

Die Herausforderung – Sanierungsprojekt in neuen Dimensionen: Die Erneuerung des Korrosionsschutzes des Pumpspeicherkraftwerkes Wehr (D)

A. Zwanzinger, E. Rainer, T. Huber

Zusammenfassung: Die Schluchseewerk AG entschlossen sich den Korrosionsschutz des Pumpspeicherkraftwerkes Wehr, bestehend aus den Anlagenteilen Druckschacht, Ober- und Unterwasserverteilrohrleitung, Zylinderschutz und Lindauüberleitung, nach 30 Jahren Betrieb zu sanieren. Im Rahmen eines zwölfmonatigen Werkstillstandes wurden die 40.900 m² Stahloberfläche von Anfang April 2008 bis Anfang März 2009 vollständig bearbeitet. Die alte Beschichtung auf Teerbasis wurde durch Sandstrahlen entfernt und die Oberfläche in zwei bzw. drei Lagen mit dem lösemittelfreien Zweikomponenten-Epoxidharz-System Humidur[®] beschichtet.

1. Allgemeines zur Schluchseewerk AG und zum Kraftwerk

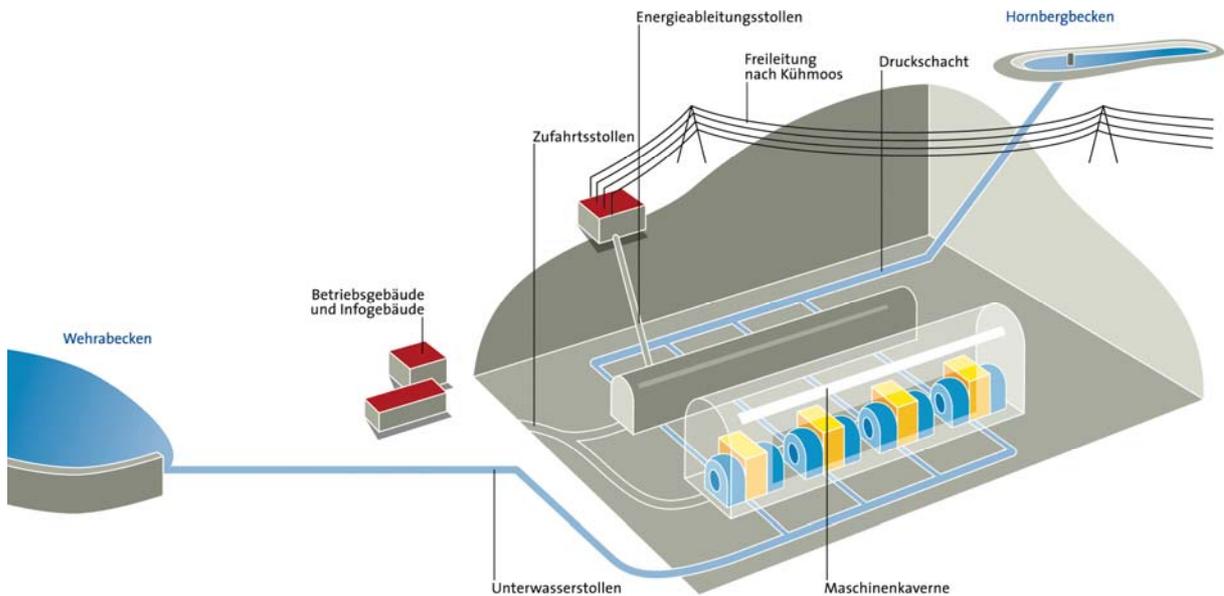
1.1. Die Schluchseewerk AG

Die Schluchseewerk AG verfügt im südlichen Schwarzwald über 5 Kraftwerke mit insgesamt 20 Maschinensätzen, die eine maximale Leistung von 1.836 MW im Turbinenbetrieb und 1.604 MW im Pumpbetrieb bereitstellen. 14 Speicherbecken werden von der Schluchseewerk AG bewirtschaftet. Die Unterhaltung und Erneuerung der Kraftwerksanlagen ist Hauptaufgabe der Schluchseewerk AG.

1.2. Das Pumpspeicherkraftwerk Wehr

Im südlichen Schwarzwald befindet sich oberhalb der Ortschaft Wehr das Pumpspeicherkraftwerk Wehr. Die Wasserversorgung erfolgt vom sogenannten Hornbergbecken auf der Kuppe des Langecks beim Ortsteil Hornberg der Gemeinde Herrischried, mit einem Höhenunterschied von ca. 670 m bis zu den Maschinensätzen. Das Kraftwerk, welches seit 1976 in Betrieb ist hat mit den 4 in einer Kaverne befindlichen Francis- Turbinen eine Leistung von ca. 980 MW. Das über die Turbinen abgearbeitete Wasser wird im unterhalb des Kraftwerkes gelegenen Wehrabecken im Wehrtal bei der Stadt Wehr aufgenommen.

Der Aufbau des Kraftwerkes ist im nachstehenden Schema gut erkennbar.



Nach über 30 Betriebsjahren war der Korrosionsschutz des Triebwasserweges an der Innenfläche zu erneuern. Vom Hornbergbecken (ca. 1.048 m Mh) führt ein gepanzerter Druckschacht vor der Kaverne in die sogenannte Oberwasser-Verteilrohrleitung in welchem sie auf die verschiedenen Maschinensätze verteilt wird. Die Maschinenachse in der Kaverne liegt auf 325 m Mh .

Die gesamte Länge des Druckschachtes beträgt ca. 1.385 lfm. Der Innendurchmesser beträgt 5.53 m der sich im Verteilrohr auf 1.9 m reduziert. Die Rohre des Druckschachtes sind unterirdisch verlegt und somit von außen nicht zugänglich. Es gibt außer dem Zugang im Oberbecken und über die Kaverne und die Verteilrohrleitung keine weiteren Zugänge.

Die UW- Verteilrohrleitung mit zugehörigem Wasserschloss kann über die Kaverne erreicht werden. Der Zugang über das Unterwasserbecken war nur eingeschränkt nutzbar (UW- Becken blieb gefüllt).

2. Das Konzept

Für die Konzepterstellung, die Ausarbeitung der Ausschreibung, die Angebotsauswertung und die Wahl der ausführenden Firma wurde 2006 eine Projektgruppe mit Vertretern der Schluchseewerk AG und der TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG gegründet.

2.1. Auswahl des Beschichtungsproduktes

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 inten-

siv 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 möglichen Alternativen als am besten geeignet heraus. Für den vorgesehenen Durchführungszeitraum von Anfang April 2008 bis Ende März 2009 und den vorgegebenen Rahmenbedingungen ergaben Berechnungen, daß das Projekt unter diesen Bedingungen und den von den Schluchseewerk AG vorgegebenen Termin nur mit Humidur sinnvoll durchführbar ist.

Die Vorteile dieses Produktes liegen im wesentlichen in der dickschichtigen Applikation, der einfachen Ausbesserungsweise (Spritzen, Streichen, Spachtelung mit dem gleichen Produkt), der Möglichkeit, das Produkt auch bei tiefen Objekttemperaturen zu applizieren, viele Referenzflächen und ausreichende Erfahrungswerte in vergleichbaren Einsatzgebieten und insbesondere in Druckrohrleitungen/-schächten, keine Lösungsmittel, hohe Qualität, Garantie, gefahrstofffreie Inhaltsstoffe usw.. Ein weiterer wichtiger Punkt war der hohe Betreuungsgrad des Beschichtungsstofflieferanten auf der Baustelle und die Einbringung seiner langjährigen Erfahrung bei der Durchführung von Korrosionsschutzprojekten mit Humidur im Wasserkraftwerksbereich.

2.2. Vergabe

An der europaweiten Ausschreibung nahmen mehrere internationale Bieter teil. Die Arge Bauschutz-BeKor aus Deutschland bekam den Zuschlag.

2.3. Terminübersicht

Um den vom Netzbetreiber vorgegebenen Terminplan einhalten zu können, war es erforderlich die Konservierungsarbeiten in mindestens 5 voneinander unabhängige Abschnitte zu unterteilen und zu organisieren.

Terminübersicht

Oberwasser-Beckenentleerung inkl. Entleerung Druckschacht und Oberwasser-Verteilrohrleitung	7. April 2008	bis	10. April 2008
Entleerung Unterwasser-Stollen und -Verteilrohrleitung	14. April 2008	bis	18. April 2008
Korrosionsschutzarbeiten Druckschacht	Mitte Juli 2008	bis	3. März 2009
Korrosionsschutzarbeiten Oberwasser-Verteilrohrleitung	Mai 2008	bis	Juli 2008
Korrosionsschutzarbeiten Unterwasser-Verteilrohrleitung	Mai 2008	bis	Jänner 2009
Korrosionsschutzarbeiten Zylinderschütz inkl. bauseitiger mechanischer Sanierung des Zylinderschützes	Sept. 2008	bis	Nov. 2008
Korrosionsschutzarbeiten Lindauüberleitung	Oktober 2008	bis	Dez. 2008
Füllen Unterwasserstollen und -Verteilrohrleitung	Ende Jänner 2009	bis	Ende Jänner 2009
Füllen Druckschacht	17. März 2009	bis	26. März 2009
Inbetriebnahme	17. März 2009	bis	6. April 2009

2.4. Organisation der Baustellenabschnitte

Nach erfolgter Entleerung des Hornbergbeckens (Oberwasser-Becken) konnte als **Abschnitt I** (Zugang über das Oberwasser-Becken) der Bereich des **Druckschachtes**, welcher ca. 1.385 m lang ist, einen \varnothing von 5,53 m und 54% Neigung hat (Fläche insgesamt ca. 24.000 m²), als erster Abschnitt in Angriff genommen werden. Nachdem die Klimageräte, die Schachtbefahrungsanlage und ein Gerüst installiert waren, konnten die Ent- und Beschichtungsarbeiten der ersten Teilfläche des Abschnittes I, nämlich der Senkrechtpanzerung im Einlaufturm, durchgeführt werden.



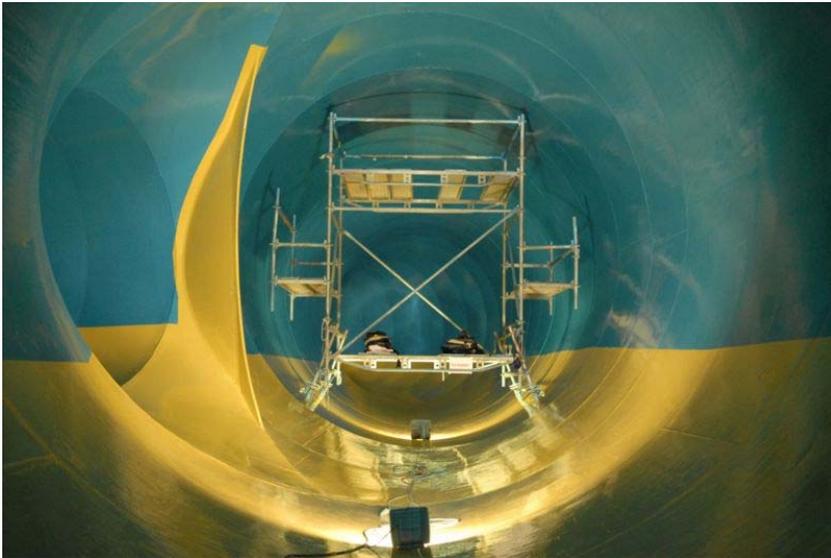
Das Bild zeigt die Applikation der ersten Schicht Humidur in der Senkrechtpanzerung des Einlaufturms

Um den engen Zeitplan einhalten zu können war die **Oberwasserverteilerrohrleitung (Abschnitt II)** mit den zugehörigen Maschinenabzweigen (Flächenausmaß mit der Flachstrecke bis zum Krümmer des Druckschachtes insgesamt ca. 5.400 m²) parallel zur ersten Teilfläche des ersten Abschnittes (Senkrechtpanzerung des Einlaufes/Druckschachtes) zu bearbeiten. Die Konservierungsarbeiten an der Oberwasserverteilerrohrleitungsinnenfläche mußten als erstes fertiggestellt werden, bevor die Hauptarbeit im Druckschacht begann (übereinanderliegende Arbeitsstellen).



Das Bild zeigt die fertige Beschichtung der Oberwasserverteilerrohrleitung mit Sohl- und Sichelverstärkung.

Im **Abschnitt III** war die **Unterwasserverteilerleitung** mit Wasserschloss-Steigschacht mit einem Flächenausmaß von insgesamt ca. 9.600 m² zu bearbeiten.



Das Bild zeigt die fertig beschichtete Unterwasserverteilerleitung mit Sohlverstärkung und Verstärkung in den Sichelbereichen (oberes Ende der Verteilerleitung).

Im **Abschnitt IV** war der **Zylinderschütz** im Einlafturm zu bearbeiten. Für die Korrosionsschutzarbeiten wurde der Zylinderschütz angehoben, auf einem Bearbeitungspodest abgestellt und als Zugang eine Öffnung von ca. 1,20 x 1,20 m in den Einlafturm geschnitten. Der Zylinderschütz konnte erst nach dem Einbau der erforderlichen Wasserhaltungsmaßnahmen in die Bearbeitungsposition gebracht werden. Die am Zylinderschütz erforderlichen mechanischen Instandsetzungsarbeiten erfolgen durch den Auftraggeber und in enger Abstimmung mit der ausführenden Korrosionsschutzfirma.



fertig beschichteter Zylinderschütz.

Im **Abschnitt V** wurde die Innenfläche der **Lindau-Überleitung** (ca. 1.500 m²) neu konserviert.



Applikation der zweiten Schicht Humidur in der Lindau-Überleitung.

Weiters wurde für die Bearbeitung von diversen Kleinteilen im Kraftwerksbereich eine Strahlbox (Strahlhalle) stationär errichtet und parallel zu den anderen Arbeiten betrieben.

Übersicht über die Baustellenabschnitte:

Abschnitte	Fläche in m ²
Abschnitt I Druckschacht	24.000
Abschnitt II: Oberwasser-Verteilrohrleitung mit Flachstrecke des Druckschachtes	5.400
Abschnitt III: Unterwasser-Verteilrohrleitung mit Wasserschloss	9.600
Abschnitt IV: Zylinderschütz	400
Abschnitt V: Lindau-Überleitung	1.500
Gesamtfläche	40.900

2.5. Anforderungen an die Baustelleneinrichtung

Generell ist festzuhalten, daß sämtliche Arbeiten an den zu bearbeitenden Flächen der Abschnitte I bis V als Asbest- / PAK-Baustellen einzurichten und entsprechend den gültigen Normen und Vorschriften durchzuführen waren. Auf Basis der Angaben des Korrosionsschutzlieferanten der alten Beschichtung und der neu erstellten Beschichtungsstoffanalysen wurden die Gefahrstoffe der vorhandenen Altbeschichtung

bestimmt. Durch die dabei festgestellten Gefahrstoffe (im wesentlichen PAK's und Asbest) bestimmten entsprechend die TRGS 519 und 551 die Anforderungen bei den Korrosionsschutzarbeiten. Auf Basis der bisherigen Erfahrungen und in Abstimmung mit den Behörden wurde entschieden, mittels konventionellem Trockenstrahlverfahren die Entschichtung durchzuführen.

Da aus dem Speicherbecken eventuell mit Sicker- und Bergwasser zu rechnen war, mußte eine mit der Schluchseewerk AG abgestimmte Wasserhaltung erfolgen.



Das nebenstehende Bild zeigt das Speicherbecken mit der Baustelleneinrichtung

Für die Zugänglichkeit der Druckschachtinnenfläche (Abschnitt I) war eine Befahrungsanlage, die auch für Personentransport geeignet bzw. von den zuständigen Behörden zu genehmigen war, erforderlich. Die dazu erforderliche Winde konnte im Oberwasser-Becken an den bereits vorhandenen Befestigungspunkten positioniert werden.



Sandstrahlabnahme im Druckschacht, letzte Kontrolle der Reinigung (Klebebandtest) vor Freigabe zur Beschichtung.

2.6. Klimatisierung

Die Bearbeitung der gesamten zu konservierenden Flächen mußte unter klimatisierten Bedingungen erfolgen, wobei die Klimaanlage in ihrer Leistung so bemessen sein mußten, daß die zu bearbeitenden Flächen auch bei ungünstigsten äußeren Witterungsbedingungen stets einwandfrei trocken waren. Dabei mußte, entsprechend der Spezifikation des Auftraggebers, die Oberflächentemperatur der Stahlpanzerung in den Bearbeitungsabschnitten mind. 5 K über ihrem Taupunkt gehalten werden. Die relative Luftfeuchte von 40 % durfte bis zur Fertigstellung der ersten Deckbeschichtung nicht überschritten werden.

Aus arbeitstechnischen Gründen war es notwendig, daß die klimatisierte Luft mittels entsprechend dimensionierter, nachgeschalteter Heizregister aufgewärmt bzw. daß die angesaugte Luft für die Klimageräte mit entsprechenden Aggregaten gekühlt wurde.



Das nebenstehende Bild zeigt einen Teil der Klimaanlage im Oberbecken für die Klimatisierung des Druckschachtes.

Die Klimatisierung bzw. Belüftung war so einzurichten, daß eine Verstaubung insbesondere im Kraftwerksbereich des KW Wehr vermieden wurde. Es war daher notwendig, die gesamte Abluft, bevor sie ins Freie abgelassen wurde, jeweils durch entsprechend dimensionierte Staubfilter zu reinigen. Während den Entschichtungsarbeiten mußten zusätzlich Asbestfilter- bzw. PAK- Filteranlagen eingesetzt werden.



Das nebenstehende Bild zeigt einen Teil der Einhausung und das Schleusensystem für den Schwarzbereich sowie das Meßgerät für die Überwachung der Unterdruckhaltung.

Der Auftragnehmer hatte für die permanente Kontrolle der Asbest- bzw. PAK-Haltigkeit der Abluft Sorge zu tragen und mußte ständig nachweisen, daß die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden. Die Unterlassung dieser Maßnahmen gegen Verstaubung hätte die sofortige Einstellung der Arbeiten nach sich gezogen.

2.7. Strahlentrostung

Nach erfolgter Baustelleneinrichtung inklusive Klimatisierung und funktionierender Wasserhaltung konnte mit der Strahlentrostung begonnen werden. Seitens der Schluchseewerk AG wurde eine Strahlentrostung bis Sa 3 nach DIN EN ISO 12 944, Teil 4, vorgeschrieben und ein Reinheitsgrad gemäß DIN Fachbericht Nr. 28 von mindestens m^2/g^2 verlangt (siehe auch DIN EN ISO 8502, Teil 3). Um die optimale Haftung des Beschichtungssystems auf der Stahloberfläche sicherzustellen, war ein Mittelrauhigkeitswert Rz von mindestens $60 \mu m$ zu erreichen. Der letzte Strahlgang durfte nur mit neuem ungebrauchten Strahlmaterial durchgeführt werden. Das verbrauchte Strahlmaterial war über Saug- bzw. Förderanlagen staubfrei in zugelassenen BIG BAGS entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers und den behördlichen Vorgaben abzufüllen und transportfertig an zur Verfügung gestellten Plätzen abzustellen.



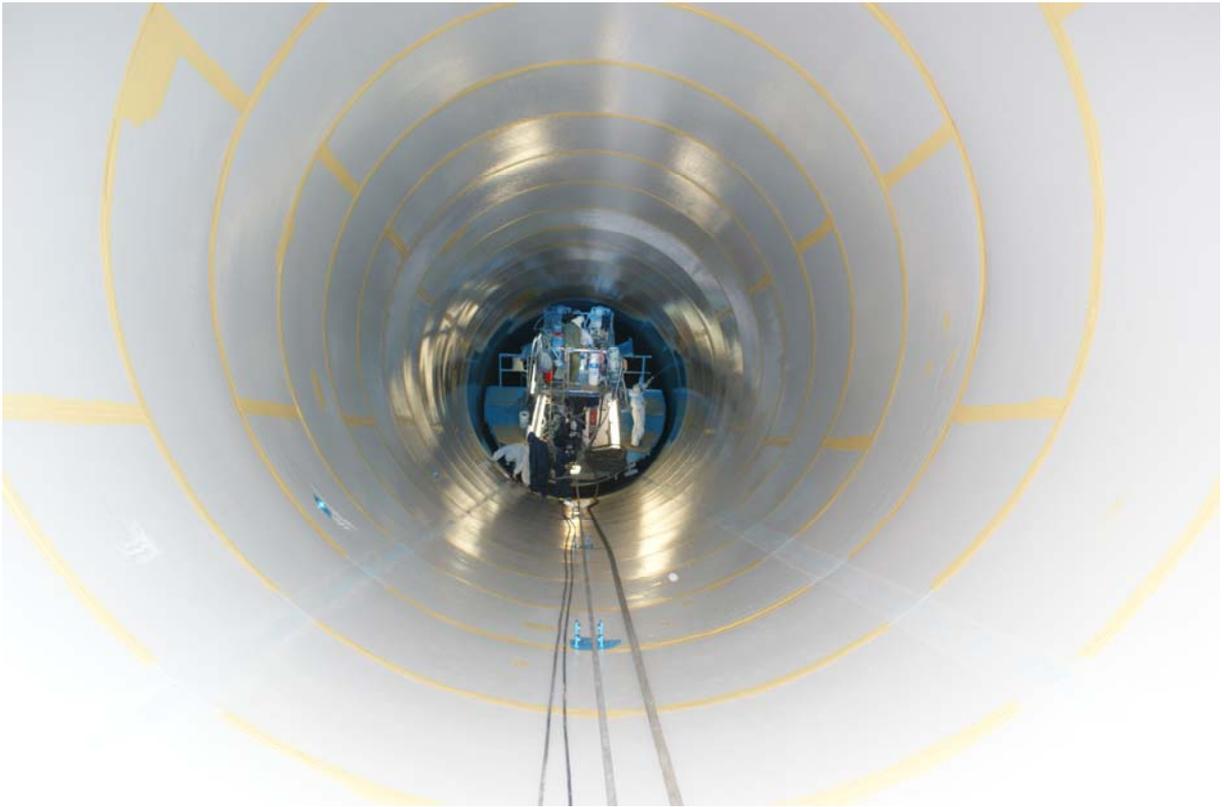
Detailaufnahme von der gereinigten Oberfläche mit ISO-Rauhigkeits-Vergleichsmuster.

Die Altbeschichtung wurde in einem ersten Strahlgang entgegen der Luftströmung entfernt (Schwarzbereich). Nach Reinigung und Freimessung durch ein akkreditiertes Institut wurde der Arbeitsbereich freigegeben (Weißbereich) und anschließend die Stahloberfläche in einem zweiten Strahlgang mit neuem Strahlmittel bis zu einer Reinheit von Sa3 gereinigt ($R_z > 60 \mu\text{m}$) und entstaubt.

2.8. Beschichtungsaufbau

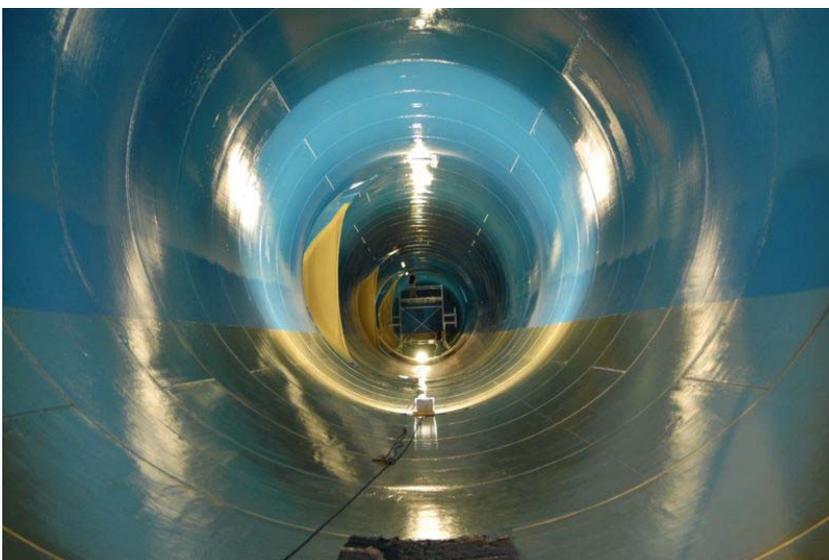
Nach der Sandstrahlabnahme durch das Qualitätssicherungspersonal der TIWAG und stichprobenartiger Prüfung der Schweißnähte wurde der jeweilige Teilabschnitt zur Beschichtung freigegeben.

Entsprechend der Spezifikation der Ausschreibung war das lösemittelfreie 2-K-Epoxid-Beschichtungssystem Humidur ME, zweilagig im Farbtonwechsel lichtgrau / lichtblau mit mindestens $600 \mu\text{m}$ DFT (Gesamttrockenschichtdicke) einzubauen. Um gegen vorhandene Erosion im Sohl- und im Sichelbereich (bei Abzweigen) eine längere Standzeit des Korrosionsschutzes zu erreichen wurde im Sohlbereich in der Position 4 Uhr bis 8 Uhr und in den Sichelbereichen eine zusätzliche Verstärkung Humidur im Farbton sandgelb appliziert. Die Gesamttrockenschichtdicke (DFT) in den verstärkten Bereichen mußte bei mindestens $1.000 \mu\text{m}$ liegen. Die Applikation erfolgte durch Airless-Spritzen im Kreuzgang.



Das Bild zeigt die Applikation der zweiten Schicht Humidur (blau) im Druckschacht. Die Schweißnähte wurden nach Applikation der ersten Deckbeschichtung (Farbton grau) im Farbton gelb händisch vorgelegt.

Nach der Applikation der ersten Deckbeschichtung (direkt auf den Stahl – keine Grundierung) wurde die Beschichtung mittels Hochspannungsdetektors auf offene Poren geprüft und die Schichtstärke gemessen. Schwachstellen oder offene Poren wurden nachgestrichen und die Schweißnähte händisch vorgelegt. Nach Freigabe der Fläche durch das Qualitätssicherungspersonal wurde die zweite Deckschicht Humidur aufgebracht und anschließend in den Sohl- und Sichelbereichen eine dritte Schicht Humidur im Farbton sandgelb gespritzt.



Das nebenstehende Bild zeigt die fertige Beschichtung in der Unterwasserverteilrohrleitung mit Verstärkung der Sohl- und Sichelbereiche.

Da das Beschichtungsprodukt keine maximale Zwischentrockenzeiten erfordert und auch die Wartezeit bis zur Applikation der nächsten Schicht nur durch die mechanische Belastbarkeit bestimmt wird (Überfahrbarkeit mit dem Befahrungswagen), ist im Vergleich zu konventionellen Beschichtungssystemen (mit Grundierung, mehrfachen Deckschichten und langen Zwischentrockenzeiten) ein flexibler und effizienter Arbeitsablauf und damit kürzerer Werkstillstand möglich. Die erzielte durchschnittliche Schichtstärke betrug ca. $1.200\mu\text{m}$. Im Sohlbereich bzw. den verstärkten Sichelbereichen wurden insgesamt ca. $1.400\mu\text{m}$ appliziert.

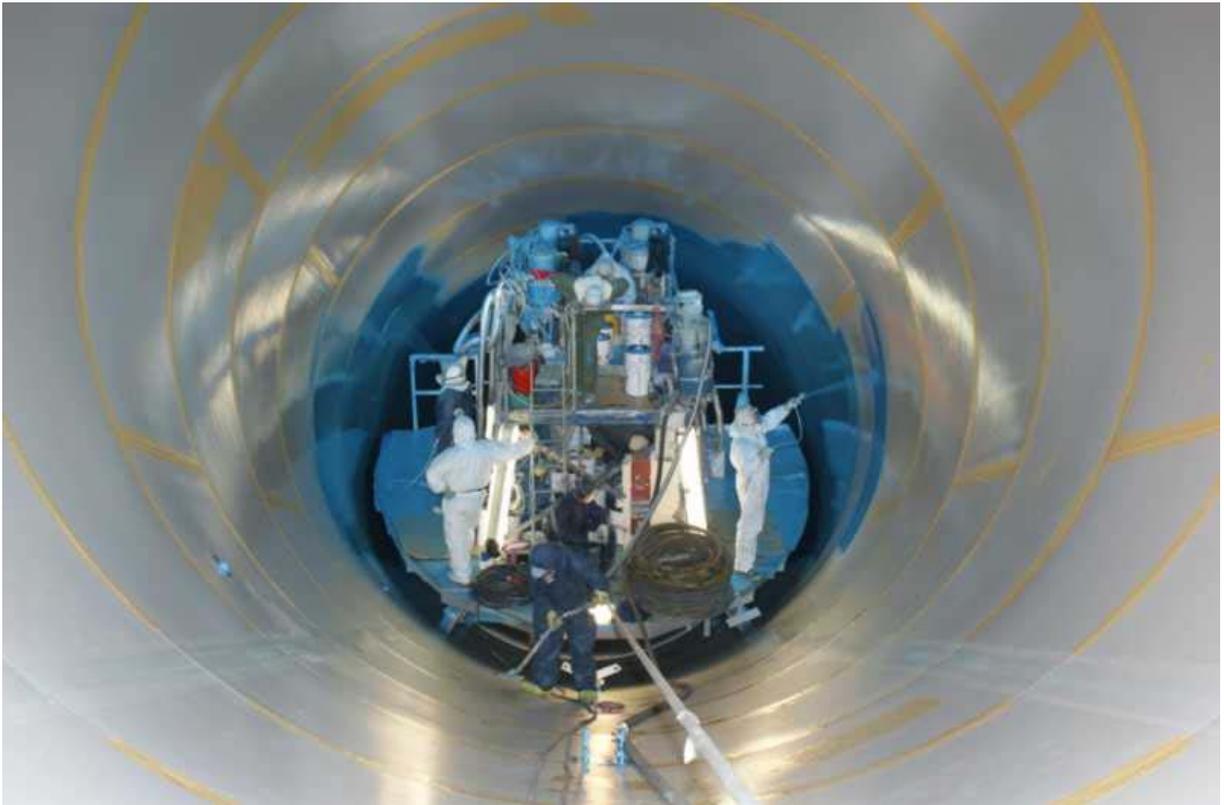
2.9. Qualitätssicherungsmaßnahmen - Überwachung, Prüfung und Abnahme der Arbeiten

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 der Schluchseewerk AG beauftragten Fachleute der TIWAG betreuten das Projekt von der Analyse des Zustandes der vorhandenen Altbeschichtung bis hin zur Schlussabnahme der neuen Beschichtung, um eine optimale Qualität sicherzustellen.



Das nebenstehende Bild zeigt die Abnahme der gereinigten Stahloberfläche in der Unterwasserverteilrohrleitung. Die Staubfreiheit wird mittels Klebebandtests auf die Erreichung des Reinheitsgrades m^2/g^2 geprüft (DIN EN ISO 8502, Teil 3).

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).



Das Bild zeigt die die Applikation der zweiten Schicht Humidur im Farbton blau im Druckschacht unter gleichzeitigem Einsatz von 3 Airless-Spritzgeräten auf dem Befahrungswagen. Die Schweißnahtbereiche wurden mit gelbem Humidur vorgelegt / vorgestrichen. Die aufgebrauchte Schichtstärke wurde während der Beschichtungsarbeiten mittels Naßfilmkamms laufend kontrolliert.

3. Fazit

Auf Basis des ehrgeizigen Konzeptes für die Sanierung des Korrosionsschutzes konnte eine erfolgreiche Durchführung dieses überdimensionalen und komplexen Projektes erzielt 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 das ausgereifte Konzept und die Einbringung langjähriger Erfahrung der Qualitätskontrolle konnte die Durchführungszeit effizient kurz gehalten und der Werkstillstand und die damit verbundenen wirtschaftlichen Nachteile durch den Produktionsentgang erheblich verringert werden. Schlußendlich sorgte das erfahrene Qualitätssicherungsteam und die intensive Betreuung des Beschichtungsstofflieferanten auch dafür, daß nicht nur ein Projekt in neuen Dimensionen bezüglich der Quadratmeter erfolgreich durchgeführt wurde, sondern auch in bezug auf die eingebaute Beschichtungsqualität neue Dimensionen erreicht wurden.

4. Literaturverzeichnis

Schluchseewerk AG: diverse Unterlagen und Skizzen, Laufenburg, Deutschland

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.

6. Autoren

Mag. Alois Zwanzinger
Corro Tec Korrosionsschutz Vertriebsges.m.b.H.
Grinzinger Straße 72/E35, 1190 Wien, Österreich
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, 6010 Innsbruck, Österreich
Tel.: +43 50607 21045, Fax: +43 50607 41045
E-Mail: edwin.rainer@tiwag.at
www.tiwag.at

DI Thomas Huber
Schluchseewerk AG
Säckinger Straße 67, 79725 Laufenburg (Baden), Deutschland
Tel.: +49 7763 9278 80253, Fax: +49 7763 9278 70299
E-Mail: huber.thomas@schluchseewerk.de
www.schluchseewerk.de