

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

**Artikel:** Die nachträgliche Konservierung von Turbinen im Kraftwerk Gralla an der Mur  
**Autor:** Killmann, Irmin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941097>

### **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:** 13.01.2026

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

# Die nachträgliche Konservierung von Turbinen im Kraftwerk Gralla an der Mur

Irmin Killmann

## Einleitung

Die Wasserqualität hat sich in den letzten Jahren in vielen Flüssen durch die starke Abwasserlast rapide verschlechtert. So gelangen zum Beispiel polyphosphathaltige Waschmittelmittelrückstände, der Überschuss aus Phosphat- und Stickstoffdüngung sowie Sulfatablaugen aus den Papierfabriken in die Gewässer. Unter bestimmten Voraussetzungen können nun Beläge fest haftender, schichtbildender Mikroorganismen entstehen, welche auf Metalloberflächen Säuren bilden; das Wasser ist dadurch zu einem «aggressivem Medium» geworden. Im Stahlwasserbau mussten daher auch Teile in den Korrosionsschutz einbezogen werden, die früher kaum konserviert wurden. Am Beispiel eines Wasserkraftwerkes an der Mur in der Südsteiermark soll das Problem der Korrosion an Turbinen aufgezeigt und über eine mögliche Lösung berichtet werden.

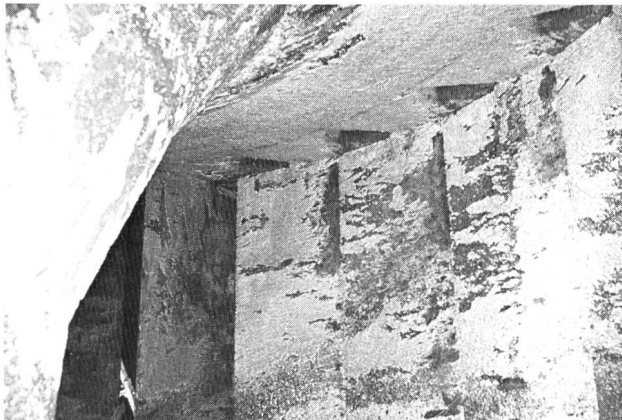
## Das Beispiel des Schadenfalles

Das Wasserkraftwerk Gralla wurde im Herbst des Jahres 1964 mit zwei Kaplanturbinen (Leistung 7,4 MW, Nennfallhöhe 8,7 m, Schluckfähigkeit 100 m<sup>3</sup>/s, Nenndrehzahl 100 Upm) in Betrieb genommen. Bei den beiden Turbinen bestehen die Laufschaufeln aus Stahlguss GS30Mn6, sind also nicht rostfrei. Die Turbinen wurden jährlich einmal während der Werkabstellungen besichtigt. Zunächst wurde immer derselbe Zustand vorgefunden: Alle nicht bewegten Teile waren im Bereich geringer Wassergeschwindigkeit von einer dichten, grauen Pilzschicht bewachsen. Die Laufschaufeln wiesen an ihrer Oberfläche eine glatte, dichte, braun-schwarze Oxydschicht auf. Die geringfügigen Kavitationsangriffe wurden jeweils mit rostfreien Elektroden ausgeschweisst.

Anlässlich der Turbinenrevision im Frühjahr 1972 — nach einem Betriebsjahr mit besonders geringer Wasserführung — wurden nach dem Entfernen des Pilzbelages grossflächige Korrosionsschäden vorgefunden. An der sonst mit einer einheitlich grauen Pilzschicht bedeckten Fläche zeigten sich nun rote Flecken (Bild 1), darunter wurden millimetertiefe Korrosionsnarben festgestellt.

An Stellen, die nur punktförmige Beschädigungen aufwiesen, konnte eine Art Lochfrass bis zu 5 mm Tiefe beobachtet werden. Teile aus rostfreiem Material waren jedoch nicht angegriffen.

Bild 1. Blick auf einen Teil der Laufschaufeln und des Wasserführungsschildes. Auf der mit einer Pilzschicht bedeckten Fläche zeigen sich rote Flecken.



Die mikroskopische Untersuchung der Pilzbeläge durch den Werkschemiker ergab:

«In den Belägen leben verschiedene Schwefel- und Eisenbakterien, welche in Symbiose mit Schleimpilzen eine stark korrodierende Wirkung auf Stahloberflächen ausüben (Bild 2).

Gewisse Schwefelbakterien sind dabei in der Lage, die Sulfatablaugen bis zum Schwefelwasserstoff zu reduzieren, welcher dann als schwache Säure Eisen angreift.

Eine andere Gruppe von Schwefelbakterien bezieht ihren Energiebedarf auf chemosynthetischem Wege über Schwefelwasserstoff und Sauerstoff. Dabei wird elementarer Schwefel in der Bakterie gespeichert. Dieser wird dann bei Schwefelwasserstoffmangel als Energiequelle herangezogen, wobei mit Sauerstoff und Wasser Schwefelsäure entsteht, welche wiederum Eisen angreift.

Die sehr vielseitigen Schwefelbakterien können aber auch selbst Eisen speichern oder die Ansiedlung von Eisenbakterien fördern.»

Aufgrund dieser starken Korrosionsangriffe war es notwendig, alle Metallteile der Turbinen zu konservieren, das heisst mit einer Deckschicht zu schützen, um einen weiteren Korrosionsfortschritt zu unterbinden.

## Gedanken über die Schutzschicht

Der Gedanke an den Einsatz der augenscheinlich idealen Schutzschicht, eines Metallüberzuges, musste in diesem Fall aus mehreren Gründen wieder verworfen werden. Unter anderem war ausschlaggebend:

— Die Aufbringung von Metallüberzügen an der Baustelle erfordert nahezu ideale Korrosionsschutzbedingungen. Es muss also hinsichtlich der Klimatisierung ein hoher Aufwand getrieben werden.

— Auf fast alle im Spritzverfahren aufgetragenen Metallschichten muss anschliessend ein Porenverschluss aufgebracht werden, von dem letztlich wieder der Erfolg des Korrosionsschutzes abhängt. An diesen Porenverschluss werden daher auch dieselben Anforderungen wie an ein Beschichtungsverfahren gestellt.

— Metallüberzüge sind insgesamt wesentlich teurer als Anstriche.

Bild 2. Rostknollen durch Micelfaden eines Pilzes verbunden (etwa 200mal vergrössert).

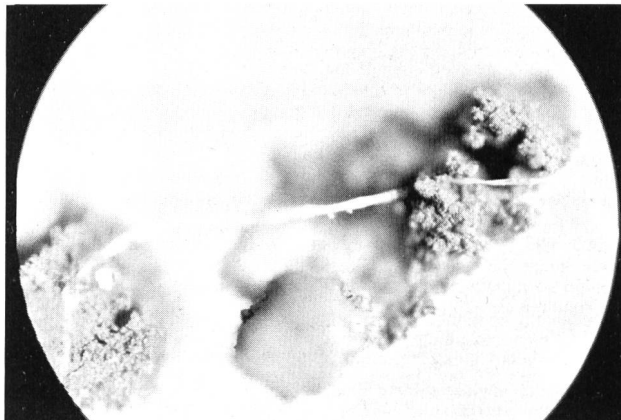




Bild 3. Leitschaukeln und Wasserführungsschild nach der Konservierung mit lösungsmittelfreier Beschichtung.

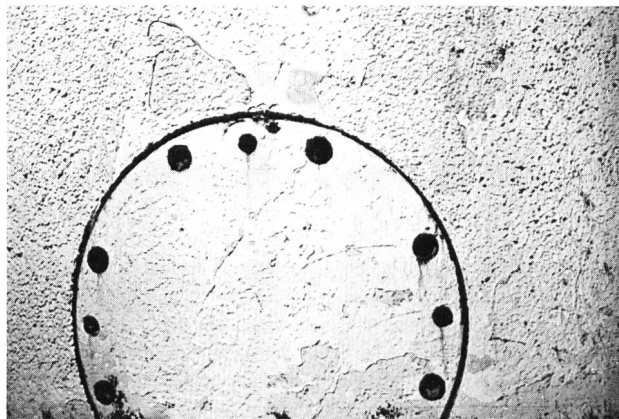


Bild 4. Beispiel einer Schichtentrennung nach Belastung der Beschichtung. Die 2. Deckschicht ist aufgrund ungenügender Haftung teilweise abgeblättert.

Es sollte also eine Beschichtung aufgebracht werden. An diese wurden hohe Anforderungen gestellt:

— Die Beschichtung muss den hohen mechanischen Beanspruchungen in der Turbine im Druck- und Saugbereich gewachsen sein. Sie muss also hohe Abriebfestigkeit und gute Haftung aufweisen.

#### Ausführungen der Turbinenbeschichtung

Tabelle 1

Beschichtung und Ausbesserung mit Alpotect Beschichtung EP 41, lösungsmittelfrei

Vorbehandlung des Untergrundes	Neubeschichtung Sandstrahlentrostung «metallisch blank», SA 3	Ausbesserung Abschleifen der metallischen Stellen und Anschleifen der Beschichtung an der Randzone mit Korundscheiben.
Grundanstrich	1 x Galvador 8002 R Zinkstaubgrund. Schichtdicke: ca. 20 $\mu\text{m}$ (5–10 % Verdg.) Verbrauch: ca. 100 bis 120 g/m <sup>2</sup> Trockenzeit: ca. 24 Stunden	Anlösen der Beschichtung an den Randzonen der Schadstellen mit Verdünnung 51 100.
Haftgrundierung	1 x Feycopon aktiv Mennige EA 9-2240 mit Härter EA 9-2243 (9:1 volumenmässig) Schichtdicke: ca. 35 $\mu\text{m}$ Verbrauch: ca. 150 g/m <sup>2</sup> Trockenzeit: 12 bis 48 Stunden (bei 10 °C), jedoch max. 4 Tage! Der Anstrich kann auch auf anderen geeigneten Zinkstaubgrundierungen aufgebracht werden. Für gute Belüftung sorgen (Lösungsmitteldämpfe!)	
1. Deckanstrich	1 x Alpotect Beschichtung EP 41 lösungsmittelfrei mit Härter 3240 (4:1) Schichtdicke: ca. 250 $\mu\text{m}$ Verbrauch: ca. 500 g/m <sup>2</sup> Trockenzeit: 6 bis 8 Stunden Der erste Deckanstrich EP 41 darf nicht verdünnt werden. Bei mechanisch sehr stark beanspruchten Stellen: Oberflächenverstärkung durch Einlegen von Glasgewebe in die noch feuchte Beschichtung.	
2. Deckanstrich	1 x Alpotect Beschichtung EP 41 lösungsmittelfrei mit Härter 3240 (4:1) und Beimischung von ca. 3 bis 5 % Verdünnung 51 100. Schichtdicke, Verbrauch wie beim 1. Deckanstrich Endtrocknung: 3 bis 4 Tage	

#### Allgemeines:

Die Grundanstriche sollen mit Pinsel aufgebracht werden.

Für die Beschichtung EP 41 müssen lösungsmittelbeständige Kunststoff-Pinsel oder Kunststoff-Fellrollen verwendet werden. Diese müssen sofort nach der Arbeit mit der Verdünnung 51 100 vollständig gereinigt werden. (Das Beschichtungsmaterial härtet sonst auch in der Verdünnung aus!)

Die Lufttemperatur beim Aufbringen der Anstrichmittel soll mindestens 7 °C betragen (Objekttemperatur 2 ° über dem Taupunkt!)

Während der Zwischen- und Endtrocknungszeit soll die Luft möglichst gut erwärmt werden.

— Die Beschichtung muss «revisionsfreundlich» sein. Nicht nur durch die mechanische Beanspruchung im Betrieb, sondern auch bei den Revisionsarbeiten, besonders an Schraubverbindungen und durch Schweissarbeiten, werden immer wieder geringfügige Schäden an der Beschichtung auftreten. Diese Schadstellen sollten nun möglichst einfach und mit geringem Aufwand ausgebessert werden können.

— Das Beschichtungssystem muss eine möglichst kurze Zwischen- und Endtrockenzeit aufweisen.

Revisionsarbeiten werden geplant; der Zeitpunkt und die Dauer der Abstellung werden nach energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten optimal gewählt, so dass kein bzw. nur ein geringer Erzeugungsausfall entsteht. In diesen Abstellzeiten müssen alle Revisionsarbeiten und Anstrichausbesserungen durchgeführt werden. Der Korrosionsschutz ist dabei naturgemäß die letzte Arbeit; Trockenzeiten sind daher meist reine Wartezeiten.

— Die für einen schweren Korrosionsschutz notwendige Schichtdicke soll in möglichst wenig Arbeitsgängen erreicht werden.

#### Ausführung des Korrosionsschutzes

Eine namhafte Lackfabrik hat ein Material vorgeschlagen, das in den wesentlichen Punkten den Anforderungen entsprach, und zwar eine lösungsmittelfreie Epoxid-Beschichtung, die in zwei Schichten zu rund 250  $\mu\text{m}$  mit einer Zwischentrockenzeit von sechs bis acht Stunden auf einem Haftgrund aufgebracht wird. Endtrockenzeit des Systems bei rund 20 °C vor Wasserbelastung: drei bis vier Tage.

Es wurde daher sofort eine Turbine mit diesem Material beschichtet (Bild 3), wobei die Konservierungsarbeiten wie folgt ausgeführt wurden:

— Sandstrahlentrostung «metallisch blank» (SA 3 nach der schwedischen Norm) der gesamten Turbine (Stützschaufeln, Leitschaufeln, Turbinendeckelunterseite mit Wasserführungsschild, Leitschaukelring, Laufrad, Saugrohr).

— Unmittelbar danach wurde die Haftgrundierung aufgebracht (zur sofortigen Konservierung der gestrahlten Fläche und als Haftvermittler).

— Nach etwa 24 Stunden wurde die 1. Deckschicht der lösungsmittelfreien Beschichtung aufgebracht.

— Nach einer Zwischentrocknungszeit von rund sechs Stunden Auftragen der 2. Deckschicht der lösungsmittelfreien Beschichtung.

Während der Trockenzeit wurde Warmluft in den Turbinenraum eingeblasen, um eine möglichst gute Austrocknung zu erreichen.

Das Ergebnis der ersten Anstrichkontrolle nach einem Betriebsjahr war zufriedenstellend. Die Beschichtung wies im allgemeinen einen sehr guten Zustand auf, nur an besonders abriebgefährdeten Stellen wurden Beschädigungen gefunden. Betroffen waren dabei besonders die Kanten der Stütz- und Leitschaukeln sowie der untere Leitradring. An diesen Stellen wurden nun Oberflächenverstärkungen vorgenommen, das heisst es wurde in die noch feuchte Beschichtung Glasgewebe eingelegt. Diese Verstärkungen haben sich in den folgenden Jahren bewährt. Die Ausbesserung von Schadstellen erwies sich als weitgehend problemlos und kann deshalb leicht auch durch das eigene Kraftwerkpersonal durchgeführt werden.

Bei den durchgeführten Konservierungen hat sich der oben beschriebene Beschichtungsaufbau besonders während der Revisionsarbeiten auch hinsichtlich der Grundierung gut bewährt: Die gestrahlte Fläche ist sofort ausreichend geschützt, die Trockenzeit des Aufbaues kurz. Der Haftgrund muss jedoch nach vier Tagen Trockenzeit überstrichen werden.

Es ist nicht immer möglich, die gesamte Fläche in einem Zuge zu konservieren. Teile werden oft zu unterschiedlichen Zeitpunkten sandgestrahlt, müssen transportiert, eingebaut und teilweise noch bearbeitet werden, dies insbesondere während der Bauzeit oder bei der Generalrevision.

In diesen Fällen hat es sich bewährt, die gestrahlte Fläche zunächst mit einer Zinkstaubgrundierung zu schützen. Auf diesem Grund kann nun auch nach längerer Wartezeit das Beschichtungssystem — also der Haftgrund mit den beiden Deckanstrichen — aufgebracht werden.

Aufgrund dieser verschiedenen Versuche wurden sowohl für das Farbmaterial als auch für dessen Anwendung wertvolle Erkenntnisse gewonnen. Am Material wurden einige Änderungen vorgenommen, und viele Tricks bei der Applikation wurden zur Anwenderoutine.

Aus der Sicht des Anwenders sollten bei den Arbeiten mit der lösungsmittelfreien Beschichtung folgende Grundsätze beachtet werden, um Folgemängel auszuschalten:

— Gute Trocknung der Haftgrundierung mit ausreichender Belüftung. Es bilden sich sonst Blasen in der Deckschicht durch das austretende Lösungsmittel.

— Die Zwischentrockenzeit der Beschichtung muss genau eingehalten werden. Es entsteht sonst eine Schichten-trennung, da der 2. Deckanstrich nicht mehr haftet (Bild 4).

### Zusammenfassung

Die genannten Vorteile machen die lösungsmittelfreie Epoxid-Beschichtung zu einem ausgezeichneten Korrosionsschutz für Turbinen. Das System ist auch genügend anpassungsfähig, so dass Neubeschichtungen, Ausbesserungen und Oberflächenverstärkungen gleichermassen hochwertig durchgeführt werden können.

Das Beschichtungsmaterial wurde auch in anderen Bereichen, in welchen kurze Trockenzeiten und hohe Abriebfestigkeiten von entscheidender Bedeutung sind, mit Erfolg eingesetzt. Besonders sollen dabei die Konservierungsarbeiten in Grundablässen und Rohrstücken bzw. Stahlpanzerungen zwischen Einlauf und Absperrorgan erwähnt werden.

Adresse des Verfassers: Ing. Irmin Killmann, Steirische Wasserkraft- und Elektrizitäts-AG, Leonhardsgürtel 10, A - 8010 Graz.

## Talsperren-Messtechnik

Um das Verhalten einer Talsperre zu beobachten und ihre Sicherheit zu überwachen, werden mit erheblichem Kostenaufwand Messinstrumente eingebaut. Während der letzten Jahre sind in den Methoden bemerkenswerte Fortschritte erzielt worden. An verschiedenen Stellen verstreut wurde darüber berichtet. Es ist zu begrüßen, dass die weltweit verbreitete Fachzeitschrift *«Water Power and Dam Construction»* das ganze April-Heft 1978 dem Problemkreis der Talsperrenmesstechnik widmet und in einem State-of-the-art-Report die Fortschritte zusammenfasst.

Der erste Hauptaufsatz befasst sich mit der Wirtschaftlichkeit. Er unterscheidet zwischen Instrumentierung für die Inbetriebnahme, für die Erfüllung der gesetzlichen Vorschriften, für die Überwachung des vorberechneten Verhaltens und schliesslich für die Forschung. Statistiken zeigen, dass mit Fehlverhalten von Talsperren gerechnet werden muss. Mit einer geeigneten Instrumentierung kann ein solches frühzeitig vorausgesehen werden. Rechtzeitig können Gegenmassnahmen ergriffen werden. Es fehlt auch nicht der Hinweis auf die notwendige Interpretation der Messresultate durch Fachexperten. Als Richtwerte für die Kosten einer Mindestinstrumentierung werden, bezogen auf die Kosten der Talsperre, 1,0 % für Dämme und 0,75 % für Betonmauern angegeben. Eine Unterschreitung dieser Werte wird mit Hinsicht auf die heute oft schwierigen Sperrstellen nicht empfohlen.

Anschliessend werden die verschiedenen Typen von Porendruckmessern mit ihren Vor- und Nachteilen beschrieben: hydraulische, pneumatische und elektrische Piezometer. Ferner wird auf Setzungsmessungen und Bewegungen im Damm selbst eingegangen.

Mit Spannungs- und Dehnungsmessungen und ihrer Zuverlässigkeit setzt sich Carlson Instruments, USA, auseinander. Es wird gezeigt, dass bei guter Einbettung der Messinstrumente zuverlässige Angaben erhalten werden.

Die wohl revolutionärste Entwicklung der letzten Jahre ist der Einsatz des Mekometers der Firma Kern, Aarau, das die geodätische Messung völlig verändert: Distanzen werden mit einer Genauigkeit von Bruchteilen von Millimetern gemessen, wodurch das Mekometer dem Theodoliten ab einer Distanz von 200 bis 300 m überlegen ist. Der Luzerner R. Kägi, ein ausgewiesener Vermessungsfachmann, beschreibt eingehend die dazugehörenden Installationen und Operationen. Die geodätische Messung weist den Vorteil auf, in einem mathematisch geschlossenen System — dank Computer bildet der Rechenumfang kein Problem mehr — die Verformungen und die Zwischenbeziehungen von benachbarten Punkten (einschliesslich Sperrenumgebung) aufzudecken. Bei allen andern Methoden handelt es sich jeweils nur um eine punktuelle Messung.

Der nachfolgende Artikel (mit Fortsetzung im Mai-Heft) be-