



# Korrosion





## Korrosion wissenschaftlich gesehen

Der Begriff Korrosion wird nach dem Normblatt DIN 50 900 wie folgt definiert: „Unter Korrosion versteht man die Zerstörung von Werkstoffen durch chemische oder elektrochemische Reaktion mit ihrer Umgebung“.

Gemeinsam ist beiden Korrosionsarten, sowohl der chemischen als auch der elektrochemischen Korrosion, der erste gemeinsame Schritt zur Korrosion, der darin besteht, dass ein Metallatom unter Abgabe von Elektronen als Metallion aus dem Metallgitter heraustritt. Ist ein Elektronenakzeptor in Form eines Oxidationsmittels da, dann kann der Korrosionsprozess bis zum Ende ablaufen. Bei der chemischen Korrosion durch Sauerstoff oder Gase fällt der Ort der Ionisierung des Metallions mit dem Ort der Elektronenaufnahme zusammen. Das geschieht in auffälliger Weise bei der Verzunderung der Metalle bei höherer Temperatur.

Elektrochemische Korrosion der Metalle im Wasser verläuft dagegen anders als die chemische Korrosion der erhitzten Metalle in Gasen. Die elektrochemische Korrosion durch Wasser ist durch zwei voneinander abhängige, jedoch an verschiedenen Stellen des Metalls ablaufende Reaktionen gekennzeichnet. Hierbei verlassen Metallatome unter Zurücklassung eines oder mehrerer Elektronen das feste metallische Gefüge und treten als positive Ionen in die Flüssigkeit über. In der Elektrochemie wird diejenige Elektrode als Anode oder auch Lösungsanode bezeichnet, von der der positive Strom in Form von Ionen in die Flüssigkeit (Elektrolyt) fließt. Als Kathode dagegen wird die Elektrode bezeichnet, über die der negative Strom von Elektronen an den Elektrolyten weitergegeben wird, wobei diese von Elektronennehmern, z.B. Wasserstoffionen verbraucht werden. Sinngemäß wird in wässrigen Lösungen unter „Metallkorrosion“ der Metallangriff und -abbau verstanden, der durch elektrochemische Vorgänge eingeleitet sowie unterhalten wird und zur Zerstörung des Werkstoffes führt.

Die physikalischen und chemischen Vorgänge der Korrosion können in diesem Rahmen nur soweit behandelt werden, wie dies unbedingt notwendig erscheint, um ein Verständnis des Lesers für die hier behandelten praktischen Korrosionsprobleme zu erreichen. Zur weiteren Unterrichtung über die Grundlagen der Korrosion wird verwiesen auf die interessanten praxisnahen Veröffentlichungen der Herren v. Schikorr, Hömig, Kaesche, Ulrich, Kruse, Schwenk, und weitere. Während auf eine umfangreiche Erläuterung der Korrosionstheorie bewusst verzichtet wird, muss doch auf folgende Punkte hingewiesen werden.

Die Korrosion lässt sich nach obiger Definition auf elektrochemische Ursachen zurückführen. Der Vorgang kann galvanisch-elektrolytisch oder rein elektrolytischer Natur sein.

Im ersten Fall hängt die Korrosion mit der Bildung galvanischer Lokalelemente zusammen, in denen infolge chemischer Reaktionen zwischen Metall und Wasser, ein Stromdurchgang stattfindet. Die eben genannte galvanische Elementbildung ist für den Ablauf der Korrosion von Metallen von grösster Bedeutung. Diese Erscheinung umfasst sehr viele Vorgänge, von denen die wesentlichen hier genannt sind. Die Vorgänge haben die Bildung von Lokalelementen gemeinsam, die in Berührung mit Wasser einen elektrochemischen Stromkreis bilden, der zur Auflösung und Zerstörung des beteiligten Metalls führen kann. So ist z.B. eine Metalloberfläche, die dem Angriff durch den Elektrolyten Wasser ausgesetzt ist, nicht als homogen anzusehen. Selbst reines Metall bietet an seiner Oberfläche dem Korrosionsangriff Bereiche unterschiedlicher Reaktionsfähigkeit an, die einzelne Lokalelemente bilden. Andere Heterogenitäten entstehen durch Deckschichtbildung und durch Anwesenheit unterschiedlicher Gefügebestandteile. In wasserführenden Korrosionssystemen stehen häufig verschiedene Metalle miteinander in leitender

Verbindung und sind dem Korrosionssangriff durch Wasser gleichermaßen ausgesetzt. Örtliche Unterschiede in der Zusammensetzung des aggressiven Wassers können Ursache eines inhomogenen Korrosionsvorganges sein.

Bei der Korrosion rein elektrolytischer Natur handelt es sich um den Durchgang eines vagabundierenden fremden elektrischen Stromes, der eine anodische Auflösung des Metalles verursacht. Dieser ganz spezielle Fall wird hier nicht in Einzelheiten besprochen, da bei der üblichen Anwendung von Wechselstrom die Korrosion durch vagabundierende Ströme in Haushalten nur wenig Bedeutung besitzt.

## Korrosion einfach gesehen

Die Korrosion, die zur Zerstörung des Werkstoffes führen kann, ist, genau besehen, ein natürlicher Vorgang. Diese Behauptung scheint überraschend zu sein. Doch wie kommt es, dass z.B. Eisen an feuchter Luft oder im Wasser sofort zu rosten beginnt? Blankes Eisen ist also keinesfalls in diesen beiden Medien beständig, sondern es beginnt sich umgehend in Rost umzuwandeln, wobei das Eisen den notwendigen Sauerstoffbedarf entweder aus der Luft oder aus dem Wasser entnimmt, wenn im letzteren der Sauerstoff sich in gelöster Form befindet. Wichtig ist, dass ohne Feuchtigkeit, also ohne Wasser, die Rostbildung unter normalen äusseren Bedingungen nicht auftritt. Wir sehen hier schon die aussergewöhnliche Bedeutung des Wassers bei dem Vorgang der Rostbildung bzw. bei dem Vorgang der Korrosion des Eisens. Auf die besondere Rolle des Wassers wird später noch eingegangen.

Das blanke Eisen befindet sich in keinem natürlichen, stabilen Zustand sondern in einem Zwangszustand, den es überwinden will. Eisen bzw. auch die anderen Metalle sind durch Verhüttung von Erzen mit Hilfe von Kohle, Wärme, Elektroenergie usw. gewonnen worden. Ihr neuer Zustand ist instabil und nur durch Anwendung vieler Energien herbeigeführt worden. Das Metall sucht den alten Zustand, der dem Erz am nächsten kommt, wieder einzunehmen. Das hat zur Folge, dass z.B. blankes Eisen jede Möglichkeit wahrnimmt, sich durch Oxydation in Rost zu verwandeln. Diese Gelegenheit wird durch sauerstoffhaltiges Wasser besonders leicht herbeigeführt.

Das Wort „corrodere“ bedeutet im Lateinischen „zernagen“. Die Korrosion ist eine Zerstörung des instabilen energiereichen metallischen Zustandes, verbunden mit der Wiedergewinnung einer energiearmen Form des Materials.

Die Vorgänge der Korrosion sind elektrochemischer Art und werden durch kleine Lokalelemente ausgelöst. Ein Lokalelement stellt einen eigenen Stromkreis dar. Dieser kleine Stromkreis bildet das sogenannte Korrosionselement. Der Aufbau solcher Korrosionselemente wird in den nächsten Abschnitten beschrieben. Wichtig ist die Tatsache, dass z.B. auf dem vermeintlichen blanken Eisen eine grosse Zahl solcher Lokalelemente vorhanden ist. Hierdurch wird die Korrosion eingeleitet und fortgeführt bis zur weitmöglichen Zerstörung des Werkstoffes. Die auf dem Metall vorhandenen kleinen Lokalelemente sind mit den blossen Augen nicht zu sehen sondern nur in ihrer Wirkung, eben der gefürchteten Korrosion, zu erkennen.

Einfacher ist die Wirkung der Korrosion zu begreifen, wenn sich zwei verschiedene Metalle in einer wässrigen Lösung gegenüber stehen. Jeder kennt das Zink/Kupfer Element, das, eingebettet in einer fast festen Salzlösung, durch Strom tragbare Elektrogeräte antreibt. Von diesen beiden Metallen geht das Zink am leichtesten in Lösung, wobei es den instabilen Metallcharakter wieder verliert. Der Vorgang ist mit der Erzeugung von elektrischer Energie verbunden, die hier zur Betätigung der Elektrogeräte verwendet wird.

## Normalpotentiale

Standardpotentiale gegenüber Wasserstoff für

Metall	Elektrode	Volt
Magnesium	Mg/Mg <sup>2+</sup>	-2,35
Aluminium	Al/Al <sup>3+</sup>	-1,66
Zink	Zn/Zn <sup>2+</sup>	-0,76
Eisen	Fe/Fe <sup>2+</sup>	-0,44
Nickel	Ni/Ni <sup>2+</sup>	-0,24
Zinn	Sn/Sn <sup>2+</sup>	-0,14
Blei	Pb/Pb <sup>2+</sup>	-0,13
Eisen	Fe/Fe <sup>3+</sup>	-0,04
Wasserstoff	H/H <sup>+</sup>	0,00
Zinn	Sn/Sn <sup>4+</sup>	+0,05
Kupfer	Cu/Cu <sup>2+</sup>	+0,35
Kupfer	Cu/Cu <sup>+</sup>	+0,52
Silber	Ag/Ag <sup>+</sup>	+0,80
Gold	Au/Au <sup>+</sup>	+1,50

elektrochemische Metall-Metallionen-Reaktionen (bei 25° C)

## Galvanische Lokalelemente

Den Begriff der galvanischen Lokalelemente fassen wir wegen ihrer Bedeutung in der folgenden kleinen Systematik nochmals zusammen.

Die genannten Lokalelemente sind identisch mit den Korrosionselementen, die bei der Korrosion der Metalle auftreten. Sie können gebildet werden

- aus unterschiedlichen Metallen
- durch chemische und physikalische Ungleichheiten, die sich auf der Metalloberfläche befinden
- durch verschiedene Ablagerungen und Deckschichten auf der Metalloberfläche
- durch verschiedene Gefügebestandteile einer heterogenen Legierung
- durch unterschiedliche Spannungs- und Verformungsverhältnisse
- durch örtliche Unterschiede in der Salzkonzentration der angreifenden Lösung
- durch verschiedene Sauerstoffkonzentrationen in gleicher Lösung
- durch pH-Wert Änderungen in der Lösung

Die oben genannten Ursachen, die zur Bildung von Lokalelementen führen, erzeugen somit auf der Metalloberfläche ein Mosaik anodischer und kathodischer Bereiche, die bei Anwesenheit von Wasser oder anderer Elektrolyten die gefürchtete Korrosion auslösen.

## Metallangriff

Art, Umfang und Stärke des Metallangriffes, der durch ein Korrosionselement ausgelöst wird, ist wasserseitig vorwiegend durch die im Wasser gelösten Gase und Salze bestimmt. Dazu kommt die entscheidende Rolle der Wassertemperatur und vor allem der Einfluss des pH-Wertes. Von den Gasen sind es Sauerstoff und Kohlensäure, von den Salzen hauptsächlich die Chloride und Sulfate, die Umfang und Stärke der Korrosion beeinflussen.

In vielen Fällen ist es so, dass vorwiegend der Sauerstoffgehalt und die eventuell gegebene hohe Temperatur des Wassers Umfang und Stärke der Korrosion bestimmen, soweit der wasserseitige Einfluss massgebend ist.

Neue Erkenntnisse der letzten Jahre lassen aber die überragende Bedeutung des Zustandes der Metalloberfläche bei Vorgängen der Korrosion erkennen. An einer blanken Metalloberfläche, die keine Passiv- bzw. Schutzschichten aufweist, kann sich die Korrosion durch wasserseitigen Angriff eventuell verheerend auswirken; dagegen wird im Extremfall einer einwandfreien Schutzschichtbildung auf der Metalloberfläche ein wasserseitiger Angriff vergeblich

sein und die Korrosion ausbleiben.

Der Zustand der Metalloberfläche ist in Rohrleitungen und geschlossenen Anlagen oft die grosse Unbekannte, die nicht selten zu Fehlschlüssen bei Voraussagen über die zu erwartende Korrosion führt.

Aufgrund der genannten Zusammenhänge ist es schwer und oft unmöglich, im Temperaturbereich von 0 bis 100°C den Verlauf einer Korrosion durch Wasser mittels thermodynamischer oder chemisch-technischer Rechnung vorauszubestimmen. Es sind dazu Messungen nötig. Nur die gleichartige Vorausbehandlung der Metallflächen verschiedener Werkstoffe lassen bei Kurzversuchen Korrosionskurven entstehen, die miteinander vergleichbar sind.

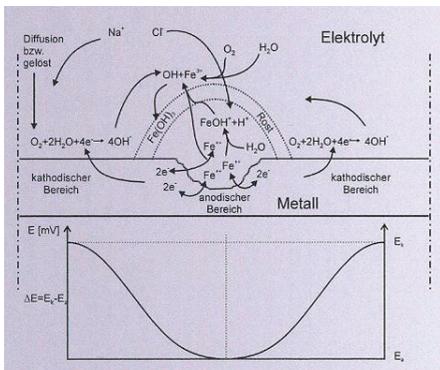
## Anode und Kathode

Das Lokalelement, weiterhin Korrosionselement genannt, besteht aus Anode und Kathode. An der Anode wird das Metall angegriffen, indem es positive Metall-Ionen in die Lösung abgibt. Da beim Austritt von positiven Metall-Ionen aus dem Metallgefüge gleichzeitig Elektronen zurückbleiben, reichert sich diese anodische Metalloberfläche mit Elektronen an. Die Anode löst sich infolge der Metall-Ionen Abgabe an das Wasser langsam oder schnell auf, je nach der Stärke des Korrosionselementes. Die an der Anode zurückgebliebenen Elektronen wandern auf der metallischen Oberfläche zur Kathode und werden dort durch verschiedene Kathodenreaktionen verbraucht. Die Kathode bleibt hierbei unangegriffen. Die ursprünglich an der Anode freigewordenen Elektronen, die über das Metall zur Kathode wandern, werden an Elektronennehmern z.T. an Wasserstoff-Ionen oder Sauerstoff weitergegeben und dort verbraucht.

Als Elektronennehmer können z.B. auch Eisen (III)-Ionen, Kupfer (II)-Ionen und metallische Schlämme, wie Manganschlamm, Eisenschlamm und unter Umständen auch Kohlenstoffteilchen, metallisch eisenhaltiger Sand u.a. auftreten. Sobald es gelingt, die anodischen und kathodischen Bereiche weitgehend auszugleichen oder die Potentialdifferenzen auf andere Art verschwinden zu lassen, wird der Stromfluss und damit die Korrosion beendet.

## Korrosionselement

Während der Korrosion werden Atome aus der metallischen Oberfläche herausgelöst und treten als positiv geladene Atome (z.B.  $\text{Fe}^{2+}$  oder  $\text{Cu}^{2+}$ ) in die Lösung über und lassen die entsprechende Zahl Elektronen zurück. Im Korrosionselement sind Anode und Kathode in metallisch leitender Verbindung. Über diese Verbindung fließen die Elektronen von der Anode zur Kathode. Der elektrische Stromkreis wird über die Elektrolyten (Wasser) geschlossen, indem positive Ionen zur Kathode wandern und dort durch die negativen Elektronen entladen oder durch Mitwirkung von gelöstem Sauerstoff oder von Wasserstoff-Ionen verbraucht werden. Auch andere Ionen oder Stoffe, die als Elektronennehmer wirksam werden, können die Korrosion in Gang setzen. In der Nähe der Kathode reichern sich Hydroxyl-Ionen an, da hier z.B. durch Entladung von  $\text{H}^+$ -Ionen der saure Charakter des Wassers zurückgeht.



stark gefördert. Das Wassermolekül ist ein dipolares Molekül, weil seine positiven und negativen Ladungen nicht gleichmäßig um den Mittelpunkt verteilt sind, sondern asymmetrisch liegen und dadurch positive und negative Pole bilden. Aus dieser Eigenschaft des Wassermoleküls ergibt sich zum grossen Teil die bemerkenswerte Fähigkeit des Wassers, andere Stoffe aufzulösen und in Ionen aufzuspalten, auch solche, die durch Ionenbildung zusammengehalten werden. Die elektrischen Kräfte der unsymmetrisch verteilten Ladungen des dipolaren Wassermoleküls sind so stark, dass sie in die Kristallstruktur der im Wasser befindlichen Salze eindringen können und diese in Ionen aufzuspalten vermögen. Die so gebildeten Ionen z.B. Chlorid- und Sulfat-Ionen, werden zusammen mit den gelösten Gasen, z.B. Sauerstoff, von dem Wasser an die Eisenwände herangeführt. Hierdurch ergeben sich die Korrosionen, die durch Erwärmung des Wassers noch erheblich verstärkt werden.

## Wasser als Korrosionsträger

Ohne Wasser sind Reaktionen nicht denkbar. In reiner Luft ohne Feuchtigkeit rostet Eisen nicht. So korrodiert die 2000 Jahre alte heilige Säule von Delhi nicht, obwohl sie aus einfachem unlegiertem Eisen besteht. Zum Rosten dieser Säule wäre eine Luftfeuchtigkeit von mindestens 65% notwendig, wie sie in Delhi nicht vorkommt.

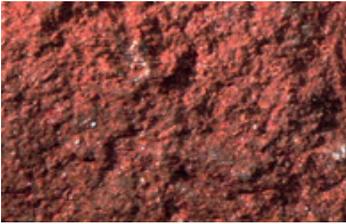
Ebenso bleiben die mehrere tausend Jahre alten eisernen Ketten auf dem höchsten Berg von Ceylon und die Gipfelkreuze und Eisenklammern auf den höchsten Alpenbergen rostfrei. Das Eisen verliert in der reinen, trockenen Luft des Sudans nur 3 g/m<sup>2</sup> Oberfläche jährlich, dagegen in der feuchten, heissen Seeluft von Singapur 90 g/m<sup>2</sup>.

Die Korrosion des Eisens durch Wasser wird durch die sogenannte „dipolare“ Eigenschaft des Wassermoleküls

# Einige Formen der Korrosion

Der Korrosionsvorgang kann verschiedene Formen annehmen. Wir unterscheiden Korrosionsform und Korrosionstyp. Die Liste der Formen der Korrosion soll nicht vollständig sein, sondern nur die wichtigsten in der Praxis vorkommenden Begriffe enthalten.

## Flächen-Korrosion



Korrosion, bei der das Metall annähernd parallel zur Oberfläche abgetragen wird.

## Lochfrass



Örtlicher Korrosionsvorgang, der zu kraterförmigen, nadelstichtartigen Vertiefungen und am Ende zur Durchlöcherung führt.

## Korrosionsnarbe

Örtlich flache Anfrassung in Form einer Narbe.

## Bewuchskorrosion

Korrosion, die durch Bewuchs mit Organismen entsteht und zu Lochfrass führen kann.

## Interkristalline Korrosion



Korrosion entlang der Korngrenzen des Metallgefüges.

## Korngrenzkorrosion

Sie entspricht der interkristallinen Korrosion.

## Transkristalline Korrosion

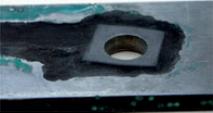
Korrosion, die durch das Innere des Kornes verläuft.

## Spannungsrissskorrosion



Sie tritt auf, wenn infolge innerer Spannung im Werkstück die Korrosion verstärkt wird.

## Spaltkorrosion



Diese Form kann in den Spalten unter Unterlagscheiben, Bolzen, überlappten Teilen usw. auftreten.

## Selektive Korrosion

Korrosion bestimmter Gefügebestandteile.

# Guldager

## Denmark

Guldager A/S  
Hejrevang 1-5  
DK-3450 Allerød  
Denmark  
Tel. +45 48 13 44 00

## Switzerland

Guldager (Schweiz) AG  
Schneckelerstrasse 20  
4414 Füllinsdorf  
Switzerland  
Tel. +41 61 906 97 77

## Belgium

Guldager N.V.  
Halleweg 385  
1500 Halle  
Belgium  
Tel. +32 2 569 09 73

## Germany

Guldager A/S  
Paderborner Straße 7C  
10709 Berlin  
Germany (sales office)  
Tel. +49 30 89 09 13 52

[www.guldager.com](http://www.guldager.com)

