

Berechnungen des Kathodischen Korrosionsschutzes für Kanalbrücken

Dipl.-Ing. U. Enders, Dr. rer. nat. G. Binder (BAW)

Zusammenfassung

Am Beispiel von Kanalbrücken über die Ilmenau und von Kanalbrücken des Main-Donau-Kanals werden die Möglichkeiten des Kathodischen Schutzes (KKS) in Kombination mit unterschiedlichen Zuständen der Altbeschichtungen der Brückentroginnenseiten in verschiedenen Szenarien aufgezeigt. Insgesamt betrachtet, ist der Ersatz der Galvanischen Anoden durch Fremdstromanoden zu bevorzugen, da hier der Korrosionsschutzspielraum insgesamt erweitert wird und die Überwachungs- und Steuerungsmöglichkeiten des Korrosionsschutzes verbessert werden. Dabei kann z.B. durchaus mit einer von Fehlstellen behafteten Altbeschichtung geplant werden, wobei, zur besseren Schutzstromverteilung, Stellen mit freiliegendem Stahl ausgebessert und Bauteile aus Chrom-Nickel-Stahl durch andere Materialien ersetzt werden sollen. Der KKS-Einsatz an den beschriebenen Kanalbrücken hat sich hinsichtlich des Korrosionsschutzes gut bewährt, wobei der Aufwand und die Kosten letztlich auch über all die Jahre Betrieb überschaubar gehalten werden konnte.

1 Einführung

Baustahl an der Atmosphäre und im Wasser korrodiert. Bei der Bundesanstalt für Wasserbaubau (BAW) werden Korrosionsschutzsysteme für den Stahlwasserbau empfohlen, geprüft und zugelassen. Für besondere Objekte mit korrosiver Belastung und gleichzeitiger hoher Sicherheitserfordernis, schwieriger Trockenlegung und herausragender Verkehrsrelevanz, wie z.B. bei Kanalbrücken, wird, neben der Beschichtung ein weiterer Korrosionsschutz in Form des Elektrochemischen Schutzes (Kathodischer Korrosionsschutz, KKS) empfohlen. Für einen Großteil der Kanalbrücken im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ist dieses Konzept schon seit Jahrzehnten erfolgreich umgesetzt. Die Vorteile von Kathodischen Korrosionsschutzanlagen sind vielfältig. Zunächst ist es wichtig den technischen Rahmen hinsichtlich der Auslegung der KKS-Anlage festzulegen. Hierbei wird gleich ein erster Vorteil ersichtlich: Der KKS ist berechenbar – zumindest in weiten Teilen. Dazu gibt es Empfehlungen, Merkblätter und Richtlinien, die u.a. die Standardleistungsgruppe AK 20, in enger Abstimmung mit dem Fachausschuss für Korrosionsfragen der Hafentechnischen Gesellschaft (HTG), erstellt hat. Konkret sind die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für den LB 220 (ZTV W 220), der Standardleistungskatalog (STLK 220), das Handbuch des Kathodischen Korrosionsschutzes (FA KOR der HTG) und nicht zuletzt das Merkblatt für den Kathodischen Korrosionsschutz (MKKS) aufzuzählen. Hinsichtlich der Kanalbrücken sind im Detail folgende Unterschiede im Schutzsystem erkennbar:

- Altbeschichtung in Kombination mit Galvanischen Anoden als KKS-System
- Beschichtungen neuerer Formulierung in Kombination mit Fremdstromanlage.

Für viele der zur erstgenannten Gruppe zugehörigen Kanalbrücken ist derzeit erhöhter Handlungsbedarf gegeben, da z.B. die Altbeschichtung teilweise abgängig ist und der Schutz nur mit erhöhtem Einsatz von sogenannten Opferanoden gewährleistet werden kann.

2 Planungen zur Überarbeitung des Korrosionsschutzes

Im Folgenden werden zwei Planungen, welche derzeit von zwei WSV-Dienststellen an verschiedenen Kanalbrücken verfolgt werden, beschrieben. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW, Referat Stahlbau und Korrosionsschutz) ist dabei beratend tätig.

2.1 Kanalbrücken über die Ilmenau: Ilmenau Nord und Süd – Elbe-Seiten-Kanal

An den Kanalbrücken Ilmenau Nord und Süd jeweils am Elbe-Seiten-Kanal (ESK), sind durch das WSA Uelzen Korrosionsschutzmaßnahmen vorgesehen. Dafür wurden zwei Konzepte angedacht, von denen das zweite konkret weiter verfolgt wird:

- Vollerneuerung der teerhaltigen Altbeschichtung unter Betrieb und Ersatz der Galvanischer Schutzanlage durch eine Fremdstromanlage
- Belassung der Altbeschichtung und Ersatz der Galvanischen Schutzanlage durch eine Fremdstromanlage.

Derzeit wird der Fortschritt der Korrosion durch ständigen Austausch der Mg-Opferanoden eingeschränkt. Eine wesentliche Motivation für den Erhalt der Altbeschichtung ist der Aufschub der Ent- und Beschichtung der Troginnenseite mit einem geschätzten Kostenaufwand von €6 Millionen. Bei einem Zinssatz von 3% wäre dies eine jährliche Einsparung von €180.000!

Berechnungen zur Auslegung der KKS-Anlage

In den Anlagen 3.1 und 3.2 des MKKS sind beispielhafte Berechnungen von Strom und Anodenverbrauch bzw. -einsatz entsprechend dem konkreten Bauwerk und seinem Immersionsmedium aufgelistet, nach welchem im Folgenden vorgegangen wird:

- Ermittlung der zu schützenden Fläche, bzw. die Fehlstellenrate
- Prüfung des Anodenmaterialeinsatzes auf Grund des Wasserchemismus
- Ermittlung und Festlegung des spez. Widerstandes des Immersionsmediums bzw. dessen el. Leitfähigkeit
- Sonstige lokale Voraussetzungen

Im vorliegenden Fall wurden bei einer angegebenen Troghöhe von 5,5 m (innen) wird letztlich 4,0 m als für die Schifffahrt notwendige Wassertiefe - nur soweit greift auch der KKS - angenommen. Problematisch an der Ilmenau ist speziell die richtige Einordnung der elektrischen Leitfähigkeit (el. L) der Lokalität, welche zwischen 300 und 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ schwankt. Für spätere Berechnungen der

Auslegung einer Fremdstromanlage wurden $600 \mu\text{S}/\text{cm}$, bzw. $1.667 \Omega \cdot \text{cm}$ (spez Widerstand) eingesetzt. Andererseits ist auf Grund der Leitfähigkeit auch klar ersichtlich, dass hier Magnesium als Anodenmaterial (typisch für Binnen- bzw. Süßwasser) einzusetzen ist. Dieses Material hat einen bestimmten, „praktischen“ Strominhalt (hier: $1.100 \text{ Ah}/\text{kg}$), welcher bei der Auflösung von Magnesium (Mg) im Wasser und gleichzeitiger Abgabe der Elektronen direkt in das Bauteil (Hinweis: Wegen der negativen Aufladung des Bauteils, wird der Schutz letztlich Kathodischer Korrosionsschutz genannt). Hinsichtlich der Fehlstellenrate der Altbeschichtung musste eine Schätzung vorgenommen werden, da die Altbeschichtung bei der letzten Inspektion nur an den Trogwänden einwandfrei zu inspizieren war (hier: $\sim 5 \%$ schadhafter, bzw. fehlender Anstrich; s. Bild 1). Es ist nicht genau erkennbar, inwieweit nur einzelne Lagen der Teer-Epoxid-Beschichtung (Applikation: 1975!) Blasen werfen, entschichten und abgängig sind, oder inwieweit auch blanke Stahloberflächen vorliegen. Für die weiteren Berechnungen wurde nun insgesamt 20% der 26.750 m^2 Troginnenflächen als fehlerhaft bzw. als zu schützender blanker Baustahl angesetzt. Fest steht, dass die KKS-Anlage dafür gesorgt hat, dass, trotz vieler Beschichtungsfehler, die sich mittlerweile eingestellt haben, eine Korrosion bzw. Wanddickenminderung der Kanalbrücke von der Troginnenseite aus weitgehend verhindert wurde. Dazu ist es allerdings nötig, wie vom WSA Uelzen veranlasst, im Vorfeld von Inspektionen Potentialverteilungsmessungen durchführen zu lassen und bei Trockenlegungen die abgetragenen Mg-Anoden zu ersetzen. Die bisherigen Überprüfungen der Kanalbrücke in Form von Potenzialmessungen zeigten ausreichenden Schutz an den Seitenflächen, also dort, wo sich die Mg-Anoden befinden und gewissen „Unterschutz“ in der Kanalbrückenmitte der Bodenfläche (Bild 2).



Bild 1a und 1 b: Beispiele des Korrosionsschutzzustandes der Troginnenseite
(Ilmenau Nord, 2013)

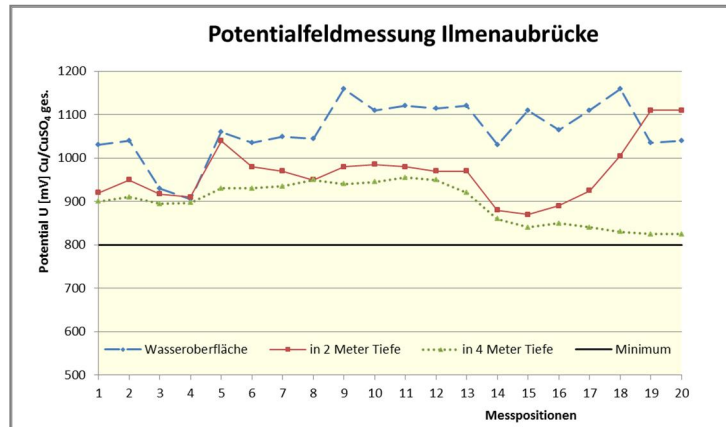


Bild 2: Darstellung der Potenzialmesswerte an den Trogseitenwänden in versch. Wassertiefen und erforderlichem Schutzkriterium (Messbericht 2013; Bezug: Cu/CuSO₄)

Berechnung a) Bemessung der galvanischen Schutzanlage nach MKKS (Anlage 3.1)

- Objekt: Kanalbrücke Ilmenau Süd (53,5 m · 42 m · 4 m = 2.675 m²)
 el.Widerstand (Wasser ESK): 1.667 Ω·cm (≈ el. L. von 600 μS/cm)
 20% Beschichtungsschäden im Troginnern

2. Zu schützende Fläche und erforderlicher Schutzstrombedarf:

	Fläche [m ²]	· Schutzstromdichte [mA/m ²]	= Schutzstrom gesamt [mA]
• nichtrostender Stahl unbeschichtet	0	200	0
• nichtrostender Stahl beschichtet	0	5	0
• unlegierter Stahl unbeschichtet	535	50	26.750
• unlegierter Stahl beschichtet	2.140	1	2.140
• Stahl in Beton (bei Kontakt zum Objekt)	0	5	0
(Werte s. Anlage 4, MKKS)			
<u>Gesamtschutzstrombedarf:</u>			<u>28.890 mA</u>

- Angaben zum Anodenmaterial: Magnesium, Dichte 1,8 g/cm³; Länge = 100 cm, d = 9 cm
 praktischer Strominhalt = 1.100 Ah/kg

nach v. Baeckmann: $R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d} = \frac{1.667 \Omega \cdot \text{cm}}{628 \text{ cm}} \cdot 3,1 = 8,2 \Omega$

Stromabgabe einer Anode: $I = \frac{U}{R} = \frac{0,65 \text{ V}^*}{8,2 \Omega} = 0,079 \text{ A} = 79 \text{ mA}$

4. Anodenmasse und -anzahl in [kg] pro Jahr (a):

$$\frac{\text{Schutzstrombedarf}}{\text{Stromenergie Magnesium}} = \frac{28,89 \text{ A} \cdot 8.760 \text{ h/Jahr}}{1.100 \text{ A} \cdot \text{h/kg}} = \underline{230 \text{ kg/a}}$$

$$\begin{aligned} \text{Anodenanzahl} &= \text{Schutzstrombedarf} / \text{Stromabgabe der Einzelanode} = 28,89 \text{ A} / 0,079 \text{ A} = \\ &= \underline{366 \text{ Mg-Anoden}} \text{ (d.h. alle 29 cm eine Anode!)} \end{aligned}$$

Bei der Beschichtungsfläche werden laut Berechnung nach MKKS 1 mA/m² Strombedarf bzw. Schutzstromdichte angenommen, während sie bei freiliegendem, ungeschütztem Stahl auf 50 mA/m² steigt. Dies erklärt den erhöhten Strombedarf, wie er in der Berechnung dargestellt ist. Diese Berechnung zeigt ferner, dass die erforderliche Anodenanzahl von 366 auf Grund der Geometrie der Kanalbrücke (z.B. Länge ca. 53,5 m) nicht umzusetzen ist (Anodenabstand: 28 cm!) bzw. wesentliche Flächenanteile nur einen begrenzten Schutz erfahren werden. Stellt man für die Ermittlung des Schutzstrombedarfs und Anodenanzahl eine vollkommen intakte Beschichtung mit einer erforderlichen Stromdichte von 1 mA/m² voraus, so wird lediglich ein Schutzstrom von 2.675 mA (2,675 A) als notwendig erachtet. Dies bedeutet also, dass lediglich etwa 1/11 der oben berechneten Anodenmasse wie auch letztlich Anodenanzahl zum Schutz nötig wäre. Der nächste Ansatz wird dementsprechend mit Fremdstromanoden geführt, bei gleichbleibenden 20 % Fehlstellen an der Beschichtung.

Berechnung b) Bemessung einer Fremdstromanlage nach MKKS (Anlage 3.2)

1. Objekt: Kanalbrücke Ilmenau Süd (53,5m · 42m · 4m = 2.675m²)
 el.Widerstand: 1.667 Ω·cm; 20% Beschichtungsschäden

2. Zu schützende Flächen und erforderlicher Schutzstrombedarf, wie oben:
Gesamtschutzstrombedarf = 28.890 mA

3. Berechnungsangaben

Spezifischer elektrischer Widerstand (Elektrolyt): $\rho = 1.667 \text{ } [\Omega \cdot \text{cm}] \approx \text{el. L.} = 600 \text{ } \mu\text{S/cm}$

Anodentyp: Metalloxidbeschichteter Titanstab (MOX)

Anodenabmessung: Länge (L) = 100 [cm], Durchmesser (d) = 1,5 [cm]

Treibspannung U [V]: Gewählte Treibspannung = 10 V

Widerstand des Stromkreises: R [Ω]

Stromabgabe je Anode: $I = \frac{U}{R}$

nach v. Baeckmann: $R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d} = \frac{1.667 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}}{628 \text{ cm}} \cdot 46,9 = \underline{13,0 \text{ } \Omega}$

Stromabgabe einer Anode: $I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{13 \Omega} = 0,77 \text{ A} = \underline{770 \text{ mA}}$

4. erforderliche Anodenanzahl:

Schutzstrombedarf / Stromabgabe der Einzelanode = 28,89 A / 0,77 A = 38 MOX-Anoden

Der Schutzstrombedarf von 28.890 mA bei einer Beschichtungsfehlergröße von 20 % der zu schützenden Trogninnenfläche wird demzufolge rechnerisch von 38 MOX-Anoden gewährleistet. Damit verringert sich die Anodenanzahl gegenüber Mg-Anoden - entsprechend der ca. 10-fach größeren Stromabgabe der MOX-Anoden - auf ein Zehntel! Die genaue Anodenanzahl wird allerdings auf der Basis der optimalen Stromverteilung festgelegt (s. unten Einspeiseversuch)!

Berücksichtigung weiterer variabler Parameter

Aus den Berechnungen wird erkennbar, dass Fehlstellen den Anodeneinsatz deutlich ansteigen lassen. Weitere Varianten wurden mit unterschiedlichen el. Leitfähigkeitsdaten und der unterschiedlichen Zustände der Beschichtung geführt. Demzufolge ergeben sich auch sehr unterschiedliche Mengen an notwendigen Anoden (hier: MOX; s. Bild 3). Eine genaue Auslegung, wie auch Auswahl des Anodensystems (Material wie geometrische Form), sollte jedoch erst nach den Einspeisemessungen (s. Abschnitt 3) erfolgen.

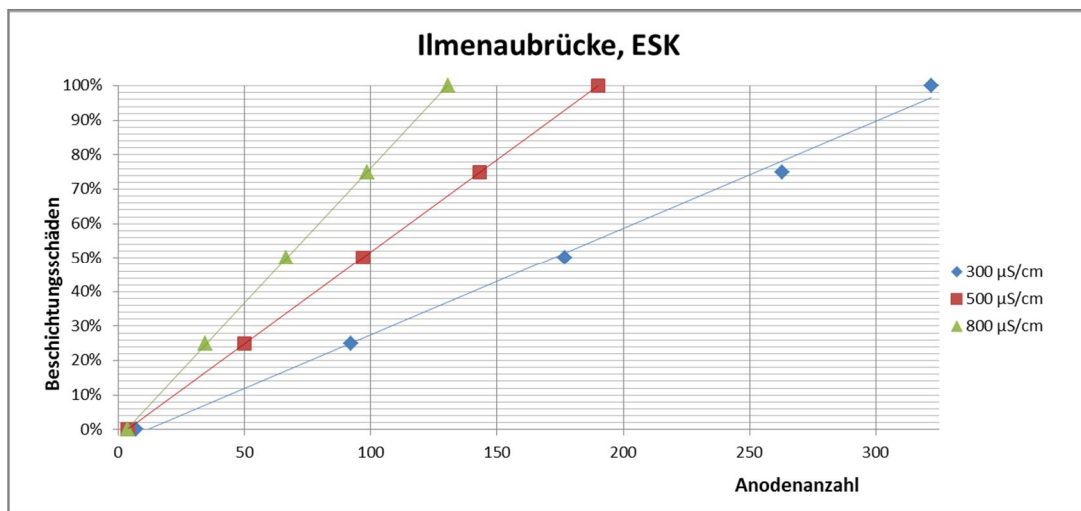


Bild 3: Erforderliche MOX-Anodenanzahl in Abhängigkeit von der el. Leitfähigkeit und dem Beschichtungszustand

2.2 Kanalbrücken am Main-Donau-Kanal: Zenn- und Rednitztalbrücke

Die Fragestellungen des Wasser- und Schifffahrtsamtes Nürnberg (WSA Nürnberg) hinsichtlich des Korrosionsschutzes der MDK-Kanalbrücken sind jenen der Ilmenaubrücken ähnlich: Inwieweit ist eine Vollerneuerung der Altbeschichtung (Teerepoxid u.a.) nötig und wie ist diese zu ergänzen.

Im Jahr 2012 wurde der Beschichtungs- und Korrosionszustand von der BAW erfasst. Die PAK-haltige Epoxidharzbeschichtung der Trogseitenflächen befindet sich in einem grundsätzlich guten Zustand (u.a. weist die Beschichtung noch eine gute Haftzugfestigkeit auf). Die stark beschädigte, PAK-haltige Gussasphaltbeschichtung auf dem Trogboden ist stellenweise abgelöst und gelegentlich zeigen sich Abrostungen in Form von. Allerdings werden sich die Enthaftungserscheinungen weiter verstärken und es stellt sich die Frage, inwieweit die installierten Magnesium-Anoden (s. Bilder 4a und 4b) in der Lage sind, die wasserbenetzte Troginnenfläche und hier insbesondere den Boden, ausreichend zu schützen? Im Diagramm des Bildes 5 ist eine typische Potenzialverteilung einer MDK-Kanalbrücke dargestellt (Achtung: hier Bezug auf Ag/AgCl!).



Bild 4a und 4 b: Beispiele des Korrosionsschutzzustandes der Troginnenseite (Rednitztalbrücke, 2012)

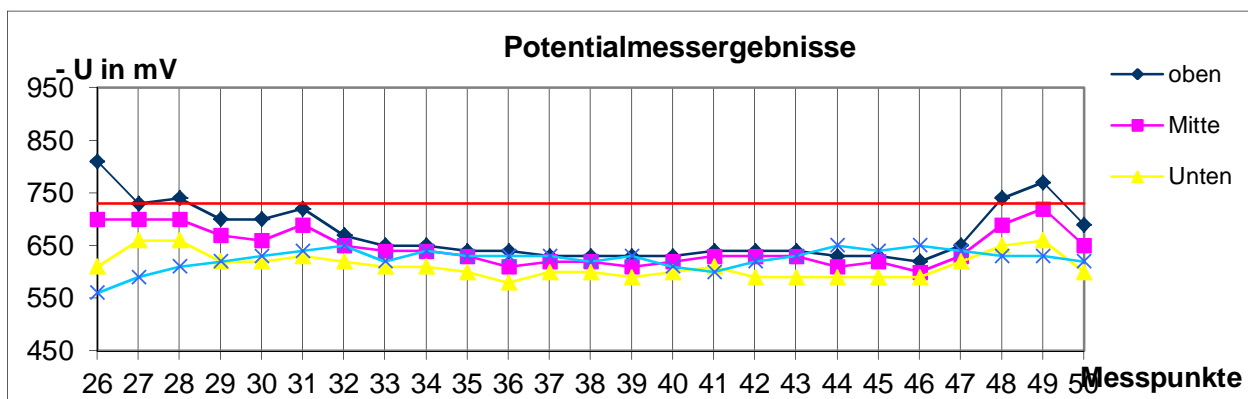


Bild 5: Potenzialverteilung an den Seitenwänden und der Trogmitte mit Schutzkriterium (Bezug: Ag/AgCl)

Um die weitere Vorgehensweise abzusichern werden verschiedenen Berechnungen aufgestellt:

- Schutzstrombedarf
- Notwendige Mg-Anodenmassen unter verschiedenen Schadensbedingungen (Berechnung a))
- Berechnung der Fremdstromanodenzahl (Berechnung b))

Berechnung a) Bemessung der galvanischen Schutzanlage nach MKKS (Anlage 3.2)

1. Objekt: Kanalbrücke Rednitztal (218 m · 36 m · 3,5 m = 9.374 m²)
 El. Widerstand: 1.818 Ω·cm ~ el. Leitfähigkeit von 550 μS/cm
 10% Beschichtungsschäden, 140 m² CrNi-Stahl (Luftsprudelanlage)

2. Zu schützende Fläche und erforderlicher Schutzstrombedarf:

	Fläche [m ²]	Schutzstromdichte [mA/m ²]	Schutzstrom gesamt [mA]
• nichtrostender Stahl unbeschichtet	140	200	28.000
• nichtrostender Stahl beschichtet	0	5	0
• unlegierter Stahl unbeschichtet	938	50	46.875
• unlegierter Stahl beschichtet	8.437	1	8.437
• Stahl in Beton (bei Kontakt zum Objekt)	0	5	0
(Werte s. Anlage 4, MKKS)			
<u>Gesamtstrombedarf</u>			= <u>83.312 mA</u>

3. Angaben zum Anodenmaterial: Magnesium, Dichte 1,8 g/cm³; L = 100 cm, d = 9 cm
 praktischer Strominhalt = 1.100 Ah/kg

Widerstand des Anoden-Immersion-Systems (R) und Stromabgabe der Einzelanode

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d} = \frac{1.818 \Omega \cdot \text{cm}}{628 \text{ cm}} \cdot 3,1 = \underline{9,0 \Omega}$$

Stromabgabe einer Anode: $I = \frac{U}{R} = \frac{0,65 \text{ V}}{9 \Omega} = \underline{0,072 \text{ A}}$

4. Erforderliche Anodenanzahl und –masse:

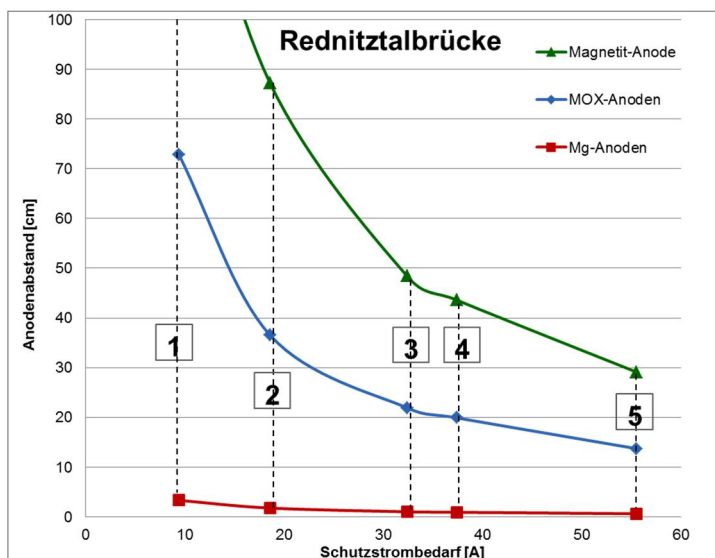
Anodenanzahl = Schutzstrombedarf / Stromabgabe einer Einzelanode = 83,3 A / 0,072 A =
 = 1.157 Mg-Anoden (d.h. alle 36 cm eine Anode!)

Erforderliche Anodenmasse in [kg] pro Jahr (a):

$$\frac{\text{Schutzstrombedarf}}{\text{Stromenergie Magnesium}} = \frac{83,312 \text{ A} \cdot 8.760 \text{ h/a}}{1.100 \text{ A} \cdot \text{h/kg}} = \underline{664 \text{ kg/a}}$$

Berechnung b) Bemessung der KKS-Anlage mit Fremdstromanoden (Parameter wie bei a))

Da die Stromabgabe einer (Streifen-)Anode mit MOX-Beschichtung und den veranschlagten Abmessungen ($L = 250 \text{ cm}$, Breite = $4 \text{ cm} \approx „d“ = 1,3 \text{ cm}$); Treibspannung max. = 12 V , Ausbreitungswiderstand = $6,9 \text{ Ohm}$) $1,74 \text{ A}$ beträgt (vergl. oben), lässt sich die jew. Anodenanzahl für das jew. Szenario mit dem dazugehörigen Schutzstrombedarf berechnen (Tab. 3). Für Magnetit-Anoden mit entsprechenden Abmessungen ($L = 100 \text{ cm}$, $d = 5 \text{ cm}$) und einer Treibspannung von 40 V ergibt sich ein Ausbreitungswiderstand von $10,7 \text{ } \Omega$, woraus sich wiederum die Stromabgabe von $3,75 \text{ A}$ für eine Anode ergibt. Davon abgeleitet ist die notwendige Anodenanzahl bei Magnetit-geringer als bei MOX-Anoden. In Bild 6 sind für die verschiedenen beschriebenen Szenarien die berechneten Anodenabstände (doppelte KBr-Länge / Anodenanzahl) auf der Rednitztalbrücke für Magnetit-, MOX- und Mg-Anoden in Abhängigkeit vom Schutzstrombedarf dargestellt. Die Frage der exakten Umsetzbarkeit lässt sich durch die Einspeisemessung (s. unten) klären.



Fallbeispiele:

- 1: 0% Schaden, 6 MOX-Anoden
- 2: 2% Schaden, 12 MOX-Anoden
- 3: 5% Schaden, 20 MOX-Anoden
- 4: 0% Schaden, 140 m^2 CrNi-Stahl, 22 MOX-Anoden
- 5: 10% Schaden, 32 MOX-Anoden

Bild 6: Berechnete Anodenabstände – Mg-Anoden im Vergleich zu MOX- und Magnetit- Fremdstromanoden bei unterschiedlichen Beschichtungszuständen

3 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Beobachtungen an Kanalbrücken (KBr) der WSV zeigen, dass KKS-Anlagen die Bauwerke noch vor Korrosion schützen, wenn die Beschichtung versagt bzw. mit der Zeit abgängig wird. In den vorliegenden Untersuchungen der KBr über die Ilmenau und den MDK waren einerseits der Zustand der Altbeschichtungen und andererseits die Schutzwirkung der Galvanischen Anoden zu überprüfen. Ferner sollten noch Festlegungen zum jeweiligen Schutzstrombedarf getroffen werden.

Die Berechnungen zur Auslegung von KKS-Anlagen zeigen, dass Mg-Anoden nur begrenzt den notwendigen Schutzstrom für die Troginflächen liefern können, wenn Beschichtungsfehler bzw.

-lücken größeren Ausmaßes vorliegen. In diesen Fällen sind generell Fremdstromanlagen mit MOX- oder mit Magnetit-Anoden einzusetzen. Fremdstromanlagen können, durch ihre höhere Treibspannung, auch gewisse Fehlstellengrößen überbrücken und hier noch den vollen bzw. erforderlichen Schutzstrom zu liefern! Es wird aber trotzdem empfohlen, die Altbeschichtung auszubessern um die Beschichtung und die Anoden nicht zu überlasten sowie letztlich eine bessere Stromverteilung zu erzielen. Eine genaue Auslegung, wie auch Auswahl des Anodensystems (Material wie geometrische Form), sollte erst nach den sog. Einspeisemessungen erfolgen. Hierbei werden mit einer temporären Anlage verschiedene Anoden-Anordnungen getestet und mit Potenzialfeldmessungen kontrolliert. Dabei wird, neben der absoluten Anodenanzahl, auch die geometrische Anordnung der Anoden festgelegt. Dabei muss besonders darauf geachtet werden, dass auch die Trogbodenmitte mit ausreichend Schutzstrom versorgt wird. Zwar kann mit den oben angeführten Berechnungsverfahren der Strombedarf und die Anodenanzahl in erster Annäherung ermittelt werden, jedoch können sog. Stromschatten bzw. lokale Minderpotenziale nicht ausgeschlossen werden. Abschließend ist noch zu betonen, dass der Kathodische Korrosionsschutz eine sinnvolle Ergänzung zur Beschichtung darstellt, u.a. zur Verlängerung der Korrosionsschutzdauer. Gleichzeitig dürfen u.a. Berechnungen nicht darüber hinwegtäuschen, dass eine KKS-Anlage eine Beschichtung komplett ersetzt.

Literatur:

- Baeckmann, von, W.: Taschenbuch für den Kathodischen Korrosionsschutz,
Vulkan Verlag Essen, 6. Auflage 1996
- HTG-Handbuch KKS: Kathodischer Korrosionsschutz im Wasserbau. Hafentechnische Gesellschaft e.V. Hamburg, 3. Ausgabe 2009
- MKKS: BAWMerkblatt Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlwasserbau, Ausgabe 2014 (im Druck)
- STLK, LB 220: Standardleistungskatalog Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (STKL, LB 220)
- ZTV-W, LB 220: Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für den Kathodischen Korrosionsschutz im Stahlwasserbau (ZTV-W, LB 220)