

# Kathodischer Korrosionsschutz von bestehenden Wasserdruckleitungen

## Protection anticorrosion cathodique des conduites d'eau forcée existantes

Les conduites forcées des usines hydrauliques constituent un maillon important de la production d'énergie et, partant, de la sécurité d'approvisionnement. Il y a cent ans, ces conduites étaient protégées contre la corrosion par des revêtements bitumineux. Mais d'aujourd'hui, cette protection est devenue insuffisante du fait de l'altération des matériaux. Les conduites mises à jour présentent des détériorations imputables à divers types de corrosion, p. ex. macroéléments, concrétions, etc. Les mesures de protection contre la corrosion servent essentiellement à prévenir de graves dégâts subséquents. A la fois compliqué et coûteux, le chemisage des conduites est une opération nécessitant beaucoup de temps. La protection cathodique a posteriori des conduites forcées constitue une variante nettement meilleur marché, durable et contrôlable.

## Cathodic Corrosion Protection in Pressure Pipelines

Pressure pipelines from water power plants make an important contribution to energy production and are therefore an important aspect of guaranteed supply. Before a hundred years, pipelines were protected from corrosion by using a bitumen base coating. Nowadays, this type of protection is not sufficient and has also lost some effectiveness due to aging of the material. The examination of pipeline clearances has led to the identification of corrosion damage with a variety of causes, e.g. macro and aeration elements. Corrosion protection measures are to be taken in order to prevent serious consequential damage. Recoating the pipelines is a very complicated process with high costs and long construction times. A significantly less expensive, durable and controllable option is retroactive cathodic protection of the pressure pipelines.

Felix Wenk



**Druckleitungen von Wasserkraftwerken leisten einen wichtigen Beitrag zur Energieerzeugung und somit zur Versorgungssicherheit. Schon vor hundert Jahren wurden Leitungen mittels Beschichtungen auf Bitumenbasis vor Korrosion geschützt. Dieser Schutz ist aus heutiger Sicht nicht ausreichend, zudem hat er durch die Materialalterung an Schutzwirkung verloren. Leitungsfreilegungen zeigen Korrosionsschäden mit verschiedenen Ursachen, z. B. Makro- und Belüftungselemente. Korrosionsschutzmassnahmen sind meist angezeigt, um gravierenderen Folgeschäden vorzubeugen. Nachumhüllungen der Rohrleitungen sind sehr aufwändig und mit hohen Kosten und langen Bauzeiten verbunden. Eine wesentlich günstigere, dauerhafte und kontrollierbare Variante ist der nachträgliche kathodische Schutz der Druckleitung.**

### 1. Ausgangslage

In der Schweiz bestanden am 1. Januar 2008 rund 100 Speicherkraftwerke mit einer maximal möglichen Leistung grösser als 300 kW. Auf Basis der mittleren Produktionserwartung waren sie an der Stromerzeugung zu rund 30 % beteiligt [1]. Bei Speicherkraftwerken fliesst das Wasser aus Speicherseen über Druckschächte und Druckleitungen zu den Turbinen der Kraftwerkszentralen. Rund die Hälfte der Druckleitungen ist älter als 50 Jahre, ca. 80 % sind älter als 40 Jahre [2]. In der Regel sind sie in *Stahl* ausgeführt und haben einen äusseren Korrosionsschutz auf *Bitumenbasis*. Die Leitungen sind bei Richtungswechseln und nach bestimmten Abständen in so genannten Fixpunkten aus bewehrtem Beton gehalten.

Infolge des Bruchs der Druckleitung Cleuson-Dixence im Jahre 2000 wurden in den letzten Jahren von den Betreibern verstärkte Anstrengungen zur Untersuchung des *Ist-Zustands* von Druckleitungen vorgenommen. Bei Leitungsfreilegungen wurden zahlreiche und oft grössere Korrosionsstellen festgestellt. Sicherheitsrelevante Angriffe mussten allerdings bisher nicht verzeichnet werden. Als Hauptursache sind *Mängel* und *Alterung* der Korrosionsschutzbeschichtung zu nennen. In vielen

Fällen wird die natürliche, örtliche Korrosion durch *Makroelemente* verstärkt. Letztere bilden sich beispielsweise bei einem Kontakt der Druckleitung zu Erdungsanlagen oder zur Bewehrung der Fixpunkte (*Abb. 1*). Korrosion kann auch durch so genannte *Belüftungselemente* verursacht werden (*Abb. 2*). Belüftungselemente entstehen durch Bettung der Leitung in unterschiedlich belüfteten Bodenschichten oder bei enthafteten, unterläufigen Rohrumhüllungen. Erhöhte Korrosion kann

auch durch Kontakt der Stahloberfläche mit Holzstücken, die bei der Ausführung im Graben belassen wurden, auftreten. Die durch Feuchtigkeit im Holz entstehende Essigsäure ist dafür verantwortlich.

Ausgehend von den verschiedenen Ursachen können folgende *Korrosionsschutzmassnahmen* ins Auge gefasst werden:

**Galvanische Auftrennungen**

Wird die Korrosion hauptsächlich durch den Kontakt der Druckleitung zu den bewehrten Fixpunkten oder zu Erdungsanlagen verursacht, kann versucht werden, die entsprechenden elektronenleitenden Verbindungen aufzutrennen. Bei Fixpunkten ist es allerdings meistens schwierig oder nur mit unverhältnismässigem Aufwand möglich, die Kontaktstellen der Bewehrung zur Druckleitung zu lokalisieren und zu entfernen. Die Auftrennung von Erdungsanlagen erfolgt im günstigen Falle mit Abgrenzeinheiten und im ungünstigen Falle mit Isolierstücken. Aufgrund der teilweise grossen Durchmesser von Druckleitungen können Letztere *kostenintensiv* sein.

**Nachumhüllung**

Befindet sich die Korrosionsschutzbeschichtung in einem schlechten Zustand, ist allenfalls eine Nachumhüllung in Betracht zu ziehen. Dazu muss die Leitung freigelegt werden, was bei grossen Durchmessern zu *hohen Erdbaukosten* führt. Das Freilegen hat mit Sorgfalt zu erfolgen, damit die Leitung keinen Schaden nimmt. In steilem Gelände sind auch die Sicherheit der Arbeiter und Anwohner vor herunterstürzenden Steinen und Felsbrocken in Planung und Ausführung zu berücksichtigen.

**Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)**

Anstelle der aufwändigen Nachumhüllung ist der kathodische Korrosionsschutz bezüglich Kosten und Bauzeit eine *interessante Variante*. Allerdings müssen beim KKS verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein, damit ein wirksamer Schutz möglich ist: Die Leitung sollte nicht geerdet sein, da der Schutzstrombedarf in der Regel sonst immens und die Schutzwirkung gering ist. Der Kontakt zur Bewehrung bei Fixpunkten stellt hingegen vielfach kein unlösbares Problem dar. Die Längsleitfähigkeit innerhalb der zu schützenden Druckleitung muss gewährleistet sein. Eine generell schlechte Umhüllung erfordert einen hohen Schutzstrom. Bei grossen Fehlstellen kann zudem der Schutz unzureichend sein. Allerdings kann auch bei

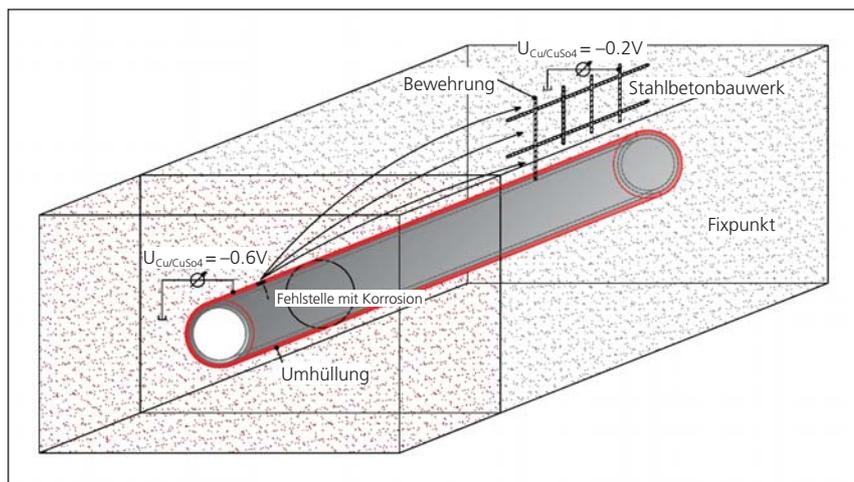


Abb. 1 Makroelement.

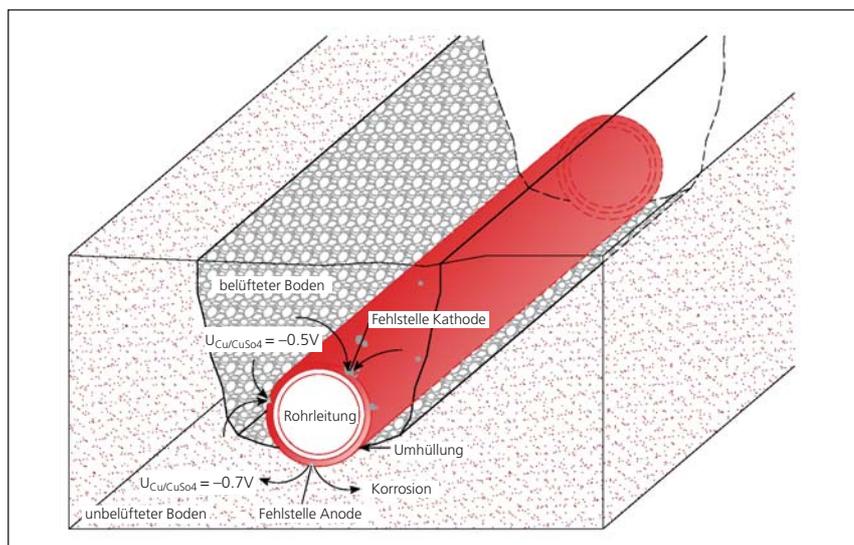


Abb. 2 Belüftungselement.

ungenügender Potenzialabsenkung die Korrosionsrate deutlich gesenkt und somit die Restnutzungsdauer der Leitung wesentlich erhöht werden.

Neben den *klaren Vorteilen* bezüglich Kosten und Bauzeit gewährleistet der KKS auch eine *höhere Lebensdauer* der Druckleitung als passive Korrosionsschutzmassnahmen, da er aktiv in den Korrosionsprozess eingreift und die Korrosion permanent unterbindet respektive reduziert. Zudem kann die Schutzwirkung ständig und mit geringem Aufwand kontrolliert werden. Bei passiven Korrosionsschutzmassnahmen kann der Zustand der Leitung nur durch Freilegung zuverlässig ermittelt werden.

## 2. Projektierung und Ausführung

In einer ersten Phase ist abzuklären, ob und unter welchen Voraussetzungen mit dem KKS ein ausreichender Schutz der Leitung erzielt werden kann. Dabei sind die folgenden *ersten Schritte* durchzuführen:

### – Messen der Ruhepotenziale

An zugänglichen Stellen der Leitung sind die so genannten Ruhepotenziale zu messen. Basierend auf den Messresultaten kann eine Aussage über die Korrosionsgefährdung gemacht werden. Im Bereich von Fixpunkten beispielsweise kann das Potenzial deutlich positiver liegen als ausserhalb dieser Zonen, was mit einem erhöhten Korrosionsrisiko einhergeht.

### – Durchführen eines Einspeiseversuchs

Zwischen der zu schützenden Leitung und einer provisorischen Anode wird bei diesem Versuch ein Gleichstrom eingespiesen. Nach einer gewissen Betriebszeit, die vom Zustand der Rohrumhüllung abhängt, können aufgrund der gemessenen, so genannten Ein- und Ausschaltpotenziale die Schutzwirkung einer KKS-Anlage abgeklärt und der Schutzstrombedarf ermittelt werden. Dank der Einspeisung kann auch der Zustand der Rohrumhüllung mittels einer intensiven Fehlstellenortung erfasst werden.

### – Messen der Beeinflussungen

Eine KKS-Anlage kann sich ungünstig auf fremde erdverlegte metallische Strukturen in der näheren Umgebung auswirken. Im Vorfeld der Untersuchungen ist eine diesbezügliche Erhebung durchzuführen. An den potenziell gefährdeten Strukturen sind so-

dann Potenzialmessungen vor und während der Einspeisung durchzuführen. Bei wesentlichen Potenzialveränderungen sind entsprechende flankierende Massnahmen, wie z.B. Potenzialverbindungen, vorzusehen [4].

### – Evaluieren möglicher Anodenstandorte

Basierend auf dem Schutzstrombedarf und im Hinblick auf allfällige Beeinflussungen sind die möglichen Anodenstandorte zu evaluieren. Um die Anodenanlagen dimensionieren zu können, sind an den ausgewählten Stellen die spezifischen Bodenwiderstände zu messen.

Bei diesen Vorabklärungen können sich die folgenden *Problemstellungen* ergeben:

### – Fehlende Längsleitfähigkeit

Beim Einspeiseversuch stellt sich heraus, dass die Leitung nicht längsleitfähig ist. Mittels Fehlerortungsgerät können dann der zu schützende Bereich sowie die elektrischen Unterbrüche in der Rohrleitung ermittelt werden. Falls vom Aufwand her sinnvoll, sollten die Unterbrüche lokal überbrückt werden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, an mehreren Stellen einen Kathodenanschluss vorzunehmen und somit verschiedene Speisezonen zu schaffen.

### – Geerdete Rohrleitung

Aufgrund des Kontaktes zu einer niederohmigen Erdungsanlage fliesst praktisch der gesamte Schutzstrom in dieselbige. Eine Auftrennung der Rohrleitung von der Erdungsanlage mittels Abgrenzeinheit oder Isolierstück ist dann unumgänglich. Bei Kontakt zu erdfühli- gen Anlagen mit höherem Ausbreitungswiderstand kann mit einem erhöhten Schutz-

strom eventuell trotzdem ein Vollschutz oder zumindest ein Teil- schutz erreicht werden.

### – Schlechte Umhüllungsqualität

Infolge eines schlechten Zustandes der Rohrumhüllung ist der Schutzstrombedarf hoch. Bei der Wahl des Anodenstandortes ist darauf zu achten, dass die Beeinflussung von fremden erdverlegten metallischen Strukturen nicht zu gross ist. Für eine bessere Stromverteilung und somit bessere Schutzwirkung sind allenfalls längs der Rohrleitung verlegte Anoden einer lokalen Horizontalanode vorzuziehen.

### – Grosse Beeinflussung

Potenzialmessungen an fremden erdverlegten metallischen Strukturen zeigen, dass Letztere ungünstig beeinflusst werden. Bei der Wahl des Anodensystems und -standortes ist darauf zu achten, dass die Anodenspannung möglichst gering ist und der Abstand zu den fremden Strukturen möglichst gross ist. Weiter kann es sinnvoll sein, anstelle einer Anodenanlage zwei oder mehrere Anlagen vorzusehen, um die Anodenspannung reduzieren zu können.

### – Hohe Bodenwiderstände

Hohe Bodenwiderstände führen zu hohen Anodenspannungen, welche wiederum die Gefahr von ungünstigen Beeinflussungen erhöhen. Die Wahl des optimalen Anodensystems – Tiefenanoden, mehrere Anoden, längs der Rohrleitung verlegte Anoden – kann hier der richtige Lösungsansatz sein.

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen ist im *zweiten Schritt* die KKS-Anlage zu projektieren.

Die *Projektierung* umfasst folgende Punkte:

– *Anodenanlagen*

In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber sind die Anodenstandorte zu definieren und die entsprechenden Bewilligungen, Dienstbarkeiten etc. abzuklären. Das optimale Anodensystem und deren Dimensionen sind zu ermitteln. Zu den möglichen Systemen gehören horizontale Anoden, Tiefenanoden, Einzelanoden oder längs der Rohrleitung verlegte Anoden. In Einzelfällen können auch vorhandene, nicht mehr in Betrieb stehende erdverlegte Strukturen wie Rohrleitungen, Fundamente, Gleisanlagen etc. als Anoden verwendet werden.

– *Schutzstromgeräte*

Ausgehend von der gewählten Anodenanlage, vom Schutzstrombedarf und von den im Hinblick auf die angestrebte Lebensdauer vereinbarten Kapazitätsreserven können die Leistungsdaten der Schutzstromgeräte ermittelt werden. Die Standorte der Schutzstromgeräte sind in Abhängigkeit der Anodenstandorte und den bestehenden Stromanschlussmöglichkeiten zu evaluieren. Weiter ist die Regelungsart zu definieren (Spannungs-, Strom-, Leistungs- oder Potenzialregelung). Es ist zudem mit dem Auftraggeber abzuklären, ob die Überwachung der Anlage vor Ort oder mittels Fernwartung durchgeführt wird. Basierend auf diesen Entscheiden ist das Messtableau inkl. Anzeiginstrumente zu projektieren.

– *Galvanische Auftrennungen*

Es ist zu bestimmen, welche Auftrennungen erforderlich sind und welche Massnahmen dafür zu treffen sind.

– *Messstellen*

Die erforderlichen Messstellen sind basierend auf der Rohrleitungslänge, den Annäherungen und Kreuzungen an fremde erdverlegte metallische Strukturen etc. festzulegen [3]. Analog zum Schutzgerät ist auch hier zu bestimmen, auf welche Art und Weise die Überwachung stattfindet.

– *Beeinflussung*

Es sind die flankierenden Massnahmen zur Reduktion von ungünstigen Beeinflussungen zu planen. Neben Potenzialverbindungen können dies auch Nachumhüllungen von Rohrleitungen im anodennahen Bereich sein.

In einer nächsten Phase sind sämtliche Komponenten der KKS-Anlage zu installieren. Vor der Inbetriebnahme der Anlage sind folgende *Messungen* durchzuführen:

- die Ruhepotenziale an sämtlichen Messstellen
- die Ausbreitungswiderstände der Anoden

Basierend auf dem angenommenen Schutzstrombedarf, den tatsächlichen Ausbreitungswiderständen der Anoden und den voraussichtlichen Beeinflussungen sind bei der Inbetriebnahme die entsprechenden *Einstellungen* an den Schutzstromgeräten durchzuführen.

Nach ungefähr zwei bis drei Monaten Betriebsdauer sind an sämtlichen Messstellen die Ein- und Ausschaltpotenziale zu messen. Falls erforderlich sind die Spannungs- respektive Schutzstromeinstellungen an den Schutzstromgeräten nachzuregeln. Empfehlenswert ist die Durchführung einer so genannten Intensivmessung mit der Bestimmung der IR-freien Potenziale. Dank dieser Messung kann eine Aussage über den effektiven Schutz auf der gesamten Länge der geschützten Rohrleitung gemacht werden und nicht nur bei den Messstellen.

3. Anwendungsbeispiele

3.1 Druckleitung bei Ernen VS

Die 1,8 km lange Druckleitung der Anlage Neubrigg in Ernen wurde Anfang der 60er-Jahre erbaut. Der Aussenkorrosionsschutz besteht aus einem *Zinkanstrich* als Grundierung und einer Deckbeschichtung auf *Bitumenbasis*. Neben diesem passiven Korrosionsschutz wurde zusätzlich eine kathodische Korrosionsschutzanlage installiert. Gemäss Angaben des Betreibers hat sie infolge einer mangelhaften Anodenanlage allerdings nie richtig funktioniert und wurde deshalb vor vielen Jahren ausser Betrieb gesetzt. Da beim Bau der Leitung grobes Schüttmaterial verwendet worden ist, vermutete der Auftraggeber, dass der äussere Korrosionsschutz grössere Fehlstellen aufwies (*Tab. 1*). Eine im Frühling 2005 durchgeführte *Zustandsanalyse* ergab, dass die Leitung sowohl unten

Leitungsdaten	
Baujahr	Anfang der 60er-Jahre
Länge	1820 m
Durchmesser	990 mm bis 1340 mm
Oberfläche	ca. 6500 m <sup>2</sup>
Aussenkorrosionsschutz	Grundierung: Zinkanstrich Deckanstrich: auf Bitumenbasis
Fixpunkte	11 Stück
weitere Besonderheiten	- kreuzt Swissgasleitung - partiell parallel dazu laufende Trinkwasserleitung - oben mit gepanzertem Stollen verbunden (ca. 3000 m <sup>2</sup> )

Tab. 1 Daten der Druckleitung in Ernen.



Abb. 3 Obere Horizontalanode.



Abb. 4 Nachumhüllung der Druckleitung.

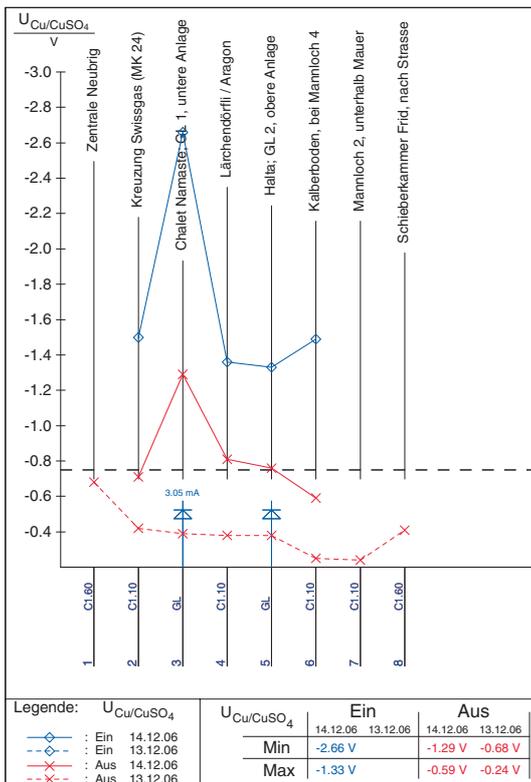


Abb. 5 Potenzialabsenkung nach Inbetriebnahme (rot gestrichelt: Ruhepotenziale, rot ausgezogen: Ausschaltpotenziale nach Inbetriebnahme).

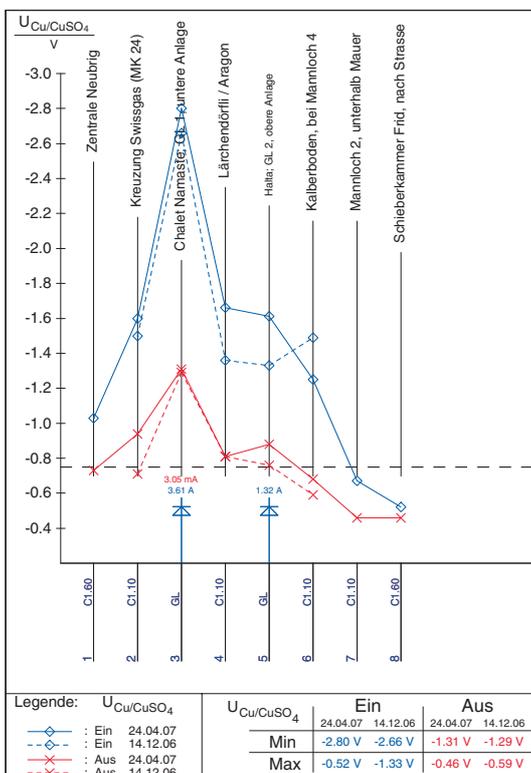


Abb. 6 Potenzialabsenkung nach Abnahme (rot gestrichelt: Ausschaltpotenziale nach Inbetriebnahme, rot ausgezogen: Ausschaltpotenziale bei Abnahme).

bei der Zentrale als auch oben in der Schieberkammer nicht aufgetrennt war und somit keine galvanische Insel darstellte. Unten konnte die Leitung für die nachfolgenden Messungen relativ einfach aufgetrennt werden. Die an den Fixpunkten gemessenen Ruhepotenziale lagen zwischen  $-500\text{ mV}_{\text{CSE}}$  und  $-200\text{ mV}_{\text{CSE}}$ . Die positiveren Werte traten bei den grossen Stahlbetonkomplexen auf und wiesen auf einen eventuell vorhandenen Kontakt zur Bewehrung hin. Anschliessend wurde ein Einspeiseversuch durchgeführt. Eingespiesen wurden elf Ampère. Nach einem Tag lag das Ausschaltpotential im unteren Teil der Druckleitung bereits ca.  $200\text{ mV}$  bis  $300\text{ mV}$  negativer als das Ruhepotential. Im oberen, felsigen Teil der Leitung war die Potenzialabsenkung allerdings nur gering. Die gemessenen spezifischen Bodenwiderstände in  $1,6\text{ m}$  Tiefe in der näheren Umgebung liegen zwischen  $100$  und  $2000\ \Omega\text{m}$ . Die Widerstände nehmen zudem mit grösserer Tiefe teilweise deutlich zu. Aufgrund dieser hohen Werte waren grosse Anodenspannungen und demzufolge ungünstige Beeinflussungen auf die im unteren Teil kreuzende, kathodisch geschützte Swissgasleitung sowie die partiell parallel verlaufende Trinkwasserleitung zu erwarten. Als Fazit der Zustandsaufnahme konnten folgende Punkte hervorgehoben werden:

- Aufgrund der hohen spezifischen Bodenwiderstände und des hohen Schutzstrombedarfes ist bei der Projektierung einer KKS-Anlage ein spezielles Augenmerk auf die Beeinflussung der *Swissgas*- und *Trinkwasserleitung* zu richten.
- Die Leitung ist bei der Zentrale definitiv von der Erdung aufzutrennen. In der Schieberkammer kann die Verbindung zum gepanzerten Stollen vorerst belassen werden.

Bei der Projektierung stellte sich dann heraus, dass wegen der hohen notwendigen Speisespannungen und den entsprechenden ungünstigen Beeinflussungen eine KKS-Anlage den Anforderungen nicht genügen konnte. Daher wurden zwei Anlagen geplant. Bei der Evaluation der beiden Anodenstandorte war neben dem spezifischen Bodenwiderstand auch die *notwendige Distanz* zur Swissgasleitung und zur Trinkwasserleitung massgebend. Die Wahl fiel auf eine  $40\text{ m}$  lange Horizontalanodenanlage im oberen Teil (Abb. 3) und eine  $60\text{ m}$  lange im unteren Teil. Im Projekt waren zudem sieben Messstellen vorgesehen; zwei an den beiden Enden der Leitung und fünf an Annäherungen respektive Kreuzungen zur Trinkwasser- und Swissgasleitung. An drei Messstellen wurden Potenzialverbindungen mit einem Abgleichwiderstand geplant, um die Beeinflussung der Trinkwasserleitung möglichst gering zu halten. Im Kreuzungsbereich der Swissgasleitung wurde aus analogen Gründen beabsichtigt, die Druckleitung nachzuummüllen (Abb. 4). Die Arbeiten wurden im Herbst 2006 durchgeführt.

- Die Leitung ist aufgrund der gemessenen Ruhepotenziale insbesondere im Bereich der Fixpunkte korrosionsgefährdet.
- Basierend auf dem hohen Schutzstrombedarf von ca.  $10\text{ A}$  ist mit einer mangelhaften äusseren Korrosionsschutzbeschichtung zu rechnen.
- Die Leitung kann nicht vollständig kathodisch geschützt werden, insbesondere im oberen Teil ist nur ein Teilschutz möglich.

Die *Inbetriebnahme* der beiden Schutzstromanlagen fand im Dezember 2006 statt. Es wurde bei der unteren Anlage ein Schutzstrom von

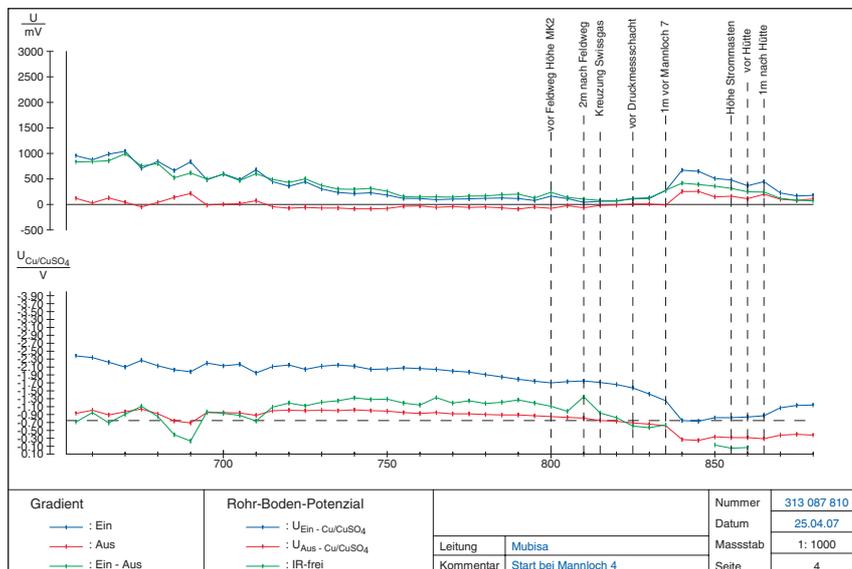


Abb. 7 Intensivmessung mit IR-freien Potentialen (untere grüne Linie).

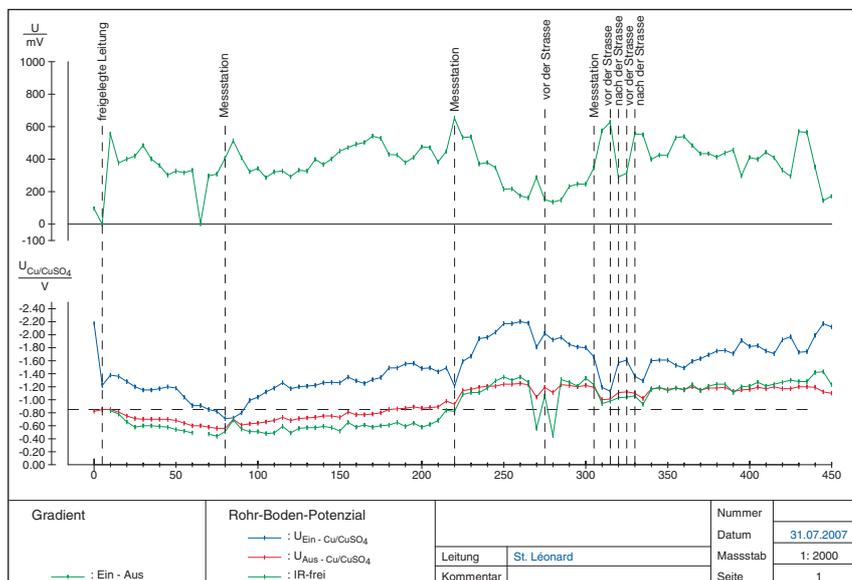


Abb. 8 Intensivmessung im oberen Teil der Druckleitung.

3,1 A und bei der oberen Anlage ein Schutzstrom von 1,1 A eingespiessen. Die Ausbreitungswiderstände der Anoden waren deutlich höher als berechnet, was auf den sehr trockenen Herbst 2006 zurückzuführen war. Nach einigen Stunden wurden an vier Messstellen die Ein- und Ausschaltpotenziale gemessen. Es wurde gegenüber den Ruhepotentialen

eine deutliche Potenzialabsenkung von 270 mV bis 900 mV festgestellt (Abb. 5). Die Abnahmemessungen fanden im April 2007 nach der Schneeschmelze statt. Der Schutzstrom stieg infolge der verbesserten Bodenverhältnisse bei der unteren und oberen Anlage um rund 20 % auf 3,6 A respektive 1,3 A. Mit einer Ausnahme waren

die Potenziale gegenüber der Inbetriebnahmemessung nochmals deutlich gesunken. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bei den im Gelände gemessenen hohen spezifischen Bodenwiderständen von 320 m bis 1700 m das Schutzpotential bei ca.  $-0,65 V_{CSE}$  bis  $-0,75 V_{CSE}$  liegt [6], kann aufgrund der an den Messstellen erhobenen Ausschaltpotenziale angenommen werden, dass die Druckleitung im unteren Teil auf einer Länge von ca. 1 km grundsätzlich im Schutz liegt (Abb. 6). Die durchgeführte Intensivmessung bestätigte dies (Abb. 7). Einzig bei den Fixpunkten wird das Potenzial durch die offensichtlich vorhandene galvanische Verbindung der Druckleitung mit der Bewehrung angehoben. Der Schutzstrom senkt aber auch in diesen Bereichen die Korrosionsgefahr durch eine Reduktion des vorhandenen Makroelementes zwischen Bewehrung und Druckleitung.

Im oberen Teil wird zwar nur ein Teilschutz gemessen. Bei einer Potenzialabsenkung von ca. 100 bis 200 mV wird die Korrosionsgeschwindigkeit jedoch auch hier gesenkt.

Im Mai 2008 wurde eine Funktionskontrolle durchgeführt. Gegenüber der Abnahme haben sich die entsprechenden Werte nur unwesentlich verändert. Die Potenziale sind leicht positiver geworden.

### 3.2 Druckleitung bei St-Léonard VS

Die 932m lange Druckleitung in St-Léonard wurde vor rund fünfzig Jahren erbaut. Der Aussenkorrosionsschutz besteht aus Bitumenbänder. Neben diesem passiven Korrosionsschutz wurde zusätzlich eine kathodische Korrosionsschutzanlage installiert. Die Anodenanlage befindet sich am unteren Ende der Leitung neben der Zentrale. In den letzten Jahren zeigte sich, dass im oberen Teil der Leitung das erforderliche Schutzpotential deutlich nicht mehr erreicht wurde. Eine Freilegung der Druckleitung im obersten Teil ergab, dass an mehreren Stellen ein Korrosionsabtrag stattgefunden hat (Tab. 2).

Leitungsdaten	
Baujahr	1956
Länge	932 m
Durchmesser	1600 mm bis 2016 mm
Oberfläche	ca. 5300 m <sup>2</sup>
Aussenkorrosionsschutz	auf Bitumenbasis
Fixpunkte	8 Stück
weitere Besonderheiten	bestehende KKS-Anlage bei der Zentrale

Tab. 2 Daten der Druckleitung in St-Léonard.

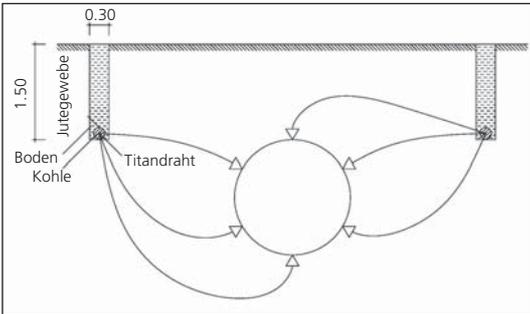


Abb. 9 Längsanoden beidseitig zur Druckleitung.



Abb. 10 Materialverteilung.



Abb. 11 Steilhang mit Längsanoden.

Eine im Sommer 2007 durchgeführte *Zustandsanalyse* ergab, dass eine Erhöhung des Schutzstromes zu keiner wesentlichen Verbesserung der Schutzwirkung führt. Da sich in der näheren Umgebung der Anode noch fremde Leitungen befinden, würden zudem höhere Anodenspannungen auch stärkere Beeinflussungen und somit eine Korrosionsgefährdung dieser Leitungen verursachen. Aus diesen Gründen wurde ein Einspeiserversuch am oberen Ende der Leitung durchgeführt. Eingespiesen wurden 1,5 Ampère. Nach einer Stunde konnte bereits eine Potenzialabsenkung von rund 150 mV festgestellt werden. Eine Intensivmessung der gesamten Leitung ergab, dass die Rohrumhüllung mangelhaft ist und dass das erforderliche Schutzpotenzial mit der bestehenden KKS-Anlage im rund 220m langen Steilhang nicht erreicht wird (Abb. 8). Darunter bis zur Zentrale war die Leitung geschützt. Infolge der hohen gemessenen spezifischen Bodenwiderstände von rund 200 bis 600  $\Omega\text{m}$  und der ungenügenden Rohrumhüllung wurde in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber und einem Experten für Korrosionsschutzbeschichtungen entschieden, anstelle einer peripheren Horizontalanodenanlage im obersten Teil der Leitung auf gut 200 m Länge beidseitig des Rohres in einem Abstand von ca. 3 bis 5 m eine Längsanode einzubauen (Abb. 9).

Die Arbeiten wurden im Frühling 2008 durchgeführt. Sämtliches Material wurde mit dem Helikopter eingeflogen und im Steilhang verteilt (Abb. 10). Zuerst wurden die Längsanoden inkl. Kabelanschlüsse und Überbrückungen beidseitig zur Druckleitung in drei Wochen erstellt (Abb. 11). Anschliessend folgte der Aushub für die Anoden und deren Einbau. Das Schutzstromgerät wurde in der Schieberkammer

installiert. Die Inbetriebnahme erfolgte im Juli 2008. Eine Abnahme inklusive Intensivmessung der Leitung ist für den September 2008 vorgesehen.

### 3.3 Druckleitung bei Erlenbach BE

Die 816 m lange Druckleitung bei Erlenbach wurde vor rund fünfzig Jahren erbaut. Der Aussenkorrosionsschutz besteht aus einer mit Bitumen getränkten *Bandagierung*. Im Jahre 2004 wurde aufgrund von Kernbohrungen festgestellt, dass unter der Schutzbeschichtung Korrosion vorliegt (Tab. 3).

Leitungsdaten	
Baujahr	1958
Länge	816 m
Durchmesser	1275 mm bis 1520 mm
Oberfläche	ca. 3600 m <sup>2</sup>
Aussenkorrosionsschutz	mit Bitumen getränkte Bandagierung
Fixpunkte	7 Stück
weitere Besonderheiten	unten mit Erdungsanlage verbunden

Tab. 3 Daten der Druckleitung in Erlenbach.

Im Frühling 2007 wurde eine *Zustandsanalyse* durchgeführt. Aufgrund der gemessenen Ruhepotenziale muss davon ausgegangen werden, dass bei einigen Fixpunkten ein Kontakt der Bewehrung zur Druckleitung vorliegt und somit Makroelementkorrosion möglich ist.

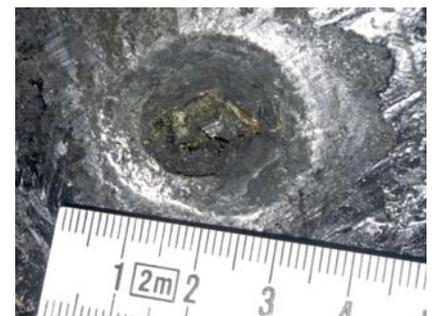


Abb. 12 Muldenförmige Korrosion.

Bei Leitungsfreilegungen wurde in der Tat muldenförmige Korrosion festgestellt (Abb. 12).

Eine so genannte *Potenzialgradientenmessung* bestätigte zudem die Vermutung, dass die Rohrumhüllung auf der ganzen Leitungslänge mangelhaft ist. Die berechneten hohen Differenzen der Potenzialgradienten, welche mittels einer temporären Einspeisung gemessen wurden, deuten darauf hin (Abb. 13).

Der Einspeiseversuch wies jedoch nach, dass die Druckleitung trotz der vielen Fehlstellen in der äusseren Korrosionsschutzbeschichtung und dem Kontakt zur Erdungsanlage in der Zentrale grösstenteils kathodisch geschützt werden kann. Der Schutzstrombedarf lag allerdings bei knapp 20 A. Basierend auf Rohrstrommessungen wurde abgeschätzt, dass davon rund 20 bis 40 % in die Erdungsanlage fliesst und somit nicht für den kathodischen Korrosionsschutz der Leitung zur Verfügung steht.

Als mögliche Anodenstandorte wurden in einer ersten Phase der Ufer-

bereich der Simme in der Nähe der Zentrale sowie ein Gelände nahe des Schieberhauses im obersten Teil der Leitung evaluiert. Die spezifischen Bodenwiderstände erwiesen sich aber mit 120 bis 830  $\Omega$ m als hoch. Ausgehend von einem Schutzstrombedarf von ca. 20 A wären sehr grosse Anodenanlagen und eine grosse Beeinflussungszone die Folge gewesen. Insbesondere beim Standort nahe der Zentrale hätte dies zu Problemen geführt. Als Variante wurde eine Lösung mittels Anode im Ausgleichsbecken erarbeitet. Der Vorteil liegt dabei in den geringeren Baukosten und den kleineren Ausbreitungswiderständen respektive Beeinflussungen.

Im Hinblick auf ein neues Erdungskonzept der Zentrale, einen geringeren Schutzstrombedarf und eine bessere Schutzwirkung des kathodischen Korrosionsschutzes hat sich die Bauherrschaft entschieden, im untersten Teil der Druckleitung ein *Isolierstück* einzubauen. Der ausgewählte Typ mit integrierter Isolier- und Ringfunkenstrecke, der auch zunehmend im Trinkwasserreservoir-



Abb. 14 Isolierkupplung mit integrierter Isolier- und Ringfunkenstrecke.

bau zur Auftrennung unterschiedlicher metallischer Werkstoffe eingesetzt wird, weist deutliche Vorteile betreffend dem inneren Korrosionsschutz und dem Überspannungsschutz auf (Abb. 14).

Vorgesehen ist zudem, den kathodischen Korrosionsschutz mittels einer Fernwartungsanlage zu überwachen und zu steuern. Neben dem Schutzstromgerät sollen etwa zwei bis drei Messstellen in das System integriert werden.

Die Arbeiten werden im kommenden Herbst durchgeführt.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Energie BFE, Sektion Wasserkraft (2008): Stand der Wasserkraftnutzung in der Schweiz am 1. Januar 2008.
- [2] Bundesamt für Energie BFE, Sektion Wasserkraft (2008): Statistik der Wasserkraftanlagen, Stand 1. Januar 2008.
- [3] Korrosionskommission der SGK (2005): Richtlinien C1 für Projektierung, Ausführung und Betrieb des kathodischen Korrosionsschutzes von Rohrleitungsanlagen.
- [4] Korrosionskommission der SGK (2001): Richtlinien C3 zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen.
- [5] EN 14505: Kathodischer Korrosionsschutz komplexer Anlagen.
- [6] von Baeckmann, W.; Schwenk, W. (1999): Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes.

Keywords

Kathodischer Korrosionsschutz – galvanische Auftrennungen – Schutzstrombedarf – Streuströmebeeinflussungen

Adresse des Autors

Felix Wenk, dipl. Bauing. ETH  
 Helbling Beratung + Bauplanung AG  
 Hohlstrasse 614, CH-8048 Zürich  
 Tel. +41 (0)44 438 18 11, Fax -10  
 felix.wenk@helbling.ch  
 felix.wenk@hsr.ch (ab 1.9.2008)

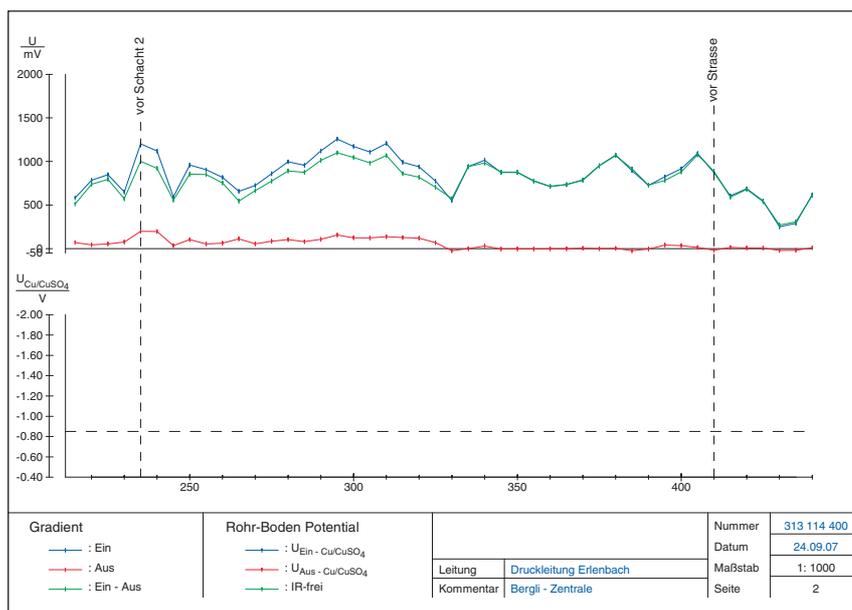


Abb. 13 Potenzialgradientenmessung.