

Korrosionsschutz für umweltgeschädigte Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl (Modellvorhaben)

Zusammenfassender Endbericht zum Vorhaben

DBU-Az: 06834

Dr. Stefan Brüggerhoff

**Deutsches Bergbau-Museum
Fachbereich Denkmalschutz / Materialkunde
Herner Straße 45
44787 Bochum**

**in Zusammenarbeit mit: Fraunhofer Institut für Silikatforschung,
Arbeitsgruppe Kulturgüterschutz, Bronnbach**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1. Einleitung

- 1.1. Zielsetzung des Forschungsvorhabens
- 1.2. Struktur des Forschungsvorhabens

2. Beschichtungsmaterialien

- 2.1. ORMOCERe
- 2.2. Handelsübliche Produkte (Lacke, Wachse, Öle)

3. Laboruntersuchungen

- 3.1. Untersuchungsverfahren und Bewertungskriterien
 - 3.1.1 Herstellung von künstlich korrodierten Testsubstraten
 - 3.1.2 Belastungstests und Bewertungskriterien
- 3.2. Erzielte Ergebnisse
 - 3.2.1 ORMOCERe
 - 3.2.2 Handelsübliche Produkte (Lacke, Wachse, Öle)
 - 3.2.3 Schlussfolgerungen und Konsequenzen für die Konservierungsstrategie

4. Objektuntersuchungen / Musterflächen

- 4.1. Einsatz von transparenten Beschichtungsstoffen
 - 4.1.1 Hochofenwerk Henrichshütte Hattingen
 - 4.1.2 Aufbereitungsanlage des Erzbergwerks Rammelsberg Goslar
- 4.2. Einsatz von pigmentierten Beschichtungsstoffen
 - 4.2.1 Eisenkunstgussfiguren aus dem Schlosspark von Wolkenburg

5. Fazit und Diskussion der bisherigen Untersuchungen

6. Ausblick

7. Literatur

8. Öffentlichkeitsarbeit

Vorwort

Von einer kleinen Gruppe aus Mitgliedern der Fachgruppe Technisches Kulturgut der Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren (heute Verband der Restauratoren (VDR)) und Korrosionsschutzexperten des Vereins Deutscher Korrosionsfachleute e.V. (heute Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V. (GfKORR)) wurde 1992 eine gemeinsame Tagung mit dem Titel "Schutz der Metalle gegen atmosphärische Korrosion" vorbereitet und im März 1993 an der Märkischen Fachhochschule in Iserlohn durchgeführt. Am Ende der Iserlohrer Tagung musste das Fazit gezogen werden, dass es dringend einer besseren Zusammenarbeit zwischen den beiden Disziplinen bedarf. Dabei sollte das große Potential und Know-how, das der technische Korrosionsschutz zu bieten hat, für die sehr speziellen Anforderungen der restauratorischen Seite vor allem im Hinblick auf die Erhaltung Technischer Denkmäler nutzbar gemacht werden. Ein erster Schritt in diese Richtung wurde noch in Iserlohn mit der Gründung einer gemeinsamen Arbeitsgruppe aus Vertretern beider Institutionen der sogenannten ARGE KORE (Arbeitsgemeinschaft Korrosion/Restaurierung) getan. Neben einzelnen, kurzfristigen Stellungnahmen zu speziellen Objekten, stellte diese Gruppe auch die Keimzelle des vorliegenden Forschungsprojektes dar, das sie als technischer Beirat dann auch kontinuierlich begleitete.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse des Forschungsvorhabens in komprimierter Form zusammen. Eine ausführlichere Darstellung mit allen Zwischenergebnissen und Detailabbildungen wird als Publikation in der Schriftenreihe des Deutschen Bergbau-Museums Bochum im Laufe des Jahres 2002 veröffentlicht werden.

1. Einleitung

1.1 Zielsetzung des Vorhabens

Die industrielle Entwicklung seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts hat viele Städte und ganze Landstriche entscheidend geprägt, ein besonders Beispiel stellt hier das so genannte Ruhrgebiet in NRW dar. Nachdem eine Reihe von Industriezweigen heute bereits wieder an Bedeutung verloren haben und viele Industrieanlagen abgerissen werden, wächst der Wunsch, herausragende bauliche Zeugnisse jener Zeit zu erhalten. Dabei stellen sich ganz neue Fragen im Bereich der Restaurierung und Konservierung. Eine große Herausforderung stellt die Behandlung von enorm großen Anlagenteilen aus Eisen und Stahl dar, die der freien Bewitterung ausgesetzt sind und entsprechend rasch korrodieren. Allgemein etablierte Konzepte zur Instandsetzung von Industriekomplexen umfassen radikale Maßnahmen für die Reinigung und Vorbehandlung korrodierter Metalloberflächen: vollständiges Abtragen der Korrosionsschicht und Freilegen der blanken Metalloberfläche, sowie nachfolgende Beschichtung mit einem pigmentierten mehrlagigen Schutzanstrich. Diese Methode verändert das arbeitsgeschichtliche Erscheinungsbild der behandelten Oberfläche jedoch vollständig. Ausgehend von konservatorischen Gesichtspunkten ist eine solche Maßnahme somit auf solche Bereiche der Industrieanlagen zu begrenzen, für die auch in der Vergangenheit ein regelmäßiger Schutzanstrich mit Entfernung der Vorbeschichtung zur Instandhaltung vorgesehen war. Für andere Bereiche des Industriedenkmals, an denen zusätzlich zum effektiven Korrosionsschutz die Originaloberfläche bewahrt werden soll, besteht der Wunsch, Konservierungssysteme einzusetzen, die eine Erhaltung des arbeitsgeschichtlichen Erscheinungsbildes ermöglichen. Damit bieten sich hier transparente Beschichtungssysteme an. Die Schutzwirkung von dünnen Schichten transparenter Stoffe wie z.B. Wachsüberzügen (eine erprobte Methode bei Bronzeobjekten) war bisher nur in vereinzelten Testflächen bei großen Stahlbereichen von Industriedenkmälern angetestet worden. Eine breite Übersicht über die Chancen entsprechender Vorgehensweise lag nicht vor.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben bestand daher die Zielsetzung, die Möglichkeiten und Grenzen von transparenten Beschichtungssystemen auf blanken, teilkorrodierten und z.T.

mit Altbeschichtung versehenen Eisen- und Stahlflächen zu überprüfen. Dabei wurde neben einer Vielzahl handelsüblicher, rein organischer Produkte (Öle, Wachse, Klarlacke) auch die im Fraunhofer Institut für Silikatforschung (ISC) entwickelte neue Materialgruppe der anorganisch-organischen Hybridpolymere (ORMOCER¹) auf ihre Eignung für einen entsprechenden Korrosionsschutz untersucht. Hier bot sich die Möglichkeit, eine Produktgruppe, die ihre Eignung für die Bronzekonservierung gerade erwiesen hatte, auch für die Behandlung von Eisen- und Stahloberflächen anzupassen.

1.2 Struktur des Forschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben wurde in Kooperation zwischen dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum (DBM), Fachbereich Denkmalschutz/Materialkunde (früher Zollern-Institut), und dem Fraunhofer-Institut für Silikatforschung (ISC), Würzburg, Außenstelle Kulturgüterschutz in Bronnbach, bearbeitet. Antragstellung und Koordination lagen in den Händen des DBM. Dort wurden als inhaltlicher Schwerpunkt die Untersuchungen zu den handelsüblichen Produkten durchgeführt. Das ISC befasste sich mit der Anpassung und dem Test der ORMOCER für den Einsatz auf Eisen und Stahl. Begleitet wurde das Vorhaben durch die oben bereits erwähnte Arbeitsgemeinschaft Korrosion/Restaurierung von VDR und GfKORR.

Um der Vielzahl der Einflußgrößen von atmosphärischen Korrosionsvorgängen und den sich daraus ableitenden Anforderungen an die aufzutragenden Schutzsysteme Rechnung tragen zu können, wurde es als notwendig angesehen, sowohl orientierende Labor- und Freilanduntersuchungen an Modellproben (Testsubstraten) als auch Tests an originalen Objektflächen durchzuführen. Das Forschungsvorhaben untergliederte sich daher in drei Arbeitsschwerpunkte:

- Zustandsaufnahme und Charakterisierung von Material und Schäden an ausgewählten Industriedenkmalern,
- Begutachtung transparenter Beschichtungssysteme mittels Laborprüfungen an Testsubstraten (blanken und z.T. künstlich vorkorrodiert Eisen- und Gussblechen) unter Berücksichtigung der o.g. Schadenssituation an den realen Objekten,
- Untersuchungen der erfolgversprechenden Beschichtungssystemen aus den Laboruntersuchungen in Freilandstudien und Objekttestflächen.

Um die Aufgabenstellung, Eisenobjekte in verschiedensten Umgebungen und bei differierenden Umwelteinflüssen vor atmosphärischer Korrosion zu schützen, umfassend angehen zu können, wurden für das Vorhaben unterschiedliche Belastungsfälle bei realen Objekten gesucht. Dabei wurden zwei grundsätzliche Fälle unterschieden: frei bewitterte Oberflächen (Beregnung und Strahlungseinfluss) und vor direkter Belastung geschützte Flächen. Bei dieser groben Einteilung ergeben sich zwar noch viele Übergangssituationen, sie ermöglichte jedoch eine erste Klassifizierung auch im Hinblick auf die Auswahl geeigneter Testobjekte.

Für den Aspekt „freie Bewitterung“ wurden die Außenanlagen des Hochofenwerkes Henrichshütte in Hattingen, jetzt Außenstelle des Westfälischen Industriemuseums, ausgewählt. Der Hochofen und bestimmte, periphere Bauteile bedurften aufgrund der hohen Betriebstemperaturen während der Produktionszeit keines Korrosionsschutzes. Nach 10-jähriger Stilllegung waren aber starke Korrosionserscheinungen festzustellen und es sollten geeignete Schutzmaßnahme gefunden werden, um das jetzt als Technisches Denkmal für das Publikum geöffnete Bauwerk dauerhaft zu erhalten. Das Westfälische Industriemuseum (WIM) war daher einer der Initiatoren des Vorhabens unterstützte das Forschungsvorhaben als direkter Projektteilnehmer.

Für den Anwendungsfall einer „geschützten Bewitterungssituation“ wurde die

¹ Marke der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München

Aufbereitungsanlage des ehemaligen Erzbergwerks Rammelsberg in Goslar ausgewählt. In einer ersten Überlegung war erwogen worden, auch die untertägigen Anlagen des Bergwerks in das Projekt mit einzubeziehen. Diese Konzeption wurde dann jedoch fallen gelassen, da durch die kontinuierliche, sehr hohe Luftfeuchtesituation hier eine extreme Belastung gegeben ist, die in die grundsätzlichen Eignungsuntersuchungen nicht einbezogen werden sollte.

Bei der Aufbereitungsanlage des Erzbergwerks liegt zwar eine Innenraumsituation ohne direkte Beregnung vor, in der Halle (nicht geheizt) kann es jedoch durch Temperaturschwankungen zu Kondensationseffekten auf den Stahloberflächen der eingebauten Maschinenteile kommen. Die Erzaufbereitungsanlage stellt darüber hinaus einen interessanten Anwendungsfall dar, da ein Teil der Maschinen durch den früheren Produktionsprozess mit Auflagerungen aus z.T. ätzenden Chemikalien (Flotationsanlage) belastet ist. Damit ist ein schwieriger Problemfall für den Korrosionsschutz gegeben, der die Anwendungsmöglichkeit der unterschiedlichen Beschichtungsstoffe gut bewerten lässt. Auch der Betreiber der Anlage, die Rammelsberger Bergbaumuseum Goslar GmbH, beteiligte finanziell sich am Vorhaben und trat als weiteres Projektmitglied auf.

Neben diesen beiden großen Objekttestfällen wurde eine gewisse Anzahl von kleineren Beispielen in die Objektbegutachtung mit einbezogen und dort z.T. auch Beschichtungstest durchgeführt. Dies geschah entweder direkt im Projektrahmen oder in kleinen Begleitprojekten. Die Beispiele seien hier nur kurz aufgelistet: Windschöpfwerk Lobbe auf Rügen, Kräne im Donauhafen von Regensburg, Kunstgussfiguren in Bad Muskau.

Das weitgespannte Themengebiet der Korrosionserscheinungen an Eisen und Stahl wurde durch eine weitere Objektgruppe abgerundet: filigran gearbeitete Eisenkunstgusskulpturen. Die Skulpturen stammen aus dem Schlosspark von Wolkenburg-Kaufungen/Sachsen. Einige der Figuren tragen mehrlagige Farbschichten aus früheren Maßnahmen, die erhalten werden sollen. Andere wiederum waren durch frühere, erst relativ kurz zurückliegende Behandlung komplett ihrer Originalfassungen „beraubt“ und neu beschichtet worden. Die anschließend aufgetragenen Farbschichten zeigten aber schon wieder Fehlstellen, so dass erneut Korrosion auftrat. Gleichzeitig verfälschten diese dick aufgetragenen Farbschichten das Erscheinungsbild der Figuren derart, dass filigrane Oberflächenbereiche nicht mehr ausreichend scharf nachgezeichnet wurden. An diesen Objekten bot sich daher die Gelegenheit für eine Neufassung – auch mit pigmentierte Beschichtungen. Neben dem Lösungsansatz für den konkreten Schadensfall war damit der grundsätzliche Vergleich zwischen transparenten und pigmentierten Beschichtungsstoffen im Projekt möglich.

2. Beschichtungsmaterialien

Der Zielsetzung des Vorhabens entsprechend wurden Beschichtungsmaterialien untersucht, die einerseits eine deutliche und dauerhafte Korrosionshemmung gewährleisten, andererseits aber das optische Erscheinungsbild der zu schützenden Oberfläche möglichst wenig beeinträchtigen sollen. Ein grundsätzliches Ausschlusskriterium war die Konsistenz nach Reaktion und Trocknung der Produkte. Da alle Materialien letztlich im Besucherbereich zum Einsatz kommen sollen, muss eine Griffestigkeit gegeben sein. Dauerhaft flüssige, viskose oder klebrige Systeme wurden deshalb von vornherein verworfen. Neben der mangelnden Eignung im Hinblick auf einen Besucherverkehr ist deren hohe Staubbildung und die resultierende rasche Verschmutzung der Oberflächen ein Problem, dass die Produkte als wenig aussichtsreich erscheinen lässt und ihren grundsätzlichen Ausschluss begründete. Dies betrifft vor allem Öle, die bevorzugt zum temporären technischen Korrosionsschutz eingesetzt werden (da sie sich anschließend relativ leicht wieder von der Oberfläche entfernen lassen). Aus dieser Gruppe wurden nur solche Materialien in den Untersuchungen eingesetzt, die beim Trocknen einen Härtingsprozess durchlaufen. Sie werden im folgenden zusammen mit den Lacken behandelt.

Nachfolgend sind einige grundsätzliche Ausführungen zu den unterschiedlichen

Produktgruppen ausgeführt. In den Tabellen 1, 2 und 4 sind Kenndaten der eingesetzten Beschichtungsmaterialien zusammengefasst.

2.1. ORMOCERe

ORMOCERe sind transparente Beschichtungsmaterialien, die am Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung (ISC) für eine Vielzahl von industriellen Anwendungen [1] entwickelt werden. Einige dieser anorganisch-organischen Hybridpolymeren sind für den Bereich des Denkmalschutzes optimiert worden, für die Konservierung von historischen Glasfenstern [2] bzw. Bronzeskulpturen [3, 4].

ORMOCERe werden über den Sol-Gel-Prozess hergestellt: Hydrolyse- und Kondensationsreaktionen von Alkoxysilanen (z.B. Diphenylsilandiol) und organisch funktionalisierten Alkoxysilanen (z.B. 3-Glycidoxypropyltrimethoxysilan) bauen das anorganisch-oxidische Netzwerk dieser Heteropolysiloxane auf. Für ihre Verwendung in der Konservierungspraxis müssen die Schutzbeschichtungen spezielle Anforderungen erfüllen, wie Applikation und Härtung bei Umgebungsbedingungen (im Außenbereich sind großflächig keine speziellen Hochtemperaturhärtungen möglich). Zusätzlich müssen sie wieder abnehmbar sein (Reversibilität), falls dies notwendig wird (Reparatur oder Auftrag eines anderen Systems).

Für die Untersuchungen im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde auf ausgewählte ORMOCER-Systeme zurückgegriffen, die bereits im Bereich der Bronzekonservierung [3,4] optimale Schutzwirkung zeigten und die oben genannten Bedingungen für die Konservierungspraxis erfüllten. Diese Systeme wurden im ISC für ihre Anwendung auf Stahloberflächen modifiziert und optimiert. Ausgangspunkt der Entwicklungstätigkeit war das System OR-1 (Heteropolykondensat aus Diphenylsilan und 3-Glycidoxypropyltrimethoxysilan sowie Paraloid B72 (Acrylat) (im Verhältnis 8:2). Die genaue Herstellungsweise der ORMOCER-Verbindungen kann [3] entnommen werden. Die einzelnen Schritte der Optimierung und die dabei eingesetzten bzw. weiterentwickelten ORMOCER-Verbindungen werden im Kapitel 3.2.1 detailliert beschrieben.

2.2. Handelsübliche Produkte (Öle, Wachse, Lacke)

Wachse

In die Untersuchungen wurden sowohl Wachse aus der restauratorischen Praxis (Konservierung von Metallobjekten im Freien) als auch Produkte des technischen Korrosionsschutzes (temporärer Korrosionsschutz für Lagerung und Transport von niedrig legierten Stählen) einbezogen. Grundsätzlich kann angemerkt werden, dass von den vier Wachs-Hauptgruppen (Naturwachse, modifizierte Naturwachse, teilsynthetische und vollsynthetische Wachse) beim angedachten Außeneinsatz hauptsächlich Vertreter der drei letztgenannten Gruppen Verwendung finden. Dieses spiegelt sich auch in der vorliegenden Produktauswahl wieder. Tabelle 1 enthält entsprechende Angaben für die im Rahmen der Labortests eingesetzten Produkte. Da der Begriff "Wachs" nur die warenkundliche Sammelbezeichnung für Stoffe mit gleichen oder ähnlichen Gebrauchseigenschaften darstellt, ist die erweiternde Angabe zum Materialtyp besonders wichtig.

In der vorliegenden Untersuchung wurde grundsätzlich unterschieden zwischen einfachen Wachsmischungen, hergestellt aus definierten Grundstoffen und anwendungsfertigen Korrosionsschutzwachsen mit Beimengungen korrosionshemmender Substanzen (Inhibitoren, etc.). Lassen sich für die Vertreter der ersten Gruppe genaue Rezepturen angeben, können bei den Fertigprodukten nur die z.T. schwammigen Angaben der Hersteller herangezogen werden. Eine Aufstellung zu den unterschiedlichen Produkten, die im Vorhaben getestet wurden findet sich in Tabelle 1.

Hersteller	Produktname	Charakterisierung	Verwendung
Castrol	Rustilo 307 N	Wachsmischung	Werkzeug, Masch.
Dinol	Dinitrol 81	"wachsartiger" Film	Stahloberflächen
Fuchs	Anticorrit BW 366	hochraff. Mineralöle	Maschinenteile
Fuchs	Anticorrit DFW	hochraff. Mineralöle	Maschinenteile
Hodt	WRN-EP	Fett, Lanolin-Zusatz	Schiffe, Tanks
Hodt	BN	Gel, Lanolin-Zusatz	Schiffe, Tanks
Hoechst	R21	Bohnerwachs	Bohnerwachs
Hüls	Vestowachs H2	Fischer-Tropsch-Wachs	Grundstoff
Hüls	Vestowachs A235	PE-Wachs	Grundstoff
Hüls	Tafelparaffin		Grundstoff
KL Chemie	Makon Maschinenkonserv.	Wachsmischung	Maschinenteile
Klöcker	OKS 2100	Spezialwachs	Maschinenteile
Kremer	Cosmoloid H 80	n.- & isoparaff. KW	Restaurierung
Pluto	Plutokor WU40	Wachsmischung	Maschinenteile
Tedden	WB25	"Weichwachs"	bl. u. verzun. Teile
Tromm	TeCerowachs 30201	mikrokr. Wachs	Restaurierung
Tromm	TeCerowachs 30222	mikrokr. Wachs	Restaurierung
Tromm	TeCerowachs 30410	mikrokr. Wachs	Restaurierung
Valvoline	Tectyl 100	"wachsartiger" Film	Werkzeug., Masch.
Valvoline	Tectyl 1078	"wachsartiger" Film	Autolack-Kons.
W. Dietz	K746	"wachsartiger" Film	Stahloberflächen
wako	Aero 46	mikrokr. Wachs, Paraf., PE-Wa-Der., Met.-Ste.	Restaurierung, bla. u. lack. Flächen

Tabelle 1: Informationen zu den eingesetzten Wachsen

Lacke

Bei den Untersuchungen wurden unterschiedlichste Vertreter aus dem Bereich der Klarlacke getestet (siehe Tabelle 2). Es kamen sowohl physikalisch trocknende Verbindungen wie chemisch reagierende Ein- oder Zweikomponentensysteme zum Einsatz. Mit besonderem Interesse wurden die mit Feuchte ausreagierenden Verbindungen betrachtet, da hierbei eine doppelte Schutzwirkung (Feuchteentzug und Deckschichtbildung) erwartet werden kann. Die Materialpalette umfasste Bindemittelsysteme wie Alkydharze, Aldehyd- und Ketonharze sowie Acrylate und Polyurethane. Auch Produkte wie aushärtende Naturharzöle und Harzfraktionen aus der Mineralölraffination wurden in diesem Rahmen getestet.

Bei einem Teil der Materialien handelt es sich um Grundstoffe (Bindemittel), die in der Lackindustrie eigentlich erst durch Zugabe weiterer Additive (Pigmente, Füllstoffe, Lackhilfsmittel, etc.) zu anwendungsfertigen, technischen Produkten aufgebaut werden. Ein anderer Teil umfasst kommerzielle "Rostversiegler", die im Hinblick auf den eintretenden Feuchteentzug und die resultierende Festigung von korrodierten Untergründen als "Wunderwaffe gegen den Rost" angeboten werden. Daneben wurden natürlich auch die in der Konservierung bereits etablierten Systeme (wie z.B. das Paraloid B72) mit berücksichtigt. Wie schon bei den Wachsen muss auf die Schwierigkeit hingewiesen werden, dass bei

vielen kommerziellen Produkten bisher nur grobe Angaben zur Zusammensetzung aus den Herstellerangaben ermittelt werden konnten (siehe wiederum Tabelle 2).

Hersteller	Produktname	Bindemittel	Verwendung
Alschweig	Naturharzöl (mit div. Zusätzen)	Naturharzöl, Wachs, Parafin	Restaurierung
BASF (Conrads)	Laropal K 80	Ketonharz	Grundstoff
BASF (Conrads)	Laropal A 81	Aldehydharz	Grundstoff
Bayer	Primer 2823		Grundstoff
Caramba	Motorklarlack CA-B11	Acrylat-Basis	Motoren
Conrads	EK-PUR-Lacke	Polyurethan	Grundst./Rest.
Conrads	2K-PUR-Lacke	Polyurethan	Grundst./Rest.
Conservation Resources	Incralac (LA1)	Methyl-methyl-Acrylat (B44-S) + BTA	Restaurierung
Fuchs	Anticorrit DFL	hochraffinierte Mineralöle	Rohre, Profile
Geholit + Wiemer	Gehotex-AC W8-40	Polymerisat	verzinkt. Stahl
Geholit + Wiemer	Gehotex-AC LP-7386		Stahl innen
Kremer	Paraloid B 48-N	Acrylat	Restaurierung
Kremer	Paraloid B 67	Isobutyl-Methacrylat-Copolymer	Restaurierung
Kremer	Paraloid B 72	Äthyl-Methyl-Acrylatpolymer	Restaurierung
Permatex	Permatex 2602 + Härter	Acrylharz (aliph. Polyisocyanat)	Stahl, Masch.
Peters	SL 1305 AQ	Polyacrylat-Polyurethan	Schutzlack
Peters	SL 1309 N	Acrylharz	Elektronik
Pluto	Inferrugol AS	Alkydharz	Rohre, Werkz.
J. Richter	Pantarol A	Acryl-Basis	Restaurierung
Tedden	Kydal 50 L	Esterharze	Rohre, Profile
Tedden	Kydal 50 L/S	Esterharze	Rohre, Profile
Tedden	Kydal 50 EL/ST-3/30	Esterharze	Rohre, Profile
Voss Chemie	Bob-Rostversiegeler	Polyurethanbasis (+ verm. Isocyanate)	Tiefengrund
Voss Chemie	Owatrol	Naturöl	Maschinen
Wittig	Hartrockenglanzöl	Alkydharz	Restaurierung
Zipperling	Corrpassiv	Polyanilin	Stahlteile
Zipperling	Correpair		Stahlteile

Tabelle 2: Informationen zu den eingesetzten Lacken

3. Laboruntersuchungen

Die Vielzahl der in Kap. 2.2 aufgeführten, handelsüblichen Produkte macht deutlich, dass ein Selektionsprozess vor einer großflächigeren Anwendung an Testflächen von Objekten notwendig war. Diese Selektion – sowie der Optimierungsprozess bei den ORMOCERen - wurde durch zeitraffende Labortests erreicht. Für diese Tests wurde nach geeigneten

Substraten für den Auftrag der Beschichtungsstoffe sowie nach realistischen, aber den Bewertungszeitraum kurz haltenden Belastungsverfahren gesucht. Dazu wurden die ausgewählten Objekte (Henrichshütte Hattingen und die Aufbereitungsanlage des Erzbergwerks Rammelsberg, Goslar) im Hinblick auf die unterschiedlichen Materialien und Schadensbilder in verschiedenen Teilbereichen untersucht. Bei dieser Begutachtung wurden zum einen mögliche Testflächen mit unterschiedlichen (Umwelt-)Bedingungen und Schadensgraden ausgewählt (für die abschließenden Beschichtungstests unter realen Bedingungen), zum anderen wurde aber auch versucht einen Zustand zu ermitteln, der als ein Standardoberflächenzustand für Testbleche festgelegt werden kann. Bei der großen Bandbreite der unterschiedlichen Stahlvarianten, vorhandener Altbeschichtungen und Schadensgrade (siehe hierzu Kap. 4.1.1 und 4.1.2) wurde aber letztlich eine andere Vorgehensweise eingeschlagen. Es wurde ein im Hinblick auf Korrosionserscheinungen sehr empfindliches Substrat und eine stark simplifizierte Vorschädigungsweise (siehe Kap. 3.1) gewählt. Bei den Laborbelastungen wurde dann auf Standardverfahren (DIN- oder DIN angepasste Verfahren) zurückgegriffen, da hier der Vergleich zu anderen Prüfergebnissen aus dem technischen Korrosionsschutz möglich war.

Als empfindliches Testsubstrat wurde ein niedrig legierter Stahltyp (DC 04 B (EN 10130); frühere Bezeichnung: ST 1405) ausgewählt. Dieses Material, das auch für normierte Umweltprüfungen eingesetzt wird (VDI 3955, Teil 1 [5]), ist bereits kommerziell in einer sinnvollen Testgröße (5 x 10 cm² bei einem Millimeter Stärke) zu beziehen. Es wurde sowohl als blankes Blech wie auch vorkorrodiert verwendet (s.u.). Auf einen Farbauftrag zur Simulation einer Altbeschichtung wurde im Vorhaben noch verzichtet, da dessen Zusammensetzung und standardisierte Alterung vor den eigentlichen Beschichtungstests einen eigenen langfristigen Entwicklungsschritt bedeutet hätte, der bei der dreijährigen Projektlaufzeit nicht zeitgerecht hätte verwirklicht werden können. Hier wurde stattdessen darauf gesetzt, die Verträglichkeit der zu untersuchenden transparenten Beschichtungsstoffe mit den Altlacken an den Objekttestflächen zu begutachten und zu bewerten sowie bereits im Vorfeld aus theoretischen Überlegungen (Lösemittelverträglichkeiten) abzuleiten.

Alle bezogenen Stahlbleche wurden vor der ersten Behandlung mit Lösemitteln (Waschbenzin, Aceton) entfettet. Zusätzlich wurden für spezifische Untersuchungen (Aspekt Kunstgussfiguren) auch entsprechende Graugussplatten aus der Lauchhammer Kunstgießerei, Sachsen in den Formaten 10 x 10 cm² eingesetzt. Hier wurde auf den Entfettungsschritt verzichtet.

3.1. Untersuchungsverfahren und Bewertungskriterien

3.1.1 Herstellung von künstlich korrodierten Testsubstraten

Laborprüfungen an Beschichtungsstoffen setzen ein geeignetes Trägermaterial voraus, das in ausreichend großer Anzahl und entsprechend reproduzierbar für die systematischen Auswahlverfahren hergestellt werden kann und in seiner Oberfläche dem natürlichen Erscheinungsbild am Originalobjekt ähnlich sein soll. Für den Anwendungsfall einer blanken, nicht korrodierten Stahloberfläche ist der Zustand vergleichsweise einfach zu verwirklichen. Hier ist nur die Materialwahl (s.o.) entscheidend. Bei korrodierten Oberflächen können jedoch sehr unterschiedliche Zustände auftreten, gleichzeitig ist es schwierig immer wieder auf gleichartige Substratoberflächen zurückgreifen zu können. Um einen standardisierten Korrosionszustand zu gewährleisten, war es notwendig, ein spezielles Vorbehandlungsverfahren für Prüfbleche zu entwickeln. Dazu wurden die Testbleche in einem zweistufigen Prozess künstlich vorkorrodiert und anschließend mit „weichen“ Reinigungsverfahren eine für Beschichtungsstoffe tragfähige, gleichzeitig aber das Erscheinungsbild nicht zu stark verändernde Oberfläche hergestellt:

Im ersten Schritt wurden die entfetteten Probenbleche in 5%-ige NaCl-Lösung getaucht und anschließend tropfnass einem Kondenswasserklima von 40 °C und 100 % rel. Luftfeuchte über 8 Stunden ausgesetzt. Daran schloss sich eine 16 h Trocknung bei Raumtemperatur an

(24 h-Zyklus). Nach einer fünfmaligen Wiederholung dieser beschleunigten Bewitterung im Labor erfolgte im zweiten Schritt eine dreiwöchige Freibewitterung, wobei die Probenbleche in einem nach Süden ausgerichteten Holzgestell senkrecht hängend ausgelagert wurden. Die Bleche waren anschließend mit lockeren braunen Rostschichten bedeckt, die den unter natürlichen Bedingungen auf historischen Objektoberflächen gewachsenen, optisch sehr ähnlich sind.

Die große Vielfalt der Objektschadenszustände verlangte nach angepassten Reinigungsverfahren. Die allgemeine Forderung in der Denkmalpflege hat die Wiedergewinnung und den Erhalt der ursprünglichen, obgleich gealterten Oberfläche zum Ziel. Die Korrosionskruste soll dabei nur soweit wie notwendig abgetragen werden, um weitere Korrosion zu verhindern und die Oberfläche für nachfolgende Konservierungsschritte vorzubereiten. Ein "Überreinigen" soll auf jeden Fall vermieden werden.

Zunächst wurden daher Trockenreinigungsmethoden getestet. Versuche mit Air-brasiv-Techniken unter Verwendung unterschiedlicher Strahlmittel und verschiedener Drücke zeigten, dass ein schrittweises und sorgfältiges Reinigen möglich ist. Besonders mit Walnußschalen und PolyPlus(Kunststoff)-Granulaten konnten vielversprechende Ergebnisse erzielt werden. Härtere Strahlmittel wie Glasperlen und Korundpartikel erwiesen sich dagegen als weniger geeignet, da mit diesen Materialien ein vorsichtiges Abtragen der Korrosionskruste nicht möglich war.

Der beste Kompromiss zwischen einer "sanften" Reinigung und einer ausreichenden Abtragung der Rostauflagen im Hinblick auf die Vorbereitung für die Beschichtung konnte beim Einsatz von Walnußschalen als Strahlmittel (Druck: 8 bar; Düsendurchmesser: 13 mm; Abstand zwischen Sprühhvorrichtung und Metalloberfläche: ca. 50 cm) erreicht werden. Mit dieser Technik ließen sich lockere Rostpartikel von der Oberfläche entfernen, wobei eine ziemlich einheitliche (optischer Eindruck), restkorrodierte Probenoberfläche erhalten blieb.

Auf die so vorbereiteten Oberflächen (blank und vorkorrodiert) wurden die unterschiedlichen transparenten Beschichtungsstoffe aufgetragen (siehe Kap. 3.2) und dann verschiedenen Belastungen unterworfen.

3.1.2 Belastungstests und Bewertungskriterien

Zur Prüfung der Effektivität der Schutzbeschichtungen wurden zwei unterschiedliche korrosionsbeschleunigende Bewitterungsbedingungen in Klima (Prüf-)kammern realisiert und die beschichteten Prüfkörper diesen Bedingungen über definierte Zeiträume (14 Tage bis vier Wochen (28 d)) ausgesetzt:

- Kondenswasserkonstantklima (DIN 50017) mit einer wassergesättigten Prüfatmosphäre von 40°C;
- simulierte Industrielatmosphäre (angelehnt an DIN 50018) mit Temperaturzyklen und Befeuchtungsintervallen bei dosierter Schadgaszufuhr (4 mg/m³ SO₂ für je 12 min/Belastungsstunde) (im DBM angewendetes Verfahren) bzw. mit Temperatur- und Feuchtezyklen bei konstantem Schadgasgehalt (5 ppm SO₂) (im ISC angewendetes Verfahren).

Zur Bewertung des jeweiligen Probenzustandes wurden Richtlinien angewendet, die in Tabelle 3 dargestellt sind: Haftfestigkeit (Gitterschnittmethode EN ISO 2409), Rostgrad (in Anlehnung an DIN 53210) sowie Transparenz (optischer Eindruck: +; -). Bei lackartigen Systemen erfolgte eine Schichtdickenmessung mit einer magnetinduktiven Methode (EN ISO 2178). Bei den weicheeren Wachsaufträgen wurde hierfür die Massendifferenz zwischen unbehandelten und behandelten Proben herangezogen.

Tabelle 3: Richtlinien zur Charakterisierung von Beschichtungseigenschaften auf Stahloberflächen vor und nach Bewitterungsverfahren

Bewertung					
Kriterien zur Schadensintensität*	vor Bewitterung der Beschichtung:	nach Bewitterung der Beschichtung in simulierter Industrielatmosphäre (Ks), Schwitzwasser (Sw) oder Freiland (Fl):		Kriterien zur Beschreibung	vor und nach der Bewitterung der Beschichtung:
	Haftfestigkeit GT (Gitterschnitt nach EN ISO 2409)	Rostgrad** KK, SK, FK	Haftfestigkeit KGT, SGT, FGT (Gitterschnitt nach EN ISO 2409)		Aussehen der Schicht A, KA, SA, FA
0	vollkommen glatte Schnittkanten; kein Teilstück des Anstrichs ist abgeplatzt	keine Veränderung des Aussehens; keine Korrosion	vollkommen glatte Schnittkanten; kein Teilstück des Anstrichs ist abgeplatzt	a	völlige Transparenz; keine Trübung
1	an Schnittpunkten des GT sind kleine Splitter des Anstrichs abgeplatzt; abgeplatzte Fläche = ~ 5% der Teilstücke	vereinzelt lokale Korrosion an Rand oder in der Mitte der Probenfläche; insgesamt < 5% der Gesamtfläche	an Schnittpunkten des GT sind kleine Splitter des Anstrichs abgeplatzt; abgeplatzte Fläche = ~ 5% der Teilstücke	b	vereinzelte Stellen der Probenfläche mit Trübungen
2	Anstrich längs der Schnittkanten u./o. an den Schnittpunkten abgeplatzt; abgeplatzte Fläche = ~ 15% der Teilstücke	statistisch verteilte Korrosion; insgesamt < 15% der Gesamtfläche	Anstrich längs der Schnittkanten u./o. an den Schnittpunkten abgeplatzt; abgeplatzte Fläche = ~ 15% der Teilstücke	c	statistisch verteilte Stellen mit Trübungen
3	Anstrich längs der Schnittkanten u./o. an den Schnittpunkten z.T. oder ganz in breiten Streifen u./o. Teilstücke abgeplatzt; abgeplatzte Fläche = ~ 35% der Teilstücke	statistisch verteilte stärkere Belegung mit Korrosionsprodukten; insgesamt < 35% der Gesamtfläche	Anstrich längs der Schnittkanten u./o. an den Schnittpunkten z.T. oder ganz in breiten Streifen u./o. Teilstücke abgeplatzt; abgeplatzte Fläche = ~ 35% der Teilstücke	d	flächiges matts Erscheinungsbild
4	Anstrich längs der Schnittkanten u./o. an den Schnittpunkten z.T. oder ganz in breiten Streifen u./o. Teilstücke abgeplatzt; abgeplatzte Fläche = ~ 65% der Teilstücke	stärkere Belegung mit Korrosionsprodukten; insgesamt < 65% der Gesamtfläche	Anstrich längs der Schnittkanten u./o. an den Schnittpunkten z.T. oder ganz in breiten Streifen u./o. Teilstücke abgeplatzt; abgeplatzte Fläche = ~ 65% der Teilstücke	e	flächiges glänzendes Erscheinungsbild
5	abgeplatzte Flächen > 65% der Teilstücke	flächiger bis dichter Korrosionsbelag; insgesamt > 65% der Gesamtfläche	abgeplatzte Flächen > 65% der Teilstücke	f	Farbveränderung der Probenfläche
Bemerkungen				Bemerkungen	

Anmerkungen zur Bewertung: (subjektive Bewertungen können sich im Bereich von ½ - 1 Skalenunterteilungen unterscheiden)

die Beurteilung findet in Referenz zur unbewitterten beschichteten und unbeschichteten Nullprobe statt

Eigenschaften wie Reversibilität durch chemische Abtragung spielen eine untergeordnete Rolle in der Bewertung des temporären Korrosionsschutzes, da im Bereich Stahlkonservierung mechanische Methoden zum Abtragen von Beschichtungen eingesetzt werden können

* Kriterien 0 - 2 werden durch Bewertung mit Hilfe der Stereolupe vergeben; Kriterien 3 - 5 sind makroskopisch festlegbar; Photos verschiedener Schadenstypen illustrieren die Kriterien zur Schadensintensität bzw. zur Beschreibung; evtl. Bemerkungen können die Angaben ergänzen;

** fortschreitende Korrosion wird durch das Auftreten von hellen Neurostprodukten definiert, die die Beschichtung durchbrechen

zusätzlich kann Unterrostung (+) eintreten, d.h. es entstehen oftmals dunkle Korrosionsprodukte unterhalb der Schicht, die die Beschichtung noch nicht aufbrechen

3.2 Erzielte Ergebnisse

Im Rahmen der Labortests wurden die verschiedenen Beschichtungsmaterialien auf die oben vorgestellten Testsubstrate aufgetragen. Dies erfolgte bei den Testblechen nur einseitig, um mit der Rückseite jedes Bleches eine direkte Referenzfläche für die Bewertung nach dem Belastungszyklus zu erhalten. Für die unterschiedlichen Untersuchungen wurden zumeist drei Proben eines Systems hergestellt, von denen zwei in den jeweiligen Belastungstest gingen und eines als beschichtete aber nicht belastete Referenz aufbewahrt wurde. Damit war ein Mindestmaß an statistischer Sicherheit bei gleichzeitiger Verhinderung eines ausufernden Testumfangs gegeben.

Der Auftrag der Beschichtungsstoffe erfolgte bei horizontaler Positionierung der Bleche und Gussplatten. Damit ist zwar eine andere Situation als bei den meist senkrechten Flächen der Objekte gegeben, es wurde jedoch eine besserer Reproduzierbarkeit des Auftrags und damit eine bessere Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Produkte und Tests untereinander gewährleistet.

Beim Auftrag der Beschichtungsprodukte auf die Testsubstrate boten sich zwei grundsätzliche Wege an: Das Material konnte mit einem Pinsel aufgetragen oder gespritzt werden. Beide Varianten wurden in den ersten Tests im Vorhaben einander gegenübergestellt. Dabei ließen sich einige grundsätzliche Erfahrungen machen:

- Nicht alle Produkte sind zum Spritzauftrag geeignet, da sie während des Spritzens im feinverteilten Nebel bereits reagieren (z.B. mit der Luftfeuchte) und dann nicht mehr vernünftig auf der Oberfläche anbinden.
- Der Spritzauftrag ist im allgemeinen gleichmäßiger als der Pinselauftrag und führt zu einer höheren Schichtdicke. Allerdings kann beim Pinselauftrag das Beschichtungsmaterial besser in die Oberfläche „einmassiert“ werden, was bei den vorkorrodierten Oberflächen besonders von Bedeutung ist.
- Mit dem Pinselauftrag tritt das Problem der Kantenflucht stärker in den Vordergrund. Da die Bleche nur einseitig beschichtet wurden, kam es in den nachfolgenden Belastungsverfahren häufiger zu einer Rostunterwanderung von den Seiten her. Dies musste bei der Interpretation als ein systembedingtes Versagen berücksichtigt werden und nicht zu stark den Stoffen selbst angelastet werden.
- Grundsätzlich stellte sich der Pinselauftrag als das einfacher zu handhabende Verfahren heraus. Auch die z.T. parallel laufenden Untersuchungen an den Objekttestflächen zeigten klar an, dass hier der Pinselauftrag besser zu verwirklichen war. Aus diesem Grund wurden im Laufe des Vorhabens Vergleiche der verschiedenen Produkte nur noch durch Aufstreichen der Beschichtungsmaterialien durchgeführt. Auch dies war ein Beitrag, um die enorme Zahl der Testparameter, die zu einem lawinenartigen Ansteigen der Tests geführt hätten, auf einen durchführbaren Rahmen zu reduzieren.

3.2.1 ORMOCERe

Die ausgewählte ORMOCER-Systeme, die bereits im Bereich der Bronzekonservierung optimale Schutzwirkung gezeigt hatten, wurden am ISC für ihre Anwendung auf Stahloberflächen modifiziert und optimiert. Es zeigte sich dabei, dass eine Schichtdicke von nur ~ 10 µm, wie sie durch Sprühapplikation oder manuellen Pinselauftrag von niedrigviskosen ORMOCER-Lacken auf den Bronzeoberflächen mit ein- oder zweilagigen Schutzsystemen in erzielt worden ist, für einen effektiven Korrosionsschutz auf blanken Stahlproben nicht ausreicht. Auch ist der Beitrag zur Korrosionsschutzwirkung der aus dem konventionellen Acrylharz Paraloid B72 bestehenden Deckschicht bei den für die Bronzekonservierung erfolgreich eingesetzten zweilagigen ORMOCER-Systemen auf blanken Stahlblechen äußerst gering (siehe auch Ausführung zu Lacken in Kap. 3.2.2).

Modifizierte ORMOCER-Lacke mit höherer Viskosität ergaben höhere Schichtdicken (~ 20 µm), jedoch auch schlechtere Haftungseigenschaften der Beschichtung. Die Schichtdicke (bis zu 40 - 60 µm) und der Schutzeffekt der Beschichtungen sowohl auf blanken als auch

auf vorkorrodierten Stahlproben konnten unter Verwendung geringerer Verdünnungen und durch Einbringen von transparenten anorganischen Füllstoffen wie z. B. Glasflitter (Glasflitter mit Durchmesser 0,4 mm und Dicke 3 µm; wie z.B. ORMOCER-Beschichtungssystem OR 1 - GF in Tabelle 4) gesteigert werden. Die schuppige Form dieser Füllstoffe vermindert das Eindringvermögen von Wasserdampf in die Beschichtung durch eine Verringerung der effektiven Oberfläche und verlängert und verengt gleichzeitig den Diffusionsweg von Wasserdampf durch die Beschichtung zum Metalluntergrund. Dieses zunächst auf blanken Stahlproben optimierte und modifizierte Erhaltungskonzept wurde ebenso auf vorkorrodierten Stahlproben eingesetzt und in den Klimasimulationen getestet. Es zeigte sich, dass die mit Glasflitter pigmentierte ORMOCER-Beschichtung OR 1 - GF auch für korrodierte Stahloberflächen sehr gut geeignet ist. Durch den Füllstoff wird zusätzlich die rauhe korrodierte Oberfläche deutlich eingeebnet. Diese ORMOCER-Beschichtungsvariante wurde daher im ISC-Labor gezielt anwendungstechnisch modifiziert, um die Grenzen der Variationsmöglichkeiten hinsichtlich der Korrosionsschutzwirkung zu erkennen.

Eine vereinfachte Applikationstechnik zur Pigmentierung der OR 1 - Beschichtung wurde durch *Einrühren* der Glasflitter in den aufzutragenden Lack (OR 1 - GFL) erreicht. Eine *Einlagerung* von Glasflittern mittels einer Folie beim mehrschichtigen Pinselauftrag des ORMOCER-Lackes ist dagegen an komplex geformten oder großflächigen Objektbereichen außerordentlich umständlich und schwierig ausführbar. Die Pigmentierung des ORMOCER-Lackes durch *Einrühren* der Glasflitter vor der Applikation führt zusätzlich zu einer höheren Schichtdicke des Schutzsystems (~ 70 µm) gegenüber der durch *Einlagerung* der Glasflitter pigmentierten Beschichtung OR 1 - GF (~ 40 µm). Die verbesserte Korrosionsschutzwirkung auf blanken Stahloberflächen wurde in einer ausgedehnten Bewitterung in simulierter Industriatmosphäre (bis zu 28 Tage) festgestellt, in der auch zusätzlich die Anzahl der einzelnen Schichten und das Mischungsverhältnis von Lack zu eingerührten Glasflitter im Schutzsystem OR 1 - GFL variiert wurden. Die Paste aus der Mischung von 3:1 (Lack:Glasflitter, in Gew.%; Beschichtungssystem OR 1 - GFL(3:1)) war gut handhabbar und konnte ohne Entmischung auf die Substratoberfläche per Pinselauftrag homogen verteilt werden. Jedoch erhielt die Substratoberfläche durch Lichtreflexion an den Flittern ein stark glänzendes Erscheinungsbild. Eine "verdünnte" Mischung von 10:1 (Lack:Glasflitter, in Gew.%; Beschichtungssystem OR 1 - GFL(10:1)) brachte eine bessere Optik, zeichnete sich allerdings durch einen schlechteren Korrosionsschutz in den zeitraffenden Labortests aus. Als Kompromiss wurde für die Testflächenbeschichtung an den Objekten ein Mischungsverhältnis von 7:1 (Lack:Glasflitter, in Gew.%) eingesetzt. Als Alternative zum Pinselauftrag wurde zur Applikation des Lacksystems mit eingerührten Glasflittern ein Walzauftrag mit Hilfe einer Rolle versucht (Beschichtungssystem OR 1 - GFR), um die eingelagerten plättchenförmigen Pigmente in der ORMOCER-Beschichtung möglichst parallel auszurichten. Diese Methode erwies sich jedoch als ungeeignet, da infolge der starken mechanischen Beanspruchung (Walzbewegung) der applizierte Lack nachträglich wieder abgetragen wurde, so dass geringere Schichtdicken als beim Pinselauftrag erzielt wurden, die einen schlechteren Schutzeffekt der gewalzten Beschichtung bewirkten.

Weiterführende Variationen der mit Glasflitter pigmentierten ORMOCER-Beschichtungen auf vorkorrodierten Stahlproben wiesen in den beschleunigten Bewitterungsverfahren deutliche Unterschiede in der Korrosionsschutzwirkung auf: geringere Verdünnungen der applizierten ORMOCER-Lacke oder Pigmentierung mit größeren Glasflittern (OR 1 - GF': Glasflitter mit Durchmesser 3,2 mm und Dicke 3 µm) führten zwar zu einer weiteren Erhöhung der Schichtdicke der resultierenden Beschichtung (bis zu 95 µm), jedoch auch zur Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbildes der konservierten Oberfläche. Die Schutzwirkung dieser Varianten wurde ebenfalls gemindert, da die Beständigkeit der Beschichtung bei wechselklimatischer Belastung durch unzureichende Flexibilität herabgesetzt wurde.

Zur Ergänzung der Modifizierung von ORMOCER-Beschichtungen mit eingelagerten Glasflitter unter Verwendung von ORMOCER-Lacken mit geringeren Verdünnungen wurde

die Anzahl an applizierten Schichten variiert. Mit abnehmender Schichtdicke wurde eine bessere Haftung und Flexibilität der Beschichtung erzielt (OR 1 - GFL(4), OR 1 - GFL(3), ..., OR 18 - GF). Die Schutzwirkung der Beschichtung OR 18 - GF ist jedoch gegenüber der Beschichtungsvarianten OR 1 - GFL(5) bereits deutlich gemindert. In Tabelle 4 sind einige durch Modifizierung entstandenen ORMOCER-Beschichtungssysteme zusammengefasst.

ORMOCER-Beschichtungs-variante	ORMOCER-Grundmaterial, Verdünnung in Butoxyethanol / Vol%	ORMOCER-Schutz-konzept	Anzahl der aufgetragenen ORMOCER-Schichten (Einlagerung von anorganischen Füllstoffen; Verhältnis Lack:Glasflitter / Gew%)
OR 1 - GF	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	5 (2., 3. und 4. Schicht enthalten aufgestreute Glasflitter)
OR 1 - GF(4)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	4 (2. und 3. Schicht enthalten aufgestreute Glasflitter)
OR 1 - GF(3)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	3 (2. Schicht enthält aufgestreute Glasflitter)
OR 1 - GF'	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	5 (2., 3. und 4. Schicht enthalten aufgestreute Glasflitter)
OR 1 - GFL(5; 3:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	5 (2., 3. und 4. Schicht enthalten eingerührte Glasflitter; 3:1)
OR 1 - GFL(4; 3:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	4 (2. und 3. Schicht enthalten eingerührte Glasflitter; 3:1)
OR 1 - GFL(3; 3:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	3 (2. Schicht enthält eingerührte Glasflitter; 3:1)
OR 1 - GFL(5; 10:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	5 (2., 3. und 4. Schicht enthalten eingerührte Glasflitter; 10:1)
OR 1 - GFL(4; 10:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	4 (2. und 3. Schicht enthalten eingerührte Glasflitter; 10:1)
OR 1 - GFL(3; 10:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	3 (2. Schicht enthält eingerührte Glasflitter; 10:1)
OR 1 - GFR(5; 10:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	5 (2., 3. und 4. Schicht enthalten eingerührte und eingewalzte Glasflitter; 10:1)
OR 1 - GFR(3; 10:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	3 (2. Schicht enthält eingerührte und eingewalzte Glasflitter; 10:1)
OR 1 - GFR(3; 3:1)	GDiphenyl; 1:1	Einlagig	3 (2. Schicht enthält eingerührte und eingewalzte Glasflitter; 3:1)
OR 17 - GF	GDiphenyl; 1:0	Einlagig *	4 (2. und 3. Schicht enthalten aufgestreute Glasflitter)
OR 17,5 - GF	GDiphenyl; 2:1	Einlagig *	5 (2., 3. und 4. Schicht enthalten aufgestreute Glasflitter)
OR 18 - GF	GDiphenyl; 2:1	Einlagig	3 (2. Schicht enthält aufgestreute Glasflitter)

Tabelle 4: Modifizierte ORMOCER-Beschichtungsvarianten als Korrosionsschutzsysteme für metallische und korrodierte Eisen- und Stahloberflächen

Die Schutzwirkung der modifizierten ORMOCER-Beschichtungsvarianten wird auf blanken Stahloberflächen insgesamt mit etwa einer Abstufung besser bewertet als auf vorkorrodierten Stahloberflächen. Dabei fällt die Schutzwirkung der OR 1 - GF - Systeme (eingelagerte Glasflitter) schlechter aus als die der OR 1 - GFL - Beschichtungen

(eingerührte Glasflitter). Die Applikation von insgesamt fünf Schichten erweist sich in allen Fällen als vorteilhaft, insbesondere wenn vorkorrodierte Oberflächen geschützt werden sollen. Hier ist ein optimales Mischungsverhältnis von eingerührten Glasflitter zu appliziertem Lack ausschlaggebend für einen effektiven Korrosionsschutz.

Beschichtungen mit herausragenden Prüfergebnissen in den zeitraffenden Labortests, die sich vielversprechend im Hinblick auf einen späteren Einsatz als transparente Konservierungssysteme für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl zeigten, wurden zusätzlich im Freiland bewittert. Für diese Expositionsstudien wurden beispielhaft die Standorte Rügen, Bottrop und Bronnbach ausgewählt, um die Einflüsse von salzhaltiger Küstenluft, von Industriatmosphäre und von ländlicher Umgebung auf die Wirksamkeit der Beschichtungssysteme zu untersuchen. Dazu wurden die beschichteten Stahlproben jeweils auf einem im Winkel von 45 ° nach Süden ausgerichteten Expositionsgestell ausgelagert. Die Langzeitbewitterung im Freien, die in regelmäßigen Zeitabständen zur Begutachtung unterbrochen werden, gaben Aufschluß über die Wirkungskdauer der applizierten Beschichtungsvarianten unter Realbedingungen. Die Bewertung der Korrosionsschutzwirkung der auf blanken Norm-Stahlblechen applizierten ORMOCER-Systeme nach mehreren Monaten Bewitterung unter natürlichen Klimabedingungen an den Standorten Bronnbach und Teschenhagen/Rügen zeigte, dass die Beschichtungen in der aerosolhaltigen Küstenluft deutlich stärker angegriffen wurden als in der ländlichen Umgebung. Die Korrosionserscheinungen reichten von Unterrostung, beginnend am Probenrand oder an den Schnittkanten des vor der Bewitterung angebrachten Gitterschnitts, bis hin zu Neukorrosion, die in der Probefläche durch die Beschichtung bricht und auf eine abgeschwächte Schutzwirkung schließen lässt.

Die Zwischenergebnisse der mehrmonatigen Freilandexpositionen von ORMOCER-beschichteten vorkorrodierten Stahlblechen am Standort Bronnbach wiesen die gleichen Tendenzen wie die entsprechenden Labortestergebnisse auf. Mit Glasflitter pigmentierte ORMOCER-Schutzsysteme sind besonders aussichtsreich im Hinblick auf eine langzeitige Schutzwirkung für blanke und vorkorrodierte Stahloberflächen: das ORMOCER-System OR 1 - GF wurde sowohl auf blanken (12 Monate, FK = 2-3) als auch auf vorkorrodierten (9 Monate, FK = 1-2) Stahlblechen mit einer effektiven Schutzwirkung bewertet. Als Optimum erwiesen sich die ORMOCER-Varianten mit 4 bis 5 Schichten und einem Mischungsverhältnis Lack:Glasflitter = 7:1 im Schutzsystem OR 1 – GFL.

Bei den fortgesetzten Laborprüfungen ergaben auch die Beschichtungsvarianten, die durch Zugabe eines speziellen Epoxidhärter modifiziert wurden, positive Ergebnisse. Besonders die Beschichtung OR 1 H! - GFL ist in ihrer Schutzwirkung OR 1 GFL vergleichbar. Freilandbewitterungen sollen noch zeigen, ob es zwischen diesen beiden Systemen ein Unterschied in der Effektivität besteht. Hinsichtlich Verarbeitung und Topfzeit konnten keine Nachteile festgestellt werden. Die Schutzwirkung der Variante OR 1 H! - GFL ist auch auf korrodierten Stahloberflächen mit der von OR 1 - GFL vergleichbar. Die Modifizierung hinsichtlich Polymer- und Füllstoffverwendung führten eher zu einer Verschlechterung des Schutzeffekts.

3.2.2 Handelsübliche Produkte (Lacke, Wachse, Öle)

Wachse

Der Auftrag der Wachse erfolgte stets mit gelösten Produkten. Auf einen direkten Heißauftrag von geschmolzenem Wachs wurde verzichtet. Auch die vorherige Erwärmung der Proben oder eine Wärmenachbehandlung wurde nach ersten Tests nicht weiter verfolgt, da die Anwendung in der Praxis bei den zu erwartenden großen Flächen im Industriedenkmalbereich ein kaum zu lösendes Applikationsproblem erzeugt hätte.

Bei den von den Herstellern in fester Form gelieferten Wachse wurde die Herstellung einer gebrauchsfähigen Wachsmischung auf die in der Restaurierung üblichen Weise

durchgeführt. Das Wachs wurde in einem Gefäß aufgeschmolzen und vorsichtig Testbenzin (100 – 140) zugegeben. Durch konstante Erwärmung und langsames Einbringen des Lösemittels konnte ein nachträgliches Ausflocken weitestgehend vermieden werden. Die resultierende Lösung wurde in Vorratsgefäße gefüllt und vor jeder Nutzung noch einmal intensiv geschüttelt.

Bei den Laboruntersuchungen wurden unterschiedliche Applikationen getestet. Die Wachslösungen wurden sowohl mittels Pinsel aber auch mit einer Spritzpistole auf die Testbleche aufgebracht. Dabei zeigte sich, dass die Lösungen der Tromm- und der Vesto-Wachse in der vorliegenden Form nicht spritzfähig waren. Es resultierten kaum vernetzte, bröckelnde Oberflächenschichten. Für alle anderen Produkte dagegen konnten beide Applikationen in den nachfolgenden Belastungsverfahren einander gegenübergestellt werden. Die Anzahl der Aufträge wurde dabei zwischen einem und dreien variiert, um unterschiedliche Schichtdicken zu erzielen. Bei den handelsüblichen Beschichtungstoffen wurden die Herstellerhinweise zur Verarbeitung und Applikation mit berücksichtigt.

Wachse, in entsprechenden Lösemitteln gelöst, neigen unter Umständen zur Bildung weißer Stellen in der aufgetragenen Schicht. Durch Verdichten oder Polieren konnten die Trübungen deutlich gemindert oder beseitigt werden. Das Polieren erfolgte mit Hilfe eines Papiertuchs. Weiche Wachse nehmen aus dem Papiertuch Fasern auf. Dieser Umstand diente daher als Anhaltspunkt für die Polierfähigkeit des Materials. Ist das Wachs zu weich, um sich polieren zu lassen, ist allerdings auch zu erwarten, dass Verschmutzungen von der Wachsoberfläche aufgenommen werden.

Für die Bewertung der Wirksamkeit der unterschiedlichen Wachsbeschichtungen wurden zuerst blanke Bleche eingesetzt und die hierbei erzielten Ergebnisse anschließend mit den Wirkungen auf vorkorrodierten Blechen verglichen. Einflüsse auf die Wirksamkeit der Beschichtungstoffe wurden bei folgenden Parametern festgestellt:

- Beschichtungsstoff (Typ des Wachssystems)
- Art der Applikation
- Anzahl der Schichten/Schichtdicke (jedoch abhängig von der Applikation, nicht absolut)
- Art der Belastung

Tabelle 5 gibt eine erste Übersicht über erzielte Ergebnisse bei den Laborversuchen mit Wachsaufträgen auf blanken Blechen, die die nachfolgenden, zusammenfassenden Aussagen illustrieren. Hierbei ist grundsätzlich zu betonen, dass die Konsistenz einer zielgerichteten Optimierung, wie sie bei den ORMOCERen der Fall war, bei den sehr unterschiedlichen kommerziellen Systemen (noch) nicht verwirklicht werden konnte. Das Projekt diente als erster Schritt, um über den Test von Einzelsystemen einen grundsätzlichen Wirksamkeitsvergleich herzustellen. Die Fülle an Ergebnissen und Daten in der Tabelle soll auch dies beleuchten. Aufbauend auf diesen Ergebnissen kann in zukünftigen Schritten eine gezielte Weiterentwicklung spezieller Systeme vorangetrieben werden. Hierzu sind auch schon erste Überlegungen entwickelt worden.

Eine unterschiedliche Wirksamkeit der Beschichtungsmaterialien war erwartet worden und letztlich Gegenstand des Forschungsvorhabens. Es zeigte sich, dass die bereits für den Korrosionsschutz ausgerüsteten Produkte (mit inhibierenden Zusätzen: wie die Produkte Makon, OKS 2100, Anticorit BW 366) im Vergleich zu den reinen Wachse (ohne Zusätze) sowohl auf blanken wie vorkorrodierten Blechen eine deutlich bessere Schutzwirkung aufweisen. Dabei konnten besonders die in Restauratorenkreisen z.T. „hoch“ gehandelten Wachssysteme der Fa. Tromm unter den gegebenen Auftragsbedingungen (in der Kälte) nicht an die Wirksamkeit der direkten Korrosionsschutzwachse heranreichen. Erst die deutliche Erhöhung der Schichtdicke brachte bei den in Restauratorenkreisen üblichen Systemen eine Verbesserung der Schutzwirkung (z.B. für Cosmoloid H80 und Aero 46). Diese deutliche Erhöhung der Schichtdicke konnte aber nur bei den spritzfähigen Systemen mit mehrfachem Auftrag erreicht werden, weshalb hier auch deutlich bessere Ergebnisse als beim Streichen erreicht wurden.

Produktname	Applikationsart Anzahl/Typ	Schicht- dicke [µm]	Rost- grad	Aussehen/Transparenz
R 21	1 x streichen	2,1	2	unregelmäßig verteilte Korrosion; matt
R 21	1 x streichen	2,1	2	unregelmäßig verteilte Korrosion, Ablaufspur; matt
R 21	2 x streichen	6,4	1	Kanten, Schlagzahl; matt
R 21	2 x streichen	8,5	1	Kanten, Schlagzahl, Bohrung; matt
R 21	2 x spritzen	20,2	4	schwarze, flächige Korrosion; matt
R 21	2 x spritzen	28,1	3	schwarze, flächige Korrosion; matt
R 21	3 x spritzen	29,8	3	d,b; schwarze Korro., Schicht platzt auf und kreidet aus
R 21	3 x spritzen	36,2	3	d,b; schwarze Korro., Schicht platzt auf und kreidet aus
Aero 46	1 x streichen	2,5	5	nicht möglich
Aero 46	1 x streichen	2,5	4	nicht möglich
Aero 46	2 x streichen	2,5	5	nicht möglich
Aero 46	2 x streichen	2,5	5	nicht möglich
Aero 46	2 x spritzen	38,5	1	z.T. Korro. unter d. Schicht, untere K. schwarz; matt
Aero 46	2 x spritzen	45,3	1	z.T. Korro. unter d. Schicht; matt
Aero 46	3 x spritzen	67,5	1-2	d; alle Kanten und unter der Beschichtung
Aero 46	3 x spritzen	80,0	1-2	d; alle Kanten und unter der Beschichtung
Makon	1 x streichen	6,9	1	untere Kante, Bohrung, z.T. flächige schw. Korro.; matt
Makon	1 x streichen	6,9	1	untere Kante, Bohrung; matt
Makon	2 x streichen	23,0	1	untere Kante, Bohrung; matt, braun, Schicht evtl. abgew.
Makon	2 x streichen	13,8	1	untere Kante, Bohrung; matt, braun, Schicht evtl. abgew.
Makon	2 x spritzen	43,7	1	untere Kante; matt, Schicht z.T. leicht abgewaschen
Makon	2 x spritzen	51,5	1	untere Kante; matt, Schicht z.T. leicht abgewaschen
Makon	3 x spritzen	71,3	1	d, untere Kante; Schicht klebrig, gelblich
Makon	3 x spritzen	87,4	1	d, untere Kante; Schicht klebrig, gelblich
Cosmoloid H80	1 x streichen	4,4	5	Bestimmung nicht möglich
Cosmoloid H80	1 x streichen	4,4	5	Bestimmung nicht möglich
Cosmoloid H80	2 x streichen	6,7	4-5	Bestimmung nicht möglich
Cosmoloid H80	2 x streichen	8,9	4	Bestimmung nicht möglich
Cosmoloid H80	2 x spritzen	31,6	1	alle Kanten; matt
Cosmoloid H80	2 x spritzen	32,2	1	alle Kanten; matt
Cosmoloid H80	3 x spritzen	57,8	1	d,e; alle Kanten
Cosmoloid H80	3 x spritzen	55,6	1	d,e; alle Kanten
Anticorit BW366	1 x streichen	20,5	1	untere Kante, Ablaufspur; matt mit Trübung, Farbveränd.
Anticorit BW366	1 x streichen	20,5	1	untere Kante, Ablaufspur; matt mit Trübung, Farbveränd.
Anticorit BW366	2 x streichen	75,0	1	untere Kante, Ablaufspur; matt mit Trübung, Farbveränderung
Anticorit BW366	2 x streichen	70,5	1	untere Kante, Ablaufspur; matt mit Trübung, Farbveränderung
Anticorit BW366	2 x spritzen	143,4	1	untere Kante; matt, keine Transparenz, weich
Anticorit BW366	2 x spritzen	150,0	1	untere Kante; matt, keine Transparenz, weich
Anticorit BW366	3 x spritzen	197,7	1	d; untere Kante; weiche Schicht ohne Transparenz
Anticorit BW366	3 x spritzen	211,4	1	d; untere Kante; weiche Schicht ohne Transparenz
OKS 2100	1 x streichen	2,6	1	Kanten; matt
OKS 2100	1 x streichen	2,6	1	Kanten, Bohrung; matt
OKS 2100	2 x streichen	10,4	1	untere Kante, Bohrung; matt
OKS 2100	2 x streichen	10,4	1	untere und rechte Kante, Bohrung; matt
OKS 2100	2 x spritzen	30,6	0	matt
OKS 2100	2 x spritzen	36,6	0	matt
OKS 2100	3 x spritzen	20,8	0	d
OKS 2100	3 x spritzen	31,2	0	d
R 21 Mischung	2 x spritzen		1	linke Kante, Korrosion unter der Schicht; matt
R 21 Mischung	2 x spritzen		1	linke Kante, Korrosion unter der Schicht; matt
R 21 Mischung	3 x spritzen		1	d; geringe "braune" Korro., unten schwarz
R 21 Mischung	3 x spritzen		1	d; geringe "braune" Korro., unten schwarz

Produktname	Applikationsart Anzahl/Typ	Schicht- dicke [µm]	Rost- grad	Aussehen/Transparenz
Tromm (50/50) 30201/30410	1 x streichen	2,1	4-5	nicht möglich
Tromm (50/50) 30201/30410	1 x streichen	2,1	4-5	nicht möglich
Tromm (50/50) 30201/30410	2 x streichen	4,3	2	Kanten, Ablaufspur, vereinzelte Pkt. über ges. Blech; matt
Tromm (50/50) 30201/30410	2 x streichen	6,4	3	gesamte Blech; matt
Hüls Vestowax	1 x streichen	2,2	2-3	unregelmäßig verteilte Korrosion, unterwandert; matt
Hüls Vestowax	1 x streichen	4,3	3	unregelmäßig verteilte Korrosion; matt
Hüls Vestowax	2 x streichen	6,5	2	unregelmäßig verteilte Korrosion; matt
Hüls Vestowax	2 x streichen	8,6	2-3	unregelmäßig verteilte Korrosion; matt
Tromm 30222	1 x streichen	4,2	5	nicht möglich
Tromm 30222	1 x streichen	4,2	4-5	nicht möglich
Tromm 30222	2 x streichen	12,6	1-2	Kanten; matt
Tromm 30222	2 x streichen	12,6	2	Kanten, vereinzelt über ges. Blech; matt
Tromm (25/75) 30201/30410	1 x streichen	2,1	4	nicht möglich
Tromm (25/75) 30201/30410	1 x streichen	4,2	4-5	nicht möglich
Tromm (25/75) 30201/30410	2 x streichen	10,5	2-3	Kanten, ges. Blech Pinselfurchen; matt
Tromm (25/75) 30201/30410	2 x streichen	10,5	3	Kanten, ges. Blech Pinselfurchen; matt

Tabelle 5a: Ergebnisse der Labortests mit unterschiedlichen Beschichtungsstoffen auf Wachsbasis nach dem Belastungstest „Kondenswasserkonstantklima“ (28 d); Substrat: blankes Blech; grau: nicht spritzfähige Wachse

Produktname	Applikationsart Anzahl/Typ	Schicht- dicke [µm]	Rost- grad	Aussehen/Transparenz (Test: 1 x streichen nach 14 d abgebrochen)
R 21	1 x streichen	2,1	5	nicht möglich
R 21	1 x streichen	2,1	5	nicht möglich
R 21	2 x streichen	8,5	3-4	Pinselfurchen, fleckig
R 21	2 x streichen	6,4	3-4	Pinselfurchen, fleckig
R 21	2 x spritzen	26,8	1	Kanten; matt mit stat. Trübung
R 21	2 x spritzen	18,1	2	Kanten, rechte Blechhälfte; matt mit stat. Trübung
R 21	3 x spritzen	29,8	1	d, b; Kanten und oberes Viertel
R 21	3 x spritzen	36,2	1	d, b; Kanten und oberes Viertel
Aero 46	1 x streichen	2,5	5	nicht möglich
Aero 46	1 x streichen	2,5	5	nicht möglich
Aero 46	2 x streichen	2,5	5	nicht möglich
Aero 46	2 x streichen	2,5	5	nicht möglich
Aero 46	2 x spritzen	43,0	1	Kanten; matt, rel. dunkel
Aero 46	2 x spritzen	28,0	4	pkt. ges. Blech; matt, rel. dunkel
Aero 46	3 x spritzen	67,5	1	d, b; Kanten
Aero 46	3 x spritzen	80,0	1	d, b; Kanten
Makon	1 x streichen	9,2	2	Kanten, kl. Pkt. ges. Bl.; glänzend, bräunlich
Makon	1 x streichen	11,5	2	Kanten, kl. Pkt. ges. Bl.; glänzend, bräunlich
Makon	2 x streichen	18,4	1	oberes Zehntel; matt, fleckig
Makon	2 x streichen	16,1	1	oberes Zehntel; matt, fleckig
Makon	2 x spritzen	44,8	0	glänzend, hellbraun, weich
Makon	2 x spritzen	48,5	0	glänzend, hellbraun, weich
Makon	3 x spritzen	71,3	1	e, b; Kanten, Schicht gelblich/braun
Makon	3 x spritzen	87,4	1	e, b; Kanten, Schicht gelblich/braun

Produktname	Applikationsart Anzahl/Typ	Schicht- dicke [µm]	Rost- grad	Aussehen/Transparenz (Test: 1 x streichen nach 14 d abgebrochen)
Cosmoloid H80	1 x streichen	2,2	5	nicht möglich
Cosmoloid H80	1 x streichen	4,4	5	nicht möglich
Cosmoloid H80	2 x streichen	8,9	3-4	Pinselfurchen
Cosmoloid H80	2 x streichen	8,9	5	Pinselfurchen
Cosmoloid H80	2 x spritzen	31,8	2	Kanten, pkt. ges. Bl.; matt
Cosmoloid H80	2 x spritzen	35,6	2-3	Kanten, pkt. ges. Bl.; matt mit Trübung
Cosmoloid H80	3 x spritzen	57,8	2-3	d; Kanten, pkt. ges. Blech
Cosmoloid H80	3 x spritzen	55,6	2	d; Kanten, pkt. ges. Blech
Anticorit BW366	1 x streichen	22,7	1	Kanten; glänzend, bräunlich
Anticorit BW366	1 x streichen	22,7	1	Kanten; glänzend, bräunlich
Anticorit BW366	2 x streichen	77,3	0	matt, bräunlich
Anticorit BW366	2 x streichen	79,5	0	matt, bräunlich
Anticorit BW 366	2 x spritzen	160,9	0	matt mit Trübung, bräunlich, weich
Anticorit BW 366	2 x spritzen	146,1	0	matt mit Trübung, bräunlich, weich
Anticorit BW 366	3 x spritzen	197,7	0	d; Schicht bräunlich
Anticorit BW 366	3 x spritzen	211,4	0	d; Schicht bräunlich
OKS 2100	1 x streichen	2,6	3	Kanten, oberes Viertel; matt, schuppig
OKS 2100	1 x streichen	2,6	3	Kanten, oberes Viertel; matt, schuppig
OKS 2100	2 x streichen	7,8	1	obere Kante; matt, Wassertropfen erkennbar
OKS 2100	2 x streichen	10,4	1	obere Kante; matt, Wassertropfen erkennbar
OKS 2100	2 x spritzen	18,2	1	Kanten, oberes Zehntel; matt
OKS 2100	2 x spritzen	15,8	2	Kanten, oberes Viertel; matt
OKS 2100	3 x spritzen	20,8	1	d; Kanten
OKS 2100	3 x spritzen	31,2	1	d; Kanten
R 21 Mischung	2 x spritzen		1	Kanten; matt
R 21 Mischung	2 x spritzen		1	Kanten; matt
R 21 Mischung	3 x spritzen		1	d, b; Kanten
R 21 Mischung	3 x spritzen		1	d, b; Kanten
Tromm (50/50) 30201/30410	1 x streichen	2,1	5	nicht möglich
Tromm (50/50) 30201/30410	1 x streichen	2,1	5	nicht möglich
Tromm (50/50) 30201/30410	2 x streichen	6,4	5	nicht möglich
Tromm (50/50) 30201/30410	2 x streichen	6,4	5	nicht möglich
Hüls Vestowax	1 x streichen	2,2	5	nicht möglich
Hüls Vestowax	1 x streichen	2,2	5	nicht möglich
Hüls Vestowax	2 x streichen	8,6	5	nicht möglich
Hüls Vestowax	2 x streichen	6,5	5	nicht möglich
Tromm 30222	1 x streichen	4,2	5	nicht möglich
Tromm 30222	1 x streichen	4,2	5	nicht möglich
Tromm 30222	2 x streichen	6,3	5	Pinselfurchen
Tromm 30222	2 x streichen	10,5	5	Pinselfurchen
Tromm (25/75) 30201/30410	1 x streichen	4,2	5	nicht möglich
Tromm (25/75) 30201/30410	1 x streichen	2,1	5	nicht möglich
Tromm (25/75) 30201/30410	2 x streichen	6,3	5	nicht möglich
Tromm (25/75) 30201/30410	2 x streichen	8,4	5	nicht möglich

Tabelle 5b: Ergebnisse der Labortests mit unterschiedlichen Beschichtungsstoffen auf Wachsbasis nach dem Belastungstest „Industrieklima (SO₂-Test)“ (28d); Substrat: blankes Blech; grau: nicht spritzfähige Wachse

Die Zunahme der Schutzwirkung durch Erhöhung der Schichtdicke (festgemacht an der Abnahme der Neurostbildung unter der Beschichtung) fällt bei den mit Inhibitoren versehenen Wachsen deutlich geringerer aus. Hier wird selbst bei Schichtdicken unter 10 [µm] bereits eine deutliche Korrosionsbarriere aufgebaut. Die Besonderheit liegt in der Wirkung der Inhibitoren an der Metalloberfläche. Die Erhöhung der Schichtdicke führt so nur noch zu einer sekundären Zunahme der Schutzwirkung durch die zusätzliche Wachsschicht. Die Bedeutung der Schichtdicke ist nicht von Belastungstest zu Belastungstest gleich groß. Beim SO₂-Test führten dünne Wachsschichten schneller zur Ausbildung von korrodierten Flächen unter der Wachsschicht als beim Kondenswasserkonstantklima-Test. Systeme mit zu geringen Schichtdicken versagten hier völlig und die Diskrepanz zwischen Proben mit unterschiedlichen Schichtdicken war größer.

Die Korrosionsschutzwachse hatten, unterschiedlich abgestuft, allerdings einen leichten Nachteil. Durch die Zusätze zeigten sie eine leichte bräunliche Färbung, was gerade bei den blanken Blechen etwas problematisch war. Besonders krass war dieser Effekt bei den Systemen mit hoher Schichtdicke (Anticorit BW 366). Durch eine zusätzliche Wassereinlagerung in die Wachsschicht bei den Belastungstests scheint sich dieser Effekt noch zu verstärken. Dies führt dazu, dass gerade das letztgenannte System nur für bereits korrodierte Untergründe empfohlen werden kann, da hier die Verfärbung im Hinblick auf den Untergrund keine entscheidende Rolle spielt.

Die Untersuchungsergebnisse auf vorkorrodierten Blechen brachten eine vergleichbare Abstufung, wobei die Intensität der Neurostbildung - ähnlich wie bei den ORMOCERen - insgesamt etwas höher lag.

Lacke

Analog zu den Wachsen bestand bei den Lacken die Problematik, eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme mit einander zu vergleichen. Dabei war es schwierig eine Systematik von Abhängigkeiten bei den Materialien selbst zu finden, da in den meisten Fällen nur einzelne Firmenprodukte zur Verfügung standen und nicht eine Entwicklungsreihe betrachtet werden konnte. Damit blieb auch hier nur der sukzessive Produkttest mit weitgehend den gleichen Randparametern wie bei den Wachssystemen (Beschichtungsmaterial, Art der Applikation, Anzahl der Schichten/Schichtdicke, Substrattyp, Art der Belastung). Bei den Lacksystemen konnte die Bestimmung der Schichtdicke über magneto-induktive Verfahren allerdings zuverlässiger erfasst werden als bei den Wachsen. Auch hier war der durch die Belastungstest gebildete Neurost unter Beschichtung ein entscheidendes Bewertungskriterium. Wie bei den ORMOCERen wurde die Haftfestigkeit des Systems überprüft und durch den Gitterschnitt-Test als wichtiges zusätzliches Gütekriterium berücksichtigt.

Auch die Lacke wurde in einem ersten Schritt auf den blanken Substratoberflächen getestet. Die Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse einer Auswahl von lackartigen Beschichtungsstoffen nach Durchlaufen des Kondenswasserkonstantklimatests. Auch hier sollen wieder einige grundsätzliche Erscheinungen deutlich gemacht werden:

Analog zu den Wachsaufträgen zeigte sich, dass durch Aufstreichen überwiegend geringere Schichtdicken erzielt werden als durch Aufspritzen (Vergleich bei zwei Aufträgen). Der Unterschied ist hier aber geringer als bei den Wachsen. Die Schichtdicke variiert sehr stark, abhängig von der Viskosität der Systeme. Die Schichtdicke führt in der Mehrzahl der Fälle zu einer Verbesserung der Schutzwirkung. Hier gibt es aber Ausnahmen. So wird die Wirksamkeit des die Feuchte unterkriechende Owatrols (ölgebundenes System), das auf der blanken Oberfläche insgesamt nicht gut geeignet ist, mit zunehmender Schichtdicke immer noch schlechter. Weitere Nachteile einer zunehmenden Schichtdicke zeigten sich bei den Haftfestigkeitsprüfungen mittels Gitterschnitt. Zu dicke Schichten können leichter abplatzen (hohe Gitterschnittwerte). Allerdings wurde eine direkte Korrelation zwischen Rostbildung und Gitterschnitt-Ergebnissen beim Kondenswassertest nicht festgestellt, so dass die Optimierung eher in Richtung hoher Schichtdicken getrieben wurde.

Produktname	Applikation Anzahl/Typ	Schichtdicke [µm] gemessen	Rost- grad	Gitter- schnitt	Aussehen/Transparenz
Owatrol	1 x streichen	3,6	1	0	glänzend, braun
Owatrol	1 x streichen	4,5	1	0	glänzend, braun
Owatrol	2 x streichen	9,4	2	0	glänzend; Braunfärbung
Owatrol	2 x streichen	10,4	2	0	glänzend; Braunfärbung
Owatrol	2 x spritzen	10,6	3	3	ges. Blech; glänzend, braun
Owatrol	2 x spritzen	8,8	3	3	ges. Blech; glänzend, braun
Owatrol	3 x spritzen	14,3	4	0	glänzend; ges. Blech korrodiert; Besch. braun
Owatrol	3 x spritzen	17,6	4	0	glänzend; ges. Blech korrodiert; Besch. braun
Paraloid B48N	1 x streichen	8,8	1	0	alle Kanten; matt mit Trübung
Paraloid B48N	1 x streichen	7,4	1	0	alle Kanten, schwarze Stellen; matt mit Trübung
Paraloid B48N	2 x streichen	13,6	2-3	2	matt, Trübung; ges. Blech schwarze Korrosion
Paraloid B48N	2 x streichen	14,9	4	2	matt, Trübung; ges. Blech schwarze Korrosion
Paraloid B48N	2 x spritzen	32,1	5	0	schwarze Korrosion; Trübung
Paraloid B48N	2 x spritzen	23,0	4	0	schwarze Korrosion; Trübung
Paraloid B48N	3 x spritzen	26,6	4	3	Trübung; schwarze Korrosion
Paraloid B48N	3 x spritzen	25,9	4	4	Trübung; schwarze Korrosion
Paraloid B72	1 x streichen	8,8	2	1	alle Kanten, oberes Drittel; matt mit Trübung
Paraloid B72	1 x streichen	6,0	3	1	gesamte Blech; matt mit Trübung
Paraloid B72	2 x streichen	13,2	1	3	matt; alle Kanten
Paraloid B72	2 x streichen	12,2	1	3	matt; alle Kanten
Paraloid B72	2 x spritzen	26,4	1	2	alle Kanten, pockig; glänzend mit Trübung
Paraloid B72	2 x spritzen	30,9	1	2	alle Kanten, pockig; glänzend mit Trübung
Paraloid B72	3 x spritzen	28,9	1	2	glänzend, Trübung; alle Kanten, pockig
Paraloid B72	3 x spritzen	22,9	1	2	glänzend, Trübung; alle Kanten, pockig
Incralac	1 x streichen	19,8	0	4	glänzend
Incralac	1 x streichen	18,9	0	4	glänzend
Incralac	2 x streichen	56,5	0	2	glänzend, Trübung
Incralac	2 x streichen	67,7	0	5	glänzend, Trübung
Incralac	2 x spritzen	76,2	0-1	5	ges. Schicht sieht pockig/blasig aus; matt
Incralac	2 x spritzen	80,6	0-1	5	ges. Schicht sieht pockig/blasig aus; matt
Incralac	3 x spritzen	120,5	1	5	matt; sehr geringe Korro.; Schicht pockig
Incralac	3 x spritzen	109,9	1	5	matt; sehr geringe Korro.; Schicht pockig
Laropal K80	1 x streichen	51,8	1	5	untere Kante; glänzend
Laropal K80	1 x streichen	45,1	1	5	untere Kante; glänzend
Laropal K80	2 x streichen	102,3	1	5	glänzend; untere Kante; Schicht ungleichmäßig
Laropal K80	2 x streichen	106	1	5	glänzend; untere Kante; Schicht ungleichmäßig
Laropal K80	2 x spritzen	40,6	0	5	glänzend
Laropal K80	2 x spritzen	34,8	0	5	glänzend
Laropal K80	3 x spritzen	66,7	0	5	glänzend
Laropal K80	3 x spritzen	72,1	0	5	glänzend
Laropal A81	1 x streichen	12,1	1	3	alle Kanten; glänzend
Laropal A81	1 x streichen	14,0	1	3	untere Kante; glänzend
Laropal A81	2 x streichen	44,1	1	4	glänzend; nur untere Kante
Laropal A81	2 x streichen	49	1	4	glänzend; nur untere Kante
Laropal A81	2 x spritzen	53,2	1	5	Kanten; glänzend mit Trübung
Laropal A81	2 x spritzen	48,1	1	5	Kanten; glänzend
Laropal A81	3 x spritzen	88,1	1	5	glänzend; zwei Kanten
Laropal A81	3 x spritzen	74	1	5	glänzend; zwei Kanten
BOB	1 x streichen	2,5	1	0	alle Kanten; 2 Stellen Blechmitte; glänzend
BOB	1 x streichen	4,2	1	0	alle Kanten; glänzend
BOB	2 x streichen	8,6	1	5	glänzend; entlang der Kanten
BOB	2 x streichen	9,6	1	5	glänzend; entlang der Kanten
BOB	2 x spritzen	11,7	0-1	5	untere Kante, Schlagzahl; glänzend
BOB	2 x spritzen	11,6	0-1	5	untere Kante; glänzend
BOB	3 x spritzen	16,6	0	5	glänzend
BOB	3 x spritzen	18,7	0	5	glänzend

Tabelle 6: Ergebnisse der Labortests mit unterschiedlichen Beschichtungsstoffen auf Lackbasis nach dem Belastungstest „Kondenswasserkonstantklima“ (28d); Substrat: blankes Blech

Neben dem schlechten Abschneiden des ölgebundenen Owatrols zeigten nur die drei Acrylate in diesem Test ein unterschiedliches Verhalten mit einem Ausreißer nach unten. Das Paraloid B48N, das als Acrylharz bezeichnet wird, schneidet gegenüber dem B72 (Äthyl-Methacrylat) und dem auf dem B44S (Methyl-Methacrylat Copolymer) aufbauenden Incralac deutlich schlechter ab. Alle anderen Lacke lieferten auf dem blanken Substrat im Kondenswasserkonstantklimatest eine recht gute Korrosionsbarriere, was bereits einen grundsätzlichen Unterschied zu den Wachsen zeigt. Damit war eine Auswahlentscheidung hier schwieriger.

Produktname	Schichtdicke [µm] (bl.Bl.)	Rostgrad	
		vorkorrodiertes Blech	blankes Blech
Bayer Primer	57,8	5	1-2
Bayer Primer	65,5	5	1
Peters SL1305AQ	24,2	5	2-3
Peters SL1305AQ	28,9	5	1
Peters SL1309N	77,7	3	4
Peters SL1309N	87,1	3	1-2
Anticorit DFL	5,4	3	1
Anticorit DFL	7,2	1	1
Wittig	80,3	5	5
Wittig	89,7	5	5
Laropal K80	59,3	2	1
Laropal K80	66,4	2	1
Laropal A81	67,7	5	1
Laropal A81	73,1	5	1
Owatrol	6,8	2	4
Owatrol	8,4	2	4
Corrpassiv 900226/14klar	56,3	3	0
Corrpassiv 900226/14klar	49,3	3	0
BOB	6,8	4	1
BOB	5,9	4	1
Paraloid B48N	15,1	5	3
Paraloid B48N	16,6	5	3
Incralac	34,1	5	1
Incralac	43,2	5	1
Paraloid B44	12,6	5	1
Paraloid B44	10,2	5	1
Paraloid B67	7,1	5	0
Paraloid B67	9,4	5	0
Paraloid B72	9,2	5	2
Paraloid B72	12,2	5	2
Gehotex W8-40	47,9	3	1
Gehotex W8-40	39,6	3	1
Gehotex LP7386	28,1	3	1
Gehotex LP7386	31,5	3	1
Kydal 50EL ST3-30	20,9	4	1
Kydal 50EL ST3-30	20,2	4	1
Kydal 50L	11,8	1-2	0-1
Kydal 50L	13,2	2-3	0-1
Caramba CA-B11	19,6	2-3	1
Caramba CA-B11	22,1	2-3	1

Tabelle 7: Ergebnisse der Labortests mit unterschiedlichen Beschichtungsstoffen auf Lackbasis nach dem Belastungstest „Kondenswasserkonstantklima“ (14d); Substrat: blankes/vorkorrodiertes Blech; Applikation: 3 x streichen

Aus diesem Grund wurden die lackartigen Beschichtungsmaterialien auf vorkorrodierten Substraten noch einmal näher betrachtet. Die Applikation wurde dabei auf den Auftrag mittels Pinsel begrenzt, da hiermit an den Objekten eine praktikablere Anwendung gegeben ist. Die Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse für eine erweiterte Auswahl von lackartigen Beschichtungssystemen im Vergleich von blanken und vorkorrodierten Substraten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass hier nur ein 14tägiger Belastungszyklus gefahren wurde, da sich beim vorkorrodierten Substrat relativ rasch ein erneutes Aufbrechen der Korrosion zeigte. Die angegebenen Schichtdicken beziehen sich auf die blanken Bleche, da die Messung bei den korrodierten Substraten durch die Korrosionsschicht verfälscht und in ihrer Aussage sehr unsicher wird.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen ganz deutlich, dass bei Vorliegen von verbliebenen Korrosionsschichten unter dem Lackauftrag das erneute Aufbrechen und Voranschreiten der Korrosion erheblich schneller verläuft als bei Oberflächen, wo der Lack auf das blanke Metall aufgebracht und angebunden werden kann. Bei der Bewertung der Eigenschaften der Beschichtungssysteme erwiesen sich - bei den korrodierten Oberflächen - zusätzlich auch die Penetrationsfähigkeit und die Wasserverdrängung bzw. Reaktion mit Feuchte als Parameter von Bedeutung. So ist das Owatrol, das beim blanken Blech versagt, einer der besten Vertreter auf den korrodierten Substraten. Das niedrigviskose Material kriecht in die Rostschicht und findet darin - anders als beim blanken Blech auch eine Verankerungsmöglichkeit. Die Neurostbildung ist dadurch deutlich gehemmt.

Insgesamt ist die Güte der transparenten Lackbeschichtungen auf dem korrodierten Untergrund relativ schlecht. So versagen alle Acrylate auf diesem Untergrund. Als geeignete Produkte wurden nur solche in Erwägung gezogen und für spätere Tests ausgewählt, die einen Neurostgrad im Mittel nicht über den Faktor 2 aufwiesen. Hierzu zählte das Owatrol, das Kydal 50L (Basis: Esterharze) und das Laropal K80 (Ketonharz). In der Tabelle ist mit dem Produkt Rostprimer von BOB ein feuchtigkeitshärtendes Polyurethan-Einkomponentensystem aufgeführt, das in dem hohen Verdünnungsgrad (als Primer im Handel) keine ausreichende Schutzschicht aufbauen konnte. Durch Kombination mit weniger verdünnten Polyurethanlacken (EK-PUR) der Fa. Conrads wurde allerdings ein Schichtsystem aufgebaut, das ebenfalls eine unter dem Grenzwert liegende Neurostbildung bei den korrodierten Untergründen lieferte. Gleiches gilt für das Naturharz-Wachs-Paraffin-Gemisch, das von dem Restaurator Alschweig angeboten wird. Dieses Produkt hat allerdings den Nachteil, dass es - ähnlich wie die Korrosionsschutzwachse - eine bräunliche Eigenfärbung aufweist, was auf blanken Oberflächen zu einer leichten Farbverfälschung führt. Dies ist bei den korrodierten Untergründen nicht mehr relevant.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Lackversuche zeigt sich, dass unbedingt auf die Art des Substrates geachtet werden muss. Bei blanken Untergründen, wo eine saubere Metalloberfläche beschichtet werden kann, ist die Wahlmöglichkeit unter den Produkten größer, wenn eine ausreichende Schutzwirkung angestrebt wird. Bei der Auswahl für eine Kombination auf blanken *und* korrodiertem Untergrund bleibt dagegen nur eine kleine Gruppe von Stoffen über(s.o.). Eine hohe Schichtdicke ist sinnvoll, wenn dies nicht zur zu starker Versprödung führt.

3.2.3 Schlussfolgerungen und Konsequenzen für die Konservierungsstrategie

Um eine endgültige Entscheidung für die Auswahl ziehen zu können wurde ein großer Vergleichstest mit Stoffen durchgeführt, die in den Vorversuchen am besten abgeschnitten haben. Dazu wurden die im Vorhaben verfügbaren Belastungstests „Industrie-Atmosphäre“ (SO₂-Belastung) mit beiden unterschiedlichen Vorschriften des DBM und ISC sowie der Standard „Kondenswasserkonstantklima-Test“ (im ISC) nun jeweils mit einer Laufzeit von vier Wochen (28d) durchgeführt. Als Substrate wurden sowohl blanke wie auch vorkorrodierte Bleche benutzt. Die Beschichtung erfolgte einheitlich mittels Pinselauftrag. Bei den handelsüblichen Produkten wurden drei Schichten (mit zusätzlicher Primer-Schicht bei PU-System), bei den ORMOCERen vier bzw. fünf (aus Optimierung) aufgebracht.

Produktname	Applikations- Anzahl/Typ	Belastung - Ort	Rost grad	Gitter- schnitt	Aussehen/Transparenz
Makon	3 x streichen	ZI	2		stat. vert.; matt, weich, klebrig, bräunlich
OKS 2100	3 x streichen	ZI	1		Kanten, Bohrung, stat. vert.; matt mit stat. Trüb., streifig
EK-PUR	3 x streichen	ZI	1		Kanten, Bohrung, stat. vert.-; matt
Owatrol	3 x streichen	ZI	2		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, stat. vert. ges. Bl.; glänzend, bräunlich
Owatrol	3 x streichen	ZI	2		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, stat. vert. ges. Bl.; glänzend, bräunlich
Kydal 50L	3 x streichen	ZI	1		Kanten, Bohrung, Schlagzahl; glänzend
Laropal K80	3 x streichen	ZI	1		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, lokale Flecken; glänzend mit verein. Trüb.
OR1-GF(4)	4 x streichen	ZI	1	0-1	Kanten; matt-glänzend
OR1-GF(4)	4 x streichen	ZI	1		Kanten; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	1	0-1	Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	1		Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	ZI	1	5	Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	ZI	1		Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	1	1	Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	1	0-1	Kanten, Bohrung; matt-glänzend, streifig
OR1-AL	4 x streichen	ZI	1	3-4	Kanten, Bohrung; matt-glänzend, streifig
Makon	3 x streichen	ISC	1		Kanten, lokal pkt., -; matt, braun, weich, klebrig
Makon	3 x streichen	ISC	1		Kanten, lokal pkt., -; matt, braun, weich, klebrig
OKS 2100	3 x streichen	ISC	1		Kanten +; matt, bräunlich
OKS 2100	3 x streichen	ISC	1		Kanten +; matt, bräunlich
EK-PUR	3 x streichen	ISC	1-2		Kanten, Bohrung, -; matt, ges. Bl. dunkel-schwarz entlang Pinselstr.
EK-PUR	3 x streichen	ISC	1-2	0	Kanten, Bohrung, -; matt, ges. Bl. dunkel-schwarz entlang Pinselstr.
Owatrol	3 x streichen	ISC	1-2		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, stat. vert. ges. Bl.,-; matt-glänzend, braun
Owatrol	3 x streichen	ISC	1-2	2	Kanten, Bohrung, Schlagzahl, stat. vert. ges. Bl.,-; matt-glänzend, braun
Kydal 50L	3 x streichen	ISC	1		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, lokal pkt., -; glänzend, braun
Kydal 50L	3 x streichen	ISC	1	0-1	Kanten, Bohrung, Schlagzahl, lokal pkt., -; glänzend, braun, Trüb. (b-c)
Laropal K80	3 x streichen	ISC	1	4	Kanten, Bohrung, Schlagzahl, -; matt, dunkle Verfärbung der Besch.
Laropal K80	3 x streichen	ISC	1		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, -; matt, dunkle Verfärbung der Besch.
OR1-GF(4)	4 x streichen	ISC	3	0-1	Kanten, -, fl. Probenmitte, +; matt-glänzend
OR1-GF(4)	4 x streichen	ISC	1-2		Kanten, -, fl. links unten, oberes Viertel, +; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	1	1	Kanten, lokal pkt. Beginnend, -; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	1		Kanten, lokal pkt. Beginnend, -; matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	ISC	1	2	Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	ISC	1		Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	1-2	1	Kanten, -, links oben flächig, +; glänzend
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	1		Kanten, Bohrung, -; glänzend
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	1	3-4	Kanten, -, (fl. ges. Bl. 5+); matt, (dunkel-schw. ges. Bl.,streifig)
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	1		Kanten, -, (fl. ges. Bl. 5+); matt, (dunkel-schw. ges. Bl.,streifig)
OR1-AL	4 x streichen	ISC	1-2	4	Kanten, Bohrung, Schlagzahl; glänzend, streifig
OR1-AL	4 x streichen	ISC	1-2		Kanten, Bohrung, Schlagzahl; glänzend, streifig

Tabelle 8a: Vergleichstest: SO₂-Belastung (28d; im DBM-ZI + ISC); Substrat: blankes Blech

Produktname	Applikation Anzahl/Typ	Belastung - Ort	Rost- grad	Gitter- schnitt	Aussehen/Transparenz
Makon	3 x streichen	ZI	0-1		obere Kante; matt, weich, klebrig, bräunlich
Makon	3 x streichen	ZI	0-1		obere Kante; matt, weich, klebrig, bräunlich
OKS 2100	3 x streichen	ZI	1		Kanten, stat. vert.; matt
OKS 2100	3 x streichen	ZI	1-2		Kanten, Bohrung, stat. Vert.; matt
EK-PUR	3 x streichen	ZI	0-1		Kanten beginnend, lokale Flecken; matt
EK-PUR	3 x streichen	ZI	0-1		Kanten beginnend, lokale Flecken; matt
Owatrol	3 x streichen	ZI	1		oberes Viertel; matt-glänzend mit verein. Trübung
Owatrol	3 x streichen	ZI	1		oberes Viertel; matt-glänzend mit verein. Trübung
Kydal 50L	3 x streichen	ZI	1		Kanten, stat. vert. Stippen; glänzend
Kydal 50L	3 x streichen	ZI	1		Kanten, stat. vert. Stippen; glänzend
Laropal K80	3 x streichen	ZI	0-1		Kanten; glänzend mit stat. Trüb.
Laropal K80	3 x streichen	ZI	0-1		Kanten; glänzend mit stat. Trüb.
OR1-GF(4)	4 x streichen	ZI	0-1	0-1	Kanten beginnend; matt-glänzend
OR1-GF(4)	4 x streichen	ZI	0-1		Kanten beginnend; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	0-1	2-3	Kanten; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	0-1		Kanten; matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	ZI	0-1	0-1	untere Kante; matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	ZI	0-1		untere Kante; matt-glänzend
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	0-1	1	untere Kante; matt-glänzend
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	0-1		untere Kante; matt-glänzend
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	0-1	1	Kanten; matt-glänzend
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	ZI	0-1		Kanten; matt-glänzend
OR1-AL	4 x streichen	ZI	0-1	3	Kanten; matt-glänzend
OR1-AL	4 x streichen	ZI	0-1		Kanten; matt-glänzend
Makon	3 x streichen	ISC	1		linke Kante, -; matt-glänzend
Makon	3 x streichen	ISC	1		linke Kante, -; matt-glänzend
OKS 2100	3 x streichen	ISC	1		lokale Fläche -; matt
OKS 2100	3 x streichen	ISC	1		untere Kante, neben Buchstabe -; matt
EK-PUR	3 x streichen	ISC	1		Kanten, lokal pkt., -, stat. vert. schw. Pkt. (+?); matt
EK-PUR	3 x streichen	ISC	1	1-2	Kanten, lokal pkt., -, stat. vert. schw. Pkt. (+?); matt
Owatrol	3 x streichen	ISC	1		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, lokal pkt.,-; matt
Owatrol	3 x streichen	ISC	1	1	Kanten, Bohrung, Schlagzahl, lokal pkt.,-; matt
Kydal 50L	3 x streichen	ISC	1		Kanten, Bohrung, lokal pkt., -; matt-glän. mit stat. Trüb.
Kydal 50L	3 x streichen	ISC	1	2	Kanten, Bohrung, lokal pkt., -; matt-glän. mit stat. Trüb.
Laropal K80	3 x streichen	ISC	1		Kanten, Bohrung, -; matt mit stat. Trüb., Farbveränderung
Laropal K80	3 x streichen	ISC	1	4-5	Kanten, Bohrung, -; matt mit stat. Trüb., Farbveränderung
OR1-GF(4)	4 x streichen	ISC	1	0-1	Kanten, lokal pkt., -; matt-glänzend
OR1-GF(4)	4 x streichen	ISC	1		Kanten, lokal pkt., -; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	0-1	1-2	Kanten; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	0-1		Kanten; matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	ISC	1	3	Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	ISC	1		Kanten, Bohrung; matt-glänzend
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	0-1	2	Kanten; glänzend
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	0-1		Kanten; glänzend
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	1-2		Kanten, stat. vert. ges. Bl., -; matt
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	ISC	1-2	4-5	Kanten, stat. vert. ges. Bl., -; matt
OR1-AL	4 x streichen	ISC	3	4	Kanten, stat. vert. ges. Bl., -, stat. vert. schw. Blasen, +;glän.
OR1-AL	4 x streichen	ISC	3		Kanten, stat. vert. ges. Bl., -, stat. vert. schw. Blasen, +;glänz.

Tabelle 8b: Vergleichstest: SO₂-Belastung (28d; im DBM-ZI + ISC); Substrat: vorkorrodiertes Blech

Produktname	Applikation Anzahl/Typ	Belastung - Ort	Rost- grad	Gitter-- schnitt	Aussehen/Transparenz
Makon	3 x streichen	KKK/ISC	0		matt-glänzend, weich, klebrig, bräunlich-gelb, Ablaufspuren?
Makon	3 x streichen	KKK/ISC	0		matt-glänzend, weich, klebrig, bräunlich-gelb, Ablaufspuren?
OKS 2100	3 x streichen	KKK/ISC	0-1		+; matt, weich
OKS 2100	3 x streichen	KKK/ISC	0-1		+; matt, weich
EK-PUR	3 x streichen	KKK/ISC	0-1		lokal-stat. pkt., +; matt, streifig
EK-PUR	3 x streichen	KKK/ISC	0-1	5	lokal-stat. pkt., +; matt, streifig
Owatrol	3 x streichen	KKK/ISC	3		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, unteres 1/4, stat. vert. Blasen?; matt, bräunlich
Owatrol	3 x streichen	KKK/ISC	3		Kanten, Bohrung, Schlagzahl, unteres 1/4, stat. vert. Blasen?; matt, bräunlich
Kydal 50L	3 x streichen	KKK/ISC	0-1	0	lokale Stippen; glänzend
Kydal 50L	3 x streichen	KKK/ISC	0-1		lokale Stippen; glänzend
Laropal K80	3 x streichen	KKK/ISC	1		Kanten, Schlagzahl, lokale schw. Stippen; matt, Besch. schrumpelig
Laropal K80	3 x streichen	KKK/ISC	1	5	Kanten, Schlagzahl, lokale schw. Stippen; matt, Besch. schrumpelig
OR1-GF(4)	4 x streichen	KKK/ISC	0-1	2	lokale Stippen; matt-glänzend
OR1-GF(4)	4 x streichen	KKK/ISC	0-1		lokale Stippen; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	1	0-1	obere Kante; matt-glänzend mit verein. Trüb.
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	0-1		matt-glänzend
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	KKK/ISC	0-1	5	lokale Stippen; matt-glänzend mit verein. Trüb.
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	KKK/ISC	0-1		lokale Stippen; matt-glänzend mit verein. Trüb.
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	1	2	lokal pkt.; matt-glänzend
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	1		lokal pkt.; matt-glänzend
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	1	2	untere Kante; matt, streifig
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	1		untere Kante; matt, streifig
OR1-AL	4 x streichen	KKK/ISC	0-1	5	lokale Stippen; glänzend, streifig
OR1-AL	4 x streichen	KKK/ISC	0-1		lokale Stippen; glänzend, streifig

Tabelle 8c: Vergleichstest: Kondenswasserkonstantklima-Belastung (28d im ISC); Substrat: blankes Blech

Produktname	Applikation Anzahl/Typ	Belastung - Ort	Rost- grad	Gitter-- schnitt	Aussehen/Transparenz (Bewertung nach 4 Wochen)
Makon	3 x streichen	KKK/ISC	1-2		lokale Fl.; matt-glänzend, weich, klebrig, bräunlich-gelb, Ablaufspuren?
Makon	3 x streichen	KKK/ISC	1		lokale Fl.; matt-glänzend, weich, klebrig, bräunlich-gelb, Ablaufspuren?
OKS 2100	3 x streichen	KKK/ISC	0-1		lokal-stat. pkt. Bl., -; weich mit verein. Trüb. (evtl. mangelnde Haftung)
OKS 2100	3 x streichen	KKK/ISC	1		obere K., lokal-stat. pkt. Bl., -; weich, verein. Trüb. (mangelnde Haftung)
EK-PUR	3 x streichen	KKK/ISC	3		stat. vert. schw. Blasen, +; matt mit stat. Trüb. (Haftung?)
EK-PUR	3 x streichen	KKK/ISC	2-3	1-2	stat. vert. schw. Blasen, +; matt mit stat. Trüb. (Haftung?)
Owatrol	3 x streichen	KKK/ISC	1-2		Kanten, stat. vert. Blasen (+?); matt mit verein. Trüb.
Owatrol	3 x streichen	KKK/ISC	1		Kanten, lokale Blasen (+?); matt mit verein. Trüb.
Kydal 50L	3 x streichen	KKK/ISC	0-1		lokale schw. Pocken; matt-glänzend
Kydal 50L	3 x streichen	KKK/ISC	1	0-1	lokal-stat. Stippen; matt-glänzend mit verein. Trüb.
Laropal K80	3 x streichen	KKK/ISC	1		Kanten; matt, Besch. schrumpelig
Laropal K80	3 x streichen	KKK/ISC	1	5	Kanten; matt, Besch. schrumpelig

Produktname	Applikationt Anzahl/Typ	Belastung - Ort	Rost- grad	Gitter-- schnitt	Aussehen/Transparenz
OR1-GF(4)	4 x streichen	KKK/ISC	3	3-4	stat. vert. schw. Blasen, +, z.T. -; matt-glänzend
OR1-GF(4)	4 x streichen	KKK/ISC	3		stat. vert. schw. Blasen, +, z.T. -; matt-glänzend
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	2-3	5	stat. vert. schw. Blasen, +; matt-glänzend mit stat. Trüb.
OR1-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	2-3		stat. vert. schw. Blasen, +; matt-glänzend mit stat. Trüb.
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	KKK/ISC	2-3	2	stat. vert. schw. Blasen, +, (z.T. -); matt-glänzend mit stat. Trüb.
OR1-GFL(5c!)	5 x streichen	KKK/ISC	2-3		stat. vert. schw. Blasen, +, (z.T. -); matt-glänzend mit stat. Trüb.
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	2-3	3	stat. vert. schw. Korrosion; glänzend mit verein. Trüb.
OR1-HI-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	2-3		stat. vert. schw. Korrosion; glänzend mit verein. Trüb.
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	3	3	stat. vert. schw. Blasen, +, orange pkt.; matt streifig
OR1-PU-GFL(4c)	4 x streichen	KKK/ISC	3		stat. vert. schw. Blasen, +, orange pkt.; matt streifig
OR1-AL	4 x streichen	KKK/ISC	3	5	stat. vert. schw. Blasen, +, (z.T. -); matt-glänzend
OR1-AL	4 x streichen	KKK/ISC	3		stat. vert. schw. Blasen, +, (z.T. -); matt-glänzend

Tabelle 8d: Vergleichstest: Kondenswasserkonstantklima-Belastung (28d im ISC); Substrat: vorkorrodiertes Blech

Die Fülle der Ergebnisse lässt sich knapp wie folgt zusammenfassen:

- Korrodierte Substratoberflächen stellen eine schwierigere Beschichtungsoberfläche für alle lackartigen Systeme (auch ORMOCERe) dar, speziell wenn anschließend eine hohe Feuchtebelastung eintritt. Die Schutzwirkung aller Lacksysteme (ausgedrückt durch den Neurostgrad) nimmt bis auf das bereits als Sonderfall genannte Owatrol beim Übergang vom blanken zum korrodierten Substrat deutlich ab. Die getesteten Wachssysteme reagieren hier „gutmütiger“.
- Bei den Lacke zeigt sich der Kondenswasserkonstantklima-Test als die stärkere Belastung für die Beschichtung.
- Die unterschiedlichen SO₂-Belastungstest (DBM – ISC) unterscheiden sich nur geringfügig in ihrem Ergebnis untereinander, so dass hier durchaus ein Mittelwert als Ergebnis für eine Industrielatmosphäre gebildet werden kann.
- Die getesteten Korrosionsschutzwachse sind den Lacke in ihrer Schutzwirkung durchaus ebenbürtig, zum Teil sogar etwas besser. Dabei muss eingeschränkt werden dass keine Bestrahlung und ablaufende Regenbelastung simuliert wurde. Letzteres (am Objekt realistisch) kann zu einer Verschiebung der Bewertung führen.
- Im Vergleich Wachs zu Lack sprach das optische Erscheinungsbild (matte, unaufdringliche Oberfläche) immer für die Wachse.
- Eine Rangfolge bei den Wachsen zwischen dem Makon Maschinenkonservierer und dem OKS2100 lässt sich nicht herstellen, da die Unterschiede in der Güte insgesamt nur gering sind und von Test und Substrattyp abhängig.
- Eine Unterscheidung der Lacke erfolgt günstigerweise auf korrodierten Blechen im Kondenswassertest. Dabei konnten die System Kydal 50L und Laropal K80 im Hinblick auf den Neurostgrad überzeugen. Das hier etwas schlechter abschneidende Einkomponenten-Polyurethan wurde allerdings nachträglich noch einmal optimiert und erzielt jetzt mindestens vergleichbare Ergebnisse.
- Problematisch beim Ketonharz (Laropal K80) ist die Haftfestigkeit, die sich durch die hohen Gitterschnittwerte ausdrückt. Hier könnte es evtl. zum Abplatzen von Oberflächen bei längeren Standzeiten kommen. Das PU-System liegt hier im Mittelfeld. Das Polyesterharz (Kydal 50L) zeigt letztlich den besten Kompromiss über alle Ergebnisdaten.

- Die ORMOCER-Systeme zeigen speziell bei der Untersuchung auf korrodierten Substraten eine Abstufung untereinander, die eine Auswahl für die Außentests an Objekten ermöglicht. Das Anheben der Schichtdicke führt hier zu einer besseren Schichtstabilität (Gitterschnitt) und etwas geringerem Neurost. Damit erscheint besonders das System OR1-GFL(5c!) als gut geeignet.
- Im Vergleich der ORMOCERe mit den favorisierten handelsüblichen Lacken ist dem System OR1-GFL(5c!) eine gute Schutzwirkung und Haftung zuzusprechen. Eine dramatische Verbesserung im Ergebnisvergleich ist bei diesem Prüfzyklus jedoch nicht zu konstatieren.

4. Objektuntersuchungen / Musterflächen

Ein Schwerpunkt des Vorhabens bestand in der Übertragung der in den Laborergebnissen gewonnenen Erfahrungen auf die Einsatzmöglichkeit der Beschichtungssysteme an realen Objekten. Daher wurden die „Testsieger“ aus den Laborversuchen (transparente Beschichtungen) in verschiedenen Umweltsituationen vor allem an den beiden Hauptuntersuchungsobjekten dem Hochofenwerk Henrichshütte in Hattingen und der Erzaufbereitungsanlage des Bergwerks Rammelsberg in Goslar in Testflächen erprobt. Dabei erwies es sich allerdings als problematisch, in der begrenzten Vorhabenslaufzeit auf die endgültigen Prüfergebnisse aus den Laboruntersuchungen zu warten. So wurde in der Mitte der Projektlaufzeit mit der Installation der Testflächen begonnen und die bis zu diesem Zeitpunkt gewonnenen Ergebnisse aus den Laborversuchen zur Auswahl der Beschichtungssysteme genutzt. Auf Grund dieser Situation wurde auch versucht lieber eine etwas breitere Palette von Produkten an die Testflächen zu bringen. Eine Reduzierung auf die in Kap. 3.2.3 genannten besten Systeme konnte erst in einem zweiten kleineren Beschichtungsansatz an den Objekten verwirklicht werden.

Die beiden Untersuchungsobjekte wurden im Hinblick auf den Materialeinsatz klar unterschieden. In der Innenraumsituation am Rammelsberg kamen hauptsächlich Wachse zum Einsatz, während an der Henrichshütte (mit der Freibewitterung) Wachse und vor allem Lacke überprüft wurden. Die ORMOCERe wurden als neue Produktgruppe in beiden Objektbereichen eingesetzt. Als Vergleich zu den transparenten Stoffen wurden für die Eisenkunstgussfiguren des Schlossparks in Wolkenburg auch pigmentierte Beschichtungen herangezogen.

4.1 Einsatz von transparenten Beschichtungsstoffen

Zur Vorbereitung der Pilotbeschichtungen an ausgesuchten Originalflächen im Bereich des Hochofens III der Henrichshütte in Hattingen und der Erzaufbereitungsanlage des Rammelsberger Bergbaumuseums in Goslar wurden Ortsbesichtigungen mit Testflächenauswahl, Photodokumentation und Probennahme von Korrosions-, Farb- und Konservierungsschichten durchgeführt. An den ausgewählten Bereichen sollte die Originaloberfläche mit ihren authentischen Gebrauchsspuren sowie teilweise noch intakten farbigen Altackschichten durch eine maßvolle Vorbehandlung und den Auftrag der Beschichtungssysteme weitestgehend erhalten bleiben.

Die Testflächen wurden vor der Beschichtung gereinigt. Dazu wurden Sie mit einer Messingdrahtbürste behandelt und so lose aufliegender Schmutz und Rostpartien entfernt. Bei vorhandenen Altbeschichtungen wurde die Methode auf korrodierte Stellen und deren Randbereiche begrenzt. Intakten Altbeschichtungen wurden nur abgefeigt. Die losen Farbschollen in den hinterwanderten Zonen gingen bei der o. g. Vorgehensweise verloren, was bei der Dimension der zu behandelnden Teile am Objekt (bezogen auf eine reale Beschichtung) aber billigend in Kauf genommen wurde. Die restauratorische Festigung dieser Schollen im Kontext von Industrieanlagen würde den Rahmen der finanziellen und zeitlichen Möglichkeiten mehr als sprengen. Das Belassen der losen Schollen und ein

Überschichten würde dagegen sehr labile Zonen erzeugen, die Ansatzpunkte für das erneute, schnelle Aufbrechen der Korrosion wären.

Abhängig vom Objekt kam bei großen korrodierten Flächen auch noch eine Nadelpistole als Reinigungswerkzeug zum Einsatz. Mit dieser Methode ist ein Lösen und Entfernen der auflagernden Rostschichten auch auf größeren Flächen zeitsparend möglich. Gleichzeitig ist die Methode noch so „schonend“, dass kein blanker Untergrund erzeugt wird. Bei aufliegenden Fettschichten wurde ein kurzzeitiges Behandeln (Abwischen) mit Lösemitteln (Alkohol) vorgenommen und erst dann beschichtet.

4.1.1 Hochofenwerk Henrichshütte Hattingen

Objektbeschreibung

Das Hochofenwerk Henrichshütte in Hattingen spiegelt eine 133jährige Hüttengeschichte wieder. Die Gründung erfolgte 1854. Die Stilllegung der Anlage geschah 1987, trotz starker Proteste der Belegschaft und Bevölkerung. Bereits 1989 wurde die Hochofenanlage vom Landschaftsverband Westfalen Lippe in das Westfälische Industriemuseum (WIM) einbezogen, das zahlreiche Außenstandorte neben seinem Hauptsitz auf der Schachanlage Zollern II/IV in Dortmund aufweist. Keine 15 Monate zuvor war am Hochofen III in Hattingen noch Roheisen abgestochen worden. Der Hochofen II wurde 1990 demontiert und nach China verkauft. Das restliche Gelände wurde zu einer „naturnahen“ Industriebrache, die vom WIM einerseits als Ort zum Aufzeigen des „Wegs des Eisens“ aber auch als Beispiel für die Rückeroberung einer Industrielandschaft durch die Natur genutzt wird.

Bei Beginn des vorliegenden Vorhabens 1996 war die Notwendigkeit von Korrosionsschutzmaßnahmen auf dem Gelände des Hüttenwerkes schon sehr deutlich geworden. Verschiedenste Bereiche der Anlage, die im Betrieb durch die herrschenden höheren Temperaturbedingungen geschützt oder dabei schlicht als Verschleißteile auf Zeit eingesetzt waren, rosteten bereits deutlich. Das WIM hatte sich zu diesem Zeitpunkt daher bereits dazu entschlossen, den Hochofenmantel des Hochofens III, der eigentlichen Attraktion des heutigen Museumsareals, mit einem geeigneten transparent Korrosionsschutz zu erhalten.

Testflächen

Bei diesem Hintergrund wurden Testflächen gesucht, die möglichst unterschiedliche Umgebungsbedingungen und Oberflächenzustände im Hüttengelände widerspiegeln sollten. Folgende Flächen wurden ausgewählt:

- **I: Hochofenstumpf des Hochofens II** (erste Probetestflächen): Gussmaterial mit hoher Wandstärke; vollständig korrodierte, vernarbte Oberfläche; keine Altbeschichtung; direkte Beregnung und Besonnung. Testflächen, nach Süden, mindestens je 50 x 50 cm.
- **II: Kühlklappen am Hochofenmantel**: Gussmaterial mit hoher Wandstärke; vollständig korrodierte, vernarbte Oberfläche; keine Altbeschichtung; teilweise durch das Gerüst des Hochofens vor direkter Beregnung und Besonnung abgeschirmt, aber sonst der Witterung ungeschützt ausgesetzt; Testflächen jeweils eine halbe Kühlklappe.
- **III: Cowperflächen**: genietete Stahlkonstruktion; vollständig korrodierte Oberfläche; keine Altbeschichtung mehr; durch die Umgebungsbedingungen im unteren Bereich vor Schlagregen abgeschirmt, aber durch hohe Mengen an Ablaufwasser (von oben) ständig feucht und schlecht trocknend (keine Sonne, wenig Wind); große verbackene Staubablagerungen. Testfläche: sowohl an der bodenberührenden Standkonstruktion (besonders belastet) als auch an der aufstrebenden Wand (geringere Belastung).
- **IV: Rohrleitungen**: Stahlrohr auf einem Ständerwerk; vollständig korrodierte Oberfläche; keine Altbeschichtung mehr; durch die Rundung im unteren Bereich vor Schlagregen und Besonnung leicht abgeschirmt, oben der Witterung aber ungeschützt ausgesetzt. Testfläche jeweils Ringe von etwa 10 cm Breite um die komplette Rohrleitung herum.
- **V: Ständerwerk der Rohrleitungen**: Stahlstützen; teilkorrodierte Oberfläche mit überwiegend erhaltener Altbeschichtung; direkt dem Schlagregen und der Besonnung

ausgesetzt. Testfläche jeweils ein Drittel eines Faches von einem Ständer, kein Bodenkontakt.

Die Systematik der Testflächen ergibt sich aus der nachfolgenden Aufstellung. Alle Beschichtungsstoffe wurden - bis auf die der Testfläche III - immer mit dem Pinsel aufgetragen. In der Testfläche III erfolgte neben dem Pinselauftrag (außer bei den ORMOCERen) auch ein Spritzauftrag als Vergleich. Die Anzahl der Schichten wurde entsprechend der Laborergebnisse gestaltet. Bei den ORMOCERen bedeutete dies vier bzw. fünf Schichten. Bei den Wachsen und Lacken, abgesehen von der Testfläche I (dort nur Vorversuche mit einer Schicht) wurden drei Aufträge umgesetzt. Die unten stehende Auflistung ordnet die Beschichtungsstoffe nach Typen und gibt an welche Stoffe in welchen Testflächen aufgebracht wurden:

Lacke:

PVR (Polyanilin, Fa. Zipperling) (Testfläche: I)
Fremdprodukt der Fa. Sika (Testfläche: I)
Hartglanztrockenöl (Alkydharz, Fa. Wittig) (Testfläche: I)
Naturharzöl (Fa. Alschweig) (Testfläche: I)
Owatrol (Kriechöl, Fa. Voss Chemie) (Testfläche: III-IV)
Motorklarlack CA-B11 (Acrylatbasis, Fa. Caramba) (Testfläche: I)
Kydal LS 50 (Polyester, Fa. Tedden) (Testfläche: I)
Kydal 50 L (Polyester, Fa. Tedden) (Testfläche: III, IV)
Laropal K80 (Ketonharz, Fa. Bayer) (Testfläche: II-V)
Laropal A81 (Aldehydharz, Fa. Bayer) (Testfläche: II-V)
Incralac (Acrylat, Fa. Conservation Resources) (Testfläche: II-V)
BOB (EK- Polyurethan Reaktionsgrund (Fa. Voss Chemie) (Testfläche: II-V)
EK-PUR (Polyurethan, Fa. Conrads) mit aliphatischem oder aromatischem EK-PUR-Reaktionsgrund (Testfläche: I, IV, V)
2K-Polyurethan (Polyurethan, Fa. Conrads) mit aliphatischem oder aromatischem EK-PUR-Reaktionsgrund (Testfläche: I-V)

Wachse:

OKS 2100 (Spezialwachs, Fa. Klöcker) (Testfläche: II-V)
Makon Maschinenkonservierer (Spezialwachsmischung, Fa. KL Chemie) (Testfläche: II-V)
Anticorrit BW366 (hochraff. Mineralöle, Fa. Fuchs) (Testfläche: II, IV, V)
Cosmoloid H80 (n.-& isoparaff. Kohlenwasserstoffe, Fa. Kremer) (Testfläche: III)

ORMOCERe: (in den Testflächen: II bis V)

OR 1 – GFL (5, 7:1)
OR 1 – GFL (4, 7:1)
OR 1 – GFL (4)

Die Beschichtungen wurden in verschiedenen Phasen aufgebracht: die ersten Produkte an den Probetestflächen bereits im September 1996, die letzten Beschichtungsstoffe Ende 1998.

Als sehr große Gesamttestfläche kann der Mantel des Hochofens III betrachtet werden, der in den Jahren 1997/98 komplett transparent beschichtet wurde. Hier kam in Abstimmung mit dem Projektteam ein zweischichtiges EK-PUR-System mit vorangehender Anwendung eines EK-PUR-Reaktionsgrundes (Material: Fa. Conrads) zum Einsatz.

Ergebnisse

Alle Testflächen wurden in bestimmten Abständen immer wieder begutachtet und fotografisch dokumentiert. Dabei wurden analog zu den Laborversuchen folgende Parameter erfasst: Aussehen der Oberfläche, Transparenz, Haftung auf dem Untergrund und die Bildung von Neurost unter der transparenten Schicht. Bei den Altbeschichtungen wurde auch die Verträglichkeit mit dem neuen System mitbewertet.

Durch die unterschiedlichen Erstellungsdaten der Testflächen ist eine direkte Gegenüberstellung schwierig. Auch ist inzwischen schon eine große Datenfülle angefallen. An dieser Stelle soll daher nur eine zusammenfassende Wertung abgegeben und auf die noch folgende umfangreiche Publikation verwiesen werden:

- Die Testflächen am Hochofenstumpf zeigen deutlich, dass eine einlagige transparente Beschichtung bei der Mehrzahl der Systeme zu keiner befriedigenden Schutzwirkung führt. Die Systeme Hartglanzöl (Wittig), Motorlack (Caramba), Naturharzlack (Alschweig) und Kydal LS50 (Tedden) sind kaum noch von der umgebenden Rostschicht zu unterscheiden. Hier haben Rostspots die Beschichtung an vielen Stellen durchbrochen.

Die Polyurethansysteme von Conrads zeigen ein uneinheitliches Bild. Die Flächen bei denen mit dem lichtechten Reaktionsgrund vorbehandelt wurde, stehen erheblich besser als die Flächen mit klassischem EK-PUR-Primer. Die 2K-PUR-Systeme auf dem klassischen Grund haben z.T. völlig die Haftung zum Untergrund verloren (könnten als Ganzes abgezogen werden). Die EK-PUR-Systeme haben ein besseres Haftvermögen. Die Kombination aus lichtechem Reaktionsgrund und EK-PUR-Deckschicht macht den besten Eindruck und zeigt für eine vierjährige Standzeit ein gutes Erscheinungsbild.

Auch die Systeme von Sika (Polyurethane ?) haben in Teilbereichen die Haftung zum Untergrund verloren und platzen großflächig ab. Die Beschichtungen von Zipperling sind nicht als transparent zu bezeichnen und bilden eine schwarze Oberfläche, die allerdings wenig Rostdurchbrüche zeigt.

- Die Testflächen am Cowper zeigen die Grenzen von transparenten Beschichtungsstoffen bei schwierigen Untergründen auf. Keines der eingesetzten Systeme (auch die ORMOCERe nicht) ist bei der feuchten Umgebung in der Lage die noch mit vielen Korrosionsbeschleuniger durchsetzte Oberfläche im Bodenbereich (Standfuß) zu schützen. Alle Flächen sind bereits nach zwei Jahren stark mit neuen Korrosionsprodukten belegt, die die Beschichtung durchbrochen haben.
- Eine sehr gute Auswahlposition für die unterschiedlichen Systeme stellt die Testfläche IV, auf den Rohrleitungen, dar. Hier lassen sich klare Aussagen zur Güte der verschiedenen Beschichtungen treffen. In zweijähriger Standzeit ist sowohl unter den ORMOCER- als auch den Polyurethanschichten nahezu kein Neurost zu erkennen. Etwas ungünstig bei den ORMOCERen und beim 2K-PUR-System ist der stark glänzende Oberflächeneindruck. Beim EK-PUR-System ist er etwas angenehmer (matter).

Die weiteren Lacke schneiden schlechter ab. Vor allem auf der Rohroberseite (Regen- und Sonnenbelastung) wirkt sich dies aus. Nach den ORMOCERen/ Polyurethanen lässt sich etwa folgende Abstufung (abnehmende Schutzwirkung) treffen: Kydal 50L > Alschweig > Incralac > Laropal K80 (stumpf, abgewaschen) > Laropal A81 (milchig weiß) > BOB-Reaktionsgrund (kaum noch vorhanden).

Die Wachse sind auf der Rohroberseite durchweg stark an- bis abgewaschen. Im unteren Bereich zeigen sie aber noch eine gute Schutzwirkung. Makon Maschinenkonservierer und Anticorit BW366 schneiden hier geringfügig besser als das OKS 2100 ab.

- Bei den Altbeschichtungen am Ständerwerk fällt das Versagen des Laropal A81 (milchig weißer Belag) besonders auf. Alle übrigen Beschichtungsstoffe sind verträglich mit den Altbeschichtungen. Die eingesetzten ORMOCERe und PU-Systeme sind bis auf ganz einzelne Rostspots noch völlig intakt (ansonsten siehe Bemerkungen für die Rohrleitung). Die Wachse, die in den Fächern des Ständerwerkes stärker geschützt sind, machen hier einen besseren (nicht so stark abgewaschenen) Eindruck. In ihrer Schutzwirkung sind an dieser Stelle Anticorit BW 366 und OKS 2100 geringfügig besser als der Makon Maschinenkonservierer.

- Die Erkenntnisse aus der „Großtestfläche“ Hochofen III der Henrichshütte sind bisher nur gering. Auf den glatten Mantelflächen ist die Polyurethanbeschichtung bisher intakt. Kritische Zwickelbereiche, in denen sich Wasser sammeln und stehen bleiben kann, sind allerdings gefährdet und zeigen z.T. schon wieder Korrosionsspuren. Ein Problem ist derzeit auch noch der von vielen als störend empfundene Oberflächenglanz der Beschichtung. Hier wird häufig der Begriff „speckig“ angeführt.

Als Quintessenz dieses Objektbeispiels lässt sich folgendes sagen: Die Wachssysteme sind bei direkter Regen- und Sonneneinwirkung stärker abgebaut worden als die besten Lacke. ORMOCERe und Polyurethansysteme sind die Testsieger und in etwa ebenbürtig (im Hinblick auf die Bewertung nach einer zweijährigen Bewitterung). Der stark glänzende Eindruck bei ORMOCERen und dem 2K-PUR-System (abgeschwächt auch beim EK-PUR-System) verfälscht allerdings das originale Erscheinungsbild. Bei stark belasteten Bereichen (stehende Feuchte, Korrosionsauflagerungen) versagen die transparenten Systeme, hier kann nur ein technisches KS-System eingesetzt werden.

4.1.2 Aufbereitungsanlage des Erzbergwerks Rammelsberg Goslar

Objektbeschreibung

Die 1935/36 errichtete Aufbereitungsanlage des Erzbergwerk Rammeisberg in Goslar ist seit der letzten Bergfahrt im Sommer 1988 stillgelegt. Der gesamte Untertage- und Obertagebereich wird gegenwärtig in ein Besucherbergwerk und Bergbaumuseum umgewandelt und somit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Als erster technischer Denkmalkomplex in Deutschland ist der Rammelsberg 1992 in die UNESCO-Liste des Weltkulturerbes aufgenommen worden.

Die als große Halle ausgelegte Erzaufbereitungsanlage des Gesamtkomplexes wurde gestuft an einem Hang angelegt und ermöglichte so eine optimale Ausnutzung des Gefälles für den Weg der Erzaufbereitung. Die Erze wurden über den Schacht bis zum höchsten Punkt der Anlage gefördert. Über verschiedene Zerkleinerungsstationen (grob, mittel, fein) gelangte das Material in eine Nassklassierung und von dort schließlich in Flotationszellen. Dort wurden die interessierenden Mineralgehalte auf chemischem Weg vom Restgestein abgetrennt und zur Verhüttung vorbereitet. Die Rammelsberger Anlage enthält insgesamt vier große Stränge mit komplettem Aufbereitungsweg.

Es ist ein besonderer Bedarf an transparentem Korrosionsschutz vorhanden. Zwar ist die atmosphärische Belastung der Metalloberflächen der Maschinenanlagen durch die unbeheizte Innenraumsituation relativ moderat. Doch die Belastung mit Erzstaub und Chemikalien der Aufbereitungsprozesse führte zu beträchtlichen Korrosionserscheinungen.

Testflächen

Für die Pilotbeschichtungen konnten Testflächen nach den Gesichtspunkten unterschiedlicher Belastungsbereiche ausgewählt werden. Die Anlagenteile auf der Flotationsebene sind am stärksten durch die für die Flotation eingesetzten Chemikalien sowie die dabei aufbereiteten Erze betroffen. Dieses führte zu einer starken Korrosion der Metalloberfläche. Die Außenflächen der Flotationszellen (Testfläche: FI) tragen noch eine deutlich vorhandene, durch Korrosionsnester aufgebrochene Altbeschichtung. Die Innenseiten der Flotationszellen (FII) sind dagegen vollständig mit einer Korrosionsschicht bedeckt. In der Naßaufbereitung wurden die Schüsselklassierer für Testflächen ausgewählt. Deren Innenseiten (N1) sind im Gegensatz zum höhergelegenen Drehelement (NII) durch den Wassereinfluß ebenfalls stark korrodiert. Hier fehlte allerdings die Belastung durch die Chemikalien des Flotationsprozesses. In beiden genannten Bereichen (F und N) wurde bei der Ortsbegehung bereits eine konservierende Behandlung mit einem Wollfett-Derivat vorgefunden. Diese ist nach 3-4 jähriger Standzeit an vielen Stellen nicht mehr wirksam (Neurost). Eine Behandlung mit den aktuellen Präparaten erfolgte nach Abbürsten der

Korrosionsauflagerungen durch Oberschichten des teilweise noch vorhandenen Fettsystems, was eine deutliche Erhöhung des Haftungsrisikos bedeutete. In der Trockenaufbereitung, die von der Grobzerkleinerung (Backenbrecher) über die Mittel- bis zur Feinzerkleinerung reicht, werden nur schwach korrodierte (einzelne Spots) Altbeschichtungen an den Außenseiten der Maschinenteile (TII) vorgefunden. Die Innenseiten (TI) sind infolge des Abriebs durch die Erzfrachten stärker korrodiert. Hier lagen auch "eingeriebene" Erzreste vor, die bei einer Konservierungsbehandlung ebenfalls gefestigt wurden. Diese fünf Testflächen wurden zur Applikation der vielversprechenden Beschichtungssysteme in vergleichbare Abschnitte (jeweils ca. 20 x 30 cm²) unterteilt.

In allen genannten fünf Testflächenbereichen kam – nach Abbürsten der Flächen mit einer Messingbürste als Reinigungsvorgang - eine Auswahl bestimmter Beschichtungssysteme (insgesamt acht Produkte) zum Einsatz. Bei den handelsüblichen Produkten lag der Schwerpunkt auf Wachsen (Begründung: Innenraumsituation) mit einer Ergänzung durch das Naturharz-Produkt des Restaurators Alschweig. Alle Stoffe wurden durch dreimalige Pinselbeschichtung aufgetragen. Außerdem wurden die drei optimierten ORMOCERe (vier- bzw. fünfmalig) eingesetzt. Genaue Angaben liefert die folgende Auflistung:

Wachse:

OKS 2100 (Spezialwachs, Fa. Klöcker)

Makon Maschinenkonservierer (Spezialwachsmischung, Fa. KL Chemie)

Anticorrit BW366 (hochraff. Mineralöle, Fa. Fuchs)

Cosmoloid H80 (n.-& isoparaff. Kohlenwasserstoffe, Fa. Kremer)

Lack:

Naturharzöl (Fa. Alschweig)

ORMOCERe:

OR 1 – GFL (5, 7:1)

OR 1 – GFL (4, 7:1)

OR 1 – GFL (4)

Die oben erläuterten Testflächen wurden im Jahre 1998 angelegt. Im Bereich der Außenwandung der Flotationszellen (in der Nähe von Testfläche FI) zu wurde bereits 1996 eine erste Reihe von Probetestflächen mit einer kleinen Auswahl damals verfügbarer Beschichtungsstoffe angelegt. Dabei kamen folgende Stoffe mit einem einlagigen Auftrag zur Anwendung:

Kydal LS 50 (Polyester, Fa. Tedden) (Testfläche: I)

PVR (Polyanilin, Fa. Zipperling)

Hartglanztrockenöl (Alkydharz, Fa. Wittig) (Testfläche: I)

Naturharzöl (Fa. Alschweig) (Testfläche: I)

Motorklarlack CA-B11 (Acrylatbasis, Fa. Caramba) (Testfläche: I)

EK-PUR (Polyurethan, Fa. Conrads) mit aliphatischem EK-PUR-Reaktionsgrund

Ergebnisse

Alle Testflächen wurden in Abständen begutachtet und fotografisch dokumentiert. Dabei wurde analog zu den Angaben bei der Henrichshütte folgende Parameter erfasst: Aussehen der Oberfläche, Transparenz, Haftung auf dem Untergrund und die Bildung von Neurost unter der transparenten Schicht. Bei den Altbeschichtungen wurde auch die Verträglichkeit mit bewertet. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf eine Überprüfung nach einem Zeitraum von etwa 1,5 Jahren nach der Beschichtung:

- In den weniger belasteten, oberen Bereichen der Anlage (Grob und Feinzerkleinerung) ist der Zustand der Beschichtung nahezu unverändert. Alle Systeme zeigen keinerlei Rostunterwanderung. Hier scheint der Auftrag von Lacken damit etwas zu aufwendig für

die wenig korrosiven Umgebungsbedingungen.

- Im Bereich des Schlüsselklassierers sind in bestimmten Teilbereichen (oberer Rand) Neurostpartien gerade unter den ORMOCERen festzustellen. Auf der restlichen Fläche die ORMOCERen beschichtet wurde, ist dagegen keinerlei Neurost zu beobachten. Dieser Effekt konnte bisher noch nicht erklärt werden. Die Wachse zeigen ein geschlosseneres Bild und lassen über die gesamte Fläche gesehen nur einen minimalen Korrosionsangriff auf die darunter liegende Oberfläche erkennen. Bei der mit dem Alschweig'schen Naturharzlack beschichteten Fläche tritt keinerlei Angriff auf.
- Im Innenbereich der Flotationszellen zeigen alle Lacke (ORMOCERe und Naturharzlack) ein tadelloses Erscheinungsbild. Hier sind die Wachsschichten flitterartig durchbrochen. Aus der korrodierten Wandung scheinen sich erste feine Rostdurchbrüche auszubilden.
- Auf den Altbeschichtungen der Flotationszellen erwies sich die Vorauswahl der Beschichtungsstoffe und Schichtaufträge durch die Labortests als ein entscheidendes Gütekriterium. Die in den frühen Probetestflächen aufgetragenen Lacke (bis auf Polyurethane und Polyanilinprodukte) zeigen deutliche Unterrostungen. Die optimierten ORMOCERe, der Alschweig'sche Naturharzlack und die ausgewählten Wachse weisen dagegen keinen Neurost auf (allerdings ist hier auch der Unterschied in der Standzeit mit einem Faktor 2 zu berücksichtigen).

Das Fazit der Untersuchungen am Rammelsberg ist nach der relativ kurzen Standzeit der Testflächen bei geringerer Umweltbelastung als in Hattingen schwieriger zu ziehen. Alle eingesetzten Systeme sind bisher sehr gut in ihrer Wirkung. Die Lacke (auch ORMOCERe) scheinen hier eher etwas „überdimensionierte“ Schutzsysteme zu sein. Die Wachse weisen zu dem einen weniger ins Auge fallenden Oberflächencharakter auf (matter). Besonders zurückhaltend und damit sehr positiv wirkt das Cosmoloid H80. Dabei muss allerdings gerade bei den Flotationszellen (und hier besonders im Innenbereich) eine weitere Beobachtung erfolgen, da an dieser Stelle das größte Korrosionspotential vorliegt. Dort haben die Wachse auch bereits geringfügig schlechter als die Lacksysteme abgeschnitten.

4.2. Einsatz von pigmentierten Beschichtungsstoffen

Bei der Beantragung des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde das Thema „Restaurierung und Konservierung der Eisenkunstgussfiguren aus dem Schlosspark von Wolkenburg/Sachsen“ als Teilaspekt mit aufgenommen. Der Umfang der notwendigen Arbeiten in Wolkenburg im Vergleich zu den zur Verfügung gestellten Projektmitteln machte eine klare Zieldefinition der Arbeiten notwendig. In Absprache mit der Gemeinde Wolkenburg und dem Landesdenkmalamt Sachsen wurde festgelegt, ein Konzept für eine objektverträgliche Restaurierung und Konservierung des Bestandes in Wolkenburg zu entwickeln und diesen Ansatz exemplarisch an einem Kunstgussobjekt umzusetzen. Gleichzeitig konnte hierbei ein Vergleich zwischen transparenten und pigmentierten Beschichtungen gezogen werden, da beim Musterobjekt eine anfängliche Diskussion über eine Belassung der vorhandenen Fassung mit Übersichtung durch transparente Stoffe oder eine komplette Neufassung mit pigmentierten Beschichtungsmaterialien bestand. In entsprechenden Labortest bot sich der Vergleich der verschiedenen Stoffe auf Testplatten eines Gusssubstrates an.

4.2.1 Eisenkunstgussfiguren aus dem Schloss Park von Wolkenburg

Objektbeschreibung

Als musterhaft zu bearbeitendes Objekt wurde die Figur „Einschenkender Satyr“ ausgewählt. Die Entstehungszeit wird auf den Anfang des 19. Jh. datiert. Der Wolkenburger Satyr ist von knabenhafter Gestalt (146 cm groß). Die Figur ist ein Abguss einer Marmorstatue, die sich in

der Skulpturensammlung der Staatlichen Kunstsammlung in Dresden befindet. Die Figur, die 1996 vorsichtshalber (Diebstahlgefahr) von ihrem ursprünglichen Standort im Schlosspark (unterhalb des Gärtnerhauses) entfernt und in den Innenraum (Werkstatt, Ausstellung im Schloss) verbracht wurde, war nur noch ein Torso. Beide Arme waren bis auf die Oberarmstümpfe abgeschlagen.

Die Figur war schwarz gefasst. Farbanalysen (Dr. Woelker, Dresden) zeigten aber, dass die Figur im Laufe der Zeit vermutlich unterschiedlichen Präsentationszwecken genügen sollte. So fanden sich zahlreiche Schichten unterschiedlicher Färbung: grün (mögliche Vortäuschung einer grünen Patinierung), braun, hellgrün, weiß, grau und als abschließende Schichten: Orange (Bleimennige), Schwarz (Bitumen mit Mennigepartikeln), Rot (Eisenoxidrot) und Schwarz (Eisenglimmer). Dieser Schichtaufbau spricht für die Überlegung, dass die Figur vor der Aufstellung im Schlosspark an anderen Stellen präsentiert wurde und möglicherweise erst bei der Zusammenführung des Ensembles in einer Vereinheitlichung mit dem abschließenden Beschichtungssystem (incl. schwarzer Deckschicht) versehen wurde. Damit unterschied sich die Figur in ihrer „Fassungs“-Geschichte von den anderen Objekten in Wolkenburg, die - wie das Gutachten von Herrn Dr. Woelker ausweist - aber insgesamt recht unterschiedlich sind.

Das Objekt wies an verschiedenen Stellen Farbabplatzungen auf, unter denen eine korrodierte Oberfläche zu Tage trat. Diese Korrosionspunkte sind über die Oberfläche verteilt und besonders an kritischen Stellen (stehende Feuchte in Falten, oder mechanische Beschädigungen) zu beobachten. Großflächige Korrosion war nicht festzustellen. Im Bereich der Regenablaufzonen waren Kalkablagerungen und Verschmutzungen zu erkennen.

Im Zuge der Präsentation der Figur in einer Ausstellung wurde sie mit Lederfett behandelt. Die gut gemeinte Maßnahme sollte das Objekt wieder ansehnlicher machen. Die geplante konservierende Behandlung musste daher auch diese Maßnahme berücksichtigen. In Vorgesprächen wurde überlegt, die Figur wieder an ihrem ursprünglichen Platz im Schlosspark aufzustellen. Die zukünftige Außenexposition wurde somit als weitere wichtige Entscheidung im Hinblick auf die Auswahl eines konservierenden Beschichtungssystem aufgenommen. Um eine Entscheidung über das Beschichtungssystem treffen zu können, wurden erneut Labortests, diesmal auf Gusstests substraten, ausgeführt.

Labortests

- *Testsubstrate:*
Gussplatten (100x50x10mm) aus Standard Grauguss geliefert vom Lauchhammer Werk; leicht vorkorrodiert (Kondenswasseratmosphäre); mit Glasperlen gestrahlt
- *Belastungstests:*
Kondenswasserkonstantklima, SO₂-Atmosphäre, Salzsprühnebel, und Freibewitterung in Wolkenburg (als Langzeit-Monitoring)
- *Beschichtungssysteme:*
Es wurden zwei Hauptgruppen von Beschichtungsmaterialien untersucht: transparente (Testsieger aus den Laborversuchen) und solche mit Korrosionsschutzpigmenten. Bei letzteren wurde auf Erfahrungen mit Gussobjekten des Neuen Schlosses im Fürst-Pückler-Park zu Bad Muskau aufgebaut. Bei diesen pigmentierten Beschichtungen wurden alternativ ein Vier- bzw. Dreischichtsystem in die Tests einbezogen:
 - Grund I (Alternative I): EK-PUR-Reaktionsgrund farblos; EK-PUR-Zinkgrund; EK-PUR-Zwischengrund; (Deckschicht)
 - Grund II (Alternative II): 1K-Epoxyd-Zinkphosphatgrund; 2K-Epoxyd-Zwischengrund; (Deckschicht)
 - Auf die vorbereiteten Grundbeschichtungen wurden dann unterschiedliche Deckschichten (matt schwarze Lacke) aufgebracht. Drei Variationen mit Decklacken (Acryl-, 2K-PAC- und 2K-PUR-Decklack) wurden verwirklicht. Damit stand eine Palette von sechs Möglichkeiten für eine Einschätzung der Korrosionsschutzwirkung und der restauratorischen Belange zur Verfügung.

Ergebnisse der Labortests

Bei den pigmentierten Beschichtungsstoffen wurden erwartungsgemäß deutlich höhere Schichtdicken erreicht als bei den transparenten Stoffen (transparent zwischen 20 und 70 [µm]):

Schichtdicke (Mittelwert [µm]):

Grund I + Acryl-Decklack 173 [µm]
 Grund I + 2K-PAC-Decklack 165 [µm]
 Grund I + 2K-PUR-Decklack 167 [µm]
 Grund II + Acryl-Decklack 113 [µm]
 Grund II + 2K-PAC-Decklack 133 [µm]
 Grund II + 2K-PUR-Decklack 144 [µm]

Beschichtungssystem	Rostgrad nach KKK-Belastungstest (28d)
OR1-GFL (5c)	0
OR1-PU-GFL (4)	3
OR1-HI-GFL (4)	1
EK-PUR + Reaktionsgrund (3)	0
Kydal 50 L	2
Alschweig	4
OKS 2100	4
pigmentierte Systeme	0

Tabelle 9: Vergleich von transparenten und pigmentierten Beschichtungsstoffen auf vorkorrodierten Gusstests substraten nach Belastungstest „Kondenswasserkonstantklima“ nach 28 Tagen; (Anzahl der Schichtaufträge)

Im Kondenswasserkonstantklima-Test konnten einige der transparenten Stoffe im Hinblick auf die Bildung von Neurost noch recht überzeugende Ergebnisse erzielen (Tabelle 9). Bei der Anwendung des erheblich aggressiveren Salzsprühnebel-Testes versagten die transparenten Stoffe jedoch klar (starke Korrosion über die gesamte Fläche). Mit diesem Test (im Vergleich zum KKK und SO₂-Test) ließ sich aber erst eine Unterscheidung zwischen den pigmentierten Systemen treffen (Tabelle 10). In den anderen Tests blieb die Beschichtung immer vollständig erhalten. Eine Entscheidung für die pigmentierten Systeme fiel, als letztlich eine Wiederaufstellung der Gussfiguren im Park deutlich in Erwägung gezogen wurde.

Beschichtungssystem	Neurostgrad	Gitterschnitt
Grund I + Acryl-Decklack	1-2	0-1
Grund I + 2K-PAC-Decklack	0	0
Grund I + 2K-PUR-Decklack	0	0
Grund II + Acryl-Decklack	1-2	1
Grund II + 2K-PAC-Decklack	0	4-5
Grund II + 2K-PUR-Decklack	0	0

Tabelle 10: Vergleich von pigmentierten Beschichtungsstoffen auf vorkorrodierten Gußtests substraten nach Belastungstest „Salzsprühnebel“ nach 28 Tagen

Als zusätzliche Bewertungskriterien für die Entscheidung innerhalb der Gruppe der pigmentierten Beschichtungen wurde die Haftung auf der Oberfläche (bestimmt durch den Gitterschnitt-Test, siehe auch Tabelle 10) und das Erscheinungsbild (Mattierung und Oberflächenrelief) herangezogen. Das System Grund I (Polurethan-Basis) plus einem 2K-

Polyurethandecklack erzielte insgesamt die besten Ergebnisse im Hinblick auf Haftung und Schutz. Da es aber im Erscheinungsbild nicht endgültig den Erwartungen des Restaurators entsprach, wurde für das Musterobjekt das System Grund I + Acryldecklack ausgewählt. Das reine PUR-System soll jedoch weiter optimiert werden.

Konservierungsmaßnahme

Folgendes Konservierungsverfahren wurde auf der Basis der Ergebnisse der Voruntersuchungen und Labortests schließlich verwirklicht:

- Abnahme der alten Farbschichten (schwarze Fassung) bis auf die blanke Guss Oberfläche mittels Feinstrahlgerät und Glaspudermehl als Strahlmittel. Hier wurde von der Überlegung ausgegangen, dass die gefundenen Farbschichten keine bedeutende Grundform einer „Farbfassung“ darstellen und daher nicht auf eine dieser Farbschichten zurückgearbeitet und diese erhalten werden sollte. Vielmehr wurde ein optimaler Schutz des Objektes durch ein direkt auf der Materialoberfläche aufbauendes Beschichtungssystem angestrebt. Ein „Fenster in die Vergangenheit“ (alte Fassung) wurde auf der Rückseite der Figur belassen.
- Reinigung des Kernbereiches der Figur (Entfernen von Resten des Kernsand) und Ausschwenken mit Polyurethan-Reaktionsgrund als sehr gut penetrierenden, vorbeugenden Korrosionsschutz;
- Schließen kleiner Schadstellen (ohne eine Glättung vorzunehmen);
- Ergänzung der Arme durch Abgüsse (nach Mustern) in der Kunstgießerei Lauchhammer und Montage am Objekt
- Auftrag des neuen Acryl-PU-Beschichtungssystems aus den Ergebnissen der Laborversuche und den restauratorischen Anforderungen. Beim Auftragen der Schutzbeschichtung wurde versucht eine möglichst dünne Beschichtung zu verwirklichen, um die feingliedrige Modellation der Plastik nicht zu schließen.

5. Fazit und Diskussion der bisherigen Untersuchungen

Ein Fazit der Arbeiten im Vorhaben wurde an verschiedenen Stellen bereits zu Detailaspekten gezogen. Deshalb sei hier nur noch einmal schlaglichtartig ein Gesamtresümee vorgestellt:

- Transparente Beschichtungen sind keinesfalls Wundermittel für den Schutz von Industriedenkmälern.
- Sie erlauben aber einen temporären Schutz, wenn auch mit deutlich geringeren Standzeiten als Standard-KS-Systeme.
- In kritischen (vor allem stark durchfeuchteten bis dauerfeuchten) Bereichen und bei nicht ausreichender Untergrundvorbereitung versagen die Stoffe.
- Die sehr sorgfältige, individuelle Behandlung der Oberflächen (durch den Restaurator) ist sehr wichtig, gerade bei den großen Flächen von Industriedenkmälern aber kaum zu verwirklichen.
- Die Exposition der zu schützenden Flächen ist ein wichtiges, wenn nicht entscheidendes Kriterium für die Auswahl der Beschichtungsstoffe.
 - ORMOCERe haben sich neben den Polyurethansystemen als sehr dauerhaft und mit hoher Schutzwirkung erwiesen.

- Die Problematik dieser Systeme (vor allem Polyurethanen) liegt in der Schwierigkeit, sie bei Bedarf wieder vom Untergrund zu lösen und die Fläche anschließend neu zu behandeln.
- In geschützten Lagen sind Wachse durchaus konkurrenzfähig, zumal sie sehr viel einfacher zu „reparieren“ sind. Beim Einsatz von Wachsen sind solche mit Inhibitorzusätzen in ihrer Korrosionsschutzfunktion deutlich effizienter als reine Wachsmischungen.
- Endgültige Aussagen über die Dauerhaftigkeit der transparenten Stoffe können nur durch Langzeitbeobachtungen an realen Objekten (z.B. Hochofen in Hattingen) gewonnen werden.
- Transparente Beschichtungen fordern somit ein hohes Maß an Verantwortung vom Objektzuständigen, um a) die richtige Auswahl zu treffen und b) die notwendige Pflege bereits beim Beginn der ersten Maßnahme zu bedenken.

6. Ausblick

Die vorliegenden Untersuchungen haben ein gutes Fundament für die Beurteilung unterschiedlicher transparenter Beschichtungsstoffe im Hinblick auf Ihre Eignung zum denkmalgerechten Korrosionsschutz bei Stahloberflächen geliefert. Die Fülle der zu untersuchenden Stoffe ermöglichte allerdings nur grundlegende Aussagen. Eine Reihe von weitergehenden Fragen blieb bisher aus Zeitgründen unbeantwortet. Hier sollen und müssen zukünftige Arbeiten ansetzen:

- Bisher wurden nur Einzelstoffe untersucht. Die Kombination verschiedener Produkte wäre jedoch vielversprechend (z.B. Lacke als Grundbeschichtungen mit Wachsen als mattierender Decklage für ein besseres Erscheinungsbild).
- Die Schichtdicke der aufgetragenen Stoffe wurde als ein wichtiger Faktor im Hinblick auf die Schutzfunktion erkannt. Der Einbau von transparenten Füllstoffen (Korrosionsschutzpigmenten, z.B. Glasflakes) wurde bisher nur bei den ORMOCERen getestet. Entsprechende Zusätze sollten auch bei anderen Stoffen getestet werden.
- Die Applikation der Stoffe speziell der Wachse wurde wenig beachtet. Hier bieten sich evtl. Chancen durch restauratorische Techniken eine Verdichtung der Schichten und damit auch eine bessere Schutzwirkung zu erreichen.
- Bei einigen kommerziellen Produkten ist auch eine Produktoptimierung selber möglich.
- Die Verträglichkeit auf Altbeschichtungen muss noch stärker überprüft werden. Hier bestehen bereits Defizite im Hinblick auf ein geeignetes Testverfahren (Testsubstrat).
- Eine detaillierte Langzeitbeobachtung beschichteter Großobjekte (wie z.B. jetzt der Hochofen III der Henrichshütte) fehlt bisher. Erst aus solchen Beobachtungen kann die gesamte Bandbreite an Chancen und Risiken einer entsprechenden Vorgehensweise abgeschätzt werden.

7. Literatur

- [1] Haas, K-H. (1996): ORMOCER-Abteilung. in: Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC) Jahrestätigkeitsbericht, Würzburg, 21-27
- [2] Römich, H., Pilz, M., Fuchs, D. (1993): Konservierung historischer Glasfenster – Internationale Untersuchungen neuer Methoden. Forschungsbericht UFOPLAN-Nr. 108 07/005/03, Teil 2

- [3] Pilz, M. (1996): Contribution from the Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung, Würzburg, in Römich H (ed), New Conservation Methods for Outdoor Bronze Sculptures, Forschungsbericht Nr. 3, Endbericht zum EC-Environment Projekt EV5V-CT92-0107, 1993-1995, ISSN 1018-5593, 25-74.
- [4] Pilz, M., Römich, H. (1997): A new Conservation Treatment for Outdoor Bronze Sculptures based on ORMOCER. in: MacLeod I D, Pennec S L, Robbiola L (eds), Proceedings of the International Conference on Metals Conservation - Metal 95, Semur-en-Auxois, Frankreich, 1997, 245-250.
- [5] VDI 3955 (1996): Bestimmung der korrosiven Wirkung komplexer Umgebungsbedingungen. Teil 1: Exposition von Stahlblechen (Mank'sches Karussell) Beuth Verlag, Berlin

8. Öffentlichkeitsarbeit

Im Projekt entstandene Publikationen:

Götz, K., Seipelt, B. (1996): *Der Schutz von technischem Kulturgut gegen atmosphärische Korrosion*, AdR-Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Heft 2 "Spannungsfeld Restaurierung", Hrsg.. AdR, Kirchzarten-Zarten, 95-100

Seipelt, B. (1996): *Die Erprobung von transparenten Korrosionsschutzsystemen für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl*, Zusammenfassung der Beiträge der 26. Arbeitstagung der AdR vom 7.-11.10.1996 in Braunschweig, Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren

Seipelt, B., Brüggerhoff, S. (1997): *Protection of technical cultural heritage against atmospheric corrosion.*, in: Proceedings of the International Conference on Metals Conservation - Metal 95, 25. - 28.9.1995, Semur en Auxois, Frankreich, James & James, London, 228-232

Kiesenberg J, (1997), *Ausgewählte Untersuchungen zur Überprüfung der Wirksamkeit von transparenten Beschichtungssystemen - hier besonders Wachse - als Korrosionsschutz auf korrodierte Industriedenkmälern aus Eisen und Stahl*, Diplomarbeit, Bochum.

Brüggerhoff, S. (1997): *Was verträgt ein Denkmal? - Möglichkeiten und Grenzen eines transparenten Oberflächenschutzes für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl*, Metalla - Forschungsberichte des Deutschen Bergbau-Museums, Nr. 4.1, 15-19

Seipelt, B., Pilz, M. und Kiesenberg, J. (1998), *Lösungsansätze und erste Ergebnisse des Forschungsprojektes "Transparenter Korrosionsschutz für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl*, Metalla (Bochum) 5.1, 47-55.

Brüggerhoff, S. (1998): *Transparenter Korrosionsschutz für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl*, Industriekultur 2/98, 16-17

Seipelt, B., Pilz, M. und Kiesenberg, J. (1999) *Transparent coatings - suitable corrosion protection for industrial heritage made of iron?*, in: *Proceedings of the International Conference on Metals Conservation - Metal 98*, Draguignan, Frankreich, 27.-29.05.1998, James & James, London, 291-296

Mottner, P, Roemich, H., Pilz, M., Brüggerhoff, S., Kiesenberg, J., *Investigations of Transparent Coatings for the Conservation of Iron and Steel Outdoor Industrial Monuments*, Proceedings of the International Conference on Metals Conservation - Metal 2001, Santiago de Chile (MS eingereicht)

Im Projekt durchgeführte Tagungen:

„Was verträgt ein Denkmal? – Möglichkeiten und Grenzen eines transparenten
Oberflächenschutzes für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl“
Symposium vom 5.-6. März 1997 im Deutschen Bergbau-Museum Bochum

„Korrosionsschutz für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl“
Tagung mit Exkursionen vom 11.-13. Mai 2000 im Deutschen Bergbau-Museum Bochum

„Klassik trifft Moderne – Die Restaurierung des Einschenkenden Satyrs“
Symposium am 29. September 2000 auf Schloss Wolkenburg