

[Redacted]

Ihr Zeichen

Stadt Nürnberg | Hochbauamt
Abteilung Bildung, Sachgebiet 1
Herr Hamid Sohail Dalili
Marientorgraben 11
D-90402 Nürnberg

Aktenzeichen
E-2403139

Verfasser

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

Regelplanung

Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) von Stahl in Beton

23. Mai 2024

Projekt

Instandsetzung Tiefgarage
Berufsbildungszentrum BBZ
Äußere Bayreuther Str. 8
D-90491 Nürnberg

Auftraggeber

Stadt Nürnberg | Hochbauamt
Abteilung Bildung, Sachgebiet 1
Marientorgraben 11
D-90402 Nürnberg

Dieses Dokument
umfasst 21 Seiten

Auftrag vom

[Redacted]

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	4
2	Gegenstand der Planung	6
3	Regelwerke	7
3.1	Besondere Anforderungen an die Ausführenden	7
3.2	Nachweise und Prüfzeugnisse KKS-Materialien	7
4	Auswahl der Anodensysteme	9
5	Nachweis Gleichförmigkeit des Schutzstrom	11
5.1	Anodensystem Wandsockel	11
5.2	Anodensystem Stützensockel	13
5.3	Drahtpotentiometer	13
6	Schutzzonen	14
7	Elektronische Bauteile Monitoring	15
8	Dokumentation Qualitätssicherung	18
9	Zusammenfassung	19
	Literatur	20
	Anlagen	21

1 Vorbemerkung

Mit dem Auftrag vom [REDACTED] von der **Abteilung Bildung (Sachgebiet 1) des Hochbauamtes der Stadt Nürnberg** wurde das Ingenieurbüro [REDACTED] mit der Erarbeitung einer Regelplanung für eine kathodische Korrosionsschutzmaßnahme in der **Tiefgarage des Berufsbildungszentrums BBZ** in der Äußeren Bayreuther Str. 8 in 90491 Nürnberg beauftragt. Gemäß den vorliegenden betontechnologischen Untersuchungen und den Vorgaben des Ingenieurbüros [REDACTED] ist die obere Bewehrungslage der **Stützen- und Wandsöckel** vor dem Fortschreiten korrosionsbedingter Schädigungsprozesse kathodisch zu schützen.

In dieser Regelplanung wird unter Berücksichtigung der vorliegenden Dokumente und Informationen ein den Erfordernissen gerecht werdendes Anodensystem ausgewählt und bemessen. Die Einbausituation einschließlich Auslegung und Umfang des obligatorischen Monitoringsystems werden in den anliegenden Grundrissplänen und Detailzeichnungen dargestellt. Die Einteilung der Schutzzonen und -bereiche können sowohl tabellarisch diesem Dokument als auch zeichnerisch den anliegenden Plänen entnommen werden. Darüber hinaus werden nachfolgend alle erforderlichen elektronischen Komponenten, wie bspw. Gleichrichtereinheiten, Kabelquerschnitte und Drahtpotentiometer bemessen, ausgewählt und spezifiziert.

Als Planungsgrundlage wurden der [REDACTED] folgende Unterlagen durch die [REDACTED] auf elektronischem Wege zur Verfügung gestellt:

- 23B01388_StadtNürnberg_TG-BBZ_Potentialfeldmessung.pdf
 - 23B01388_Anlage_1_Plan_1388-10-a_Wandsöckel.pdf
 - 23B01388_Anlage_1_Plan_1388-20-a_Stützensockel.pdf
 - 23B01388_Anlage_2_Chloridgehalt_P01276714-622891_extsigned.pdf
 - 23B01388_Anlage_3-1_Wandsöckel_Betondeckung.pdf
 - 23B01388_Anlage_3-2_Stützensockel_Betondeckung.pdf
 - 23B01388_Anlage_4_Bilddokumentation.pdf
- 1976_Eu-H_KG.jpg
- 2224 Grundriss Tiefgarage.dwg
- 2224 Grundriss Tiefgarage.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 01 Rippendecke + Messegebäude 09.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 02 Rippendecke + Fundamente.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 03 Rippendecke + Unterzüge.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 04 Fundamente + Stützen.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 05 Fundamente + Stützen.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 06 Wände.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 07 Wände.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 08 Fundamente.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 09 Fundamente + Wände.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 10 Fundamente + Stützen.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 11 Wände.pdf
- 2224 Pläne Tiefgarage 12 Wände + Trafostation.pdf

- 2224 Pläne Tiefgarage 13 Wände + Rippendecke + Treppenläufe.pdf

2 Gegenstand der Planung

Die eingeschossige Tiefgarage des Berufsbildungszentrums BBZ in der Äußeren Bayreuther Str. 8 in 90491 Nürnberg umfasst 123 Stellplätze. Die Erschließung der Tiefgarage an die Wieslerstraße erfolgt über eine Rampe. Die Grundfläche der Tiefgarage beträgt ca. 3550 m².

Die betontechnologischen Untersuchungen im Zuge der IST-Zustandserfassung ergaben, dass in die **Stützen- und Wandsockel** im Laufe der Nutzung erheblich Chlorid eingetragen wurde. Die Karbonatisierungsfront hat größtenteils die erste Bewehrungslage erreicht. Darüber hinaus wurde 2023 an den o.g. Bauteilen eine vollflächige Potentialfeldmessung durchgeführt. Lokale Bauteilöffnungen zur Verifikation der durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass aktive Korrosionsherde vorliegen.

Gegenstand dieser Planung sind sämtliche Stützen- und Wandsockel der Tiefgarage. Planmäßig ist die obere Bewehrungslage der o.g. Bauteile dauerhaft vor dem Fortschreiten korrosionsbedingter Schädigungsprozessen zu schützen.

Die zu schützende Gesamtfläche umfasst:

- **Stützensockel:** 87 Stk., ca. 45 m² (Schutzhöhe: 62 cm)
- **Wandsockel:** ca. 160 lfm bzw. 100 m² (Schutzhöhe: 62 cm)

Die zeichnerische Darstellung der KKS-Maßnahme ist den nachfolgend aufgeführten Ausführungsplänen zu entnehmen:

[A] E-2403139-KKS-001-SO (KKS-System Stützen- und Wandsockel)

3 Regelwerke

Für die Installation von kathodischen Korrosionsschutzanlagen im Stahlbetonbau gelten besondere Anforderungen an die mit der Planung und Ausführung beteiligten Personen. Daher müssen zusätzlich zu den für Instandsetzungsmaßnahmen im Stahlbetonbau obligatorischen Regelwerken, die jeweils aktuelle Fassung folgender Dokumente beachtet werden:

- (1) **TR-Instandhaltung** „Technische Regel – Instandhaltung von Betonbauwerken“ [3, 4],
- (2) **RL-SIB** „DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ [5-8],
- (3) **DIN EN ISO 12696** „Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton“ [1],
- (4) **DIN EN ISO 15257** „Kathodischer Korrosionsschutz – Qualifikationsgrade und Zertifizierung von für den kathodischen Korrosionsschutz geschultem Personal“ [2],
- (5) **Normenreihe DIN EN 1504** (harmonisierte Teile) „Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität“ [9],
- (6) **TR 231** „Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung von KKS-Anlagen im Stahl- und Spannbetonbau [10]

Bei Widersprüchen innerhalb der Dokumente ist die Gültigkeit in o.g. Rangfolge maßgebend. Nicht explizit aufgeführt werden Normen und Regelwerke deren Anwendung bei Berücksichtigung der o.g. Regelwerke obligatorisch ist.

3.1 Besondere Anforderungen an die Ausführenden

Aufgrund der, für den kathodischen Korrosionsschutz besonders hohen Anforderungen an die Ausführungsqualität, müssen die im Rahmen der Installation des KKS-Systems beteiligten Firmen über entsprechend ausgebildetes Fachpersonal verfügen (vgl. [3, 4]). Die Qualifikationsgrade Grad 2 (KKS-Techniker) und Grad 3 (KKS-Chef-Techniker) nach DIN EN ISO 15257 oder vergleichbare Qualifikationen, sind daher im Rahmen der Angebotsphase, seitens der Bieter nachzuweisen. Sofern ein Bieter ausschließlich über zertifiziertes Fachpersonal nach Grad 3 oder höher verfügt, muss gewährleistet sein, dass bei der **Bauausführung** durchgehend Grad 3 oder höher zertifizierte Personen vor Ort sind. Die Bauüberwachung seitens des ausführenden Unternehmens ist durch Grad 3 oder höher zertifiziertes Personal sicherzustellen. Die Leistungsfähigkeit und Fachkompetenz des Unternehmens ist bei der Angebotsabgabe durch nachweislich ausgebildetes KKS-Fachpersonal zu erbringen.

Die **Wartung und Betreuung der Anlage** nach ihrer Fertigstellung sowie die Inbetriebnahme und das Einregeln muss durch eine mindestens mit Grad 3 nach DIN EN ISO 15257 zertifizierte Person erfolgen.

3.2 Nachweise und Prüfzeugnisse KKS-Materialien

Mit bauaufsichtlicher Einführung der Technischen Regel „Instandhaltung von Betonbauwerken“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) können die bei dieser KKS-Maßnahme planmäßig einzusetzenden **Ti/MMO-Anoden** ohne weitere Nachweise eingesetzt werden, sofern diese die **Anforderungen nach NACE TM 0294** erfüllen. Zusätzlich ist eine Prüfbescheinigung „2.2“ nach DIN EN 10204 durch den Hersteller vorzulegen. Alle Titankomponenten des Anodensystems (einschließlich der Stromverteilerdrähte bzw. Primäranoden) müssen

„Grade 1“ oder „Grade 2“ gemäß ASTM B 265 entsprechen. Das Abnahmeprüfzeugnis „3.1“ gemäß DIN EN 10204 ist vom Hersteller vorzulegen. Die o.g. Nachweise und Prüfzeugnisse für die angebotenen Ti/MMO-Anoden und Stromverteilerdrähte sind bei Angebotsabgabe vom Bieter vorzulegen.

Für die Materialien der **Anodeneinbettung** und **Reprofilierung von Schadstellen und Bauteilöffnungen** von bspw. Kathodenanschlüssen, Messanschlüssen oder Referenzelektroden in kathodisch zu schützenden Bereichen ist der **Nachweis** einer **ausreichenden Leitfähigkeit** für den Einsatz im KKS über Prüfberichte und/oder Gutachten zu erbringen (bspw. Systemprüfung, Prüfung Elektrolytwiderstand, Referenzobjekte, etc.). Darüber hinaus müssen die Materialien/Produkte für die Anodeneinbettung und Reprofilierung den Anforderungen der TR-Instandhaltung, Teil 2, Tabellen C.2 und C.3 entsprechen [3, 4]. Die zu berücksichtigenden Expositionsklassen bei der Auswahl der Materialien/Produkte in Abhängigkeit der Bauteile sowie der Anodeneinbettung und Reprofilierung der Stahlbetonbauteile können dem nachfolgenden Kapitel entnommen werden. Die Dokumente einschließlich des o.g. Nachweises der KKS-Materialien für den Einsatz im KKS sind vom Bieter bei der Angebotsabgabe vorzulegen.

4 Auswahl der Anodensysteme

Der typische Strombedarf für den präventiven KKS von Stahl in Beton liegt nach DIN EN ISO 12696 zwischen 0,2 mA/m² und 2,0 mA/m² bezogen auf die zu polarisierende Stahloberfläche. Für depassivierte Systeme im Stahlbetonbau liegt der Schutzstrombedarf zwischen 2,0 mA/m² und 20 mA/m², kann jedoch je nach Exposition auch deutlich höher ausfallen. In der Tiefgarage des Berufsbildungszentrums in Nürnberg wurden erhöhte Chloridgehalte an den aufgehenden Bauteilen auf Höhe der ersten Bewehrungslage vorgefunden. Zusätzlich ist die Karbonatisierungsfront bis zur ersten Bewehrungslage vorgedrungen. Lokale Bauteilöffnungen zeigten bereits lokal stattfindende Korrosion. Aufgrund der vorgefundenen Gegebenheiten wird für die nachfolgenden Nachweise und Berechnungen eine Designschutzstromdichte j_D von **10 mA/m²** angesetzt.

Für die Ermittlung der maßgebenden Bewehrungsgehalte der betreffenden Bauteile wurden die bereitgestellten Bestandsunterlagen verwendet. Für flächig zu installierenden Anodensysteme ergibt sich der maßgebende Bewehrungsgehalt aus der Summe der zu schützenden Stahloberfläche einschließlich der sonstigen stromaufnehmenden Stahloberflächen je m² Betonoberfläche. Bei bekanntem, maßgebendem Bewehrungsgehalt A_{st} ergibt sich die erforderliche Schutzstromdichte j_{prot} im Falle von flächig zu applizierenden Anodensystemen zu:

$$j_{prot} = j_D \cdot \frac{A_{st}}{A_{con}} \quad (1)$$

Die durch die Anode maximal zur Verfügung gestellte Schutzstromdichte j_A ergibt sich bei flächig applizierbaren Ti/MMO-Gitteranoden direkt aus der Entladungsrate des gewählten Anodentyps.

In der nachfolgenden Tabelle 1 werden die erforderlichen Schutzstromdichten j_{prot} den vorhanden Schutzstromdichten j_A der gewählten Anoden bauteilabhängig gegenübergestellt. Aus der Gegenüberstellung geht hervor, dass in allen betrachteten Fällen der Nachweis $j_{prot} \leq j_A$ erbracht wird.

Tabelle 1: Maßgebende Bewehrungsgehalte und Nachweis Schutzstromdichte j_{prot}

Bauteil	A_{st}/A_{con}	j_D	j_{prot}	j_A
-	m ² /m ²	mA/m ²	mA/m ²	mA/m ²
Wandsockel	1,86	10,0	> 18,6	40,0
Stützensockel „normal“ bewehrt	< 1,97	10,0	> 19,7	40,0
Stützensockel „hoch bewehrt“	> 2,87 - 3,92	10,0	> 28,7 - 39,2	40,0

Gemäß der vorliegenden KKS-Regelplanung sind an den **Stützen- und Wandsockeln** flächig Ti/MMO-Gitteranoden mit einer Entladungsrate von min. 40 mA/m² einzusetzen. Der Schutzbereich erstreckt sich 50 cm über OK Bodenplatte bis zur OK des jeweiligen Einzelfundamentes (gemäß vorliegenden Unterlagen: ca. 12 cm unter OK Bodenplatte), so dass die Schutzhöhe für die aufgehenden Bauteilen 62 cm beträgt. Details zum Einbau der Anodensysteme können den anliegenden Plänen entnommen werden. Eine Übersicht der bei dieser KKS-Maßnahme einzusetzenden Anodensysteme kann der nachfolgenden entnommen werden.

Tabelle 2: Übersicht der Anodensysteme

Bauteil	Anodentyp	Stromverteiler	Einbettung/ Reprofilierung ^{a)}
Wandsockel XALL, XD1, XC3, XF2, WA	Ti/MMO-Gitteranode $j_A \geq 40 \text{ mA/m}^2$, $r_A \leq 0,047 \text{ } \Omega/\text{m}$ Nachweise: Anforderungen nach NACE TM 0294, Prüfbescheinigung 2.2 nach DIN EN 12040	Ti-Draht , $\varnothing = 3,0 \text{ mm}$ PDW – Power Distribution-Wire , $r_{PDW} = 0,06 \text{ } \Omega/\text{m}$ Nachweise: Grade 1 oder 2 nach ASTM B265, Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204	Betonersatzsystem einschließlich Haftbrücke $d = 25 \text{ mm}$ gemäß TR-Instandhaltung, KKS-geprüfter Einbettmörtel: Nachweise Leitfähigkeit über Prüfberichte, Gutachten, Referenzobjekte
Stützensockel XALL, XD1, XC3, XF2, WA	Ti/MMO-Gitteranode $j_A \geq 40 \text{ mA/m}^2$, $r_A \leq 0,047 \text{ } \Omega/\text{m}$ Nachweise: Anforderungen nach NACE TM 0294, Prüfbescheinigung 2.2 nach DIN EN 12040	Ti-Draht , $\varnothing = 3,0 \text{ mm}$ PDW – Power Distribution-Wire , $r_{PDW} = 0,06 \text{ } \Omega/\text{m}$ Nachweise: Grade 1 oder 2 nach ASTM B265, Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204	Betonersatzsystem einschließlich Haftbrücke $d = 25 \text{ mm}$ gemäß TR-Instandhaltung, KKS-geprüfter Einbettmörtel: Nachweise Leitfähigkeit über Prüfberichte, Gutachten, Referenzobjekte
Referenzelektroden nach DIN EN ISO 12696	-	-	Vergussmörtel KKS-geprüfter Einbettmörtel: Nachweise Leitfähigkeit über Prüfberichte, Gutachten, Referenzobjekte

a) Die Reprofilierung von Schadstellen, Kathoden- und Messanschlüssen in den Bereichen der Kathodischen Korrosionsschutzsysteme hat mit demselben Material wie die jeweilige Anodeneinbettung zu erfolgen.

5 Nachweis Gleichförmigkeit des Schutzstrom

Der Nachweis der Gleichförmigkeit des Schutzes wird üblicherweise über den Nachweis des Spannungsabfalls im Anodensystem inklusive der schutzstromführenden Zuleitungen geführt. Aus empirischen Untersuchungen bzw. der in der Praxis üblich anliegenden Spannung von 3,0 V und unter Berücksichtigung der Vorgaben der DIN EN ISO 12696 geht hervor, dass der maximale Spannungsabfall im Anodensystem einen Wert von $\Delta U_{\max} \leq 300 \text{ mV}$ nicht überschreiten soll. Die Anodenanschlüsse müssen so ausgeführt und angeordnet werden, dass auch bei einem eventuellen Ausfall eines Anodenanschlusses eine Gleichförmigkeit des Schutzstroms gewährleistet ist (Redundanz), d.h. dass an keiner Stelle innerhalb der jeweiligen Schutzzone die Anodenstromdichte um mehr als 10 % der Nennstromdichte der Anode verringert wird. Auf der sicheren Seite liegend, werden für die nachfolgenden Nachweise und Bemessungen ausschließlich maximale Systemparameter herangezogen.

Bei Verwendung eines **zentral geregelten KKS-Systems** ist eine gleichbleibende Spannung an den Einspeisepunkten über Draht- bzw. Drehpotentiometer (regelbare Vorwiderstände) sicherzustellen und der Spannungsabfall zwischen der ersten Einspeisedose der jeweiligen Schutzzone und der dazugehörigen Gleichrichtereinheit anhand von Senseleitungen zu berücksichtigen. Darüber hinaus müssen die Kabellängen und -querschnitte der Zuleitungen so dimensioniert werden, dass durch die Spannungsverluste die maximale Ausgangsspannung der gewählten Gleichrichtereinheiten nicht überschritten wird.

Werden **dezentral geregelte KKS-Systeme** eingesetzt, ist die gleichförmige Spannungs- bzw. Stromversorgung bspw. über elektronisch regelbare Einspeisepunkte sicherzustellen. Sofern mit dem verwendeten System nicht jeder Einspeisepunkt elektronisch geregelt werden kann, sind an den übrigen Einspeisepunkten ebenfalls Draht- bzw. Drehpotentiometer vorzusehen.

5.1 Anodensystem Wandsockel

Im Falle des Anodensystems für die **Wandsockel**, bestehend aus Ti/MMO-Gitteranoden mit einer Entladungsrate von 40 mA/m^2 und Ti-Stromverteilerdrähten ($\varnothing = 3,0 \text{ mm}$), beträgt der maximale Abstand der Stromeinspeisungen $e_{\max} = 10,00 \text{ m}$. Die max. Kabellänge zwischen Einspeisedose und Anodenanschluss wird mit $10,00 \text{ m}$ angesetzt. Der Abstand der Stromverteilerdrähte soll $10,00 \text{ m}$ nicht überschreiten. Der maximale Strom, der im Normalbetrieb über einen Anodenanschluss (**fp** – feeding point) eingespeist wird, beträgt folglich:

$$I_{fp,i} = 10,0 \text{ m} \cdot 0,62 \text{ m} \cdot 40,0 \text{ mA/m}^2 = 248 \text{ mA} \quad (3)$$

Im Falle eines Ausfalls (fail) einer Einspeisung erhöht sich der Strom lokal auf:

$$I_{fp,fail} = 15,0 \text{ m} \cdot 0,62 \text{ m} \cdot 40,0 \text{ mA/m}^2 = 372 \text{ mA} \quad (4)$$

Für die **Anoden- und Kathodenanschlüsse** sind planmäßig Kupferkabel mit einem Kabelquerschnitt von **1,0 x 4,0 mm²** einzusetzen (vgl. Tabelle 6). Unter Ansatz des (maximal) erforderlichen Schutzstroms bei Ausfall einer Einspeisung ergibt sich der maximale Spannungsabfall im Anodenanschlusskabel zu:

$$\Delta U_{cable} = 372 \text{ mA} \cdot \frac{10,0 \text{ m}}{4,0 \text{ mm}^2} \cdot 0,01712 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} = 16 \text{ mV} \quad (5)$$

Der Spannungsabfall im Stromverteilerdraht (Daten vgl. Tabelle 2) ergibt sich zu:

$$\Delta U_{PDW} = \frac{1}{2} \cdot 372 \text{ mA} \cdot 0,62 \text{ m} \cdot 0,06 \frac{\Omega}{\text{m}} = 7 \text{ mV} \quad (6)$$

Und für den Spannungsabfall innerhalb der Ti/MMO-Gitteranoden ergibt sich:

$$\Delta U_A = \frac{1}{2} \cdot 40,0 \frac{\text{mA}}{\text{m}^2} \cdot 0,62 \text{ m} \cdot 15,0 \text{ m} \cdot 15,0 \text{ m} \cdot 0,047 \frac{\Omega}{\text{m}} \cdot \frac{1,2 \text{ m}}{0,62 \text{ m}} = 254 \text{ mV} \quad (7)$$

Unter der ungünstigen Annahme eines Ausfalles einer Einspeisung und der Stromversorgung über lediglich einem Stromverteilerdraht beträgt der maximale Spannungsabfall im Anodensystem:

$$\Delta U_{total} = 16 \text{ mV} + 7 \text{ mV} + 254 \text{ mV} = 277 \text{ mV} < 300 \text{ mV} \quad (8)$$

Somit ist der Nachweis einer gleichförmigen Schutzstromverteilung innerhalb des Anodensystems der **Wandsockel** erbracht.

5.2 Anodensystem Stützensockel

Aufgrund der im Vergleich zu den Wandsockeln wesentlich geringeren Anoden- und Stromverteilerlängen fällt der Spannungsabfall innerhalb des Anodensystems der Stützensockel kleiner aus. Vor diesem Hintergrund wird auf eine weitere Nachweisführung verzichtet.

5.3 Drahtpotentiometer

Um bei zentral geregelten KKS-Systemen eine gleichförmige Schutzstromverteilung zu gewährleisten, ist der Stromfluss innerhalb der Schutzzonen an jedem Einspeisepunkt über Drahtpotentiometer zu regeln.

Die Drahtpotentiometer sind im Zuge der Inbetriebnahme so einzustellen, dass in allen Bereichen des Anodensystems eine maximale Spannungsdifferenz von $\Delta U < 300 \text{ mV}$ erreicht wird. Zusätzlich sind die Schutzströme an allen Einspeisepunkten im Zuge der Inbetriebnahme sowie bei den jährlichen Wartungsterminen vor Ort zu erfassen, zu dokumentieren und die Einstellung der Drahtpotentiometer ggf. gemäß o.g. Anforderung anzupassen.

Die Anforderungen an die Drahtpotentiometer ergeben sich iterativ aus dem Strom I_{fp} , der durch das Potentiometer fließt und dem maximal erforderlichen Spannungsabfall ΔU_{\max} am Einspeisepunkt. Die maximale Belastbarkeit des Potentiometers P_{\max} , errechnet sich aus dem notwendigen Nennwiderstand R_{pot} und dem zu betrachtenden Teilstrom I_{fp} .

Die Bemessung der Potentiometer für die zu schützenden Bauteile wurde für die folgenden Randparameter durchgeführt: $\Delta U_{\max} = 3,0 \text{ V}$; $I_{fp} = 248 \text{ mA}$ (Wandsockel) und 68 mA (Stützensockel). Die aus den Bemessungsdiagrammen ermittelten, erforderlichen bzw. gewählten Nennwiderstände und Nennleistungen der zu installierenden Drahtpotentiometer können bauteilabhängig der nachfolgenden Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Bauteilabhängige Zusammenstellung der Drahtpotentiometer

Bauteil	I_{fp}	R_{pot}	P_{pot}	n_{pot}
-	mA	Ω	W	St
Wandsockel	248	50	4	32
Stützensockel	68	250	4	87

6 Schutzzonen

In der Tiefgarage des Berufsbildungszentrums BBZ in Nürnberg sollen die Stützen- und Wandsockel kathodisch vor dem Fortschreiten schädigender Korrosionsprozesse geschützt werden. Unter Berücksichtigung des maximalen Ausgangsstroms handelsüblicher Gleichrichtereinheiten (im Falle von zentral geregelten KKS-Systemen) sowie geometrischer bzw. bauteilabhängiger Anforderungen der Tiefgaragen sind insgesamt **3 Schutzzonen** erforderlich. Die Einteilung der Schutzzonen kann der Tabelle 4 und den anliegenden Plänen zur KKS-Maßnahme entnommen werden. Die Kabel sind entlang der Deckenunterseite der Tiefgarage zu führen. Der Standort des KKS-Schaltsschranks ist im Zuge der Ausführung mit der Bauherrenschaft und der örtlichen Bauleitung abzustimmen. In dem Schaltsschrank ist die für KKS-Anlagen obligatorische Kontroll- und Überwachungseinheit vorzusehen.

Für alle angebotenen KKS-Systeme sind die Mindestanforderungen, die sich aus der DIN EN ISO 12696 und/oder aus der vorliegenden Planung ergeben, einzuhalten und über Datenblätter und ggf. Vergleichsrechnungen nachzuweisen. Etwaige Änderungen an dieser Planung, die sich aus der Verwendung eines anderen Kontroll- und/oder Überwachungssystems ergeben, sind in der Angebotsphase darzustellen und so zu beschreiben, dass daraus die in dieser Planung spezifizierten Mindestanforderungen durch das angebotene System erbracht werden (ggf. mit Nachweisführung).

Tabelle 4: Übersicht Schutzzonen inkl. Schutzstrombedarf

SZ	Bauteil	Anodentyp	Asz	Isz
Nr.	-	-	m²	A
SZ01	Stützensockel „normal“ bewehrt	Ti/MMO-Gitteranoden	25	1,0
SZ02	Stützensockel „hoch“ bewehrt	Ti/MMO-Gitteranoden	20	0,8
SZ03	Wandsockel	Ti/MMO-Gitteranoden	100	4,0

7 Elektronische Bauteile | Monitoring

Neben der Installation des Anodensystems und der erforderlichen elektronischen Komponenten (bspw. stromführende Kabel, Verteilerdosen, etc.) ist es notwendig ein voll funktionsfähiges Monitoringsystem einzubauen. In seiner einfachsten und gängigsten Form besteht ein derartiges Monitoringsystem aus Referenzelektroden mit Hilfe derer die Stahl/Beton-Potentiale an den kritischen Stellen, d.h. den Stellen mit der höchsten Korrosionswahrscheinlichkeit, überwacht werden können. Zum Auffinden der kritischen Stellen mit der höchsten Korrosionswahrscheinlichkeit ist eine Potentialfeldmessung nach Merkblatt B3 der DGZfP [11] durchzuführen.

Die Positionierung der Referenzelektroden in den anliegenden Plänen basiert auf den Ergebnissen der Potentialfeldmessung der Fa. LGA Bautechnik GmbH aus dem Jahr 2023. Die genaue Lage der einzelnen Referenzelektroden ist an den angegebenen Stellen im Zuge der Ausführung mit einer Handsonde (händische Stahl/Beton-Potentialmessung) zu ermitteln bzw. einzumessen.

Für die Tiefgarage des Berufsbildungszentrums BBZ sind insgesamt **13 Referenzelektroden**, verteilt auf **3 Schutzzonen**, vorgesehen. Die Datenerfassung und -weiterleitung soll so erfolgen, dass die analogen Signale aus der jeweiligen Referenzelektrode möglichst nahe an ihrem Entstehungsort über jeweils einen A/D-Wandler aufgenommen und als digitales Signal an das Datenerfassungssystem übermittelt werden. Die Anzahl der Referenzelektroden und der Anoden- und Kathodenanschlüsse ist in Abhängigkeit der Schutzzonen in Tabelle 5 wiedergegeben.

Es müssen Referenzelektroden nach den Anforderungen der DIN EN ISO 12696 eingebaut werden. Als Ankopplungsmörtel für den elektrolytischen Kontakt zwischen Referenzelektrode und Beton muss ein KKS-geprüfter Vergussmörtel verwendet werden.

Je Referenzelektrode ist ein stromloser Messanschluss in der Nähe der Referenzelektrode (möglichst am selben Bewehrungsstab), jedoch nicht näher als 50 cm von der Referenzelektrode entfernt einzubauen. Der Einbau muss so erfolgen, dass die chemische Umgebung des Bewehrungsstahls an der zu messenden Stelle nicht gestört oder verändert wird. Während des Einbaus der Referenzelektrode ist ein eindeutiger Positionierungsplan für die Referenzelektroden zu erstellen, anhand dessen dritte, ohne besondere Anlagenkenntnisse in der Lage sind, den Einbauort der Referenzelektrode zu erkennen.

Tabelle 5: Übersicht Anoden- und Kathodenanschlüsse | Referenzelektroden

SZ	Bauteil	Asz	Anodenanschlüsse	Kathodenanschlüsse	Referenzelektroden
Nr.	.	m ²	St	St	St
SZ01	Stützensockel „normal“ bewehrt	25	64	5	5
SZ02	Stützensockel „hoch“ bewehrt	20	23	4	4
SZ03	Wandsockel	100	32	4	4

Für sämtliche Kabel des KKS-Systems, die in Beton eingebaut werden, soll die Isolierung aus vernetztem Polyethylen und die Ummantelung aus PVC (XLPE/PVC) sein. Darüber hinaus sind die Mindestanforderungen der DIN EN ISO 12696 einzuhalten. Die zu verwendenden Kabelquerschnitte und -spezifikationen sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Die Regelplanung geht von einem zentralen Monitoring- und Steuersystem aus. **Unabhängig vom KKS-System sind die Mindestanforderungen an das Kontroll- und Überwachungssystem, die aus der vorliegenden Planung und der DIN EN ISO 12696 hervorgehen, in der Angebotsphase vom Bieter nachzuweisen (bspw. über Datenblätter, Systemspezifikationen und ggf. Referenzprojekte).**

Die Überwachungseinheiten sowie ggf. die Gleichrichtereinheiten und Transformatoren sind in einem pulverbeschichteten Stahlschrank unterzubringen. Als Schutzart ist mindestens **IP 54** vorzusehen. Bauseitig wird die Netzanbindung (230 V) zur Verfügung gestellt. Es muss vor Ort ohne Einsatz von Messgeräten ersichtlich sein, ob die Anlage in Betrieb ist und die Versorgung der Schutzzonen (bzw. Einspeisepunkten bei dezentraler Regelung) mit Schutzstrom erfolgt. Kabel für die Schutzstromversorgung sowie Messleitungen sind grundsätzlich in Kabelkanälen oder Elektroinstallationsrohren zu verlegen. Kabelverbindungen sind grundsätzlich nur in Abzweigdosen zulässig. Die Leitungen sind mit Aderhülsen in die Klemmleisten einzuführen. An den Enden sind die sie eindeutig zu kennzeichnen. Die Leitungen sind vor umweltbedingten, sowie von Menschen verursachten Schädigungen zu schützen. Sämtliche Abzweigdosen müssen mindestens mit der Schutzart **IP 54** ausgeführt werden. Für den Betrieb der Anlage ist eine Datenfernabfrage sowie die Möglichkeit zur Fernsteuerung vorzusehen.

Tabelle 6: Spezifikation | Mindestanforderungen der Kabel für das KKS-System

Kabel	Anzahl/ Querschnitt	Weitere Spezifikationen (Mindestanforderungen)
Alle Systeme		
Anodenanschlusskabel	1 x 4,0 mm ²	<ul style="list-style-type: none"> • Kupferleitung für Anodenanschluss • mindestens sieben Litzen/Ader • farbcodiert (rot) • Isolierung/Ummantelung: XLPE/PVC
Kathodenanschlusskabel	1 x 4,0 mm ²	<ul style="list-style-type: none"> • Kupferleitung für Bewehrungsanschluss (Kathodenkreis) • mindestens sieben Litzen/Ader • farbcodiert (schwarz) • Isolierung/Ummantelung: XLPE/PVC
Referenzelektrodenkabel	1 x 2,5 mm ²	<ul style="list-style-type: none"> • einadrige Kupferleitung für Referenzelektrode • mindestens sieben Litzen/Ader • farbcodiert (blau) • Isolierung/Ummantelung: XLPE/PVC
Messanschlusskabel	1 x 2,5 mm ²	<ul style="list-style-type: none"> • einadrige Kupferleitung für Messanschluss • mindestens sieben Litzen/Ader • farbcodiert (blau) • Isolierung/Ummantelung: XLPE/PVC

Fortsetzung Tabelle 6: Spezifikation | Mindestanforderungen der Kabel für das KKS-System

Zentral geregelte Systeme		
Steuerleitungen	5 x 4,0 mm ²	<ul style="list-style-type: none"> • Schutzstromführende Kupferleitung • mindestens sieben Litzen/Ader • 2 x 4,0 mm² für Zuleitung (Anode) • 2 x 4,0 mm² für Rückleitung (Kathode) • 1 x 4,0 mm² Schutzleiter (ohne Belegung)
Sense-Leitung	2 x 1,0 mm ²	<ul style="list-style-type: none"> • Kupferleitung zur Berücksichtigung des Spannungsabfalls vom jeweiligen Gleichrichter bis zur ersten Einspeisedose • mindestens sieben Litzen/Ader
Signal-Leitung	Gemäß Herstellerangaben (systemabhängig)	<ul style="list-style-type: none"> • für Feuchtrauminstallation geeignet • Produktdatenblätter, aus denen die Spezifikationen hervorgehen sind bei der Angebotsabgabe einzureichen
Dezentral geregelte Systeme		
Mulifunktionskabel <i>Steuer- und Signalleitung</i>		<ul style="list-style-type: none"> • für Feuchtrauminstallation geeignet • Produktdatenblätter, aus denen die Spezifikationen hervorgehen sind bei der Angebotsabgabe einzureichen

8 Dokumentation | Qualitätssicherung

Die Anlage ist entsprechend der Vorgaben der DIN EN ISO 12696 zu dokumentieren. **Die Dokumentation muss mindestens folgendes enthalten:**

- Diese Regelplanung
- Detaillierte Beschreibung der Installation
- Bestandspläne
- Eine Liste der Hauptkomponenten des KKS-Systems samt Datenblättern, Angaben zum Bezug und Preisen von Komponenten, die durch die vertragliche Gewährleistung abgedeckt sind, sowie solche, die durch die vertraglichen Gewährleistungen nicht abgedeckt sind.
- Messergebnisse der Anlage vor der Inbetriebnahme und für den anfänglichen Betrieb (Dauer ca. 1 Woche)
- Eine Kopie der Systemaufzeichnungen
- Bedienungs- und Wartungshandbuch

Weiterhin ist für die Anlage und die Bauausführung ein Qualitätssicherungsplan anzufertigen und vor Beginn der Ausführung der Bauherrenschaft vorzulegen. Ein geeigneter Standard ist die ISO 9001. Während der Bauausführung sind alle notwendigen Messungen, in Übereinstimmung mit der DIN EN ISO 12696, zur Sicherstellung der erforderlichen und projektierten Leistungsfähigkeit der Anlage durchzuführen und bei der Kalkulation zu berücksichtigen. Die Messprotokolle beinhalten beispielsweise, jedoch nicht ausschließlich:

- Kalibrierzertifikate der eingebauten bzw. für den Einbau vorgesehenen Referenzelektroden
- Datenblätter der verwendeten Produkte
- Aufzeichnungen und Protokolle über Kurzschlussmessungen und ggf. über die Behebung von Kurzschlüssen beim Anodeneinbau
- alle Änderungen und Ergänzungen gegenüber der Regelplanung
- Positionierungspläne der Referenzelektroden
- Protokolle über Einspeisemessungen

Für den reibungslosen Bauablauf ist das Vorhalten der relevanten Aufzeichnungen sowie der Ausführungsdokumentation unabdingbar.

9 Zusammenfassung

Mit dem Auftrag vom [REDACTED] von der **Abteilung Bildung (Sachgebiet 1) des Hochbauamtes der Stadt Nürnberg** wurde das Ingenieurbüro [REDACTED] mit der Erarbeitung einer Regelplanung für eine kathodische Korrosionsschutzmaßnahme in der **Tiefgarage des Berufsbildungszentrums BBZ** in der Äußeren Bayreuther Str. 8 in 90491 Nürnberg beauftragt. Gemäß den vorliegenden betontechnologischen Untersuchungen und den Vorgaben des Ingenieurbüros [REDACTED] ist die obere Bewehrungslage der **Stützen- und Wandsockel** vor dem Fortschreiten korrosionsbedingter Schädigungsprozesse kathodisch zu schützen.

Das vorliegende Dokument stellt die schriftliche Ausarbeitung der Planungsergebnisse für die o.g. Maßnahme dar. Die Regelplanung enthält neben Hinweisen zu den zu beachtenden Regelwerken, vor allem die Schutzzoneneinteilung sowie die Bemessung der ausgewählten Anodensysteme. Weiterhin werden wichtige Komponenten der Anlage, wie bspw. Schaltschrank, Gleichrichtereinheiten, Kabelquerschnitte und zu verwendende Materialien/Bauprodukte spezifiziert bzw. deren Mindestanforderungen definiert. Die vorliegende Regelplanung sowie die anliegenden Pläne bilden die Grundlage für den Fachteil „Kathodischer Korrosionsschutz“ des Leistungsverzeichnisses. Die Kenntnis der hier erläuterten Planungsergebnisse ist für die Angebotserstellung und spätere Ausführung obligatorisch.

Teltow, den 23. Mai 2024

[REDACTED]

[REDACTED]

Literatur

- [1] DIN EN ISO 12696:2022 Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton (ISO 12696:2022); Deutsche Fassung EN ISO 12696:2022, 2022.
- [2] DIN EN ISO 15257:2017 Kathodischer Korrosionsschutz - Qualifikationsgrade von mit kathodischem Korrosionsschutz befassten Personen - Grundlage für ein Zertifizierungsverfahren (ISO 15257:2017), Deutsche Fassung EN ISO 15257:2017, 2017.
- [3] "Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken (TR-Instandhaltung), Teil 1 - Anwendungsbereich und Planung der Instandhaltung," Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt, 2020.
- [4] "Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken (TR-Instandhaltung), Teil 2 - Merkmale von Produkten oder Systemen für die Instandsetzung und Regelungen für deren Verwendung," Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt, 2020.
- [5] DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen - (Instandsetzungs-Richtlinie) Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze, 2001.
- [6] DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen - (Instandsetzungs-Richtlinie) Teil 2: Bauprodukte und Anwendung, 2001.
- [7] DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen - (Instandsetzungs-Richtlinie) Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung, 2001.
- [8] DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen - (Instandsetzungs-Richtlinie) Teil 4: Prüfverfahren, 2001.
- [9] DIN EN 1504 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken, Teile 1-10, 2005-2006.
- [10] Technische Regel TR 231 „Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung von KKS-Anlagen im Stahl- und Spannbetonbau“, fkks Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., 2023
- [11] Burkert et al., "Merkblatt B 03 "Merkblatt für Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion"," DGZfP-Fachausschuss für Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen Unterausschuss Korrosionsnachweis bei Stahlbeton, 2014.

Anlagen

[A] E-2403139-KKS-001-SO (KKS-System Stützen- und Wandssockel)