Korrosionsschutz ohne Planung: Korrosion!

Ferdi Rickenbacher und Ingo Wulff, Hombrechtikon

Zusammenfassung

Der Artikel plädiert für ein konzeptionelles Angehen aller Korrosionsschutzfragen in der Planungs- und Projektierungsphase.
Ein Korrosionsschutzkonzept, das in die Qualitätssicherung eingebettet ist, ermöglicht Kosteneinsparungen und Kostentransparenz bei Bau und Unterhalt, klare Qualitätsvorgaben für alle Projektphasen und Entlastungsmöglichkeiten bei berechtigten oder unberechtigten Gewährleistungs- oder Produktehaftungsansprüchen.
Die Betrachtungen gelten für Investitionsgüter und insbesondere für den Stahlbau, sie sind aber auch auf andere Branchen adaptierbar.

Protection anti-corrosion non planifiée: corrosion! – Résumé

L'article plaide en faveur d'une approche conceptuelle de toutes les questions de protection contre la corrosion dans la phase de la planification et dans celle de l'étude d'un projet.
Un concept de protection contre la corrosion, inclus dans la garantie de qualité, permet des économies et la transparence des coûts lors de la construction et de l'entretien, un dessin qualitatif clair pour toutes les phases du projet et des possibilités d'exonération lors de revendications, justifiées ou non, relatives à une garantie ou à la responsabilité civile produits.
Les considérations valent pour des biens d'investissement et pour la construction métallique en particulier, mais elles peuvent être adaptées à d'autres branches.

Corrosion protection without planning: Corrosion! – Summary

The article pleads for a conceptional approach to all questions of corrosion protection during the planning and projecting phase.
A corrosion protection concept which is embedded in the quality assurance, enables costs savings and cost transparency in construction and maintenance, clear quality demands for all project phases and possibilities of relief for justified and unjustified guarantee and product liability demands.
These considerations are valid for investment goods and especially for steel construction, but they are also adaptable to other branches.

1. Situation und Stellenwert von Korrosionsschutzmassnahmen

Der Weg des Korrosionsschutzes ist begleitet von Wunschvorstellungen, Irrtümern, Unterlassungen, Fehlern und Schäden. Die Korrosionsschutzthematik ist als direkte Folge in Misskredit geraten.
Die Vielfalt der zur Verfügung stehenden Stoffe, Bauweisen, unterschiedlichen Anforderungen und gesetzlichen Vorlagen hat den Korrosionsschutz zugegebenermassen nicht gerade vereinfacht. *Um so mehr darf Korrosionsschutz nicht zufällig, als notwendiges Übel, oder gar ungeplant entstehen.* Weshalb? Das sollen die nachfolgenden Sichtweisen skizzieren.

1.1 Situation aus volkswirtschaftlicher Sicht

Die direkten Korrosionsverluste und die indirekten Folgekosten (Instandsetzung) betragen für die Schweiz ca. 7 Milliarden CHF pro Jahr, *wovon ca. 30% durch richtige Anwendung vorhandener Kenntnisse und Techniken einzusparen wären.*
Knappe Erstinvestitionsbudgets und unklare Anforderungen an die Unterhaltskosten von öffentlichen Bauten können dazu führen, dass aus vermeintlichen Kostengründen das «billigste» als das preisgünstigste Korrosionsschutzsystem angesehen und gewählt wird. Die nicht budgetierten Folgekosten müssen später «zwangsläufig» unter Wartung und Unterhalt verbucht werden. Diese wenig kostentransparente Vorgehensweise verärgert letztlich auch den Stimmbürger.

1.2 Situation aus Sicht der Ausbildung

Nicht alle Korrosionsschäden sind gänzlich vermeidbar, doch sollten daraus volkswirtschaftlich verwertbare Erkenntnisse gezogen und diese korrekt angewendet und vor allem weitergegeben werden. Hier besteht leider bei der Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren ein Defizit. Der Stellenwert vorhandener Kenntnisse muss dem von Forschung und Entwicklung gleichkommen: *Korrosion und ihre Verhütung gehören in Theorie und Praxis an alle technischen Fach- und Hochschulen!*

1.3 Situation für den Bauherrn

«Korrosionsschutz beginnt am Reissbrett», besagt ein abgenutztes Zitat. Tatsächlich ist sein Beginn früher, nämlich dann, wenn über Erstinvestitionsbeträge und Unterhaltskosten verhandelt wird. Vor allem letztere können den Stein (oder Rubel) kräftig ins Rollen bringen, wenn der Bauherr mit seinem mangelhaften Objekt nach Ablauf der Gewährleistungspflicht alleine dasteht. Denn Beschichtungsmaterial- und Applikationsfehler manifestieren sich mit grosser Sicherheit innert zweier Jahre Beanspruchung als sichtbare Schäden. Konzeptionelle Unterlassungen oder Mängel aber zeigen u. U. erst viel später ihre kostenintensive Wirkung.
Die oftmals lange Objektnutzungsdauer (Lebensdauer) von Investitionsgütern kann zwei, drei *Korrosionsschutzsysteme* überleben, weil diese altern und abgebaut werden *(Abb. 1 bis 3).* Als Konsequenz sind ein hoher Anfangsschutzwert ohne Schwachstellen sowie effiziente Inspektions-, Unterhalts- und Erneuerungssysteme anzustreben.
Die ökologischen und ökonomischen Anforderungen sind in einem Pflichtenheft zu formulieren und durch den Planer umzusetzen. Hier stellt sich für den Bauherrn die Frage, ob der Planer das kann.

1.4 Situationen für den Planer und den Projektleiter

Fest steht, dass Korrosionsschutzkonzepte (geplanter Korrosionsschutz) nicht die Regel sind. Die folgenden, praxisentlehnten Bilder geben die Situation, ein wenig überzeichnet, wieder:

- Der Korrosionsschutz wird von der Projektierungs- bis zur Ausführungsphase als notwendiges Übel angese-

Sonderdruck Nr. 1349 aus gwa 8/95 des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW), Zürich.

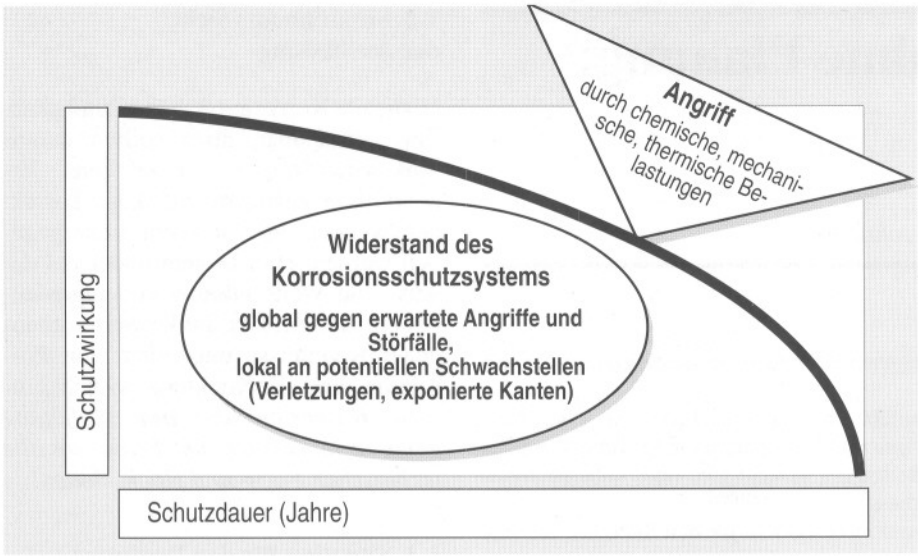


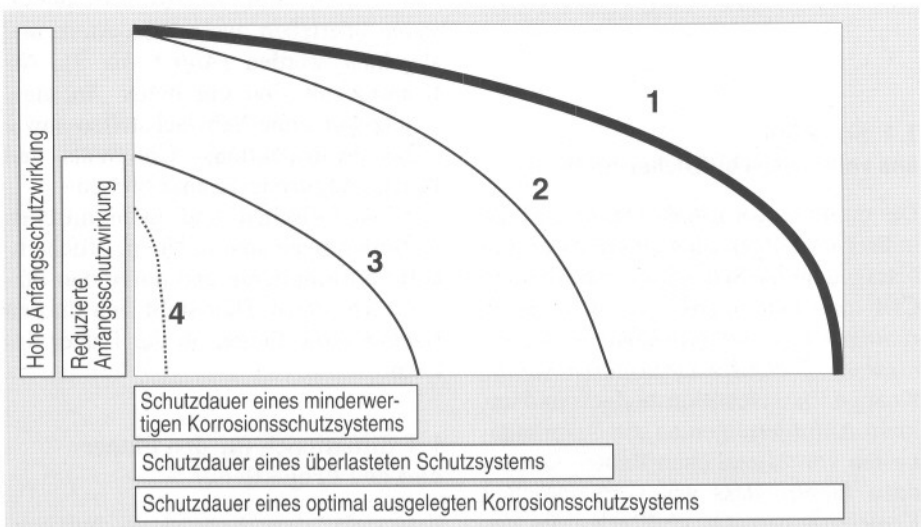
Abb. 1 Interaktion zwischen Angriff und Widerstand für ein Korrosionsschutzsystem. Die hohe Schutzwirkung zu Beginn der Nutzung verringert sich während der Schutzdauer bis auf Null, da der Angriff einen Abbau (metallischer Überzug) und/oder eine Alterung (Polymer-Beschichtung) bewirkt.

hen, bedenkenlos und ohne brauchbare Vorgaben weiterdelegiert, zu immer weniger kompetenten Instanzen, weg von der Projektverantwortlichkeit zur «Eigenverantwortung der Unternehmer».

- Der undefinierte Korrosionsschutz wird im Wettbewerb zugunsten anderer Forderungen minimiert und verkommt so zum Kostenpuffer.
- Ein «billiges» Korrosionsschutzsystem kommt schliesslich unter ungeeigneten Randbedingungen zur Ausführung.
- Kontrollen für die Ausführung finden weder beim Hersteller vor Ort (immer häufiger auch bei EU-Zulieferern) noch als Eingangskontrollen auf der Baustelle statt. Die «verdeckten Mängel» werden also unentdeckt eingebaut – Lean Production (schlanke Produktion), einmal anders.

Tatsächlich interessieren Projektleiter, Konstrukteure oder Bauingenieure in erster Linie die technischen, berechenbaren Eigenschaften der Konstruktionswerkstoffe. Mit der weniger gut berechenbaren Korrosion und ihrem Umgang in allen Bauphasen sind sie allgemein weniger vertraut. Die Probleme Funktionserfüllung, gestalterische Umsetzung, Kosten und Termine beherrschen das Durchschnittsdenken.

Wie leicht werden so einzelne Folgen von Korrosion und Korrosionsschutz vergessen oder als nicht relevant vernachlässigt. Doch das kostet. Denn Kosteneinsparungen sind vor allem in der Planungsphase effizient *(Abb. 4)*. Und sowohl Korrosion als auch Korrosionsschutz können Folgen auf die Statik zeitigen (z. B. Laschenverbindungen mit hochfesten, vorgespannten Schraubverbindungen). *Der Korrosionsschutz ist also nur so gut wie seine Schwachstellen. Diese sind vor der Ausführung herauszufinden, und nicht hinterher zu kaschieren.*



1) Vollwertiges Korrosionsschutzsystem, optimal ausgelegt auf die zu erwartende Korrosionsbelastung und auf die geforderte Schutzdauer und optimal ausgeführt.
2) Vollwertiges Korrosionsschutzsystem, stärker belastet, mit reduzierter Schutzdauer.
3) Minderwertiges Korrosionsschutzsystem, belastet wie 1, mit weiter reduzierter Schutzdauer.
4) Mangelhaftes Korrosionsschutzsystem, Schutzdauer < Gewährleistungsfrist.

Abb. 2 Interaktion zwischen Angriff und Widerstand von vier unterschiedlichen Korrosionsschutzsystemen.

1.5 Situation in der Ausschreibungsphase

Des öfteren zeugen Ausschreibungstexte von wenig Fachwissen zu Korrosionsschutzarbeiten. Kein NPK ersetzt «Die besonderen Bestimmungen für den Korrosionsschutz» (Bestandteil des Korrosionsschutzkonzepts), denn jedes Objekt ist ein Unikat.

Qualität wird wohl überall grossgeschrieben. Aber sie wird punkto Korrosionsschutz auf Seiten Planer und Unternehmer zuwenig ausformuliert. Vermehrt gewünscht sind einerseits präzise Qualitätsanforderungen und andererseits das Ausweisen von echten Qualitätsmerkmalen. Sonst wird der Auftrag über die Quantität (Preis und Termine) zugesprochen.

1.6 Situation in der Ausführungsphase

Unterlassungen der Planung und Submission kommen in der Ausführungsphase ans Licht *(Abb. 3)*.

Ungeplanter Korrosionsschutz, unklar ausgeschrieben, billig vergeben und unter gequälten Preisen und Terminen durchgeführt, zeitigt sicher Folgen:

- Die Beteiligten sind von Frust und Hetze gezeichnet.
- Die Termine sind überzogen, und etliche Rückbehalte wegen Schwachstellenmängeln sind angemeldet.
- Die provisorischen Schlussabrechnungen der Unternehmer zeigen noch vor Ablauf der Gewährleistungsfrist tiefrote Zahlen.

Im typischen Tagesgeschäftsdenken in der Ausführungsphase entscheidet sich

auch, ob Qualität nur ein Lippenbekenntnis der Planung und der Unternehmer bleibt oder tatsächlich verwirklicht wird. Korrosionsschutzarbeiten sind über die Quantität, also über Franken und Termine, eben einfacher kontrollier- und durchsetzbar als über die Qualität. Kontrollen sind schon deshalb nötig, weil die Unternehmen nicht selten mehr Fachkräfte offerieren, als sie später für die Ausführung stellen können.

1.7 Situation aus Sicht der Rechtslage

Die Rechtslage ist geprägt von der bekannten Gewährleistungsfrist und der relativ neuen Produktehaftpflicht, die seit 1.1.94 in Kraft ist *(Abb.5)*.

- Die *Gewährleistung* ist eine Haftung für Mängel am Produkt selbst (Gebrauchs- und Funktionstüchtigkeit), die der Architekt/Ingenieur und/oder Unternehmer gegenüber dem Besteller vertraglich und befristet leistet.
  Innerhalb der üblichen Gewährleistungsfristen treten Material- und Applikationsfehler mit sehr grosser Sicherheit, Konzeptfehler aber nicht zwingend auf. Treten letztere nach Ablauf der Gewährleistung auf, sind sie, z. B. wegen gealterten Beschichtungen, nicht mehr zweifelsfrei dem tatsächlichen Verursacher zuschreibbar (Beweisnotstand).
- Die *Produktehaftpflicht* deckt Folgeschäden, insbesondere an Personen und an anderen, privat genutzten Produkten, aufgrund mangelhafter Sicherheit eines Produkts, und zwar verschuldensunabhängig, ohne Vertrag und zeitlich nur durch die Lebensdauer begrenzt. Das PrHG wirkt dreifach: In erster Linie qualitätssichernd (offensiv) und präventiv (bzw. defensiv), und in zweiter Linie schadensausgleichend.

Offensive Massnahmen schaffen aktiv Qualität und sind direkt an der Wertschöpfung beteiligt. Korrosionstechnisch zählen beispielsweise dazu: die Evaluation der Korrosionsschutzsysteme in der Planungsphase oder das Kantenbrechen in der Ausführungsphase.
Defensive Massnahmen sichern das Erreichte, damit bei berechtigten oder unberechtigten Schadensansprüchen der Nachweis einer korrekten Auslegung (für alle korrosionstechnischen Gefährdungssituationen während der voraussichtlichen Lebensdauer) und einer korrekten Ausführung glaubhaft nachvollziehbar wird. In der Planungsphase gehören beispielsweise die Dokumentation der Entscheidungswege, die Ergebnisse von Vorversuchen, Kompatibilitätsnachweisen oder Mustern dazu, und in der Ausführungsphase die Ergebnisse von Kontrollen an Haltepunkten.
Die Aufwände für diese QS-Massnahmen entsprechen dem *Gefährdungsrisiko* (Risiko = Versagenswahrscheinlichkeit × Schadenstragweite).
Die *Produktehaftung* hat die Situation für den Projektleiter verschärft, da sie *keine Verjährung* kennt und *verschuldensunabhängig* wirkt. Sie will Wettbewerb auf Kosten der Sicherheit verhindern.
Der tragische Unfall «Hallenbad Uster» von 1985, auf heutige Verhältnisse übertragen, zeigt die Dringlichkeit eines Korrosionsschutzkonzepts: Bei der Auslegung der Korrosionsschutzsysteme wäre die Problematik erkannt und wirksam gelöst worden, die Auffälligkeiten wären dank Inspektion und Unterhaltsplan frühzeitig und in der ganzen Trag-

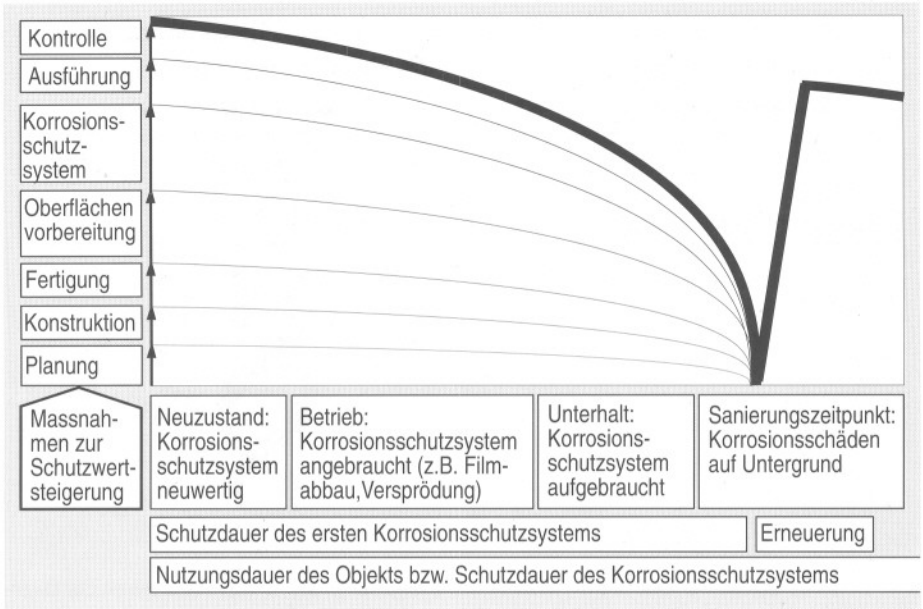


Abb.3 Die Anfangsschutzwirkung des Korrosionsschutzsystems ist die Summe verschiedener Massnahmen. Die entscheidende Basis liefern die Planung und die Konstruktion. Wichtige Einflüsse sind die korrosionstechnische Fertigung, die Oberflächenvorbereitung für die Applikation sowie die Applikationsbedingungen (Reifezeit).

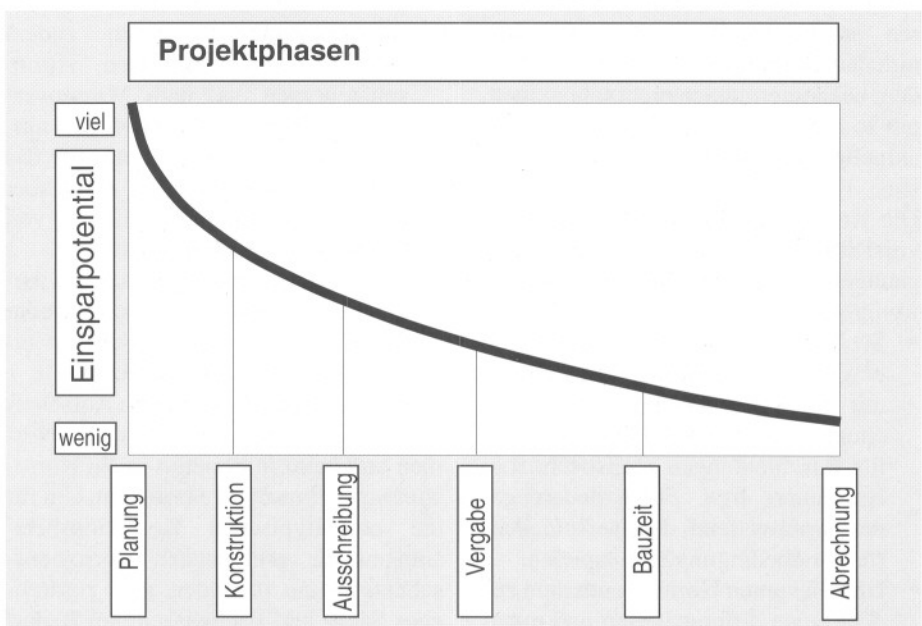


Abb.4 Einsparpotential in Abhängigkeit der Projektentwicklung.
(Quelle: Planungs-AG für Bauwesen)

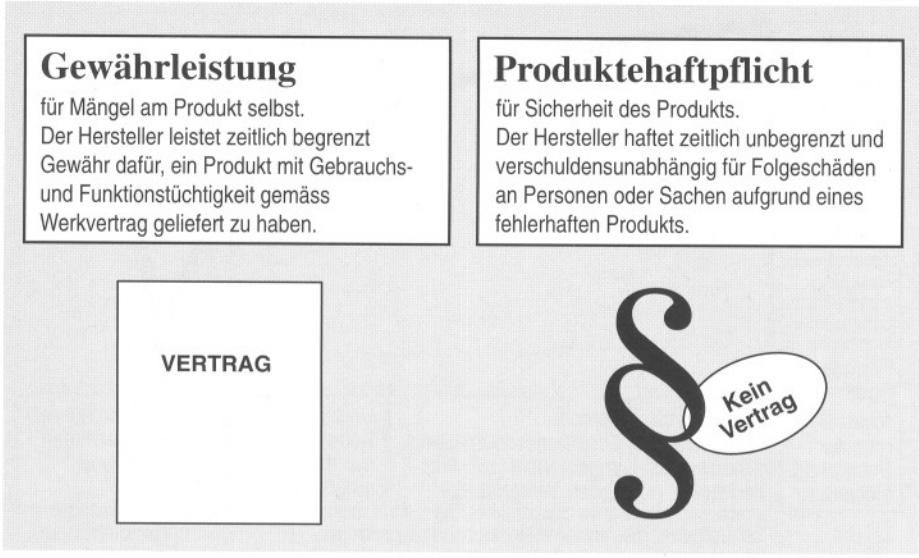


Abb. 5 Unterschied zwischen Gewährleistung und Produktehaftung. Das Obligationenrecht hingegen wirkt bei Verschuldung (Geschäftsherrenhaftung, allg. Verschuldenshaftung).

weite erkannt und korrekt behandelt worden. Zudem wäre der Projektleiter nicht aus der Verantwortung befreit worden, da die Verjährung durch das PrHG ab 1994 «für fehlerhafte Produkte», und dazu gehörte die Art und Weise der Konstruktion und Werkstoffwahl, diesbezüglich unwirksam geworden ist.

1.8 Situation aus Sicht der Normung

Die Normen ersetzen weder eigenes Nachdenken, noch Sach- und Fachwissen, noch schmerzliche Erfahrungen, oder gar die Eigenveranwortung.
Korrosionsschutznormen fixieren einen gewissen, minimalen Stand der Technik. Sie erleichtern die technische Kommunikation, aber sie fördern und zementieren im harten Wettbewerb die Minimalausführungen. Normen sind zudem bekanntermassen nicht sehr aktuell, um so mehr, als ihnen Erkenntnisse aus aktuellen Korrosionsschadensfällen fehlen.
Die Korrosionsschutznormen sind sehr vorsichtig mit konkreten Angaben und genügen damit den Pragmatikern eher weniger:

- Sie führen wohl gebräuchliche und bewährte Korrosionsschutzsysteme mit den zulässigen Beanspruchungsklassen, es fehlen aber z. B. für Beschichtungen realistische Lebensdauer- bzw. Schutzdaueranga-ben, wohlwissend, dass verschiedenste Randbedingungen mitspielen.
- Die relevanten Normen enthalten zudem keine differenzierten und quantifizierten Angaben zu Fertigungsmassnahmen, die den Schutzwert, z. B. an potentiellen Schwachstellen wie Kanten und Spalten, auf ein vergleichbares Niveau erhöhen könnten.
- Die Normen zu verschiedenen Themen repräsentieren ein uneinheitliches Sicherheitsdenken. So werden sicherheitsrelevante Schweissnähte unter kontrollierten Randbedingungen hergestellt und geprüft, dem zugehörigen Korrosionsschutz wird aber nie die gleiche Aufmerksamkeit zuteil, weil die Forderungen fehlen. Oder Verbindungselemente (z. B. HV-Schrauben) werden, entgegen der Konstruktionsgrundsätze, in einer minderwertigeren Korrosionsschutzqualität als die zu verbindenden Teile ausgeführt.
- Die bekannten Korrosions-Beanspruchungsklassen gehen zudem lediglich von markanten Atmosphärentypen und dem Massenverlust verschiedener Metallwendel aus. Für eine Feuerverzinkung ist das genügend aussagekräftig, nicht aber für den Abbau und die Alterung von Polymer-Beschichtungsstoffen.
- Die Normen enthalten, nun aus bekannten Gründen, explizit weder Forderungen noch Angaben zu einem Korrosionsschutzkonzept.

Diese Hintergründe sind beim Aufschaffen der Einzelinformationen aus Normen und beim Integrieren in ein Korrosionsschutzkonzept zu beachten. Um für die objekttypischen Korrosionsbelastungen die geeignetsten Korrosionsschutzsysteme zu finden, sind zusätzliches Sach- und Fachwissen, bei Bedarf Versuche, und reichliche Erfahrung die unabdingbaren Voraussetzungen.

2. Das Korrosionsschutzkonzept

Die Motivation zu einem Korrosionsschutzsystem sollte nun hinreichend aufgebaut sein. Der zweite Teil dieses Artikels konkretisiert die Durchführung und den Aufbau eines Korrosionsschutzkonzepts.

2.1 Durchführung

Ein Korrosionsschutzkonzept kann objektspezifisch oder branchentypisch aufgebaut sein. Bei einem globalen Konzept, wie dem letzteren, erhält es einen objektübergeordneten Stellenwert und wirkt als Leitfaden, interne Vorschrift oder Weisung. Es ist in die QS zu integrieren und laufend zu aktualisieren. Für die spezifischen Objekte sind dann nur noch die relevanten Passagen auszuziehen und aufzubereiten.
Das Korrosionsschutzkonzept ist aus wirtschaftlichen und rechtlichen Gründen gleichermassen erforderlich für Unikat-Lösungen im schweren Stahl-Wasserbau und in dem allgemeinen Stahlbau wie auch für den Anlagen- und Maschinenbau, bis hin zur Massenfertigung, wo ein globales Konzept besonders effizient wird.

2.2 Aufbau

Einfach gesagt, sind in einem Korrosionsschutzkonzept die Korrosionsprobleme aller Projektphasen formuliert und die Lösungen inkl. der Entscheidungswege aufgeführt:

1. Geforderte Nutzungs- und Schutzdauern
2. Erwartete Belastungen (korrosiv, mechanisch etc.)
3 Evaluation von Werkstoffen, Korrosionsschutzsystemen und -methoden
4. Ausführungsrichtlinien
5. Kontrollen für die korrosionstechnisch korrekt gefertigte Konstruktion
6. Kontrollen während und unmittelbar nach der Applikation
7. Kontrollen während der Nutzungsdauer

2.2.1 Geforderte Nutzungs- und Schutzdauern

Die Schutzdauer des Korrosionsschutzes kann der Nutzungsdauer des (Teil-)Objekts entsprechen. Der Nutzungsplan langlebiger Investitionsgüter kann aber die Schutzdauer eines Korrosionsschutzsystems überleben, so dass

eine oder mehrere Komplettsanierungen, sowie ihre Begleitumstände, bereits bei der Planung zu berücksichtigen sind. Nach Ablauf der Schutzdauer erfüllt das gealterte Korrosionsschutzsystem seine Funktion nicht mehr. Der metallische Überzug, die Beschichtung oder beide sind aufgebraucht *(Abb. 3)*. Idealerweise ist aber die Schutzdauer insgesamt gleichzeitig zu Ende. Das kann durch Inspektion und Wartung, aber auch durch das Fernhalten der Belastungen oder dann durch optimalen Korrosionsschutz der exponierten oder stärker belasteten Bereiche verhindert werden. Eine Komplettsanierung, die bereits durch die Korrosion erster, exponierter Bereiche injiziert werden könnte, ist vermeidbar. Es gilt: *«Korrosionsschutz ist nur so gut wie sein schwächstes Glied.»*

2.2.2 Erwartete Belastungen (korrosiv, mechanisch, chemisch)

Für das Objekt sind einmal die zu erwartenden Korrosionsbelastungen, also die korrosionsfördernden Einflüsse, und die in der Folge entstehenden Korrosionsbeanspruchungen der Werkstoffe, die die Art und Geschwindigkeit der Korrosion bestimmen, gesondert zu berücksichtigen:

- *Bauzeit* (Transport, Zwischenlagerung, Montage, Inbetriebsetzung)
- *Betrieb* (Normalbetrieb, Störfall, Reinigung, Wartung)
- *Belastungszonen* oder *-klassen* mit Globalklima, Ortsklima, Kleinstklima.

Werksgrundierungen und das Fertigbeschichten auf der Baustelle sind im Stahlbau nicht mehr die Regel. Vorgezogen wird, die Teile fertig korrosionsgeschützt auf der Baustelle zu montieren, um eine optimale Applikation in geschützten Hallen zu erreichen und Montagezeit zu sparen. Beide Vorgehensweisen bergen Vor- und Nachteile:

- Grundierungen sind oft nicht dazu ausgelegt, die Korrosionsbelastung der Bauzeit (mit Verzögerungen) auszuhalten.
- Grundierungen benötigen eine Oberflächenreinigung vor der Applikation weiterer Beschichtungen. Der Verteilschlüssel für die Baureinigung vor den Schlussanstrichen, entsprechend den Verursachern, kann Anlass zu Spannungen geben.
- Fertigbeschichten nach Montage ergibt einen geschlossenen, verletzungsfreien Schutz. Die Laschenspalten sind überdeckt, der Farbton ist einheitlich, und die wichtigen Verbindungselemente und allfällige Dichtfugen sind zusätzlich geschützt.
- Im Werk fertigbeschichtete Teile unterliegen während der Applikation nicht den Einschränkungen der Jahreszeiten. Trotzdem benötigen kalthärtende Beschichtungssysteme korrekte Applikationsbedingungen und vor allem genügend Zeit zum Aushärten, damit sie schadlos transportiert und montiert werden können *(Abb. 6)*.
- Sperrige und schwere Teile benötigen nach Montage das korrekte Ausflicken der Beschichtungsverletzungen, ein Aufwand, der leicht übersehen wird. Diese Verletzungen sind unter geeigneten Vorkehrungen und Bedingungen ohne Schutzwertminderung reparierbar, stören aber oft ästhetisch, oder sind nach der Montage unzugänglich.

Die *kombinierte mechanische und korrosive Beanspruchung* sollte grundsätzlich vermieden werden:

- Eine Grenzflächenpressung, wie für den Stahl, existiert nicht, weil die Polymer-Bindemittel visko-elastisch sind, kriechen und somit Spannungen über Verformungen abbauen können.
- Korrekt und komplett applizierte, vollständig ausgehärtete Zweikomponenten-Beschichtungssysteme üblicher Schichtdicken können und müssen nicht die Flächenpressungen von Zahnscheiben, voll vorgespannten HV-Verbindungen oder von normalgrossen Unterlagsscheiben (DIN 125A) über Langlöchern schadlos aushalten. Lösemittelretention oder ein Abfall der Glasübergangstemperatur (unter anderem verbunden mit einem Verlust der mechanischen Belastbarkeit) verstärken, aber verursachen nicht diesen Sachverhalt.
- Die Folgen von punktartigen Lasten sind Beschichtungs- und späteren Korrosionsschäden.

Chemische Belastungen im Betrieb, inkl. Reinigung und Störfall, sind bei metallischen Überzügen (z. B. bei der Feuerverzinkung), bei Beschichtungsmaterialien, und insbesondere bei sicherheitsrelevanten Bauteilen mit deckschichtbildenden Metallen (Alu) und Legierungen (hochlegierter Stahl), genauestens abzuklären.

2.2.3 Evaluation von Werkstoffen, Korrosionsschutzsystemen und -methoden

Aufgrund der Ausfall- oder Gefährdungsrisiken und der oben genannten Erwartungen sind, mit Berücksichtigung der Applikationsart und -stelle, technisch taugliche Korrosionsschutzsysteme zu suchen und bezüglich weiterer Anforderungen (Verarbeitung, Kompatibilität, Umweltbestimmungen, Erneuerung, Entsorgung) zu prüfen.

Zu *aktualisieren* sind die technischen Daten über Einsatz («bestimmungsgemässe Verwendung»), Merkmale, Eigenschaften, Verarbeitung, Gefährdungen und Entsorgung. Die Verarbeitungsrichtlinien sind, evtl. nach Prüfung, in (allfällige) interne Weisungen zu integrieren.

Bei weitergehenden Anforderungen an den Korrosionsschutz (z. B. bei unsicheren Eigenschaften oder bei kombinierten Belastungen) können zusätzliche vergleichende Prüfungen, Frei- und/oder Kurzbewitterungstests o. ä.,

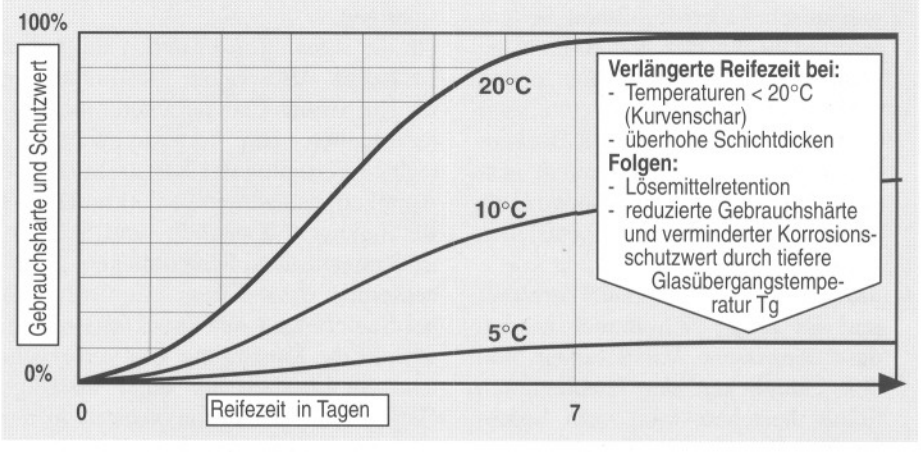


Abb. 6 Die Reifezeit für kalthärtende Zweikomponenten-Beschichtungssysteme, schematisch dargestellt, durchläuft vereinfacht die Phasen «Staubfest», «Griffest», «Transportier- und stapelbar», bis sie nach ca. 7 Tagen Schlusstrockendauer die volle Endhärte und damit die gewünschten Gebrauchseigenschaften erreicht haben. Bedingungen sind u. a. korrektes Trocknungsklima (Temperaturen, Feuchtigkeit), Trockenzeiten und korrekte Schichtdicken. (nach Ref. 1 und 2)

Kompatibilitätsnachweise und Musterflächen erforderlich werden.
Für die Evaluation bieten sich grundsätzlich folgende *Massnahmenmöglichkeiten* an:

a) *Wahl korrosionsfester Werkstoffe:* Die Wahl von Metallen mit einer Passivoxidschicht (z. B. hochlegierter Stahl, Aluminium) verlangt die Einhaltung klar definierter Einsatzgrenzen und Verarbeitungsrichtlinien, sonst wird die dünne Schutzhaut der ansonsten hochwertigen Masse lokal durch die unauffällige und deshalb gefürchtete Loch-, Spalt- oder Spannungsrisskorrosion geknackt.
b) *Aktiver Korrosionsschutz:* Zutrittsverhinderung des Korrosionsagens (z. B. Radiator mit sauerstofffreiem Wasser oder wasserfreie Sauerstoffflasche), Zugabe von Inhibitoren, Beseitigung der Stimulatoren, aufgeprägter Gleichstrom (kathodischer oder anodischer Korrosionsschutz), Opferanoden etc.
c) *Passiver Korrosionsschutz:* Die am besten bekannte und am leichtesten beherrschbare Korrosionsschutz-Methode benützt organische oder anorganische Beschichtungen sowie metallische Überzüge und die Kombination Überzug plus Beschichtung (Duplex-System).

Erläuterungen:

- Als mehr oder weniger korrosionsfeste Werkstoffe gelten auch Beton, Mörtel oder Kunststoffe. Die Korrosionsfestigkeit dieser und der umgebenden Werkstoffe (Verbundsysteme) ist jedoch unter den gegebenen Belastungen genau zu prüfen.
- Es sei bei der *Wahl korrosionsfester, metallischer Werkstoffe* gewarnt vor galvanischer Elementbildung bei unterschiedlichen Metallpaarungen, die elektrolytisch und elektrisch leitend verbunden sind, wie sie etwa zwischen Armierungsstahl und Beckeneinbauten oder bei mangelhaft ausgeführten Mischkonstruktionen (gwa 10/93, Seiten 803–807) entstehen können.
- «Rostfreie» Stähle können korrodieren! Es zeigte sich immer wieder, dass überrissene Vorstellungen von den Fähigkeiten der hochlegierten Stähle bestehen, weil vom homogenen Grundmaterial statt vom (kalt)umgeformten, geschweissten oder anders bearbeiteten, rauhen, zerklüfteten, aber realen Werkstoff in realer Umgebung ausgegangen wird.
- *Aktiver Korrosionsschutz* benötigt ebenfalls Planung. Die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes beschränkt sich hauptsächlich auf unterirdische Stahlkonstruktionen und, in einer verwandten Anwendung, auch auf den Schutz der Betonarmierung.
- *Passiver Korrosionsschutz* bietet oft das beste Preis-Leistungs-Verhältnis. Die gegenüber den anderen Massnahmen einfachere Umsetzung soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass auch er eine Planung und in allen Ausführungsphasen sorgfältige Kontrollen benötigt. Werden insbesondere die meist gutmütigen Beschichtungen planlos und in einem schmalen Terminfenster als notwendiges Übel abgefertigt, entsteht mit grosser Sicherheit eine für alle Beteiligten kostenintensive Angelegenheit, aber keine befriedigende Lösung.
- In diesem Zusammenhang gelten bei den praktisch diffusionsfesten, metallischen Überzügen sinngemäss die unter Abschnitt «korrosionsfeste Werkstoffe» gemachten Aussagen, und es gilt insbesondere, dass «formlose», nicht diffusionsfeste Beschichtungen sowohl inhibierend, als auch isolierend wirken, und gegenüber unvorhergesehenen chemischen Beanspruchungen viel weniger empfindlich reagieren als metallische Überzüge.

2.2.4 Ausführungsrichtlinien

Sie enthalten die korrosionstechnischen Forderungen für die Konstruktion, Metallbearbeitung und die Korrosionsschutzausführung. Die Ausführungsrichtlinien sind immer objekttypisch, da sie die Betriebsbedingungen berücksichtigen.
Für die *Submission* entstehen bei Bedarf zusätzlich «Besondere Bestimmungen für Korrosionsschutzarbeiten» mit Liefervorgaben zur korrosionsschutzgerechten Fertigung der Konstruktion, die Applikationsbedingungen (klimatische Bedingungen, Zwischen- und Schlusstrocknungszeiten, Schichtdicken, Nachbesserung etc.). Ferner empfiehlt sich bei Sanierungen mit Druckluftstrahlen, sowohl die Entsorgung von verbrauchtem Strahlmittel als auch allfällige Gerüst- und Einhausungskosten in der Ausschreibung von den eigentlichen Korrosionsschutzarbeiten zu separieren, damit keine Wettbewerbsverzerrungen, z. B. auf Kosten des Umweltschutzes, entstehen.
Später dienen diese Richtlinien als Kontroll-Latte für alle Korrosionsschutz-Q-Kontrollen.

2.2.5 Kontrollen

Die beste Planung nützt nicht viel, wenn die Forderungen weder kontrolliert noch bestätigt bzw. durchgesetzt werden.
Ein *Kontrollplan* regelt Bedarf, Umfang und Durchführung von Kontrollen für die Vorbereitung und die Ausführung der Korrosionsschutzarbeiten sowie die Vor- und Schlussabnahmen.
Kontrollen können zufällig, stichprobenartig erfolgen.
Abnahmen erfolgen zwingend, z. B. an Kontrollflächen und bei sog. Haltepunkten, wo erst die bestandene Kontrolle die Weiterarbeit freigibt.
Ferner sind Rückstellmuster und Probennahme der Beschichtungsmaterialien zu nennen. Die Dokumentation der Ergebnisse, Feststellungen, Wertung und Beschluss sowie die Identifikation von Teilobjekt, Prüfer und Herstellern dürften selbstverständlich sein.

Erläuterungen:

- Korrosionsschutzarbeiten benötigen genügend Zeit. Speziell kalthärtende Polymerbeschichtungen benötigen genügend Reifezeit. Dazu gehören das Einhalten von Verarbeitungsgrenzen bezüglich Schichtdicken, korrekte Trockentemperaturen und genügend lange Zwischen- und Schlusstrockenzeiten. Werden die ansonsten gutmütigen Beschichtungsstoffe aber nicht korrekt ausgehärtet, entstehen unnötige Transport- und Montageschäden, oder sie versagen nach kurzer Zeit.
- Kontrollen sind dichter zu setzen bei Schnittstellen (zwischen Teilobjekten, zwischen Unternehmerverantwortungsbereichen).
- Die Prüfkriterien von Kontrollen inkl. zerstörungsfreien und allfälligen zerstörenden Prüfungen sind präzise festzulegen.
- Kontrollen sind nur so gut wie der Kontrolleur, der einen Riecher für Problemstellen haben sollte und über das nötige Fachwissen sowie Erfahrung verfügen muss.
- Die geforderte Eigenverantwortung soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass man eigene Fehler nur ungerne offenlegt. Kontrollen und Begleitung durch neutrale Drittinstanzen beugen diesem sehr menschlichen Umstand vor. Die Fremdkontrollen befreien aber den Unternehmer nicht von der

Eigenverantwortung, das Produkt «Korrosionsschutz» qualitativ korrekt auszuführen und zu kontrollieren.

- Inspektions-, Wartungs- und Unterhaltspläne regeln die Kontrollen während der Nutzungsdauer und den sich daraus ergebenden Handlungsbedarf für einfache Unterhaltsarbeiten für die Sanierung und Erneuerung, bis hin zur Entsorgung.

"Man kann sich gar nicht genug das Prinzip einprägen, dass der Farbanstrich das Grundelement des Haltbarmachens einer Metallkonstruktion ist und dass die Sorgfalt, die darauf verwandt wurde, die einzige Haltbarkeitsgarantie ist."

Gustav Eiffel Paris 1900

3. Fazit

Als angenehmer Nebeneffekt all dieser planerischen Vorarbeiten sind klare, durchsichtigere Angebote und, während der Montagezeit, weniger Verzögerungen und Überraschungen zu erwarten. Ausfälle vor Ablauf der Gewährleistungsdauer und frühzeitige Sanierung vor Ablauf der Schutzdauer der Korrosionsschutzsysteme sind mit einem Korrosionsschutzkonzept vermeidbar.

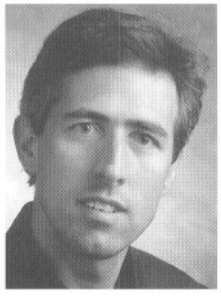
Literaturverzeichnis

[1] *van Oeteren, K. H.* (1985): Korrosionsschutz von Metallen.

[2] *Ruf, J.* (1994): Organischer Metallschutz.

[3] *Rickenbacher, F.* (10/93): Korrosionsrisiken bei Mischkonstruktionen, SVGW.

Adresse der Autoren:



F. Rickenbacher

I. Wulff

SCE Surface-Protection Consult Engineering
Speerstrasse 24, 8634 Hombrechtikon