

Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) in Gasverdichterstationen
Cathodic Protection (CCP) in Gas Compressor Stations

Allgemein:

Metall im Erdreich unterliegt einer elektrolytischen Korrosion. Für Transitleitungen wird ein Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) nach EN 12954 „Kathodischer Korrosionsschutz von metallenen Anlagen in Böden oder Wässern – Grundlagen und Anwendung für Rohrleitungen“ realisiert. In Gasverdichterstationen ist es schwierig oder nahezu unmöglich einen vollständigen kathodischen Korrosionsschutz durch Anwendung der in EN 12954 angegebenen Richtlinien zu erreichen.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die wesentlichsten Anforderungen der Norm die bei der Planung und Projektausführung berücksichtigt werden müssen. Im Vortrag werden die beschriebenen Anforderungen an Hand einer Projektausführung ausführlich erklärt und beschrieben.

General:

Earthburied metal structures are subject to electrolytical corrosion. For transit pipelines CCP according to EN 12954 "Cathodic protection of buried or immersed metal structures - General principles and applications for pipelines" is realised. However, in gas compressor stations it is difficult or almost impossible to achieve complete protection through application of a cathodic protection system according to the standard EN 12954. Therefore the standard EN 14505 "Cathodic protection of complexe structures" was implemented in 2005. With examples from real life the usage of the new EN 14505 will be explained and discussed.

1 Einführung:

Die Korrosionsgefahr für Rohrleitungen in Gasverdichterstationen ist im Allgemeinen größer als jene von Fernleitungen, weil in den meisten Fällen eine Elementbildung mit Stahl-Beton-Fundamenten vorliegt. Diese Korrosionsgefahr kann durch die Anwendung des in der EN 14505 „Kathodischer Korrosionsschutz komplexer Anlagen“ beschriebenen Verfahrens beseitigt werden.

Eine elektrische Verbindung mit einer Fremdanlage kann zu einem wesentlich erhöhten Strombedarf für den kathodischen Korrosionsschutz führen, da der Strom nicht nur zum Schutzobjekt, sondern auch zur Fremdanlage fließt. Dieser unerwünschte erhöhte Strombedarf wird verstärkt, wenn die Fremdanlage aus einem Metall besteht, das edler ist (ein positives Ruhepotenzial aufweist) als das Metall im Schutzobjekt. Beispiele dafür sind die Verbindung mit einer Erdungsanlage aus Kupfer oder mit der Stahlbewehrung in einem Betonbauwerk. [1]

2 Anwendungsbereich nach EN 14505:

Der Anwendungsbereich des kathodischen Korrosionsschutzes gemäß EN 14505 ergibt sich überall dort, wo ein kathodischer Schutz erforderlich ist aber aus technischer oder aus sicherheitsbezogenen Gründen die Rohrleitungen nicht elektrisch von den Fremdanlagen aus Metall getrennt werden können.

3 Begriffsbestimmungen:

Der Begriff „komplexe Anlage“ wird verwendet, um hinzuweisen, dass es sich bei diesen Anlagen um ein

Zusammenwirken von unterschiedlichen metallenen leitenden Anlagenteilen handelt die in ihrem Zusammenwirken als eine Einheit berücksichtigt werden müssen.

Der Begriff bezieht sich nicht auf die Komplexität der Anlage oder auf die Komplexität des Systems für den kathodischen Korrosionsschutz [1].

3.1 Komplexe Anlage lt. Definition EN 14505:

Anlage, die aus dem Schutzobjekt und aus einer oder mehrerer Fremdelektrode(n) besteht, die aus sicherheitsbezogenen oder technischen Gründen nicht vom Schutzobjekt elektrisch getrennt werden kann (können) [1].

3.2 Fremdelektrode lt. Definition EN 14505:

Elektrode (Anode oder Kathode), die eine Verbindung zum betreffenden Objekt besitzt [1]. Eine Fremdanode ist eine Fremdelektrode mit einem negativeren Potenzial als die Anlage; eine Fremdkathode ist eine Fremdelektrode mit einem positiveren Potenzial als die Anlage.

Legende:

4 Prinzip des kathodischen Korrosionsschutzes gem. EN 14505:

Der kathodische Schutz nach EN 14505 hat die Aufgabe, nicht nur den Elementstrom der Fremdkathoden zu kompensieren, sondern das Schutzobjekt auch ausreichend kathodisch zu polarisieren, so dass das Schutzkriterium erfüllt ist. Wegen der niederohmigen Verbindung zwischen Schutzobjekt und Fremdkathoden und wegen der sehr kleinen Ausbreitungswiderstände der letzten, fließt ein unverhältnismäßig großer Anteil des

Schutzstromes zu den Fremdkathoden. Durch gezielten Einbau der Fremdstromanoden wird versucht, den Stromanteil des Schutzobjektes zu erhöhen. Hierbei haben neben den geometrischen Verhältnissen von Schutzobjekt und Fremdkathoden vor allem die spezifischen Bodenwiderstände einen großen Einfluss. Im Gegensatz zum konventionellen kathodischen Schutz liegt das Schutzobjekt überwiegend im Bereich des Spannungstrichters der Fremdstrom Anoden. [1]

5 Kriterien für den kathodischen Schutz komplexer Anlagen [1]:

Bei komplexen Anlagen sollten möglichst die in EN 12954 definierten Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz angewendet werden. Tatsächlich bedeuten die Kennwerte der komplexen Anlage und der besonderen Einflussfaktoren, die auftreten können, dass es nicht immer möglich ist, an jedem Teil der komplexen Anlage durch Messung zu bestimmen, ob diese Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz eingehalten werden. In diesem Fall können alternative Nachweisverfahren gewählt werden, um eine ausreichende Verringerung der Korrosionsgeschwindigkeit sicherzustellen.

Folgende drei Verfahren können als Kriterien gewählt werden. Sie beruhen auf praktischen Erfahrungen und werden häufig angewendet. Alle Anlage-Elektrolytpotenzial-Messungen sind in Bezug auf eine gesättigte Kupfersulfat-Bezugselektrode angegeben.

5.1 Potenzial-Messverfahren:

Das Einschaltpotenzial E_{on} ist gleich oder negativer als -1,2 V, wenn der Messpunkt außerhalb der Einflussfläche der großen Fremdkathode liegt und wenn der spezifische Bodenwiderstand ausreichend niedrig ist (kleiner als etwa 100 Ohmm).

Das Einschaltpotenzial E_{on} ist gleich oder negativer als -0,8 V im Näherungsbereich von großen Fremdkathoden.

5.2 Strom-Verfahren:

Durch dieses Verfahren wird nachgewiesen, dass der Strom an kritischen Stellen in das Objekt eintreten kann, entweder:

- 1) Direkt, d.h., wenn der Schutzstrom eingeschaltet wird, zeigt eine negative Verschiebung des freien Korrosionspotenzials E_n um mindestens 0,3 V an, dass wahrscheinlich ausreichend Strom in das Objekt eingespeist wird
- 2) Durch Messung entweder der Stromdichte oder der Potenzialverschiebung an Elektroden oder externen Messproben.

Eine kritische Stelle ist eine Stelle, an der die Wahrscheinlichkeit eines Austritts des Anodenstroms aus dem Schutzobjekt hoch ist. Z.B. in der Nähe einer Fremdkathode auf Grund eines galvanischen

Elements, Heterogenität des Bodens oder Abschirmung.

5.3 Depolarisations-Messverfahren

Eine positive Verschiebung (Depolarisation) an externen Messproben von mindestens 0,1 V, gemessen im Zeitraum unmittelbar nach der Trennung vom Objekt (E_{off}) bis 1 h nach Trennung vom Objekt, um anzuzeigen, dass das Objekt polarisiert ist. Diese externen Messproben werden nur für die Messung abgetrennt.

Für die Beurteilung der Schutzwirkung ist mindestens eines dieser Verfahren anzuwenden.

6 Verfahren für den kathodischen Korrosionsschutz komplexer Anlagen:

Die in Abschnitt 5 beschriebenen Kriterien für den kathodischen Korrosionsschutz können auf drei Wegen erreicht werden. Die Wahl des Verfahrens ist abhängig von der jeweiligen komplexen Anlage.

- a) Durch Anwendung von Fremdstrombettungen mit einem ausreichenden Abstand vom Schutzobjekt. Bei der Anwendung dieses Verfahrens sind häufig hohe Werte des kathodischen Schutzstromes erforderlich, weil sämtliche Bauteile der komplexen Anlage Strom aufnehmen und verbrauchen.
- b) Durch Anwendung von verteilten oder durchgehenden Bettungen, die sich entlang und in der Nähe des Schutzobjektes befinden. Das Ziel des Verfahrens besteht darin, die Anwendung des kathodischen Schutzstroms örtlich auf das Schutzobjekt zu beschränken.
- c) Durch die Kombination der beiden vorgenannten Verfahren.

7 Anwendungsbeispiel der Ausführung eines kathodischen Korrosionsschutzes in einer Gasverdichterstation

Die Gasverdichterstation hat ein Flächenausmaß von ca. 250 x 150 m in der alle Rohrleitungen, eine Maschinenhalle, Gaskühler und zahlreiche Betonfundamente für Molchschleusen und Schieber untergebracht sind.

Die Station ist schon seit vielen Jahren in Betrieb und war nicht kathodisch geschützt.

Im Zuge einer rohrtechnischen Anlagenerweiterung wurde vom Kunden die Forderung gestellt einen kathodischen Schutz zu installieren. Aus sicherheitstechnischen Bestimmungen sind alle metallenen Einbauten wie Rohrleitungen, Schieber, Molchschleusen, Erdungsanlagen und Betonbewehrungen miteinander verbunden.

Ein Großteil des bestehenden Erdungssystems der Altanlage besteht aus verzinktem Bandstahl. Bei der

Erweiterung des Rohrleitungsteils der Verdichterstation wurde danach die Erdungsanlage aus Edelstahl VA4 ausgeführt.

Weiter sind massive Betonfundamente der Gebäude und Zaunanlage vorhanden und mit dem Erdungssystem und somit mit der Rohrleitung verbunden.

7.1 Planungsgrundlagen:

Aufgrund der vorliegenden Bedingungen war nur ein Schutzsystem nach EN 14505 „Kathodischer Korrosionsschutz komplexer Anlagen“ möglich.

7.2 Schutzobjekt:

Zum Schutzobjekt der Station gehören alle erdverlegten gastechnischen Stahlrohrleitungen, Glykoleitungen, Kondensatleitungen, Schmiermittelleitungen und Steuerluftleitungen.

7.3 Schutzverfahren:

Bei dem Schutzverfahren nach EN 14505 geht man von dem Gedanken aus, dass das notwendige Schutzpotenzial durch eine Verschiebung des Potenzials des umgebenen Erdreiches zu positiveren Werten gegenüber dem Schutzobjekt erreicht werden kann, was einer Änderung des Potenzials des Schutzobjektes zu negativeren Werten gleichkommt. Dies geschieht durch eine geeignete Anordnung von Fremdstrom-Schutzanoden, das Schutzobjekt muss sich in deren Spannungstrichter befinden. Bei diesem Schutzverfahren wird durch den Einsatz von dezentralen Einzelanoden und die dadurch örtlich begrenzte Anhebung des Erdbodenpotenzials gegenüber dem Schutzobjekt in dessen Nähe mindestens um den Betrag der Elementspannung bei fließendem Schutzstrom, der Korrosionsschutz in besonders gefährdeten Bereichen, wie Wanddurchführungen und in Näherungsbereichen zu Stahlbetonbauwerken erreicht. Die Anoden werden so angeordnet, dass sich die Rohrleitungen stets in ihrem Spannungstrichter befinden. Das Verfahren soll in erster Linie die schädliche Elementbildung mit Stahl in Beton aufheben. Darüber hinaus ist auch ein Schutz der Rohrleitung gegen Korrosion durch aggressiven Erdboden und Elementbildung bei unterschiedlicher Belüftung oder Konzentration des Erdreiches anzustreben.

Eine reine Aufhebung der Elementbildung kann erreicht werden entweder durch kathodische Polarisation der nicht abtrennbaren Stahlbetonfundamente und anderer Anlagen und/oder durch Anhebung des Erdbodenpotenzials gegenüber dem Schutzobjekt in dessen Nähe – mindestens um den Betrag der Elementspannung bei fließendem Schutzstrom.

7.4 Elektrische Trennung:

An den Stationsein- und Ausgängen kommen jeweils 3 Fernleitungen mit je DN 38“ 40“ und 42“ an und sind über elektrische Isolierstücke von der

Verdichterstation getrennt. Die Isolierstücke befinden sich in unmittelbarer Nähe des Stationszaunes und somit sehr nahe an den verteilten Fremdstromanoden im Stationsbereich.

7.5 Beeinflussungen:

Da sowohl die an- und abkommenden Fernleitungen als auch die Station kathodisch geschützt werden, müssen mögliche Beeinflussungen verhindert werden die zwischen dem kathodischen Korrosionsschutzsystem der komplexen Anlage und den hinein-/herausführenden Rohrleitungen auftreten können. Bei dezentraler Anodenanordnung entsteht aufgrund der niedrigen Einzelströme und der kleinen Entfernung zu den Kathoden eine erheblich geringere Beeinflussung auf Fremdanlagen als vergleichsweise bei den Anlagen mit Tiefenanoden.

8 Projektausführung:

In der Gasverdichterstation wurde ein Gesamtkonzept für den kathodischen Korrosionsschutz nach EN 14505 umgesetzt. Die Anodenverteilung wurde auf der Basis von dezentralen horizontal verlegten Container- und Kabelanoden geplant. An Stellen wo mit hohen Elementströmen zu rechnen war, wurden Einzelanoden (Container) angeordnet. An diesen Punkten ist es möglich gezielt mit einem höheren Schutzstrom der Elementbildung entgegenzuwirken und eine teilweise Polarisation von Stahl im Beton zu erreichen. Diese Maßnahmen wurden vor allem an kritischen Stellen und zwar beim Zusammentreffen der Rohrleitung mit Erdungsanlagen, Wanddurchführungen und Näherungsbereichen zu Stahlbetonbauwerken durchgeführt. Entlang von Stahlrohrleitungen wurden Kabelanoden mit einer Einzellänge von ca. 10-20 m Länge verlegt. Die Kabelanoden werden mit soviel Schutzstrom gespeist, sodass sich im Bereich der Rohrleitung ein Einschaltpotenzial von mindestens – 1,2 V gegen CuCuSo4 Elektroden ergibt.

Die Anlage zum kathodischen Korrosionsschutz nach EN 14505 besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Schutzstromgleichrichter mit Potenzialüberwachung
- Containeranoden
- Kabelanoden,
- Probebleche
- Dauerbezugselektroden
- Kabelanlage
- Messstellen

8.1 Schutzstromgleichrichter:

Der Schutzstromgleichrichter wurde in einem Elektroraum der Gasverdichterstation installiert. Der Leistungsteil mit dem Brückengleichrichter ist auf der Montageplatte des Standschranks eingebaut. Die Vorwiderstände zur Einstellung der Anodenteilströme

sowie die Netzanschlussklemmen und Anschlussklemmen für Anoden, Elektroden, Rohranschlüsse und Datenübertragung sind auf der Montageplatte des Gleichrichterschrankes montiert. Es besteht die Möglichkeit alle Teilströme der Anoden, Potenziale an den fest eingebauten Cu/CuSO₄-Messelektroden, Potenziale und Schutzströme der feste eingebauten Messproben direkt beim Gleichrichter zu messen. Der Gleichrichter liefert einen Ausgangsstrom von max. 60 A (DC) bei einer stufenlos einstellbaren Ausgangsspannung von 0-20 V (DC).



Bild1: Korrosionsschutzgleichrichteranlage mit Anodenabgleichwiderstände

8.2 Messstellen:

Im Stationsbereich sind an Plätzen außerhalb der Ex-Zonen 5 Messstellen angeordnet. Jede Messstelle versorgt einen Schutzabschnitt der Verdichterstation. In die Messstellen sind alle Anoden- Rohranschluss-, Dauerbezugselektroden- und Messprobenkabel eingeführt und an Messklemmen angeschlossen. Die Verbindung zum Gleichrichter wird über Sammelkabel hergestellt.



Bild2: Messstelle

8.3 Containeranoden:

Der Einbau von dezentralen Horizontalanoden wird überwiegend in Näherungsbereichen zu Fremdkathoden wie Stahlbetonfundamenten und an Gebäude- bzw. Schachteinführungen durchgeführt. Die Anoden wurden horizontal etwa auf Rohrleitungsniveau, jedoch mit einer Mindestüberdeckung von 1 m verlegt.



Bild3: Containeranode

Es sind Containeranoden aus Eisensilizium (FeSi) mit einer Masse von 7,5 kg welche zentrisch innerhalb eines Containers in Koksgrus gebettet sind. Jede einzelne Anode ist über ein eigenes Anodenkabel mit dem Gleichrichter über einen Abgleichwiderstand verbunden. Durch den Abgleichwiderstand kann der Strom jeder einzelnen Anode eingeregelt werden.

In der gesamten Anlage wurden insgesamt 180 Containeranoden verlegt.

8.4 Kabelanoden:

Für Bereiche, in denen eine gleichmäßige Schutzstromverteilung entlang der Rohrleitung erzielt werden sollte, wurden Kabelanoden vom Type Anodeflex 1500 mit einer Dauerstrombelastbarkeit von max. 52 mA/m Länge verlegt. Die Kabelanoden wurden entlang der Rohrleitungen unterhalb des Niveaus des unteren Rohrscheitels verlegt. Die Kabelanode besteht im Wesentlichen aus einem Cu-Leiter mit einer leitfähigen Polymerbeschichtung welche aus einer Koksgrußummantelung und Gewebemantel besteht. Wie bei den Containeranoden wird jede einzelne Kabelanode mit dem Gleichrichter über einen Abgleichwiderstand verbunden.

In der gesamten Anlage wurden insgesamt 31 Kabelanoden mit einer Gesamtlänge von 450m verlegt.



Bild4: Kabelanode

8.5 Messproben:

Um den kathodischen Korrosionsschutz in besonders korrosionsgefährdeten Bereichen nachzuweisen, wurden Probebleche mit einer definierten Fehlstelle von 1 cm^2 eingebaut. Über diese Probebleche können die Kriterien nach dem Strom-Verfahren und Depolarisations-Messverfahren beurteilt werden. In der gesamten Anlage wurde an kritischen Punkten 5 Messproben verlegt.

8.6 Dauerbezugselektroden:

Es wurden Cu/CuSO₄-Dauerbezugselektroden zur zentralen Erfassung der Rohr/Boden-Potenziale an kritischen Stellen wo Elementbildung zu erwarten ist eingebaut. Um die gegenseitige Beeinflussung der kathodischen Schutzsysteme der ankommenden Fernleitung und der Verdichterstation zu beurteilen, wurden im Bereich der Isolierstücke ebenfalls noch Cu/CuSO₄-Dauerbezugselektroden verlegt. Durch die fest installierten Cu/CuSO₄- Dauerbezugselektroden ist gewährleistet, dass die Kontrollmessung zur Einstellung der Schutzwerte immer gegen die gleichen Bezugspunkte durchgeführt werden. In der gesamten Anlage wurden an kritischen Punkten 52 fix installierte Dauerbezugselektroden verlegt.



Bild5: Verlegen einer Dauerbezugselektrode und Messprobe

8.7 Rohranschluss:

Es wurden 7 Rohranschlussverbindungen zur Rückführung des Schutzstromes im Bereich der Verdichterstation verteilt angeordnet. Die Rohranschlüsse wurden mittels Cadweld-Braze Verfahren hergestellt und die Anschlussstellen durch geeignete Verfahren nachumhüllt.

9 Messwerte

9.1 Inbetriebnahmemessung:

Nach Abschluss der Installationsarbeiten wurden an allen fest installierten Cu/CuSO₄ Messelektroden und Messproben die freien Korrosionspotenziale ermittelt und protokolliert. Weiter wurden zusätzliche Messpunkte fixiert an den mit einer Aufsetzelektrode die freien Korrosionspotenziale ermittelt wurden. Nach dem Einschalten des Schutzstromes wurden die einzelnen Fremdstromanoden so eingeregelt, dass an allen installierten und fixierten Messpunkten annähernd das Kriterium nach dem Potenzial-Messverfahren lt. EN 14505 erreicht wurde.

Etwa drei Stunden nach Einschaltung des Schutzstromes wurde an den gleichen Punkten das Einschaltpotential wieder registriert und festgestellt, ob annähernd eines der angeführten Kriterien lt. EN 14505 erreicht wird.

9.2 Einstellmessung:

Nach einer Polarisationszeit von etwa vier Monaten wurde die Messung wiederholt und das Erreichen eines der geforderten Schutzkriterien überprüft.

9.3 Anlagendetail eines Schutzbereiches:

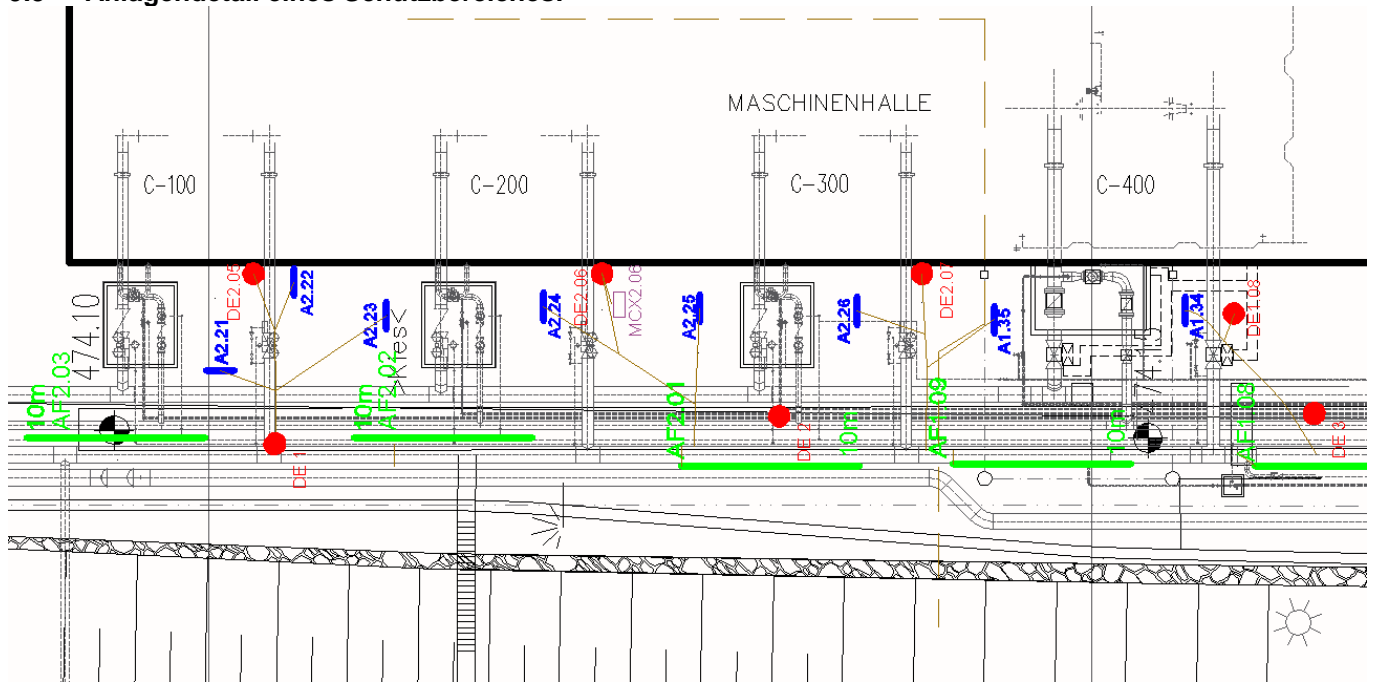


Bild6: Anlagendetail eines Schutzabschnittes

In der gesamten Verdichterstation wurden 52 Cu/CuSO₄-Messelektroden und 5 Messproben fix installiert. Das in Bild 6 dargestellte Anlagendetail gibt einen Überblick über einen kleinen Bereich der Schutzanlage und zeigt die Anordnung der Messelektroden, Messprobe und Fremdstromanoden.



Bild7: Rohrleitungen im Bereich der Maschinenhalle

Die Rohrleitungen führen unterirdisch in die Maschinenhalle. Die Betonfundamente der Maschinenhalle und der oberirdischen Schiebergruppen bilden massive Fremdkatoden wo die verbundene Rohrleitung im Erdreich hingegen als Anode agiert. Die gemessenen Naturpotenziale differieren in diesem kurzen Leitungsabschnitt von -354 mV (DE 2.05) bis zu -584 mV (DE 1.08) und weisen auf eine Elementbildung mit einer treibenden Spannungsdifferenz von 230 mV hin.

Im Bereich der Betonfundamente wurden deshalb Einzelanoden verlegt mit denen gezielt eine Polarisation der umliegenden Betonfundamente erreicht werden soll und damit die Elementbildung aufgehoben wird.

Entlang der Rohrleitungstrasse wurde mit Kabelanoden das Schutzpotenzial auf einen Einschaltwert negativer -1200 mV gegen Cu-CuSO₄ Aufsetzelektroden eingestellt.

9.4 Messergebnisse der Inbetriebnahme und Einstellmessung:

In der nachfolgenden Tabelle sind die Messwerte an den eingebauten Komponenten aufgelistet.

Die im Bereich der Fremdkathoden installierten Messelektroden DE 2.05, 2.06, 2.07 und 1.08 weisen nach einer Betriebszeit von 4 Monaten ein U_{ein} von mindestens -800 mV oder negativer auf.

Die im Bereich der Rohrleitung ermittelten Messwerte mit temporär aufgesetzten Standelektroden weisen bereits während der Inbetriebnahme nach 3 Stunden ein U_{ein} von mindestens -1200 mV oder negativer auf. Das Kriterium des Potenzial-Messverfahrens nach EN 14505 ist somit für diese Bereiche erfüllt.

Die eingebaute Messprobe MCX 2.06 weist eine Schutzstromaufnahme von 50,2 μA auf. Dadurch ist nachgewiesen, dass an dieser kritischen Stelle, trotz unzureichender Ausschaltpotenziale Schutzstrom in das Schutzobjekt eintritt. Das Kriterium des Strom-Verfahrens nach EN 14505 ist somit für diesen Bereich erfüllt.

Die Messung an den eingebauten Fremdstromanoden zeigt, dass an den Containeranoden punktförmig ein höherer Schutzstrom eingespeist wird als gegenüber den Kabelanoden die eine Länge von 10 m aufweisen.

Generell hat sich der Schutzstrom in den ersten 4 Betriebsmonaten reduziert.

Der Gesamtschutzstrom der Anlage beträgt 28,7 A bei einer Schutzspannung von 4,7 V.

		Inbetriebnahme 21.10.2009		Einstellmessung 11.02.2009	
Messung an eingebauten Cu/CuSO4-Messelektroden					
Messpunkt	Naturpotenzial (mV)	U _{ein} (mV)	U _{aus} (mV)	U _{ein} (mV)	U _{aus} (mV)
DE 2.05	-354	-710	-520	-820	-510
DE 2.06	-390	-760	-530	-830	-530
DE 2.07	-479	-800	-500	-830	-570
DE 1.08	-584	-860	-660	-860	-660
Messung mit temporär aufgesetzten Cu/CuSO4-Standelektroden					
DE 1	-490	-1230	-640	-1290	-650
DE 2	-529	-1380	-690	-1420	-710
DE 3	-540	-1420	-720	-1460	-730
Messung an eingebauten Messproben					
MCX 2.06	-518	-760	-630	-830	-770
MCX Strom (µA)		88,2		50,2	
Messung an eingebauten Fremdstromanoden					
		Strom (mA)		Strom (mA)	
A2.21		264		173	
A2.22		128		80	
A2.23		137		73	
AF2.02		92		263	
A2.24		94		56	
A2.25		63		35	
AF2.01		79		220	
A2.26		89		51	
A1.35		27		130	
A1.34		194		116	
AF1.09		82		210	

10 Literaturhinweise:

[1]EN 14505:2005 Kathodischer Korrosionsschutz komplexer Anlagen