Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 104 (1986)

Heft: 15

Artikel: Korrosionsschäden an elektrischen Schaltschränken und deren Sanierung

Autor: Schneider, Friedrich

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76130

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Korrosionsschäden an elektrischen Schaltschränken und deren Sanierung

Von Friedrich Schneider, Luzern

Moderne elektrische Anlagen haben in der Regel einen technischen Stand erreicht, der für viele Jahre einen problemlosen Betrieb gewährleistet. Beispiele aus der jüngsten Vergangenheit zeigen jedoch, dass sich unter gewissen Betriebsbedingungen Schäden nicht ausschliessen lassen. Die geradezu sprichwörtliche Zuverlässigkeit elektrischer Anlagen verleitet Planer, Bauherren und selbst Fachleute häufig zu der irrigen Annahme, dass die Betriebssicherheit in jedem Fall gewährleistet sei. In der Konstruktion, Fertigung und Montage übersehene Details, die für den Normalfall mehr oder weniger bedeutungslos sind, können zu einem technischen Desaster führen. Der Autor berichtet deshalb beispielhaft über die Erfahrungen mit der Sanierung von Korrosionsschäden an elektrischen Schaltschränken einer Grossanlage in einem Strassentunnel.

Ausgangslage

Autofahrer machen sich im allgemeinen keine Gedanken darüber, welch umfangreiche Infrastrukturen die Voraussetzung für die Betriebssicherheit von grossen Strassentunnels sind. Zum Beispiel sind zur Gewährleistung der Betriebssicherheit im wohl weltweit grössten Strassentunnel allein im Rahmen der Schwachstrom- und Niederspannungsverteilanlagen (bis 1000 V) elektrische Apparate in über 900 Apparateschränken installiert, zusammengefasst in rund 70 Anlagegruppen und verteilt auf eine Länge von rund 17 000 m.

Der Strassentunnel führt auf durchschnittlich 1100 m ü. M. durch ein Hochgebirge in Nord-Süd-Richtung (s. Bild 1), das unterschiedliche Gesteinsformationen aufweist und mit zahlreichen wasserführenden Rissen durchsetzt ist. Parallel zum Strassentunnel verläuft auf gleicher Höhe im Abstand von etwa 30 m ein mit Überdruck fremdbelüfteter Sicherheitsstollen.

Zwischen diesem Sicherheitsstollen und dem Strassentunnel sind über die ganze Tunnellänge in regelmässigen Abständen Schutzräume angelegt. Im Fall einer Katastrophe gewährleisten sie sicheren Schutz, ausserdem sind in ihnen umfangreiche elektrische Anlagen untergebracht (s. Bild 2).

Bereits kurz nach Inbetriebnahme des Strassentunnels zeigten sich infolge der hohen Luftfeuchtigkeit und der starken Verschmutzung aufgrund von Strassen- und Pneuabrieb sowie nach Verwendung von Streusalz umfangreiche und schnell fortschreitende Korrosionsschäden an den elektrischen Apparateschränken und Apparaten.
Bild 3 zeigt die an einem bestimmten Tag gemessene relative Luftfeuchtigkeit in den Schutzräumen. Diese Messwerte können sich je nach Jahreszeit und Wetterbedingungen stark ändern; die grundsätzliche Stufung in die drei Gruppen bleibt jedoch in engen Grenzen bestehen.

Bild 4 gibt die äussere Kondenswasserbildung an Schaltschränken der Bereiche 1 und 3 (Bild 3) wieder.

Bild 5 zeigt die innere Kondenswasserbildung und Verschimmelung an Schaltschränken der Bereiche 1 und 3 (s. auch Bild 6).

Die Ausschreibung hatte seinerzeit verlangt, die Apparateschränke grundsätzlich auf der Basis gewöhnlicher SPO-2-Bleche zu kalkulieren, wobei als Beschichtung eine Zweikomponententechnik auf Epoxybasis mit strukturierten Aussenflächen vorgegeben worden war. Zudem war als ergänzende Variante zusätzlich eine Offerte für eine Blechqualität in V4A-Edelstahl einzureichen.

Alle Apparateschränke waren nach Schutzart IP 54 auszulegen. Zum besseren Verständnis sind nachstehend kurz die Schutzarten bzw. Berührungs-, Fremdkörper- und Wasserschutz für elektrische Betriebsmittel nach DIN 40050 angeführt (s. Tabelle 1). Die IP-Schutzarten (International Protection) setzen sich immer aus zwei Zahlen zusammen: Die erste Zahl charakterisiert die Schutzart bezüglich Berührungs- und Fremdkörperschutz, die zweite Zahl kennzeichnet den Schutzgrad bezüglich Wasserschutz.

Ursachen der Schäden

Schäden sind immer die unerwünschte Folge von Fehlleistungen im Laufe der Auftragsabwicklung. Dabei reichen die ersten Fehlleistungen oft viel weiter zurück, als der Anschein vermuten lässt.

Submission

Elektrotechnische Anlagen erfordern meist beträchtliche finanzielle Mittel und können zwanzig und mehr Kostenprozente von Bauvorhaben beanspruchen. Grosse Investitionen der privaten und öffentlichen Hand werden heute nahezu ausnahmslos über Submission vergeben. Die der Submission zugrundeliegenden Gedanken sind theoretisch zweifellos respektabel. Jedoch wird oft übersehen, dass in der praktischen Handhabung des Submissionswesens nicht selten der künftige Misserfolg des Werkes und dementsprechend enorme Folgekosten geradezu vorprogrammiert sind.

So entspricht es geübter Praxis, dass die aufgrund einer Submission eingegangenen Angebote zuerst einmal in der Reihenfolge der Preishöhe geordnet werden. Damit beginnt ein Reigen von Nachteilen:

- Die aufwendige und sehr anspruchsvolle Auseinandersetzung mit dem technischen Gehalt der meist komplexen angebotenen Werke erfolgt mangels spezifischen Wissens gar nicht wirklich, sondern meist nur oberflächlich und dann im Sinne eines Alibis.
- Fundierte Hinweise seitens der An-

Bild 1. Strassentunnel, Längsschnitt

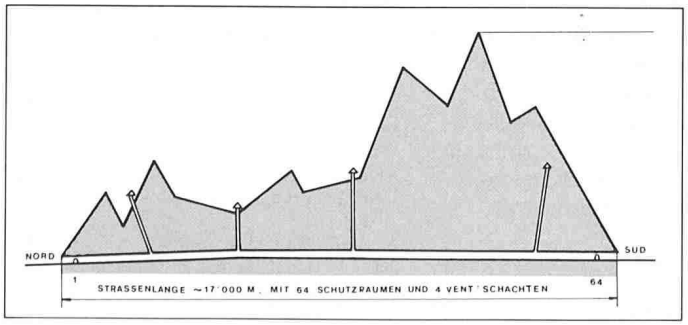
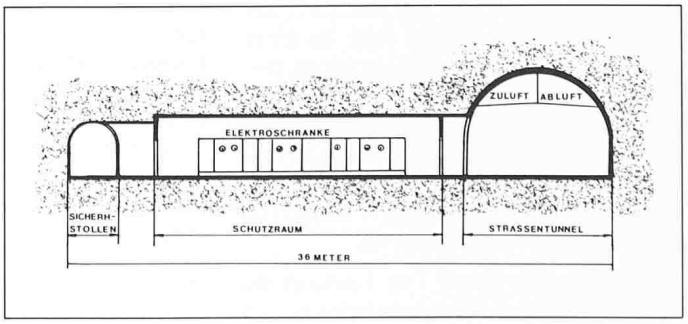


Bild 2. Strassentunnel und Stollen, Querschnitt; Schutzraum, Längsschnitt



bieter oder erfahrener neutraler Berater stören den vertrauten Arbeitsrhythmus des Sachbearbeiters und weisen auf Lücken in seinem Wissen hin, was ihn unsicher macht und blockiert.
- Vorgegebene Investitionsbudgets wollen eingehalten werden, künftige Sanierungs- oder Erneuerungskosten fallen dagegen meist in eine spätere Budgetperiode oder unter Nachtragskredite.
- Die Bürokratisierung hat die echte Verantwortung derart kollektiviert, dass bei einem späteren Misserfolg die Verantwortungsträger nicht mehr personifiziert werden (können).
- Wird nachträglich eine Klärung der Verantwortlichkeiten eingeleitet, wird nicht selten aus politischer Opportunität solange untersucht, bis entweder kein Verdacht mehr übrigbleibt oder bis wieder Gras über die Angelegenheit gewachsen ist.
- Sachbearbeiter sind Generalisten und meist unbeschwert von echter spezifischer Erfahrung; sie fällen ihre Entscheidungen oft mit erheblicher Distanz zur komplexen Wirklichkeit.
- Der Zuschlag erfolgt irgendwo im Mittelfeld der in Listen nach dem Preis geordneten Angebote, vorzugsweise im letzten Drittel.

Der Anbieter weiss aufgrund bitterer Erfahrungen um diese Zusammenhänge. Er bemüht sich folglich im eigenen Interesse, seine Offerte im Mittelfeld der zu erwartenden Konkurrenzangebote zu plazieren. Dazu nimmt er nicht selten entgegen besserem Wissen - gezwungenermassen - in Kauf, dass an seinem Werk vorzeitige Mängel zu erwarten sind.

Auch clevere Entscheidungsträger im Submissionswesen kennen oder ahnen folgeträchtige Risiken. Sie behelfen sich dadurch, dass sie gewissermassen den Ball zurückspielen: Pflichtenhefte und Werkverträge werden mit juristischer Akribie derart umfassend gehalten, dass sie der Anbieter gar nicht integral berücksichtigen kann. Garantiefristen werden hemmungslos ausgedehnt - nicht selten auf fünf bis zehn Jahre, SIA-Normen hin oder her. Die öffentliche Hand macht hier keine Ausnahme, ja, sie geht in einigen Fällen sogar wegweisend voran.

So gab es auch in jüngster Zeit Beispiele, wo hierarchisch hochstehende Entscheidungsträger sich weigerten, unbequeme und kostspielige Erfahrungen aus vergleichbaren Werken zur Kenntnis zu nehmen. Sie pochen kraft ihrer Stellung auf ihre Kenntnisse und vergessen, dass ihre Erfahrungen oft in der

Tabelle 1. Schutzgrade für den Berührungs-, Fremdkörper- und Wasserschutz für elektrische Betriebsmittel nach DIN 40 050

Erste Kennziffer	*Schutzgrad (Berührungs- und Fremdkörperschutz)*
0	Kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser grösser als 50 mm (grosse Fremdkörper) [1] Kein Schutz gegen absichtlichen Zugang, z.B. mit der Hand, jedoch Fernhalten grosser Körperflächen
2	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser grösser als 12 mm (mittelgrosse Fremdkörper) [1] Fernhalten von Fingern oder ähnlichen Gegenständen
3	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser grösser als 2,5 mm (kleine Fremdkörper) [1 2] Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke grösser als 2,5 mm
4	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser grösser als 1 mm (kornförmige Fremdkörper) [1 2] Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke grösser als 1 mm
5	Schutz gegen schädliche Staubablagerungen. Das Eindringen von Staub ist nicht vollkommen verhindert; aber der Staub darf nicht in solchen Mengen eindringen, dass die Arbeitsweise des Betriebsmittels beeinträchtigt wird (staubgeschützt). [3] Vollständiger Berührungsschutz
6	Schutz gegen Eindringen von Staub (staubdicht) Vollständiger Berührungsschutz

[1] Bei Betriebsmitteln der Schutzgrade 1 bis 4 sind gleichmässig oder ungleichmässig geformte Fremdkörper mit drei senkrecht zueinander stehenden Abmessungen grösser als die entsprechenden Durchmesser-Zahlenwerte am Eindringen gehindert.
[2] Für die Schutzgrade 3 und 4 fällt die Anwendung dieser Tabelle auf Betriebsmittel mit Abflusslöchern oder Kühlluftöffnungen in die Verantwortung des jeweils zuständigen Fachkomitees.
[3] Für den Schutzgrad 5 fällt die Anwendung dieser Tabelle auf Betriebsmittel mit Abflusslöchern in die Verantwortung des jeweils zuständigen Fachkomitees.

Zweite Kennziffer	*Schutzgrad (Wasserschutz)*
0	Kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen tropfendes Wasser, das senkrecht fällt. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Tropfwasser).
2	Schutz gegen tropfendes Wasser, das senkrecht fällt. Es darf bei einem bis zu 15° gegenüber seiner normalen Lage gekippten Betriebsmittel (Gehäuse) keine schädliche Wirkung haben (Schrägfallendes Tropfwasser).
3	Schutz gegen Wasser, das in einem beliebigen Winkel bis 60° zur Senkrechten fällt. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Sprühwasser).
4	Schutz gegen Wasser, das aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel (Gehäuse) spritzt. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Spritzwasser).
5	Schutz gegen einen Wasserstrahl aus einer Düse, der aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel (Gehäuse) gerichtet wird. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Strahlwasser).
6	Schutz gegen schwere See oder starken Wasserstrahl. Wasser darf nicht in schädlichen Mengen in das Betriebsmittel (Gehäuse) eindringen (Überfluten).
7	Schutz gegen Wasser, wenn das Betriebsmittel (Gehäuse) unter festgelegten Druck- und Zeitbedingungen in Wasser getaucht wird. Wasser darf nicht in schädlichen Mengen eindringen (Eintauchen).
8	Das Betriebsmittel (Gehäuse) ist geeignet zum dauernden Untertauchen in Wasser bei Bedingungen, die durch den Hersteller zu beschreiben sind (Untertauchen). [1]

[1] Dieser Schutzgrad bedeutet normalerweise ein luftdicht verschlossenes Betriebsmittel. Bei bestimmten Betriebsmitteln kann jedoch Wasser eindringen, sofern es keine schädliche Wirkung hat.

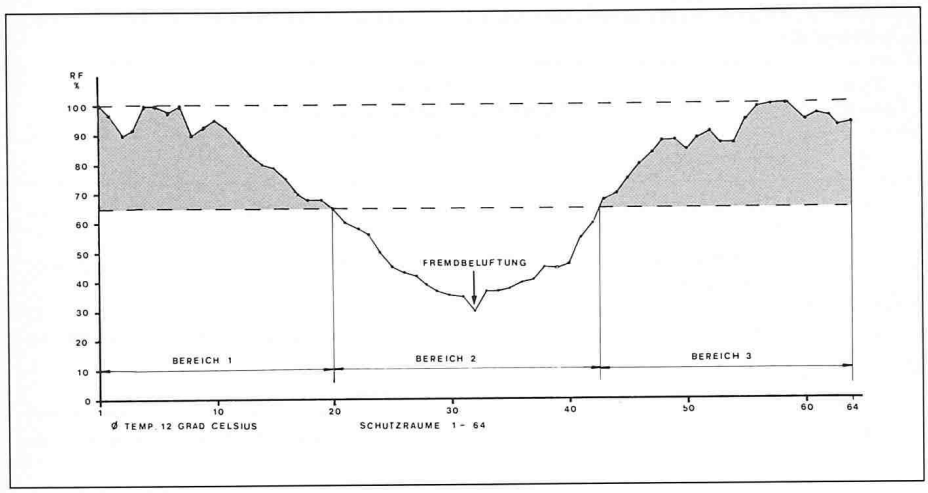


Bild 3. Relative Feuchtigkeit RF[%] in den Schutzstollen

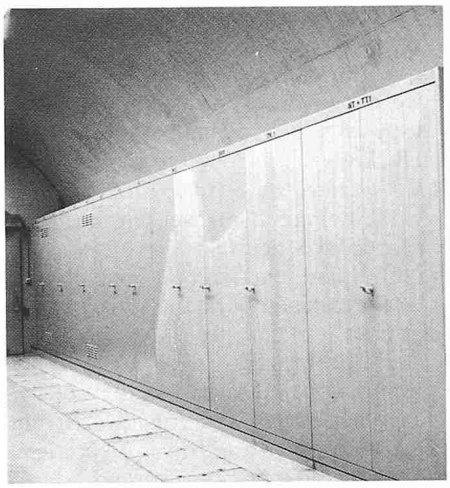


Bild 4. Schaltschränke im Schutzraum

Vergangenheit liegen und durch die technische Entwicklung längst überholt sein können.

Konstruktion

Jede Konstruktion muss unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten für den künftigen Anwendungsbereich ausgelegt werden. Darüber hinaus ist aber auch die optimale Berücksichtigung der betriebseigenen Fertigungsmöglichkeiten wesentlich für die Güte des zu erstellenden technischen Werkes! Was sich unter normalen Betriebsbedingungen tausendfach bewährt hat, kann nämlich unter besonderen Umständen zu einer nicht abreissenden Folge technischer Ärgernisse führen.

Gerade im Bereich elektrischer Schaltschränke werden oft einfache aber grundlegende Erkenntnisse missachtet. zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen:

Bild 6 zeigt die untere hintere Fussrahmenkonstruktion eines elektrischen Apparateschrankes. Ohne die gewählte Konstruktion zu diskutieren, ist besonders die mit drei Pfeilen gekennzeichnete hintere «Tasche» zu beachten. Im Werk des Herstellers wurden alle Schränke gleicher Konstruktion nassgespritzt – für normale Anwendungen bisher bewährt, nicht aber im vorliegenden Fall extremer Betriebsbedingungen. Mit einigermassen vertretbaren Arbeitskosten, die ja zu einem wesentlichen Teil den in der Submission eingerichten Angebotsbetrag bestimmen, ist es praktisch nicht möglich, in der Tasche eine auch nur bedingt dauerhaft korrosionsschützende Beschichtung aufzubringen. Das massive Abkantprofil ist deshalb auch schon nach kurzer Zeit, ausgehend von der Tasche, von innen nach aussen durchgerostet.

Dieses Beispiel ist geradezu typisch für die fehlende Koordination der Konstruktion mit den betriebsinternen Fertigungsmöglichkeiten. Lassen sich solche Taschen nicht vermeiden, so sind sie entweder in aufwendiger Handarbeit zu beschichten oder dann ist anstelle des Nassspritzens das Fluten anzuwenden.

Bild 7 zeigt die mit Stichnähten verschweissten Abkantprofile eines elektrischen Apparateschrankes. Die Beschichtung wurde in Zweikomponententechnik nass aufgespritzt und anlässlich der technischen Werkabnahme akzeptiert. Bereits nach kuzer Betriebszeit führte die in den (verschwindend kleinen) Überlappungstaschen eingedrungene Feuchtigkeit jedoch zur grossflächigen Unterrostung der Beschichtung und zum Teil zu einer erheblichen Schwächung der Schweissnähte.

Beschichtung

Die Korrosionsschutztechnik hat in den vergangenen Jahren eine starke Entwicklung zu verzeichnen. Selbst Fachleute, die sich nicht intensiv genug mit ihr auseinandersetzen, verlieren nach kurzer Zeit den Überblick und sind kaum noch in der Lage, die für den Fall extremer Betriebsbedingungen optimale Beschichtung zu bestimmen und aufzubringen. In Tabelle 2 vermittelt die vereinfachte Systematik einen Überblick über die Möglichkeiten des Korrosionsschutzes.

Bild 5. Kondenswasserbildung und Verschimmelung in den Schaltschränken

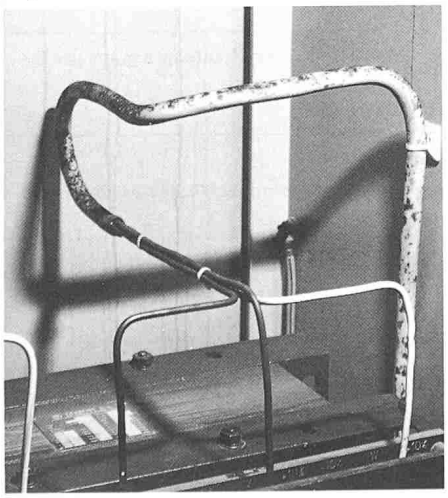


Bild 6. Kondenswasserbildung und Verschimmelung im Fussrahmen eines Apparateschranks

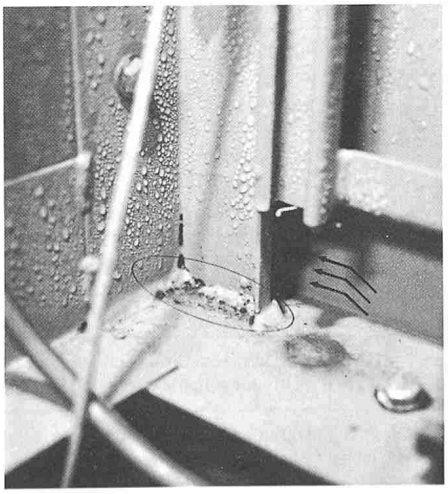
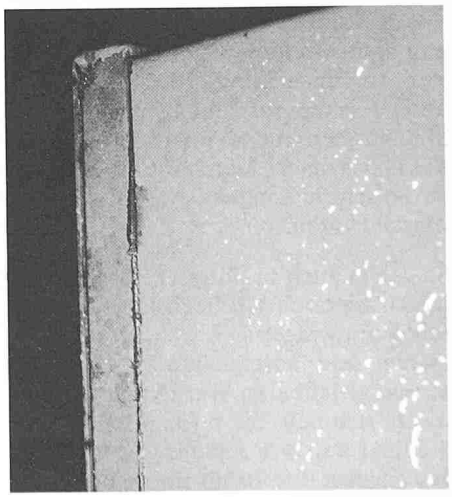


Bild 7. Unterrostung der Beschichtung an verschweissten Abkantprofilen



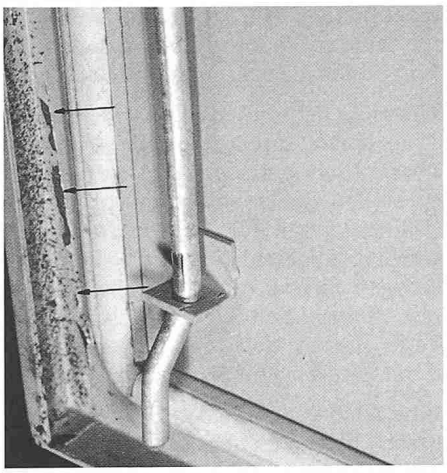


Bild 8. Partielle Durchrostung unter einer Beschichtung

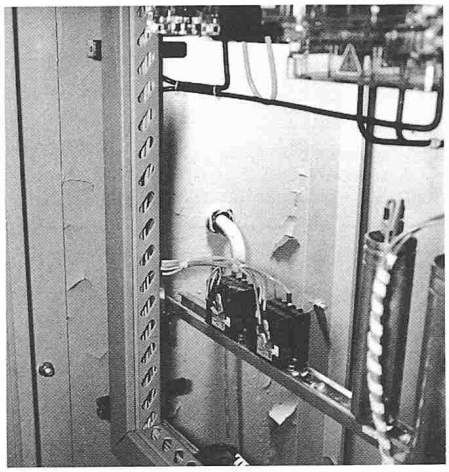


Bild 9. Rissbildung und teilweise Ablösung der Beschichtung

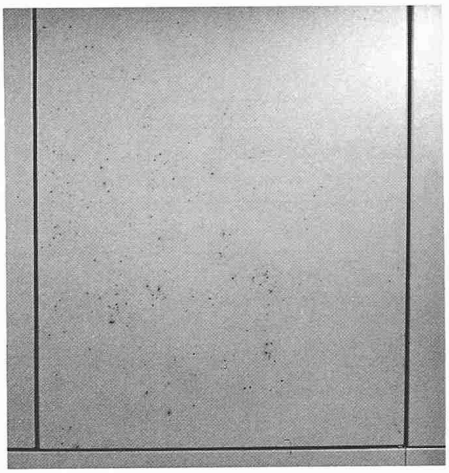


Bild 10. Punktuelle Durchrostung

Die als Beispiel bereits einleitend genannten 900 Apparateschränke wurden aus Kapazitätsgründen entweder in Zweikomponententechnik auf Epoxybasis nass- oder pulverbeschichtet.

Nach kurzer Betriebsdauer traten jedoch Korrosionsschäden auf, die sich drei charakteristischen Schadensgruppen zuordnen lassen:

- Bild 8 zeigt die Unterrostung und bereits partielle Durchrostung einer in Zweikomponenten-Nassspritztechnik aufgebrachten Beschichtung in sehr feuchter Umgebung nach den Bereichen 1 und 3 in Bild 3.
- Bild 9 zeigt die Rissbildung und teilweise Ablösung einer in Zweikomponenten-Nassspritztechnik applizierten Beschichtung in trockenen Räumen nach Bereich 2 in Bild 3.
- Bild 10 zeigt die punktuelle Durchrostung einer in Pulvertechnik aufgebrachten Beschichtung.
- Bild 11 zeigt ausschnittweise eine 25fache Vergrösserung aus Bild 10.

Das vollständige Schadenvolumen wurde in einem detaillierten Schadenkataster nach Umfang und Charakteristik erfasst.

Die genaue Untersuchung der Korrosionsprodukte mit Röntgeninterferenz- und Spektralanalyse ergab folgendes Bild:

- grosse Mengen Geothit, α-FeOOH;
- beträchtliche Mengen Ferrit, α-Fe, Lepidocrocit, γ-FeOOH, Magnetit, $Fe_3/4$, Rutil, TiO_2;
- geringe Mengen Baryt, $BaSO_4$.

Zusätzlich liessen sich folgende Elemente in nichtidentifizierter Bindungsform feststellen:

- grosse Mengen Silicium;
- beträchtliche Mengen Chrom;
- geringe Mengen: Magnesium, Aluminium, Calcium, Mangan, Nickel, Chlor, Kobalt, Zirconium, Molybdän, Blei.

Darüber hinaus wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Salzsprühbadtest nach DIN 50 021,
- Kesternichtest nach DIN 50 018,

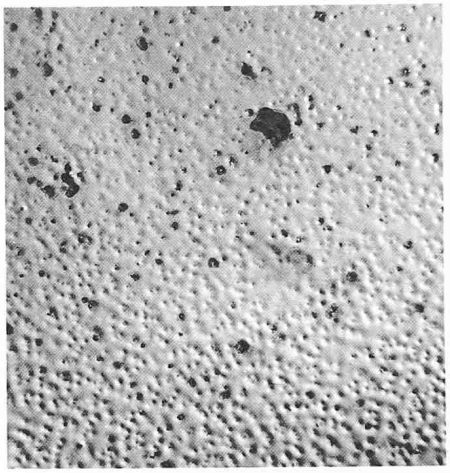


Bild 11. Vergrösserter Ausschnitt aus Bild 10

- Schwitzwassertest nach DIN 50 017,
- Gitterschnittest nach DIN 53 151,
- Dornbiegetest nach DIN 53 152,
- Ritzprüfungstest nach ISO 1518,
- Unterwanderungstest nach DIN 53 167.

Die Folgerungen aus den Analysen und vorliegenden Tests haben schlussendlich zu einer den extremen Betriebsbe-

Bild 12. Hydraulisches Anheben der Apparategestelle, Detail

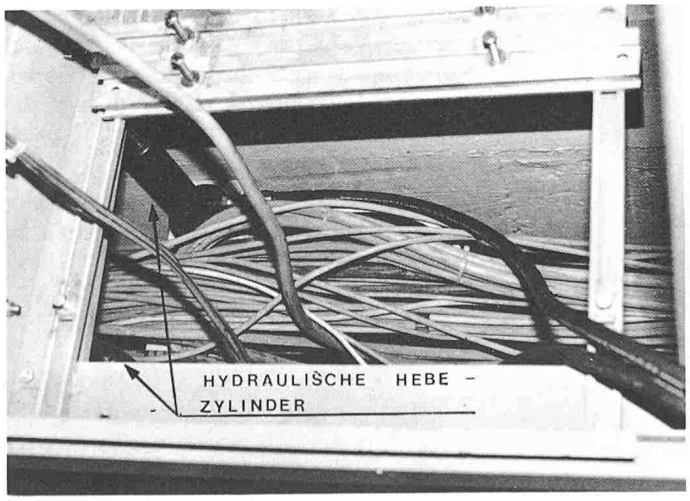
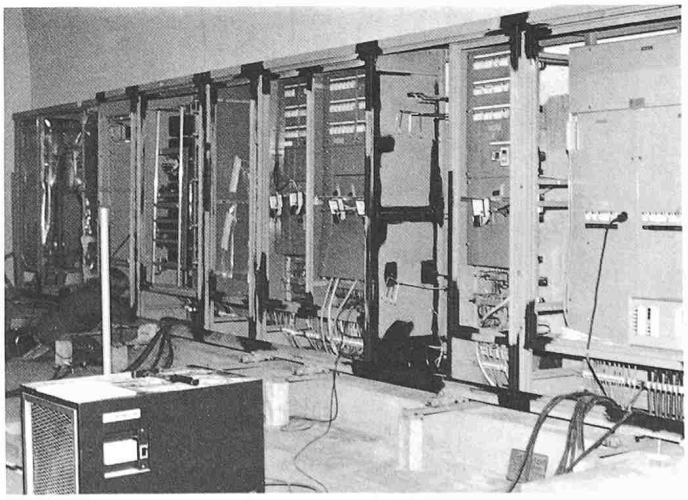


Bild 13. Hydraulisches Anheben der Apparategestelle, Übersicht



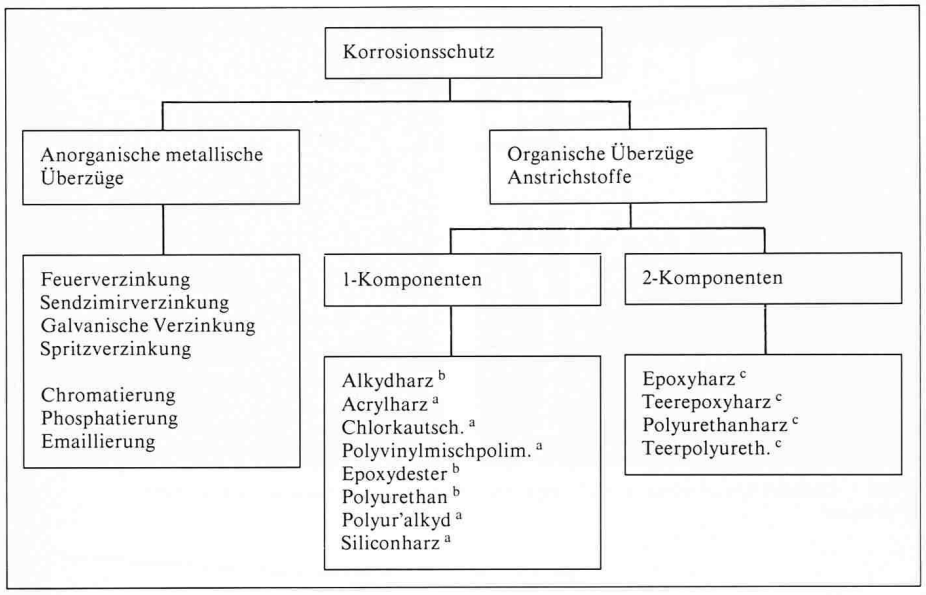


Tabelle 2. Möglichkeiten des Korrosionsschutzes; a unvernetzt, physikalisch; b vernetzend, atmosphärisch; c vernetzend, chemisch

dingungen genügenden Beschichtungstechnologie geführt. Vom Bauherrn wurden sehr weitgehende Garantieforderungen – unter anderem 5 Jahre nach Sanierung bzw. Abnahme – erhoben.

Für demontierbare Teile wie Türen, Seiten- und Rückwände sowie Rahmen wurde folgende Sanierungstechnologie angewandt:

Arbeitsstufe 1:
Die Bleche werden mit einem geeigneten Strahlgut auf die vorgegebene Aufrauhtiefe x sandbestrahlt.

Arbeitsstufe 2:
Als Grundierung wird eine Zweikomponentenschicht aus Chromatgrund und entsprechendem Dickschichtenhärter mit einer Schichtstärke von $x + y$ appliziert.

Arbeitsstufe 3:
Stossfugen und Überlappungen werden chemisch vorbehandelt und mit einer farbverträglichen Spezialkittmasse ausgestrichen.

Arbeitsstufe 4:
Eine Zweikomponentenstrukturierung aus Strukturgrund und Strukturgrundhärter wird in geeigneter Schichtdicke aufgebracht.

Arbeitsstufe 5:
Eine Zweikomponenten-Decklackierung aus Emaillack und entsprechendem Härter wird appliziert.

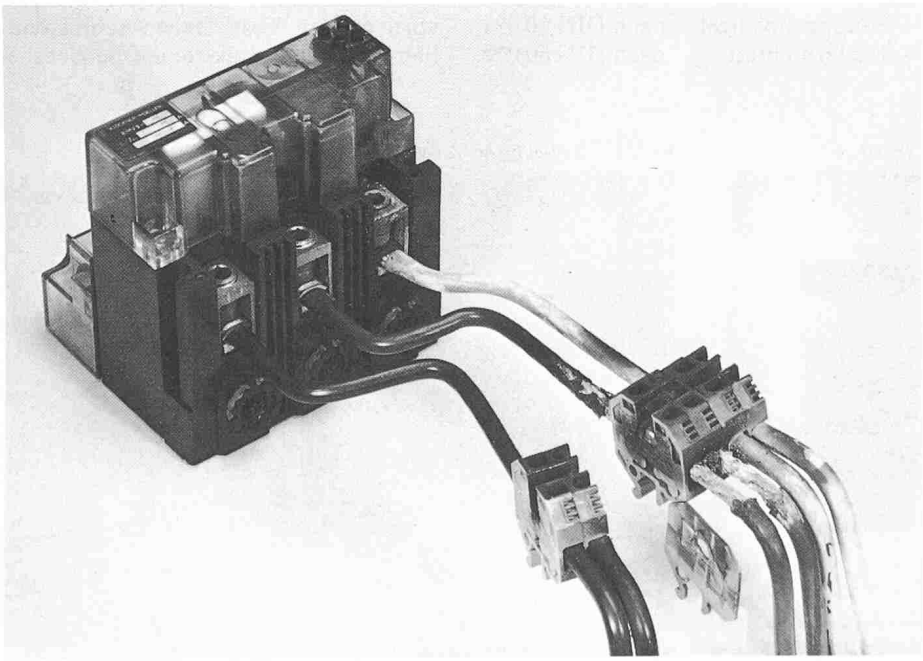
Für die Arbeitsstufen 2 bis 5 ist die vorgegebene Zeitfolge genau und unter peinlicher Beachtung von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit einzuhalten. Mit speziellen Messgeräten wurden dauernd Schichtdicke und Porendichte geprüft und protokolliert.

Die nicht demontierbaren Teile – bis zu 15 m lange Apparategestelle – wurden hydraulisch gehoben und auf einem speziellen Schienensystem vorgezogen (Bilder 12 und 13). Schadhafte Stellen wurden abgeschliffen und Durchrostungen mit Hartlot ausgebessert. Die mit Spezialmennige vorgestrichenen Teile liessen sich anschliessend nach Arbeitsstufen 3 bis 5 sanieren.

Eine nach vorstehenden Erkenntnissen beschichtete Versuchsanlage wurde bisher während nahezu vier Jahren extremen Umweltbedingungen – bis zu 100% relative Feuchte – ausgesetzt. Bisher konnte man nicht die geringsten Korrosionsansätze feststellen.

Alle Sanierungsarbeiten, inklusive die Auswechslung von über 4200 Leitungsschutzschaltern und verschiedenen elektrischen Apparaten, wurden ohne nennenswerte Betriebsunterbrechungen und zu einem wesentlichen Teil unter Spannungen bis zu 1000 V durchgeführt. Bild 14 zeigt einen korrodierten Thermoblock sowie infolge hoher Luftfeuchtigkeit und Verschmutzung durch Kriechströme beschädigte Klemmen aus dem 1000-V-Netz. Dank einer ausgesuchten und betreuten Mannschaft hat sich während der mehrjährigen Sanierungsdauer kein Unfall ereignet.

Bild 14. Korrodierter Thermoblock mit beschädigten Klemmen



Schlusswort

Die Industrie stellt heute für die weitaus meisten Anwendungsfälle geeignete Korrosionsschutzsysteme zur Verfügung. Normalerweise macht ihre Applikation keine besonderen Probleme. Für besondere Betriebsbedingungen kann jedoch das optimale Schutzsystem oft nur aufgrund genauer Kenntnis der Fertigungseinrichtungen, der Konstruktion und der Montagebedingungen sowie unter Berücksichtigung ergänzender chemischer- und physikalischer Versuche ermittelt werden. Zunehmend wird die Wahl des Korrosionsschutzsystems auch durch die strengen Bestimmungen des Giftgesetzes beeinflusst.

Im Verhältnis zu möglichen Folgekosten, die leicht das Zwei- bis Dreifache der ursprünglichen Fakturationssumme erreichen können, lohnt es sich, erfahrene und unabhängige Berater hinzuzuziehen.

Adresse des Verfassers: *Friedrich Schneider*, dipl. Ing. ETH/SIA/HTL, Schneider + Partner AG, Unternehmensberatung / Ingenieurbüro / Expertisen, 6006 Luzern-Seeburg.