

Kathodische Korrosionsschutzanlage (KKS-Anlage) mit Kabelanoden – Planung und Realisierung eines Pilotprojektes, Betriebserfahrung

Rainer Deiss und Ralf Summ

Rohrnetz, Kathodischer Korrosionsschutz (KKS), Kabelanode, Anodflex, grabenlose Verlegung von Anodenfeldern, Graphitmischung als Bettungsmaterial und Bohrspülung

Kabelanoden haben prinzipiell den Vorteil, dass sie auch grabenlos verlegt werden können. Dies ermöglicht es, Anodenfelder in schwer zugänglichen Bereichen einzubringen. Als Pilotprojekt wurde deshalb der Bau einer KKS-Anlage mit einem Anodenfeld aus grabenlos verlegten Kabelanoden des Typs Anodflex in einem Stadtwald in Stuttgart geplant und umgesetzt. Der Beitrag befasst sich mit der Beschreibung der theoretischen Grundlagen von Kabelanoden, der Planung und dem Bau dieser Pilotanlage und den bisher gemachten Betriebserfahrungen.

In principle, cable anodes have the advantage that they can be used for non-buried applications. This makes it possible to install discrete anodes in inaccessible areas. For this reason the construction of a CCP-system with a discrete anode of non-buried cable anodes – Anodflex – was planned and carried out as a pilot project in an urban wood near Stuttgart. This article deals with the theoretical rudiments of cable anodes, planning and erection of the pilot system and know-how attained up to the present date.

1. Einleitung

Die Bereitstellung des für den kathodischen Korrosionsschutz (KKS) von ausgedehnten Rohrleitungssystemen notwendigen Schutzstroms kann vor allem in größeren Städten ein nicht zu unterschätzendes Problem darstellen.

Im Stadtgebiet von Stuttgart stellt es sich in verstärkter Form dar. Ursachen hierfür sind zum einen die von der ausgeprägten Tallage herrührenden geologisch ungünstigen Bodenschichtungen und zum anderen die Tatsache, dass die große Anzahl verhältnismäßig alter Rohrleitungen einen vergleichsweise hohen Schutzstrombedarf zur Folge hat.

In den Stuttgarter Hanglagen trifft man vor allem auf Keuper- und Felsschichten, die auf Grund ihres sehr hohen spezifischen Bodenwiderstands den Bau von Tiefenanoden praktisch ausschließen. In den Tallagen verhindern die zweitgrößten europäischen Mineralwasservorkommen das Vorsehen von Tiefenanoden, da hierfür keine behördliche Genehmigung erlangt werden kann.

Deshalb bleibt als einziger Ausweg die Erstellung von Horizontalanodenfeldern, die jedoch den bekannten Nachteil haben, dass zur Vermeidung unzulässiger Beeinflussung (siehe z. B. AfK-Empfehlung Nr. 2 [1]) ein vergleichsweise großer Bereich um das Anodenfeld herum keine erdverlegten metallischen Objekte aufweisen darf. Diese Bedingung kann jedoch innerhalb von Stadtgebieten im Normalfall nur in Stadtwäldern oder Parks erfüllt werden.

Die Errichtung von Anodenfeldern in Stadtwäldern wird zumindest in Stuttgart seitens des zuständigen Forstamtes sehr kritisch gesehen. Die Auflagen sind streng und im Normalfall wird nur die Verlegung entlang von Waldwegen genehmigt. Um hier zukünftig die Variationsmöglichkeiten zu erhöhen, wurde Mitte der neunziger Jahre die Idee geboren, ein Anodenfeld grabenlos zu verlegen. Damit sollte u. a. auch die Möglichkeit eröffnet werden, Anoden direkt im Wald unterhalb der Baumwurzeln einzubringen. Als Anodentyp boten sich hier sogenannte Kabelanoden an, wie z. B. die Anodflexanode der Fa. Raychem.

In den nachfolgenden Ausführungen wird ein entsprechendes Pilotprojekt in einem Stadtwald in Stuttgart beschrieben. Es wurde Ende 1997 von den damaligen Technischen Werken Stuttgart AG (heute NWS Regional AG & Co. KG) zusammen mit der Fa. Raychem und der Fa. Flowtex realisiert.

Dipl.-Phys. Rainer Deiss, NWS Regional AG & Co. KG, Lautenschlagerstraße 21, D-70173 Stuttgart, und Dipl.-Wirt.-Ing. Ralf Summ, Tyco Electronics Raychem GmbH, Westring 216, D-44579 Castrop-Rauxel.

2. Aufbau der Anodflexanode

Den Aufbau einer Anodflexanode zeigt *Bild 1*. Sie besteht aus unterschiedlichen Materialien und ist schichtweise aufgebaut. Von innen nach außen beschrieben besteht sie aus folgenden Elementen:

- Kupferleiter
Er hat in erster Linie die Aufgabe, den Strom innerhalb der Anode zu verteilen. Die niederohmige Ausführung ermöglicht einen geringen Spannungsabfall entlang des Leiters.
- Leitfähiges Polymer
Diese Schicht schützt zum einen den Kupferleiter vor chemischen Angriffen und stellt zum anderen den Stromfluss vom Leiter zum Koksgrus über die ganze Länge des Kabels sicher.
- Koksgrus
In diesem Bereich finden die anodischen Teilreaktionen statt.
- Gewebemantel
Er besteht aus elektrochemisch widerstandsfähigem Material und dient im Wesentlichen dazu, die Koksgruschicht zu verpacken, ohne den Stromfluss von der Anode zum umgebenden Erdreich zu behindern.
- Schutzgeflecht
Es besteht aus einem mechanisch festen, durchlässigen und elektrisch nicht leitfähigen Material. Es dient der Erhöhung der Abriebfestigkeit der Anode, dem Schutz des Gewebemantels vor Beschädigung und erleichtert den Einbau der Anode.

3. Projektdurchführung

3.1 Planung

Auf Grund Ihres Aufbaus weist die Anodflexanode folgende Eigenschaften auf, die bei der Planung unbedingt berücksichtigt werden müssen:

- Der maximale Stromaustritt pro Längeneinheit darf an keinem Punkt der Anode 50 mA/m überschreiten
- Der Ausbreitungswiderstand der Anode entspricht dem Ausbreitungswiderstand eines Erders mit Längswiderstand.

Die Folgen, die sich aus diesen beiden Eigenschaften ergeben, sollen nun im Einzelnen erläutert werden.

3.1.1 Anodenlänge und Einspeisecharakteristik

Setzt man homogene Bodenverhältnisse voraus, so lässt sich bei einseitiger Stromeinspeisung die Stromverteilung $I(x)$ innerhalb einer Anode mit der Länge L in Abhängigkeit vom Ort x wie folgt berechnen:

$$I(x) = I_0 \cdot \frac{\sinh(\sqrt{G'R'} \cdot (L-x))}{\sinh(\sqrt{G'R'} \cdot L)} \quad (1)$$

Dabei ist R' der Widerstandsbelag des metallischen Leiters innerhalb der Anode und G' der Ableitungsbelag der Anode.

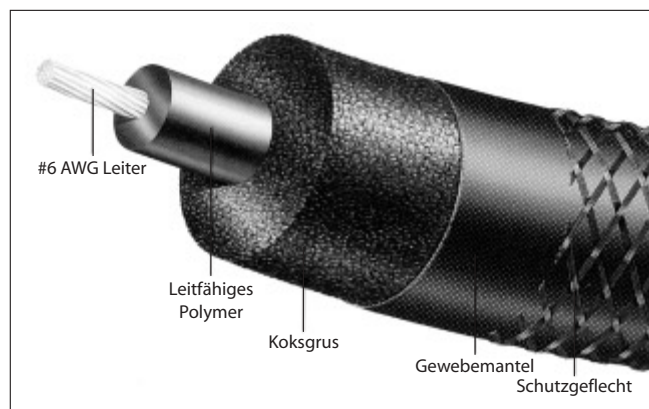


Bild 1. Aufbau der Anodflexanode.

I_0 ist der Einspeisestrom an der Stelle $x = 0$, der bei einseitiger Stromeinspeisung identisch mit der Gesamtstromabgabe der Anode I_{ges} ist.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass am Einspeisepunkt der spezifische Stromaustritt $I' = dI/dx$ am höchsten ist. Deshalb ist es aus Sicht der Planung von besonderem Interesse, den Betrag der Gesamtstromabgabe der Anode $|I_{ges}|$ in Abhängigkeit vom spezifischen Stromaustritt an der Einspeisestelle I'_0 anzugeben. Mit der Definition für I' folgt aus Gleichung 1 am Punkt $x = 0$.

$$|I_{ges}| = \frac{I'_0}{\sqrt{G'R'}} \cdot \tanh(\sqrt{G'R'} \cdot L) \quad (2)$$

Neben der einseitigen Stromeinspeisung gibt es prinzipiell auch die Möglichkeit, den Strom von zwei Seiten auf die Anode einzuspeisen.

Unter der Bedingung homogener Bodenverhältnisse ergibt sich für eine Anode der Länge L für den Fall, dass am Punkt $x = 0$ der Strom $I = I_0$ und am Punkt $x = L$ der Strom $I = -I_0$ eingespeist wird, innerhalb der Anode folgende Stromverteilung $I(x)$ in Abhängigkeit vom Ort x :

$$I(x) = \frac{I_0}{\sinh(\sqrt{G'R'} \cdot L)} (\sinh(\sqrt{G'R'} \cdot (L-x)) - \sinh(\sqrt{G'R'} \cdot x)) \quad (3)$$

Für den Betrag der Gesamtstromabgabe der Anode $|I_{ges}|$ in Abhängigkeit des Stromaustritts I'_0 an der Stelle $x = 0$ ergibt sich dann im Falle der zweiseitigen Einspeisung

$$|I_{ges}| = \frac{2 \cdot I'_0}{\sqrt{G'R'}} \cdot \frac{\sinh(\sqrt{G'R'} \cdot L)}{\cosh(\sqrt{G'R'} \cdot L) + 1} \quad (4)$$

Bild 2 zeigt die Stromverteilung einer 100 m langen Anode bei einseitiger und zweiseitiger Stromeinspeisung für $I_0 = 2$ A. Für den Ableitungsbelag G' wurde mit 10^{-3} S/m ein Wert eingesetzt, der bei einem spezifischen Bodenwiderstand von rund $100 \Omega\text{m}$ zu erwarten ist. Für die Variable R' wurde mit $1,56121 \cdot 10^{-3} \Omega\text{m}$ der Wert eingesetzt, der sich auf der Basis der Herstellerdaten für den Widerstandsbelag des Kupferleiters innerhalb dieser Anode ergibt.

Bei der einseitigen wie auch der zweiseitigen Einspeisung ergibt sich ein nahezu linearer Verlauf. Bei der einseitigen Stromeinspeisung fließt der höchste Strom an der Einspeisestelle, während am Endpunkt der Anode kein Strom mehr

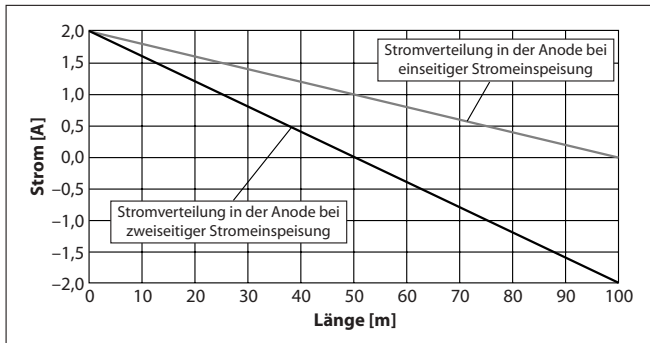


Bild 2. Stromverteilung $I(x)$ innerhalb einer 100 m langen Kabelanode bei einseitiger und zweiseitiger Einspeisung ($I_0 = 2 \text{ A}$, $G' = 10^{-3} \text{ S/m}$ und $R' = 1,56121 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{m}$).

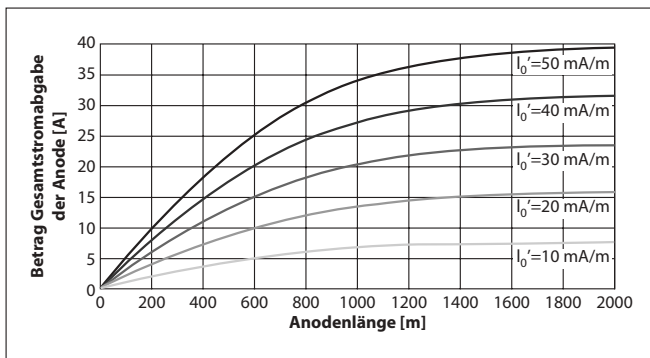


Bild 3. Betrag der Gesamtstromabgabe der Anode $|I_{\text{ges}}|$ bei einseitiger Stromspeisung in Abhängigkeit von der Anodenlänge L für mehrere Werte von I'_0 ($G' = 10^{-3} \text{ S/m}$ und $R' = 1,56121 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{m}$).

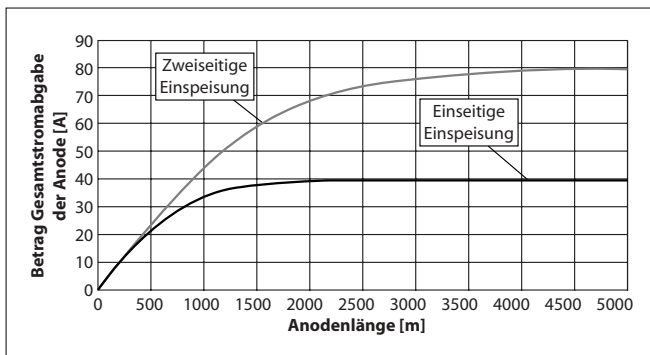


Bild 4. Betrag der Gesamtstromabgabe der Anode $|I_{\text{ges}}|$ bei einseitiger und zweiseitiger Einspeisung ($I'_0 = 50 \text{ mA/m}$, $G' = 10^{-3} \text{ S/m}$ und $R' = 1,56121 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{m}$).

fließt. Bei der zweiseitigen Stromspeisung erkennt man, dass die Kurve bei $x = 50 \text{ m}$ die x -Achse schneidet und dann negativ wird. Ursache hierfür ist, dass die Stromrichtung an den Einspeisepunkten jeweils entgegengesetzt ist. Durch den Vorzeichenwechsel wird diese Richtungsänderung angezeigt.

Der nahezu lineare Abfall der Stromverteilung innerhalb der Anode lässt auf einen homogenen Stromaustritt entlang der Anode schließen. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass die Anode relativ kurz ist und sich deshalb am Widerstandsbelag des Kupferleiters innerhalb der Anode ein nur geringfügiger Spannungsabfall einstellt. Die Steigung der jeweiligen Geraden ist ein Maß für die Höhe des Stromaustritts, d.h., je kleiner die Steigung, desto höher ist der Stromaus-

tritt. Es ist nicht verwunderlich, dass die Steigung für gleiches I_0 bei der zweiseitigen Stromspeisung kleiner und damit der Stromaustritt höher ist als bei der einseitigen Stromspeisung.

In *Bild 3* ist der Verlauf des Betrags der Gesamtstromabgabe der Anode $|I_{\text{ges}}|$ bei einseitiger Stromspeisung in Abhängigkeit von der Anodenlänge L bei unterschiedlichen Werten für den maximalen spezifischen Stromaustritt I'_0 an der Stelle $x = 0$ dargestellt. Für G' und R' wurden wieder die selben Werte wie bei der Darstellung in *Bild 2* verwendet.

Man erkennt deutlich, dass mit zunehmender Länge die Erhöhung des Gesamtstroms pro zusätzlichem Längeneinheit immer geringer wird, d.h., man kann z.B. bei gegebenem I'_0 mit 3 Anoden à 100 m Länge einen größeren Strom aufbringen als mit einer 300 m langen Anode. Eine zweiseitige Stromspeisung ändert grundsätzlich nichts an dieser Gesetzmäßigkeit.

Bild 4 zeigt den Verlauf des Betrags der Gesamtstromabgabe der Anode $|I_{\text{ges}}|$ für $I'_0 = 50 \text{ mA/m}$ in Abhängigkeit von der Anodenlänge L bei einseitiger und zweiseitiger Stromspeisung. Weiterhin wurde dabei erneut angenommen, dass in beiden Stromspeisungsfällen an allen Einspeisepunkten der Strom I_0 eingespeist wird. Für G' und R' wurden wieder die selben Werte wie bei den Darstellungen in den *Bildern 2* und *3* verwendet.

Die Kurvenverläufe machen deutlich, dass eine wesentliche Erhöhung des Stromaustritts bei zweiseitiger Stromspeisung im Vergleich zur einseitigen Stromspeisung erst nach einer bestimmten Anodenlänge eintritt.

3.1.2 Ausführung der Anodenanlage

Aus den im letzten Abschnitt dargelegten Überlegung können folgende grundlegende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Verlegung mehrerer kurzer anstatt einer langen Anode, da hierdurch eine höhere Stromausbeute erzielt werden kann
- Zweiseitige Stromspeisung zur weiteren Erhöhung der Stromausbeute und Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Anode auch für den Fall, dass auf einer Seite der Stromanschluss unterbrochen wird
- Reduzierung des maximalen Stromaustritts deutlich unter den höchsten möglichen Wert von 50 mA/m , um über eine ausreichende Sicherheitsreserve zu verfügen.

Bild 5 zeigt schematisch den gewählten Aufbau der Anodenanlage. Insgesamt wurden drei Anodflexanoden mit

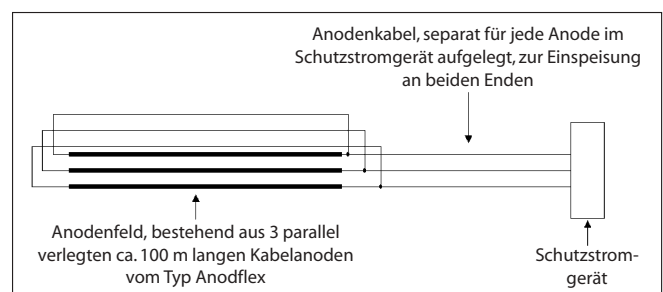


Bild 5. Schematischer Aufbau der Anodenanlage.



Bild 6. Im HDPE-Schutzrohr vorgerichtete Kabelanoden.

einer Länge von jeweils 100 m parallel in unmittelbarer Nähe zueinander verlegt. Jede Anode wurde einzeln aufgelegt, die Einspeisung erfolgt zweiseitig.

3.1.3 Ausführungsplanung

Die Umsetzung des Projektes sollte in Absprache mit dem Forstamt in einem Waldgebiet im Stuttgarter Südwesten entlang eines befestigten Waldweges erfolgen. Das oben beschriebene Anodenfeld sollte dort grabenlos eingebracht werden. Die grabenlose Einbringung der Anoden innerhalb des Waldes, zur Demonstration, dass bei dieser Verlegeart auch die Wurzelwerke der dort befindlichen Bäume ohne Beschädigung unterfahren werden können, wurde vom Forstamt nicht genehmigt.

Bei dem am vorgesehenen Einbauort in 1–2 m Tiefe gemessenen spezifischen Bodenwiderstand von rund $80 \Omega\text{m}$ und bei Begrenzung des maximalen Stromaustritts auf rund 20 mA/m ergab sich rechnerisch ein maximaler Schutzstrom von rund 6 A.

Als Schutzobjekt wurde eine ältere in Stahl gebaute Zubringerwasserleitung vom Wasserwerk Gallenklinge bis Stuttgart-Botnang (Länge ca. 4 km) ausgewählt.

Als Schutzstromgerät wurde ein Gerät mit Regelkreis vorgesehen. Dieses war so einzustellen, dass maximal ein Schutzstrom von rund 5 A eingespeist werden kann.

3.2 Bau

3.2.1 Verlegetechnik

Die insgesamt drei ca. 100 m langen Anoden wurden in ein HDPE-Schutzrohr mit einem Außendurchmesser von 180 mm und einer Länge von 96 m eingebracht (*Bild 6*). Danach wurde das HDPE-Schutzrohr zusammen mit den Anoden eingezogen (*Bild 7 oben und 7 Mitte*). Bei dem dabei verwendeten Material zur Bohrspülung wurde eine spezifische, sehr feine

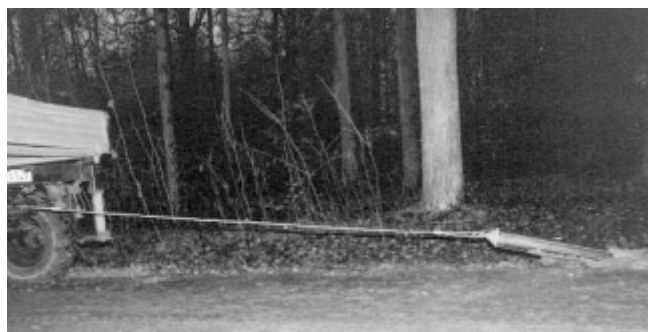


Bild 7. Grabenlose Verlegung der Kabelanoden
oben: Einziehen des HDPE-Schutzrohrs mit den Kabelanoden
Mitte: Verwendung des Graphitflinns als Bohrspülung
unten: Ziehen des HDPE-Schutzrohrs – die Kabelanoden verbleiben in der Bohrung.



Bild 8. Etwa 5–6 m langer Anodenabschnitt außerhalb des Bohrlochs.



Bild 9. Einbettung des außerhalb des Bohrlochs befindlichen Anodenabschnitts in den Graphitflinz.

und hochwertige Graphitmischung verwendet, auf die im nächsten Abschnitt näher eingegangen werden soll.

Nachdem das HDPE-Schutzrohr zusammen mit den Anoden einzogen und der Ringraum mit der Graphitmischung vollständig ausgefüllt war, wurde das HDPE-Schutzrohr wieder gezogen (*Bild 7 unten*).

Da die Anoden etwas länger als die Bohrung sind, befinden sie sich in einem kleinen etwa 5–6 m langen Abschnitt außerhalb der Bohrung (*Bild 8*). In diesem Bereich mussten die Anoden vor der Verfüllung in die Graphitmischung eingebettet werden (*Bild 9*).

Die Anodenkabel wurden in einer separaten Bohrung parallel zum Anodenbett in einem eigenen Schutzrohr verlegt.

3.2.2 Bettungsmaterial

Als Bettungsmaterial wurde ein Graphitflinz (Graphit feinsten Aufmahlung und höchster Qualität bzw. Reinheit, der zur Sicherstellung der Pumpfähigkeit des Materials mit Wasser

vermengt wurde) gewählt. Das Bettungsmaterial diente gleichzeitig auch als Bohrspülung.

Mit dieser besonderen Graphitmischung sollten sowohl die Anforderungen, die sich aus der geforderten Eignung des Materials als Bohrspülung ergeben, als auch eine bestmögliche Verträglichkeit zwischen Bettungsmaterial und Anode sichergestellt werden. Letzteres war im Übrigen der Grund, warum das bei grabenlosen Verlegungen sonst verwendete Bentonit hier nicht verwendet werden durfte. Da sich auch kleinste Bentonitreste im Graphit negativ auswirken würden, mussten die Behälter, in denen das Graphit aufbewahrt wurde, vorher mehrfach gründlich gereinigt werden.

Um die für die Bohrspülung notwendige Gleitfähigkeit des Graphits zu erhalten, musste das Material in einer auf der Baustelle befindlichen Mischanlage so lange durchmischt werden, bis es mit dem HDPE-Rohr zusammen eingebracht wurde.

Der für Graphit übliche spezifische elektrische Widerstand von rund $10^{-6} \Omega\text{m}$ und die Tatsache, dass Graphit ein Elektronenleiter ist, bewirkt, dass nach Einzug und Verfüllung der Anoden das Anodenfeld elektrisch gesehen wie ein großer metallischer Leiter wirkt. Dieser Effekt kann nur dann eintreten, wenn das Graphit aus dem Bohrloch nicht austreten kann und die Anoden in allen Richtungen ausreichend von Graphit (mindestens 3–5 cm) umgeben sind. Dadurch wird eine zusätzliche Schonung der Anode erzielt, da an der Grenzschicht Anode/Graphit im Wesentlichen ein Elektronenstrom fließt.

3.2.3 Kostenbetrachtung

Alles in allem beliefen sich die Kosten für das Projekt auf umgerechnet rund 78 T€. Diese Summe liegt deutlich über dem Betrag, der für eine KKS-Anlage herkömmlicher Bauart, die für einen Ausgangsstrom von 5 A dimensioniert wurde und z.B. aus horizontal verlegten FeSi-Anoden besteht, investiert werden müsste.

Die höheren Kosten ergaben sich im Wesentlichen durch die vergleichsweise teuren Anoden, der ebenfalls im Vergleich zu herkömmlichem Bettungsmaterial teureren Graphitmischung und durch die grabenlose Verlegetechnik im hier unbefestigten Waldweg.

Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich diese Kosten bei späteren Projekten auf Grund der gewonnenen Erfahrungen noch merklich senken lassen werden, bleibt festzuhalten, dass die Errichtung einer Anodenanlage dieses Typs immer deutlich höhere Kosten verursachen wird als die Errichtung einer konventionellen Anodenanlage.

4. Betriebserfahrung

Seit der Inbetriebnahme der Anlage Anfang 1998 läuft der Betrieb störungsfrei. Zu Beginn lag der durch-

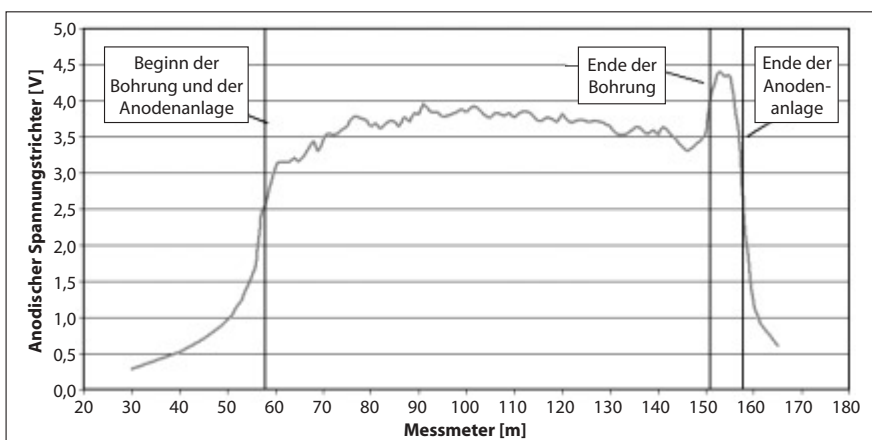


Bild 10. Spannungstrichterverlauf direkt über der Anodenanlage bei einem Strom von 5,2 A, ermittelt im Januar 2003.

schnittlich abgegebene Schutzstrom bei rund 4,6 A, wobei die treibende Spannung bei rund 7,5 V lag. Der Strom musste mittlerweile auf rund 5 A erhöht werden, bei einer treibenden Spannung von rund 8 V. Diese Zahlen verdeutlichen, dass sich der Ausbreitungswiderstand der Anodenanlage, der im Rahmen der Inbetriebnahmemessung mit rund 1Ω ermittelt wurde, in den bisherigen 5 Betriebsjahren praktisch nicht verändert hat.

Der durch die Regelung der KKS-Anlage vorgegebene Maximalstrom liegt bei 5,2 A.

Anfang diesen Jahres wurde der Spannungstrichter direkt über der Anodenanlage ermittelt. Dies geschah, um nachzuprüfen, inwieweit der Stromaustritt homogen erfolgt. Bild 10 zeigt den Spannungstrichter bei einem Maximalstrom von 5,2 A; Bild 11 zeigt den Spannungstrichter, der sich ergibt, wenn sich nur eine Anode in Betrieb befindet und der Strom entsprechend um zwei Drittel reduziert wird und damit bei rund 1,7 A liegt.

Beide Kurven zeigen den erwarteten Verlauf, mit Ausnahme des Ausreißers zwischen den Messmetern ca. 150 und 160. Genau in diesem Bereich liegen die Anoden außerhalb des Bohrloches. Es ist zu vermuten, dass sich dort das Graphit im Laufe der Zeit mit dem Mutterboden stärker vermischt hat als innerhalb der Bohrung. Somit ist hier mit einem höheren Ausbreitungswiderstand als im Bohrlochbereich zu rechnen, weshalb auch ein höherer Spannungstrichter dort zu erwarten ist. Dies bedeutet natürlich auch, dass dieser Bereich am höchsten belastet sein wird, da hier nicht mehr davon ausgegangen werden kann, dass an der Grenzschicht Anode/Bettungsmaterial weitgehend nur Elektronenstrom fließt. Auf Grund der hohen Sicherheitsreserve, die bei der Kalkulation des maximalen Stromaustritts angesetzt wurde, kann jedoch eine Überlastung der Anode auch an dieser Stelle ausgeschlossen werden. Bei zukünftigen Projekten sollte jedoch bedacht werden, dass sich die Anoden ausschließlich innerhalb der Bohrung befinden.

Bei der Messung des Spannungstrichters im Falle einer aktiven und zweier inaktiven Anoden hat sich auch gezeigt, dass unabhängig davon, welche Anode aktiv ist, der Spannungstrichterverlauf weitgehend identisch ist. Damit konnte die in Abschnitt 3.2.2 beschriebene Wirkung des Graphits messtechnisch bestätigt werden.

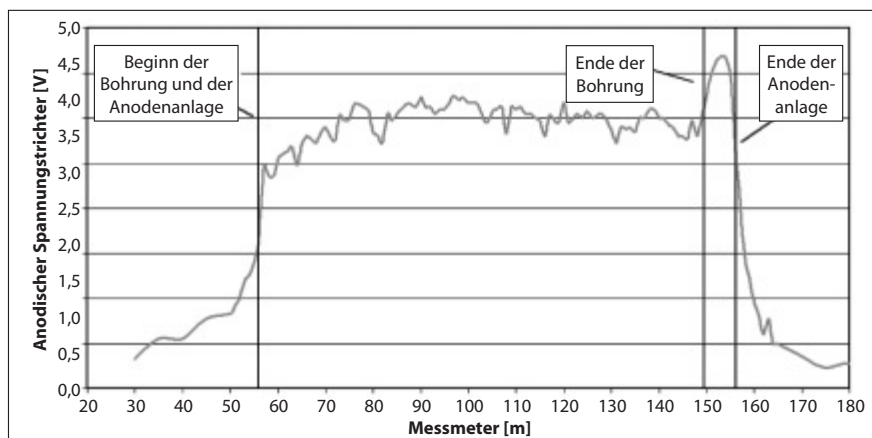


Bild 11. Spannungstrichterverlauf direkt über der Anodenanlage bei nur einer aktiven und zwei inaktiven Anoden und einem Strom von 1,7 A, ermittelt im Januar 2003.

5. Resümee

Die im Rahmen der Planung und des Baus dieser Anodenanlage sowie während des rund 5-jährigen Betriebs gewonnenen Erfahrungen machen deutlich, dass die Errichtung einer derartigen Anodenanlage technisch beherrschbar ist und der Betrieb reibungslos erfolgt.

Voraussetzung hierfür ist jedoch eine sorgfältige Planung, die die Besonderheiten dieses Anodentyps (maximaler Stromaustritt und Verhalten des Ausbreitungswiderstands in Abhängigkeit von der Anodenlänge) berücksichtigt.

Die im Rahmen dieses Projektes verwendete Graphitmischung erfüllt alle Anforderungen, die sich sowohl für ein auf diesen Anodentyp zugeschnittenes Bettungsmaterial als auch durch die auf Grund der grabenlosen Verlegung geforderte Eignung als Bohrspülung ergeben.

Durch die vergleichsweise hohen Erstellungskosten eignet sich dieser Anodenanlagentyp nicht als Ersatz für herkömmliche horizontal oder vertikal verlegte Anodenanlagen mit Einzelanoden. Er stellt jedoch dann eine interessante Variante dar, wenn ein Anodenfeld in einem schwer zugänglichen Gelände erstellt werden soll, da ein derartiges Anodenfeld grundsätzlich auch grabenlos verlegt werden kann.

Literatur

- [1] AfK-Empfehlung Nr. 2: Beeinflussung von unterirdischen metallischen Anlagen durch kathodisch geschützte Rohrleitungen, Kabel und Behälter. Hrsg. von der Arbeitsgemeinschaft DVGW/VDE für Korrosionsfragen (AfK). September 1985.

(Manuskripteingang: 14. Februar 2003)