

**Korrosionsschutz während
Produktion, Lagerung und Transport**

Ralf Möller, Dr. Martin Müller

Juli 2004

1. Einleitung

Dem Korrosionsschutz kommt auch im Produktionsprozess eine wichtige Bedeutung zu. So kann Korrosion zu erheblichen wirtschaftlichen Schäden durch Ausschuss führen. Diese können durch Probleme bei nachfolgenden Bearbeitungsprozessen oder durch Beanstandungen des Kunden (evtl. nur aus optischen Gründen) entstehen.

Viele Maßnahmen zum Korrosionsschutz können während der Produktion eines Bauteiles nicht angewendet werden, da sie entweder den Prozess stören (z. B. beim Schweißen oder Härten) oder durch den Prozess abgetragen werden (z. B. Schutzschichten bei abtragenden Verfahren). Deshalb werden besondere Ansprüche an den Korrosionsschutz während der Produktion gestellt. Ausnahmen bilden lediglich Verfahren wie das Phosphatieren, das als Hilfsmittel im Prozess (z. B. beim Kaltumformen) eingesetzt wird und gleichzeitig einen guten Korrosionsschutz liefert.

Auch liegen während der Produktion häufig sehr reine und damit aktive Oberflächen vor, z. B. nach dem Entfetten oder bei und nach abtragenden Verfahren. Diese erfordern einen besonderen Korrosionsschutz, da weder Passivschichten noch Verunreinigungen die Oberfläche vor Korrosion schützen. Zusätzlich werden häufig wässrige Hilfsmedien (Kühlschmierstoffe u. ä.) eingesetzt, die normalerweise korrosionsfördernd wirken.

Zur Korrosion gehören immer zwei Partner: der Werkstoff, der korrodiert wird, und das Korrosionsmedium, das angreift.

Generell unterscheidet man zwei Arten des Korrosionsschutzes:

Aktiver Korrosionsschutz: Das Wirkpaar wird so verändert, dass sich die Triebkraft der Korrosion vermindert.

Passiver Korrosionsschutz: Zwischen Werkstoff und Korrosionsmedium wird eine Trennschicht aufgebracht.

Da sich die Maßnahmen des **temporären Korrosionsschutzes** teilweise in beide Kategorien einordnen lassen, und er die wichtigste Barriere gegen die Korrosion während der Produktion ist, wird dieser Bereich in einem dritten Teil separat behandelt.

2. Aktiver Korrosionsschutz

Das Wirkpaar wird so verändert, dass sich die Triebkraft der Korrosion vermindert.

2.1. Werkstoffauswahl

Der einfachste, aber oft nicht gangbare Weg zur Korrosionsvermeidung ist eine geeignete Werkstoffauswahl. Dieser stehen in der Regel wirtschaftliche und technische Probleme gegenüber, da beständige Werkstoffe zu teuer sind, die geforderten mechanischen Eigenschaften nicht aufweisen oder aber nicht in der gewünschten Weise zu bearbeiten sind. Trotz allem sollte dieser Punkt nicht vernachlässigt werden, da bei einer realen Wirtschaftlichkeitsrechnung durchaus überraschende Ergebnisse möglich sind. Geeignete Korrosionsschutzmittel, die Eisen und Nichteisenmetalle (insbesondere Aluminium und Kupfer) gleichzeitig schützen, sind recht schwierig zu konzipieren, da die Anforderungen teilweise konträr sind. Es ist daher wünschenswert, diese Metallkombination solange wie möglich im Produktionsprozess getrennt zu halten.

2.2. Korrosionsschutzgerechtes Konstruieren und Planen

Korrosionsschutzgerechtes Konstruieren ist eine generelle Forderung, die jederzeit berücksichtigt werden sollte. Im Produktionsprozess sollte dabei vor allem Folgendes berücksichtigt werden:

- Spalten, Fugen, Ecken, Kanten und raue Oberflächen vermeiden
- Kontaktelemente vermeiden (kein direkter Kontakt verschiedener Metalle, auch bei Verbindungselementen!)
- Späne und Metallabrieb schnellstmöglich abreinigen, da sie auch unter Schutzschichten Korrosion induzieren
- aggressive Medien (Säuredämpfe etc.) effektiv absaugen und neutralisieren
- Eisen und Nichteisenmetallen während der Fertigung strikt trennen
- nach Bearbeitung mit wässrigen bzw. korrosiven Medien effektiv und schnell trocknen und/oder reinigen, insbesondere in Spalten, Hohlräumen und Sacklöchern, und die Lagerzeiten zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten möglichst kurz halten

Diese Forderungen entspringen dem Wunsch nach optimalem Korrosionsschutz und sind nicht immer einzuhalten, da wesentliche wirtschaftliche und technische Gründen dagegen sprechen. Soweit möglich sollten sie aber angestrebt werden.

2.3. Lager- und Transportbedingungen

An Lagerung und Transport (insbesondere auf See) sind folgende Forderungen zu stellen:

- geeignete Verpackungsmaterialien wählen (luft- und wasserdicht), ggf. VCI (= volatile corrosion inhibitor, siehe 4.3.), Papier oder Trocknungsmaterialien (Kieselgel) verwenden
- Temperatur und Luftfeuchtigkeit möglichst konstant und niedrig halten
- Kontakte mit aggressiven Medien vermeiden (Schwitzwasser, Abgase, Schweiß, Salze,...)
- Lagerung mit Hohlräumen, Nuten und Falzen nach unten, so dass Wasser schnell abfließen kann und sich keine Korrosionsnester bilden
- für ausreichende Belüftung aller Teile sorgen, insbesondere bei der Gefahr von Schwitzwasserbildung

2.4. Elektrochemischer Korrosionsschutz

Hierbei wird der Werkstoff durch Anlegen von Strom oder durch Kontakt mit einer Opferanode geschützt. Dieses Verfahren wird in der Regel nur bei direktem Kontakt mit dem Erdboden oder mit Meerwasser verwendet, kann aber auch sinnvoll bei wässrigen Prozessen eingesetzt werden.

2.5. Beeinflussung des Korrosionsmediums

Hierzu gehören vor allem:

- Trocknung von Luft, Pressluft, Gasen
- Entsalzen des eingesetzten Wassers, besonders bei hohem Chloridgehalt
- Inhibieren von wässrigen Bearbeitungsmedien (Kühlschmierstoffe, Reinigungsmittel, Kühlmittel) mittels anorganischer oder organischer Inhibitoren: Hier finden inzwischen eine Vielzahl von Substanzen Verwendung, die von den jeweiligen Fachfirmen nach sorgfältiger Prüfung den genannten Medien zugesetzt werden
- Inhibieren anderer Bearbeitungsmedien, wie Ölen, Schmierstoffen u.a.: Hier werden in der Regel Amine oder Fettsäurederivate eingesetzt
- Inhibieren von Säurebeizen, um den unerwünschten Abtrag blanken Metalls zu unterdrücken und die Gefahr der Wasserstoffversprödung zu minimieren (siehe hierzu den Technischen Brief 8 der SurTec Deutschland GmbH)

3. Passiver Korrosionsschutz

Unter passivem Korrosionsschutz versteht man das Aufbringen einer Trennschicht auf das Werkstück. Bei Eisen und Stahl finden in der Regel metallische Überzüge (u. a. Zink, Nickel, Zinklegierungen), organische Überzüge (Anstriche, Lacke) oder nichtmetallische Überzüge (Emaillieren, Zementieren, Brünieren, Gasnitrieren, Ionox) Anwendung. Wesentlich für alle Verfahren ist dabei eine sehr gute Vorbehandlung der Oberfläche durch Entfetten und Beizen/Strahlen, um eine gute Haftung der Schicht zu erreichen. Das Aufbringen einer Trennschicht wird in der Regel als letzter Bearbeitungsschritt eingesetzt, um einen permanenten Korrosionsschutz für das Werkstück zu erreichen.

Beim **Phosphatieren** wird im Spritz- oder Tauchverfahren eine Eisen-, Zink- oder Manganphosphatschicht auf das Werkstück aufgebracht. Der Korrosionsschutz steigt in der genannten Reihenfolge an, muss aber in der Regel durch eine Nachbehandlung (Cr(VI)-haltig oder mit Öl) noch verstärkt werden. Die Phosphatierung dient im Produktionsprozess in erster Linie der Verbesserung der Materialeigenschaften bei verschiedenen Verfahren (z. B. Kaltumformung) oder als Haftgrund, aber weniger dem Korrosionsschutz.

Das direkte **Passivieren und Chromatieren** von Edelstahl oder Messing mittels Chromsäure oder anderen oxidierenden Lösungen gehört ebenso zu den Verfahren des passiven Korrosionsschutzes, findet aber nur selten Anwendung. Eine Ausnahme bildet hier die Passivierung von Aluminium und von galvanisch abgeschiedenen Schichten, insbesondere von Zink und Cadmium. Diese wurden durch Chrom(VI)-haltige Passivierungen geschützt, neuere Verfahren verzichten auf Chrom(VI) und setzen stattdessen das ungiftige Chrom(III) ein.

Weitere Informationen zu diesen Verfahren erhalten Sie unter:

<http://chromitierung.surtec.com>

4. Temporärer Korrosionsschutz

Der temporäre Korrosionsschutz ist in der Regel ein passiver Korrosionsschutz, kann aber z. B. in Entfettungsbädern und Spülen oder bei Verwendung von VCI-Papier auch dem aktiven Korrosionsschutz zugerechnet werden.

Sinn des temporären Korrosionsschutzes ist es, eine Schutzwirkung während des Produktionsprozesses, der Lagerung und des Transports der Werkstücke sicherzustellen. Dabei wird eine maximale Zeitdauer von zwei Jahren in der Regel nicht überschritten. Zugleich sollten die Schichten möglichst leicht entfernbar sein, um nachfolgende Prozesse nicht zu stören. Die Haltbarkeit des Schutzes ist stark von den Umgebungsbedingungen abhängig, steigt aber in der Reihenfolge der folgenden Korrosionsschutzmittel an. Im Gegensatz dazu wird die Entfernung schwieriger.

4.1. Wässriger temporärer Korrosionsschutz

Es handelt sich in der Regel um Addukte von Fettsäuren und Aminen, die auf der Metalloberfläche einen dichten Film bilden. Diese Stoffe werden der letzten Spüle nach Reinigungs- oder Beizbädern zugesetzt oder wässrigen Bearbeitungsmedien, wie z. B. Kühlwässern. Die Filme müssen in der Regel nicht abgewaschen werden und stören nur sehr selten nachfolgende Prozesse (z. B. hydrophobierende Filme beim Nasslackieren). Bei Temperaturen oberhalb 200 °C verdampfen die Filme, dadurch stören sie die Wärmebehandlung nicht. Allerdings sollten auch Trocknungstemperaturen diesen Wert nicht überschreiten.

Je nach Auswahl der Substanzen können Flüchtigkeit (Wirkung in der Dampfphase) und hydrophobierende Wirkung eingestellt werden. Letztere führt zu einer wasserabweisenden Schicht, die die Trocknung erleichtert und im Gegensatz zu den übrigen Filmen durch Schwitzwasser nur sehr langsam abgewaschen wird. Allerdings können hydrophobe Filme auch nur alkalisch entfernt werden.

Werden nur Eisen und Stahl behandelt, dann werden die Mittel schwach alkalisch eingestellt, um die korrosionshemmende Wirkung der Alkalität auszunutzen. Wenn auch Nichteisen-Metalle mit den Medien in Kontakt kommen (auch als Anlagenbestandteil), dann müssen die Mittel neutral eingestellt werden.

Mit temporären Korrosionsschutzmitteln lassen sich Korrosionsschutzzeiten von 2 Wochen bis 6 Monaten erreichen (abhängig von Material und Lagerbedingungen, wie Feuchte, Temperatur, Konstanz der Umgebungsbedingungen).

Diese Korrosionsschutzzeiten können aber ohne Probleme erreicht werden, wenn folgende Verfahrensparameter eingehalten werden:

- Die Produkte sollten vorzugsweise in VE-Wasser (vollentsalztem Wasser) mit einer Qualität von < 10 ppm Chlorid und < 20 ppm Sulfat angesetzt und betrieben werden. (Chloride und Sulfate sind bekannterweise Korrosionsauslöser auf Stahl/Guss und Aluminium.)
- Nach dem Reinigen muss die behandelte Ware zügig durch Abblasen und Eigenwärme der Teile getrocknet werden. Bei Teilen mit Bohrungen oder Hinterschneidungen ist eine Vakuumtrocknung sinnvoll.
- Die Umgebungsluft muss trocken sein.
- Behandelte Teile, die direkt zur Montage gelangen, müssen trocken sein und in einer trockenen Umgebung gehalten werden.
- Regelmäßige Konzentrationskontrollen der Reinigungs- und Konservierungslösungen sowie Überprüfung auf Verunreinigung durch Chlorid und Sulfat sind unabdingbar.
- Eine sinkende Konzentration der Konservierungskomponente und ein zu hoher Gehalt an Chlorid und Sulfat kann die Korrosionsschutzzeiten erheblich beeinträchtigen.

4.2. Ölhaltiger Korrosionsschutz

A) Korrosionsschutzemulsionen

Hierbei handelt es sich um wässrige Emulsionen von Mineralölen und Wachsen, denen Biozide und Korrosionsinhibitoren zugesetzt werden. Diese verhindern, dass die wässrige Phase zu einer Metallkorrosion führt, ehe sie verdunstet. Je nach Zusammensetzung der Emulsionen können Korrosionsschutzwerte von Korrosionsschutzwachsen erreicht werden. Der Vorteil liegt in der lösemittelfreien Applikation, die aus Sicht des Arbeits-, Feuer- und Umweltschutzes wünschenswert ist.

B) Korrosionsschutzöle

Korrosionsschutzöle sind Mineralölraffinate unterschiedlicher Viskosität. Die Dicke des Ölfilms und damit die Schutzwirkung hängt direkt von der Viskosität der Produkte ab. In Sonderfällen werden den Ölen Metallseifen zugesetzt, um die Viskosität und damit die Schutzwirkung zu erhöhen. Zur Erreichung der notwendigen Schutzwirkung werden die Öle meist mit öllöslichen Aminen in Konzentrationen unter 1 % inhiert. Sie werden entweder unverdünnt oder mit Benzinen verdünnt als Fluid aufgetragen.

C) Korrosionsschutzfette

Hierbei handelt es sich um Vaselinen, die ebenfalls zur Erhöhung der Schutzwirkung mit Inhibitoren versetzt werden, meist mit langkettigen Fettsäureestern. Im Unterschied zu den Ölen lassen sich Korrosionsschutzfette in größerer Dicke auftragen, erwünscht sind in der Regel Schichtdicken um 500 µm. Um diese Schichtdicke auch bei höheren Temperaturen zu gewährleisten, werden die Fette nach ihrem Tropfpunkt ausgewählt und teilweise noch durch Zusatz von Metallseifen verdickt. Für Anwendungen bei höherer Temperatur werden in der Regel Tropfpunkte um 80 °C gefordert.

D) Korrosionsschutzwachse

Korrosionsschutzwachsfuide sind komplexe, flüssige, kolloiddisperse Systeme aus Wachsen oder wachsartigen Stoffen, Testbenzin und korrosionsinhibierenden Zusätzen (z. B. Alkalistearate und Silikonöle). Sie ergeben plastisch-harte Schichten, die im Unterschied zu Ölen und Fetten griffest sind. Als Schichtbildner dienen Hartparaffine, Gatschvaseline oder verschiedene natürliche Wachse, wie Bienenwachs oder Lanolin. Mitunter werden auch Bitumina oder Synthescharze zur Verbesserung der Eigenschaften zugesetzt.

4.3. Dampf-Phasen-Inhibitoren, VCI (Volatile Corrosion Inhibitor)

Die VCI bilden einen kostengünstigen Weg zum Korrosionsschutz bei längerfristiger Lagerung oder beim Transport. Sie bestehen aus leicht flüchtigen Pulvern oder Flüssigkeiten, die in Form von Tabletten, Päckchen oder als imprägnierte Schwämme, Papiere oder Folien eingesetzt werden.

Ihre Wirkung beruht im Wesentlichen auf der Korrosionshemmung an der Metalloberfläche. Zunächst verdampfen sie, bis sich der Sättigungsdampfdruck eingestellt hat und kondensieren auf der Metalloberfläche. Wenn der VCI verbraucht ist, erlischt die Wirkung. Daher sollten die Vorgaben des Herstellers hinsichtlich der eingesetzten Mengen genau beachtet werden. Hieraus ergibt sich aber auch, dass VCI nur in luftdicht verschlossenen Räumen, Kisten u.ä. verwendet werden können.

Der erste technisch eingesetzte VCI war DICHAN (Dicyclohexylammoniumnitrit). Es wurde bereits kurz nach dem 2. Weltkrieg von Shell in den Handel gebracht und ist auch heute noch der gebräuchlichste Inhaltsstoff. Allerdings ist inzwischen eine Vielzahl weiterer Wirkstoffe bekannt. Teilweise werden auch weniger flüchtige Substanzen eingesetzt, die durch einen Carrier an die Metalloberfläche transportiert werden. Durch Kombination verschiedener Wirkstoffe können Mischungen hergestellt werden, die einerseits einen sofortigen Schutz durch leichtflüchtige Substanzen gewährleisten, zum anderen durch schwererflüchtige Verbindungen auch einen langfristigen Schutz sicherstellen.

4.5. SurTec-Produkte für den temporären Korrosionsschutz

	INHALTSSTOFFE					GEEIGNET FÜR					FILM		REINIGUNG	
	Mineralöl	Tenside	Borate	Phosphate	Lösemittel	Eisen & Stahl	Buntmetalle	Aluminium	nachfolgende Wärmebehandlung	nachfolgende Lackierung ^a	mit Wasser abspülbar	hydrophob	spritzbar ^b	geeignet für US ^b
SurTec 001	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	ab 30 °C	-
SurTec 005	-	+	+	+	-	+	o	o	-	+	+	-	ab 30 °C	-
SurTec 006	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-	ab 30 °C	-
SurTec 010 ^c	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	ab 30 °C	-
SurTec 011	-	+	-	-	-	+	+	o	+	+	+	-	ab 30 °C	-
SurTec 042	-	+	-	-	-	+	o	-	+	+	+	-	ab 40 °C	+
SurTec 101	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	ab 40 °C	+
SurTec 104	-	+	-	-	-	+	+	+	+	o	-	+	-	+
SurTec 107	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	o	o
SurTec 108	-	-	-	+	-	+	o	-	-	+	+	-	o	o
SurTec 418	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-
SurTec 531	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	o	o
SurTec 533	-	-	-	-	-	+	o	-	+	+	+	-	o	o
SurTec 534	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	o	o
SurTec 560	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
SurTec 590	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-
SurTec 994	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-

a: Die Lackierfähigkeit sollte grundsätzlich getestet werden, SurTec 104 nicht bei nachfolgender wässriger Lackierung

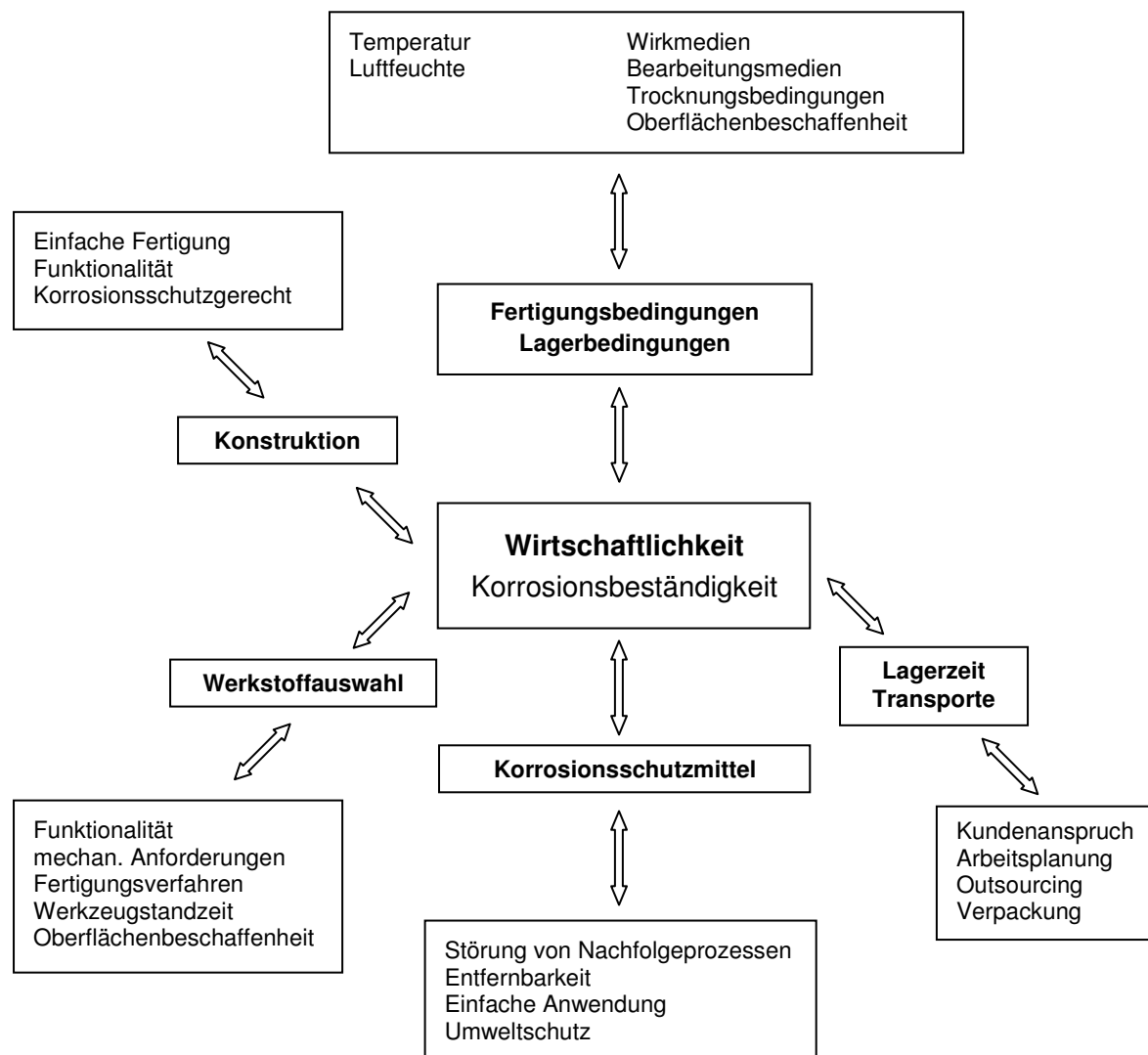
b: o bedeutet in Kombination mit geeigneten Tensiden/Reinigungsverstärkern

c: enthält Biozide

5. Zusammenfassung

Die Korrosionsbeständigkeit der Werkstücke hängt von vielen Faktoren ab und steht in der Regel in unmittelbarer Korrelation zu den entstehenden Kosten. Es ist daher notwendig, regelmäßig Wirtschaftlichkeitsanalysen durchzuführen (insbesondere bei Änderung eines Parameters) und alle beteiligten Einflussgrößen zu optimieren. Die wichtigsten Einflussgrößen sind im folgenden Diagramm aufgezeigt. Von besonderer Bedeutung sind dabei:

- Oberflächenbeschaffenheit (raue Oberflächen vermeiden, Aufrocknung von Salzen verhindern, schnelle Reinigung)
- möglichst kurze Lagerzeiten und Transportwege unter optimalen Bedingungen
- möglichst korrosionsbeständige Werkstoffe
- Vermeidung aggressiver Wirkmedien (Schwitzwasser, Säuredämpfe, Abgase, Späne, Abrieb, etc.)



6. Literatur

K. Baumann: „Korrosionsschutz für Metalle“

Dtsch. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1993

E. Meckelburg: „Korrosionsverhalten von Werkstoffen“

VDI-Verlag, Düsseldorf 1990

P. J. Gellings: „Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen“

Hanser-Verlag, München 1981

H. Uhlig: „Korrosion und Korrosionsschutz“

Akademie Verlag, Berlin 1975

H. Klas, H. Steinrath: „Die Korrosion des Eisens und ihre Verhütung“

Stahleisen-Verlag, Düsseldorf 1974

„Grundlagen metallischer Werkstoffe, Korrosion und Korrosionsschutz“

VEB Dtsch. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1973

G. Bohnsack:

„Chlorid und die Korrosion von Eisen und Stahl in natürlichen Wässern“

Vulkan-Verlag, Essen 1989

W. Seidel: „Werkstofftechnik“

Hanser Verlag, München 2000

M. Merkel, K.-H. Thomas: „Taschenbuch der Werkstoffe“

Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig 2000

J. J. McKetta, W. A. Cunningham: „Encyclopedia of Chem. Processing and Design“

Dekker, New York 1988

C. Schradick: „Anwendungsorientierte Wirksamkeitsuntersuchung von Dampfphaseninhibitoren der atmosphärischen Korrosion“

Dissertation, Braunschweig 1988

K. J. Saurbier: „Elektrochem. und physikochem. Untersuchungen zur temporären Inhibition der atmosphärischen Korrosion“

Dissertation, Düsseldorf 1993