Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 70 (1978)
Heft: 10

Artikel: Beispiele von Schadenfällen aus der Gutachterpraxis
Autor: Wulff, Ingo
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941089

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Beispiele von Schadenfällen aus der Gutachterpraxis

Ingo Wulff[1])

Résumé: Exemples de dégâts

Cette conférence traite la détection des causes de dégâts et leur provoqueurs et montre en plus une méthode d'éxaminer les dommages avec le but de trouver leur causes. Cette méthode s'appelle analyse de dégât.

1. Einleitung

Das vorliegende Referat behandelt die Erfassung von Schadenursachen und Schadenverursachern und weist auf eine Methode hin, Schäden zu untersuchen und die Schadenursachen herauszufinden.

Ende des letzten Jahrhunderts begann im Alpenvorland und in den Alpen der Ausbau der Wasserkräfte, welcher entsprechende Stahlwasserbaukonstruktionen verlangte. Sofort erkannte man auch, dass diese Konstruktionen den Angriffen der sie umgebenden Medien nicht standhielten und korrodierten. Korrosionsschutzmassnahmen mussten gesucht werden, um die Konstruktionen dauerhaft zu schützen. Mit mehr oder weniger grossem Erfolg wurden in den letzten hundert Jahren Lösungen gefunden, um Stahlwasserbaukonstruktionen vor dem Zerfall durch Korrosion zu behüten.

Das Ergebnis der Korrosionsschutzarbeiten befriedigte nicht immer. Auch heute, ungefähr 100 Jahre nach Beginn der Korrosionsschutztechnik im Stahlwasserbau, kann das Gelingen einer Korrosionsschutzausführung noch nicht vorausgesagt werden.

Worauf sind Fehlschläge des Korrosionsschutzes im Stahlwasserbau zurückzuführen?

2. Zusammenstellung allfälliger Schadenverursacher — Systematik der Schadenarten

Was ist unter einem Schaden zu verstehen? Ein Schaden tritt dann ein, wenn die Funktionstüchtigkeit der Konstruktion zunichte gemacht wird oder bereits eingeschränkt zu werden droht. Eine Farbtonänderung z. B., ohne Beeinträchtigung des Korrosionsschutzes der Anlage, betrachtet man nicht als Schaden, da dadurch die Betriebsbereitschaft nicht gemindert wird. Hingegen muss auch der geringsten Rostbildung, die sich auszuweiten droht, sei es flächenmässig, sei es in die Tiefe gehend, die notwendige Beachtung geschenkt werden.

Wer ist, zwischen Planung und Ablauf der Gewährleistung, ein «verdächtiger» Schadenverursacher? Es ist wichtig, auf diese Frage einzugehen, damit jeder der im folgenden genannten Beteiligten seine Verantwortung kennt.

Mögliche Schadenverursacher sind: Ingenieurbüro, Stahlbauer, Korrosionsschutzfirma (Applikateur), Anstrichmaterialhersteller, Montageleitung, Betreiber, höhere Gewalt.

a) Das Ingenieurbüro (projektierte Fehler)

Korrosionsschutz beginnt am Reissbrett. Wird eine Konstruktion im Hinblick auf einen einwandfreien Korrosionsschutz und einfachen Unterhalt entworfen, lassen sich bereits viele Schadenmöglichkeiten eliminieren (Tabelle 1a). Oft stehen Stahlflächen wie Profile, Streben, Rohre eng beieinander, wodurch die Zugänglichkeit mit Werkzeugen (Drahtbürsten, Schaber, Sandstrahldüsen, Pinsel, Roller) zur Korrosionsschutzbehandlung stark eingeschränkt wird. Je besser zugänglich zu schützende Flächen sind, desto erfolgreicher ist der Korrosionsschutz. Auch werden schlecht zugängliche Stellen bei Inspektionen gerne übersehen.

Dem Wetter ausgesetzte, nach oben offene Profile sammeln Regenwasser und oft auch Schmutz (Bild 1).

Während das Regenwasser durch Wasserlöcher, die am tiefsten Punkt des Profiles angebracht werden müssen, abläuft, bleibt der Schmutz zurück und bildet eine feuchte, aggressive Schicht, die sowohl den Anstrichfilm als auch den Werkstoff angreift. Daher müssen Profile so angeordnet werden, dass sie sich nie mit Wasser füllen und ihre Oberflächen durch Niederschläge immer wieder gereinigt werden. Angeschweisste Profile müssen mit durchgehenden Schweissnähten versehen sein. Ist dies nicht der Fall, werden bald Korrosionsprodukte zwischen den Schweissnähten heraustreten.

[1]) Überarbeitete Fassung eines Vortrages, gehalten an der «Internationalen Fachtagung Korrosionsschutz im Stahlwasserbau» vom 2. und 3. März 1978 in Muttenz. Diese Tagung wurde vom Schweizerischen und vom Südwestdeutschen Wasserwirtschaftsverband durchgeführt.

Bild 1. Bei einem Dammbalken wurde ein Wasserloch an zu hoher Stelle angebracht; das Wasser läuft nur sehr schlecht ab. Ablagerungen von Pflanzenresten schwächen das Korrosionsschutzsystem.

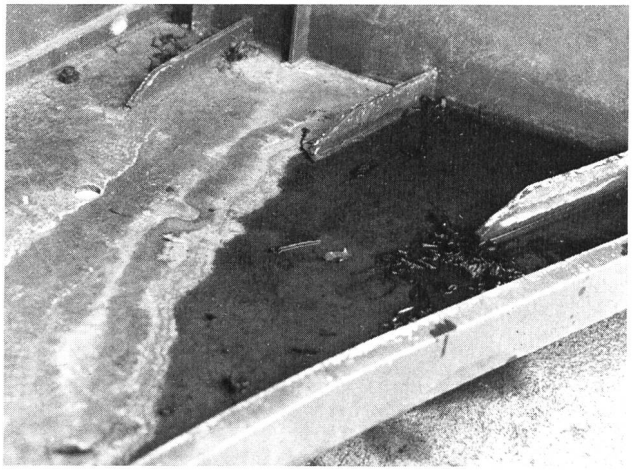
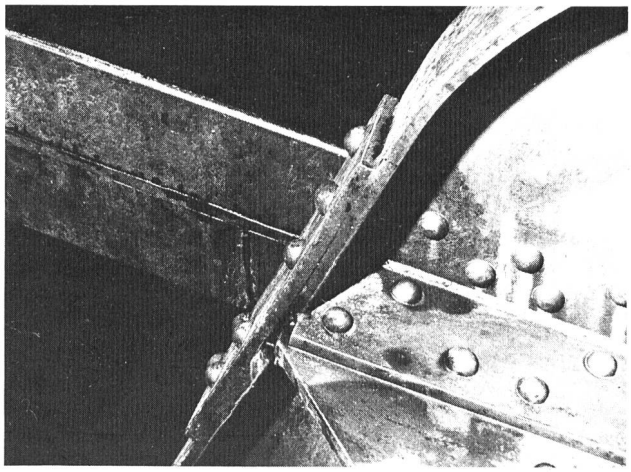


Bild 2. Scharfkantige Profile an einem genieteten Stauwehrschütz. Auf Kanten und Nietköpfen ist der Anstrich abgescheuert.



Welche Schäden können durch wen verursacht werden? Tabelle 1

a) Ingenieurbüro
U-Profile, nach oben offen, ohne Wasserloch
Ausbildung von Spalten und Fugen
nicht zugänglicher Flächen und Hohlräume
schlecht belüftete Hohlräume
vorstehende Schraubenverhinderungen im strömenden Wasser
Wirbelbildung, Kavitation
Schaffung von Elementbildung zwischen Konstruktion und Armierungsstahl im Beton
Mischstahlkonstruktionen

b) Stahlbauer
Stehenlassen von scharfen Kanten
nicht durchgehende Schweissnähte
Stehenlassen von Schweissperlen
Stehenlassen von nicht verschliffenen Schweissnähten
Stehenlassen von nicht aufgeschliffenen Blechdoppelungen

c) Korrosionsschutzfirma
ungenügende Untergrundvorbereitung
Verwendung ungeeigneter Strahlmittel
ungeeignete klimatische Bedingungen (hohe Luftfeuchtigkeit, tiefe Untergrundtemperaturen)
ungenügender Schutz vor Sonne und Regen
Staubentwicklung
Einsatz ungeeigneten Personals
Auftragen ungenügender Schichtdicke
Poren und Blasen
falsche Materialvorbereitung bzw. -zusammensetzung
Einhalten extremer (kurzer oder langer) Zwischentrocknungszeiten

d) Anstrichmaterialhersteller
Verwendung ungeeigneter Rohstoffe
Verkauf des falschen Materials
Fabrikationsfehler
Abgabe falscher Anwendungsvorschriften
zu rasche Alterung des Materials
Unkenntnis des Einsatzgebietes der Anstrichmaterialien und der auf sie wirkenden Einflüsse

e) Montageleitung
ungenügende Vorsicht gegenüber mechanischen Verletzungen
ungenügende Vorsicht gegenüber thermischen Verletzungen
ungenügende Vorsicht gegenüber chemischen Verunreinigungn (Öle, Fette usw.)
Nichteinhalten der Montagevorschriften

f) Betreiber
Unterlassen normaler Unterhaltsarbeiten
Einsatz ungeeigneter Reinigungsmittel
kleine Änderungen an der Konstruktion
Nichteinhalten der Betriebsbedingungen (auch kurzfristig)

g) Höhere Gewalt oder Schäden durch Dritte
Hochwasser (mechanische Verletzungen)
Eistrieb (mechanische Verletzungen)
biologischer Bewuchs
chemische Beanspruchung durch Anlieger

Fliessende Wasser transportieren Schwebestoffe. Sind diese Stoffe scharfkantig, haben sie eine starke abrasive Wirkung auf den Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion. Deshalb sind scharfe Kanten, die umströmt werden, zu vermeiden (Bild 2).

Bereits zum Projekt gehört die Überlegung, welcher Korrosionsschutz aufgebracht werden soll und wie seine Funktionstüchtigkeit am Schluss der Korrosionsschutzarbeiten kontrolliert werden kann. Eine zweckmässige, sorgfältig durchgeführte Abnahmekontrolle deckt eine Reihe von Mängeln auf, die noch rechtzeitig beseitigt werden können. Dass der Korrosionsschutz in die Projektierung mit einbezogen werden kann, zeigt der Phasenablaufplan der neuen DIN 55 928.

b) Der Stahlbauer (herstellungsbedingte Fehler an der Konstruktion)

Ein sorgfältiger «Finish» der Stahlwasserbaukonstruktion trägt ebenfalls zum Gelingen des Korrosionsschutzes bei. Vermeiden von Kerben und scharfen Kanten, Durchziehen von Schweissnähten, Überschleifen von Schweissnähten, Entfernen von Schweissperlen, Aufschmirgeln von Blechdoppelungen usw. gehören in das Pflichtenheft der Stahlbaufirma (Tabelle 1b).

Während automatengeschweisste Nähte fast immer ein gleichmässiges Profil ohne scharfe Kanten aufweisen, sind handgeschweisste Nähte wesentlich unregelmässiger, scharfkantiger und daher schwieriger gegen Korrosion zu schützen. Infolge der Oberflächenspannung oder durch verschiedene Anpresskräfte der Werkzeuge (Pinsel, Roller) werden scharfe Kanten bereits während der Applikation wieder blossgelegt. Rauhen Schweissnähten können durch Sandstrahlung die scharfen Kanten *nicht* weggenommen werden. Solche Nähte sind daher in der Konstruktionswerkstatt oder nach der Montage, jedoch vor der Korrosionsschutzbehandlung zu verschmirgeln.

Dem Stahlbauingenieur muss die Gefahr nicht durchgehender Schweissnähte, sogenannter Heftnähte, bekannt sein (Bild 3). Wenn auch solche Nähte aus Festigkeitsgründen genügen würden, sind sie aus korrosionsschutztechnischen Gründen strikte abzulehnen.

Schweissperlen haben die unangenehme Eigenschaft, sich auf der Stahloberfläche durch einen Schweissvorgang festzusetzen. Mit dem Sandstrahlverfahren sind sie nicht zu entfernen. Ihre Kugelform bringt es mit sich, dass sie nie einwandfrei mit dem Korrosionsschutzfilm umgeben werden können. Auch ein mehrmaliges Ausbessern verbessert

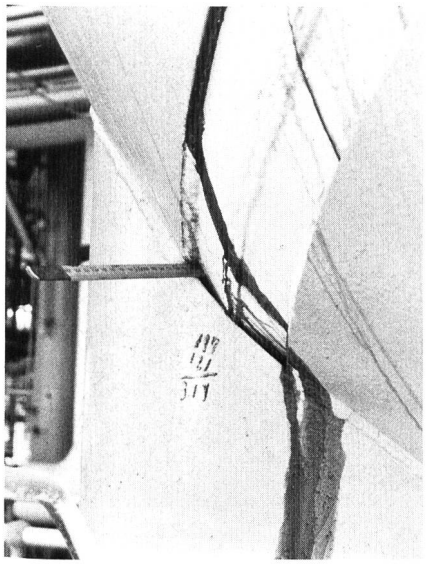
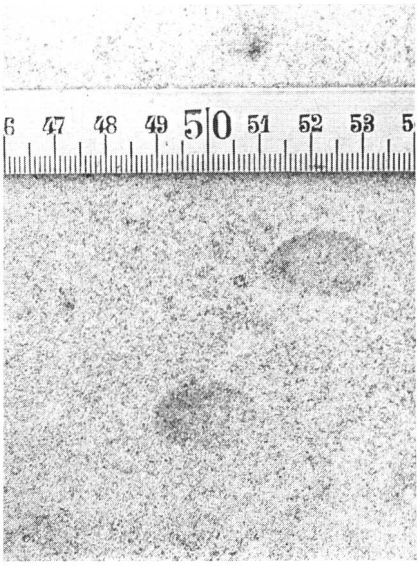


Bild 3, links. Nicht durchgehende Schweissnähte. Aus den Fugen läuft Rostwasser.

Bild 4, rechts. Fingerabdrücke auf frisch sandgestrahltem Untergrund. Diese Abdrücke führen später zu Blasenbildungen.



den Korrosionsschutz nicht. In strömenden Medien entstehen um die Schweissperlen herum Erosionsschäden, die den Anstrichfilm entfernen. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten, wie z. B. in Stichleitungen von Verteilleitungen, kann zudem Kavitation auftreten.

Bei bearbeiteten Flächen, die später gegen Korrosion geschützt werden, sieht man immer wieder scharfe Kanten mit Rundungsradien von 0,3 bis 0,5 mm. Es gilt hier dasselbe, wie bereits bei den rauhen Schweissnähten aufgeführt. Zudem sind Beschichtungen über scharfen Kanten verletzungsanfällig. Ein zusätzlicher Kantenschutzanstrich wird nur dann etwas bringen, wenn die Kante *nie,* auch nicht während einer Montage, mechanisch beansprucht wird. Kanten müssen mit minimalen Rundungsradien von 3 mm, besser mit solchen von 5 mm abgerundet sein. Dies kostet sicher Geld, trägt aber dazu bei, dass die Konstruktion länger und besser geschützt bleibt.

Aufhängevorrichtungen für Herstellung, Transport, Montage und Unterhalt sind so in die Konstruktion zu integrieren, dass sie auch in den Korrosionsschutz mit einbezogen werden können. Montagehilfen, wie Versteifungskreuze, sind so anzubringen, dass sie entfernt werden können, ohne den Korrosionsschutz an nicht mehr zugänglichen Flächen, z. B. an Aussenflächen vergrabener Leitungen, zu zerstören.

c) Die Korrosionsschutzfirma (Applikationsfehler)

Oft werden Stahlwasserbaukonstruktionen vor der Montage teilweise gegen Korrosion geschützt, und zwar so, dass der Untergrund vorbereitet und mit ersten Grundanstrichen versehen wird. Montagestösse werden nicht behandelt. Nach der Montage werden die Schweissnähte sowie die mechanischen Verletzungen — als Folge der Montagearbeiten — ausgebessert. Danach erhält die Konstruktion die noch fehlenden Anstriche.

Der Korrosionsschutzfirma obliegt eine grosse Verantwortung. Die Qualität ihrer Arbeit wird durch eine Reihe von Parametern wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Abgase, Zuverlässigkeit des Personals, Terminprogramme, Verarbeitungsvorschriften usw., in der Werkstatt und auf der Baustelle, beeinflusst. Die Anstrichlieferanten haben ihre Produkte in den letzten Jahren qualitativ hochgezüchtet, gleichzeitig aber auch einige unvermeidliche Empfindlichkeiten (Temperatur, Feuchtigkeit) eingebaut. Daher muss der Applikateur den Korrosionsschutzarbeiten heute ein höheres Augenmerk schenken als früher. Auf das Gefühl allein darf er sich nicht mehr verlassen (Tabelle 1c).

Applikationsfehler können in zwei Gruppen aufgeteilt werden, nämlich in solche, die in die Kontrolle des einzelnen Mitarbeiters fallen, und solche, die in die Überwachungspflicht des Baustellenleiters fallen.

Zur ersten Gruppe gehören Mängel wie:

— ungenügende Reinigung des Untergrundes, vor allem an schwer einsehbaren Flächen;

— nachträgliches Verschmutzen der gereinigten Oberflächen z. B. durch Berühren der gestrahlten Oberfläche mit ungeschützten Händen, was wegen Schweissablagerungen zu Haftungsstörungen der Beschichtung führt (Bild 4);

— Immer wieder kommt es vor, dass Anstrichmaterialien zu stark verdünnt werden, um besser verarbeitet werden zu können. In der Regel ergeben sich daraus zu geringe Schichtdicken des Anstrichs.

— Bei der Verwendung von Pinseln kommt es vor, dass das Anstrichmaterial zu wenig verschlichtet wird, wodurch Pinselfurchen stehen bleiben. In den Pinselfurchen ist die Schichtdicke gering. Messtechnisch kann diese geringe Filmdicke nicht erfasst werden.

Ungleichmässiges Verteilen der Farbe führt zu ungleichmässigen Filmdicken, was die Trocknungszeiten stark beeinflusst, da diese nicht proportional zu den aufgetragenen Schichtdicken sind, sondern progressiv ansteigen.

— Poren und Blasen im frisch aufgetragenen Schutzfilm sind teilweise eine Materialfrage, teilweise jedoch auch eine Verarbeitungsfrage. Makroporen, d. h. von Auge sichtbare Poren, im 1. Anstrich lassen sich in der Regel durch erneutes Überstreichen nicht mehr schliessen.

Zur zweiten Gruppe gehören Mängel wie:

— Verwendung eines ungeeigneten Strahlmittels, z. B. hinsichtlich Material (Stahl, Sand), Korngrösse, Feuchtigkeitsgehalt usw. (Bilder 5 und 6)

— Ungenügender Schutz vor Witterungseinflüssen auf der Baustelle (Regen, Sonne) oder Staub. Wird eine zu schützende Fläche z. B. durch direkte Sonneneinstrahlung auf 45 bis 70 °C aufgewärmt, treten Benetzungsschwierigkeiten, hauptsächlich bei Verwendung von lösungsmittelhaltigen Materialien, auf. Staubeinschlüsse in der frischen Farbe führen zu Fehlstellen im Schutzfilm, und Niederschläge stören den Aushärtungsprozess des Films.

— Mischungsfehler bei Verwendung von Zwei- und Mehrkomponentenmaterialien wirken sich im allgemeinen erst nach Beanspruchung des Korrosionsschutzsystems durch das umgebende Medium aus. Solche Fehler können,

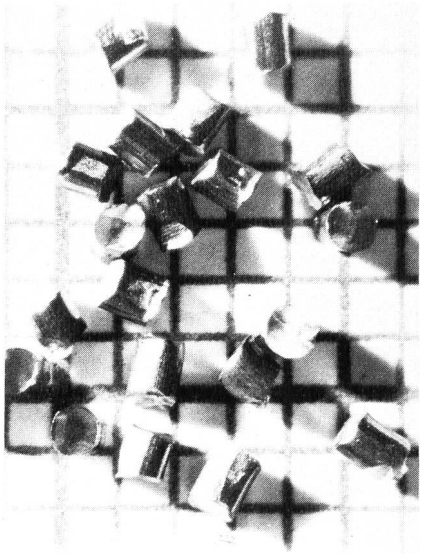
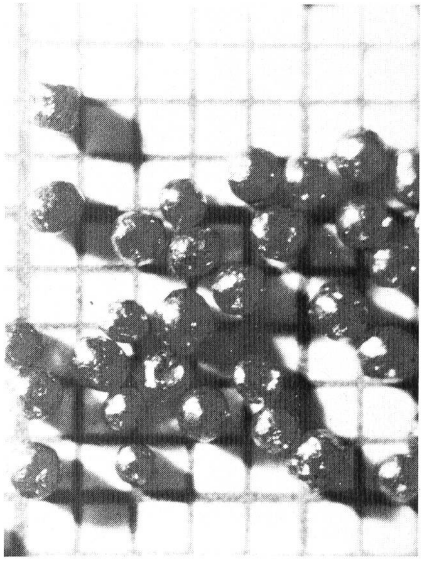


Bild 5, links. Neues metallisches Strahlmittel (Strahldrahtkorn). Der Abstand der Linien beträgt 1 mm.

Bild 6, rechts. Das gleiche Strahlmittel wie in Bild 5 nach wenigen Tagen Einsatzdauer. Während das Volumen der Partikel etwa gleich gross ist wie im Neuzustand, hat sich die Form deutlich verändert. Die Kugeln haben einen geringen Schäleffekt.



wenn auch mit einigen Schwierigkeiten verbunden, heute nachgewiesen werden.

— Auf die Zwischentrocknungszeiten, die vom Materialhersteller angegeben werden, ist wenig Verlass, weil die Angaben nur für eine bestimmte Temperatur gelten. Die Tagestemperaturen schwanken beträchtlich. An grösseren Objekten, wie z. B. Stauwehren, treten mitunter gleichzeitig stark verschiedene Untergrundtemperaturen auf, die *allein* für die Aushärtung des Anstrichmittels massgebend sind. Der Baustellenleiter muss daher den temperaturungünstigsten Ort hinsichtlich Durchhärtung beurteilen, bevor ein weiterer Anstrich aufgetragen werden darf.

— Zu den unangenehmsten Fehlerquellen gehört Kondenswasser auf den zu schützenden Flächen. Sind Schäden eindeutig wegen der Applikation auf feuchtem Untergrund eingetreten, versuchen sich Unternehmer oft herauszureden, sie müssten arbeiten und hätten keine Zeit, Instrumente abzulesen und Tabellen zu konsultieren.

Für alle Arbeiten auf dem Gebiet des Korrosionsschutzes gilt: *Es ist unmöglich, Probleme zu lösen, indem man die dazu notwendigen Theorien vor sich herschiebt, weil man sie nicht versteht. Erst wenn man eine Theorie verstanden hat, kann man die Folgen von Vereinfachungen, Grenwerte usw. richtig beurteilen.*

d) Der Anstrichmaterialhersteller (Materialfehler)

Die Produktion von Anstrichmitteln lässt sich von Aussenstehenden nicht überwachen. Ob einem Farbmaterial Mängel anhaften oder nicht, kann bei seiner Verarbeitung nur in den seltensten Fällen festgestellt werden. Von diesen Mängeln herrührende Schäden zeigen sich erst einige Zeit nach der Beanspruchung durch angreifende Medien.

Da die Korrosionsschutzmaterialien aus mehreren Rohstoffen, etwa 5 bis 25, bestehen, bricht hier die Kette der Verantwortlichkeit ab. Es wird nämlich sehr schwer sein, bei einem Schaden nachzuweisen, ob ein Rohstoff falsch eingesetzt oder fehlerhaft war.

Um Fehlschläge zu vermeiden, soll der Anstrichmittelhersteller von allen Beteiligten auf die zu erwartenden Einflüsse aufmerksam gemacht werden, damit er das Korrosionsschutzmaterial optimal auswählen kann (Tabelle 1d).

Anstrichmittel können nicht nach genauen Gesetzmässigkeiten, Formeln, Gleichungen hergestellt werden. Anstrichmittel werden vielfach empirisch entwickelt. Zudem liefert die Rohstoffindustrie ständig Neuentwicklungen, welche Produkte, die sich gerade bewährt haben, ersetzen sollen. Langerprobte Rohstoffe werden aus verkaufspolitischen Gründen kurzerhand aus dem Verkehr gezogen, wonach der Farbhersteller seine Untersuchungen wieder von vorne beginnt. Oft setzt der Anstrichhersteller aus wirtschaftlichen, sprich preislichen Gründen andere Rohstoffe ein, deren Zweckmässigkeit für das zu schützende Objekt noch nicht erwiesen ist.

Es kann aber auch dadurch ungeeignetes Material zum Einsatz kommen, dass es fehlerhaft fabriziert wurde, oder dass falsche Vorstellungen über die zu erwartenden Einflüsse vorherrschen. Zudem kommt es manchmal vor, dass dem Verarbeiter falsche Verarbeitungsvorschriften abgegeben werden.

e) Die Montageleitung

Die Teile, die montiert werden, tragen bereits einen aufwendigen Korrosionsschutz. Je mehr dieser mechanisch verletzt ist, desto grösser ist das Risiko grosser Schäden (Bilder 7 und 8). Durch sorgfältige Montage können mechanische Beschädigungen weitgehend vermieden werden (Tabelle 1e).

f) Der Betreiber

Ihm obliegt die Pflicht, seine Anlage von Zeit zu Zeit zu inspizieren und allfällige Mängel möglichst rasch beheben zu lassen. Normale Abnutzung des Anstrichsystems ist nicht als Mangel zu betrachten und muss im Rahmen von Unterhaltsarbeiten ausgebessert werden. Werden diese Arbeiten vernachlässigt, können Schäden auftreten (Tabelle 1f).

g) Höhere Gewalt

Abgesehen von mechanischen Schäden, die infolge Hochwassers, Eistreibens usw. auftreten, verursachen biologische Einflüsse Beschädigungen, die kaum voraussehbar sind. Unter biologischen Schäden versteht man solche, die durch Algen, Schwämme, Schnecken usw. hervorgerufen werden (Bild 9, Tabelle 1g).

Nimmt jede der am Bau einer Stahlwasserbaukonstruktion beteiligten Firmen ihre Arbeit ernst und nimmt sie zugleich Rücksicht auf die Partner, sind Mängel im Korrosionsschutz weitgehend auszuschliessen. Eine recht grosse Anzahl von Werken konnte erfolgreich konserviert werden. Leider bleibt eine Zahl von Stahlwasserbaukonstruktionen übrig, deren Korrosionsschutz nicht einwandfrei ist. Worauf sind solche Schäden zurückzuführen? Diese Frage muss vor Inangriffnahme der Sanierungsarbeiten einwandfrei abgeklärt sein, um einerseits allfällige Reparaturarbei-

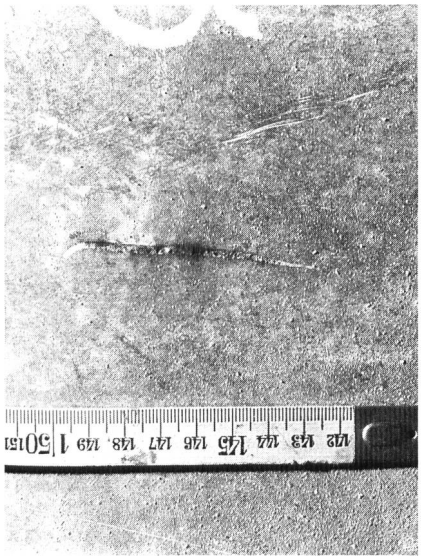
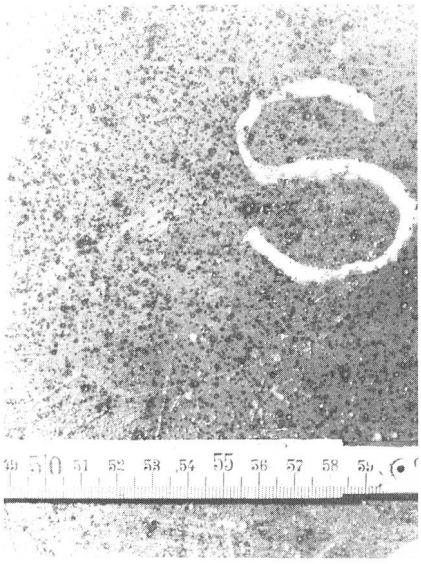


Bild 7, links. Beschichtung mit Montageverletzungen. Eine Kratzspur zeigt bereits Korrosion.

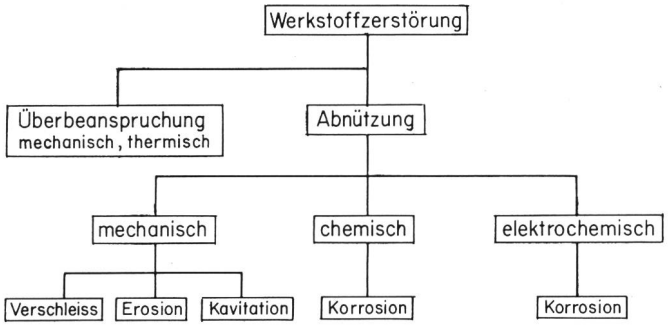
Bild 8, rechts. Einbrandstellen von Schweissspritzern in bestehender Beschichtung. Teilweise haben diese Spritzer den Farbanstrich bis auf den Untergrund durchgebrannt.



ten erfolgreich durchführen zu können und andererseits für zukünftige Konstruktionen Erfahrungen zu sammeln.

3. Werkstoffzerstörung

Durch Umwelt- oder Betriebsbedingungen unterliegen die Werkstoffe einem grösseren oder kleineren Zerfall. Damit unlegierter Stahl zum Beispiel korrodiert, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein: Der Stahl muss unmittelbar von einem korrosiven Medium umgeben sein und die Korrosionsprodukte müssen abgeführt werden können. Ist nur eine dieser Bedingungen nicht erfüllt, kann kein Korrosionsvorgang ablaufen. Die Werkstoffzerstörung lässt sich graphisch etwa wie folgt darstellen:



Die Werkstoffzerstörung infolge Überbeanspruchung wollen wir hier ausser Betracht lassen. Mit ihr muss sich der Statiker auseinandersetzen.

In der Regel beginnt die Werkstoffzerstörung, z. B. von Stahl, auf seiner Oberfläche und frisst sich nach innen. Man kann daher von Abnützung sprechen.

Diese lässt sich in drei Gruppen aufteilen, nämlich in die mechanische Abnützung, die chemische Abnützung und die elektrochemische Abnützung.

Die mechanische Abnützung wird unterteilt in:

Verschleiss: Materialabtrag unter Krafteinwirkung;

Erosion: Materialabtrag durch feste Stoffe in bewegten Flüssigkeiten;

Kavitation: Materialabtrag durch kondensierende Dampfblasen in strömenden Flüssigkeiten.

Die Probleme der mechanischen Abnützung müssen durch den Stahlbauingenieur gelöst werden, etwa durch Änderung der Konstruktion oder durch Verwendung widerstandsfähiger Werkstoffe.

Unter chemischer Abnützung versteht man die Beeinträchtigung des Werkstoffes, z. B. unlegierter Stahl, durch Wasser, Sauerstoff, Abgase, Salze, Säuren. Der Werkstoff wird an der Berührungsstelle mit dem aggressiven Medium durch dieses angegriffen. Diese Zerstörung kann verhindert werden, wenn er durch eine gegen das angreifende Medium resistente Schicht umhüllt wird. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das angreifende Medium überhaupt vom Werkstoff fernzuhalten oder es durch geeignete Massnahmen weniger aggressiv zu machen.

Schliesslich bleibt noch eine vierte Möglichkeit, nämlich die, einen Werkstoff zu wählen, der gegen das angreifende Medium widerstandsfähig ist.

Die elektrochemische Abnützung wird hervorgerufen durch das Fliessen galvanischer Ströme, etwa im System Stahlkonstruktion — Armierungseisen — Beton — Wasser — Stahlkonstruktion, unter der Voraussetzung, dass die Stahlkonstruktion elektrisch leitend mit der Betonarmierung verbunden (verschweisst) ist (Bild 10).

Diese Fehlerquelle trifft man häufig in Kläranlagen, Trinkwasserreservoiren, an Wehrverschlüssen, Rechenanlagen usw. In der Regel steht einer sehr grossen kathodischen Fläche, nämlich der Oberfläche der Armierungen im alkalischen Beton, eine kleine anodische Fläche an der Stahlkonstruktion, nämlich die allfällig vorhandenen Fehlstellen in der Beschichtung (Poren, mechanische Verletzungen) gegenüber. Die Folge dieses grossen Kathoden-zu-Anoden-Verhältnisses sind mitunter verheerende Lochfrasskorrosionen.

Verhindert werden können diese Schäden in erster Linie durch konstruktive Massnahmen. Ist dies nicht möglich, muss versucht werden, einerseits mit einem geeigneten, passiven Korrosionsschutz, darunter sind Beschichtungen zu verstehen, oder andererseits mit einem aktiven Korrosionsschutz, darunter fällt der kathodische Korrosionsschutz, Abhilfe zu schaffen.

Die zweite Methode birgt gewisse Tücken in sich, da man nämlich leicht Stahlflächen schützt, die gar nicht geschützt zu werden brauchen, oder aber grosse Ströme benötigt werden, um an den gefährdeten Stellen ein Schutzpotential zu erhalten.

4. Die Schadenanalyse

Wenn trotz grosser «Erfahrung» dennoch Schadenfälle auftreten, wurden fast immer einer oder mehrere Einflüsse ausser acht gelassen.

Unangenehm sind Schäden, die darauf zurückzuführen sind, dass die Betriebsbedingungen während der Einsatzdauer sich so geändert haben, dass einer, der mit den Me-

Bild 9. Süsswasserschwamm auf Bitumenanstrich, der von ihm zerstört wird.

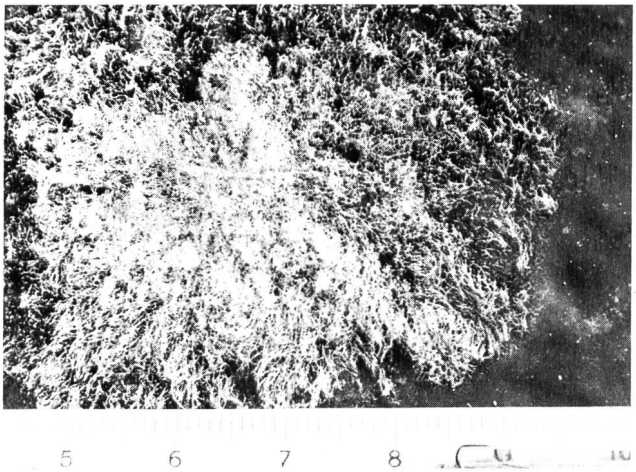
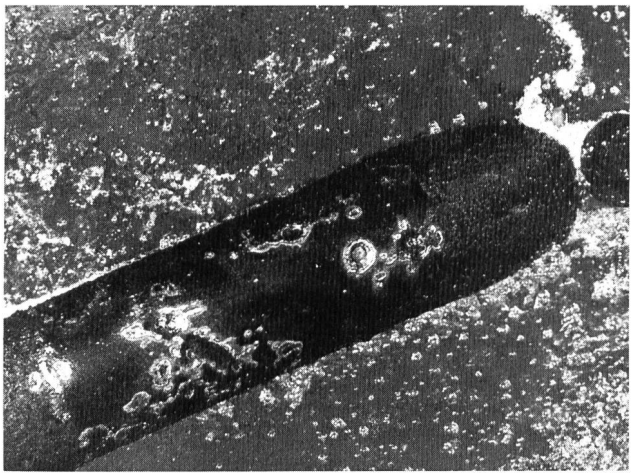


Bild 10. Rohrleitung im Vorklärbecken einer Kläranlage. Die Leitung wurde mit der Beckenarmierung verschweisst, was zu galvanischer Korrosion (= Lochfrass) führte.



dien in Verbindung stehenden Werkstoffe den Anforderungen nicht mehr genügt.
Die geänderten Betriebsbedingungen können bis zum Schadenfall andauern. Sie lassen sich dann in der Regel nachweisen. Wichen die Betriebsbedingungen jedoch nur kurzzeitig von den Normalbedingungen ab, und ist dadurch ein Schaden verursacht worden, kann dies oft nur mit Mühe nachgewiesen werden. In diesem Fall gelangt der als Schadenverursacher bezeichnete Partner in Beweisnotstand.
Die Reparatur von Schäden ist mindestens so lange zwecklos, als die Schadenursachen unbekannt sind. Ihre Abklärungen haben daher zwei Gründe, nämlich einerseits den bereits genannten, um die Reparatur durchführen zu können, und andererseits die Auswertung als «Erfahrung».
Dazu gehört auch die Ermittlung der Gründe für ein ausserplanmässiges Versagen eines technischen Erzeugnisses oder eines Schutzüberzuges. Damit wird klar, dass die Schadenanalyse und die Schadenerforschung wesentliche Elemente der Materialprüfung darstellen. Schäden sind zwar unerwünscht, treten jedoch zwangsweise auf — die technische Zuverlässigkeit erreicht ja nie 100 Prozent — und bieten das beste Lehrmaterial, um Arten und Ursache des Versagens zu erkennen und hieraus Massnahmen zur Vermeidung abzuleiten.

Programm einer Schadenanalyse

Die Schadenanalyse soll gemäss einem voraus bestimmten Programm durchgeführt werden. Eine «Checklist» soll verhindern, dass wichtige Informationsquellen bei der Untersuchung eines Schadens nicht abgefragt werden. Dies wäre vor allem dann unangenehm, wenn zu einem späteren Zeitpunkt das Fehlen einiger Informationen festgestellt wird, diese aber nicht mehr beschafft werden können, da die Schadenstelle bereits zu weit verschwunden ist, um noch hinreichende und notwendige Informationen liefern zu können. Besonders bei Schadenstellen im Ausland kann es sehr ärgerlich werden, wenn bei der Auswertung der Schadenursachen gewisse Untersuchungen an Ort und Stelle nicht durchgeführt wurden.
Die Beurteilung von Schäden lässt sich in drei verschiedene Phasen aufteilen.
In der Erhebungsphase werden alle möglichen Daten festgehalten, die zur Schadenbeurteilung notwendig sind.
In der Versuchsphase sollen die Betriebsbedingungen simuliert werden, um ein abnormales Verhalten des Korrosionsschutzes feststellen zu können.
In der Auswertungsphase sollen alle Fakten zusammengetragen werden, um eine Schlussfolgerung aufzustellen, die den aufgetretenen Schaden hinreichend begründet und erlaubt, zukünftige Massnahmen ergreifen zu können.
Auf die Erhebungsphase soll im speziellen eingegangen werden. Sie wird wiederum in drei Abschnitte aufgeteilt, nämlich in Vorgeschichte, Sichtprüfung und Versuchsplanung.
Die Vorgeschichte wiederum soll nun in vier Teile aufgeteilt werden.

Angaben zur Vorgeschichte I

Diese befasst sich mit den Korrosionsschutzarbeiten schlechthin. Es soll darin abgeklärt werden, um welches System es sich handelt, wann es hergestellt und wann es appliziert wurde. Ausserdem sind, falls vorhanden, Prüfbescheinigungen oder Prüfergebnisse beizubringen. Im weiteren muss abgeklärt werden, ob für das beschädigte Anstrichsystem Verbindlichkeiten oder Gewährleistungen (Garantien) abgegeben wurden, was allenfalls Rechtsfälle nach sich ziehen würde.

Angaben zur Vorgeschichte II

Diese befasst sich mit dem zu schützenden Objekt. Darin soll festgehalten werden, um welches Objekt es sich handelt, welche Abmessungen (Länge, Höhe, Breite, Durchmesser, Innenfläche, Aussenfläche usw.) es aufweist, wo das Objekt gelegen ist, wer es hergestellt hat, wer die Applikation wann durchgeführt hat. Im weiteren ist festzustellen, ob ein Abnahmeprotokoll vorhanden ist, in welchem seinerzeit das Anstrichsystem kontrolliert wurde hinsichtlich Schichtdicke, Porenfreiheit, Haftfestigkeit usw.

Angaben zur Vorgeschichte III

Dieser Abschnitt befasst sich mit den Projektierungsdaten, Betriebsdaten, Randbedingungen. Es soll festgestellt werden, ob die seinerzeit projektierten Bedingungen eingehalten worden sind oder ob sich inzwischen diese Betriebsbedingungen geändert haben, d. h. es müssen die Randbedingungen festgestellt werden wie Temperatur, Druck, Strömungsgeschwindigkeit, Medium, Betriebsdauer, mechanische Beanspruchung, biologische Beanspruchung, chemische Beanspruchung, Bewitterungsbeanspruchung, Sonneneinstrahlung usw.

Angaben zur Vorgeschichte IV

In diesem Abschnitt werden die Einzelheiten angegeben, die zum Versagen führten. Es ist wichtig festzustellen, wann ein Schaden beobachtet wurde. Die Aussagekraft dieser Tatsache ist allerdings eingeschränkt, da sehr oft Schäden an Anstrichsystemen festgestellt werden, lange nachdem sie begonnen haben. Im weiteren sind festzuhalten das Schadenausmass, der Schadenvorgang, die zur Zeit der Schadenbeobachtung herrschenden Betriebsbedingungen. Die Ansichten der Betreiber können sehr oft Aufschlüsse geben über den Schadenvorgang, da die Betreiber näher am Objekt stehen als derjenige, der den Schaden untersuchen soll.
Neben der Vorgeschichte führt auch die Sichtprüfung zu wichtigen Rückschlüssen. Die Sichtprüfung soll daher in Aussagemöglichkeiten und Verfahren der Sichtprüfung I, II und III aufgeteilt werden.

Aussagemöglichkeiten und Verfahren der Sichtprüfung I

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Überblick über den Schaden. Es soll zunächst festgestellt werden, wo und an welchem Bauteil ein Korrosionsschaden eingetreten ist. Es soll der Beanspruchungszustand festgehalten werden (Abrieb, aggressive Medien, Sonneneinstrahlung usw.). Daneben interessieren Applikationseinzelheiten sowie das Ausmass des Schadens. Alle diese Angaben können noch ohne Instrumente erhoben werden.

Aussagemöglichkeiten und Verfahren der Sichtprüfung II

Hier werden Einzelheiten zum Versagensvorgang aufgeführt. Dazu sind bereits Instrumente notwendig. Unter anderem sollen makroskopische Sichtprüfungen durchgeführt werden, in denen vor allem allfällige Korrosionsprodukte und Beläge, die durch das Versagen entstanden sind, festgestellt und gesichert werden. Im weiteren muss die Anstrichoberfläche untersucht werden hinsichtlich Unregelmässigkeiten der Oberflächengestalt, Risse, Ablöseerscheinungen, Blasenbildung.

Aussagemöglichkeiten und Verfahren der Sichtprüfung III

Dieser Abschnitt befasst sich hauptsächlich mit der Prüfung des noch vorhandenen Anstrichfilmes hinsichtlich Schichtdicke und Porenfreiheit. Die Messwerte können unter Umständen Aufschluss darüber geben, warum an Stellen keine Schäden, an anderen Stellen hingegen Schäden aufgetreten sind.

Versuchsplanung

Schon während die Angaben zur Vorgeschichte und die Aussagemöglichkeiten und Verfahren der Sichtprüfung erfasst werden, ist die Versuchsplanung zu organisieren. Die Prüfverfahren können aufgeteilt werden in zerstörungsfreie und zerstörende Prüfungen. Zerstörende Prüfungen sind zum Beispiel der Gitterschnitt, die Keilschnittschichtdickenmessung, der Abrasionsversuch usw.

Fragmente von beschädigten Anstrichfilmen können mikroskopisch untersucht werden, um allfällige Rückschlüsse, die zum Schaden führten, zu ziehen. Im weiteren können als zerstörende Massnahmen noch Korrosionsprüfungen, chemische Untersuchungen und Einsatz von Röntgen- oder Elektronenstrahlen vorgesehen werden.

Voraussetzungen zur Aufstellung einer Schadenanalyse

Die wichtigsten Voraussetzungen zur Aufstellung einer Schadenanalyse sind:

— uneingeschränkte Zugänglichkeit zum Schadenobjekt;
— Einsichtnahme in die Vorgeschichte des Schadens;
— ungetrübtes Verhältnis zum Geschädigten und umgekehrt;
— Ausrüstung für die Sichtprüfung an der Schadenstelle;
— Ausrüstung an Instrumenten und Geräten für Prüfungen im Labor;
— Ausrüstung zur Probeentnahme;
— Fotoausrüstung, um das Ausmass und die Art des Schadens festhalten zu können.

5. Schlussbemerkungen

In Kreisen, in denen grosse Konstruktionen projektiert oder hergestellt werden, gilt der Korrosionsschutz oft als «quantité négligeable» oder er wird überhaupt verdrängt, in der Meinung, Korrosionsschutzfirmen und Lackfabriken würden dieses Problem schon lösen, dazu seien sie ja Spezialisten. Sicher arbeiten in diesen Firmen Spezialisten, aber zaubern können diese auch nicht. Die Spezialisierung sowohl im Ingenieurbüro als auch in der Stahlbauwerkstatt darf nicht so weit gehen, dass der Sachbearbeiter von Nebendisziplinen nichts mehr versteht und infolgedessen glaubt, andere würden diese Aufgaben lösen.

Man stellt mit Bedauern fest, dass der praktische Korrosionsschutz grosser Bauwerke nicht als Ingenieurdisziplin an unseren Hochschulen oder Technika unterrichtet wird, ganz im Gegensatz zu einigen sozialistischen Ländern, in welchen Korrosionsschutzingenieure durch ein Nachdiplomstudium ausgebildet werden. Diese Anstrengung wird dadurch belohnt, dass in diesen Ländern die Korrosionsschäden, gemessen am Bruttosozialprodukt, zu sinken beginnen.

Auf die Dauer kann dem Korrosionsschutz nur der Stellenwert zukommen, den er nötig hat, wenn alle Partner, die von ihm betroffen sind, sich offen zu ihm bekennen und ihn durchsetzen.

Adresse des Verfassers: Ingo Wulff, dipl. Ing. ETH/SIA, Surface-Protection Consult Engineering, 8633 Wolfhausen.

Schadenfälle an Beispielen aus der Gutachterpraxis

Franz Schaur [1])

Die Anstrichschäden werden üblicherweise auf folgende Ursachen zurückgeleitet:

— unsachgemässe Vorbereitung des Untergrundes
— mangelhafte Ausführung der Beschichtungsarbeiten
— Auswahl eines ungeeigneten Beschichtungsmateriales

Dazu kommen aber — meist zuwenig beachtet — auch Fehler, die ihre primäre Ursache im Ablauf des Gesamtbaugeschehens haben, nämlich:

— in der Planung
— in der Organisation der Arbeitsgänge

Zwei Umstände sind es, die ich als die häufigsten Schadensursachen bezeichnen möchte, von denen aber leider keine eindrucksvollen Bilder gezeigt werden können, nämlich:

— Zeitmangel und Raummangel

Die Werkstücke werden in der Stahlbauwerkstätte meist erst am Wochenende fertig und sollen schon am Montag früh verladen werden. In Tag- und Nachtschicht müssen dann Strahlung und Beschichtung durchgeführt werden, wobei die Trocknungszeiten nur schwer eingehalten werden können.

Für die ordnungsgemässe Beschichtung werden ausser der Zugänglichkeit auch die passende Temperatur und gute Lichtverhältnisse gebraucht. Diese werden für Korrosionsschutzarbeiten nur ungern bereitgestellt, weil der kostbare Platz für die Herstellung der Werkstücke benötigt wird.

Würde der Korrosionsschutz im Baugeschehen richtig eingeplant, würde ihm genügend Zeit für fachgerechte Aufbringung und Durchtrocknung der Beschichtungsstoffe eingeräumt, könnte ein Grossteil der Schäden verhindert werden.

[1]) Kurzfassung eines Vortrages, gehalten anlässlich der «Internationalen Fachtagung Korrosionsschutz im Stahlwasserbau» vom 2. und 3. März 1978 in Muttenz. Diese Tagung wurde vom Südwestdeutschen und vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband durchgeführt.

Adresse des Verfassers: Dr. Franz Schaur, in Firma O. M. Meissl & Co., Gesellschaft mbH, A - 1030 Wien 3, Marxergasse 39.

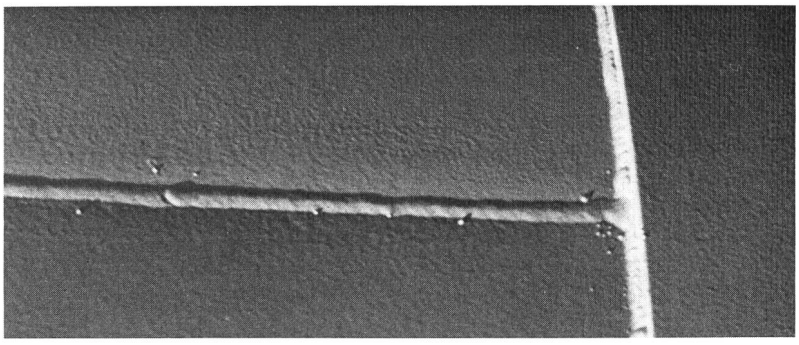


Bild 1. Die Schweissperlen werden erst nach Strahlung und Beschichtung richtig erkenntlich, aber wer entfernt sie dann noch? Der Hersteller des Werkstückes ist ja oft nicht mehr erreichbar.