.²⁰⁶ Die

vier Felder umfassten dabei immer eine Versuchsfläche, welche mit dem gleichen Strahlgut bei einer Dosierung von stets 5 gestrahlt wurde. Auf jeder Versuchsfläche fand ein anderes Strahlmittel Anwendung. Der Abstand der Strahldüse betrug dabei immer 5 bis 10 mm. Die Oberfläche wurde nicht nur im Grenzflächenbereich gestrahlt, sondern auch auf der optisch intakten Beschichtung. Dadurch konnte

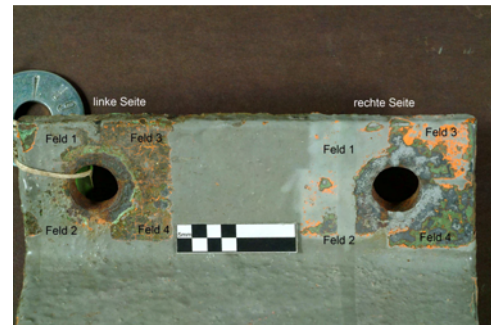


Abb. 43 Unterteilung in die vier Versuchsflächen zum Strahlen. Traufanker GR1 nach dem Strahlen mit Glasperlen Nr. 0 (linke Seite) und mit Glasbruch 30/ 40 (rechte Seite).²⁰⁷

festgestellt werden, inwieweit die Deckbeschichtung angegriffen wird und ob das Auftreffen des Strahlgutes auf die Altbeschichtung die bereits bei den Haftungs-Prüfungen beobachteten mechanischen Schäden verursacht. Das wichtigste Kriterium neben der Einhaltung des Vorbereitungsgrades P Sa 2 bis P Sa 2 ½, welches bei der Oberflächenvorbereitung erfüllt werden sollte, war die Entfernung der nicht fest anhaftenden Beschichtung in beschädigten Bereichen. Des Weiteren sollten lose Oberflächenprodukte wie Korrosion und Verschmutzungen entfernt werden. Im Bereich der Grenzflächen wurde besonderen Wert auf die Beseitigung von Unterhöhlungen der Beschichtung

²⁰⁶ Sandmaster FG 1-93.

²⁰⁷ s. Bild 75 in Anhang I.

gelegt. Zusätzlich durfte das Strahlmittel nicht zu abrasiv wirken, um einem Angriff des Substrates bis auf den blanken Stahl vorzubeugen.

Im Anschluss an die Vorversuche wurde eine Bewertung der Ergebnisse von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend) vorgenommen. In Tabelle II werden diese neben dem verwendeten Strahlgut bzw. den verwendeten Werkzeugen zur Handentrostung aufgelistet. Die Angabe des Druckes (in bar) bezieht sich dabei auf das beste Ergebnis, entsprechend der zu erfüllenden Anforderungen. Eine ausführliche Beschreibung der Beobachtungen sowie der Zustand der Oberfläche nach Versuchsabschluss, befinden sich in Anhang VI.

Reinigungsmethode	Druck (bar)	Bewertung
Edelkorund 70	2 bis 2,5 bar	5
Edelkorund 150	1,5 bis 2 bar	6
Edelkorund 220	1,5 bis 2 bar	6
Mischkorn 150	1 bar	6
Glasbruch 30/ 40	2 bar	6
Glasbruch 40/ 50	2 bar	3
Glasbruch 100	2,5 bar	6
Glasbruch 160	2 bis 2,5 bar	6
Gaspuder grob	1,5 bar	6
Gaspuder fein	2 bis 2,5 bar	5
Gasperlen 9	2 bis 2,5 bar	6
Gasperlen 6	1,5 bar	5
Gasperlen 3	2 bar	5
Gasperlen 0	1,5 bis 2 bar	3
Kunststoffgranulat 30/ 40	2,5 bar	2
Kunststoffgranulat 40/ 60	2 bar	1
Walnussschalen A	2 bar	5
Walnussschalen B	2 bar	5
Maiskolbenschrot 30	2,5 bar	4
Skalpell, Glasfaserpinsel	-	4
kleiner Kugelhammer, Glasfaserpinsel	-	5
kleiner Kugelhammer, Drahtbürste	-	5

Tabelle II Bewertung der Vorversuche zur Oberflächenvorbereitung.
1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, 4 = ausreichend,
5 = mangelhaft, 6 = ungenügend.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Strahlmittel mit einer hohen Härte nach Mohs (Edelkorund 9, Gaspuder 6 bis 7, Gasperlen 6 bis 7, Glasbruch 6 bis 7²⁰⁸) das Substrat und die historische Beschichtung aufgrund

²⁰⁸ s. Technische Datenblätter in Anhang IX.

der kinetisch wirkenden Scherkräfte sehr stark angriffen.²⁰⁹ Die Strahlmittel mit einer geringeren Härte nach Mohs (Kunststoffgranulat 3,5, Naturbalast 2,5, Maiskolbenschrot 4,5) zeigten entsprechend der zu erfüllenden Voraussetzung bessere Ergebnisse.²¹⁰ Die Oberflächenprodukte wurden in einer Art Absprengeffekt entfernt, was sich weniger schädigend auf die historische Beschichtung und das Substrat auswirkte. Das bereits festgestellte Kohäsionsversagen der roten Grundierung im vierten Beschichtungszyklus ist hier erneut deutlich zu erkennen. Bei dem Naturbalast Walnussschalen A und B war eine enorme Staubeentwicklung zu verzeichnen, was sich aufgrund der Schwermetallbestandteile in der Altbeschichtung als sehr nachteilig erweist.

Die manuelle Oberflächenvorbereitung (Handentrostung) wurde in den Kombinationen Skalpell und Glasfaserbürste, kleiner Kugelhammer²¹¹ und Glasfaserbürste sowie kleiner Kugelhammer und Drahtbürste auf einem größeren Versuchsfeld (Feld 1 und 2, oder Feld 3 und 4, sowie auf Feld 1 bis 4) durchgeführt. Die Flächen wiesen nach der Behandlung mit dem Skalpell und dem Glasfaserpinsel eine unzureichende Vorbereitung bei einer Beschädigung des Substrates auf. Die Oberflächenvorbereitung mit dem kleinen Kugelhammer zeigte ein großflächiges Abplatzen der Altbeschichtung sowie eine Verdichtung mit gleichzeitiger feiner Rissbildung im neu entstandenen Grenzflächenbereich.²¹² Die Nachbehandlung mit der Drahtbürste erzeugte tiefe Kratzer in der angrenzenden historischen Beschichtung. Die Oberflächenvorbereitungen mit manuellen Verfahren eignen sich demnach ebenso wenig wie die stark abrasiv wirkenden Strahlmittel für die Schaffung einer optimalen Grundlage zur Ausfleckung der Fehlstellen in der Beschichtung.

In einem nächsten Schritt wurden die „Testsieger“ Kunststoffgranulat 30/ 40 und 40/ 60 erneut gezielt im Grenzflächenbereich und auf der gesamten Fläche angewendet. Bei einer Oberflächenvorbereitungszeit von etwa 30 Sekunden mit 2 bar (untere Hälfte der Versuchsfelder) konnten die

²⁰⁹ s. Bild 76 und Bild 77 in Anhang I.

²¹⁰ s. Bild 78, Bild 80 und Bild 81 in Anhang I.

²¹¹ Es wurde die Kugelfläche eines Ziselierhammers verwendet.

²¹² s. Bild 79 in Anhang I.

schadhaften Bereiche der Altbeschichtung, Korrosionsprodukte und Verschmutzungen entfernt bzw. stark dezimiert werden.²¹³ Das Substrat wurde nicht angegriffen. Fest anhaftende Reste der unteren Anstriche verblieben auf der Fläche. Unterhöhlungen²¹⁴ konnten nahezu vollständig entfernt werden. Mit der Oberflächenvorbereitung - Methode Strahlen mittels Kunststoffgranulat 30/ 40 und 40/ 60 konnte folglich eine gute Grundlage für die Ausfleckungsarbeiten geschaffen werden. Die Anwendung der genannten Vorbereitungsmethode sollte ausschließlich im Bereich beschädigter Stellen erfolgen, da andernfalls ein weiterer mechanischer Schaden auf den optisch intakten Flächen erfolgen würde, wie in den oberen Feldern der beiden Versuchsflächen zu erkennen ist.²¹⁵ Zur Entfernung der gesamten Beschichtung wurde eine geringe Vorbereitungszeit von 180 Sekunden bei 2,5 bar benötigt.

Es ließ sich erneut feststellen, dass der Zustand einer historischen Beschichtung nicht vollständig erfasst werden kann. Jede Stelle verbirgt das Risiko einer bereits von Korrosionsprodukten unterwanderten Altbeschichtung sowie das Risiko unterschiedlicher Abbauprozesse innerhalb der Anstriche. Oft erschienen die beschädigten Stellen in der Beschichtung der Versuchsfelder vor der Durchführung gering. Während der Oberflächenvorbereitung zeigte sich jedoch in den meisten Fällen ein weitaus höherer Schädigungsgrad, der die Notwendigkeit beinhaltete, eine größere Fläche der historischen Anstriche zu entfernen.

Bei allen Vorbereitungsarbeiten musste das gebrauchte Strahlgut bzw. die abgenommenen Partikel aufgefangen und gesondert entsorgt werden.²¹⁶ Grund dafür sind die in den Oberflächenprodukten enthaltenen umweltschädigenden Chrom- und Bleibestandteile.

²¹³ s. Bild 80 und Bild 81 in Anhang I.

²¹⁴ Mögliche korrosions- und enthaftungsfördernde Ansammlung von Strahlgut und arteigenen Oberflächenprodukten.

²¹⁵ s. Bild 80 und Bild 81 in Anhang I.

²¹⁶ Gefahrstoffverordnung TRGS 505.

6.2 Oberflächenvorbereitung der Probeplatten

Bei den Probeplatten handelt es sich um fünf kleine und vier große Laschen der Stahlkonstruktion.²¹⁷ Mit ihrer Hilfe soll ein pigmentiertes Beschichtungssystem zur Konservierung der beschädigten Altbeschichtung ermittelt werden.

Die großen Laschen zeigen einen optisch guten Erhaltungszustand.²¹⁸ Lediglich im Grenzflächenbereich und vereinzelt an den Kanten sind Schäden und Verluste der historischen Beschichtung zu verzeichnen.²¹⁹ Anhand dieser Bruchflächen kann festgestellt werden, dass bei den großen Probeplatten ein 8-schichtiger Beschichtungsaufbau vorliegt. Im vierten Beschichtungszyklus fehlt die rote Grundierung. Die kleinen Laschen zeigen einen hohen Schädigungsgrad.²²⁰ Sie sind neben der verlustigen Beschichtung im Bereich der Bohrungen, im Gegensatz zu den großen Laschen, übersät von kleinen Blasen, Runzeln, Durchrostungen und oberflächlich sichtbaren Unterrostungen.²²¹ Der Beschichtungsaufbau kann hier aufgrund der vielen Überlappungen in den Anstrichen und durch die von Korrosion stark geschädigten Bereiche optisch nur erahnt werden. Die orange Bleimennigeschicht ist nur auf einer Lasche zu sehen. Die graue Deckschicht ist verwittert und durch die Korrosionsprodukte bräunlich verfärbt. Aufgrund des hohen Schädigungsgrades dieser Probeplatten wurde entschieden, eine komplette Erneuerung der Konservierung vorzunehmen. Die Beschichtung der großen Probeplatten soll ausgebessert werden. In beiden Fällen ist ein Vorbereitungsgrad von P Sa 2 ½ das Ziel. Somit kann auf der einen Seite der Aspekt des hohen Denkmalwertes, also die Erhaltung der Beschichtung, berücksichtigt werden. Auf der anderen Seite kann eine komplette nachhaltige, exemplarische Neubeschichtung erfolgen. Anhand der bei den Vorversuchen ermittelten geeigneten Vorbereitungsmethode sowie der einzusetzenden Materialien wurden die Probeplatten im auszufleckenden Bereich mit

²¹⁷ s. Kapitel 3.4 Konstruktionselemente für weitere Untersuchungen.

²¹⁸ s. Bild 32 bis Bild 35 in Anhang I.

²¹⁹ s. Kapitel 3.4.

²²⁰ s. Kapitel 3.4.

²²¹ s. Bild 27 bis Bild 31 in Anhang I.

Kunststoffgranulat 40/ 60²²² und auf den neu zu beschichtenden Flächen mit Kunststoffgranulat 30/ 40 gestrahlt.²²³ Die Vorbereitungsarbeiten erfolgten wie bei den vorherigen Versuchen in einer Strahlkammer mit Abzug.²²⁴ Die Beschichtung der kleinen Probeplatten erwies sich dabei stellenweise als sehr hartnäckig. Die Entfernung der gesamten Anstriche beanspruchte im Vergleich



Abb. 44 Kleine Lasche LK1 nach dem Strahlen. Handwerks-
spuren und Umrise der
Sechskantschrauben.²²⁵

zur partiellen Behandlung der großen Laschen etwa doppelt so viel Zeit (ca. 5 min). Unter der Beschichtung kamen Anreißlinien und Körnungen zum Vorschein, die einst zur Markierung der vorzunehmenden Bohrungen oder Trennarbeiten bei der Herstellung der Konstruktionsteile dienten. Ebenso waren die Umrise der Sechskantschrauben auf der

restrohthaltigen Stahloberfläche zu erkennen. Bei der Vorbereitung der Grenzflächenbereiche der großen Probeplatten war neben starken Unterhöhungen eine Enthftung der Anstriche von bis zu 40 mm, ausgehend von der ursprünglichen Bruchfläche zu verzeichnen.

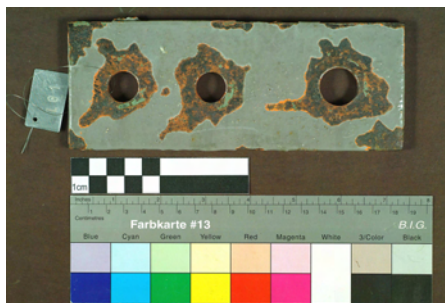


Abb. 45 Partielle Oberflächen-
vorbereitung (LG1).

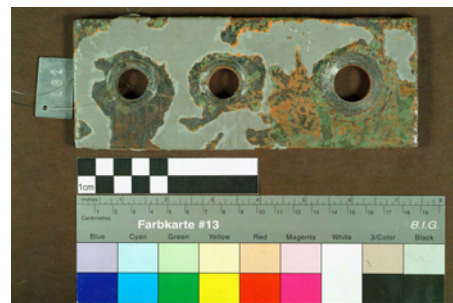


Abb. 46 Partielle Oberflächen-
vorbereitung (LG2).

Es wird erneut deutlich, dass das optische Erscheinungsbild einer historischen Beschichtung nur ungenügend Schlüsse auf deren tatsächliche Haftung zulässt.

²²² Kunststoffgranulat 40/ 60 erwies sich in den Vorversuchen als weniger abrasiv.

²²³ s. Bild 82 bis Bild 88 in Anhang I.

²²⁴ Mit freundlicher Unterstützung der Restauratoren Harald Weber und Martin Engel (Metallrestaurierungs-Werkstatt SPSG).

²²⁵ Die Abbildungen dieser Seite befinden sich als Bild 82, Bild 85 und Bild 86 in Anhang I.

7 Auswahl pigmentierter Beschichtungssysteme

Die Auswahl eines Beschichtungssystems für Instandsetzungsarbeiten gestaltet sich prekär. Denn neben der Vielfalt an heutzutage existierenden Korrosionsschutzstoffen ist bislang unklar, welches System sich optimal für Restrostoberflächen und für die Reparatur der jeweiligen Altbeschichtungen eignet. Der Favorit unter den pigmentierten Beschichtungssystemen war, bis zu ihrem offiziellen Gebrauchsverbot²²⁶ im Jahr 2005, die Bleimennige. Dieser aktive Korrosionsschutz-Grundbeschichtungsstoff beherrschte den Markt seit dem Aufkommen des industriellen Aufschwungs. Ihre überragende Wirkungsweise wurde seitdem in unzähligen Testreihen untersucht²²⁷ und immer wieder hoch gelobt. Auch in der heutigen Zeit wird Bleimennige noch immer, besonders im Bereich des Denkmalschutzes, für Instandhaltungsarbeiten historischer Beschichtungen verwendet. Dazu bedarf es allerdings einer gesonderten Genehmigung von der zuständigen Denkmalbehörde. Oft wird ihre Applikation aufgrund des Befundes der Altbeschichtung vorgeschrieben, um unerwünschten Wechselwirkungen mit möglichen alternativ eingesetzten Systemen ausweichen zu können sowie zur Substanzschonung des historischen Zustands. In den meisten Fällen wird jedoch empirisch eine orange Schicht auf der beschädigten Oberfläche festgestellt und daraufhin die Verwendung von Bleimennige als selbstverständlich angesehen. Die Lage der Schicht im historischen Aufbau wird außer Acht gelassen. Ebenso die Analyse der oder des Bindemittels. Genauere Betrachtungen von Altbeschichtungen²²⁸ zeigten, dass Bleimennige, wie bereits in Kapitel 4.10 erwähnt, überwiegend als Beschichtung auf historischen Anstrichen aufgetragen wurde. Die Wirkung als Korrosionsschutz auf Stahl kann sich allerdings nur direkt auf dem Substrat bzw. dessen Korrosionsprodukten entfalten. Der eigentliche Grundanstrich erfolgte bei den

²²⁶ Die Anwendung von Bleimennige ist seit 2005 in Deutschland und der Schweiz verboten.

²²⁷ Vgl. BRÜCK 2009.

²²⁸ Vgl. BRÜCK 2009.

recherchierten Objekten zumeist mit Eisenoxidrot, Bleiweiß und trocknenden Ölen.²²⁹ Bei Ausfleckungsarbeiten sollte Bleimennige, wenn überhaupt, ausschließlich auf die bis aufs Grundmetall beschädigten Flächen aufgetragen werden. Nur dann ist ein sinnvoller, effektiver Korrosionsschutz gegeben. Ein Überstreichen der historischen Beschichtung kann lediglich ein Schließen eventuell vorhandener Fehlstellen bewirken, was bleifreie Alternativen durchaus ebenfalls leisten können. Der Auftrag eines Beschichtungssystems sollte grundsätzlich nicht anhand empirischer Beobachtungen erfolgen, sondern nur nach einer gründlichen Analyse der Zusammensetzung, des Schichtaufbaus und des Zustandes der jeweils vorliegenden Beschichtung. Es muss entschieden werden, ob der ermittelte Zustand eine Erhaltung der historischen Anstriche überhaupt rechtfertigt. Des Weiteren sollten die vorherrschenden Umgebungsbedingungen mit in die Vorüberlegungen einbezogen werden. Die Auswahl eines Beschichtungssystems richtet sich also im Wesentlichen nach der Dauerhaftigkeit des Systems im Altsystem, nach dem Zustand der historischen Beschichtung und deren Zusammensetzung, nach dem Standort des zu schützenden Bauwerkes, nach der Belastung welcher das Bauwerk dort ausgesetzt ist und nicht zu vergessen nach dem optischen Eindruck der Beschichtung.

Das Dachtragwerk der „Alten Post“ in Hamburg befindet sich auf dem Innenhof eines Gebäudes, dessen Fassaden direkt an den Stahlbau angrenzen. Die Glas-Überdachung schützt das Denkmal himmelwärts vor Regen und direkter Sonneneinstrahlung. Der Freiraum beim Oberlicht des Tragwerkes sorgt für eine ständige Luftzirkulation. Ungünstige Faktoren stellen lediglich eventuell auftretendes Kondenswasser und die Belastung durch die dort verkehrenden Fahrzeuge und Mitarbeiter dar. Nach der DIN EN ISO 12944-4²³⁰ liegt hier eine geringe Korrosivitätskategorie von C2²³¹ vor. Anhand der detaillierten

²²⁹ Vgl. BRÜCK 2009.

²³⁰ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008.

²³¹ C2 = geringe Korrosivitätskategorie (Außen: Atmosphäre mit geringer Verunreinigung, z. B. ländliche Bereiche. Innen: ungeheizte Gebäude, z. B. Hallen – Kondensationsgefahr.).

Untersuchung der historischen Beschichtung auf den Konstruktionselementen konnte in den älteren Anstrichen trocknendes Öl und in den jüngeren, oberen Anstrichen Alkydharz als Bindemittel nachgewiesen werden. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Anstriche sehr empfindlich auf mechanische Belastungen und Feuchtigkeit reagierten sowie bereits großflächig von Korrosionsprodukten unterwandert waren. Der schlechte Erhaltungszustand der historischen Beschichtung stellt ein hohes Risiko für die Nachhaltigkeit von Ausfleckungsarbeiten auf den beschädigten Bereichen dar. Die Möglichkeit einer Applikation des Beschichtungssystems auf der gesamten Oberfläche²³² zur Stabilisierung und Konservierung der Altbeschichtung scheidet aus. Die Gesamtschichtdicke ist bereits mit 248 µm sehr hoch, so dass weitere Anstriche die ohnehin schon starke Eigenspannung nur zusätzlich belasten würden und zu erneuten Haftfestigkeitsverlusten führen könnten.

Der Oberflächenvorbereitungsgrad der zu beschichtenden Flächen der Konstruktionsteile beträgt P Sa 2 bis P Sa 2 ½. Die auszuwählenden Beschichtungssysteme müssen sich also für den Auftrag auf Restrost sowie für den Auftrag auf die verbliebenen, fest anhaftenden Altanstriche eignen. Des Weiteren sollten die Systeme in ihrer Zusammensetzung kompatibel mit dem vorliegenden historischen Befund sein und eine gute dauerhafte Elastizität aufweisen. Damit wird eine zusätzliche Spannung auf die Altbeschichtung vermieden. Außerdem sollte die Beschichtung praxisorientiert auszuführen sein. Die engere Auswahl fällt deshalb auf konventionelle Beschichtungssysteme mit aktiv wirkenden Korrosionsschutzpigmenten und mit dem Bindemittel Öl oder Alkydharz sowie auf ein feuchtigkeitshärtendes Polyurethansystem:

- | | |
|----------|---|
| System 1 | Öbleimennigegrundierung und Öldecklack |
| System 2 | Öbleimennigegrundierung und Alkydharz-Decklack |
| System 3 | Zinkphosphat-Grundierung und Alkydharz-Decklack |
| System 4 | EK-PUR-System. |

Die Systeme wurden bewusst nur von einem Hersteller²³³ bezogen, um eventuelle Differenzen in deren Zusammensetzung zu vermeiden. Die

²³² s. Kapitel 4.

²³³ Anstrichsysteme der Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG. Wuppertal.

Entscheidungsgrundlage zur Auswahl der genannten Beschichtungssysteme bildete der historische Befund. Die in der Altbeschichtung vorliegenden Bindemittel können nur mit ebensolchen, also mit Öl oder Alkydharz kombiniert werden. Das Polyurethansystem fällt dabei aus der Reihe. Jedoch kann hier die feuchtigkeitshärtende Eigenschaft auf der restrosthaltigen Oberfläche von Vorteil sein. Ebenso bildet Polyurethan eine beständige Schutzschicht gegen mechanische Belastungen. Zu bemerken ist weiterhin, dass sich dieses System sowohl für den Auftrag auf Öl als auch auf Alkydharz eignet.

Mit den vier ausgewählten Systemen wurde versucht, den kleinen Bereich der in der Praxis der Metallkonservierung heutzutage häufig verwendeten Beschichtungssysteme für Instandsetzungsarbeiten abzudecken sowie eine moderate Alternative zur Verwendung von Bleimennige zu finden.²³⁴

Aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Probestellen zur Ermittlung eines Beschichtungssystems für die Konservierung der beschädigten Bereiche konnten keine weiteren Systeme getestet werden. Auch ist zu bemerken, dass die Konservierung des historischen Befundes der Konstruktionselemente des Dachtragwerkes Priorität hat. Die Auswahl sehr konträrer, gegebenenfalls nicht zur Verwendung im vorliegenden Befund geeigneter Systeme, könnte zu einer weiteren Schädigung der Substanz führen. Dieses soll jedoch ausdrücklich vermieden werden.

In den folgenden Kapiteln 7.1 bis 7.4 werden die einzelnen Systeme näher erläutert sowie deren Wirkungsweise erklärt.

²³⁴ Bleimennige-Verbot (2005).

7.1 Ölbleimennige-Grundierung, Öl-Decklack

Die inhibierende Korrosionsschutzwirkung dieses Systems beruht auf der Fähigkeit des Pigments Bleimennige, durch alkalisches Passivieren²³⁵ eine barriereartige Isolationsschicht zu erzeugen. Das Blei-II-Hydroxid bildet mit den Eisen-III-Ionen eine elektrochemisch stabile Schicht. Bleimennige reagiert mit den Fettsäuren des Bindemittels Leinöl²³⁶ unter Ausbildung von Bleiseifen²³⁷, die den so entstehenden festen Film auf dem Substrat mit der Zeit lamellenartig durchziehen und die mechanische Festigkeit, die Wasserbeständigkeit und die Haftung auf dem Untergrund verbessern. Außerdem ist das aktive Pigment in der Lage, Korrosionsstimulatoren der Restrostoberfläche, wie Sulfat- oder Chlorid-Ionen, in schwer lösliche Verbindungen²³⁸ zu überführen. Weitere vorteilhafte Eigenschaften der Öl-Bleimennige sind die hohe Elastizität, eine weitgehende Quellfestigkeit, die Überführung saurer Immissionsstoffe und saurer Filmabbauprodukte des Öls, eine gute Penetration sowie eine Art Fernwirkung²³⁹.

Der Nachteil eines Korrosionsschutzes mit Öl-Bleimennige ist die lange oxidative Trocknung, welche allerdings durch die Zugabe von Sikkativen positiv beeinflusst werden kann. Des Weiteren darf dieser Grundbeschichtungsstoff wegen seiner toxischen Eigenschaften (Blei) nur noch in Ausnahmefällen im denkmalpflegerischen Bereich eingesetzt werden. Bleimennige ist nicht

²³⁵ Die Oberfläche eines Metalls wird durch chemische Behandlung in einen Zustand gebracht, in dem die schädigenden Mechanismen und Einflüsse (z.B. Atmosphäre) nicht mehr zerstörend auf das Metall einwirken können. Die Behandlung erzeugt einen elektrochemischen Schutz der Metalloberfläche.

²³⁶ Öle sind Glyceride organischer Fettsäuren mit meist 18 Kohlenstoffatomen, die isolierte Doppel- oder Dreifachbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen enthalten.

²³⁷ $\text{PbO} + 2 \text{HOOC-R} \rightarrow \text{Pb}(\text{OOC-R})_2 + \text{H}_2\text{O}$.

²³⁸ PbSO_4 und PbCl_2 .

²³⁹ Vgl. KRÖHNKE/ MASING/ BAUER 1940, S. 124.

Die Fernwirkung beinhaltet die positive Eigenschaft bei Verletzungen des Anstriches, diese Bereiche ebenfalls vor Korrosionsmedien zu schützen.

UV-beständig²⁴⁰ und erfordert den Auftrag eines pigmentierten Decklackes²⁴¹, der ein Ausbleichen verhindert.

Ein weiterer Nachteil des Ölsystems liegt in der hohen Wasserquellbarkeit des Öl-Decklackes. Der Auftrag ist nicht für eine Dauerbeanspruchung durch Feuchtigkeit geeignet. Die Deckbeschichtung ist außerdem sehr anfällig gegenüber chemischer Belastung. Zur Beschleunigung der Trocknung sowie zur Verbesserung der chemischen und mechanischen Belastbarkeit wurden vom Hersteller dem hier verwendeten Öl-Decklack Alkydharze beigemischt.

Das Beschichtungssystem²⁴² wurde von Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG. in Wuppertal für Testzwecke zur Verfügung gestellt. Es ist in Bezug auf den vorliegenden geringen Korrosivitätsgrad, die komplette Überdachung des Tragwerkes und den Schutz durch die Lage im Innenhof des Gebäudekomplexes für die Instandhaltungsarbeiten geeignet. Die langsame Trocknung der Bleimennigegrundierung kann sich allerdings nachteilig auf die nur begrenzt zur Verfügung stehende Versuchszeit auswirken. Der Korrosionsschutzgrund sollte laut Hersteller mindestens drei Wochen stehen, bevor der Decklack aufgetragen wird. Die Ergebnisse der Tests könnten aufgrund dessen leicht verfälscht sein.

Es soll untersucht werden, ob die Öl-Bleimennige trotz Kurzzeittests überragende Eigenschaften im Vergleich zu den drei anderen Systemen zeigt. Außerdem wird versucht herauszufinden, wie sich das System in Kombination mit der Altbeschichtung verhält sowie unter Belastung durch Feuchtigkeit.

²⁴⁰ Unter UV-Belastung ist ein Ausbleichen der Bleimennigeschicht festzustellen.

²⁴¹ Die Pigmentierung sämtlicher hier zur Anwendung kommenden Decklacke wurde außer Acht gelassen. Die richtige Färbung des Decklackes sollte allerdings vor der Durchführung der Maßnahmen am Dachtragwerk auf kleinen Probestellen ermittelt werden.

²⁴² s. Anhang IX Technische Datenblätter.

7.2 Ölbleimennige-Grundierung, Alkydharz-Decklack

Die Wirkungsweise der Ölbleimennige-Grundierung und deren positive und negative Eigenschaften wurden bereits im oberen Abschnitt näher erläutert. Bei diesem System fand die gleiche Öl-Bleimennige wie im 1. System ihre Anwendung als Grundbeschichtungsstoff. Der Decklack ist hier allerdings ein pigmentiertes Alkydharz (Polyesterharz).

Alkydharzlacke wurden in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt, um die Schwächen der ölhaltigen Korrosionsschutzmittel wie die langsame Trocknung und die verbesserungswürdigen chemischen bzw. mechanischen Filmeigenschaften zu bewältigen. Sie bestehen in der Regel aus modifizierten Öl- bzw. Fettsäuren und Harzsäuren sowie farbgebenden Komponenten.²⁴³ Lacke auf der Basis von Alkydharzen verfilmen durch die Vernetzung der ungesättigten Öl- bzw. Fettsäuren oxidativ. Je nach Ölgehalt werden Alkydlacke in kurzölig/ schnelltrocknend (< 40 % Öl), mittelölig/ mitteltrocknend (40 - 60 % Öl) und langölig/ langsam trocknend (> 60 - 70 % Öl) unterteilt.²⁴⁴ Die Eigenschaften eines Alkydharzlackes können durch die Kombination mit anderen Filmbildnern, Pigmenten und Additiven verbessert werden. Elastizität, Härte, Schlagfestigkeit, Kratzfestigkeit, chemische Beständigkeit, Wasserbeständigkeit sowie die Wasserdampfdurchlässigkeit und besonders hervorzuheben, eine schnelle Trocknungszeit, können positiv beeinflusst werden.²⁴⁵

Die Nachteile von Alkydharzlacken sind das geringe Penetrations- und Benetzungsvermögen und die unter Umständen auftretenden Schwierigkeiten in der Haftung zwischen den einzelnen Deckschichten, insbesondere bei auftretender Feuchtigkeit.²⁴⁶

²⁴³ Vgl. OETEREN, S. 216.

²⁴⁴ Vgl. BAUMANN 1993, S. 119.

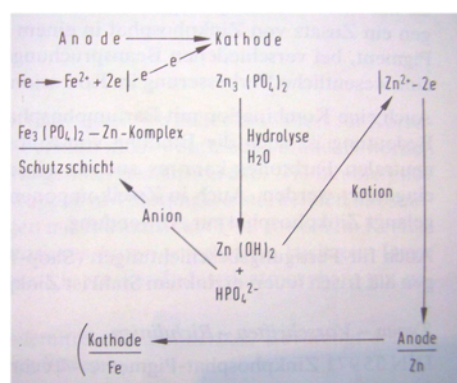
²⁴⁵ Vgl. OETEREN, S. 711 ff.

²⁴⁶ Vgl. RUF, S. 148 ff.

Das hier verwendete Beschichtungssystem²⁴⁷ wurde von Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG. in Wuppertal freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Es soll untersucht werden, inwieweit sich die Nachteile des Alkydharzdecklackes auf den vorliegenden historischen Befund auswirken und ob sich der Decklack zum Auftrag auf Öl eignet. Außerdem soll auch bei diesem System herausgestellt werden, wie es sich in Kombination mit der Altbeschichtung verhält. Mit Hilfe einer Kurzzeitbewitterung im Kondenswasserschrank soll des Weiteren versucht werden, eventuell auftretende Haftungsschwierigkeiten bei Feuchtigkeit aufzuzeigen.

7.3 Zinkphosphat-Alkydharz-Grundierung, Alkydharz-Decklack

Die Grundierung enthält wie auch die Öl-Bleimennige aktive Korrosionsschutzpigmente²⁴⁸. Zinkphosphat ist heutzutage in der Beschichtungstechnik das meist verwendete Pigment. Durch die Einwirkung der in dem restrosthaltigen Substrat enthaltenen Feuchtigkeit sowie der Luftfeuchtigkeit bilden sich Zinkphosphat-Hydrat-Komplexschichten. Die dabei entstehenden sekundären Phosphat-Ionen reagieren mit den Eisen-Kationen zu unlöslichen Eisen-Zinkphosphat-Komplexen. Diese Komplexschichten bilden



Chemischer und elektrochemischer Wirkungsmechanismus von Zinkphosphat.²⁴⁹

²⁴⁷ s. Anhang IX Technische Datenblätter.

²⁴⁸ Zinkphosphat ist ein weißes Pigment in Pulverform.

²⁴⁹ Vgl. OETEREN, S. 647.

die sog. schützende Passivierungsschicht, die unter anderem Chlor- und Sulfationen im Bereich zwischen der Metalloberfläche und der Beschichtung unterbindet. Die Zugabe von Chromatpigmenten kann den Vorgang der Passivierung beschleunigen. Chromatpigmente werden allerdings wie auch die Bleimennige aufgrund ihrer Toxizität heutzutage nur noch sehr eingeschränkt verwendet. Die farbgebende Komponente der Grundierung ist Eisenoxidrot, ein passiv wirkendes Korrosionsschutzpigment. Es ermöglicht neben der Zinkphosphat-Hydrat-Komplexschicht die Reduzierung der Durchlässigkeit von Wasser, Sauerstoff und anderen Korrosionsstimulatoren sowie die Verbesserung der mechanischen und chemischen Eigenschaften.

Der Alkyharz-Decklack ist ähnlich zu dem bei System 2 verwendeten, allerdings hier matt und anders farbig pigmentiert.

Das Beschichtungssystem²⁵⁰ wurde von Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG, Wuppertal zur Verfügung gestellt. Mit diesem System soll untersucht werden, ob das ebenfalls aktiv wirkende Pigment Zinkphosphat in seiner Haftfestigkeit der Bleimennige, speziell nach einer Kondenswasserbelastung, gleichzusetzen ist. Zusätzlich gilt auch hier herauszufinden, wie sich das System im Befund verhält, bzw. im Vergleich zu den anderen Systemen in seiner Haftzugfestigkeit.

7.4 Polyurethansystem

Die Vernetzungseigenschaften der Polyurethane bestehen auf der Reaktionsfähigkeit der Isocyanat-Gruppe. Diese reagiert prinzipiell mit allen beweglichen bzw. austauschbaren Wasserstoffatomen. Dabei entsteht eine Beschichtung aus einem duroplastischen Kunststoff. Es bilden sich sehr dichte und homogene Schichten. Diese können abhängig von den verwendeten Komponenten hart und spröde bis gummielastisch sein. Die auf der Basis von Polyurethanen bestehenden Beschichtungsstoffe weisen vor allem eine hohe Beständigkeit gegen chemische bzw. mechanische Einflüsse auf.

²⁵⁰ s. Anhang IX Technische Datenblätter.

Eine besondere Gruppe der PUR – Beschichtungsstoffe sind die feuchtigkeitshärtenden Polyurethane. Es handelt sich um Präpolymere die noch freie Isocyanat-Gruppen aufweisen. Diese härten in der Reaktion mit Feuchtigkeit aus. Die Beschichtungssysteme zeichnen sich durch eine gute Abriebfestigkeit, Elastizität und Licht- bzw. Chemikalienbeständigkeit aus.²⁵¹

Bei dem hier verwendeten EK-PUR-Beschichtungssystem wird als Grundierung ein dünnflüssiger EK-PUR-Imprägniergrund (rot) aufgetragen. Aufgrund der niedrigviskosen und niedrigmolekularen Einstellung der Penetrierflüssigkeit kann diese gegenüber anderen dickschichtigen, für Restrostoberflächen geeigneten Systemen, auch in die Randzonen der Schadstellen von Beschichtungsbeschädigungen, Poren und Spalten verwitterter Altanstriche eindringen. Nachfolgend wird ein EK-PUR-Zwischengrund (gelbsilber) aufgetragen. Diese Schicht basiert ebenfalls auf speziellen feuchtigkeitsreaktiven Bindemitteln. Als letzte, der Bewitterung ausgesetzte Beschichtung, wird ein Zweikomponenten-Polyurethanlack appliziert. Das gesamte System weist eine sehr gute Beständigkeit gegenüber Bewitterung und insbesondere UV-Belastung auf.²⁵²

Auch dieses Beschichtungssystem²⁵³ wurde freundlicherweise von Fa. Conrads Lacke GmbH & Co KG, Wuppertal zur Verfügung gestellt. Das EK-PUR-System stellt in der Versuchsreihe den Exoten dar. Es soll untersucht werden, ob hier eine bessere Haftung, speziell unter Feuchtigkeitsbelastung, vorliegt und wie sich das System in Kombination mit der historischen Beschichtung verhält.

²⁵¹ Vgl. RUF, S. 156 ff.

²⁵² Schriftliche Auskunft von Dipl.-Ing. Mathias Conrads.

²⁵³ s. Anhang IX Technische Datenblätter.

8 Ermittlung eines pigmentierten Beschichtungssystems zur Konservierung

Die geplanten Ausfleckungsarbeiten auf den beschädigten Bereichen sind aufgrund des schlechten Erhaltungszustandes der Altbeschichtung mit einem hohen Risiko verbunden. Eine Nachhaltigkeit der Arbeiten kann nur begrenzt gewährleistet werden. Daher wird parallel zu den Ausbesserungsarbeiten als eine weitere Möglichkeit der Behandlung der Stahlelemente des Dachtragwerkes eine komplette Neubeschichtung der Konstruktionsteile vorgenommen. Die Erprobung einer Eignung der ausgewählten Beschichtungssysteme für die Konservierung der vorliegenden Oberfläche wird an den fünf kleinen und den vier großen Laschen durchgeführt. Die Probeplatten werden dazu einer künstlich erzeugten Kurzzeit-Belastung im Kondenswasserschrank ausgesetzt. Anhand der großen Laschen soll dann die Haftung der einzelnen Systeme im Grenzflächenbereich und im Bruchbereich direkt neben der beschädigten und größtenteils verlustigen, historischen Oberfläche untersucht werden. Die kleinen Laschen dienen zur Untersuchung der Haftfestigkeit der Neubeschichtung.

8.1 Beschichten der Probeplatten

Die Probeplatten weisen je nach Größe drei bzw. zwei Bohrungen auf. Der Bereich um diese Bohrungen herum wurde, wie bereits in Kapitel 3.4



Abb. 47 Auftrag der jeweiligen Grundbeschichtung auf die Probeplatten.²⁵⁴

beschrieben, durch das Lösen der Schrauben bei der Demontage des Dachtragwerkes beschädigt, ebenso die Bereiche der Kanten. Die historische Beschichtung ist dort bis auf wenige Reste zum größten Teil verlustig. Bei den kleinen Probeplatten wurde aufgrund des schlechten Erhaltungszustandes die historische Beschichtung durch Strahlen

komplett entfernt. Lasche LK5 musste wegen der sehr begrenzt zur Verfügung stehenden historischen Probeflächen für die anschließend vorgesehene Bewitterung bzw. keine Bewitterung in der Mitte durchtrennt werden.²⁵⁵

Der Bereich der Oberfläche um eine einzelne Bohrung herum dient der Beschichtung mit jeweils einem der in Kapitel 7 beschriebenen Beschichtungssysteme. Da die Probeplatten nach der Beschichtung einem Kurzzeit-Bewitterungstest ausgesetzt werden sollen, muss der Auftrag der Systeme in doppelter Ausführung, einmal als Referenzprobe und einmal als bewitterte Probe, erfolgen (Abb. 47 und Abb. 48). Der Grundanstrich des Systems erfolgte bei den großen Probeplatten partiell im Bereich der auszufleckenden Fehlstellen in der Beschichtung²⁵⁶, bei den kleinen Probeplatten komplett auf einer Hälfte der Vorderseite.²⁵⁷ Nach der entsprechend vorgegebenen Trocknungszeit der einzelnen Grundbeschichtungsstoffe wurde anschließend eine erste Deckschicht und nach

²⁵⁴ s. Bild 89 in Anhang I.

²⁵⁵ Die Lasche ist deformiert. Sie findet keine Verwendung beim Wiederaufbau der Stahlkonstruktion. Der Trennvorgang wurde nach Absprache mit dem Restaurator Herrn Lasch-Abendroth vorgenommen.

²⁵⁶ S. Bild 97 bis Bild 100 in Anhang I.

²⁵⁷ s. Bild 91 bis Bild 96 in Anhang I.

Probepatte	System 1	System 2	System 2a	System 3	System 4	System 4a
LG1 und LG3	X	X	X			
LG2 und LG4				X	X	X
LK1 und LK3	X	X				
LK2 und LK4				X	X	
LK5			X			
System 1 = Öl-Bleimennige und Öldecklack (insgesamt 3-schichtiger Auftrag) System 2 = Öl-Bleimennige und Alkydharz-Decklack (insgesamt 3-schichtiger Auftrag) System 2a = Öl-Bleimennige und Alkydharz-Decklack (insgesamt 4-schichtiger Auftrag) System 3 = Zinkphosphat-Grundierung und Alkydharz-Decklack (insgesamt 4-schichtiger Auftrag) System 4 = EK-PUR-System (insgesamt 3-schichtiger Auftrag) System 4a = EK-PUR-System (insgesamt 4-schichtiger Auftrag) LG = große Lasche/ Probepatte LK = kleine Lasche/ Probepatte						

Tabelle III Auftrag der Beschichtungssysteme auf die Probepatten.

deren Durchtrocknung eine zweite Deckschicht aufgetragen.²⁵⁸ Bei der Beschichtung mit dem Öl-Bleimennigegrund und Alkydharz-Decklack sowie bei dem EK-PUR-System erfolgte ein jeweils vierter Deckanstrich (System 2a und 4a). Die Beschichtungsarbeiten wurden durch Streichen mit einem Pinsel vorgenommen. Dabei wurden bei den auszufleckenden Bereichen die Systeme leicht überlappend, etwa 3 mm auf die Bruchflächen der Grenzbereiche aufgetragen.

Nach der Trocknung wurden die Schichtdicken gemessen. Aufgrund der unebenen Flächen, bedingt durch das Substrat und eventuelle Pinselfurchen waren dabei innerhalb einer Probefläche Höhenunterschiede zu verzeichnen.²⁵⁹ Zusammenfassend kann vermerkt werden, dass der Auftrag der Beschichtungssysteme bis auf die folgende Ausnahme, etwa entsprechend der in den Technischen Datenblättern angegebenen Schichtdicke erfolgt ist. Bei System 4 und 4a war eine negative Differenz von bis zu 100 µm zu verzeichnen. Dies kann mit fehlender Erfahrung in der Ausführung der einzelnen Anstriche begründet werden. Daher sollte eine konsequente Kontrolle der Schichtdicke nach jedem Auftrag vorgenommen werden.

²⁵⁸ Die Bleimennige-Systeme 1 und 2 konnten aufgrund der kurzen Versuchszeit entsprechend des Hinweises des Herstellers, vermutlich nicht ausreichend lange abbinden. Die Korrosionsschutzwirkung der Bleimennige kann somit vermindert sein.

²⁵⁹ Die genaue Auflistung der Schichtdickenmessungen befindet sich in Anhang VII.



Abb. 48 Auftrag der Deckschichten auf die Probplatten.²⁶⁰



Abb. 49 Auftrag Ausfleckerarbeiten auf der Probplatte LG4 mit System 3 (li.), System 4a (mi.) und System 4 (re.)²⁶¹

8.2 Künstliche Bewitterung der Probplatten

Die künstliche Bewitterung der beschichteten Probplatten erfolgte nach DIN ISO EN 6270-2²⁶² in einem Kondenswasserschrank²⁶³. Mit der künstlichen

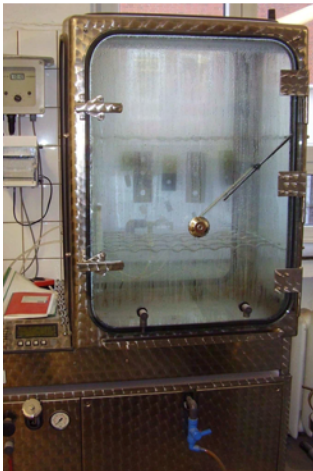


Abb. 50 Kondenswasserschrank, in Betrieb.

Bewitterung soll das Verhalten der unterschiedlichen Beschichtungen auf den Probplatten in feuchten Umgebungsklimaten ermittelt werden. Ebenso dient das Verfahren zur Erkennung von Fehlern in der Konservierung. Eine allgemeingültige Aussage über die Dauerhaftigkeit der Beschichtungen kann nicht getroffen werden, da die Bewitterung nicht unter realen Bedingungen durchgeführt wurde.

Die vorliegenden Probplatten des Dachtragwerkes wurden einer Kondenswasser-Wechselwirkung (Kurzzeichen AHT) von insgesamt 25 Trocken-Feucht-Wechseln über den Zeitraum von etwa einem Monat ausgesetzt. Die Dauer pro Zyklus betrug dabei 24 Stunden. Dieser umfasste im Wechsel stets einen Zeitraum von 8 und 16 Stunden. Die Probplatten wurden also acht

²⁶⁰ s. Bild 90 in Anhang I.

²⁶¹ s. Bild 100 in Anhang I.

²⁶² Vgl. TASCHENBUCH 2009, S. 341 ff.

²⁶³ Die Kondenswasserbewitterung wurde im Labor des Deutschen Bergbau-Museums Bochum durchgeführt.

Stunden lang bei einer relativen Luftfeuchte von 100 % und 40°C einer extremen Btauung ausgesetzt und anschließend bei geöffneter Klimakammer 16 Std. bei einer Raumtemperatur von 18 °C bis 28 °C und einer relativen



Abb. 51 Probeplatte LG1 nach der künstlichen Bewitterung.²⁶⁴

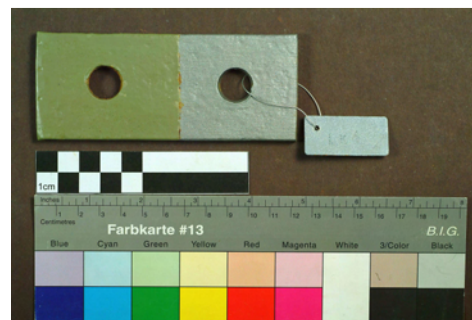


Abb. 52 Probeplatte LK4 nach der künstlichen Bewitterung

Luftfeucht von unter 100 % ruhen gelassen. Der Vorgang wurde so lange wiederholt bis die 25 Trocken-Feucht-Wechsel erreicht waren. Eine Zwischenbegutachtung der Probeplatten ergab keine sichtbare Veränderung der Anstriche. Auch nach der künstlichen Bewitterung konnte auf den beschichteten Oberflächen visuell kein Unterschied zum vorherigen Zustand festgestellt werden.²⁶⁵ Die neu beschichteten Bereiche verhalten sich also optisch stabil. In der historischen Beschichtung waren allerdings vereinzelt Durchrostungen zu erkennen.²⁶⁶ Die unbehandelte, materialsichtige Rückseite der Probeplatten zeigte eine deutlich flächige bis punktuelle Korrosion des Substrates. Auf den Bereichen der Altbeschichtung war, wie bereits bei den Kompressen-Tests in Kapitel 5.4 festgestellt, eine Quellung der Anstriche zu erkennen, was zu Spannungsrissen führen kann und einer daraus resultierenden Durchrostung.

Die Gesamtschichtdicken der Konstruktionsteile waren nach der künstlichen Verwitterung unverändert.

²⁶⁴ Abb. 52 und Abb. 51 befinden sich unter der Bezeichnung Bild 104 und Bild 102 in Anhang I.

²⁶⁵ s. Bild 101 bis Bild 105 in Anhang I.

²⁶⁶ s. Bild 104 und Bild 105 in Anhang I.

8.3 Haftzugfestigkeitsmessungen der beschichteten Probeplatten

Zur genauern Untersuchung der Probeplatten nach den Belastungstests durch die künstliche Bewitterung wurden erneut Haftzugfestigkeitsmessungen in Anlehnung an die DIN EN ISO 4624²⁶⁷ durchgeführt. Die Messungen dienen der Überprüfung der Haftung im ausgefleckten Bereich, auf den neu beschichteten Flächen und im Bereich der daran angrenzenden historischen Beschichtung. Es sollen mögliche Unterschiede oder Ähnlichkeiten im Verhalten der Beschichtungssysteme herauskristallisiert werden.

8.3.1 Durchführung der Messungen

Die Vorbereitung der Messungen erfolgte entsprechend der bereits in Kapitel 5.2 beschriebenen Arbeitsschritte. Allerdings war hier darauf zu achten, dass je Probefläche ein Stempel auf den Grenzflächenbereich aufgeklebt wurde und ein Prüfstempel auf den Bereich der optisch intakten historischen Beschichtung direkt neben der Bruchstelle des Grenzflächenbereiches.



Abb. 53 Aufkleben der Prüfstempel im Bereich der optisch intakten historischen Oberfläche, direkt neben dem Grenzflächenbereich (li) und auf dem Grenzflächenbereich (re.)

²⁶⁷ Vgl. DIN-TASCHENBUCH 2008/ 4, S. 439 ff.

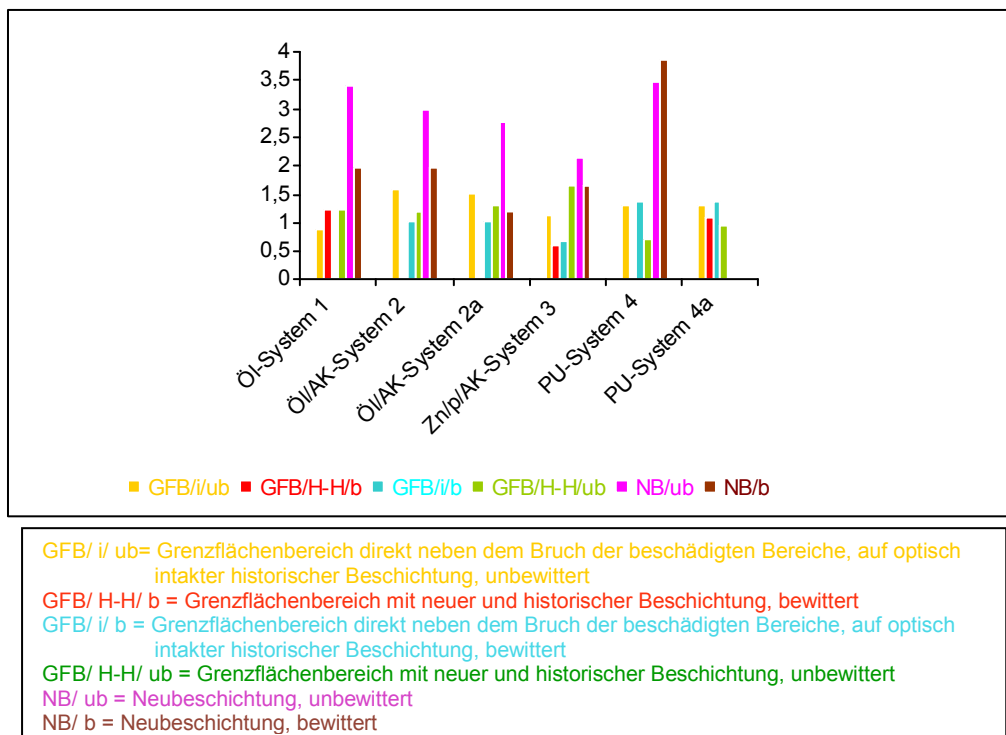
8.3.2 Ergebnisse und Auswertung der Messungen

Prüfflächen	Gemessene Haftfestigkeit des Systems in N/ mm ²					
	1	2	2a	3	4	4a
AF/ GFB/ i/ ub	0,89	1,57	1,53	1,12	1,30	1,30
AF/ GFB/ H-H/ b	1,22	0,01	0,01	0,59	0,01	1,09
AF/ GFB/ i/ b	-	1,03	1,03	0,69	1,39	1,39
AF/ GFB/ H-H/ ub	1,22	1,21	1,32	1,65	0,72	0,94
nB/ ub	3,39	2,99	2,78	2,14	3,48	-
nB/ b	1,96	1,97	1,21	1,64	3,87	-

GFB/ H-H = Grenzflächenbereich mit neuer und historischer Beschichtung
 GFB/ i = Bereich direkt neben dem Bruch der beschädigten Bereiche, auf optisch intakter historischer Beschichtung
 nB = Neubeschichtung
 AF = Ausfleckung
 b = bewittert
 ub = unbewittert

Tabelle IV Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsmessungen.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Haftzugfestigkeitswerte bei den bewitterten Prüfflächen im Grenzflächenbereich deutlich unter den Werten der Flächen im Bereich der optisch intakten historischen Beschichtung lagen. Wurden die Probelplatten nicht künstlich bewittert, waren keine gravierenden Unterschiede zwischen den Messungen festzustellen. Auch auf den Flächen mit 4-fachem Anstrich konnten keine Besonderheiten erkannt werden. Bei den neu beschichteten Probelplatten waren allerdings



Grafische Darstellung der Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsmessungen.

erwartungsgemäß allgemein höhere Zugfestigkeitswerte zu verzeichnen.²⁶⁸ Bei den unbewitterten, neu beschichteten Probeplatten waren die Nennwerte am höchsten.

Die anschließende Interpretation der Bruchflächen auf den Prüfstempeln und Prüfflächen ergaben folgende Ergebnisse:²⁶⁹

System 1: Auf den neu beschichteten Probeplatten Kohäsionsbruch in B, Adhäsionsbruch bei B/ C zu etwa gleichen Teilen (45 %), zu etwa 5 % Kohäsionsbruch in A und D.

Im Grenzflächenbereich und in den unteren historischen Anstrichen Adhäsionsbruch bei B/ C.²⁷⁰

System 2 und 2a: Auf den neu beschichteten Probeplatten Adhäsionsbruch bei Y/ D zu etwa 45 %, Kohäsionsbruch in B zu 45 %, Kohäsionsbruch zu etwa 10 % in A.

Im Grenzflächenbereich hauptsächlich Adhäsionsbruch bei B/ C von bis zu 40 % und

Adhäsionsversagen in den unteren historischen Anstrichen.²⁷¹

System 3: Auf den neu beschichteten Probeplatten Kohäsionsbruch in B (95 %), ebenso im Grenzflächenbereich, dort allerdings auch Adhäsionsversagen in den unteren historischen Anstrichen.²⁷²

System 4: Auf den neu beschichteten Probeplatten bis zu 30 % Kohäsionsbruch in A und überwiegend in C oder B.

Im Grenzflächenbereich Adhäsionsversagen in den unteren historischen Anstrichen.²⁷³

²⁶⁸ Die Graphiken der Messungen befinden sich in Anhang VIII.

²⁶⁹ A bezeichnet das Substrat, B bis E die einzelnen Schichten: B = Grundierung, C = erster Decklack-Auftrag bzw. Zwischengrund, D = zweiter Decklack-Auftrag, E = dritter Decklack-Auftrag; Y = Klebstoff am Prüfstempel. Ein Kohäsionsbruch wird z. B. als A angegeben, ein Adhäsionsbruch als A/ B. Bei Mischbrüchen werden üblicherweise die Anteile der einzelnen Brüche in den Schichten in Prozent angegeben.

²⁷⁰ s. Bild 106 bis Bild 108 und Bild 116 bis Bild 118 in Anhang I.

²⁷¹ s. Bild 106, Bild 107, Bild 109 bis Bild 111, Bild 116 und Bild 117 in Anhang I.

²⁷² s. Bild 112 bis Bild 114 und Bild 119 bis Bild 121 in Anhang I.

²⁷³ s. Bild 112, Bild 113, Bild 115, Bild 119 und Bild 120, Bild 122 in Anhang I.

System 1 (Öl) und 2 (Öl/ Alkydharz) zeigten folglich ein sehr ähnliches Bruchverhalten, welches auch bei den Nennwerten zu erkennen war. Das



Abb. 54 Unbewitterte Probeplatte LK3 nach den Haftzugfestigkeitsmessungen und den Gitterschnittprüfungen.²⁷⁴

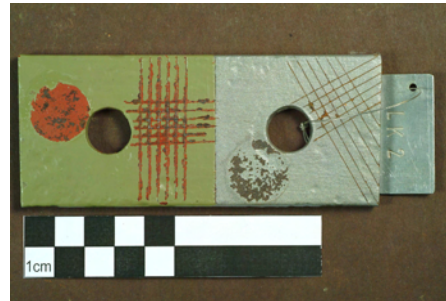


Abb. 55 Unbewitterte Probeplatte LK2 nach den Haftzugfestigkeitsmessungen und den Gitterschnittprüfungen.

Versagen lag vor allem in der Bleimennigeschicht. Bei System 3 war ein Kriechverhalten (Penetration) der Zinkphosphat-Grundbeschichtung bis weit unter die historischen Anstriche zu verzeichnen. Außerdem konnte auf den Bruchflächen der mit diesem System behandelten Bereiche ein deutliches Kohäsionsversagen der roten Grundierung festgestellt werden. Die Altbeschichtung war offensichtlich in diesen Bereichen bereits enthafte.

System 4 (EK-PUR) zeigt überwiegend ein Kohäsionsversagen in den Deckanstrichen. Auch hier war im Grenzflächenbereich eine gute Penetration der Grundierung zu erkennen.

Das EK-PUR-System schnitt bei den Haftzugfestigkeitsmessungen am besten ab, kurz gefolgt von den Systemen 1 und 2.



Abb. 56 Bewitterte Probeplatte LG1 nach den Haftzugfestigkeitsmessungen und den Gitterschnittprüfungen.



Abb. 57 Unbewitterte Probeplatte LG2 nach den Haftzugfestigkeitsmessungen und den Gitterschnittprüfungen.

²⁷⁴ Die Abbildungen 54 bis 57 befinden sich unter der Bezeichnung Bild 107, Bild 112, Bild 116 und Bild 119 in Anhang I.

8.4 Gitterschnittprüfungen der beschichteten Probenplatten

Die Gitterschnittprüfungen wurden in Anlehnung an die DIN EN ISO 2409²⁷⁵ in gleicher Art und Weise wie bereits in Kapitel 5.3 durchgeführt. Hier galt es ebenfalls zu untersuchen, inwieweit die Haftung von der künstlichen Bewitterung beeinflusst wurde.

Prüfflächen	Gitterschnitt – Kennwerte der Beschichtungssysteme					
	1	2	2a	3	4	4a
AF/ GFB/ H-H/ ub	2/ 5	3/ 5	3/ 5	4/ 5	1/ 5	1/ 5
AF/ GFB/ H-H/ b	5	3/ 5	3/ 5	4/ 5	4/ 5	1/ 5
nB/ ub	4	3	4	4	1	-
nB/ b	4	3	3	4	1	-

GFB/ H-H= Grenzflächenbereich von neuer und historischer Beschichtung
nB = Neubeschichtung
AF = Ausfleckung
b = bewittert
ub = unbewittert
n/ n = Kennwert der Neubeschichtung/ und Kennwert der Altbeschichtung

Tabelle V Zusammenfassung der Gitterschnittprüfungen.

Der Gitterschnitt-Kennwert der Altbeschichtung betrug unverändert 5. Bei dem Polyurethan-System lagen die besten Gitterschnittwerte mit einem Kennwert von 1 vor. Besonders der 4-fache Auftrag zeigte sehr gute Resultate. Danach folgten das Öl-Bleimennige-System und das Öl-Bleimennige-Alkydharz-System mit Werten von 3 bis 4. Das schlechteste Ergebnis lieferte das Zinkphosphat-System, was sich bereits bei den Nennwerten der Haftzugfestigkeitsmessungen abgezeichnet hatte.

²⁷⁵ Vgl. DIN-TASCHENBURCH 2008/ 4, S. 294 ff.

8.5 Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen zur Haftzugfestigkeit der Beschichtungsarbeiten im Grenzflächenbereich und der daran angrenzenden historischen Flächen nach der künstlichen Bewitterung zeigten keine Veränderung in der geringen Haftung der Altbeschichtung. Auch der leicht überlappende Auftrag der Anstriche auf die historische Beschichtung brachte keine Verbesserung der Haftung. Die Altbeschichtung reagierte nach wie vor sehr anfällig auf jede mechanische Belastung.

System 3 und 4 (Zinkphosphat-Alkydharz, EK-PUR) zeigten ein gutes Vordringen in Hohlräume unter der historischen Beschichtung. Dies könnte allerdings auch durch den Lösemittleintrag der neu applizierten Systeme vonstatten gegangen sein.

Allgemeingültige Aussagen zu den Systemen können nicht vorgenommen werden, da jedem Ergebnis jeweils nur eine einzige Messung zugrunde liegt. Die Untersuchungsreihen können aufgrund der sehr begrenzt zur Verfügung stehenden Prüfflächen nicht repräsentativ, wissenschaftlich ausgewertet werden. Sie stellen allerdings eine gute experimentelle Richtlinie dar, auf deren Grundlage weitere Forschungen laufen sollten. Es konnte sehr deutlich herausgearbeitet werden, wie wichtig die Vorüberlegungen sind, die dann letztendlich zu den Testreihen geführt haben.

Unter Vorbehalt soll dennoch erwähnt werden, dass das Polyurethansystem bei den Untersuchungen am besten abschnitt, kurz gefolgt von dem Öl-Bleimennigesystem und dem Öl-Bleimennige-Alkydharz-System. Das Bleimennigesystem zeigte ein deutliches Kohäsionsversagen, wie bereits bei den Untersuchungen der Altbeschichtung festgestellt werden konnte. Erstaunlich war jedoch die überragende Haftfestigkeit des Korrosionsschutzes. Das Zinkphosphat-System zeigte hier die schlechtesten Ergebnisse.

9 Vorschläge zur Konservierung des Hamburger Dachtragwerkes

Das Dachtragwerk wird seit seiner Demontage vor zwei Jahren auf dem Außenhof eines Stahlbetriebes gelagert und erst seit etwa einem $\frac{3}{4}$ Jahr überdacht. Der ständige Feuchtigkeitseintrag in und auf der historischen Beschichtung hat bereits zu großen Aufwölbungen und Durchrostungen der Anstriche geführt. Außerdem wurden die Konstruktionsteile von den Mitarbeitern des Stahlbetriebes oft umgelagert. Bedingt durch den mechanischen Angriff während dieser Arbeiten ist ein insgesamt höherer Schädigungsgrad entstanden, der bei mehreren Begutachtungen vor Ort festgestellt werden konnte. Aufgrund des schlechten Zustandes der Altbeschichtung sollte daher keine Ausfleckung der beschädigten Bereiche erfolgen. Die Nachhaltigkeit dieser Arbeiten kann aufgrund der durchgeführten Untersuchungen an der historischen Beschichtung nur bedingt gewährleistet werden.

Nicht desto trotz sollen an dieser Stelle auf der Basis der bisher gewonnenen Erkenntnisse zwei Vorschläge zur Konservierung des Hamburger Dachtragwerkes unterbreitet werden:

Der Erste Vorschlag – Variante A – wäre die Neubeschichtung der gesamten Stahlkonstruktion. Er stellt langfristig betrachtet die nachhaltigere und kostengünstigere Methode dar. Eine Entfernung der gesamten historischen Anstriche würde jedoch einen großen Eingriff in die originale Substanz bedeuten. Damit die historische Beschichtung der Nachwelt nicht gänzlich verloren geht, könnte hier ein Element des Gesamtkomplexes ausgefleckt werden.

Bei dieser Variante sollte eine Oberflächenvorbereitung mit Kunststoffgranulat, unter Erreichung einer Restrostoberfläche von Sa 2 bis Sa 3 vorgenommen werden. Der exemplarisch auszufleckende historische Bereich eines Stahlelementes wäre nach dem Vorbereitungsgrad P Sa 2 bis P Sa 2 $\frac{1}{2}$ vorzunehmen und partiell zu grundieren. Die Auswahl einer Grundierung kann jedoch zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorgeschlagen werden, da die Testergebnisse kein wirklich optimales Ergebnis hervorbrachten. Es müssten

weitere Untersuchungsreihen stattfinden. Der Korrosionsschutz sollte allerdings nicht mit der seit 2005 verbotenen Bleimennige vorgenommen werden.

Nach Applikation einer geeigneten Grundierung kann die Wiederaufstellung auf dem Innenhof der „Alten Post“ erfolgen. Erst danach sollte gemäß Korrosionsschutznorm bei der vorliegenden Korrosivitätskategorie C2 ein zweifacher Decklack-Auftrag appliziert werden. Durch dieses Vorgehen kann eine zuverlässige Konservierung des gesamten Objektes erreicht werden. Die Kontrolle und geg. Wartung sollte nach 10 bis 15 Jahre erfolgen.

Bei der zweiten Variante B würde eine Konservierung der Altbeschichtung stattfinden, denn laut aktueller Rücksprachen mit den Auftraggebern und Denkmalpflegern wird unbedingt der Erhalt der historischen Beschichtung gefordert. Hier könnte eine partielle Oberflächenvorbereitung mit Kunststoffgranulat, wie in Kapitel 6.2 beschrieben, bei Erreichen eines Vorbereitungsgrades von P Sa 2 bis P Sa 2 ½ vorgenommen werden. Anschließend sollte die partielle Grundierung der entsprechenden Bereiche mit einem geeigneten Korrosionsschutz erfolgen und dann abschließend der partielle Decklack-Auftrag. Nach Abschluss der Arbeiten müsste eine jährliche Kontrolle und geg. Wartung stattfinden. Verhält sich die Konservierung und die Altbeschichtung stabil, kann die Wartung in größeren Intervallen vorgenommen werden. Unter Berücksichtigung des geringen Korrosivitätsgrades, die komplette Überdachung des Tragwerkes und den Schutz durch die Lage im Innenhof des Gebäudekomplexes könnte die hier geschilderte Instandhaltung der historischen Beschichtung realisiert werden. Des Weiteren sollte bei der Durchführung der Maßnahmen unbedingt auf einen sorgsamen Umgang mit den Stahlelementen geachtet werden, damit eine weitere mechanische Schädigung der Beschichtungen vermieden werden kann. Außerdem ist die ständige trockene Lagerung bis zum Beginn und auch während der Konservierungsarbeiten zu gewährleisten.

10 Schlussbetrachtung

Der Versuch der Ermittlung eines für die Sanierung des Dachtragwerkes geeigneten Beschichtungssystems gestaltete sich als sehr umfangreich. Die Grundlage bildete dabei die detaillierte Untersuchung der Altbeschichtung, auf welcher alle anschließenden Arbeitsschritte und Verfahren aufbauten. Es konnte festgestellt werden, wie wichtig ein überlegtes Vorgehen bei der Planung einer Instandhaltung ist, gerade im Umgang mit historischer Substanz. Generell kann vermerkt werden, dass obgleich eine historische Beschichtung optisch intakt erscheint, sie doch viele Schwachpunkte in sich birgt. Selbst bei einer optimalen Vorbereitung der beschädigten Oberfläche kann eine Nachhaltigkeit durch Ausfleckungsarbeiten nicht gewährleistet werden. Die Entfernung und Neubeschichtung der historischen Flächen erscheint als geeignete Alternative, kann jedoch aus denkmalpflegerischen Gründen zunächst nicht realisiert werden. Die Entscheidungsfindung obliegt letztendlich dem Konsortium aus Auftraggeber, Bauherr und Denkmalpflege.

Mit den vier ausgewählten Systemen Öbleimennige und Öldecklack, Öbleimennige und Alkydharz-Decklack, Zinkphosphat-Grundierung und Alkydharz-Decklack sowie dem feuchtigkeitshärtenden Polyurethansystem konnten erste Lösungsansätze in der Problematik der Konservierung von Altbeschichtungen erörtert werden. Eine Alternative zur Bleimennige könnte das Polyurethansystem darstellen. Die Auswertungen der Untersuchungen zeigten jedoch kein wirklich optimales System zur Ausfleckung von Altbeschichtungen, auch die Bleimennige nicht. Die getesteten Systeme umfassen lediglich den kleinen Bereich der vorzugsweise verwendeten Beschichtungssysteme im Bereich der Metallkonservierung. Es ergibt sich die Forderung nach einer umfassenderen Forschungsreihe. Die Ergebnisse der Untersuchungen können nicht als repräsentativ angesehen werden, da sie in Anlehnung an die Normen stattfanden. Die begrenzt zur Verfügung stehenden historischen Versuchsflächen wiesen große Haftfestigkeitsverluste in der Altbeschichtung auf. Der Umgang mit historischer Substanz und speziell historischer Beschichtung gestaltet sich als schwierig.

Es konnte festgestellt werden, dass für ein optimales Vorgehen bei der Konservierung jedes Objekt individuell behandelt und untersucht werden muss. Für nachhaltige Instandsetzungsarbeiten ist der aktuelle Wissenstand über die Möglichkeiten des Korrosionsschutzes heranzuziehen. Nur so kann eine Optimierung der Arbeitsergebnisse erzielt werden.

Literaturverzeichnis

BAUMANN 1993

Baumann, Karlheinz: Korrosionsschutz für Metalle. Anleitung und Auswahl. 2. überarbeitete Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, Stuttgart, 1993

BODE 2007

Bode, Christian: Dokumentation, Musterrestaurierung der Mainzer Nagelsäule, Mainz, Liebfrauenplatz. Unveröffentlichte Dokumentation 2007

BORSODORF/ GROSS/ KNEPPER 1991

Borsdorf, W.; Gross, H.; Knepper, J.: Fachwörterbuch, Korrosion und Korrosionsschutz, Englisch-Deutsch/ Deutsch-Englisch. 2. bearbeitete Auflage, Verlag Alexandre Hatier, Berlin, Paris, 1991

BROCK/ GROTEKLAES/ MISCHKE 1998

Brock, Thomas; Groteklaes, Michal; Mischke, Peter: Lehrbuch der Lacktechnologie. Vincentz Verlag, Hannover 1998

BRÜCK 2009

Brück, Dorothee: Bleimennige – Ein Korrosionsschutzpigment für Grundbeschichtungsstoffe auf Eisen und Stahl. Unveröffentlichte Facharbeit an der Fachhochschule Potsdam, 2009

CONRAD 1997

Conrad, Wolfgang: Korrosionsschutz, Industrie-Kultur, Sanierung eines stillgelegten Betriebes zur Erzverhüttung zum Kulturdenkmal. Artikel in Malerblatt 6/ 97

DIN-TASCHENBUCH 2008/ 1

DIN-Taschenbuch: Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Überzüge 1. Oberflächenvorbereitung und Beschichtung. Normen. DIN-Taschenbuch 286/ 1, 1. Auflage, Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich 2008

DIN-TASCHENBUCH 2008/ 4

DIN-Taschenbuch: Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Überzüge 4. Allgemeine Normen, Korrosionsschutzgerechte Erzeugnisse. Normen. DIN-Taschenbuch 286/ 4, 1. Auflage, Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich 2008

DIN EN ISO 16276-2 (2007)

DIN EN ISO 16276-2 (2007-08), DIN EV, Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich 2007

DIN-Taschenbuch 2009

DIN-Taschenbuch: Korrosion und Korrosionsschutz. Beurteilung, Prüfung, Schutzmaßnahmen. Normen. DIN-Taschenbuch 219, 4. Auflage, Beuth Verlag Berlin, Wien, Zürich 2009

DUDEN 2007

Duden, Das Fremdwörterbuch, Band 5. 9. Auflage 2007

DUDLEY/ FLEMING 1975

Dudley, H. Williams; Fleming, Ian: Thieme Taschenlehrbuch der organischen Chemie. A Theoretische und allgemeine Gebiete. 5 Spektroskopische Methoden zur Strukturaufklärung. Georg Thieme Verlag Stuttgart 1975

KRÖHNCKE/ MASING/ BAUER 1940

Kröhncke, O.; Masing, G., Bauer, O.: Der Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe und ihrer Legierungen. Verlag von S. Hirzel, Leipzig 1940

OETEREN 1980

Oeteren, Karl.-A. van: Korrosionsschutz durch Beschichtungsstoffe. Grundlagen – Verfahren – Anwendungen. Band 1, Carl Hanser Verlag, München, Wien 1980

PETERS 1994

Peters, Udo: Korrosionsschutz durch organische Beschichtung. Ein praxisorientierter Leitfaden nach DIN 55928. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1994

PIETSCH 2005

Pietsch, Annik: Lösemittel. Ein Leitfaden für die restauratorische Praxis. VDR-Schriftreihe zur Restaurierung, Band 7, Theiss Verlag 2005

PROPYLÄEN 1997

Propyläen Technikgeschichte. Mechanisierung und Maschinisierung, 1600 bis 1840. Band 3, Propyläen Verlag 1997

RUF 1993

Ruf, Josef: Organischer Metallschutz. Entwicklung und Anwendung von Beschichtungsstoffen. Vincentz Verlag, Hannover 1993

SCHRAMM/ HERING 1995

Schramm, H.-P.; Hering, B.: Historische Malmaterialien und ihre Identifizierung. Band 1, Ravensberger Buchverlag 1995

SCHUSTER 1955

Schuster, Hans-Joachim: Die korrosionshemmende Wirkung der Bleimennige und des Bleicyanamides. Dissertation. Berlin, 1955

WÖRTERBURCH DER ARCHITEKTUR 2003

Kleines Wörterbuch der Architektur. 9. Auflage 2003

WULF 1958

Wulf, Heinrich: Farbwarenkunde. 5. Auflage, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld, 1958

Internetquellen:

<http://www.architektur-lexikon/pfette.htm> (Stand 01.02.2010)

<http://www.architektur-lexikon.de/lexikon/konsole.htm> (Stand 13.02.2010)

http://www.baulexikon.de/Bautechnik/Begriffe_Bautechnik/d/baulexikon_drahtglas.htm Stand (14.02.2010)

http://www.baunetzwissen.de/glossarbegriffe/Schiefer_Zusammensetzung-von-Schiefer_46243.html?index=Z (Stand 07.03.2010)

http://www.beyars.com/kunstlexikon/lexikon_9112.htm Stand (01.02.2010)

<http://www.braunkohle-bergbaumuseum.de> Stand (01.03.2010)

http://www.restauratoren.de/fileadmin/red/pdf/charta_venedig.pdf
(Stand 02.03.2010)

<http://www.conrads-lacke.de> (Stand 25.11.2009)

<http://www.hafra-sandstrahltechnik.de> (Stand 15.02.2010)

<http://www.holzbau-duenstl.de/nagelbinder/nagelbinder.html> (Stand 13.02.2010)

<https://www.huntsmanservice.com> (Stand 15.02.2010)

<http://www.regionalgeschichte.net/.../nagelsaeule.html> (Stand 18.02.2010)

<http://www.stadtnetz-wuppertal.de/article15804-6581.html> (Stand 25.02.2010)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Karree_\(Architektur\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Karree_(Architektur)) (Stand 13.02.2010)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lufthutze> (Stand 13.02.2010)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Molybdänit> (Stand 07.03.2010)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Pigment> (Stand 09.03.2010)

<http://de.wikipedia.org/wiki/RAL-Farbsystem> (Stand 23.02.2010)

Tabellenverzeichnis

Tabelle I	Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsmessungen.....	48
Tabelle II	Bewertung der Vorversuche zur Oberflächenvorbereitung.....	61
Tabelle III	Auftrag der Beschichtungssysteme auf die Probenplatten.	78
Tabelle IV	Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsmessungen.	82
Tabelle V	Zusammenfassung der Gitterschnittprüfungen.	85

Abbildungsnachweis

Abb. 1 und 6 STRABAG Real Estate GmbH.

Abb. 5 STRABAG Real Estate GmbH; Überarbeitung von der Diplomantin.

Abb. 7 Schmiedemeister und Restaurator Stefan Lasch-Abendroth.

Abb. 14, 24 und 25 Dipl.-Chem. & Freischaffender Restaurator Wolfgang
Conrad.

Abb. 15, 16 und 17 Dipl.-Rest. Martin Kaufmann.

Abb. 18 Dipl.-Rest. Sunniva Vohland (SPSG).

Abb. 19 www.stadtnetz-wuppertal.de Stand 25.02.2010.

Abb. 20 Dipl.-Ing. Mathias Conrads.

Abb. 21 www.regionalgeschichte.net Stand 18.02.2010

Abb. 22, 23 Dipl.-Rest. Christian Bode.

Abb. 26 und 27 Prof. Jörg Freitag (FHP)

Alle nicht aufgeführten Abbildungen stammen von der Diplomantin.

Glossar

Adhäsionsbruch	Bruch innerhalb einer Schicht.
Banden	Eine Bande steht für die Bandbreite der nutzbaren Wellenzahlbereich eines Spektrometers. Sie charakterisiert die jeweilige funktionelle Gruppe im Spektrum. ²⁷⁶
First	Der First ist der horizontale, obere Abschluss eines Daches. Er wird durch zwei aufeinander zulaufende, geneigte Dachflächen gebildet. ²⁷⁷
Foyer	Hier: Eingangshalle, Empfangshalle
Drahtglas	Drahtglas ist Glas mit einer Einlage aus Drahtgeflecht. Durch eine in die heiße Glasschmelze eingelassene Drahteinlage wird die Stabilität des Glases erhöht und etwaige Glassplitter bei einem Bruch gebunden. ²⁷⁸
Hutze	Die Hutze ist eine Öffnung, welche die Luftzirkulation gewährleistet. ²⁷⁹
inert	Als chemisch inert bezeichnet man Substanzen, welche mit potentiellen Reaktionspartnern nicht oder nur in sehr geringem Maße reagieren.
Karree	Franz.: carré, (Quadrat) Ein Karree bezeichnet in der Architektur eine geschlossene rechteckige oder auch trapezförmige Anordnung von Häusern, die einen gemeinsamen Innenhof umschließen. ²⁸⁰
Kohäsionsbruch	Bruch zwischen zwei Schichten.
Konsole	Eine Konsole ist ein Vorsprung am Gebäude, der als Auflagerung für Lasten dient. ²⁸¹

²⁷⁶ Vgl. DUDLEY/ FLEMING 1975.

²⁷⁷ Vgl. WÖRTERBUCH DER ARCHITEKTUR 2003, S. 33.

²⁷⁸ Vgl. www.baulexikon.de Stand 14.02.2010.

²⁷⁹ Vgl. www.wikipedia.org Stand 13.02.2010.

²⁸⁰ Vgl. www.wikipedia.org Stand 13.02.2010.

²⁸¹ Vgl. www.architektur-lexikon.de Stand 13.02.2010.

Monumental	gewaltig, sehr groß
Pfette	Eine Pfette ist eine zur Traufe und dem Dachfirst parallel verlaufender kleiner Träger, der hier als Auflager oder Stabilisierung für die Glasleisten und das Glasdach dient. ²⁸²
Penetration	Hier: eindringen und durchdringen der Bleimennige in angrenzende Schichten und Fehlstellen.
Remise	Franz.: emettre (wieder hinstellen, versorgen); Lat.: remittere (zurückschicken); Unterstand, Garage, Werkstatt, Geräte-, Wagenschuppen ²⁸³
Standzeit	Schutzdauer oder auch Dauerhaftigkeit eines Flächenschutzes durch Beschichtung.
Substrat	Ein Substrat ist unter anderem das einer Sache zugrunde liegende; Grundlage, Basis. ²⁸⁴ Hier: die Oberfläche des Werkstoffes Stahl, auf die ein Beschichtungsstoff aufgebracht werden soll oder aufgebracht wurde.
Traufgesims	Ein Traufgesims ist ein waagrecht verlaufendes, hervortretendes, glattes oder profiliertes Bauglied, welches die Gebäudewand horizontal gliedert. ²⁸⁵ Hier: Das Traufgesims dient als Auflage der Dachbinderkonstruktion. Außerdem dient es zum Regenwasserabfluss. Dazu befindet sich auf der Oberseite eine Rille, in der das Wasser vom Dach kommend aufgefangen und abgeleitet wird.
Walmdach	Das Walmdach weist an den Stirnseiten eines Gebäudes schräg abfallende Dachflächen auf. ²⁸⁶

²⁸² Vgl. www.architektur-lexikon.de Stand 01.02.2010.

²⁸³ Vgl. DUDEN 2007, S. 895.

²⁸⁴ Vgl. DUDEN 2007, S. 1002.

²⁸⁵ Vgl. www.beyars.com/kunstlexikon/lexikon Stand 01.02.2010.

²⁸⁶ Vgl. WÖRTERBUCH DER ARCHITEKTUR 2003, S. 139.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ATR	Attenuated Total Reflection (abgeschwächte Totalreflexion)
bar	Einheit für den Druck
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
Dipl.	Diplom
Dr.	Doktor
EDX	Energy Dispersive X-Ray Analysis (Energiedispersive Röntgenstrahlen-Analyse)
EK-PUR	Einkomponenten Polyurethan
Fa.	Firma
ff.	fortfolgende Seiten
FHP	Fachhochschule Potsdam
FPL	Forschungsinstitut für Pigmente und Lacke Stuttgart
franz.	französisch
FTIR	Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie
ggf.	gegebenenfalls
GR1	Traufanker grün, Nummer 1
GmbH & Co. KG	Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Compagnie Kommanditgesellschaft
Hr.	Herr
IR	Infrarotspektroskopie
lat.	lateinisch
LG1	Lasche groß, Nummer 1
li.	links
LK1	Lasche klein, Nummer 1
LK5-1	Lasche klein, Nummer 5, 1. Einzelteil
LK5-2	Lasche klein, Nummer 5, 2. Einzelteil

m	Meter
max.	maximal
mi.	mittig
min.	Minuten
mm	Millimeter
m ²	Quadratmeter
MPa	Megapascal
N/ mm ²	Newton pro Quadratmillimeter
Nr.	Nummer
Prof.	Professor
PUR	Polyurethan
R1	Traufanker rot, Nummer 1
re.	rechts
Rest.	Restaurator
REM	Rasterelektronenmikroskopie
s.	siehe
S.	Seite
s. a.	siehe auch
Sek.	Sekunden
sog.	sogenannte
SPSG	Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
Std.	Stunden
STRABAG	<u>STR</u> äßen <u>B</u> au- <u>A</u> ktien- <u>G</u> esellschaft
teilw.	teilweise
vermtl.	vermutlich
Vgl.	Vergleich
WG1	Winkelement groß, Nummer 1
WG1-V1	Winkelement groß, Nummer 1, Vorderseite 1
WG1-V2	Winkelement groß, Nummer 1, Vorderseite 2
WK1	Winkelement klein, Nummer 1

z. B.	zum Beispiel
&	und
μm	Mikrometer
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celcius