

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 56/2007
(22) Anmeldetag: 11.01.2007
(45) Veröffentlicht am: 15.10.2009

(51) Int. Cl.⁸: **C23F 13/04** (2006.01)
C23F 13/08 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP 2006337169A
JP 2006046994A

(73) Patentinhaber:
SCHWARZ WOLFGANG DR.
A-1080 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
SCHWARZ WOLFGANG DR.
WIEN (AT)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG FÜR DIE ÜBERWACHUNG UND STEUERUNG VON KATHODISCHEN KORROSIONSSCHUTZANLAGEN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Online Überwachung und Steuerung von kathodischen Korrosionsschutz (KKS) Anlagen dadurch gekennzeichnet, dass vor Inbetriebnahme der KKS Anlage mittels mindestens einem Makrozellensensor die lokalen Korrosionsströme gemessen werden und nach Inbetriebnahme der KKS Anlage die lokalen Ströme zu den Makrozellensensorelementen gemessen werden. Die Änderung der lokalen Makrozellenströme dient erfindungsgemäß zur Beurteilung der Wirksamkeit des KKS. Die Makrozellensensoren bestehen aus demselben Metall oder einem elektronegativeren Metall als das mittels KKS vor Korrosion zu schützende Metall. Erfindungsgemäß können Makrozellensensoren aus vorkorrodierten Makrozellensensoren, eingebettet in einen Festelektrolyten, vorzugsweise in chloridhaltigen Mörtel, bestehen. Die Erfindung ist weiters dadurch gekennzeichnet, dass der kathodische Schutzstrom oder die Schutzspannung Online wahlweise derart geregelt wird, dass zu den lokalen Makrozellensensoren nur noch kathodische Ströme fließen, wobei die Stromstärke zu/von den lokalen Sensoren als Stellgröße für die Regelung der elektrischen Spannung oder Stromstärke der KKS Anlage dient.

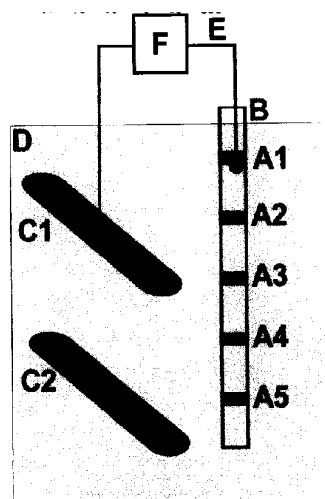


Abbildung 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Online Überwachung und Steuerung von kathodischen Korrosionsschutz (KKS) Anlagen, dadurch gekennzeichnet, dass vor Inbetriebnahme der KKS Anlage mittels mindestens einem Makrozellensensor die lokalen Korrosionsströme gemessen werden und nach Inbetriebnahme der KKS Anlage die lokalen Ströme zu den Makrozellensensorelementen gemessen werden. Die Änderung der lokalen Makrozellenströme dient erfindungsgemäss zur Beurteilung der Wirksamkeit des KKS. Die Erfindung ist weiters dadurch gekennzeichnet, dass der kathodische Schutzstrom oder die Schutzspannung Online wahlweise derart geregelt wird, dass zu den lokalen Makrozellensensoren nur noch kathodische Ströme fliessen, wobei die Stromstärke zu/von den lokalen Sensoren als Stellgrösse für die Regelung der elektrischen Spannung oder Stromstärke der KKS Anlage dient.

[0002] Der kathodische Korrosionsschutz (KKS) von Stahl ist eine seit ca. 150 Jahren erfolgreich eingesetzte Technologie für einen verlässlichen Korrosionsschutz z. B. von Tankanlagen, Pipelines, Schiffskörpern, etc. Seit ca. 20 Jahren wird KKS erfolgreich für den Korrosionsschutz von Stahl in Beton eingesetzt.^{1,2} Für beide Anwendungsbereiche gelten eine Reihe von nationalen Richtlinien und technische Normen.

[0003] Um Stahl kathodisch vor Korrosion zu schützen, wird dem Stahl von einer externen Stromquelle Strom zugeleitet derart, dass der zu schützende Stahl an den negativen Pol und eine geeignete Anode an den positiven Pol der Stromquelle angeschlossen wird. Zwischen dem zu schützenden Stahl und der Anode bildet sich über den dazwischen liegenden Elektrolyten, z.B. Meerwasser, Erdreich, Beton, ein elektrisches Feld. Bei ausreichender Stromstärke wird im Bereich dieses elektrischen Feldes der Stahl vor Korrosion geschützt

[0004] Um die Wirksamkeit des KKS zu überprüfen, hat sich international ein rein empirisches Kriterium etabliert, das sogenannte 24 Stunden - 100 mV Depolarisationskriterium³: Nach mindestens dreimonatigem Betrieb der KKS-Anlage wird der Schutzstrom zum Stahl unterbrochen und das Absinken des elektrochemischen Potentials des Stahls gegenüber einer Referenzelektrode, üblicherweise Silber/Silberchlorid- oder Mangan/Mangandioxid-Elektroden, gemessen. Verschiebt sich das elektrochemische Potential um mindestens 100 mV in positive Richtung, dann wird angenommen, dass der Stahl ausreichend vor Korrosion geschützt ist. Diese Potentialverschiebung wird als „Potentialabfall“ bezeichnet. Je höher der Stromfluss von der externen Stromquelle zum zu schützenden Stahl, umso mehr verschiebt sich das elektrochemische Stahlpotential in negativer Richtung und umso höher ist nach dem Ausschalten des Schutzstromes der „Potentialabfall“ nach 24 Stunden.

[0005] Die 24 Stunden Depolarisationsmessung ist mit hohem apparativem und zeitlichem Aufwand verbunden: Für die Bestimmung der Stahlpotentiale werden üblicherweise standardisierte Referenzelektroden verwendet. Für die Bestimmung der Stahlpotentiale werden Standardreferenzelektroden nahe der zu prüfenden Stahlbewehrung in den Beton eingebettet. Nach dem Ausschalten des Schutzstromes wird der Potentialabfall in Bezug auf das sogenannte „Instant Off Potential“ kurz nach der Stromunterbrechung bestimmt. Das „Instant Off Potential“ wird bestimmt, in dem über ca. 20 Sekunden die Stahlpotentiale im Abstand von 0,1 bis 0,2 Sekunden gemessen und aufgezeichnet werden. Nach einem raschen anfänglichen Potentialabfall infolge des Ohmschen Anteiles verläuft der weitere Potentialabfall relativ langsam. Je nach Beschaffenheit des Stahlbetonbauteiles erfolgt dieser Übergang vom raschen ohmschen zum langsamen kapazitiven Potentialabfall ca. 0,5 bis 3 Sekunden nach der Stromunterbrechung. Im Anschluss daran werden dann die Stahlpotentiale im Abstand von 10 bis 30 Minuten aufgezeichnet.

[0006] Üblicherweise werden an einem Bauwerk mehrere Schutzzonen eingerichtet, wobei aus technischen Gründen sich eine Schutzzone nicht über mehr als 100 m² Betonoberfläche erstrecken soll. In größeren Bauwerken ergeben sich somit 20 bis 30 Schutzzonen. Das 24 Stunden Depolarisationskriterium muss für jede Schutzzone bestimmt werden, in jeder Schutzzone wer-

den üblicherweise mindestens zwei Referenzelektroden installiert. Dies bedeutet, dass in einem Bauwerk bis zu 60 Messwerte in kurzer Zeit abgerufen und ausgewertet werden müssen. Die Anforderungen an die Hardware (schnelle Datenaufzeichnung - 10 Hz - für bis zu 80 Messwerte bei hoher Eingangsimpedanz - mind. 20 MΩ) sind dementsprechend hoch. Die Bestimmung des 24 Stunden Potentialabfalls erfolgt indem die grafisch dargestellten Potentialverlaufsplots manuell ausgewertet werden. Für den Fall, dass die 24 Stunden Depolarisationswerte geringer sind als 100 mV oder höher als 200 mV liegen, muss der Schutzstrom manuell nachjustiert werden und die Depolarisationsmessung wiederholt werden.

[0007] Die Überprüfung der Wirksamkeit des KKS gemäß dem Stand der Technik, insbesondere des KKS von Stahlbetonbauteilen, ist daher sowohl apparativ als auch vom Zeitaufwand her aufwendig und kostspielig. Zudem ist das 100 mV Depolarisationskriterium rein empirisch und hat keinerlei wissenschaftliche Grundlage.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war daher ein Verfahren und eine Vorrichtung, die eine On-Line Überprüfung der Wirksamkeit des KKS erlaubt und zudem eine On-Line und automatische Regelung des Schutzstromes von KKS Anlagen mit Fremdstrom ermöglicht.

[0009] Die gestellte Aufgabe wurde mit Hilfe von Makrozellensensoren gelöst. Makrozellensensoren werden für die Bestimmung von Korrosionsströmen in Stahlbetonbauteilen eingesetzt. Eine solcher im Handel erhältlicher Korrosionsstromsensor, bestehend aus bis zu fünf Makrozellensensoren, ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Der Sensorsatz besteht aus fünf Bewehrungsstahlstäben (A1 - A5) mit einem Durchmesser von 5 mm, die mittels Epoxidharz im Abstand von ca. 2 cm in ein 18 mm weites Trägerrohr (B) aus rostfreiem Stahl eingebettet sind. Das Epoxidharz dient zur Fixierung in den kreisförmigen Öffnungen des Trägerrohrs und zur elektrischen Isolierung der Stahlstäbe vom Trägerrohr (B). Das Trägerrohr (B) mit dem Sensorsatz wird in ein 2 cm weites, 12 cm tiefes mit Anker Mörtel gefülltes Bohrloch im mit Stahl (C1, C2) bewehrten Betonbauteil (D) eingesetzt. Im Betonbauteil muss sichergestellt sein, dass die einzelnen Bewehrungsstahlstäbe (C1, C2) elektrisch miteinander verbunden sind. Dies ist vor allem darum von Bedeutung, da die Stahlbewehrung im Betonbauteil als elektrische Masse verwendet wird. Durch Kurzschließen eines Makrozellensensorstabes, z.B. A1, mit der Stahlbewehrung über eine elektrische Verbindung (E) wird ein Makroelement geschaffen. Befindet sich nun der Makrozellensensorstab in einer Umgebung, die die Korrosion des Stahls begünstigt, so wird ein elektrischer Strom von A1 zur Stahlbewehrung im Betonbauteil fließen. Dieser Strom wird als Korrosionsstrom oder anodischer Makrozellenstrom bezeichnet. Befindet sich jedoch der Makrozellensensorstab im Vergleich zur Stahlbewehrung in einer passivierenden Umgebung, so wird ein schwacher kathodischer Strom von der Stahlbewehrung zum Makrozellensensorstab fließen. Diese Kurzschlussströme werden als Makrozellenströme bezeichnet. Die Größenordnung der kathodischen Makrozellenströme liegt im Bereich von wenigen $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, die anodischen Makrozellenströme können 200 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ erreichen. Die Strommessung erfolgt vorzugsweise widerstandsfrei über ein geeignetes elektronisches Modul (E). Mittels der Makrozellensensoren kann die Korrosionsgeschwindigkeit von Bewehrungsstahl in einem definierten Milieu, z.B. mit Chlorid kontaminiertem Beton, abgeschätzt werden: Ein anodischer Strom von 100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ entspricht einem Stahlabtrag von 1, 1 mm/Jahr.

[0010] Es zeigte sich nun überraschenderweise, dass solche Makrozellensensoren sich nicht nur zur Abschätzung der Korrosionsgeschwindigkeit von Stahl in Beton sondern sich auch zur Überprüfung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahl, insbesondere von Stahl in Beton, eignen. Es wurde beobachtet, dass sich beim Einschalten des kathodischen Schutzstromes die anodischen Makrozellenströme signifikant verringerten und sich teilweise in kathodische Ströme umwandelten. Eine Erhöhung des kathodischen Schutzstromes verstärkte diesen Effekt, d. h. mit zunehmendem Schutzstrom verringerten sich die anodischen Ströme und bei ausreichend hohem kathodischem Schutzstrom wurden die anodischen Makrozellenströme vollständig eliminiert und es konnten nur noch kathodische Makrozellenströme gemessen werden.

[0011] Ziel des kathodischen Korrosionsschutzes ist die vollständige Eliminierung von lokalen

anodischen Korrosionsströmen. Dies konnte mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bestehend aus Makrozellensensoren wie in Abbildung 1 dargestellt, über ein widerstandsfreies Strommessmodul mit dem Bewehrungsnetz des Betonbauteiles kurzgeschlossen, erreicht und nachgewiesen werden. Voraussetzung für die Wirksamkeit dieses Verfahrens ist jedoch, dass die Makrozellensensoren in dem eingesetzten Medium korrodieren. Die Korrosion von Bewehrungsstahl in Beton wird vor allem durch in der Porenlösung des Betons gelöste Chloride verursacht wobei, wie dem Fachmann bekannt ist, die Korrosionsgeschwindigkeit mit zunehmendem Chloridgehalt zunimmt. Sinnvollerweise werden daher die Makrozellensensoren in Bereichen eingesetzt, in denen mit hoher Korrosion des Bewehrungsstahls gerechnet wird, vorzugsweise in Bereichen, in denen die höchsten Korrosionsgeschwindigkeit in dem zu schützenden Bauteil erwartet wird.

[0012] Die Korrosion der Makrozellenelemente beginnt üblicherweise nach einer sogenannten Initiierungsphase, die je nach Chlorid- und Feuchtigkeitsgehalt des Betons unterschiedlich lange dauert. Bei hohen Chloridgehalten (3-5 Masse% /Zementgewicht) und hoher Feuchte (Sättigungsgrad > 95%) beginnt die Korrosion schon nach wenigen Tagen, bei geringen Chloridgehalten (< 1%) und relativ trockenem Beton (Sättigungsgrad < 80%) kann die Initiierungsphase mehrere Wochen bis Monate dauern. In solchen Fällen müsste mit der Inbetriebnahme der KKS Anlage mehrere Wochen bis Monate zugewartet werden und zudem regelmäßig die Makrozellenströme kontrolliert werden. Dieses Problem konnte folgendermaßen gelöst werden: Ein Makrozellensensorsatz (Abbildung 2), bestehend aus 3 Makrozellensensoren (A1, A2, A3), analog zu Abbildung 1 in einem Halterungsrohr aus rostfreiem Stahl (B), wurde in einer zylinderförmigen Form in chloridhaltigem Mörtel (C) eingegossen. Nach dem Aushärten des Betons wurden die Makrozellensensoren über je ein widerstandsfreies Strommessmodul (E) mit dem Halterungsrohr (B) aus rostfreiem Stahl kurzgeschlossen (D) und feucht (rel. Feuchte ca. 90 - 95%) gelagert. Der Ummantelungsmörtel, vorzugsweise Feinmörtel (Zuschlagskorngröße 0/1 mm) mit einem Gewichtsverhältnis Zuschlag/Portlandzement von 4: 1, enthält eine definierte Menge an Chlorid bezogen auf das Zementgewicht. Je nach Beschaffenheit und Chloridgehalt des zu schützenden Betonbauteils kann der Chloridgehalt in der Makrozellenprobe eingestellt werden. Vorzugsweise enthält die Makrozellenprobe einen geringfügig höheren Chloridgehalt als der höchste im Betonbauteil gemessene Chloridgehalt. Das Chlorid wird vorzugsweise als Natriumchlorid zum Anmachwasser zugegeben. Das Chlorid kann jedoch auch nachträglich nach dem Aushärten des Mörtels durch Eintauchen in eine chloridhaltige Lösung eingebracht werden. Vorteil der Chloridzugabe mit dem Anmachwasser ist, dass der Chloridgehalt des Mörtels sehr genau eingestellt werden kann.

[0013] Die erfindungsgemäß mit Mörtel ummantelten Makrozellensensorsätze werden solange feucht gelagert, bis in allen Sensoren die Stahlkorrosion initiiert ist und ein stabiler anodischer Makrozellenstrom fließt. Im Anschluss daran können die Sensorsätze, nach der Trennung der elektrischen Verbindung (D) zwischen dem Halterungsrohr (B) und den Makrozellensensoren (Ax), analog zu dem in Abbildung 1 dargestellten Makrozellensensorsatz direkt in den Betonbauteil eingesetzt werden und ca. 1 Woche nach dem Einbau für die Überwachung der Wirksamkeit des KKS eingesetzt werden. Die erfindungsgemäß mit Mörtel ummantelten Makrozellensensorsätze können jedoch auch auf Vorrat produziert und dann eingelagert werden. Dazu wird nach der Initiierung der Korrosion, wie oben beschrieben, die elektrische Verbindung zwischen den einzelnen Sensoren (Ax) und dem Halterungsrohr (B) unterbrochen und die Sensorsätze trocken gelagert, vorzugsweise bei 40°C, um die Korrosion der Stahlelemente zu stoppen. Nach dem Trocknen werden die Sensorsätze vorzugsweise „vakuumverpackt“. Vor dem Einbau in einen Betonbauteil zur Überwachung der Wirksamkeit des KKS werden die erfindungsgemäßen mit Mörtel ummantelten Makrozellensensorsätze mit Wasser gesättigt, vorzugsweise durch Eintauchen für 24 Stunden in eine 3% ige Natriumchloridlösung. Der Vorteil der erfindungsgemäßen mit chloridhaltigem Mörtel ummantelten Makrozellensensorsätze ist, dass diese Sensoren kurzfristig (binnen einer Woche nach dem Einbau) für die Überwachung der Wirksamkeit des KKS verwendet werden können. Dies ist insbesondere vorteilhaft für die Überwachung des KKS in Bauteilen mit geringem Chloridgehalt (< 2 M%/ZG), in denen die Initiierung der Korrosion der Makrozellenelemente mehrere Wochen dauern kann.

[0014] Die erfindungsgemäße Vorrichtung, Makrozellensensorsatz, bestehend aus mindestens einem Makrozellensensor, elektrisch verbunden mit der Stahlbewehrung des mittels KKS zu schützenden Betonbauteils, vorzugsweise über ein Modul für die widerstandsfreie Makrozellenstrommessung zur Überwachung der Wirksamkeit von KKS Anlagen, eignet sich insbesondere für die automatische On-Line Steuerung der KKS Parameter (Schutzstrom oder Schutzspannung) für einen verlässlichen und jederzeit On-Line überprüfbaren Korrosionsschutz der Stahlbewehrung in Beton mittels KKS: Um diese Aufgabe zu erfüllen wird erfindungsgemäß der zwischen den Makrozellensensoren und der Stahlbewehrung gemessene Makrozellenstrom als Stellgröße für die Regelung der Schutzspannung oder des Schutzstromes eingesetzt. Erfindungsgemäß erfolgt die Regelung der Schutzspannung oder des Schutzstromes derart, dass die anodischen Makrozellenströme gegen Null, vorzugsweise in einen Bereich geringer kathodischer Makrozellenströme, geregelt werden.

BEISPIEL 1:

[0015] Für die Überwachung der Wirksamkeit einer KKS Anlage für den Korrosionsschutz von Stahl in Beton wurde in Anlehnung an die Abbildung 1 ein Makrozellensatz mit fünf Makrozellensensoren (Stahloberfläche $2 \times 0,5 \text{ cm}^2$) in einem Trägerrohr aus rostfreiem Stahl ($\phi 0,18 \text{ mm}$, Länge 90 mm) in einen mit KKS vor Korrosion der Stahlbewehrung zu schützenden Betonbauteil eingesetzt, und zwar im Bereich mit einem Chloridgehalt von $3,7 - 4,8 \text{ M\%/ZG}$ im Oberflächenbereich und einem Chloridgehalt von $1,3 - 1,65 \text{ M\%}$ in 80 mm Tiefe. Der Abstand der Makrozellensensoren voneinander betrug 16 mm , sodass Makrozellenströme bis in eine Tiefe von 80 mm in der Betonüberdeckung gemessen werden konnten. Die Betonüberdeckung über der Stahlbewehrung variierte zwischen 40 und 75 mm . Die nach einer Initiationsphase von ca. 3 Monaten gemessenen Makrozellenströme sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Makrozellen sensor	Makrozellenstrom		
	vor dem KKS	KKS ein Schutzspannung $2,0 \text{ V}$	KKS ein Schutzspannung $2,5 \text{ V}$
	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$
A1	-50 bis -75	-10 bis +10	+30 bis +60
A2	-10 bis -25	-10 bis +20	+20 bis +30
A3	+1 bis +5	+5 bis +10	+5 bis +10
A4	+3 bis +8	+5 bis +10	+5 bis +10
A5	+25 bis +30	+50 bis +70	+20 bis +50

[0016] Die Makrozellensensoren im Oberflächenbereich (A1, A2) korrodieren stark und weisen hohe anodische Makrozellenströme auf. Die Makrozellensensoren A3 bis A5 wirken als Kathoden und korrodieren daher nicht. Der Betrieb der KKS - Anlage bei $2,0 \text{ Volt}$ bewirkte eine signifikante Verschiebung der anodischen Makrozellenströme (A1, A2) in Richtung kathodischer Ströme. Eine manuelle Erhöhung der Schutzspannung auf $2,5 \text{ Volt}$ eliminierte sämtliche anodische Makrozellenströme und es flossen nur noch kathodische Makrozellenströme. Die Stahlbewehrung war unter diesen Bedingungen verlässlich vor Korrosion geschützt.

BEISPIEL 2:

[0017] Für die Überwachung der Wirksamkeit einer KKS Anlage für den Korrosionsschutz von Stahl in Beton wurde analog zu Beispiel 1 ein Makrozellensensorsatz aus drei Sensoren in einem Trägerrohr (ϕ 18 mm, Länge 60 mm) aus rostfreiem Stahl mit einem Mörtelmantel (Zuschlag 0-0, 5 mm, Zuschlag/Zement = 3: 1) und einem Chloridgehalt von 3, 5 M%/ZG (zugegeben als NaCl zum Anmachwasser) mit einem Durchmesser von 7 mm versehen. Der Sensorsatz wurde für 4 Monate feucht gelagert, bis die zwischen Makrozellensensoren und Trägerrohr gemessenen Makrozellenströme stabile Werte ergaben. Der Sensorsatz wurde vor Inbetriebnahme einer KKS Anlage in ein in einem Betonbauteil angebrachten Bohrloch (ϕ 25 mm, Tiefe 7 cm) mit Ankermörtel eingesetzt. Nach dem Aushärten des Ankermörtels wurden die Makrozellenströme eine Woche lang aufgezeichnet und dann die KKS - Anlage in Betrieb genommen (Tabelle 2).

Tabelle 2		Makrozellenstrom	
Makrozellen- sensor	vor dem KKS	KKS ein	KKS ein
		Schutzspannung 2, 2 V	Schutzspannung 2, 7 V
	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$
A1	-30 bis -55	-5 bis +20	+15 bis +25
A2	-25 bis -35	-5 bis +20	+10 bis +20
A3	-20 bis -35	0 bis +10	+2 bis +15

[0018] Wie die in Tabelle 2 dargestellten Resultate zeigen, ergeben sich bereits eine Woche nach dem Einbau des Makrozellensensorsatzes stabile Korrosionsströme. Die Inbetriebnahme des KKS bewirkt eine signifikante Reduzierung der Korrosionsströme, das manuelle Nachjustieren nach einem Monat bewirkt eine vollständige Eliminierung der Korrosionsströme und einen nachweislich verlässlichen Korrosionsschutz der Stahlbewehrung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung von kathodischen Korrosionsschutz (KKS) Anlagen **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Inbetriebnahme und während des Betriebes der KKS Anlage mittels eines Makrozellensensors die lokalen Makrozellenströme gemessen werden und, dass die Änderung der lokalen Makrozellenströme infolge der Inbetriebnahme und des Betriebs der KKS Anlage zur Beurteilung der Korrosionsschutzwirkung des KKS verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass an mindestens einem Makrozellensensor der lokale Makrozellenstromfluss gemessen wird und als Stellgröße für die Regelung des kathodischen Schutzstromflusses verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelung des kathodischen Schutzstromes derart erfolgt, dass nach Anspruch 2 gemessene lokale anodische Makrozellenströme durch Erhöhung des kathodischen Schutzstromes verringert werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelung des kathodischen Schutzstromes derart erfolgt, dass anodische Makrozellenströme gegen Null geregelt werden.
5. Vorrichtung für die Messung von Makrozellenströmen für die Regelung, Steuerung oder Überwachung von kathodischen Schutzanlagen mittels Makrozellensensoren, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Makrozellensensor in einem Elektrolyt, vorzugsweise einem Festelektrolyten, zum Beispiel Beton, eingebettet ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einbettelektrolyt des Makrozellensensor Zusätze enthält, vorzugsweise Chloride, insbesondere mindestens ein Alkali und/oder Erdalkalichlorid, die das elektrochemische Korrosionspotential in Richtung höherer Korrosionswahrscheinlichkeit verschieben.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Makrozellensensor vorkorrodiert ist.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

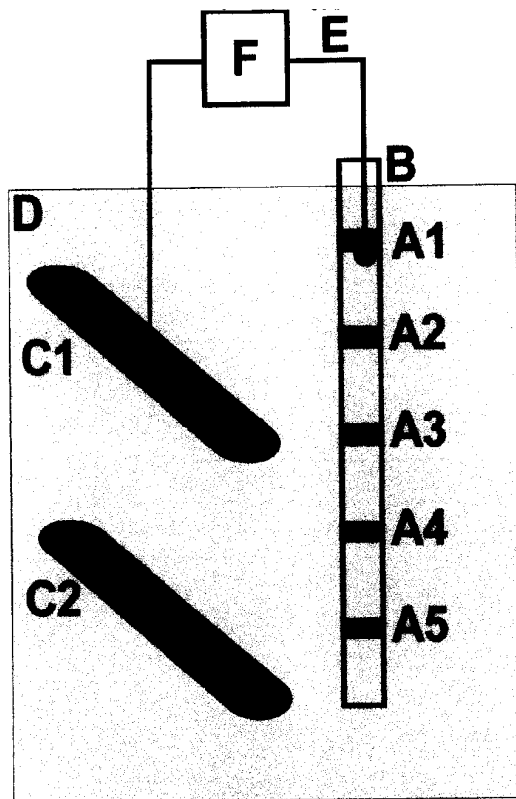


Abbildung 1

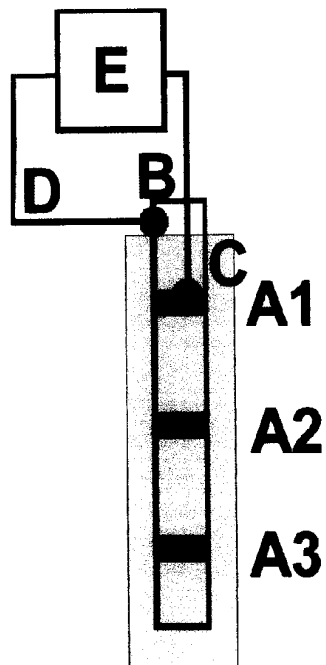


Abbildung 2