

Der Schutz von technischem Kulturgut gegen atmosphärische Korrosion

Erste Ergebnisse aus den Sitzungen der Arbeitsgemeinschaft Korrosion und Restaurierung (AG-KORE)

Kornelius Götz und Brigitte Seipelt***

* Landesmuseum für Technik und Arbeit, Museumsstr. 1, 68165 Mannheim

** Zollern-Institut beim Deutschen Bergbau-Museum, DMT, Herner Str. 45, 45787 Bochum

Einleitung

Der Erschließung und Sicherung aller Informationen eines Objektes durch weitestgehende Erhaltung seiner Substanz kommt bei der Konservierung und Restaurierung immer eine zentrale Bedeutung zu. Es geht hier um die möglichst unverfälschte Bewahrung von Objekten, die der historischen Forschung als authentische Quellen zur Verfügung gestellt werden sollen. Gerade bei technischem Kulturgut aber ist dieser allgemein sicher richtige Anspruch manchmal nur schwer einzulösen: denn bei der Restaurierung von technischen Großobjekten, besonders bei Freilandaufstellung, gerät die Forderung nach unverfälschtem Substanzerhalt unweigerlich in Konflikt mit den herrschenden Umweltbedingungen. Das Hauptproblem stellt dabei die atmosphärische Korrosion dar. Aus diesem Grund hat die Fachgruppe Technisches Kulturgut 1993 in Iserlohn gemeinsam mit dem Verein Deutscher Korrosionsfachleute (VDKORR) ein Seminar zu dem Thema "Technisches Kulturgut - Schutz der Metalle gegen atmosphärische Korrosion" abgehalten.¹

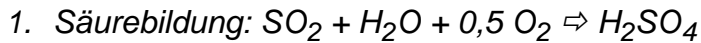
Im Anschluß an dieses Seminar wurde eine interdisziplinäre Arbeitsgemeinschaft (AG-KORE) aus Mitgliedern des VDKORR bzw. GfKORR,² der AdR-Fachgruppe Technisches Kulturgut und des Zollern-Institutes beim Deutschen Bergbau-Museum gegründet. Die AG-KORE stand zunächst vor folgendem Problem:

Korrosionsfachleute und Restauratoren mußten den Standpunkt des jeweils anderen verstehen lernen und zu einer gemeinsamen Sprache finden. Dies wurde seitens der Korrosionsfachleute durch Darstellung der chemisch-physikalischen Fakten des Korrosionsprozesses erreicht, während die Restauratoren ihren Standpunkt als "Anwälte der Objekte" deutlich machten, indem sie für eine möglichst unverfälschte Bewahrung der Objektaussage plädierten.

Das Ziel der AG-KORE ist es nun, das Fachwissen des modernen, industriellen Korrosionsschutzes für die Praxis der Konservierung und Restaurierung nutzbar zu machen. Die Arbeit der AG-KORE wird in loser Folge durch eine Materialiensammlung dokumentiert, der erste Band ist 1995 erschienen.³ Der folgende Beitrag möchte einen kurzen Überblick über die bisherige Zusammenarbeit von Korrosionsfachleuten und Restauratoren liefern; stellvertretend für alle Materialgruppen soll dabei exemplarisch die Korrosion von Eisen bzw. Stahl diskutiert werden.

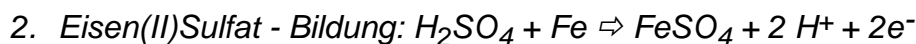
Atmosphärisches Rosten

Über die Vorgänge beim atmosphärischen Rosten von Eisen und Stahl hat Werner Friehe im Rahmen der AG-KORE grundlegende Aussagen gemacht.⁴ Er erläuterte, daß dieser Korrosionsprozeß letztlich durch die Anwesenheit von Schadstoffen (vor allem SO_2) und Wasser bedingt ist. Er unterschied fünf Reaktionsschritte, die nach folgenden Gleichungen ablaufen:

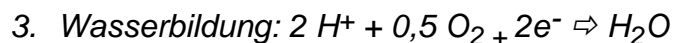


Das Schwefeldioxid (SO_2) stammt dabei aus Luftverunreinigungen, der Sauerstoff ($0,5 \text{O}_2$) aus der umgebenden Atmosphäre. Das für die Säurebildung notwendige Wasser (H_2O) kann auf drei Arten auf die Metalloberfläche gelangen:

- als Niederschlag in Form von Regen;
- als Kondenswasser;
- als sogenannte adhärierte Feuchte; sie ist in der Ausdrucksweise von Korrosionsfachleuten ein nur wenige Moleküllagen "dicker" Kondenswasserfilm; es gilt als Erfahrungswert, daß adhärierte Feuchte nur oberhalb einer relativen Luftfeuchtigkeit von circa 50% gebildet wird.



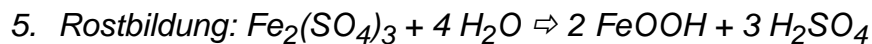
Das Eisen(II)sulfat (FeSO_4) ist grün bzw. weiß, wenn es kristallwasserarm ist.



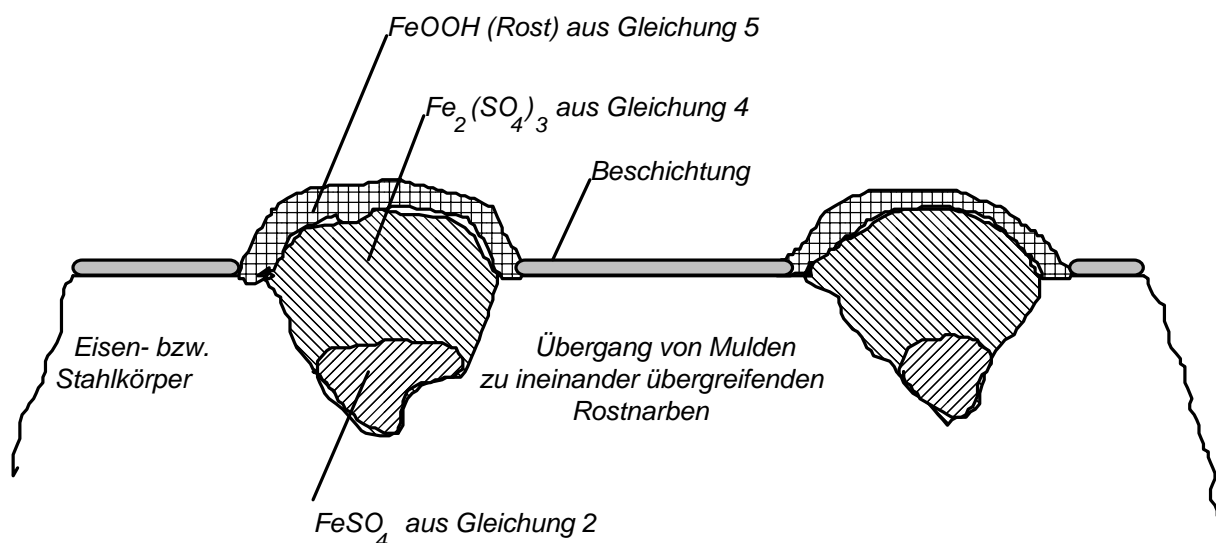
Reaktionsschritt 2 und 3 sind zwei Teile *einer* Reaktion.



Das Eisen(III)sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) hat eine weiße Farbe.



Der Verbindung (FeOOH) hat den bekannten braunen "Rostfarbton".



Schematische Darstellung des atmosphärischen Rostens von Eisen nach Friehe

Als Summe der fünf Reaktionsschritte kann folgende Gleichung angegeben werden:



Die Rostbildung gemäß den Reaktionsschritten 2 bis 5 läuft in einem fast endlosen Kreislauf ab, bis kein Eisen mehr zur Verfügung steht. Damit ist der denkmalpflegerische Wunsch nach Erhaltung oder Freilegung der ursprünglichen Oberfläche nicht mehr realisierbar. Aus der schematischen Darstellung des atmosphärischen Rostens wird auch deutlich, wie mit der Rostbildung eine Volumenvergrößerung des Eisens bzw. Stahls einhergeht. Die Volumenvergrößerung wiederum führt zur Abspaltung eventuell vorhandener Altbeschichtungen, die gemäß restauratorischer Auffassung als integraler Bestandteil des Objektes erhalten werden sollten.

Was kann man aus korrosionsschutztechnischer Sicht gegen den beschriebenen fortschreitenden Rostungskreislauf unternehmen? In den Mechanismus der Wiederfreisetzung des Sulfates (s. Gleichung 5) kann eingegriffen werden durch eine Behandlung in zwei Schritten:

1. Entfernung der vorhandenen Eisensulfate mittels *Strahlbearbeitung* der Oberfläche⁵. So ist eine Unterbrechung des Kreislaufes zu erreichen. Die Rosthauben werden dabei entfernt; es kommt allerdings selbst bei sehr gründlichem Strahlen nur zu einem "Verschmieren" des Eisen(III)sulfates. Sogenannte "Sulfatnester" bleiben zurück; deshalb muß anschließend der
2. *Auftrag* eines "inertisierenden" Stoffes erfolgen; solch ein Stoff ist z.B. "Mennige" (Pb_2O_3), dessen Wirkung gemäß folgender Gleichung eintritt:
$$2 \text{ FeSO}_4 + \text{Pb}_2\text{O}_3 \Rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2 \text{ PbSO}_4$$

Da Bleisulfat (PbSO_4) unlöslich ist, kann durch die Mennigebeschichtung der Kreislauf aus den Gleichungen 2 bis 5 wirksam unterbrochen werden. Weil Mennige aber auch stark bleihaltig ist, darf es aus Umweltschutzgründen nicht mehr eingesetzt werden. Anstelle von Blei wird deshalb heute z.B. Zink verwendet.

Schritt 1 und 2 sind also beide unbedingt notwendig. Darüber hinaus bedürfen alle inertisierenden Grundbeschichtungen einer Deckbeschichtung, um zur vollen Rostschutzwirkung zu gelangen. Durch die Deckbeschichtung wird der Diffusionsweg für korrosionsfördernde Stoffe verlängert; außerdem verzögert sie aufgrund ihrer Abdeckwirkung den direkten Witterungsangriff auf die Grundbeschichtung. Hierdurch unterbindet man den Mechanismus der Schwefelsäurebildung gemäß Gleichung 1.

Es liegt auf der Hand, daß die hier geschilderte korrosionsschutztechnische Optimalbehandlung der eingangs geschilderten restauratorischen Forderung nach möglichst unverfälschtem Substanzerhalt diametral entgegen steht. Fraglich ist allerdings, ob Restauratoren von technischem Kulturgut in manchen Fällen überhaupt eine Wahlmöglichkeit besitzen. An diesem Punkt besteht die größte Kluft zwischen der restauratorischen Position und den Korrosionsschutzexperten: Kompromisse lassen sich zwar entwickeln, bedeuten aber in der Sichtweise der Experten immer

eine Verschlechterung des "eigentlich" erzielbaren Korrosionsschutzes. Über mögliche Alternativen soll am Schluß dieses Beitrages berichtet werden.

Anzumerken wäre außerdem, daß Korrosion an *allen* Metallen, nicht nur an Eisen bzw. Stahl, naturgesetzlich stattfindet. Es ist deshalb eine Illusion zu glauben, Korrosionsvorgänge durch geschickte restauratorische Manipulationen "auf Null" zu stellen. Beeinflußbar ist jedoch die Geschwindigkeit, mit der Korrosionsvorgänge ablaufen. Wenn es nämlich möglich ist, die Umgebungsfaktoren eines Objektes günstig zu gestalten, wird die Korrosionsgeschwindigkeit so stark verlangsamt, daß sie vernachlässigt werden kann. Günstige Umgebungsfaktoren für technisches Kulturgut sind:

- Schutz vor direkter Bewitterung und dadurch Unterschreiten der kritischen Grenze von circa 50% relativer Luftfeuchtigkeit zur Vermeidung adhärierter Feuchte (Eingriff in Gleichung 1 durch Ausschaltung von SO₂ und H₂O); dies kann allerdings in unserem Klima nur in Innenräumen durch Beheizen sichergestellt werden.

Daraus folgt, daß bei einer klimatisierten Innenraumaufstellung von technischem Kulturgut atmosphärische Korrosion kein Problem darstellt. Dennoch durchgeführte Maßnahmen erfolgen eigentlich mehr aus ästhetischen Gründen, auch wenn sie mit Korrosionsschutzanforderungen begründet werden.

Die Freilandaufstellung technischen Kulturgutes kann dagegen momentan nicht korrosionsschutztechnisch *und* restauratorisch optimal gelöst werden. Hier gibt es das Problem der oben erläuterten Sulfatnester, die durch einen mehrlagigen Schutzüberzug abgedeckt werden müssen. Der Schutzüberzug führt wiederum zwangsläufig zu einer Zerstörung des historisch gewachsenen Zeitzeugnisses, einem "auf neu gemachten" Erscheinungsbild und verdeckt damit die gealterte Oberfläche. Für Restauratoren eigentlich kein befriedigendes Ergebnis. Deshalb überdenkt die AG-KORE dieses Problem und unterstützt einen Projektantrag, über den im letzten Kapitel dieses Beitrages berichtet wird.

Stoffe für den temporären Korrosionsschutz

Es stellt sich deshalb die Frage, ob das geschilderte Dilemma durch optisch unauffälligeren Überzüge vermieden werden kann. Der "temporäre Rostschutz" verwendet optisch unauffällige transparente Überzüge. Sie werden nach ihren Grundstoffen unterteilt in Öle, Wachse, fettig-wachsartige Überzüge und Klarlackfilme.⁶ Diese Stoffe bilden wesentlich geringere Schichtdicken aus, was zwar einerseits zu dem (restauratorisch) wünschenswerten Erscheinungsbild führt, andererseits aber zu ihrer nur temporären Schutzwirkung beiträgt. Die folgende Aufzählung nennt vier Stoffgruppen, die beim temporären Korrosionsschutz in der industriellen Fertigung eingesetzt werden. Im einzelnen handelt es sich um:

1. *Mineralöle*: ihre Rostschutzwirkung beruht auf der wasserabstoßenden Eigenschaft des Öls. Durch Beimischung sogenannter Inhibitoren (Benzoate, Morpholin, Aminobasen, etc.) entstehen die Korrosionsschutzöle; ihre Schutzwirkung ist stärker als die reiner Öle. Problematisch ist jedoch das Bewitterungsverhalten ölgeschützter Metalloberflächen: Regentropfen schlagen durch und

schließlich wird der gesamte Ölfilm von der Oberfläche abgewaschen. Korrosionsschutzöle sind deshalb für die Freibewitterung völlig ungeeignet.

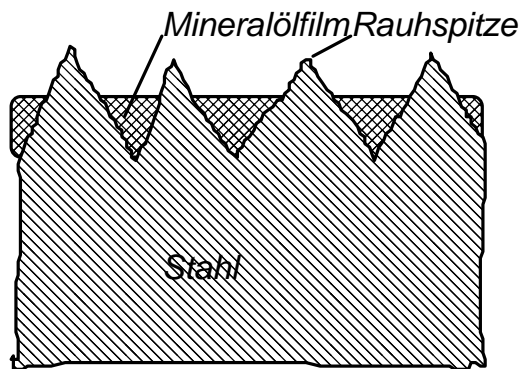
2. *Petrowachse* aus der Erdölraffination: die Schutzwirkung basiert auf ihrem Hauptbestandteil Paraffin. Ihre weiche Konsistenz wirkt sich bei mechanischer Beanspruchung günstig aus: der Schutzfilm verschmiert und splittert nicht ab. Da Petrowachse im Vergleich zu flüssigem Öl eine bessere Haftung zum Untergrund besitzen, widerstehen sie auch längere Zeit der Bewitterung.
3. *Lanolin* aus dem Wollfett der Schafwolle: die Korrosionsschutzwirkung entsteht ebenfalls durch seinen natürlichen Bestandteil Paraffin, dessen Molekülketten sich als dünner Schutzfilm auf die Oberfläche legen. Die Verklammerung mit dem Stahluntergrund besorgen die auch enthaltenen polaren Carboxylgruppen (-COOH) bzw. Hydroxylgruppen (-OH). Lanolin erzielt so eine gleiche Korrosionsschutzwirkung wie Petrowachs bei bis zu einem Drittel geringerer Schichtdicke.
4. *Klarlacküberzüge*: sie enthalten keine Pigmente, dies ist der Hauptunterschied zu den oben bereits erwähnten Deckbeschichtungen und zugleich ihr größtes Problem: geeignete Pigmente (z.B. Mennige) tragen bei herkömmlichen Beschichtungen zur Schichtdickenbildung bei, wirken als Gerüst für den Lackfilm und besitzen zum Teil selbst Rostschutzeigenschaften. Weil sie bei den Klarlacken aber fehlen, mangelt es ihnen an diesen erwünschten Eigenschaften. Da ein Lackfilm häufig spröder ist als ein Öl- oder Wachsfilm, weist er überdies eine größere Empfindlichkeit gegen mechanische Beanspruchung auf.

Nachfolgendes Schema zeigt die unterschiedliche Filmbildung der temporären Korrosionsschutzmittel auf einer Stahloberfläche im Querschnitt. Bei mikroskopischer Betrachtung wird die natürliche Rauheit des Stahls deutlich, die bei korrodierten Oberflächen noch zunimmt. Die Abdeckfähigkeit eines Schutzstoffes vor allem auf den sogenannten Rauhsitzen ist von ausschlaggebender Bedeutung für seine Schutzwirkung. Der Mineralölfilm fließt aufgrund seiner geringen Viskosität in die Rautäler ab; außerdem wird er relativ leicht von Regenwasser abgewaschen. Er ist deshalb für die Freibewitterung völlig ungeeignet. Besser geeignet ist dagegen der Petrowachsüberzug. Seine größere Viskosität deckt die Rauhsitzen ab, macht aber auch eine größere Beschichtungsstärke erforderlich. Dadurch ist er optisch auffälliger, für den temporären Freilandschutz aber durchaus geeignet. Das Lanolin kann durch seine spezifische Zusammensetzung einen guten temporären Schutz bei geringer Schichtdicke erzielen.

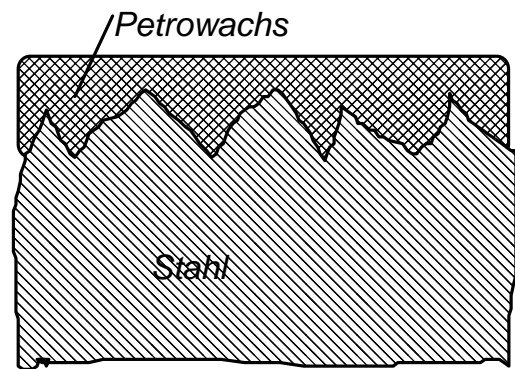
Generell muß aber bei allen Ölen, Wachsen und fettig-wachsartigen Schutzmitteln auf deren negative Eigenschaft hingewiesen werden: ihre halbfeste Konsistenz neigt zur Staubbindung, was bei höherer Temperatur immer ausgeprägter wird. Eine Ausnahme stellen lediglich Heißwachse dar, also Wachse mit hohem Schmelzpunkt, die deshalb vor ihrem Auftrag erhitzt und dadurch verflüssigt werden müssen; der hohe Schmelzpunkt sorgt nach ihrer Erstarrung auf einer Oberfläche dafür, daß sie bei üblichen Raumtemperaturen nicht kleben.

Bei den Klarlacken gibt es diese negative Eigenschaft nicht. Ihr Problem besteht in der sogenannten "Kantenflucht", die ihre Ursache in der Oberflächenspannung des

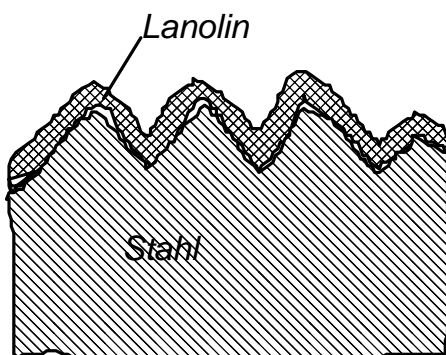
frischen Lackfilms hat und zum Wegfließen von den Rauhsitzen führt, solange die Erstarrung des Lackes nicht eingetreten ist. Klarlacke bilden deshalb einen etwas ungleichmäßigen Film aus.



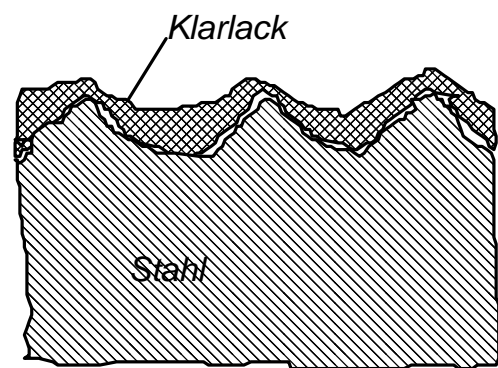
Nachteil: das Öl fließt von den Rauhsitzen ab



Vorteil: Rauhsitzen abgedeckt



Vorteil: geringe Schichtdicke bei genügender Rauhsitzenabdeckung



Nachteil: "Kantenflucht" des Lackfilms an den Rauhsitzen

Schematische Darstellung der Filmbildung temporärer Korrosionsschutzmittel nach Friehe

Um nun zu der oben gestellten Frage zurückzukommen: fraglich war die Eignung transparenter Korrosionsschutzmittel für das Freiland im Vergleich zu pigmentierten Überzügen. Es liegt auf der Hand, daß die temporären Mittel nicht eine vergleichbare Dauerhaftigkeit aufweisen werden; ihr Nachteil wird außerdem in einem höheren Wartungsaufwand bestehen, ihr Vorteil aber in einer sehr viel geringeren optischen Beeinträchtigung der Objekte. Sie bieten vielversprechende Merkmale für eine mögliche Versöhnung des industriellen Korrosionsschutzes mit dem Bewahrungsanspruch der Geschichtswissenschaft. Deshalb erscheint es unbedingt notwendig, ihre Vor- und Nachteile in einer fundierten Studie praxisnah zu ermitteln und wertneutral zu dokumentieren. In der Arbeitsgemeinschaft AG-KORE wurde ein Konzept entwickelt, das einen ersten Schritt in diese Richtung aufzeigt. Davon soll im folgenden die Rede sein.

Transparenter Korrosionsschutz für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl

Der Korrosionsschutz für großflächige Stahlflächen von denkmalgeschützten Hochöfen, Kokereien, Zechen etc. ist ein weltweites Problem. Dies ist die nüchterne Erkenntnis,⁷ die auf der internationalen Tagung METAL 95 in Semour en Auxois zu hören war.

Auch bei einer intensiven Literaturrecherche der AG-KORE in Fachbibliotheken und Datenbanken blieb die Suche vergebens: es gibt offenbar noch keine publizierten Ergebnisse über den Schutz korrodierter Stahloberflächen von Industriedenkmalern mit transparenten Beschichtungssystemen.

Die Zollern-Institut beim Deutschen Bergbau-Museum hat deshalb ein Forschungsvorhaben formuliert, in dessen Verlauf transparente Beschichtungssysteme getestet werden sollen. Das Vorhaben wird sich in fünf Teilschritte gliedern:

1. *Schadensaufnahme*: Zunächst sollen die korrodierten Oberflächen von Industriedenkmalen mit ihren unterschiedlichen Korrosionserscheinungen und -produkten charakterisiert und dokumentiert werden. Dies ist notwendig, weil Eisenoberflächen, die während der Betriebszeit des Industriedenkmales mit Beschichtungen geschützt waren, sich wesentlich von Flächen unterscheiden, die thermisch belastet wurden und deshalb keinen Korrosionsschutz während des Betriebes erfordert haben; nach der Stilllegung der Industrieanlage korrodieren sie aber rasend schnell. Am Beispiel des Hochofenwerkes Henrichshütte in Hattingen und des Rammelsberger Bergbaumuseums in Goslar soll eine Korrosionskartierung durchgeführt werden.
2. *Auswahl geeigneter transparenter Schutzsysteme*: Die Lieferanten der verschiedenen Stoffe für transparente Schutzüberzüge wurden in einer Marktstudie zusammengefaßt.⁸ Zu den schon oben angeführten Stoffklassen (Lack/Öl/Wachs) sind zwei weitere Möglichkeiten des transparenten Korrosionsschutzes zu nennen:
 - *Kombinationen* von Stoffklassen untereinander (z.B. eine Lackbeschichtung mit einer anschließenden Wachsbehandlung).⁹
 - *Verbundwerkstoffe*: Neben den herkömmlichen Stoffklassen soll zusätzlich eine neue Schutzvariante getestet werden, die sogenannten ORganically MOdified CERamics (ORMOCERe®). Es handelt sich dabei um Verbundwerkstoffe aus Keramik und organischen Kunststoffen, bei denen sich die gewünschten Eigenschaften der Keramik (hart und kratzfest) mit der des Kunststoffes (elastisch) kombinieren läßt.
3. *Voruntersuchungen in Labor- und Freilandtests*: Die Wirksamkeit der Beschichtungssysteme soll mit Hilfe von beschleunigten Testverfahren im Labor an beschichteten und definiert korrodierten Stahlblechen überprüft werden. Zusätzlich

sind Bewitterungstests unter den zu erwartenden Umweltbelastungen (Industrieatmosphäre, unter Tage bei 100% relativer Luftfeuchte und Salzbelastung) sinnvoll und geplant.

4. *Beurteilung der Beschichtungsgüte* mittels Gitterschnittmethode gemäß DIN 53151, durch Bestimmung des Rostgrades nach DIN 53210, durch eine Glanzmessung und durch Anfertigung von Querschliffen der beschichteten Stahlproben vor und nach den Labor- und Freilandtests. Zusätzlich sind chemisch-analytische und metallographische Untersuchungen zur Charakterisierung der Korrosionsschichten notwendig. Diese sollen vor und nach den Bewitterungstests durchgeführt werden, um mögliche Veränderungen zu erfassen. Als Ergebnis soll eine Rangfolge der getesteten transparenten Schutzsysteme aufgestellt werden.
5. *Erprobung der Korrosionsschutzmittel an Testflächen des Industriedenkmales:* Als Quintessenz der Voruntersuchungen sollen abschließend die erfolgreichsten Beschichtungssysteme aus den Labor- und Freilandtests unter Freilandbedingungen getestet werden. Die nach der Korrosionskartierung festgelegten Flächen am Hochofenwerk Hattingen sollen deshalb bereits parallel zu den Labortests vorbereitet werden. Dazu sollen die Ergebnisse aus den Reinigungstests der Voruntersuchungen berücksichtigt werden und die Applikationsverfahren an den Dimensionen des Hochofenwerkes erprobt werden.

Das hier vorgestellte Konzept soll im Rahmen eines 1996 eingereichten Forschungsantrages bearbeitet werden; er hat den Titel "Beiträge zum Korrosionsschutz für Denkmäler aus Eisen und Stahl" und wurde bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück eingereicht. Die Leitung obliegt dem Zollern-Institut beim Deutschen Bergbau-Museum, die AG-KORE wird als Beirat das Projekt begleiten.

Resümee

Abschließend läßt sich die bisherige Arbeit der AG-KORE wie folgt zusammenfassen:

1. Korrosion findet zwar an allen Metallen naturgesetzlich statt, ihre Geschwindigkeit ist aber durch geeignete Maßnahmen stark verzögerbar. Im Innenraum genügt dafür die Herstellung eines entsprechenden Klimas, im Freiland muß dagegen nach geeigneten Methoden geforscht werden. Hier soll der skizzierte Forschungsantrag Klarheit schaffen. Dabei kann ein restauratorisch *und* korrosionsschutztechnisch gleichermaßen befriedigendes transparentes "Wundermittel" sicher nicht entwickelt werden. Die praxisnahe Suche nach dem bestmöglichen Kompromiß stellt ganz sicher dennoch eine lohnenswerte Aufgabe dar. Und schließlich: auch wenn sich schlimmstenfalls am Ende gar

kein geeignetes transparentes Beschichtungssystem finden ließe, so wäre das auch ein Ergebnis.

2. Durch intensive Gespräche in den bisherigen Sitzungen der Arbeitsgemeinschaft AG-KORE ließen sich viele praktische Probleme der Restauratoren lösen. Die Zusammenarbeit wird deshalb bis auf weiteres fortgesetzt. Dabei werden die künftigen Sitzungen nach folgendem Schema ablaufen: Einreichen eines kurzen Fragenkataloges zu einer bestimmten Korrosionsfrage, Vorstellung des Problems in der AG-KORE mit anschließender Diskussion und abschließend kurze schriftliche Zusammenfassung. Die Fachöffentlichkeit soll in loser Folge diese Zusammenfassungen in Form weiterer Materialienbände beziehen können.

¹ AdR Arbeitsgemeinschaft der Restauratoren (Hrsg.): Technisches Kulturgut, Schutz der Metalle gegen atmosphärische Korrosion, in: AdR-Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Heft 1, 1994.

² Seit 1995 neuer Name: die VDKORR und die AGK-Ges.KKs fusionierten zur Gesellschaft für Korrosionsschutz (GfKORR).

³ ARbeitsGEmeinschaft Korrosion / Restaurierung von VDKORR und AdR: Materialien, 1. Folge, 1995 (Bezug über: AdR-Geschäftsstelle, Fürstenbergstr. 7, 79199 Kirchzarten-Zarten).

⁴ Friehe, Werner: Über die Vorgänge beim atmosphärischen Rosten, in: ARbeitsGEmeinschaft Korrosion / Restaurierung von VDKORR und AdR: Materialien, 1. Folge, 1995, S. II,13-14.

⁵ Strahlbehandlungen ("Sandstrahlen") sind bei der Kulturgütererhaltung nicht unumstritten. Eine aus restauratorischer Sicht befürwortende Stellungnahme ist:
Biasine, Valentina und Cristoferi, Elena: A study of the corrosion products on armour, in: Studies in Conservation, Volume 40, Number 4, 1995, S.250ff.

⁶ Die folgenden Aussagen stützen sich auf:
Friehe, Werner: Temporärer Rostschutz durch Einölen, fettig-wachsartige Überzüge und Klarlackfilme, in: Metalloberfläche Heft 9, 1968, S. 264-269. (nachgedruckt in: ARbeitsGEmeinschaft Korrosion / Restaurierung von VDKORR und AdR: Materialien, 1. Folge, 1995, S. III,3-5)

⁷ Tagungsband in Vorbereitung.

⁸ Seipelt, Brigitte: Marktübersicht transparenter Korrosionsschutz, in: ARbeitsGEmeinschaft Korrosion / Restaurierung von VDKORR und AdR: Materialien, 1. Folge, 1995, S. III,1-2.

⁹ Eine solche Kombination wurde z.B. an einem Feldbahnensemble der Arbeitsschutzausstellung in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz in Dortmund aufgebracht: auf einen wasserhärtenden Polyurethanlack folgt ein Acryl-Spritzlack, auf beide Lackschichten wurde zusätzlich eine mikrokristalline Wachsschicht aufgetragen.