

Sanierung des Korrosionsschutzes der Druckrohrleitung des Kraftwerkes Naturns (I)

A. Zwanzinger, E. Rainer, B. Kommenda

Zusammenfassung: Die Azienda Energetica S.p.A. entschlossen sich die schweren Korrosionsschäden an der Innenfläche der Druckrohrleitung und der Absperrorgane nach 40 Jahren Betrieb zu sanieren. Im Rahmen eines dreimonatigen Werkstillstandes wurden die 13.000 m² Innenfläche der 2.000 m langen Druckrohrleitung (2,0 – 1,8 m Durchmesser), die eine Fallhöhe von 1.135 m aufweist, von Mitte Februar bis Mitte Mai 2001 vollständig bearbeitet. Die alte Beschichtung auf Teerbasis wurde durch Sandstrahlen entfernt und die Oberfläche in zwei Lagen mit dem lösemittelfreien Zweikomponenten-Epoxidharzsystem Humidur[®] beschichtet.

1. Allgemeines zum Kraftwerk und zur Druckrohrleitung

1.1. Kraftwerk

Die Kraftwerk Naturns ist die wichtigste und größte Anlage der Etschwerke AG (Azienda Energetica S.p.A.). Es wurde in den frühen 60er Jahren errichtet und ging 1963 in Betrieb. Das Speicherkraftwerk befindet sich am Rande der Ortschaft Naturns (Nähe Meran) am Fluß Etsch und ist als Spitzenstrom-Kraftwerk konzipiert.

Das Kraftwerk mit einer durchschnittlichen Bruttofallhöhe von 1.135 m wird hauptsächlich vom Speicher Vernagt gespeist. Das Speicherbecken ist durch einen 15 km langen Triebwasserdruckstollen mit dem in das Gebirge gebaute Wasserschloß am Sonnberg verbunden. Von den Absperrorganen in der Kaverne des Wasserschlosses führt die 2.000 m lange Druckrohrleitung zum Kraftwerk am Fusse des Sonnenberges.

Das Kraftwerk ist mit drei waagerechten doppelten Pelton-Turbinen ausgerüstet. Die Einheiten 1 und 2, (jede mit 60 MW) wurden 1963 installiert. 1986 wurde eine dritte doppelte Pelton-Turbine, die eine Kapazität von 110 MW aufweist, hinzugefügt. Die Ausbauwassermenge beträgt max. 18 m³/sec. Die jährliche Energieproduktion des Kraftwerkes ist ca. 340 GWh.

1.2. Druckrohrleitung

Die gesamte Druckrohrleitung ist in Stahlblech ausgeführt. Der erste Teil ist im Stollen verlegt, wovon die Strecke bis zur Schieberkammer einbetoniert ist. In der Schieberkammer befinden sich 2 Drosselklappen und ein ca. 4 m langes Ausbaurohr in der Rohrleitung. Die Rohrleitung läuft in der Folge zirka 100 m frei in einem horizontalen Stollen weiter. Nach dem Stollenaustritt führt sie frei über den Berg-

hang bis knapp vor die Zentrale, wo sie neuerdings unter Tag tritt und nach einem kurzen Schrägstollen im Verteilerstollen mündet.

Der Durchmesser beträgt bis zur Schiebekammer 2400 mm. Von dort verringert er sich in 3 Teilabschnitten von nahezu gleicher Länge auf 2000, 1900 und 1800 mm. Die Rohre ruhen auf Sattelstützen und sind an den Knickpunkten im Beton verankert. Das Profil wird durch 18 Knickpunkte in 17 Schrägstücke unterteilt. Unterhalb jedes Verankerungsblockes ist ein Dehnungsstück eingebaut.



Das nebenstehende Bild zeigt die Rohrleitung mit einer ca. 5 cm starken, außen mit einer Alufolien und Plane umhüllten, Isolierung. Die Isolierung wurde im Spätherbst 2000, also vor der Entleerung, angebracht.

2. Das Konzept

2.1. Ausgangssituation, Korrosionsschäden



Die Altbeschichtung auf Teerbasis war von Rostpusteln großflächig zerstört. Die Rostpusteln waren mehrere Zentimeter hoch und breit. Im Bereich der Sohle waren kaum glatte Stellen ohne Muldenkorrosion und Lochfraß zu finden.

2.2. Planung, Beschichtungsprodukt, Vergabe, Termine

Für die Konzepterstellung, die Ausarbeitung der Ausschreibung, die Angebotsauswertung und die Wahl der ausführenden Firma wurde 1999 eine Projektgruppe mit Vertretern der Etschwerke AG und der TIWAG gegründet.

Maßgeblich für das Projekt war die Wahl des zu verwendenden Beschichtungsproduktes (Einfluss auf Baustelleneinrichtung, Klimatisierung, Befahrung, Strahlqualität, Applikation, Kontrollen, Terminplan, usw.). Daher wurden in Zusammenarbeit mit der TIWAG mehrere denkbare alternative Lösungen mit ihren Vor- und Nachteilen intensiv gegenübergestellt. Wichtige Punkte bei der technischen Beurteilung waren u.a. die Ergebnisse des jeweiligen Korrosionsschutzsystemes bei Referenzprojekten.

Das dickschichtige Produkt Humidur[®] mit den spezifischen Vorteilen für ein Projekt im Wasserkraftwerksbereich stellte sich im Rahmen der Bewertung der technischen Konzepte als am besten geeignet heraus. Für den vorgesehenen Durchführungszeitraum von Mitte Februar bis Mitte Mai und den dabei herrschenden äußeren Rahmenbedingungen (Lage der Rohrleitung, äußer Klimabedingungen etc.) ergaben Berechnungen, dass das Projekt unter diesen Bedingungen und den von den Etschwerken vorgegebenen Termin nur mit Humidur[®] durchführbar ist.

Beschichtungsprodukt

Die Vorteile dieses Produktes liegen im wesentlichen in der einfachen, dickschichtigen Applikation, der einfachen Ausbesserungsweise (Spachtelung mit dem gleichen Produkt), der Möglichkeit, das Produkt auch bei sehr tiefen Objekttemperaturen zu applizieren (Winterzeit, Hochgebirge, freiliegende Rohrleitung, daher sind Temperaturen unter 10°C, trotz Isolierung, zumindest zeitweise zu erwarten), viele Referenzflächen in Druckleitungen, keine Lösungsmittel, hohe Qualität, Garantie, usw..

Vergabe

An der beschränkten Ausschreibung mit Vorselektion nahmen 5 internationale Bieter teil. Die Firma KO-SCHUTZ Oberflächentechnik Ges.m.b.H. aus Österreich bekam den Zuschlag (bestes Konzept, akzeptabler Preis, volle Gewährleistung auf 5 Jahre, langjährige Erfahrung mit Humidur[®] im Wasserkraftwerksbereich, Zuverlässigkeit und Termintreue).

2.4. Befahrungsanlage

Die Befahrungsanlage bestand pro Abschnitt aus einer Seilwinde, dem Zugseil an dem der Arbeitswagen befestigt war und zwei Totseilen die zur Befestigung des Materialwagens dienten. Die Totseile, mit den daran befestigten Seilblöcken, hatten darüber hinaus noch die Funktion die Seilführung für das Zugseil zu unterstützen und ein zu starkes Durchhängen und Schleifen des Zugseiles am Boden zu verhindern. Die gesamte Befahrungsanlage wurde selbstverständlich in Theorie und erfolgtem Aufbau mit einer Belastungsprobe durch unabhängige Sachverständige geprüft und abgenommen.

Auf dem **Materialwagen** war eine Plattform und der Sandstrahlkessel montiert. Die Plattform diente einerseits zum Zwischenlagern des Sandstrahlmaterials, andererseits zum Auffangen des mit der alten Beschichtung verunreinigten Sandstrahlmaterials. Das mehrfach verwendbare Sandstrahlmaterial wurde so gut es ging getrennt und wieder in den Sandstrahlkessel geschaufelt. Beim Sandstrahlen wurde in Abschnitten von etwa 20 m gearbeitet. Der Materialwagen war an den Totseilen fix befestigt und wurde durch Ankoppeln an den Arbeitswagen entsprechend dem zu bearbeitenden Abschnitt nach unten versetzt.

Der **Arbeitswagen** war aufgrund der unterschiedlichen Neigungen der Rohrleitung (ca. 20° bis fast 60°) mit 2 verstellbaren Arbeitsplattformen ausgestattet. Eine weitere wesentliche Einrichtung auf dem Arbeitswagen war die Kommunikationsmöglichkeit in zweifacher Ausführung. Ein Telefonkabel diente gleichzeitig auch zur Übertragung der Steuerung für die Sicherheitseinrichtung (Notaus, Schlaffseilabschaltung etc.).

2.5. Klimatisierung, Lager, Organisation

Am oberen und unteren Ende sowie bei der Mittelstation waren Zuluft- und Abluftleitungen für die beiden Abschnitte der Schrägstrecke installiert. Da es - wie erwähnt - zwischen den beiden Enden der Rohrleitung nur eine einzige Zugangsmöglichkeit mit einem Kraftfahrzeug über eine Straße gab, mussten Zwischenlager für Sandstrahl-



und das Beschichtungsmaterial errichtet werden. Der An- und Abtransport war nur per Helikopter möglich.

Das nebenstehende Bild, das nach Fertigstellung der beiden Abschnitte 2 und 3 aufgenommen wurde, zeigt die Baustelleneinrichtung bei der Mittelstation ohne Einhausung. Im Hintergrund ist das Windenhäuschen zu sehen. Die Seil-

umlenkung ist auf dem unteren Ende des oberen Rohres montiert.

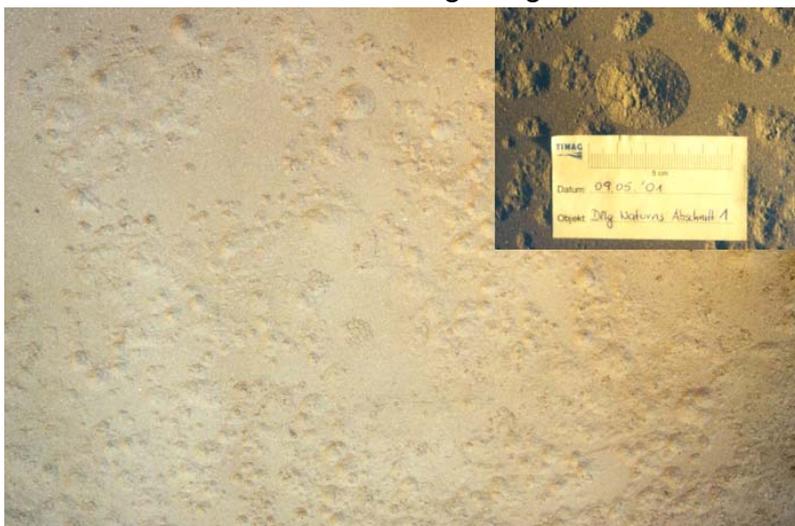
Nach Fertigstellung der Beschichtung in den Schrägstrecken und Demontage der Befahrungsanlage wurde das herausgeschnittene Rohrstück wieder eingesetzt, verschweißt, geprüft und mit Humidur® beschichtet.

Nicht nur bei direkter Sonneneinstrahlung (es handelt sich um einen Südhang), sondern auch bei einem starken Wintereinbruch (sogar am 20. April 2001 schneite es noch ca. 50 cm) erwies sich die **Isolierung** der Rohrleitung als notwendig. Durch die Isolierung konnten die Temperaturschwankungen abgeschwächt und das Klima (Lufttemperatur und Feuchtigkeit) optimal geführt werden, so dass sich keine Probleme mit dem Taupunkt ergaben. Da aus Zeit- und Effizienzgründen relativ großen Abschnitte gemacht wurden (z.B. 2400 m² pro Teil-Abschnitt), wäre ein Taupunktunterschreitung und ein Anlaufen der Rohrleitung vor dem Beschichten ein großes Problem gewesen.

3. Strahlentrostung

Die Altbeschichtung wurde in einem ersten Strahlgang von oben nach unten entfernt. Anschließend wurde in einem zweiten Strahlgang mit neuem Strahlmittel die Oberfläche bis zu einer Reinheit von Sa2 ½ gereinigt (R,z>40µm) und entstaubt. Im oberen und unteren Abschnitt (=Abschnitt 2 und 3) wurde gleichzeitig gearbeitet. Nachdem der Abschnitt 2 fertig gereinigt und beschichtet war, wurde Abschnitt 1 (Wasserschloß) gestrahlt und beschichtet. Die Verteilrohrleitung wurde zum Schluß bearbeitet, da zuerst der Abschnitt 3 fertig sein musste. Aus Sicherheitsgründen konnte nicht gleichzeitig in der Schrägstrecke (Abschnitt 3) und der Verteilrohrleitung gearbeitet werden.

Die nebenstehende Abbildung zeigt die enormen Korrosionsschäden nach der Strahlentrostung.



4. Beschichtungsaufbau

Nach der Sandstrahlabnahme durch die Qualitätssicherungspersonal der TIWAG und stichprobenartiger Prüfung der Schweißnähte wurde der jeweilige Teilabschnitt zur Beschichtung freigegeben. In der Leistungsbeschreibung war aufgrund der Korrosionsschäden (speziell im Sohlbereich) und der zu erwartenden Belastungen festgelegt, Humidur[®] in zwei Arbeitsgängen im Farbtonwechsel (erste Schicht fehgrau, zweite Schicht/Deckschicht reinweiß) mit einer Gesamttrockenschichtstärke von mind. 800µm im Sohlbereich (Kreissegment zwischen 4 und 8 Uhr) und mind. 600µm im restlichen Bereich zu applizieren. Die Applikation erfolgte mittels Airless-Spritzen im Kreuzgang.

Die ersten Deckbeschichtung (direkt auf den Stahl – keine Grundierung) konnte nach einer Trockenzeit von nur 48 Stunden mit der Befahrungsanlage überfahren und optisch auf Poren untersucht werden. Offene Poren und die scharfkantige Mulden- und Lochfraßkorrosion wurde mit Humidur[®] P gespachtelt und anschließend die zweite Deckschicht Humidur[®] aufgebracht.

Da das Beschichtungsprodukt ohne Zwischentrockenzeiten auskommt und auch keiner längeren Mindesttrockenzeit bedarf, ist im Vergleich zu konventionellen Beschichtungssystemen (mit Grundierung, mehrfachen Deckschichten und langen Zwischentrockenzeiten) ein effizienter Arbeitsablauf und damit kürzerer Werkstillstand möglich.

Aufgrund einer höheren Schichtstärke bei der ersten Schicht (ca. 400 bis 500µm bzw. 700 bis 1.000µm im besonders stark korrodierten Bereichen wie Sohle bzw. Schweißnähte) konnte eine großflächige Spachtelung vermieden werden. Die durchschnittliche Schichtstärke betrug im Sohlbereich ca. 1.200µm und auf der restlichen Fläche ca. 900µm.

5. Qualitätssicherungsmaßnahmen

Um eine möglichst kurze Durchführungszeit des Projektes und damit eine kurze Stillstandszeit der Kraftwerkes zu erzielen, war nicht nur die Wahl eines effizienten Beschichtungssystemes, sondern auch eine begleitende und flexible Qualitätssicherung von ausschlaggebender Bedeutung. Die von den Etschwerken beauftragten Fachleute der TIWAG betreuten das Projekt von der Analyse des Zustandes der Rohrleitung bis hin zur Schlussabnahme der neuen Beschichtung, um eine optimale Qualität sicherzustellen.

Das Qualitätssicherungssystem war, entsprechend der Bedeutung des Projektes, sehr umfangreich und umfasste in systematischen Abläufen, neben der intensiven Einbindung und Koordination aller Beteiligten, die genaue technische Spezifikation der zu erbringenden Leistungen, die Festlegung der Gewährleistungskriterien und –dauer, sowie konkrete Parameter bzw. Prüfungen (siehe Literatur: Rainer, Qualitätssicherung).

6. Details zur Durchführung der Arbeiten in einzelnen Abschnitten

6.1. Abschnitt 2 – Teilabschnitt Flachstrecke



Der erste Teilabschnitt im Abschnitt 2 war die ca. 100 m lange Flachstrecke bis zum ersten Krümmer (ca. 700 m²). Das nebenstehende Bild zeigt die Applikation der ersten Schicht Humidur® auf die gereinigte Stahloberfläche.

6.2. Abschnitt 1 – Wasserschloß

Das Wasserschloß befindet sich am Sonnenberg am Ende des Druckstollens, und wurde zur Gänze aus dem Fels gesprengt. Das Zweikammerwasserschloß besteht aus einem lotrechten Steigschacht, einer ringförmigen unteren und einer rechteckigen oberen Kammer. Am Ende der ringförmigen unteren Kammer geht der Stahlbeton in eine Stahlpanzerung über (oberster Punkt für die Konservierungsarbeiten der Druckrohrleitung).



Die ans untere Ende des S-förmigen gepanzerten Triebwasserstollens geflanschten 2 Drosselklappen und das Ausbaurohr waren demontiert. Das nebenstehende Bild zeigt die Applikation der zweiten Schicht Humidur® im Bereich des S-förmigen Triebwasserstollens. Der Durchmesser beträgt 2,4 m, die Länge bis zur Schieberkammer ca. 65 m. Aufgrund der mäßigen

Steigung und kurzen Länge war keine Befahrung erforderlich.

6.3. Abschnitt 2 und 3 - Schrägstrecke

Die Abschnitte 2 und 3 wurden in mehrere Teilabschnitte unterteilt und in jeweils zwei Durchgängen sandgestrahlt. Ein großes Problem war, dass in den Flachstrecken das Gemisch aus Sandstrahlmaterial und Altbeschichtung nicht nach unten rutschte und ein zusätzlicher Mann für den Weitertransport zum Materialwagen erforderlich war. Die Trennung in Sandstrahlmaterial und Altbeschichtung konnten ebenfalls nur schwer und nur mit Pressluftunterstützung erfolgen. Die enorme Ansammlung und der Abtransport des alten Beschichtungsmaterials machte der gesamten Mannschaft schwer zu schaffen.

Wie auch bei den anderen Abschnitten, erfolgte nach dem zweiten Sandstrahldurchgang und gründlicher Entstaubung der Oberfläche die Sandstrahlabnahme durch die Qualitätssicherungsexperten der TIWAG. Die Oberfläche wurde auf Reinheit (Sa2½), Rauigkeit (stichprobenartige Messung), Staubfreiheit (Klebebandtest), Verunreinigung durch Chloride und Salze geprüft. Die festgestellten Werte für die Chloride und Salze lagen zwischen 20 und 30 mg/m². Anmerkung: Grundsätzlich soll die Konzentration so niedrig wie möglich, aber auf alle Fälle unter 40 mg/m² liegen.

Auch in der Schrägstrecke war der Lochfraß und die Muldenkorrosion besonders im Bereich der Sohle, wo die alte Beschichtung wahrscheinlich durch Abrasion frühzeitig beschädigt wurde, tief.



Nach der Sandstrahlabnahme wurde der Arbeitswagen mit Humidur[®] beladen und von oben nach unten die erste Schicht Humidur[®] gespritzt. Das Airless-Spritzgerät war am unteren Ende des Wagens montiert, wo auch die beiden Komponenten von Humidur[®] gemischt wurden. Da die Lufttemperatur schon 100 m von der Einblasstelle entfernt zeitweise

(abhängig von der aktuellen Außentemperatur) unter 10°C fiel (speziell in der Nacht) und das Humidur[®] zu stark abkühlte, musste es durch den Einsatz einer elektrischen Heizung vor dem Mischen entsprechend gewärmt werden. Anmerkung: die optimale Temperatur des Materials vor dem Mischen sollte zwischen 20 und 25°C liegen. Zusätzlich war auch der 10 m lange Spritzschlauch elektrisch auf ca. 35 °C geheizt.



Das nebenstehende Bild zeigt die fertig aufgetragene erste Schicht im Bereich einer positiven Krümmung der Rohrleitung und die Seile und Umlenkrollen für die Befahrungsanlage. Da von oben nach unten gespritzt wurde und sich der Arbeitswagen unterhalb der frisch gespritzten Fläche befand, konnten während der Trockenzeit die Sandstrahlarbeiten fortgesetzt werden. Nach 48 Stunden konnte die Beschichtung mit dem Wagen überfahren und die zweite Schicht Humidur® im Farbton weiß gespritzt werden.

Nach einer entsprechenden Aushärtungszeit wurde die gesamte Oberfläche auf Poren mittels Hochspannungsdetektors geprüft und die Schichtstärke gemessen. Im Zuge der Schlussabnahme aufgefundene Poren wurden mit Humidur® (Streichvariante) nachgestrichen. Anmerkung: Auch auf die bereits ausgehärtete Humidur®-Oberfläche kann eine weitere Schicht ohne Aktivierung oder Aufrauen nach beliebiger Zeit aufgebracht werden. Diese Eigenschaft erweist sich besonders bei der Durchführung schwieriger Projekte als erheblicher Vorteil. Die Bearbeitung einzelner Abschnitte muß nicht einem engen Zeitfenster oder -plan für die Applikation der einzelnen Schichten (wie bei konventionellen Produkten) folgen.

Weiters wurde die Haftung der Beschichtung mit dem hydraulischen Haftprüfgerät P.A.T. (Precision Adhesion Testequipment) geprüft und in aussagekräftigen Protokollen festgehalten. Protokollierte Haftzugwerte von 21 Mpa bestätigen die exzellente Haftung von Humidur®.



Das nebenstehende Bild zeigt das fertig beschichtete Rohr nach Demontage der Befahrungsanlage. Rechts im Bild ist ein Mannloch (Größe: 38 x 28 cm, oval), das durch eine Holzform während der Sanierungsarbeiten verschlossen war, erkennbar.

6.4. Abschnitt 4 - Verteilrohrleitung

Die Verteilrohrleitung ist in einem im Fels liegenden Stollen einbetoniert. Von ihr gehen 6 Abzweigungen mit einem Durchmesser von 700 mm aus, welche über die Kugelschieber zu den einzelnen Turbinen führen.



Nebensiehendes Bild zeigen die fertig beschichtete und sich bei jedem Turbinenstich verjüngende Verteilrohrleitung. Am Ende der Verteilrohrleitung waren die Absaugungsrohre für die Belüftung (Klimatisierung) montiert.

Die Verteilrohrleitung war der letzte Abschnitt und der Termindruck entsprechend groß. Unmittelbar nach der Applikation der zweiten

Schicht wurden auch der letzte Kugelschieber und das Ausbaurohr montiert, so dass der Zugang für die Durchführung der Qualitätskontrolle und Ausbesserungsarbeiten (einzelner verbliebener Poren) am 20. Mai 2001 nur mehr über die entfernten Absaugungsrohre am Ende der Verteilrohrleitung möglich war. Die kurze Schlusstrocknung erfolgte daher teilweise ohne Klimatisierung.

Am 25. Mai waren schließlich alle Mannlöcher geschlossen, die Stopfbüchsen wurden nachgezogen, die Rohrleitung gespült, die Öffnung am Ende der Verteilrohrleitung geschlossen und die Rohrleitung gefüllt, um die ersten Testläufe der Maschinen durchführen zu können. Am 1. Juni 2001 war das Kraftwerk planmäßig am Netz.

7. Fazit

Auf Basis des ehrgeizigen Konzeptes für die Sanierung des Korrosionsschutzes der Druckrohrleitung konnte die Durchführungszeit auf knappe 90 Tage begrenzt werden. Im Vergleich zu Konzepten mit konventionellen Produkten und Verfahren verringerte sich durch das eingesetzte Korrosionsschutzsystem nicht nur das Risiko bei qualitativ und terminlich kritischen Situationen. Durch die wesentlich kürzere Durchführungszeit konnte der Werkstillstand und die damit verbundenen wirtschaftlichen Nachteile durch den Produktionsentgang erheblich verringert werden.

8. Literaturverzeichnis

Etschwerke AG: Wasserkraftanlage Naturns, Bozen, Meran

Ing. Edwin Rainer: Qualitätssicherung bei Korrosionsschutzarbeiten im besonderen bei Druckrohrleitungen anhand von praktischen Beispielen. Tagungsunterlage: 11. internationales Seminar Wasserkraftanlagen: Die Bedeutung der Wasserkraft unter veränderten Marktbedingungen, TU Wien, 15. – 17. November 2000, Herausgeber: DI Peter Angerer, o.Univ.Prof. DI Dr. techn. Dr.hc. Heinz-Bernd Matthias, S. 141 ff.

C. Tonino: Sanierung der Druckrohrleitung 1 des Pumpspeicherkraftwerkes Vianden. Tagungsunterlage: 11. internationales Seminar Wasserkraftanlagen: Die Bedeutung der Wasserkraft unter veränderten Marktbedingungen, TU Wien, 15. – 17. November 2000, Herausgeber: DI Peter Angerer, o.Univ.Prof. DI Dr. techn. Dr.hc. Heinz-Bernd Matthias, S. 151 ff.

9. Autoren

Mag. Alois Zwanzinger
Corro Tec Korrosionsschutz Vertriebsges.m.b.H.
Grinzinger Straße 72/E35, A-1190 Wien,
Tel.: +43/664/103 62 63, Fax: +43/664/77 103 62 63
E-Mail: alois.zwanzinger@aon.at
www.corrotec.at

Ing. Edwin Rainer
TIWAG - Tiroler Wasserkraft AG
Eduard-Wallnöfer-Platz 2, A-6020 Innsbruck
Tel.: +43 (0)50607 21045, Fax: +43 (0)50607 41045
E-Mail: edwin.rainer@tiwag.at

Ing. Bernhard Kommenda
KO Schutz Oberflächentechnik Ges.m.b.H.
Grillparz 1, A-4615 Holzhausen
Tel.: +43/7243/57510, Fax: +43/7243/5751010
E-Mail: office@koschutz.at