

Korrosion und restauratorischer Korrosionsschutz

Korrosion und restauratorischer Korrosionsschutz

Autoren:

Cora Zimmermann

1 Korrosion und Schadensbilder

1.1 Definition und Begriffe

Korrosion (von lat. *corrodere*: zernagen, zerfressen) wird allgemein für die Beschreibung einer unerwünschten Zerstörung von Metallen gebraucht.

Nach DIN EN ISO 8044 lautet die Definition: „Korrosion ist die Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines mechanischen Bauteiles oder eines ganzen Systems führen kann. In den meisten Fällen ist diese Reaktion elektrochemischer Natur, in einigen Fällen kann sie jedoch auch chemischer oder metallphysikalischer Natur sein.“ (DIN EN ISO 8044:2015).

Die Wechselwirkung zwischen einem Metall und seiner Umgebung führt zu Konsequenzen:

- einer Veränderung der Erscheinung des Metalls (wie z.B. eine Verfärbung der Oberfläche)
- einer Beeinträchtigung der Funktion (z.B. Bruch oder Undichtigkeit)
- oder einer Beeinträchtigung der Umgebung (z.B. aufgrund giftiger Verwitterungsprodukte).

Die Begriffe *Korrosion* und *Verwitterung* beziehen sich beide auf Alterungsprozesse von Werkstoffen und Schädwirkungen durch den Einfluss u.a. der Atmosphäre. Im Unterschied zur Korrosion kommt Verwitterung meist für andere Werkstoffe als Metalle und Beschichtungen zur Anwendung.

Korrosion wird im Sprachgebrauch mit unterschiedlicher Bedeutung verstanden. Das formale Begriffsverständnis unterscheidet *Korrosion* (der Vorgang), *Korrosionserscheinung* (jedes beobachtbare Ergebnis), *Korrosionsschaden* (resultierende Beeinträchtigung), sich ergebende *Korrosionsprodukte* (aus Werkstoff und Medium) und *Korrosionsschutz* (Veränderung am Korrosionssystem, um Korrosionsschäden zu verringern).

Die im allgemeinen Sprachgebrauch verwendeten Begriffe *Rost* und *Patina* bezeichnen demnach Korrosionserscheinungen.

In der Restaurierung kommt dabei dem Begriff der Patina eine besondere Bedeutung zu. Unter **Patina** (von ital. patina: dünne Schicht, Firnis) werden Alterungserscheinungen von Werkstoffen verstanden, dies kann sich auf Struktur und Farbe der Oberfläche beziehen. Patina kann durch natürliche oder künstliche Alterung erzeugt werden; bei Metalle wirken dabei dieselben Vorgänge wie bei der Korrosion.

Im Unterschied zur Korrosion wird der Begriff Patina jedoch auch im Zusammenhang mit Ölbildern und Wandmalereien verwendet

und bezieht sich auf eine Veränderung der Farbwirkung des Bildes durch Alterung im Laufe der Zeit: Ölbilder werden mit einem farbneutral-transparenten Firnis überzogen, welcher durch Oxidation vergilben kann. Daher auch die italienische Bezeichnung.

Im Zusammenhang mit Restaurierungen wird Patina meist für eine Veränderung am Objekt genutzt, die einen Alterswert besitzen kann, solange sie nicht unansehnlich wirkt. So kann sich in der Restaurierung – obwohl beim Metall Ursachen der Patina denen der Korrosion entsprechen – der Umgang mit Auswirkungen und die Entscheidung möglicher Schutzmaßnahmen z.T. deutlich unterscheiden.

1.2 Vorgänge

Der Korrosionsvorgang beginnt mit der Fertigstellung des Objektes und endet mit dem vollständigen Zerfall in seine elementaren Bestandteile. Ursprung ist das natürliche Streben der Metalle, eine chemische Verbindung im Zustand niedrigster Energie zu erlangen. Das Bestreben lässt sich dabei nicht verhindern, durch geeignete Maßnahmen kann es sich verzögern lassen.

Fast alle Metalle liegen in der Natur in Form chemischer Verbindungen vor, ihren Erzen. Die Gewinnung der Metalle geschieht durch Aufbereitung und Verhüttung der Erze unter hohem Energieaufwand. Je größer die bei dieser Umwandlung aufgewendete Energie war, desto heftiger sucht das Metall in den ursprünglichen Zustand zurückzukehren. Diese Metalle sind korrosionsanfällig.

Ausnahme sind Metalle, welche in der Natur in gediegener Form vorliegen (Gold, Platin). Hier ist das Bestreben geringer, diese Metalle sind korrosionsbeständiger.

So besitzen Metalle ein großes Bindungsbestreben zu den Elementen ihrer Erzminerale. Sind diese Elemente Bestandteile der angreifenden Umgebung, wirken sie als

Korrosionsmedien und es ergeben sich Korrosionsprodukte, welche der Zusammensetzung der Rohstoffe ähneln oder gleichen. Der Zunder des Eisens entspricht beispielsweise dem Eisenerz Magnetit; Rost entspricht dem Eisenerz Limonit.

Erste Schichtbildungen

Im ersten Schritt einer Metallumwandlung bilden sich zunächst hauchdünne Reaktionsschichten auf der Oberfläche. Dazu nutzen Metalle Sauerstoff, Feuchtigkeit und Schadstoffe der Umgebung(-luft). Diese Schichten wirken noch nicht zerstörend und unterscheiden sich bei den verschiedenen Metallen in ihrer Struktur, Dichte und Farbe.

Treten diese Eigenschaften so auf, dass sie einen Fortgang der Veränderungsvorgänge verhindern, kommt die chemische Aktivität der Metalloberfläche zum Stillstand und es ergibt sich eine natürliche Schutzschicht. In dem Fall ähnelt das spezifische Volumen der Schicht dem Grundmetall, sie wirkt dicht und stabil. Dies geschieht bei bestimmten Aluminium-, Blei-, Zink-, Zinn-, Chrom- und Kupferverbindungen. Das technische Verfahren der Passivierung nutzt diesen Effekt.

Die Bildung einer Schutzschicht setzt jedoch einen ungestörten Aufbau voraus. Wird die Bildung durch chemisch reaktionsfähige Verunreinigungen gestört, entstehen Gitterstörungen. Es bleibt ein chemisches Bindungsbestreben aktiv und der Korrosionsvorgang kann sich fortsetzen.

Ist das spezifische Volumen der sich bildenden Oxidschichten wesentlich größer als das des Grundmetalls, sind die entstehenden Schichten porös, rissig und haften schlecht. Auch in dem Fall können sich die Oxidations- und Korrosionsvorgänge darunter fortsetzen.

Silber läuft an, Eisen rostet und Kupferwerkstoffe werden braun, grün oder schwarz.

Reaktionsfähigkeit der Metalle

Grundsätzlich sind alle Metalle und ihre Legierungen gleich aufgebaut. Sie bestehen aus unzähligen Atomen mit positiv geladenem Atomkern und negativ geladener Elektronenhülle.

Die Atomkerne sind regelmäßig angeordnet und bilden ein sogenanntes „Metallgitter“. Die Elektronen bewegen sich im Zwischenraum der Atomkerne frei und bilden eine bewegliche „Elektronenwolke“. Die Elektronen bleiben in der Hülle, da sich Plus- und Minusladung gegenseitig im Gleichgewicht halten, aber sie lassen sich nicht mehr einzelnen Kernen zuordnen, sondern nur noch dem gesamten Atomhaufen.

So hält die Elektronenhülle als negativ geladenes „Bindemittel“ im Metall die positiven Atomkerne zusammen. Wird das „Bindemittel“ oder das Gleichgewicht Bindemittel-Kerne gestört, wird der Metallverbund geschwächt. Der Korrosionsangriff beginnt.

Chemische Vorgänge

Im Unterschied zu mechanischer Zerstörung (wie Verschleiß) rühren die Veränderungen bei der Korrosion meist aus chemischer oder elektrochemischer Reaktion mit der Umgebung.

Metallatome der Oberfläche reagieren mit den Bestandteilen der Luft wie Luftsauerstoff, Schwefeldioxid, Stickoxid oder Chlorwasserstoff und gehen eine chemische Verbindung ein. Beispiel ist das Anlaufen von Silber: es bildet mit dem in der Luft enthaltenen Schwefelanteilen das schwarzfarbige Silbersulfid.

Auch unter Luftabschluss können Metalle mit in organischen Flüssigkeiten gelösten Nichtmetallverbindungen reagieren. Der Metallverbund löst sich dabei, es findet eine Zersetzung statt. Der Angriff kann rein chemischer Natur sein, meist wirken sie jedoch mit elektrochemischen Vorgängen zusammen.

Elektrochemische Vorgänge

Tritt Feuchtigkeit oder Wasser hinzu, können die Abläufe eines galvanischen Elementes wirken. Die meisten Korrosionsvorgänge werden dadurch in Gang gesetzt.

Als galvanisches Element funktioniert jede Kombination zwei verschiedener Metalle und eines Elektrolyten. Die Metalle wirken dabei als Elektronenleiter und werden daher auch Elektroden genannt. Ein Elektrolyt ist ein Medium, welches elektrischen Strom durch Ionen transportiert.

Grundsätzlich ist ein galvanisches Element eine Vorrichtung zur Umwandlung von chemischer in elektrische Energie^[1]. Ist der Effekt erwünscht, wird er als Gleichspannungsquelle genutzt (z.B. Batterie, Akkumulator).

Die Funktion des galvanischen Elementes beruht auf zwei räumlich voneinander getrennt ablaufenden chemischen Reaktionen: einer Reduktion und einer Oxidation (sog. Redoxreaktion).

Abb. Durch Verbinden der beiden sog. Halbzellen mit einem Elektronenleiter (die Metalle selbst) und einem Ionenleiter (Elektrolyt) wird der Stromkreis geschlossen.

An den Elektroden findet der jeweilige Ladungsaustausch zwischen Elektronenleiter und Elektrolyt-Lösung statt.

Kathode wird die Elektrode genannt, an der die Reduktion stattfindet (Elektronenaufnahme: Pluspol, das edlere Metall).

Anode wird die Elektrode genannt, an der die Oxidation stattfindet (Elektronenabgabe, Energieabgabe: Minuspol, das unedlere Metall).

Die Elektronen wandern von der Anode zur Kathode. Die Anode (das unedlere Metall) verliert dadurch Elektronen, erleidet also eine Verdünnung ihres Elektronengases und verliert an innerem Zusammenhalt. Durch den Verlust der Elektronen überwiegt die positive Ladung der Atomkerne an der

Metalloberfläche, sie stehen nun als Ionen zur Verfügung (positiv geladene Metallatome, da die Elektronen fehlen). Die Ionen lösen sich im Elektrolyten, bilden Salze, blättern ab etc. – d.h. die Anode zersetzt sich.

Voraussetzungen elektrochemischer Vorgänge

Sind zwei unterschiedliche Metalle gemeinsam in einen Elektrolyten getaucht, und stehen sie miteinander im direkten metallischen Kontakt außerhalb des Elektrolyten, kann sich ein geschlossener Stromkreis ausbilden. Das unedlere Metall wird nach und nach aufgelöst, das edlere bleibt unversehrt.

Eine Elektrolytlösung entsteht dabei entweder durch in Lösung nehmen vorhandener Ionen, oder durch chemische Umwandlung, bei der Ionen entstehen.

Die Unterschiedlichkeit der Metalle bedeutet hierbei den Unterschied im elektrischen Potential, so dass eine Spannung entsteht. Gleiche Metalle ergeben keinen elektrischen Spannungsunterschied. Das galvanische Element funktioniert demnach so lange, bis ein elektrochemisches Gleichgewicht erreicht wird. Die Größe des Spannungsunterschieds, und damit der Wirkung des Vorgangs, hängt ab:

- von der Art des Metalls (elektrochemisches Spannungspotential),
- der Konzentration der Lösung
- sowie der Temperatur.

Elektrochemische Spannungsreihe

Eine vergleichende Nebeneinanderstellung der Metalle nach ihrem elektrischen Potential ist die sog. elektrochemische Spannungsreihe.

Abb. Zur Ermittlung des elektrischen Potentials wird die Differenz gegenüber einem Referenzelement gemessen (Magnesium oder Wasserstoff).

Die Ergebnisse werden in Rangfolge sortiert und ergeben die Spannungsreihe.

Die elektrochemische Spannungsreihe ist insofern bedeutsam, da sich nach ihr die Richtung von Reaktionen voraussagen lässt: Ionen der Edelmetalle nehmen bereitwilliger Elektronen auf als Ionen unedler Metalle.

So oxidieren unedlere Metalle schneller; sie sind ein stärkeres Reduktionsmittel und geben dabei selbst Elektronen ab.

Daher gilt: Je weiter zwei Metallen in der Spannungsreihe auseinanderliegen, desto größer ist der Spannungsunterschied zwischen ihnen, desto stärkerer Strom fließt, und desto rascher geht eine elektrochemische Zersetzung des Minuspols einher.

Liegen Metalle in der Spannungsreihe nah beieinander, geht der Vorgang langsamer von statten.

Ergänzend dazu sind weitere Einflussfaktoren auf das realwirkende Spannungspotential zu beachten und können auch während eines Korrosionsvorgangs Potentialverschiebungen bewirken:

- Größenverhältnisse der Metalloberflächen
- Konzentrationsunterschiede in Legierungen
- sich bildende Oxidschichten
- Konzentrationsunterschiede im Angriffsmedium;

Zu Letzteren ist insbesondere das sog. Belüftungselement wichtig: an einem aufliegenden Wassertropfen ergibt sich ein Konzentrationsunterschied des Sauerstoffs zwischen Wassertropfenaußenfläche (Kathodenwirkung) und bedeckter Metalloberfläche (Anodenwirkung).

Abb. Bild nach HEINRICH 1994)

1.3 Erscheinungsformen

Korrosionsvorgänge können sowohl an den Metalloberflächen erkennbar stattfinden als auch verborgen im Inneren des Metalls. Die DIN EN ISO 8044 kennt 36 (!) Arten von Korrosion. Für die Praxis sind einige Erscheinungsformen wesentlich.

Flächenkorrosion

Schema der Flächenkorrosion (links) und unter Ablagerungen (rechts) (nach WRANGLÈN 1985)

Die Flächenkorrosion erscheint als ein gleichmäßiger Abtrag über die gesamte angegriffene Oberfläche.

Es ist die harmloseste Ausprägung der Korrosion: Sie tritt großflächig auf, dringt aber zunächst nicht tief in das Metall ein. [\[2\]](#) Typisch für die Flächenkorrosion ist, dass die elektrochemische Wirkung über die Oberfläche wandert, also Teilflächen mal als Anode, mal als Kathode fungieren.

Erst wenn ein Wandern der Anoden-/ Kathodenbereiche behindert ist (z.B. an Flanschen, Armaturen, Übergängen), wirkt der Angriff lokal intensiver und zeigt im Erscheinungsbild Mulden (in der Literatur auch Muldenkorrosion genannt). Insgesamt ist der Materialverlust noch recht gering. Vertieft sich eine Mulde, ist es kein Lochfraß (s.u.), sondern die Folge massiver lokaler Schädigung.

Gleiches gilt für Ablagerungen: sie bewirken eine konzentriertere Wirkung auf die darunter befindliche Oberfläche. Es erfolgt ein rascherer, muldenförmiger Fortgang (z.T. auch als Ablagerungskorrosion bezeichnet). Ablagerungen können durch Schmutze, Bewuchs oder auch angetragene Korrosionsprodukte der Nachbarschaft entstehen.

Spaltkorrosion

Abb. Schema der Spaltkorrosion (nach WRANGLÈN 1985)

Spaltkorrosion ist eine Lokalelementbildung an engen Werkstoffspalten oder Bauteilfugen.

Es ergeben sich Konzentrationsunterschiede im Medium: entweder aggressive Medien ohne Sauerstoff (Konzentrationselement) oder Sauerstoffkonzentrationsunterschiede (Belüftungselement: Kathode Oberflächennah, Anode am Spaltgrund).

Die Spaltkorrosion tritt beispielsweise an Tragwerksverbindungen, unter Schraubköpfen oder zwischen Metalloberfläche und Beschichtungen auf.

Lochfraßkorrosion

Abb. Schema des Lochfraßes (links) und Wirkprinzip (rechts) (nach WRANGLÈN 1985 und HEINRICH 1994)

Lochfraßkorrosion bezeichnet eine örtlich begrenzte, in die Tiefe gehende Korrosionsform.

Sie zeigt eine punktuelle Beschädigung der Oberfläche neben unkorrodierten Bereichen. Unter einem Korrosionsherd kann sich eine regelrechte Höhlung verbergen. Die Schädigung ist kaum ablesbar.

Der echte Lochfraß betrifft Metalle mit Schutzschichten, d.h. natürlich passivierte oder beschichtete Oberflächen – also kein Eisen. Typisch ist diese Korrosionsform für Aluminium: in den durch Sauerstoff-Oxidation aufgebauten Passivschichten können vor allem wasserlösliche Chlor-Ionen und Sulfid-Ionen den Sauerstoff ersetzen und zerstören damit die Passivschicht an einer Stelle. An dieser Keimstelle kann Sauerstoff schlecht anbinden und keine Schutzschicht mehr ausbilden. Stattdessen tritt Feuchtigkeit ein und es entsteht ein Konzentrationselement: am Rand des Lochs zwar wenig Sauerstoff aber viel Halogenid/Sulfid, im Loch kein Sauerstoff und kaum Halogenid/Sulfid.

Die gesamte Oberfläche des Metalls bildet die Kathode, nur der

kleine Rand des Lochs agiert als Anode. Da die Korrosionsgeschwindigkeit mit steigendem Flächenverhältnis Kathode / Anode zunimmt, wird das Loch schnell größer und frisst sich nadelstichartig in das Metall hinein.

Kontaktkorrosion

Schema der Kontaktkorrosion (links), Schichtkorrosion (Mitte links), Spongiose (Grauguss; Mitte rechts) und Selektiven Korrosion (Messing; rechts) (nach WRANGLÈN 1985 und HEINRICH 1994)

Die Kontaktkorrosion entsteht als elektrochemischer Prozess durch unmittelbaren Kontakt verschiedener Phasen und die gemeinsame Benetzung durch ein wässriges Korrosionsmedium (alternative Bezeichnungen: Bimetallkorrosion, galvanische Korrosion, kathodische Korrosion). Kontaktkorrosion kann auftreten bei

- verschiedenen Metallen: z.B. an einer mit Tauschierung verzierten Oberfläche
- heterogenen Lösungen an einer Oberfläche (z.B. Wassertropfen: Belüftungselement s.o.)
- heterogenen Oberflächen: durch fertigungsbedingt unterschiedliche Widerstandsfähigkeit (Schichtkorrosion), durch Legierung oder Seigerungen (d.h. Entmischungen der Schmelze)
- heterogenen Gefüge: bevorzugte Auflösung einzelner Gefügebestandteile
- Sonderform Selektive Korrosion bei Messing: Zink wird ausgelöst, Kupfer verbleibt
- Sonderform Spongiose bei Gusseisen: eisenreiche Phasen korrodieren, kohlenstoffreiche Anteile verbleiben

Kontaktkorrosion bei Metallpaarungen:

Abb. Nach TGL 18703-02, 1980 und Taschenkalender Feuerverzinken

Die Tabelle stellt lediglich einen Anhaltspunkt – die reale Praxiserfahrung kann deutlich abweichen (Legierungsbestandteile, sich ausbildende Oberflächenschichten als auch Größenverhältnisse der Metalloberflächen, s.o.).

Faustregel: die verhältnismäßig kleinere Oberfläche sollte aus gleichem oder edlerem Metall bestehen als die im Kontakt stehende größere Oberfläche – sonst ist es korrosionsgefährdet [\[3\]](#)

Im Inneren beginnende Erscheinungsformen

Auf atomarer Ebene sind Metalle gleich aufgebaut: Metallatome, umgeben von Elektronengas. Eine Ebene größer bestehen Metalle aus Gefügekörnern, kristallähnlichen Strukturen, die je nach Metall oder Legierung unterschiedlich groß und geformt sind. Innerhalb eines jeden Kornes sind die Metallatome homogen angeordnet, untereinander jedoch unterschiedlich ausgerichtet. An den Übergängen, den Korngrenzen, ergeben leichte Ungleichheiten im Elektronengas – mögliche Schwachstellen, an denen Korrosionsvorgänge angreifen können.

Löst sich der Metallverbund zwischen den Körnern spricht man von interkristalliner Korrosion (Kornzerfall). Löst sich der Metallverbund innerhalb eines Kornes, spricht man von innerkristalliner oder transkristalliner (hindurch) Korrosion.

Diese Korrosionsformen zeigen keine Verfärbung oder Mattierung, Oberflächenveränderungen können aber Hinweis auf ungünstige Bedingungen sein (Chlor- und Schwefelverbindungen mattieren oder schwärzen). Erscheinen feine Risse ist nicht abzuschätzen, wie tief die Struktur geschädigt wurde. Ein Korrosionsversagen tritt meist spontan und massiv auf.

Interkristalline Korrosion (Kornzerfall)

Abb. Schema der Interkristallinen Korrosion (Kornzerfall)
(nach HEINRICH 1994)

Immer dort, wo Gefügekörner besonders ausgeprägt sind, können sich Potentialdifferenzen zwischen Korninnerem und Korngrenzenergeben und Korrosionsmedien ansetzen. Typische Beispiele sind Zinkguß (Bleisegregation, Eisen/Zinkphasen und Chloride), Entmischung nach Wärmebehandlungen. (Chromcarbid bei Edelstahl), Wasserstoffversprödung durch Beizen, Schweißen (Einlagerung von Wasserstoffatomen bevor sich H_2 bilden kann) oder Messing ((Kupfer/Zink, Ammoniak).

Spannungsrissskorrosion

Abb. Schema der Spannungsrißkorrosion (nach HEINRICH 1994)

Die Spannungsrißkorrosion ist ein Aufreißen des Metallgefüges bei zeitgleicher Einwirkung von Korrosionsmedium und mechanischen Spannungen; meist gemischt inter- und transkristallin.

Spannungen können gebrauchtsbedingt, herstellungsbedingt oder auch metallurgisch angelegt vorhanden sein (Zug-, Biegespannungen, Restspannungen der Verformung oder Eigenspannung nach dem Guß).

In der Realität laufen fast immer mehrere Vorgänge gleichzeitig oder abwechselnd ab, so dass verschiedene Erscheinungsform nebeneinander vorliegen können.

2 Zusammenfassung schädigender Einflüsse

Korrosionsbeständigkeit oder -gefährdung der Metalle ergibt sich nach stofflicher Reinheit oder Zusammensetzung, Gefüge, Verunreinigung (Korrosionsherde) und Behandlungszustand (Energieniveau).

Wesentliche Umgebungen sind:

- Atmosphäre im Zusammenwirken zwischen Luftfeuchte

(Bewitterung, Kondensationsvorgänge) und den aktiven Bestandteilen der Luft (Luftverunreinigungen)

- auch im Innenraumklima
- Wasser und Erdreich

Mit den wesentlichen Einflussfaktoren:

- Feuchtigkeitseinflüsse
- atmosphärischer Luftbestandteile, Verunreinigungen der Luft
- Schmutze oder Auflagerungen

Luftfeuchte und Feuchtigkeit Kontaktkorrosion, Spaltkorrosion spielt beispielsweise in trockenen Innenräumen kaum eine Rolle. Bei Außenbewitterung sind diese Arten der Korrosion von der Dauer der Feuchtigkeitseinwirkung abhängig. Die ungünstigsten Bedingungen herrschen dort, wo intensive Befeuchtung zusammen mit einem Elektrolyt vorliegen, z.B. in salzhaltiger Meeresluft oder im Meerwasser.

- Relative Luftfeuchtigkeit > 60% stellt eine stark korrosionsfördernde Atmosphäre für Metalle dar
- Relative Luftfeuchtigkeit < 40% wird als erhaltungsförderliche Atmosphäre betrachtet (BAUER in HEINRICH, STAMBOLOV et al.); Abwägung bei Kombination mit Holz, Textilien u.a.
- Regenwasser; Wetterausrichtung
- Temperaturschwankungen sowie -unterschiede führen zu Kondensatbildung an der Metalloberfläche und Feuchteabschlag, korrosionsförderlich
- Auflagerungen/Verschmutzungen wirken als Kondensationskeime oder Feuchtekompressen

Luftbestandteile und Luftverunreinigungen Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxid (NO_x), Ozon (O_3) der Umgebungsluft befördern in Abhängigkeit von Luftfeuchte und Schadstoffkonzentration das Korrosionsgeschehen. In den letzten Jahrzehnten stand Schwefeldioxid im Vordergrund, durch strengere

Umweltschutzmaßnahmen werden jedoch inzwischen Stickoxiden und weltweit steigenden Ozonwerten bedeutsamer gesehen (Luftgütemessungen zeigen eine Reduktion der SO₂-Emissionen um 85%, vgl. MACH 1998, GRIESSER-STERMSCHEG 2009).

- Sauerstoff, Kohlendioxid
- Ozongehalt
- Salzgehalt der Luft: Meerwassersprühnebel an der Küste
- Schwefeldioxid, Stickoxide als Bestandteile von Industrie- oder Autoabgasen – sehr reine Luft befördert das Korrosionsgeschehen deutlich geringer: Industrieluft gilt als aggressivstes Medium, Seeluft weniger aber größer als Stadtluft, Landluft am geringsten
- katalytische Wirkung fester Luftpartikel wie Staub, Rauch, Ruß, Öl, Abgase, Bremsenabrieb an Autobahn, Eisenbahn, Einflugschneise, Müllverbrennungsanlage u.ä.
- Dämpfe und Ausdünstungen von Lacken, Harzen, Kunststoffen, Klebmitteln (PVC, Furnier-, Pressspanplatten, Schaumstoffe, Vitrinen-Materialien, Aufbewahrungsmaterialien)

Schmutze und Auflagerungen

- Putzmittelreste (Kreide), Ruß, Staub
- Bewuchs, hochstehende Grasnarben, Moose und Algen, Laub, Anlandungen von Erdreich
- Rückstände von Schweiß-, Löt- und Färbemitteln; Streumittel, Hautschweiß, Harnstoffe
- Mikroorganismen durch Benutzungsablagerungen (beispielsweise Extrazelluläre Polymere Substanzen, EPS); können chemische Lösungsvorgänge hervorrufen bzw. beeinflussen
- Glatte, polierte Oberflächen bieten weniger Angriff als raue
- Ungünstige Paarungen wie Chloride bei Stahl, Aluminium oder Ammoniak, Amine, Ammoniumsalze, Schwefeldioxid, Stickoxid, Nitrit, Nitrate, Quecksilbersalze bei Kupfer-Zink-Legierungen

Erdreich Wasserhaltige und gut durchlüftete Böden fördern Korrosionsgeschehen besonders stark, in vollkommen trockene und durchlüftete Böden ist der Zerfall gering.

- In den Erdböden anwesende Anionen wie Chloride, Sulfate, Nitrate
- Mikroorganismen in pflanzlichen oder erdigen Ablagerungen, sowohl im Wasser als auch Erdreich, können chemische Zersetzung hervorrufen bzw. befördern
- Chemischer Zusammensetzung und Bodenstruktur (Kies, Sand, Lehm, Ton, Schlamm, Korngrößen), Wassereinbindevermögen und Sauerstoffdurchlässigkeit

Wasser

- Salzgehalte des Meerwassers, Ionenkonzentration in Moorböden oder Seen (Chloride, Sulfate, Nitrate), Kalkgehalt im Leitungswasser
- Gewässerströmung beschleunigt Belüftungseintrag

Abb. Beständigkeit ausgewählter Wirkpaare (nach BAUMANN 1993):

+ beständig

(+) bedingt beständig

3 Zum denkmalpflegerischen Umgang mit Korrosion

Der Ablauf des Korrosionsgeschehens unterscheidet nicht zwischen Kulturobjekten oder technisch-industriellen Objekten. Im Hinblick auf Vorsorgemaßnahmen und Korrosionsbekämpfung unterscheidet sich jedoch teilweise der Umgang damit.

Grundsätzliche Anforderungen in der Restaurierung ist der „substanzschonende Erhalt eines Objektes“. Der Restaurator darf insofern nur Techniken und Maßnahmen zur Anwendung

bringen, welche nach aktuellem Kenntnisstand sowohl den materiellen als auch den ideellen Bestand des Kunst- und Kulturgutes nicht gefährden und künftige Maßnahmen nicht behindern.

In der Restaurierung können Schichten der korrodierten Oberfläche als „Patina“ zur Originalsubstanz gezählt werden, da eine Oberfläche die Objektgeschichte dokumentiert wie wenige andere Aspekte des Erhaltungszustands. Nichtsdestotrotz ist die Reinigung eines Objekts unumgänglich, für eine gepflegte Erscheinung als auch als den Korrosionsschutz, d.h. für den Substanzerhalt.

In der Restaurierungstätigkeit ist es daher besondere Schwierigkeit, die Grenze zur geschichtlich bedeutsamen Oberfläche zu erkennen, diese zu erhalten und doch Schädigendes sicher zu entfernen.

Zentrale Frage ist die genaue Unterscheidung von Verschmutzung (Vernachlässigung), Korrosion (Zerstörung), „Patina“ (Alters- und Objektgeschichtszeugnis) und ursprünglicher Oberfläche („Epidermis“, in Gestaltung und Werkspuren) – vor Beginn jedweder Tätigkeit.

- Was verleiht dem Objekt den historischen Wert?
- Welche Funktion übernahm das Objekt im historischen Kontext? Welcher Ausdruck kam der ursprünglichen Oberfläche zu?
- Ist eine ursprüngliche Oberfläche identifizierbar? Wenn ja, ist sie freilegbar?

Andererseits werden bei Restaurierungen wiederergänzte Teile oft patiniert, d.h. künstlich korrodiert, um den Kontrast zwischen alt und neu zu minimieren und einen geschlossenen Gesamteindruck zu erzeugen. Anders als bei der Fälschung soll der Unterschied bei genauem Hinsehen erkennbar bleiben.

- Welche verschiedenen Möglichkeiten verwendbarer Mittel gibt es?

- Inwieweit ist weiterführender Schaden soweit als möglich zu minimieren?

Denkmalpflegerische Aufgabe ist es, die materielle Substanz soweit als möglich zu erhalten. Korrosion kann jedoch im Laufe der Zeit zum vollständigen Zerfall eines Objektes führen. Dies erfordert eine Klärung des vorliegenden Korrosionsgeschehens:

- Sind Umgebungseinflüsse der Bergungs-/Fundumstände zu berücksichtigen?
- Gibt das Erscheinungsbild der Oberfläche Hinweise, lassen anzunehmende Herstellungs-, Verzierungs- und Veredelungstechniken Rückschlüsse auf Werkstoffe und verwendete Hilfsmittel zu? (z.B. Feuervergoldung unterhalb Überkrustungen und damit Quecksilberreste, Lötwasserreste, Farbspuren, Hinweise auf Bleimennige)

Es kann sein, dass ein und dieselbe Freilegungs-/Restaurierungs-/Konservierungs-Methode in einem Fall zu befriedigenden Ergebnissen führt, im anderen Fall hingegen völlig versagt. In der Praxis können daher oft Vortests angeraten sein.

Neukonstruktion oder Restaurierung begegnen unterschiedlichen Anforderungen:

Korrosionsschutz bei Neukonstruktionen	Korrosionsschutz bei Restaurierungen
Anforderung Standzeit, DIN-Normen	Anforderung Kulturguterhalt: „für Jeden, für immer“; historisches Wissen und Kniffs nutzbar
Anforderung problemloser Untergrund: ggfs. vollständige Entrostung, Untergrundvorbereitungsgrade	Anforderung Erhalt von Geschichte und Substanz: keine Veränderung der authentischen Oberfläche, kein Materialverlust
Konstruktive Gestaltung möglich (Doppelung vermeiden, Materialkombinationen)	Gestalt gegeben, Ertüchtigung möglich

Technische Verfahren sparen ggfs. Arbeitszeit	Technische Verfahren z.T. unübersehbar in den Langzeitwirkungen; Anforderung: reversibel, unverfälschter Ausdruck
Ggfs. Terminfokus	Anforderung: Objektgerechtes Handeln

Im Hinblick auf eine Restaurierung reicht das Handlungsspektrum von vollständiger Oberflächenzerstörung und geschichtlichen Totalverlust durch Generalinstandsetzung, über moderaten Eingriff durch spezifisches Abwägen, bis materiellen Totalverlust durch Abwarten und Nichtstun.

Möchte eine Restaurierung sowohl einem Schutz vor Korrosion Rechnung tragen, als auch der Geschichte des Objektes, empfehlen sich:

Untersuchungen zu

- zeitlicher Einordnung, Gegenstandsbedeutung, ursprünglichem Ausdruck
- Materialbestimmung, Herstellungsmerkmale, historische Fassung(sresten)
- Ursachen der Schadensphänomene, Umgebungsbedingungen, Konstruktion

Sowie Vorüberlegungen zu

- Zielsetzung der Maßnahme: denkmalpflegerische Zielstellung, Funktionserfordernisse, Aufbewahrungsumstände, Wartungsmöglichkeiten
- Angestrebtes künftiges Erscheinungsbild; auf Basis dessen Methoden-, Materialwahl
- Resultierende Veränderungen aus den durchzuführenden Maßnahmen und ggfs. Abstimmung mit den zuständigen Beteiligten (Denkmalbehörden, Eigentümer u.ä.)

4 Konsequenzen für Substanzerhalt

Die Substanzerhaltung hat absoluten Vorrang. In der Praxis geht es um den restauratorisch und korrosionsschutztechnisch bestmöglichen Kompromiss. Sofern fachgerecht ausgeführt, können denkmalverträgliche Herangehensweisen von normgerechter Vorgaben abweichen. Erfahrungen hierzu lassen sich aus der seit 1993 bestehenden Zusammenarbeit aus Fachleuten der Gesellschaft für Korrosionsschutz (GfKORR) und des Bundesfachverbands der Restauratoren (VdR) einbeziehen.

4.1 Was ist Reinigung und WOZU

Je nach Kontext wird Reinigung anders verstanden und ausgelegt – eine Reinigungsfachkraft mag darunter etwas Anderes verstehen als ein Restaurator als ein Archäologe. Als gemeinsamer Nenner könnte es heißen: ETWAS wird von der Oberfläche abgenommen (GRIESSER-STERMSCHEG in EIPPER 2013).

Restauratorischer und korrosionsschutztechnischer Sinn und Zweck ist die Abnahme schädigender Substanzen. Damit zählt Reinigung auch schon zu den präventiven Korrosionsschutzmaßnahmen.

Aufbau von Verschmutzungen (nach SCHILLING, FH Münster)			
Schicht 4	Verunreinigungen	Schmutze	z.B. loser oder anhaftender Auflagerungen wie Erdkrumen, Staubpartikel, fettig-haftende Schmutzkrusten – bedeutet Abnahme

Schicht 3	Anhaftungsschicht	Werkstofffremde Substanzen	z.B. verkallter Bewuchs, in die Oberfläche eingefressene Spuren von Taubenkot, beschädigte Altbeschichtung – bedeutet Angriff ! Restauratorische Untersuchung und Entscheidung nötig
... Schicht 2.2 Schicht 2.1 Schicht 2	Reaktionsschicht	Korrosionsprodukte des Grundwerkstoffs, ggfs. auch Produkte einer Oberflächenbehandlung	Im chemischen oder metallurgischen Verbund mit dem Grundwerkstoff, teils erwünschte Schutzschicht, kann fließend übergehen in Oberflächenzier und Werkspuren, ggfs. partieller oder schichtweiser Abtrag – bedeutet Eingriff ! Restauratorische Untersuchung und Entscheidung nötig, ggfs. Vorversuch
Schicht 1	Grenzschicht	Im mikroskopischen Aufbau beeinflusst	
Schicht 0	Grundwerkstoff		

4.2 Reinigungsziele der Restaurierung

Analog des über allem stehenden Restaurierungszieles ist es sinnvoll, das Reinigungsziel zu definieren. Es legt vorweg fest, bis auf welche Schicht ein Abtrag oder Eingriff erfolgen

soll.

„Des Einen Patina mag des Anderen Korrosion sein“ [\[4\]](#)

Da die Korrosionsprodukte eine chemische Verbindung mit der darunterliegenden Schicht bzw. Grundmetall eingehen, entsteht eine substanziell neue, optisch veränderte Oberfläche. Die Entscheidung des Reinigungszieles sollte ethische (Denkmalpflege), konservatorische (Technik), zweckgebundene (Eigentümer) Gesichtspunkte abwägen.

In der praktischen Ausführung liegt es später allein in der Hand des Tätigen, wie weit zu gehen, wann zu stoppen ist, und wie sich das abschließende Gesamtbild präsentiert. Restauratoren verraten unterschiedliche Handschriften im Reinigungsprozess, Sehgewohnheiten münden in unterschiedlichen Interpretation von Verschmutzung und Patina.

Mögliche Reinigungsziele in der Restaurierung:

- Freilegen ursprünglicher Erscheinung (z.B. Abnahme loser Roste, zerstörter Fassungspartien)
- Klären absichtsvoller Oberflächengestaltung (etwa matt/blank)
- Lesbarkeit von Gravur, Zeichnung (Schattenspiel)
- Erhaltung bedeutsamer Spuren (Werkzeugspuren, Gußhaut, Gebrauchsabrieb – „Epidermis“)
- Neuerliche Sichtbarmachung eines Materialcharakters, Rückführung von Vernachlässigung: metallische Lebendigkeit ohne in neuem Glanz zu erstrahlen
- Substanzerhalt (z.B. Abnahme schädigender Substanzen und Auflagerungen)

Grenzen und zu beachten beim Tun:

- Deformation der Feinstruktur durch schleichende Abnutzung fortwährenden Putzens
- Ursprüngliches Gestaltungskonzept kombiniert Metallfarben in ästhetischer Wechselwirkung; vielleicht

- bleibt dann nur Entpatinierung
- Schwierigkeit ineinander übergehender Grenzsichten im Metallgrund
 - Unterscheidung gleichzeitig vorhandener künstlicher und natürlich gewachsener Patina
 - Unterscheidbarkeit des historischen Objektes von der Wirkung einer Kopie und Nachahmung
 - Eisenwerke waren aus Korrosionsschutzgründen fast ausschließlich polychromiert oder Oberflächenbehandelt – immer zuvor untersuchen!
 - Zielerwartung: Zinn bildet beispielsweise deutlich dickere Anlaufschichten als Silber, die Zielerwartung muss daher ein milderer Glanz sein, ein blanker Glanz würde die Oberflächenstruktur bereits verputzt haben

4.3 Reinigungsmethoden für die Restaurierung

Geeignete Methoden zielen auf darauf ab, materialabtragende, abrasive, schleifende Verfahren, um den damit einhergehenden Substanzverlust zu vermeiden. Ein Materialabtrag (über Jahrhunderte) birgt die Gefahr Oberflächenzier oder Meistermarken bis zur Unlesbarkeit einzuebnen („verputzt“).

Bevorzugt werden aufnehmende, fegende, spülende, absprengende, kratzende oder schabende Herangehensweisen, möglichst gut kontrollierbar, in sowohl großflächiger, als auch partieller oder rein lokaler Anwendung auf der Oberfläche.

Wichtig ist eine behutsame Anwendung und fortwährende Überprüfung des Reinigungsfortschritts bzw. des Reinigungsergebnisses.

4.4 Korrosionsschutz in der Restaurierung

Der Korrosionsschutz in der Restaurierung wird auch Konservierung genannt. Diese baut auf der sorgfältig gereinigten Oberfläche auf: schädigende Verunreinigungen sind entfernt, geschichtlich relevante Informationen und Spuren gefestigt und gesichert, lose Schmutz-, Korrosions- und Farbpartikel auf einen tragenden Untergrund abgenommen.

Geeignete Methoden des Korrosionsschutzes berücksichtigen folgende restauratorische Gesichtspunkte:

- Reversibel
- Schonender Substanzerhalt, ausreichende Langzeitstabilität
- Zufriedenstellendes Äußeres (Glanzgrad, Ausdruck, Farbwirkung, zurücknehmende Wirkung)

Präventive Maßnahmen wie die Vermeidung von Stauwasser, erneuten Verschmutzungen oder angreifender Umgebungsatmosphären stehen dabei vorrangig vor allen weiteren Maßnahmen.

Zusätzlich zu treffende Korrosionsschutzmaßnahmen müssen je nach Erkenntnissen zu den Schadensursachen fallbezogen ausgerichtet werden. Grundsätzlich basieren die Korrosionsschutzmaßnahmen zumeist auf folgende Prinzipien:

- Schutzschichten
- Trennschichten
- Konstruktive Anpassungen

Für die schützende Wirkung stellen Schutzanstriche dabei ein weiteres fachspezifisch zu bedenkendes und technologisch zu klärendes Thema dar.

[1]Der Name geht auf den italienischen Arzt Luigi Galvani zurück. Er entdeckte, dass ein mit Instrumenten aus verschiedenartigen Metallen berührter Froschschenkel-Nerv Muskelzuckungen auslöst. Im Versuchsaufbau besteht ein galvanisches Element aus zwei Platten unterschiedlicher Metalle (Kupfer, Zink) und einer stromleitenden Flüssigkeit (verdünnte Schwefelsäure). Wird der Stromkreis geschlossen (Kabelanschluss), fließt elektrischer Strom.

[2]Für den Abgleich in der Praxis: nach Beständigkeitstabellen sei eine Größenordnung des Angriffs bei Eisenwerkstoffen etwa 1 mm Wandstärke pro Jahr (unter normalen Bedingungen und mit Ausnahme massiver Lochfraßphänomene). – Für den Neubau wird Werkstoffabhängig ein Maß der Dickenabnahme pro Jahr ermittelt. Dieses wird anhand von Laborversuchen für verschiedene Medien und verschiedene Werkstoffe ermittelt und wird in Beständigkeitstabellen veröffentlicht.

[3]Siehe Empfehlungen im Bauwesen für Schrauben und andere Befestigungsmittel oder Beschlagteile in Kombination einer 10 bis 40mal größeren Oberfläche des aufnehmenden Bauteils (unter Voraussetzung mäßig aggressiver Korrosionsmedien sowie gemäßiger Temperaturen); s. auch Tabelle nach Würth im Anhang

[4]nach SCOTT 2002, übersetzt aus GRIESSER-STERMSCHEG in EIPPER 2013

Andere Dateien:

[Auszug aus den Seminarinhalten „Korrosion und Schäden an Metallen“](#)

- [Handbuch](#)

- Typologien von Industriedenkmalen
 - Brückenbauwerke
 - About a Scientifically Tenable Basis of Long-Span Structures
 - Run down in Chronological Order
 - Turmbauwerke
 - Einleitung und Abgrenzung
 - Anfänge und typologische Basis turmartiger Bauwerke
 - Turmartige Bauten der handwerklich-baukulturellen Tradition
 - Aufbruch und ingenieurtechnische Leistungen der Neuzeit
 - Betrachtung hinsichtlich Form, Materialität und Funktion
 - Wehr-, Tor- und Schutztürme
 - Aussichtstürme, Denkmale, Zeichen und Skulpturen
 - Technische Türme
 - Quellenverzeichnis
 - Werkssiedlungen | Company Towns
- Zur Geschichte der Industriedenkmalpflege
- Denkmalstatus erlangen und erhalten
 - Denkmalrecht: Grundbegriffe und Grundsätze
 - Denkmalstatus erlangen oder aller Anfang ist schwer: Wie kommt ein Industriedenkmal auf die Welt?
 - Leitvorstellungen im Umgang mit dem Denkmal
 - Städtebauliche Denkmalpflege / Industrielle Kultur-Landschaft
 - Umnutzung von Denkmal-Arealen
- Prozess und Management
 - Die Beteiligten („Stakeholder“)
 - Wege zur Entscheidungsfindung
 - Konsensherstellung mit den zukünftig Beteiligten
 - Nachnutzungsüberlegungen
 - Zielbestimmung

- Projektmanagement bei Unbestimmtheit und Komplexität
- Erstinvestition – Folgekosten – Pflegeplan
 - Erstinvestition
 - Folgekosten
 - Pflegeplan
- Finanzierung der Erhaltung von Industriedenkmalern
- Conservation: who, what & why?
- Welterbestätten und die Einbeziehung städtischer/regionaler Planung beim Umgang mit dem Industriedenkmal
- Zur Relevanz des Städtebaus von Industriedenkmalen
- Stillgelegte Industrieanlagen zugänglich machen
 - Pflichtprogramm: Was muss auf jeden Fall getan werden?
 - Welche Regelwerke sind relevant?
 - Überprüfung der Standsicherheit von Bauwerken – Vorgehensweise
 - Weitere Hinweise und Empfehlungen: Welche Aspekte sind zusätzlich zu berücksichtigen?
 - Steuerungsmöglichkeiten bei der aktiven Planung von Verlust
- Erkunden, Dokumentieren, Planen
 - Bestandserfassung, Dokumentation und Visualisierung
 - Methoden der Bauaufnahme
 - Digitale Bestandserfassung
 - Zustandsuntersuchungen an Bauwerken
 - Dokumentation mit Webapplikation (Web-App)
 - Zum Umgang mit Gefahrstoffen im Industriedenkmal
 - Denkmalpflegerische Untersuchungen
 - Historische Recherche und Baugeschichtliche Forschung
 - Laboruntersuchungen – Analysen
 - Dokumentation der getroffenen Maßnahmen
 - Erfassung, Sanierung und Betrieb der Kanalisation
 - Bestandserfassung

- Zustandserfassung
 - Baulicher Zustand
 - Hydraulischer Zustand
 - Abschließende zusammenfassende Bewertung
 - Sanierung
 - Kanalbetrieb
- Anerkannte Regeln der Technik | Gesetze, Normen, Richtlinien
 - Normen des CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“
 - WTA-Merkblätter
 - VDI-Richtlinien
 - Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen (VOB/B)
 - Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI
- Werkzeugkasten
 - Reinigungsmethoden
 - Korrosionsschutz
 - Korrosion und restauratorischer Korrosionsschutz
 - Asbest
 - Musterbaustelle
 - Schutzkonstruktionen zur Erhaltung wetterexponierter Anlagenteile
 - Kostenvergleich: Konservierung oder Schutzdach?
 - Schutzkonstruktionen – Begriffsbestimmung und Fallbeispiele
 - Alte Stähle
 - Industriefenster
 - To work or not to work – die Reaktivierung von Maschinen im Industriedenkmal
 - Webcasts – Risk Management for Collections on Display and in Storage
- Umsetzung: Ausschreibungen und Zeitplan

- [Erstellen von Leistungsverzeichnissen](#)
 - [Leistungspositionen](#)
 - [Software für die Ausschreibung](#)
- [Ausschreibungsverfahren](#)
 - [Präqualifikation](#)
 - [Vergabearten](#)
- [Zeitplan](#)
 - [Muster Zeitplanung](#)
 - [Software für die Zeitplanung](#)
- [Bauunterhaltung und -pflege](#)
 - [Pflegeplan](#)
 - [Arbeit mit Ehrenamtlichen](#)
- [Nachnutzung / Umnutzung / Adaptive Reuse](#)
 - [Adaptive Reuse](#)
 - [Umnutzung und Adaptive Reuse: Grundsätze der Praxis](#)
 - [Forschung zur Umnutzung: typische Konflikte und Vermittlungsmöglichkeiten](#)
 - [Kokerei Zollverein Gestaltungskonzept](#)
- [Fallballspiele](#)
 - [Kokerei Zollverein](#)
 - [Maschinenhalle Zollern II/IV](#)
 - [Henrichshütte Hattingen: Schwadenturm](#)
 - [Henrichenburg: Schiffshebewerk \(SHW\)](#)
 - [Landschaftspark Duisburg Nord](#)
 - [Kokerei Hansa](#)
 - [Weltkulturerbe Völklinger Hütte](#)
 - [Musée Les Mineurs Wendel](#)
 - [Erfahrungen mit einem besonderen Oldtimer](#)
 - [U-Bahnwagen](#)
- [Wettbewerbe / Welterbe](#)
- [Konferenzen, Verbände, Arbeitsgruppen und Literatur](#)
 - [TICCIH](#)
 - [Arbeitsgruppe Industriedenkmalpflege](#)
 - [ICOMOS](#)
 - [BIG STUFF](#)
 - [Literatur](#)

- [BCIN, the Bibliographic Database](#)
- [montan.dok](#)
- [English version or other languages](#)
- [Ressourcen](#)
 - [Preventive conservation guidelines for collections](#)
 - [Caring for outdoor objects](#)
 - [Unlocking Sound and Image Heritage](#)
- [TEst Seite](#)

[← Korrosionsschutz Asbest →](#)