

# Metallkorrosion in Holz

Autor(en): **Meierhofer, U.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **108 (1990)**

Heft 24

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77454>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Metallkorrosion in Holz

**Seit einigen Jahren, nicht zuletzt, seit vor rund 10 Jahren das imprägnierte Brettschichtholz (BSH) mit Erfolg auf dem Schweizer Markt eingeführt worden ist, erfreut sich der Holzaussenbau zunehmender Beliebtheit. Leider steigt damit auch die Gefahr von Fehlanwendungen, falls die für den Holzaussenbau erforderliche besondere Sorgfalt der Planung und Ausführung nicht aufgewendet wird [1, 2]. Im Zusammenhang mit den Problemen der Feuchtwechsel und der intensiven Holzdurchfeuchtung spielt auch die Korrosion der metallischen Verbindungsmittel eine wichtige Rolle, wobei die Problematik durch die Anwesenheit von Holzschutzmitteln verschärft werden kann.**

## Korrosion als elektro-chemischer Prozess

Zwischen zwei Metallteilen in einem leitenden Medium – wie beispielsweise feuchtem Holz – kann unter bestimmten Voraussetzungen ein Spannungsgelände entstehen und Strom fließen: Ein Stromkreis entsteht. Der Strom fliesst von der negativen Kathode zur positiven Anode, an der bei diesem Prozess Metall abgebaut wird: Das Metall korrodiert in einem elektro-chemischen Prozess.

Eine Spannung entsteht beispielsweise, wenn zwei unterschiedliche Metalle – wie Kupfer und Eisen – in einem Stromkreis verbunden werden. In diesem Fall bildet das «edlere» Metall (d.h. das weniger korrodierbare Kupfer) die Kathode, während das weniger edle Eisen zur Anode wird, die korrodiert bzw. abgebaut wird.

Aber auch bei einzelnen Verbindungsmitteln (aus nur einem Metall) kann Korrosion aufgrund von verschiedenen Mechanismen entstehen. Zum Beispiel kann der Nagelschaft, der im Holz eingeschlagen ist, anodisch zum exponierten Nagelkopf werden, da im Holz weniger Sauerstoff vorhanden ist. Ein anderer Mechanismus besteht darin, dass das Verbindungsmittel zwei Holzteile mit unterschiedlichem pH-Wert verbindet, bzw. dass diese unterschiedlich sauer sind oder aber eine unterschiedliche Salzkonzentration aufweisen.

Korrosionszonen im Holz können leicht aufgrund der Abbauprodukte festgestellt werden: So wird Alkali um die Kathode herum gebildet, und die Anwesenheit von löslichen Metallsalzen von der Anode kann dunkelfarbene Reaktionsprodukte mit Holzbestandteilen hervorrufen. Dort, wo sich Korrosionsprodukte ansammeln, wird das Holz angegriffen. In fortgeschrittenem Zustand wird es soweit abgebaut, dass die Tragfähigkeit der Verbindung erheblich beeinträchtigt wird (sofern das

Holz nicht ohnehin infolge einer andauernd hohen Holzfeuchte vermorscht).

## Feuchtigkeit

Die Feuchtigkeit ist zweifellos der wichtigste Einzelfaktor, da alle korrosiven Vorgänge die Anwesenheit von Feuchtigkeit benötigen. Der Schwellenwert der Holzfeuchte, unter dem keine wesentliche Korrosion am eingeschlossenen Metall entsteht, liegt im Bereich von 15%–18%, entsprechend einer relativen Luftfeuchte von 70%–80%. Falls die Holzfeuchte diesen Wert nicht übersteigt, ist in irgendeiner Kombination von Holz, Metall oder chemischer Behandlung nur wenig Korrosionsgefahr vorhanden. Falls die Holzfeuchte diesen Wert jedoch übersteigt, was auch nur oberflächlich durch Kondensation aus der umgebenden Atmosphäre der Fall sein kann, ist Korrosion möglich. Die *Kontrolle der Holzfeuchtigkeit* ist deshalb die *wichtigste Massnahme* zur Eindämmung einer Korrosionsgefahr.

## Holzarten

Die meisten Hölzer sind sauer (pH-Wert um 5). Die Säuren (z.B. Ameisensäure, Essigsäure) sind teilweise flüchtig und können demnach Metall nicht nur im direkten Kontakt angreifen, sondern auch über die Umgebungsluft; dies ist insbesondere bei Verpackungsmaterial zu beachten. Es gibt keine Holzart, die ganz neutral ist. Bestimmte Holzarten, vor allem das Kernholz von Eiche, Nussbaum und Douglasie, sind bekannt für ihr ausgeprägt saures Milieu. Dies kann in feuchter Umgebung grosse Probleme mit empfindlichen Metallen wie Eisen hervorrufen. Die bei uns gängigsten Nadelhölzer wie Fichte, Tanne und Föhre sind demgegenüber wesentlich weniger aggressiv

Der nachfolgende Bericht ist eine überarbeitete und ergänzte Übersetzung des Informationsblattes 301 vom September 1985 des britischen «Building Research Establishment». Die Übersetzung und Bearbeitung erfolgte durch: Ulrich Meierhofer, Dübendorf.

und haben den zusätzlichen Vorteil, dass sie gegenüber chemischen Einwirkungen verhältnismässig wenig empfindlich sind.

Bei kapillar wenig durchlässigen Holzarten wie beispielsweise der Fichte ist die Eindringgeschwindigkeit von Wasser und wässrigen Lösungen sehr gering, was sich auf die Korrosionsgeschwindigkeit von eingebetteten Metallen günstig auswirkt.

## Salze

In einer Korrosionszelle fliesst der elektrische Strom von einer Elektrode zur anderen durch die elektrolytische Brücke, die in unserem Fall durch die Feuchtigkeit in der Holzmatrix gebildet wird. Dabei wird die Korrosionsgeschwindigkeit wesentlich durch die elektrische Leitfähigkeit der Flüssigkeit beeinflusst. Unbehandeltes Holz enthält normalerweise nur geringe Mengen von leitfähiger Flüssigkeit.

Dies ist der begrenzende Faktor im Stromkreis. Die Leitfähigkeit der elektrolytischen Brücke und damit auch die Korrosionsgeschwindigkeit steigen jedoch drastisch an, falls das Wasser im Holz Salze enthält, beispielsweise von Meerwasser, bestimmten Holzschutzmitteln oder entzündungshemmenden Schutzmitteln. Höhere Konzentrationen von Salz im Holz können ausserdem dessen Austrocknen wesentlich verlangsamen und bilden somit einen weiteren Faktor für die Zunahme des Korrosionsrisikos.

## Metalle

Eine grosse Auswahl von Metallen und Legierungen gelangen in Form von Nägeln, Schrauben, Blechen usw. in Kontakt mit Holz. Ihre Dauerhaftigkeit wird durch das Elektropotential des Metalls wesentlich beeinflusst. Jene Metalle, die kathodisch im Vergleich mit Wasserstoff sind, d.h. mit einem positiven Potential wie beispielsweise



Kupfer, verhalten sich günstiger als anodische Metalle wie beispielsweise Blei, Zink und Eisen.

*Unlegierter Stahl* korrodiert in ungünstigen Situationen rasch. Die freigesetzten Eisensalze greifen das Holz an und verursachen schwarzblaue Flecken in bestimmten Holzarten wie Eiche, Douglasie oder manchen Tropenhölzern.

*Kupfer* und Kupferlegierungen erweisen sich im allgemeinen als sehr beständig, wie auch dauerhafte Legierungen aus austenitisch rostfreiem Stahl, Siliziumbronze und Phosphorbronze. Kupfer bildet in der Atmosphäre eine dichte Schutzschicht, die sog. Patina, meist als basisches Kupfersulfat. Nichtrostende Stähle sind auch in feuchtem Holz sehr beständig, wobei sie allerdings unter bestimmten Bedingungen lokal angegriffen werden können. Insbesondere eignen sich die im Bauwesen üblichen austenitischen Chrom-Nickel-Stähle nicht für die saure, chlorhaltige Atmosphäre von Hallenbädern, da sie für transkristalline Spannungsrisskorrosion ausgesprochen anfällig sind (Ursache des Einsturzes der Decke im Hallenbad Uster).

*Aluminium* hat ein Elektropotential, das noch negativer als dasjenige von Zink ist, und wird, wie auch Zink, durch Alkali angegriffen. Es wäre deshalb zu erwarten, dass Aluminium wenig dauerhaft ist. Tatsächlich ist es in Verbindung mit kathodischen Elementen wie beispielsweise Kupfer der bimetallicchen Korrosion ausgesetzt. Trotzdem weist Aluminium ein sehr gutes Verhalten in vielen Situationen auf, weil es durch eine Oxidschicht gut geschützt (passiviert) wird.

Die *Abtragsraten* von Metallen im Kontakt mit feuchtem Fichtenholz und bei direkter Bewitterung können gemäss Versuchen der EMPA-Abteilung «Anstriche/Beschichtungen/Korrosion» auf dem EMPA-Areal wie folgt angegeben werden (Werte in 1/1000 mm pro Jahr):

	Kontakt mit feuchtem Fichtenholz	bewittert
Unlegierter Stahl	11,0	37,0
feuerverzinkter Stahl	3,3	2,6
Kupfer	0,9	1,2
Messing 63	1,0	
Aluminium	0,3	0,6
Blei	2,0	1,9

Wenn sich ungleiche Metalle berühren, kann dies *bimetallicche Korrosion* verursachen. Falls sich konstruktiv nicht verhindern lässt, dass zwei verschiedene Metalle nebeneinander liegen, soll-

ten sie durch ein möglichst undurchlässiges, nichtleitendes Material wie Kunststoff voneinander getrennt werden.

*Undurchlässige Beschichtungen* verbessern das Verhalten von Verbindungsmitteln. Einen gewissen Schutz verleihen bereits Fett und Lanolin. Eine undurchlässige Beschichtung aus Kunststoff wie z.B. Epoxidharz, das fest auf der Metalloberfläche haftet, bildet eine wirksame Trennung vom Holz und ist auch unter sehr ungünstigen Bedingungen wirksam (wobei allenfalls die begrenzte Witterungsbeständigkeit von Epoxidharzen zu beachten ist).

Die heute häufigste Kombination von Metall und Schutzmassnahme ist verzinktes Eisen oder Stahl. *Zink* wird zugunsten des kathodischen Stahls langsam abgebaut und bildet eine gute, verhältnismässig dauerhafte Schutzschicht, besonders wenn es als dicke Feuerverzinkung aufgebracht wird. Gemäss DIN 1052 sind die Anforderungen an die Verzinkung als örtliche Mindestschichtdicke oder mittlere Mindestzinkauflage formuliert und schwanken zwischen 7 mm bzw. 50 g/m<sup>2</sup> bei geringen Anforderungen bis 50 mm bzw. 400 g/m<sup>2</sup> unter ungünstigen Bedingungen.

*Nagelplatten* werden üblicherweise aus feuerverzinktem Blech gestanzt. An den Schnittstellen wird der ungeschützte Stahl freigelegt und weist somit Angriffsflächen für Korrosion auf. Unter Umständen kann jedoch auch die Zinkschicht beim Stanzen über die freigelegten Schnittflächen hinübergezogen werden, was eine positive Wirkung ausübt. Wenn jedoch die schützende Zinkschicht aufgebraucht ist, macht das ungünstige Flächenverhältnis von Anode zu Kathode die Nagelplatten für Korrosion sehr empfindlich.

Ein massgebender Faktor für die Wahl eines Metalls sind eindeutig die *Kosten*. Die ausgesprochen dauerhaften Verbindungsmittel sind sehr teuer, und es ist zweckmässig, sie nur in Situationen zu verwenden, in denen die Umgebung aggressiv oder wo die vorgesehene Lebensdauer der Verbindung relativ lang ist. Insbesondere aber dort, wo die Tragfähigkeit der Verbindung von grosser Bedeutung für die Integrität des Bauwerkes ist, lassen sich auch höhere Kosten für hochwertige Verbindungsmittel rechtfertigen, bewirkt doch ein Ausfall einer Verbindung Folgekosten, die in keinem Verhältnis stehen mit den ursprünglichen Kosten.

### Holzschutzmittel

Wenn Holz ungünstigen Umgebungs- und Witterungsbedingungen ausgesetzt

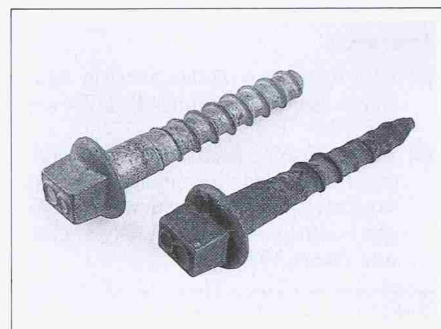


Bild 1. Erhebliche Querschnittsverminderung einer Eisenbahn-Schwellenschraube durch Korrosion

ist (vgl. [1]), kann ein chemischer Holzschutz unerlässlich sein. Eine genügende Wirksamkeit weisen dabei nur gross-technische Verfahren mit Vakuum/Druckimprägnierung auf. In der Schweiz sind drei verschiedene Typen von Holzschutzmitteln üblich:

- Steinkohlenteeröl,
- ölige Schutzmittel,
- wasserlösliche Schutzsalze.

Steinkohlenteeröl und ölige Schutzmittel haben einen geringen Einfluss auf die Korrosion von metallischen Verbindungsmitteln. Allerdings haben sowohl das Steinkohlenteeröl als auch die organischen Schutzmittel, besonders wenn sie noch wasserabweisende Substanzen enthalten, eine stabilisierende Wirkung auf die Holzfeuchte und können auf diese Weise die Korrosion von Metallteilen reduzieren. Wasserlösliche Bor-salze können als Rosthemmer wirken; sie haben in den Konzentrationen, die für den Einsatz als Pilzschutzmittel üblich sind, keine ausgeprägte Wirkung auf Metalle.

Die in der Schweiz gängigen CKF-(Chrom-Kupfer-Fluor)- und CKB-(Chrom - Kupfer - Bor) - Behandlungen bedeuten in trockenem Holz keine Erhöhung des Korrosionsrisikos. Wenn jedoch das behandelte Holz nass ist (auch nach der vorgeschriebenen Fixierzeit, welche die meisten aktiven Bestandteile der Schutzsalze unlöslich macht bzw. «fixiert»), wird die Korrosion im Vergleich mit unbehandeltem Holz beschleunigt. Die löslichen Natriumsulfate, die während der Fixierung gebildet werden, fördern die Leitfähigkeit des Holzes.

Restmengen von löslichen Kupfersalzen im Holz können zu den Oberflächen von anodischen Metallen wie Zink und Aluminium migrieren und die Korrosion dieser Metalle beschleunigen.

### Entzündungshemmende Mittel

Einzelne entzündungshemmende Imprägnierungen bedeuten ein erhebli-



**Literatur**

- [1] EMPA-Lignum: Holzschutz im Bauwesen. Richtlinie. Dübendorf/Zürich 1983/84
- [2] EMPA/SSH: Brettschichtholz für den Innen- und Aussenbau. Empfehlung zur Sicherstellung der langfristigen Funktionstüchtigkeit. Dübendorf und Zürich 1988

ches Korrosionsrisiko infolge ihres hohen Gehaltes von Salzen wie beispielsweise Ammoniumphosphat und Ammoniumsulfat. Andere Produkte, die auf einer hohen Konzentration von Borsalzen basieren, sind weniger aggressiv. Die geringsten Korrosionsprobleme verursachen jedoch im allgemeinen organische, auf Polymeren basierende Schutzmittel.

**Beanspruchungsbedingungen**

Spezielle Aufmerksamkeit und Massnahmen sind geboten, falls sich die Holzkonstruktion bzw. ihre Metallteile in einer korrosiven Atmosphäre befinden (z.B. saure Gase in Werkhallen, Salzlagerhallen). Üblicherweise wird jedoch - wie bereits erwähnt - die Dauerhaftigkeit vor allem durch hohe Feuchtigkeiten bedroht. Von den Beanspruchungsbedingungen her lassen sich vier Korrosionsrisikogruppen umschreiben:

**Kein Risiko**

In gut belüfteten Räumen, besonders wenn im Winter beheizt (vgl. Tab. 1 «Durchschnittliche Holzfeuchte von Bauteilen» der Norm SIA 164 (1981) «Holzbau»).

**Geringes Risiko**

In offenen, überdachten Konstruktionen, wo eine Überwachung und ein Unterhalt ohne weiteres möglich sind. Eine Korrosionsgefahr besteht hier im wesentlichen an der Oberfläche, wo gelegentlich Oberflächenkondensat entstehen kann.

**Mässiges Risiko**

Bei Bauteilen mit geringer Durchfeuchtungswahrscheinlichkeit, wo jedoch Überwachung und Unterhalt erschwert oder kaum möglich sind.

Bei Bauteilen mit mässiger Befeuchtungswahrscheinlichkeit, wie den «vor Bewitterung teilweise geschützten Bauteilen» (vgl. SIA 164).

**Erhebliches Risiko**

Bauteile in ungünstigen, feuchten und korrosiven Umgebungsbedingungen, besonders solche mit schwer einsehbaaren Verbindungen, deren Versagen weitreichende Konsequenzen hat.

Für das Festlegen der geeigneten Massnahmen ist es demnach unerlässlich, jede Beanspruchungssituation individuell zu untersuchen: Durchfeuchtungswahrscheinlichkeit, Kontrollierbarkeit, Versagungskonsequenzen, Möglichkeit für Unterhalt und Sanierung.

**Folgerungen und Empfehlungen**

Die wirksamste Methode Korrosion zu verhindern ist das *Holz trocken zu halten*. Dies kann durch eine Anzahl von Massnahmen in Planung, Fabrikation, Transport, Zwischenlagerung und Montage erreicht werden. Falls ein Trockenbleiben des Holzes in allen diesen Phasen nicht sichergestellt werden kann, muss die Korrosion der Verbindungsmittel durch eine geeignete Wahl von Holz, Metallen und Schutzmitteln verhindert werden. Bei der Durchführung der verschiedenen Massnahmen ist folgendes zu beachten:

- Unlegierter Stahl darf nicht (ungeschützt) als Verbindungsmittel in den saureren Holzarten verwendet werden oder in Situationen, wo die Gesamttragfähigkeit beeinträchtigt werden kann.
- Dunkelfarbene Flecken von korrodiertem Eisen beeinträchtigen die dekorative Oberfläche von Holzarten wie Eiche und Afrormosia.

Günstigere Eigenschaften weisen feuerverzinkter Stahl, Kupfer und Messing auf.

Unter den meisten Anwendungsbedingungen weisen Aluminium und rostfreier Stahl die beste Dauerhaftigkeit auf.

Folgende Punkte sind zur Verhinderung von Korrosionsschäden unbedingt zu beachten:

Der Kontakt zwischen verschiedenen Metallen im Holz muss verhindert werden.

In der Gegenwart von Salzen (von Meerwasser, salzartigen Flammenschutzmitteln etc.) sind korrosionsbeständige Verbindungsmittel unerlässlich.

Fungizide Behandlungen mit Salzlösungen müssen völlig fixiert sein, bevor das Holz in Berührung kommt mit metallischen Verbindungsmitteln (und anderen Metallteilen), die zumindest aus feuerverzinktem Stahl hergestellt werden sollten. Da es durch Kupferverbindungen aus dem Schutzsalz angegriffen werden kann, darf Aluminium unter sehr ungünstigen Voraussetzungen nicht empfohlen werden. Eine langfristige Funktionstüchtigkeit ist von Verbindungsmitteln aus Kupfer, Siliziumbronze, rostfreiem Stahl oder kunststoffbeschichtetem und verzinktem Stahl zu erwarten.

Die Wahl der metallischen Verbindungsmittel hängt schliesslich auch von der erwarteten Lebensdauer ab. Wo die Tragsicherheit ein wesentlicher Gesichtspunkt ist und wo Sanierungen sehr teuer und umständlich sind, bedeuten zusätzliche Kosten für dauerhaftere Verbindungsmittel zweifellos eine sinnvolle Investition.

Adresse des Bearbeiters: U. Meierhofer, dipl. Ing. ETH, EMPA, 8600 Dübendorf.