

Wirtschaftliche Variante bei Druckerhöhungsprojekten

Daniel Strupler, S&P Clever Reinforcement Company AG, Seewen/Schweiz

Renato Vassella, Repower AG, Poschiavo/Schweiz

Claudio Rüesch, Isopermaproof AG, Thusis/Schweiz

Remo Baumann, rebau engineering ag, Poschiavo/Schweiz

1 Ausgangslage

In den Jahren 2011/2013 wurden in der Druckleitung Cavaglia Versuche durchgeführt, welche zum Ziel hatten, die Marktauglichkeit von CFK-Sheets für die Instandstellung im Druckleitungsbau zu testen. Ein Rohrstollen verbindet das Kraftwerk Palü mit dem Kraftwerk Cavaglia. Die Druckleitung ist darin auf Satteln frei verlegt und in Krümmungen mit Fixpunkten gehalten.



Abb. 1 Appliziertes S&P C-Sheet 640, 400 g/m², 300 mm breit mit 6 Umwicklungen

Das Kraftwerk nahm im Jahre 1927 mit einer vierdüsigen, vertikalen Pelton-Turbine den Betrieb auf. In den siebziger Jahren wurden von verschiedenen Elementen des Triebwasserweges Materialprüfungen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass der Stahl der Druckleitung nicht mehr den damaligen Anforderungen entsprach. Es zeigte sich, dass der Stahl aus dem Jahre 1926/27 sprödebruchgefährdet und somit die Druckleitung nicht mehr betriebssicher war. Die Leitung wurde deshalb im Jahr 1974 ersetzt. Die Verteilleitung und der Kugelschieber, beide aus Guss, wurden hingegen nicht ersetzt, sie genügten scheinbar den gestellten Anforderungen.

Die Arbeiten waren aufgrund der engen Platzverhältnisse äusserst anspruchsvoll. Um die Ausführung etwas zu vereinfachen, wurde auf den Ersatz der Leitung innerhalb der bestehenden Fixpunkte verzichtet und die alten Krümmer blieben erhalten. Der Rohrsatz fand also nur zwischen den Fixpunkten statt. Beim Rückbau der Druckleitung wurde diese jeweils unter bzw. oberhalb der Fixpunkte getrennt und die demontierten Rohre mit der Stollenbahn abtransportiert. Neue Stahlrohre wurden anschliessend auf demselben Weg zur Einbaustelle transportiert, vor Ort montiert und im Bereich der Fixpunkte mit den vorhandenen Rohrstü-

cken verschweisst. Dabei galt es zu beachten, dass aufgrund unterschiedlicher Stahlqualitäten die Schweissarbeiten entsprechend aufwendig waren.

Die Fixpunkte wurden über die Schweissnähte hinaus mit Beton verlängert, die alten Rohre und die Schweissnähte sind folglich komplett mit Beton umhüllt.



Abb. 2 Querschnitt durch den Rohrstollen



Abb. 3 Fixpunkt 5

Im Zuge von Sanierungsarbeiten im Rohrstollen im Jahre 2010 befasste man sich gedanklich auch mit der Druckleitung. Nebst statischen Überlegungen, auf die wir hier allerdings nicht eingehen wollen, diskutierten wir über zur damaligen Ausführung alternative Lösungsansätze. Konkret diskutierten wir, wie die Stahlrohre in den Krümmern hätten ersetzt werden können. Auch bei anderen zwischenzeitlich durchgeführten Sanierungs- oder Ausbauprojekten stellte sich die Frage, ob der Ersatz der Krümmer notwendig ist oder ob andere Lösungen mit geringerem Aufwand zum selben Resultat führen. Bereits bekannt ist das

Inlining als Variante. Je nach Druckverhältnissen und Durchmessern im Rohr stösst dieser Ansatz allerdings auch an seine praktischen Grenzen.

CFK-Produkte, wie sie schon länger zur Erhöhung der Tragsicherheit oder Gebrauchstauglichkeit bei Hochbauten eingesetzt werden, sind mittlerweile bekannte Produkte. Die Idee, Stahlrohre, insbesondere Krümmer mittels CFK-Produkten zu verstärken, stand somit im Raume und wurde vom Produzenten und Entwickler so als Aufgabe entgegen genommen. Die Aufgabenstellung war, einen Werkstoff zu entwickeln, der in Krümmern glatt und ohne Erzeugung von zusätzlichen Reibungsverlusten appliziert werden kann und der im Verbund mit dem vorhandenen Rohr die gewünschten statischen Kennwerte erreicht. Zusätzlich zu diesen Anforderungen kommt, dass der Stahl auch im Bereich der Verstärkung vor Korrosion geschützt sein muss.

2 Ausführung

Im Jahr 2010 war der Bertreiber der Anlage mit vollem Elan an der Projektierung des Pumpspeicherkraftwerkes Lago Bianco und man war überzeugt, dass innerhalb der nächsten 7 bis 10 Jahren die Druckleitung Cavaglia ersetzt wird. Im Wissen darum wurde im Jahr 2011 entschieden, der Firma S&P Clever Reinforcement Company AG, welche zwischenzeitlich eine Lösung basierend auf einem Sheet aus Carbonfasern im Verbund mit einer Korrosionsschutzbeschichtung selber entwickelte, die Leitung für einen Versuch zur Verfügung zu stellen und erstmals nur einen Rohrbogen damit zu verstärken. Theoretisch war man von dem Vorgehen überzeugt. Wie man das Sheet allerdings praktisch vor Ort im Bogen ohne Falten und Knicke applizieren kann, war für alle Beteiligten sowie für die ausführenden Unternehmer die Herausforderung.

Aus logistischen Gründen wurde der Krümmer im Fixpunkt 5 für die Durchführung des Versuches ausgewählt, da nahe ein Mannloch als Einstieg ins Innere der Druckleitung zur Verfügung stand. Damit der Versuch unter so realistischen Bedingungen wie möglich durchgeführt wurde, hat man vorgesehen, dass das eingebaute Carbon-Sheet den gesamten Innendruck aufnehmen soll. Beim Fixpunkt 5 bedeutete das, dass total 6 Lagen des S&P C-Sheet 640 eingebaut werden mussten.

Aus hydraulischen Gründen, nicht wegen den Reibungsverlusten, sondern wegen der Angriffsfläche und somit wegen der Haltbarkeit der Verstärkung, wurde beschlossen, dass man die Anzahl der Umwicklungen in Längsrichtung in den Randbereichen stufenweise reduziert. Das bedeutet, dass im gesamten Bereich der geplanten Verstärkung 6 Lagen S&P C-Sheet 640 appliziert werden und dann an den Randzonen, ab dort wo man keine Verstärkung mehr braucht, laufend um eine Lage reduziert wird. Je nach Anzahl Lagen wird die Auslaufzone also länger oder kürzer. Die letzten zwei Lagen wurden nicht mehr reduziert.

Tab. 1 technische Eigenschaften S&P C-Sheet 640, 400 g/m²

| | | |
|--|-----------------------|----------------------|
| Dicke (Fasergewicht/Dichte) längs | [mm] | 0.190 |
| Elastizitätsmodul | [kN/mm ²] | ≥ 640 |
| Zugfestigkeit | [N/mm ²] | ≥ 2'650 |
| Bruchdehnung | [%] | 0.4 |
| Abminderungsfaktor für Bemessung (Handlaminieren/DU Gelege) | | 1.2 (S&P Empfehlung) |



Abb. 4 das applizierte S&P C-Sheet 640



Abb. 5 Im Innern der Druckleitung beim Krümmer 5

Nachdem die Druckleitung geleert, die Drosselklappe oberwasserseitig geschlossen und zusätzlich mechanisch gesichert wurde, konnten die Installationsarbeiten starten. Das Mannloch im Bereich Fixpunkt 5 wurde durch den Betreiber geöffnet. Das Innere der Druckleitung war mit einer dünnen Schlammschicht belegt und war äusserst rutschig. Ein Begehen der Leitung war nicht denkbar. Deshalb wurde durch das geöffnete Mannloch Holz für den Bau einer Leiter gelegt und vor Ort die Holzleiter (Abb. 5) erstellt. Dank dieser „Gehilfe“ konnte die Oberflächenvorbereitung im Bereich des Krümmers erfolgen.

Wie in Tabelle 1 beschrieben, ist das S&P C-Sheet 640 weder dampf- noch wasserdicht. Aus diesem Grunde musste der Systemaufbau mit einem geeigneten Korrosionsschutzaufbau ergänzt werden. Dieser Aufbau wurde in Zusammenarbeit mit dem auf Korrosionsschutz spezialisierten Ingenieurbüro SCE Hombrechtikon geplant und anhand von Versuchen wurde der definitive Aufbau bestimmt.

Stahlplatten wurden im Werk des Korrosionsschutzunternehmers, der Isopermaproof AG mit dem im Rohr vorhandenen Korrosionsschutzaufbau präpariert. Anschliessend wurden

verschiedene Aufbauten getestet. Einmal wurde für das Aufbringen des Korrosionsschutzes die letzte Lage S&P C-Sheet 640 aufgeraut, mal wurde dies unterlassen. Ein andermal wurden verschiedene Lagen des Sheets aufgeraut vor dem Aufbringen der nächsten Schicht. Total wurden 18 Kombinationen erstellt und nach dem Aushärten die Haftzugfestigkeiten getestet. Die besten Resultate lieferten die nicht abgestrahlten Versuche, was dazu führte, dass der unten abgebildete Aufbau zur Durchführung der geplanten Verstärkung bestimmt wurde.



Abb. 6 Aufbau der 6 Lagen S&P C-Sheet 640

Die Untergrundvorbereitung erfolgte also sehr gründlich, wie man sich das von Korrosionsschutzarbeiten im Stahlwasserbau gewohnt ist. Das Druckluftstrahlen hatte nicht nur als Ziel, einen sogenannten Reinheitsgrad von SA 2½ zu erreichen, entsprechend dem gewählten Aufbau mit der Zink-Grundierung wurde auch die Oberflächenvergrößerung von > 18% und die zu erreichende Rauigkeit bestimmt. Die Oberfläche wurde vor der ersten Applikation durch einen Spezialisten kontrolliert und abgenommen. Nun erfolgte die Applikation der Zink-Grundierung.



Abb. 7 Korrosionsschutzarbeiten

Bereits am Folgetag konnte die erste Lage S&P C-Sheet 640 eingebaut werden. Die einzelnen Sheets wurden gemäss einer Zeichnung konstruiert und bereits geschnitten auf

die Baustelle geliefert. Die Sheets sind unidirektional tragend und wurden gemäss Vorgaben des Produzenten mit einem S&P Epoxidharz appliziert.

Folgender Ablauf war dabei geplant: Ausserhalb des Fixpunktes wurden die Sheets ausgerollt, mit dem S&P Epoxidharz vorbehandelt, wieder aufgerollt und in die Druckleitung hinein zum Einbauort getragen. Die folgende Bildserie zeigt den Ablauf der Applikation im Detail.



Abb. 8 Auftragen des S&P Epoxidharzes



Abb. 9 Einlaminieren des Harzes



Abb. 10 / 11 Aufrollen des C-Sheets für den Transport zum Einbauort und Applikation

Obwohl der Einbau sehr einfach scheint, ist er im Gegenteil sehr herausfordernd. Damit die Sheets satt anliegen und die Kraftaufnahme stattfinden kann, müssen sie an die vorbereitete Oberfläche angedrückt werden. Dieses radiale Andrücken führte bei den ersten Versuchen dazu, dass sich das Sheet auf der gegenüberliegenden Seite wieder löste. Damit sich das Fasergelege an das Rohr anschmiegt, wurde das Sheet entsprechend zugeschnitten.

Das S&P C-Sheet 640 ist unidirektional, das heisst, nur in Faserlängsrichtung tragend. Damit erreicht man eine Erhöhung der Zugfestigkeit des Druckrohres bezüglich Innendruck. Für den Kraftschluss werden die C-Sheets in Richtung des Umfanges entsprechend überlappt. Eine Überlappung in Rohrlängsrichtung musste nicht erfolgen, da das S&P C-Sheet 640 quer zur Faser keine Kräfte überträgt.

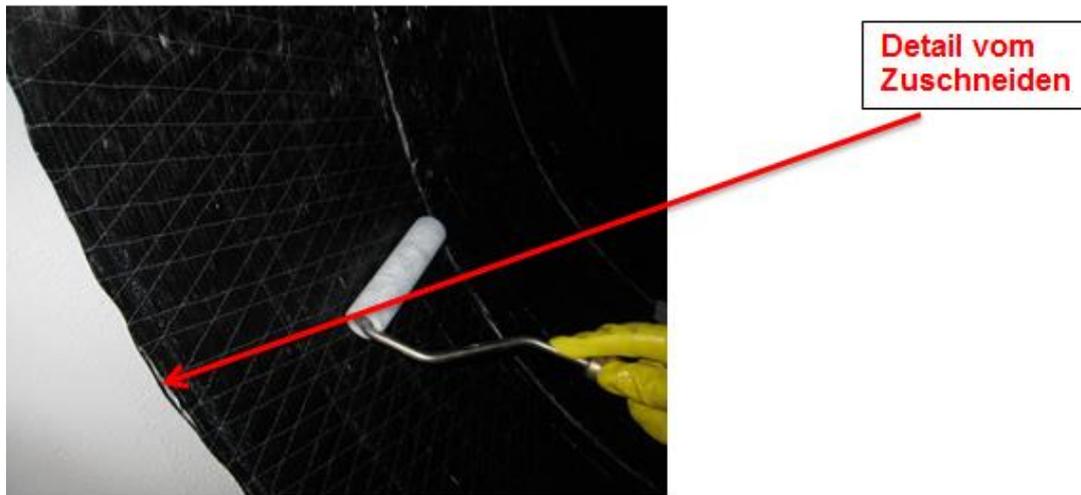


Abb. 12 beim Applizieren



Abb. 13 Stosslänge ist entsprechend der Dicke des Sheets wenige cm

Nachdem alle 6 Lagen appliziert waren, wurde der geplante Korrosionsschutzaufbau ergänzt. Dabei wurde gemäss den vorgängig durchgeführten Versuchen direkt 3 Lagen Sika-Poxicolor aufgetragen, ohne die letzte Carbon-Schicht speziell zu behandeln.

Parallel zu den Arbeiten im Druckrohr erfolgte die Qualitätssicherung. Dazu wurden im Rohrstollen neben dem Mannloch zeitgleich und mit demselben Epoxidharz Stahlplatten mit den einzelnen Lagen appliziert und abschliessend auch die Korrosionsschutzbeschichtung aufgetragen. Die Platten dienten zur Kontrolle des Aufbaus. Von jedem Arbeitsschritt wurden 2 Versuchsflächen appliziert. So stand eine Fläche für die laufende Kontrolle zur Verfügung. Die zweite Versuchsfläche steht für künftige Inspektionen zur Verfügung, sollten sich Abweichungen zeigen. Diese Kontrolle erfolgte bereits 2 Jahre später, im Jahr 2013 und zeigte erfreulicherweise keine Beanstandungen.

Wiederum stand dem Team die Druckleitung während 3 Wochen zur Verfügung und dieses nutze die Abstellung, um einerseits zu kontrollieren, wie sich das S&P C-Sheet 640 verhalten hat und andererseits, um weitere Fixpunkte mit diesem System zu verstärken. Der Fixpunkt 5 präsentierte sich im Innern wie am Tag der Abnahme. Keinerlei Schäden an der Applika-

tion waren festzustellen. Dies gab dem Team die Sicherheit, auf dem rechten Weg zu sein. Nun erfolgte die Applikation beim Krümmer 1, 2, 3 und 6. Auch diesmal wurde die Ausführung analog der Pilotapplikation zwei Jahre zuvor genauestens dokumentiert und kontrolliert. Wie eine Kontrolle im Frühjahr 2016 zeigte, lohnte sich dieser Aufwand. Alle instand gestellten Fixpunkte präsentierten wie neu.



Abb. 14 Versuchsfläche für QS-Sicherung

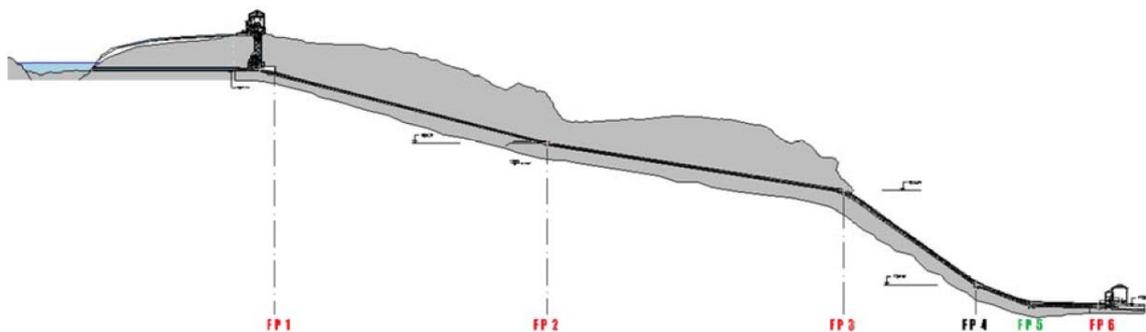


Abb. 15 Schema der behandelten Fixpunkte

3 Zusammenfassung

Als Variante sollte man bei Druckerhöhungsprojekten im Kraftwerksbau künftig auch die Verstärkung vorhandener Druckleitungen oder zumindest der kostspieligen Krümmer mit CFK-Sheets als Möglichkeit betrachten. Überall dort, wo der Ersatz sehr aufwendig ist, sei es im Bereich von grossen Fixpunkten oder von komplizierten Formen wie Hosenrohren, kann der Einsatz der beschriebenen Methode eine günstige und somit wirtschaftlich interessante Lösung sein.

Anschriften der Verfasser

Daniel Strupler
S&P Clever Reinforcement Company AG
Seewernstrasse 127, CH-6423 Seewen
daniel.strupler@sp-reinforcement.ch

Renato Vassella
Repower AG
Via da Clalt 307, CH-7742 Poschiavo
renato.vassella@repower.com

Claudio Rüesch
Isopermaproof AG
Rozaweg 4, CH-7430 Thusis
claudio.ruesch@isopermaproof.ch

Remo Baumann
rebau engineering ag
Via da Clalt, CH-7742 Poschiavo
remo.baumann@rebauag.ch