

MITTEILUNGEN DES FACHVERBANDES KATHODISCHER KORROSIONSSCHUTZ E.V.

E 13001 F

März 2001

Nr. 39

KASTELLO

Kathodische Korrosionsschutz-Technik mit solarelektrischer autarker Energieversorgung und spezieller Steuerelektronik für Stahlbetonbauwerke und gefährdete Objekte

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem Az: 06352 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Fachreferat, gehalten von Herrn Dipl.-Ing. Karl-Heinz Korupp, SET selected electronic technologies GmbH auf der Jahreshauptversammlung 2000 des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e. V. in Fulda

Zusammenfassung

Der vorliegende Abschlußbericht beschreibt die Technik und die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes für Stahl in Beton sowie die Entwicklungs- und Systemarbeiten, die im Rahmen dieses Vorhabens zur Realisierung optimierter solarelektrisch versorgter KKSB Gesamtsysteme erforderlich waren. Mit der in diesem Vorhaben entwickelten Technik lässt sich zum Beispiel mit einem 100 W Solarmodul bis zu ca. 80 m² Stahl-Betonfläche schützen. Darüber hinaus wird eine Forschungsplattform vorgestellt, die als Demonstrationsobjekt auf dem Werksgelände der SET in Wedel entstand und in den nächsten Jahren als Testplattform für die entwickelten Geräte und zur Optimierung der Gesamtsysteme dienen soll. Die Testplattform wird in Abstimmung mit der BAM, DE NORA und der SET GmbH auch für Studien- und Diplomarbeiten zur Verfügung stehen.

Einleitung

Die Korrosion von Stahl-Bewehrungen in Stahl-Betonbauwerken führt zum Teil zu erheblichen materiellen Schäden und gefährdet die allgemeine Sicherheit. Als technische Lösung zur Vermeidung von Korrosion bietet sich hier grundsätzlich der kathodische Korrosionsschutz als elektrochemisches Schutzverfahren an.

Elektrochemische Schutzverfahren finden in der Industrie (z. B. Schutz von Rohrleitungen, Erd-Tanks oder Kaianlagen) grundsätzlich bereits breite Anwendung. In speziellen Fällen scheitern diese Schutzverfahren jedoch häufig an fehlender Infrastruktur, d. h. weil keine Stromversorgung vorhanden bzw. die Neuinstallation zu kostspielig ist.

Dieses trifft besonders für die Anwendungen im Bereich der Stahlbeton Bauwerke wie Brücken, Beton-Straßendecken, Betonanker und Pylone zu, die oft frei in der Landschaft stehen und keine Verbindung zum Stromnetz haben. In der Regel behilft man sich daher mit einer sorgfältig verlegten Betonabdeckung und hofft, daß die alkalische Umgebung und die sich daraus ergebende Passivierung des Stahls einen Korrosionsschutz gewährleistet. Die Praxis hat aber bereits gezeigt, daß oft durch eine zu dünne Betondecke, durch Rißbildung (schwingende Belastung) oder durch Einbringen von Cl-Ionen die Passivierung stellenweise aufgehoben wird, so daß die Eisenionen in Lösung gehen können.

Schäden am Bauwerk selbst, sowie Folgekosten durch Sanierung (Verkehrsumleitungen, Stilllegung, Umweltbelastung oft sensibler Standorte) sind vorprogrammiert.

Im Rahmen des Entwicklungsprojektes KASTELLO hat die SET GmbH Wedel eine Geräte- und Systemfamilie für den kathodischen Korrosionsschutz von Stahl in Beton entwickelt und eine 73 m² Forschungsplattform für weiterführende Untersuchungen auf dem Betriebsgelände in Wedel installiert.

Das Vorhaben wurde in enger Zusammenarbeit mit der BAM, der Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung Berlin und der Firma DE NORA Deutschland GmbH (ehemals Heraeus Elektrochemie) durchgeführt.

Hauptteil

Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte, der System- und Gerätetechnik

Das Ziel unseres Vorhabens war es, ein modulares, angepaßtes und betriebssicheres System mit einer optimierten Gerätetechnik für den kathodischen Korrosionsschutz von Stahlbewehrungen in Beton zu entwickeln und am Ende des Vorhabens ein funktionstüchtiges Schutzsystem vorzustellen. Die Energieversorgung sollte auf der Basis adaptierter solarelektrischer Stromversorgungen realisiert werden, da sie besonders für dezentrale Anwendungen mit geringen Energiebedarf prädestiniert sind und eine wirtschaftliche Alternative zu der konventionellen Versorgung darstellen. In einer Reihe von Anwendungsfällen ist sie die einzige Möglichkeit das Schutzsystem zu versorgen. Im Rahmen des Vorhabens mußten besonders auch im Hinblick auf die Stromversorgung die Besonderheiten der Schutzobjekte berücksichtigt werden. Es handelte sich hierbei um die Montagemöglichkeiten und um die optimale Ausrichtung der Solarmodule, um die Energiespeicherung und um die Möglichkeit zur Anlagenüberwachung.

Darüber hinaus sollte eine Test- und Demonstrationsanlage für den Dauertest des Gesamtsystems (KKSB) gebaut werden. Die Realisierung der Test- und Demonstrationsanlage führte letztendlich zu einer Vorhabensverzögerung, da in unserem Einzugsbereich kein geeignetes Objekt für unsere Versuche gefunden werden konnte. Unser Unternehmen entschloß sich daraufhin, eine technisch anspruchsvolle Forschungsplattform auf dem neuen Betriebsgelände unseres Unternehmens mit der praktischen Anwendung als Parkplatz zu bauen und als Testfläche für die kommenden 5 Jahre zu betreiben.

In der Definitionsphase wurde das Gesamtkonzept festgelegt und die einzelnen Arbeitspakete, wie in Tabelle 1 dargestellt, definiert. Die Abwicklung des Vorhabens verlief, bis auf wenige Ausnahmen, nach Plan.

Arbeitsschritte/Projektzeitraum	1996	1997	1998	1999	2000
Definition Gesamtsystem	A				
Entwicklung Schutzstromgeräte					
Entwicklung Ladegeräte					
Gerätetests und Modifikationen					
Auswahl und Test der Elektroden					
Eingesch. Vorhabensabwicklung					
Konstruktion u. Bau der Plattform					
Inbetriebnahme F&E - Plattform					
Meß- und Untersuchungsphase					

Tabelle 1: Vorhabensabwicklung

Legende.

A: Vorhabensbeginn

V: Beginn der Vorhabensverlängerung. (Vorhaben wird durch die SET GmbH eigenfinanziert weitergeführt.)

E: Offizieller Projektabschluss.

+: Inbetriebnahme der Schutzanlage am 6.12.1999

*: SET GmbH, BAM und DE NORA werden die Plattform ab diesem Zeitpunkt für ca. 5 Jahren meßtechnisch betreuen; es werden u. a. Studien- und Diplomarbeiten vergeben.

Die Tabelle 2 „Übersicht Geräte- und Systementwicklung“ zeigt den Umfang des Vorhabens als Aufstellung von Einzelleistungen, die im Hinblick auf die Realisierung eines in sich geschlossenen Gesamtsystems für solarversorgte KKSAB Anwendungen notwendig waren.

Zu den Schwerpunkten der Geräteentwicklung zählte die Entwicklung der Schutzstrom- und der Ladegeräte. Bei der Entwicklung konnten wir auf das vorhandene know-how, das wir uns in den letzten 15 Jahren auf den Fachgebieten Korrosionsschutz und Solartechnik erarbeitet hatten, zurückgreifen. Dieses gilt auch für die Auswahl und Anwendung der Solarmodule und der Montagetechniken für die Module. Im Fall der Messelektroden haben wir versucht, kostengünstigere Varianten auf der Basis von CuCuSO₄ mit und ohne Diaphragmamantel zu entwickeln. Die Bewährungsprobe müssen diese Elektroden erst im rauen Alltag in der Forschungsplattform bestehen; sie werden dort mit den MnO₂-Elektroden verglichen. Als Energiespeicher wurden handelsübliche wartungsfreie Akkumulatoren eingesetzt, die sich in den vergangenen Jahren für Korrosionsschutzanlagen für Rohrleitungssysteme bewährt hatten. Die Anodenauswahl erfolgte durch unsere Projektpartner BAM und DE NORA.

Gerät/System	Leistungsbereich	Entwicklungsschwerpunkte
Gesamtsystem		+ Abstimmung der einzelnen Geräte und Elektroden aufeinander + Auslegung der Systeme für den weltweiten Einsatz
Schutzstromgeräte	* diskreter Aufbau- Einzelgerät + 0 bis 100 mA, -6V * Aufbau als 19" Einschubkassette + 0 bis 2000 mA -6V	+ Geräte mit I, U, Potential Regelung + Geräte mit I, U, Potential Anzeige + Geräte mit Grenzwertüberwachung + hohe Betriebssicherheit + Servicekomfort
Laderegler	* diskreter Aufbau- Einzelgerät + 100 W - 6 V * Aufbau als 19" Einschubkassette + 450 W - 12 V + 900 W - 24 V	+ niedriger Eigenbedarf hohe Betriebssicherheit + Strom- und Spannungsanzeige + für Einzelmodule unterschiedlicher Ausrichtung. (Winkel, Ost-West) + Servicekomfort
Elektroden		+ Elektrodenauswahl + Entwicklung einer neuen Elektrode auf Basis CuCuSO ₄ + Meßtechnische Untersuchung und Erprobung der gewählten Elektroden
Solargenerator/ Tragstruktur		+ Auswahl Modulmontage-Techniken - z.B. Klebtechnik Modul-Beton - konventionelle Montagetechniken - Modulintegration
Modultechnik		+ Anwendung von Modullaminaten - z.B. Streifenmodule (Typ Shell) + Standardmodule (Typ Shell)
Meßdatenerfas- sungs-System		

Tabelle 2: Übersicht Geräte- und Systementwicklung

Gesamtsystem

Das Blockschaltbild (Bild 1) zeigt das Gesamtsystem einer solar- elektrisch versorgten kathodischen Korrosionsschutzanlage für Stahl in Beton. Hier sind alle wesentlichen Komponenten aufgeführt, die für den Betrieb einer PV-KKSAB Anlage erforderlich sind. Als Einstimmung in die Thematik sollen die Aufgaben der Einzelkomponenten im folgenden kurz beschrieben werden.

1 Solargenerator: Energiewandler. Wandelt Sonnenlicht in elektrischen Strom (Gleichstromquelle).

2 Tragstruktur: Dient zur Befestigung der Solarmodule an den Betonbauwerken.

3 Laderegler: Überwacht und regelt. Er sorgt für einen optimalen Ladevorgang und schützt den Akkumulator vor Über- und Tiefentladung.

4 Akkumulator: Energiespeicher. Speichert die elektrische Energie für Zeiten ohne oder / und geringer Sonneneinstrahlung. Einsatz für den täglichen und saisonalen Energieausgleich.

5 Schutzstromgerät: Liefert den erforderlichen Schutzstrom. Empfehlenswert sind Geräte mit Potential-, Spannungs- und Stromregelung.

6 Anoden: Opferanoden.

7 Messelektroden: Bezugs Elektroden für die Regelung. Sie sind auch erforderlich, um die Einhaltung der Schutzkriterien zu überprüfen.

8 Bewehrung: Schutzobjekt.

Eine detailliertere Beschreibung der Geräte, ihrer Aufgaben und der angewandten Technik wird im Kapitel „Gerätetechnik“ vorgenommen. Zum allgemein besseren Verständnis des Korrosionsvorganges und des aktiven kathodischen Korrosionsschutzes wurde das folgende Kapitel „Prinzip und Technik des kathodischen Korrosionsschutzes für Stahlbetonbauwerke“ mit in den Bericht aufgenommen.

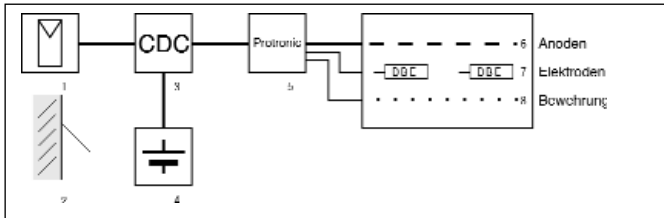


Bild 1: Blockschaltbild Gesamtsystem

Prinzip und Technik des kathodischen Korrosionsschutzes für Stahlbetonbauwerke

Normalerweise ist Bewehrungsstahl in Stahlbeton- und Spannbetonbauten durch die hohe Alkalität des Beton-Porenwassers und die sich daraus ergebende Passivierung dauerhaft vor Korrosion geschützt. Passivierung des Stahles bedeutet, dass der Stahl von einer submikroskopisch dünnen Oxidhaut bedeckt wird, die einen Korrosionsangriff unterbindet. In Abhängigkeit von der Betonqualität, der Bauausführung und der konstruktiven Gestaltung kann aber durch die Umgebungsbedingungen die passivierende Wirkung des Beton-Porenwassers aufgehoben werden, wodurch eine Korrosion des Stahles möglich ist. Das Eindringen von Chlorid-Ionen und die durch das Kohlendioxid der Luft hervorgerufene Carbonatisierung des den Stahl umgebenden Betons sind die häufigsten Ursachen für die Auslösung von Korrosionsreaktionen am Bewehrungsstahl (Bild 2).

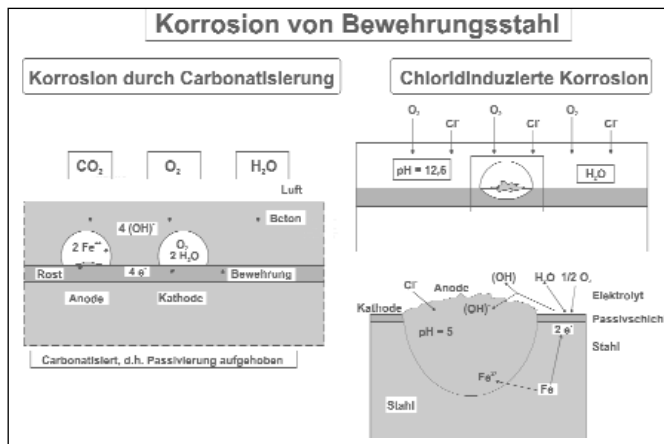


Bild 2: Mechanismen für Bewehrungsstahlkorrosion

In den Industrieländern machen die Kosten für Instandsetzungen von korrosionsbedingten Schäden an Bauwerken einen beträchtlichen Anteil des Bruttosozialproduktes aus. Deshalb sind technisch erprobte und wirtschaftliche Sanierungsverfahren von größter Bedeutung. Um die Nachteile der konventionellen Sanierung – nämlich des nur partiellen Ersatzes geschädigter Zonen – zu umgehen, wird in den letzten Jahren zunehmend auch der Kathodische Korrosionsschutz durch Fremdstrom zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion eingesetzt.

Der Gedanke, kathodischen Schutz auch bei der Sanierung korrosionsgefährdeter Stahlbewehrung im Beton einzusetzen, wurde Ende der siebziger Jahre in den USA entwickelt. Den

Hintergrund hierfür bildeten die immensen durch Tausalz entstandenen Korrosionsschäden an den Stahlbetonfahrbahnen der Brücken des Interstate Highway Systems, bei denen alle konventionellen Sanierungsansätze zu keinem Erfolg führten.

Das Prinzip des kathodischen Korrosionsschutzes beruht darauf, dass die anodische Teilreaktion der Korrosionsreaktion, nämlich die Eisenauflösung, durch einen entgegengesetzt gerichteten Gleichstrom unterbunden wird. Hierzu wird auf die Betonoberfläche eine dauerhafte Anode (in der Regel ein metalloxidbeschichtetes Titannetz) aufgebracht. Die an einer Stelle freigelegte Bewehrung wird an den Minuspol und die Anode an den Pluspol einer Gleichstromquelle angeschlossen. Nach Einschalten der Stromquelle wird durch den Elektronenfluss die Bewehrung kathodisch polarisiert, so dass eine anodische Metallauflösung weitgehend unterdrückt wird (Bild 3).

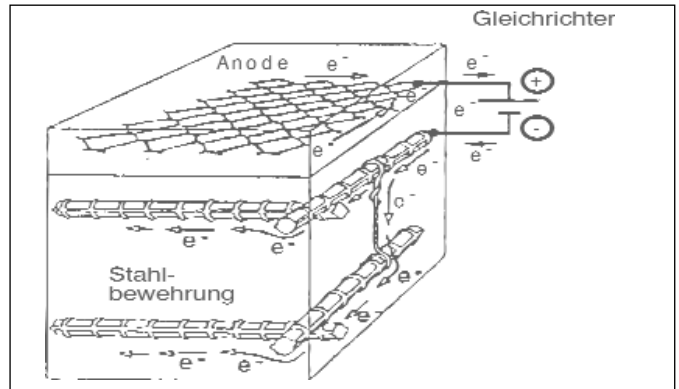


Bild 3: Prinzip des Kathodischen Korrosionsschutzes für Bewehrungsstahl

Die Hauptanwendungsgebiete findet der Kathodische Korrosionsschutz (KKS) für Stahlbetonbauwerke immer dort, wo eine zuverlässige Instandsetzung mit den herkömmlichen Methoden nicht durchführbar ist. Dies ist in der Regel der Fall, wenn die Bauteile bis zur ersten Bewehrungslage und auch in tiefer liegenden Zonen hinreichend hohe Chloridgehalte zur Depassivierung enthalten, oder wenn das Eindringen durch passiven Schutz und konstruktive Maßnahmen nicht zuverlässig ausgeschlossen werden kann. Insbesondere an Verkehrsbauwerken hat das Problem der chloridinduzierten Korrosion des Bewehrungsstahles in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Während in den 50er und 60er Jahren nur wenig chloridhaltiges Salz als Auftaumittel eingesetzt wurde, nahm der Einsatz in den darauffolgenden Jahren infolge des stark ansteigenden Verkehrsaufkommens erheblich zu.

Bei Sanierungen solcher Bauwerke lässt sich aus arbeitstechnischen Gründen der Altbeton im Regelfall nur bis zur obersten Bewehrungslage entfernen. Verbleiben in den darunter liegenden Betonbereichen hinreichend hohe Chloridgehalte, kann auch nach der Sanierung, die nur aus einem Betonerersatzsystem oberhalb der ersten Bewehrungslage ohne kathodischen Schutz besteht, die Korrosion fortschreiten. Der entscheidende Vorteil des kathodischen Korrosionsschutzes besteht darin, dass lediglich der geschädigte Beton im Bereich von Rissen und Abplatzungen ausgebessert werden muss, während der chloridkontaminierte Beton verbleiben kann. Durch den aufgezwungenen Fremdstrom wird bei ausreichenden Stromdichten das Bewehrungsstahlpotential so weit in negative Richtung verschoben, dass ein vollständiger Korrosionsschutz selbst bei Anwesenheit hoher Chloridgehalte gegeben ist.

Zur laufenden Überwachung der Funktion bzw. des Schutzes der Anlage werden Referenzelektroden eingebaut. Diese sollen möglichst in unmittelbarer Nähe zur Bewehrung angebracht werden, um bei späteren Potentialmessungen den Einfluss des Betonelektrolytwiderstandes klein zu halten.

Fortsetzung in Folge 40

Kathodischer Korrosionsschutz an erdverlegten Rohrleitungen

AfK-Empfehlung beschreibt Messverfahren zum Nachweis der Wirksamkeit

Nach DIN 30676 „Planung und Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes für den Außen-Schutz muss bei vollständigem kathodischen Korrosionsschutz das Schutzkriterium an jedem Messpunkt des Schutzobjektes, d. h. an jeder Fehlstelle seiner Umhüllung erfüllt sein.

In dem Bemühen aufzuzeigen, wie dies unter Berücksichtigung der bekannten physikalischen Grundlagen mit eingeführten und neueren Messverfahren in der Praxis weitgehend nachgewiesen werden kann, wurde DIN 50925 „Korrosion der Metalle; Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes erdverlegter Anlagen“ erarbeitet. In den Fällen, in denen die beschriebenen Messmethoden oder die örtlichen Verhältnisse die Ermittlung der notwendigen Daten in nicht hinreichendem, aussagefähigen Maße erlauben, ergeben sich Schwierigkeiten beim Nachweis. Diesbezügliche Problemfälle stellen die meisten Behälter dar, beispielsweise aber auch Rohrleitungen in Stadtgebieten, insbesondere bei Vorliegen von zeitlich sich stark ändernder Streustrombeeinflussung durch z. B. Gleichstrom-Bahnanlagen, Rohrleitungen mit Schutzmaßnahmen gegen Hochspannungsbeeinflussung und parallel verlaufende Rohrleitungen.

Die vorliegende AfK-Empfehlung greift für den Fall erdverlegter Rohrleitungen aus Stahl die in DIN 50925 genannten Verfahren der Potenzialmessung erläuternd auf und beschreibt weitere Messverfahren, mit denen der Nachweis des Schutzkriteriums im Sinne von DIN 50925 erfolgen kann. Sie gibt darüber hinaus Hinweise über die Zweckmäßigkeit der Anwendung der einzelnen Verfahren unter verschiedenen Einsatzbedingungen sowie zur Vermeidung von Fehlmessungen und Fehlinterpretationen der Messergebnisse. Hinsichtlich der Definition der Begriffe wird auf die beiden zuvor zitierten Normen hingewiesen.

Für andere erdverlegte, kathodisch gegen Korrosion geschützte Anlagen, wie z. B. metallische Kabelmäntel von Hochspannungs- und Fernmeldekabeln, ist diese AfK-Empfehlung sinngemäß anzuwenden. Bei kathodisch geschützten Lagerbehältern aus Stahl ist dies nur bedingt möglich, da diese Objekte meist eine große Ausdehnung aufweisen, wodurch z. B. eine gezielte Fehlstellenortung und damit eine Intensivmessung erschwert wird.

Die beschriebenen Nachweisverfahren sind teils seit langem Stand der Technik (z. B. Ausschaltpotenzialmessungen), teils finden sie zunehmend Anwendung (z. B. Intensivmessungen),

Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e. V.
Postfach 6004, 73717 Esslingen
PVSt., DPAG, Entgelt bezahlt

E 13001

Impressum: Die Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. werden vom Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., Sitz Esslingen a. N., Postfach 6004, 73717 Esslingen, Telefon (07 11) 91 99 27 20, Telefax (07 11) 91 99 27 77 herausgegeben und erscheinen vierteljährlich. Der Bezugspreis ist durch den Mitgliedsbeitrag abgegolten. Für den Inhalt verantwortlich: Hans J. Spieth, Postfach 6050, 73717 Esslingen. Redaktion: Dipl.-Phys. W. v. Baeckmann, Essen, Hans J. Spieth, Esslingen. Für namentlich gekennzeichnete Beiträge trägt der Verfasser die Verantwortung. Nachdruck mit Quellenangabe und Übersendung von zwei Belegexemplaren erwünscht.

so dass hier Erfahrungen bei der Erarbeitung dieser AfK-Empfehlung berücksichtigt werden konnten. Bei einigen Verfahren (z. B. Potenzialgradientenvergleich) liegen dagegen nur wenige Erfahrungen vor. Die AfK fordert deshalb alle Anwender der vorliegenden Empfehlung auf, ihre Erfahrungen mit den beschriebenen Verfahren zu veröffentlichen oder schriftlich direkt der AfK-Geschäftsstelle mitzuteilen. Sie werden dann bei einer Überarbeitung Berücksichtigung finden. Diese Empfehlung wurde von der Arbeitsgemeinschaft DVGW/VDE für Korrosionsfragen (AfK) ausgearbeitet. In der AfK arbeiten außer Mitgliedern des DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. und des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) auch Vertreter der Deutschen Bahn, der Deutschen Telekom, des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW), des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWW) sowie des Wirtschaftsverbandes Erdöl und Gas (WEG) mit.

Die AfK-Empfehlung Nr. 10 ist über die wvgw Wirtschaftis- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn Tel.: 02 28/91 91-429, Fax: 02 28/91 91-499 zu beziehen.

*Dr. Günther Reiff
aus ENERGIE WASSER PRAXIS 12/2000*

Zu guter Letzt

In der Politik ist es wie in der Elektrizität:
wo es Kontakte gibt, gibt es auch Spannungen.

Pierre Mendés-France

Wir freuen uns auf Ihr Kommen

Die **Jahreshauptversammlung 2001**
des **Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V.**
findet **am Donnerstag, 26. und Freitag, 27. April 2001**
im **Hotel „Hilton Dresden“, Dresden**, statt.

Es wird u.a. die neue „Qualitätsanforderung für die Zertifizierung von Fachfirmen des kathodischen Korrosionsschutzes“ (QUAF) vorgestellt und Ihnen die Möglichkeit gegeben, hierüber vor deren in Kraft treten zu diskutieren.