

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 61 (1970)
Heft: 13

Rubrik: Mitteilungen SEV

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 27.04.2025

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

Aus der Tätigkeit der Korrosions-Kommission

Dem ursprünglichen Arbeitsgebiet der Korrosions-Kommission, dem Schutz erdverlegter, metallischer Leitungen und anderer Konstruktionen gegen Korrosion unter Einwirkung äusserer Gleichströme, hat sich schon vor mehreren Jahren ein weiteres hinzugesellt: Der Korrosionsschutz durch Gleichstrom, bezeichnet als kathodischer Schutz. Diese in der Schweiz noch vor wenigen Jahren nur sporadisch angewandte Massnahme hat sich inzwischen gemäss den günstigen in- und ausländischen Erfahrungen zu einem auch für grössere, anspruchsvolle Objekte unentbehrlichen Schutzverfahren herausgebildet.

Die Korrosionskommission sah sich deshalb genötigt, alle Fragen, welche sich im Zusammenhang mit dem kathodischen Schutz ergeben und auch Interessen Dritter berühren, zu behandeln und hierüber Richtlinien herauszugeben. Ebenso führte die Entwicklung nicht elektrisch leitender Rohrwerkstoffe dazu, dass sich bezüglich Erdungsfragen neue Probleme, welche auch die Korrosion berühren, ergaben.

Über einige praktische Aspekte dieser Aufgaben der Korrosions-Kommission, welche auch allgemeine Interessen der Elektrizitätswirtschaft berühren, soll nachfolgend berichtet werden.

1. Allgemeine Gesichtspunkte der Korrosion

Im Gegensatz etwa zur Erosion oder Abrasion, bei welcher von einer metallischen Konstruktion Metall als solches abgetragen wird, erfolgt bei der Korrosion der Abtrag von der Oberfläche her durch Umwandlung des metallischen Zustandes in den nicht metallischen Zustand. Die in Gegenwart eines Elektrolyten ablaufenden Reaktionen sind elektrochemischer Natur. Die sich rein äusserlich unterscheidenden Wirkungen der Korrosion sind praktisch ausschliesslich auf die Grösse der Dimensionen, über welche sich die Reaktion abspielt, zurückzuführen.

Erfolgt der Stoffumsatz über atomare oder molekulare Bereiche oder die Bezirke der Mikrokristallite, z. B. beim Angriff durch ein aggressives Medium, wird meist ein flächenhafter Abtrag die Folge sein, wobei die entstehenden Korrosionsprodukte schützende Deckschichten bilden können, welche den weiteren Abtrag soweit hemmen, dass ein Metall in der betrachteten Umgebung als beständig angesehen werden kann. Spielt sich dagegen die elektrochemische Reaktion über grössere Distanzen ab, so ist eine wichtige Voraussetzung für einen diskreten Angriff gegeben, den sog. Lochfrass.

In natürlich vorkommenden Böden oder Gewässern verläuft der erste Schritt des Korrosionsvorganges nach folgendem Schema:



d. h. ein Eisenatom geht in ein zweifach-positiv geladenes Eisenion über unter Abgabe von zwei Elektronen. Werden diese nicht aus dem System entfernt, stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, wie beispielsweise an einem in Brunnenwasser, welches keinen gelösten Sauerstoff enthält, gestellten Eisenstab: Die entstandenen Elektronen bewirken eine gegenüber dem Wasser negative Ladung, wobei die positiven Eisenionen durch Coulombsche Anziehung festgehalten werden.

Das sich hierbei einstellende, negative Potential ist, wird von Polarisationserscheinungen abgesehen, abhängig von der Natur des Metalles und der Art des Elektrolyten. Bei definierter Metallionen-Konzentration ist das sich einstellende Potential umso negativer, je unedler das Metall ist (Spannungsreihe der Metalle).

Der genannte Gleichgewichtszustand wird gestört, wenn Elektronen ab- oder zugeführt werden. Die Ableitung von Elektronen hat zur Folge, dass die Korrosion gemäss Reaktion I. fortschreitet. Die Ableitung kann entweder elektrisch erfolgen, z. B. beim elektrischen Zusammenschluss mit einem elektro-positiveren Metall oder durch chemische Depolarisation. Hier ist, stets unter natürlichen Bedingungen, folgende Reaktion von Bedeutung:



d. h. der im Wasser gelöste Luftsauerstoff wird zu Hydroxyionen reduziert, wobei gemäss Reaktion



die chemische Reaktion unter Bildung von Eisenhydroxyd, des ersten Produktes der Rostbildung, erfolgt.

Die Depolarisation kann aber auch rein elektro-chemisch, d. h. bei Abwesenheit von Sauerstoff am Gegenpol unter Bildung von Hydroxyionen und damit der Bildung von Eisenhydroxyd erfolgen.

Die Reaktion gemäss I. ist umkehrbar. Wird dem Gleichgewichtspotential ein negativeres Potential aufgedrückt, werden in dem betrachteten Beispiel die Eisenionen entladen unter Rückbildung metallischen Eisens.

Grundsätzlich gilt dieses am Beispiel des Eisens erklärte Schema für alle Metalle bei der Korrosion in einem Elektrolyten.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass bei positiver Verschiebung des für jedes Metall spezifischen Eigen- oder Gleichgewichtspotentiales ein Abtrag, d. h. Korrosion, erfolgt, und bei negativer Verschiebung das Metall nicht mehr angegriffen wird, bzw. kathodisch geschützt ist, dieses allerdings mit Einschränkungen bei sehr unedlen Metallen wie Aluminium oder Magnesium.

Da bei der Ableitung von zwei Elektronen ein Eisenatom korrodiert wird, ist der hiebei fliessende Strom ein direktes Mass für die Korrosionsgeschwindigkeit. Dabei werden pro mA und Jahr austretenden Strom 9...10 g oder rund 1,2 cm³ Eisen abgetragen. Bei gegebener Potentialverschiebung ist demnach der dann fliessende Strom durch den Widerstand, d. h. durch den Übergangswiderstand Metall—Elektrolyt gegeben. Das folgende Beispiel möge zeigen, welche praktischen Auswirkungen eine positive Potentialverschiebung an einer erdverlegten Stahlkonstruktion haben kann.

Eine in Erde verlegte Stahlleitung mit isolierendem Schutzbelag weise an diesem einen kreisrunden Defekt von 1 cm² oder im Durchmesser $D \approx 1,2$ cm auf. Die mit der Fehlstelle im Kontakt stehende Bettung, z. B. Lehm, weise einen spezifischen Widerstand ρ von 1000 Ωcm auf. Die positive Potentialverschiebung betrage 200 mV. Der Übergangswiderstand R_{ii} ist dann:

$$R_{ii} = \frac{\rho}{2D} = \frac{1000}{2,4} \approx 420 \Omega$$

und damit der Strom:

$$I = \frac{0,2}{420} \approx 0,5 \text{ mA}$$

Nun tragen pro Jahr 0,5 mA Strom 0,6 cm³ Eisen oder von der Rohrwand 6 mm Stahl ab. Ein Stahlrohr von dieser Wandstärke kann demnach unter vorliegenden Bedingungen in einem Jahr perforiert werden.

Wäre dieses Rohr statt in Lehm z. B. in Sand mit einem spezifischen Widerstand von rund 20 000 Ωcm gelegt worden, so wäre der Übergangswiderstand zwanzigmal grösser, der dann fliessende Strom zwanzigmal geringer und damit die Lebensdauer des Rohres um diesen Betrag grösser gewesen. Bei gegebener Potentialbeeinflussung ist die Art der Bettung, welche die Stromdichte bestimmt, demnach von wesentlicher Bedeutung.

2. Der kathodische Schutz erdverlegter, metallischer Anlagen

2.1 Der Begriff des Schutzpotentials

Da die Korrosion gemäss dem genannten Beispiel primär nur davon abhängt, welchen Betrag die Verschiebung des natürlichen Potentials in positiver Richtung aufweist, kann die Korrosion grundsätzlich durch eine Steuerung des Objektpotentials beeinflusst werden.

Wie erwähnt, ist das natürliche Potential für ein gegebenes Metall noch von der Natur des Elektrolyten bzw. der feuchten Erdbettung abhängig.

In anäroben Böden mit zusätzlicher biologischer Sulfatreduktion kann Stahl ein natürliches Potential bis -950 mV annehmen, in gewöhnlichem Lehm bis etwa -800 mV, in durchlässi-

gem Boden bis etwa -600 mV, in Sand und Kies bis etwa -500 mV, und in stark alkalischem Milieu, wie etwa in Beton, $-200\text{...}-50$ mV.

Da besonders in der Schweiz die Bodenverhältnisse sich schon über wenige Meter ändern können, ist mit allen natürlich möglichen Eigenpotentialen zu rechnen. Um einen umfassenden Schutz zu erreichen, muss deshalb das Potential über den möglichen negativsten Wert verschoben werden. Dieses bis zu einem ausreichenden, negativen Wert künstlich verschobene Potential wird als Schutzpotential bezeichnet. Die Messung dieser Potentiale erfolgt gegen eine Bezugs elektrode, d. h. eine sog. Halbzelle, welche bezüglich Metall und Elektrolyt definiert ist. Für solche Zwecke wird heute fast ausschliesslich die gesättigte Cu/CuSO₄-Elektrode verwendet, auf welche auch alle folgenden Potentialwerte bezogen sind.

Das Schutzpotential kann als ausreichend betrachtet werden, wenn, stets gegen die Cu/CuSO₄-Elektrode gemessen, das Potential der zu schützenden Konstruktion nicht positiver als $-1,0$ V ist.

2.2 Praktische Möglichkeiten des kathodischen Schutzes

Die erforderliche Potentialabsenkung kann grundsätzlich auf folgende Weise erreicht werden:

Die einfachste Art, ein Objekt kathodisch zu schützen, besteht darin, dass die zu schützende Konstruktion mit einem genügend elektronegativen Metall wie Magnesium oder Zink, ebenfalls in Erde verlegt, elektrisch verbunden wird. Entsprechend dem Schutzstrombedarf und den Übergangswiderständen vom zu schützenden Objekt und der sog. Opferanode wird sich ein Mischpotential einstellen, wobei die Opferanode dem zu schützenden Objekt das negative Schutzpotential aufdrückt. Entsprechend dem aufzuwendenden Schutzstrom erfolgt ein Abtrag der Anode. Diese Schutzart ist in der Regel nur für kleinere Objekte geeignet und versagt, wenn die zu schützende Konstruktion Beeinflussungen durch Streuströme unterworfen ist.

Bei der zweiten, heute für grössere Objekte praktisch ausschliesslich angewandten Methode wird der erforderliche Schutzstrom mittels Gleichrichter erzeugt und über eine möglichst unangreifbare, genügend dimensionierte Anode, ebenfalls in Erde verlegt, eingespeist.

Bei starken Streustrombeeinflussungen durch Gleichstrombahnen ist es möglich, den erforderlichen Schutzstrom der momentanen Beeinflussung anzupassen, indem bei positiver werdendem Rohrpotential der Schutzstrom durch elektronische Steuerung entsprechend erhöht oder umgekehrt verringert wird, eine Möglichkeit, von welcher heute oft Gebrauch gemacht wird.

Bei genügend geringem elektrischem Längswiderstand des zu schützenden Objektes können von einem Schutzgleichrichter Abschnitte mit Längen bis 50 km oder mehr kathodisch geschützt werden.

2.3 Der Schutzstrom

Damit auf dem zu schützenden Leitungsabschnitt ein ausreichendes Schutzpotential aufrecht erhalten werden kann, ist ein bestimmter Schutzstrom erforderlich. Bei sehr schlecht oder nicht gegen die Bettung elektrisch isolierten Objekten erreicht der Schutzstrom rasch Werte, welche unwirtschaftlich sind. Hohe Schutzströme haben aber noch einen weiteren, schwerwiegenden Nachteil: Die ungünstige Potentialbeeinflussung benachbarter, erdverlegter Anlagen Dritter. Um derartige Beeinflussungen zu verhindern, ist alles vorzukehren, um den Schutzstrom-Bedarf gering zu halten. Dies setzt zunächst voraus, dass das kathodisch zu schützende Objekt konsequent gegen alle anderen, geerdeten Hilfsanlagen elektrisch aufgetrennt wird. Dies geschieht in der Regel durch in die Leitung eingebaute Isolierstösse.

Der Schutzstrombedarf ist ferner abhängig von der zu schützenden Oberfläche. Diese wird durch Aufbringen eines isolierenden Schutzbelages soweit verringert, dass nur noch wenig, akzidentelle Fehlstellen im Schutzbelag eines Schutzes bedürfen. Hierbei ist nicht nur die Frage eines dichten Schutzbelages von Bedeutung, sondern auch die Forderung, dass die Rohrumhüllung nicht später z. B. durch eine ungeeignete Rohrbettung Verletzungen erleide, oder durch Alterung porös werde.

Bei einigermaßen sorgfältiger Arbeitsweise ist es möglich, z. B. mit der klassischen Glasfaser-Bitumenummüllung mittlere Isolationswerte, gemessen mit dem erforderlichen Schutzstrom gegen die Rohrbettung, von $20\text{...}100$ kΩm² zu erhalten, entsprechend einem Schutzstromaufwand von $10\text{...}50$ μA/m². Damit kann ein Leitungsabschnitt einer Rohrleitung von etwa 32 cm ϕ , oder 1 m² Oberfläche pro Laufmeter, von 50 km Länge (Schutzabschnitt) mit $0,5\text{...}2,5$ A kathodisch geschützt werden. Moderne Kunstharzisolierungen, z. B. auf der Basis von Polyäthylen, können bei sorgfältiger Verlegung noch bis zehnmal bessere Werte ergeben.

2.4 Fragen der Beeinflussung durch Hochspannungsleitungen

Es darf nicht verschwiegen werden, dass die aus den genannten Gründen anzustrebende, möglichst gute Isolation bezüglich anderen Anforderungen Nachteile aufweist. Befindet sich eine Rohrleitung im Bereich von Hochspannungsleitungen, so können bei allfälligen Erdschlüssen der Polleiter durch Induktion oder direkte Ableitung an der Rohrleitung Spannungen von mehreren tausend V auftreten, welche des geringen Erdübergangs-Widerstandes wegen über weite Strecken verschleppt werden. Ähnliche Beeinflussungen sind durch atmosphärische Entladungen möglich. Beim Auftreten derart hoher Überspannungen ist die kathodisch geschützte Anlage, ganz abgesehen vom Auftreten gefährlicher Berührungsspannungen, in verschiedener Weise gefährdet: Die Isolierstösse werden durchschlagen, Gleichrichter beschädigt, Nebenanlagen geraten unter Spannung mit möglichen Brand- oder Explosionsgefahren, oder es können Überschläge auf Fernwirkkabel erfolgen usw. Sofern nicht schon bei der Trasse-Wahl auf diese Gefährdungen Rücksicht genommen werden kann, sind Schutzmassnahmen erforderlich, welche in der Regel den Einbau von geeigneten Überspannungsableitern oder passive Massnahmen wie Standortisolation verlangen. Diesbezüglich hat eine Kommission des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) Richtlinien betreffend «Sicherheitsmassnahmen bei der Annäherung von Starkstromanlagen an Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- und Treibstoffe» herausgegeben. Hierzu ist festzustellen, dass sich einige der genannten Gefährdungen ganz unabhängig vom Transportgut natürlich an jeder kathodisch geschützten, d. h. gegen Erde elektrisch aufgetrennten Leitung ergeben.

Bezüglich des kathodischen Schutzes sei in diesem Zusammenhang noch an die Entwicklung erdverlegter Druckgas-Hochspannungskabel erinnert, deren Druckmantel wohl aus Stahl bestehen wird. Ein kathodischer Schutz dieses Mantels gegen Aussenkorrosion wird dann unumgänglich sein.

2.5 Richtlinien der Korrosionskommission

Der in der Schweiz in den letzten Jahren rasch einsetzende Bau von Fernleitungen für Öl und Gas und die damit verbundene Fragen des kathodischen Schutzes konfrontierte die Korrosionskommission mit der Notwendigkeit, zum wirksamen Schutz der Anlagen selbst und der Wahrung Interessen Dritter, Mindestanforderungen aufzustellen. Die technisch sehr komplexe Materie des kathodischen Schutzes setzt ausserdem gewisse praktische Erfahrungen voraus, insbesondere über die wirtschaftliche Tragbarkeit verschiedener Schutzmassnahmen, Erfahrungen, über welche zunächst nur in sehr bescheidenem Umfang verfügt werden konnte.

Die Korrosionskommission hatte nicht zuletzt aus diesen Gründen zunächst provisorische Richtlinien herausgegeben, um abzuklären, wie weit sie sich in der Praxis mit einem vernünftigen Aufwand durchführen lassen. Auf Grund der inzwischen gewonnenen Erfahrungen zeigte sich, dass einige Begriffe, z. B. die Güte der Rohrumhüllung, neu zu formulieren waren, und einige Schutzwerte, vorweg das wichtige Kriterium des kathodischen Schutzes, das Schutzpotential bezüglich der praktischen Messung, genauer zu definieren waren.

Die 1969 von der Korrosionskommission herausgegebenen «Richtlinien für Projektierung, Ausführung und Betrieb des kathodischen Schutzes von Rohrleitungen» berücksichtigen die genannten Erkenntnisse und wurden für die der Aufsicht des Bundes unterstellten Rohrleitungen als verbindlich erklärt. Den Kan-

tonen wird empfohlen, die vorliegenden Richtlinien ebenfalls für die ihrer Aufsicht unterstellten Leitungen anzuwenden.

Sofern durch den katholischen Schutz Interessen Dritter tangiert werden, wie z. B. ungünstige Potentialbeeinflussung mit entsprechender Gefährdung, müssen sich alle Besitzer katholisch geschützter Anlagen darüber im klaren sein, dass sie bei auftretenden Schäden, zurückzuführen auf derartige Immissionen, haftpflichtig werden. Die bei unzulässigen Beeinflussungen durchzuführenden Schutzmassnahmen erfordern die Mitarbeit und Zustimmung aller Beteiligten.

3. Korrosionsfragen im Zusammenhang mit Erdungen

Die Erdung an ein bestehendes, metallisches Wasserleitungsnetz ist ohne Zweifel als eine fast ideale Lösung anzusehen. Begreiflicher Weise sind deshalb alle Besitzer von erdender Anlagen an der Erhaltung eines metallischen Wasserleitungsnetzes interessiert. Schwierigkeiten ergeben sich dann, wenn an Orten ohne Wasseranschluss kein Wasserleitungsnetz zur Verfügung steht oder das Leitungsnetz aus elektrisch isolierenden Werkstoffen, wie Kunststoffen, Asbestzement u. a. erstellt wird. In diesen Fällen sind besondere Erder zu erstellen. Wird als Erdmaterial Kupfer verwendet, ergeben sich an Anlagen Dritter die schon mehrfach erwähnten Gefährdungen durch galvanische Elemente.

Das natürliche Potential von Kupfer, gegen die genannte Cu/CuSO₄-Elektrode gemessen, beträgt in Abhängigkeit der Zusammensetzung der Bettung etwa 0...—100 mV und ist damit um mehrere 100 mV positiver als Stahl. Beim elektrischen Zusammenschluss derartiger Anlagen erfahren Stahlleitungen oder ungenügend geschützte Bleimantelkabel eine positive Potentialbeeinflussung mit der unter 1. genannten Möglichkeit des Auftretens von Korrosionsschäden. Alljährlich müssen mehrere solche Schäden, soweit sie überhaupt bekannt sind, durch die Korrosionskommission abgeklärt werden. In vielen Fällen sind dann Korrosionsursache und vorliegende Situation fast identisch: Die Hauswasserzuleitung wird dort durch Korrosion perforiert, wo der nackte Blitzschutzleiter an die Wasserleitung angeschlossen ist.

Auf Seite der Wasserleitungsverlegung führt oft folgender Umstand noch zu einer Verschärfung der Situation: Die in der Regel galvanisierten Stahlleitungen werden neuerdings fast ausschliesslich mit isolierenden Schutzhüllungen versehen. In der Meinung, die Schutzhüllung stelle einen umfassenden Korrosionsschutz dar, wird bei der Einbettung vielfach überhaupt keine Sorgfalt mehr beobachtet; Steine, aggressives Material, wie Lehm u. a., werden direkt in den Graben eingefüllt. Damit wird zwangsläufig die Rohrhüllung verletzt, womit bei leitfähigem Bettungsmaterial an den kleinen Fehlerstellen alle Voraussetzungen für eine grosse Stromdichte und damit eine rasch fortschreitende Korrosion gegeben sind. Eine Abhilfe ist bei derartigen Beeinflussungen grundsätzlich nur möglich, wenn auf elektropositive Erdmetalle wie Kupfer verzichtet wird. Damit stellt sich aber gleichzeitig die Frage, welches Material an Stelle von Kupfer zu verwenden sei.

Im Ausland wird heute für diesen Zweck fast ausschliesslich stark verzinktes Stahlband verwendet. Diese Frage wurde auch in der Erdungskommission des SEV behandelt, wobei die Vor- und Nachteile verzinkter Stahlbänder diskutiert wurden.

Die im Vordergrund stehende Frage einer ausreichenden Korrosionsbeständigkeit kann noch nicht abschliessend beantwortet werden. Eine Arbeitsgruppe der Erdungskommission hat es unternommen, praktische Versuche mit geeignet scheinenden Erdmaterialien durchzuführen. Diese Versuche sind noch im Gang.

Ein weiterer Vorschlag, den Korrosionsschutz von Erdern betreffend, der in Deutschland schon ziemliche Verbreitung gefunden hat und auch in der Schweiz zur Diskussion steht, beruht auf folgenden Überlegungen:

In Beton gelegter Stahl ist, wie die praktische Erfahrung beweist, normalerweise keiner Korrosion unterworfen. Zum Schutz von Bauwerken gegen gefährliche Überspannungen, d. h. zur Erdung, wird ein unbehandeltes Eisenband etwa 20 cm über dem gewachsenen Boden in das Fundament einbetoniert: der sog. Fundamenterder. Über dem feuchten Boden bleibt infolge seiner noch schwach porösen, saugfähigen Struktur auch der Beton und damit der Erder feucht und behält damit einen genügend geringen Übergangswiderstand. Diese Lösung wäre als weitgehend ideal zu bezeichnen, wenn ein solcher Erder nicht wieder zur Bildung galvanischer Elemente mit anderen, erdverlegten Anlagen Anlass gäbe.

Wie unter 2. erwähnt wurde, erfährt Stahl in alkalischer Umgebung wie Beton eine anodische Passivation, wobei das natürliche Potential des Stahles in Abhängigkeit der Alkalinität (pH), bedingt durch die Menge des Zementzuschlages, Werte zwischen etwa —50...—200 mV annimmt und demnach potentialmässig nicht viel besser als Kupfer ist.

Dass Schäden unter Einwirkung der Potentialdifferenz zwischen Armierungseisen und erdverlegten Stahlkonstruktionen möglich sind, konnte man schon verschiedentlich feststellen: Bei Gebäuden, welche aus Gründen der statischen Festigkeit oder der Abdichtung gegen Grundwasser armierte Kellerwannen aufweisen, also armierte Betonkonstruktionen, welche in Kontakt mit dem feuchten Erdboden stehen, werden häufig Schäden an Hauswasserleitungen dann festgestellt, wenn diese über irgendeine zufällige, oder aus Gründen der Verhinderung von gefährlichen Spannungsdifferenzen (elektrische Vermaschung) bewusst hergestellte Verbindung in elektrischem Kontakt mit den Armierungseisen steht.

Wie praktische Erfahrungen mit Fundamenterdern im Ausland zeigen, kann nur dann ein sicherer Betrieb gewährleistet werden, wenn:

- Alle Wasserleitungen aus elektrisch nicht leitendem Material erstellt sind.
- Die Stahlgasleitungen unmittelbar nach ihrem Eintritt mit einem Isolierstoss aufgetrennt sind,
- Andere metallische Zuleitungen (Bleimantelkabel) durch isolierende Überzüge ausreichend geschützt sind.

Da diese Bedingungen in der Schweiz, vorläufig wenigstens, nur sehr bedingt realisierbar sind, darf einer allgemeinen Einführung der Fundamenterder nur mit Vorbehalten zugestimmt werden.

Adresse des Autors:

Dr. phil. R. Petermann, Chef der Kontrollstelle der Korrosionskommission, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Elektrische Energie-Technik und -Erzeugung Technique et production de l'énergie

Schwächen der Energieversorgung in den USA

621.31(73)

Seit dem Jahre 1960 hat die amerikanische Elektrizitätsversorgungsindustrie ihre Kapazität nahezu verdoppelt. Die Federal Power Commission (Bundesenergiekommission) und das Edison Electric Institute berechnen den Anstieg von 162 Mill. kW im Jahre 1960 auf 336 Mill. im laufenden Jahr.

Aber der elektrische Energieverbrauch hat sich in den USA schon in den letzten acht Jahren verdoppelt. Besonders hoch ist der Verbrauch während der heissen Sommermonate und der kalten Winterperioden gestiegen, so dass die durchschnittliche Stromreserve, der Überschuss über dem Spitzenbedarf, von 32 % im Jahre 1960 auf 16 % im Jahre 1970 zurückgegangen ist. Von den 181 grössten Energieerzeugungsunternehmen hatten im vergangenen Winter 39 eine Reserve unter 10 %, bei der eine Dauer-versorgung nicht mehr gewährleistet ist. Die Fälle, in denen die Stromversorgung ausfällt oder zur Verhinderung eines Ausfalls durch Hörfunk und Fernsehen Aufforderungen zu eingeschränk-

tem Verbrauch ergehen müssen, häufen sich. Beispiele: Am 8. September 1969 wurden die Grossverbraucher von Strom in New York zum dritten Mal aufgefordert, die Klimaanlage und andere Einrichtungen, die Strom verbrauchen, abzuschalten. Die Untergrundbahn musste die Geschwindigkeit auf die Hälfte herabsetzen. Am 3. September 1969 sass die New Yorker Börse eine halbe Stunde im Dunkeln. Am 5. August 1969 waren in Miami (Florida) 650 000 Kunden fünf Stunden ohne elektrische Energie. Am 18. Juli musste der Stromverbrauch im ganzen Küstengebiet zwischen New York und Washington eingeschränkt werden. Im ganzen Land ereigneten sich im Jahre 1969 34 Fälle kürzeren oder längeren Ausfalls der Versorgung mit elektrischer Energie. Das Publikum wird verärgert, wenn ihm in der heissesten Zeit zugemutet wird, die mit grossen Kosten beschaffte Luftkühlung abzuschalten, wenn in Kälteperioden geraten wird, Strom selbst in der Küche sparsam zu benützen.

Abgesehen von dem ständig steigenden Verbrauch der Wirtschaft mit Einschluss der Landwirtschaft hat der Haushalt im abgelaufenen Jahrzehnt besonders viel zu dem vermehrten Stromverbrauch beigetragen. Die luxuriöse Beleuchtung der Wohnräume dient vielfach dekorativen Zwecken, der Farbfernsehapparat verbraucht mehr Strom als der schwarzeisse, die Kühlschränke mit eingebauter Eismaschine verbrauchen jährlich tausend Kilowattstunden gegenüber 600 der früheren einfachen Schränke. Dazu kommen Spül-, Wasch- und Trockenmaschinen, die auch in einfachen Haushalten oft anzutreffen sind. Besonders stark ist der Energiebedarf der Luftkühlanlagen. Vom Standpunkt der Stromversorgung muss man es begrüssen, dass der Übergang zum Elektroautomobil, dessen Einführung zur Verminderung der Luftverpestung eifrig studiert wird, sich noch im embryonalen Zustand befindet; auch haben schätzungsweise erst vier Millionen Wohnungen elektrische Heizung.

Werke der elektrischen Energieversorgung bemühen sich redlich, den unersättlichen Durst nach elektrischem Strom zu stillen. In den nächsten fünf Jahren sollen etwa 24 Mrd. für neue Anlagen aufgewendet werden gegenüber 5 Mrd. in den vergangenen fünf Jahren. Man glaubt, die Krise bis zur Mitte der siebziger Jahre zu beenden, wenn dieser Plan durchgesetzt werden kann.

Das vom Department of Commerce, Bureau of the Census, zuletzt im August 1969 herausgegebene «Statistical Abstract of the US» (Statistisches Jahrbuch) gibt auf S. 511 den Anteil der Energiequellen für Stromerzeugung in folgenden Prozenten an:

Jahr	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1967	1968 (vorläufig)
Kohle ¹⁾	54,6	51,7	47,1	55,1	53,6	54,5	52,6	52,5
Erdöl	4,4	3,5	10,3	6,8	6,1	6,1	7,4	7,8
Erdgas	7,7	8,9	13,5	17,4	21,0	21,0	21,8	23,0
Wasserkraft	33,4	35,9	29,2	20,7	19,3	18,4	18,2	16,7

1. Die Kohle

Die amerikanische Kohle, die in unerschöpflicher Menge vorhanden ist und auch heute noch zu etwas mehr als der Hälfte Träger der Erzeugung von elektrischer Energie ist, hat überwiegend starken Schwefelgehalt. Sie wird als die Hauptursache der Luftverpestung der amerikanischen Städte betrachtet. Obwohl die Consolidated Edison Co. in New York mehr als 100 Mill. \$ für Einrichtungen ausgegeben hat, die den Prozentsatz des Schwefels in den Abgasen bei Erzeugung elektrischer Energie vermindern, wird die Kohle noch immer als der Hauptschuldige für die Luftverpestung New Yorks angeklagt.

Schon ist in verschiedenen Städten die Verbrennung von Kohle und Rohöl, die mehr als 1 % Schwefel abgeben, verboten. Auch die Bundesregierung setzt der Kohle hart zu. Sie hat angeordnet, dass ab 1. Oktober 1974 in den dem Bund gehörenden oder von ihm gemieteten Gebäuden Kohle nur verwandt werden darf, wenn sie in New York höchstens 0,2 % Schwefel, in Chicago und Philadelphia höchstens 0,4 % hat.

Atomkraft und Erdgas haben den Vorteil, keinen oder nur wenig Schwefel zu enthalten. Der Konkurrenz des Erdgases sucht die Kohlenindustrie durch Umwandlung von Kohle in Gas zu begegnen, das in gleicher Weise wie das Erdgas in Rohrleitungen

¹⁾ Mit Einschluss der Atomkraft und von Verbrennung von Holz und Müll. Die beiden letzteren ganz unbedeutend.

den Verbrauchern zugeführt würde. Eine Firma in Chicago arbeitet an diesem Projekt mit Unterstützung der Bundesregierung und der American Gas Association. So hofft die Kohle, in nicht zu ferner Zukunft das an Erdöl und Erdgas verlorene Terrain vor allem in der Beheizung zurückzugewinnen.

Ein weiterer Weg, die Verschmutzung der Städte durch Verbrennen von Kohle zu mindern, wurde damit beschritten, dass Stromerzeugungsanlagen in die Nähe der Kohlenbergwerke verlegt wurden. Die grossen Kosten der Verlegung und der Anlage von Freileitungen stehen einer weiten Ausbreitung wohl entgegen.

2. Erdgas

Die Verwendung von Erdgas ist durch die schwindenden Vorräte innerhalb der USA bedroht; sie sollen nur noch für 12 Jahre ausreichen. Bis dahin hofft man, mit Rohrleitungen das in Kanada in jüngster Zeit in grossen Mengen entdeckte Erdgas zuleiten zu können. Gegenwärtig ist das Erdgas zu etwa einem Viertel an der Rohstofflieferung für elektrische Erzeugung beteiligt.

3. Wasserkraft

Die Wasserkraft trägt etwa ein Sechstel zur Energieerzeugung bei. Ihr Anteil ist seit 1940 um etwa die Hälfte zurückgegangen.

4. Erdöl

Erdöl, das zu etwa 8 % Energiequelle für die elektrische Energieerzeugung ist, ist in den USA in genügender Menge vorhanden. Trotzdem führen die USA Erdöl in beträchtlichen Mengen ein, um ihre Vorräte zu schonen. Vor allem die neuentdeckten riesigen Funde im Norden Alaskas bieten Gewähr, dass die USA auf lange Zeit von Einfuhr von Öl unabhängig sind.

Noch nicht gelöst durch die geglückte Fahrt der Manhattan im Herbst 1969 durch das nördliche Eismeer ist die Transportfrage. Es wird wohl zu einem Wettbewerb zwischen Seetransport und der geplanten Rohrleitung vom Norden Alaskas nach Valder auf der Südseite kommen, deren Einrichtung der Kongress genehmigt hat. Die Kosten werden in Anbetracht der klimatischen Gegebenheiten und der zu überwindenden Gebirgsbarrieren auf 100 Mill. \$ geschätzt. Mehrere Ölgesellschaften haben sich zu dem Trans-Alaska-Pipeline-System zusammengeschlossen, um den Bau zu finanzieren.

5. Atomkraft

Die Atomkraftwerke sind in überraschend schneller Entwicklung begriffen. Von 591 000 kW im Jahre 1960 ist ihre Produktion auf 13 974 000 kW im Jahre 1968 gestiegen. Gegenwärtig liefern sie erst etwa 4 % des Gesamtenergiebedarfes der Stromerzeugung; für das Jahr 1975 rechnet man mit 13, für das Jahr 1980 mit 24 bis 24 %. Im Jahre 1966 waren zum ersten Mal die neuen Energieerzeugungsanlagen, die von den public utilities ²⁾ errichtet oder in Auftrag gegeben worden sind, fast zur Hälfte Atomkraftwerke. Auch in den Grösseverhältnissen des einzelnen Unternehmens ist eine starke Wandlung zu verzeichnen. Noch vor wenigen Jahren nannte man ein Atomkraftwerk, das 100 000 kW erzeugen konnte, eine big plant (Grossanlage). Für das Jahr 1980 rechnet die Federal Power Commission mit einer Durchschnittsgrösse von 1,2 Mill. kW. Durch diese Steigerung der Leistung ist der Preis der Atomkraft stärker gesunken, als man ursprünglich annahm, trotzdem die Atomkraftwerke unter niedrigeren Temperaturen und niedrigerem Druck arbeiten müssen als Erzeugungsanlagen mit Kohle, Gas und Erdöl. Die zu lösende Aufgabe ist, Temperaturen und Druckgrade zu erreichen wie bei den andern Energieerzeugern. Eine Fabrik in Peach Bottom (Pennsylvanien) hat diese Aufgabe bereits gelöst mit dem Erfolg, dass die bisherigen Kosten um ein Drittel gesenkt werden konnten und nur die Hälfte des früher benötigten Urans verbraucht wird.

Die bisher entdeckten Uranvorkommen innerhalb der USA reichen nur für etwa 12 Jahre aus. Man muss nach neuen Fun-

²⁾ Die wörtliche Wiedergabe mit «öffentliche Versorgungseinrichtungen» würde darauf hindeuten, dass Verkehrsmittel, Versorgung mit Gas und elektrischem Strom in öffentlicher Hand liegen; das ist aber in aller Regel nur bei der Wasserversorgung der Fall im Hinblick auf ihre grosse Bedeutung für die öffentliche Gesundheit. Unter «public utilities» versteht man Unternehmen, die einen halbmonopolistischen Charakter tragen, aber so eng mit dem Interesse des Publikums verknüpft sind, dass sie einer Überwachung durch öffentliche Stellen unterworfen werden.

den Ausschau halten, woran nicht weniger als 50 Gesellschaften arbeiten. Studien, den Verbrauch an Uran herabzudrücken, sind noch im Anfangsstadium und für den kommerziellen Gebrauch noch nicht weit genug fortgeschritten.

Da die Atomkraftwerke erst verhältnismässig kurze Zeit bestehen, ist die Frage ihrer Zuverlässigkeit noch im ungewissen, ebenso spielen Sicherheitserwägungen, insbesondere die Furcht vor radioaktiven Auswirkungen, mit, so dass die Atomic Energy Commission Anlagen in grossen Städten oder in deren Nähe nicht erlaubt. So wurde die Errichtung eines Atomkraftwerks, das die kritische Lage in New York erleichtern sollte, am Hudson-Fluss verboten. Der Abfluss zu heissen Wassers, das in Flüsse, Seen und das Meer einströmt, kann durch Mischung mit kaltem Wasser unschädlich gemacht werden.

Die Bevölkerung wendet sich gegen Elektrizitätswerke aller Art, insbesondere gegen Atomkraftwerke. 17 von ihnen sind jetzt in Betrieb, 49 im Bau, 44 im Stadium der Planung. Mindestens ein Viertel der im Bau befindlichen Anlagen ist Gegenstand von Kontroversen aus radioaktiven Befürchtungen. Bei den mit Kohle betriebenen Werken ist Verpestung der Luft der Angriffspunkt. Nicht selten wird bei Anlagen aller Art vorgebracht, dass das Landschaftsbild beeinträchtigt wird. Auch hier hatten am Hudson Widerstände gegen Errichtung einer durch Wasserkraft betriebenen Anlage Erfolg. Selbst der Staat Minnesota hat die Inbetriebnahme einer fertiggestellten Atomanlage durch Anrufung des Gerichts verhindert, weil ihre Abwasser und die Ausstrahlung von Radioaktivität schädliche Auswirkungen haben könnten.

Angesichts solcher Widerstände, die auch anderwärts mit Erfolg geltend gemacht wurden, beabsichtigt die Bundesregierung, dem Kongress einen Gesetzesentwurf vorzulegen, der den Gliedstaaten volle Ermächtigung gibt, die Niederlassung von Energieversorgungsanlagen und von Überlandleitungen zu genehmigen, um zeitraubende Konflikte zu vermeiden.

Ob der Wettlauf zwischen Erzeugung und Verbrauch die «sich nähernde nationale Krise auf dem Gebiet der Stromversorgung», von der der Vizepräsident der Federal Power Commission gesprochen hat, abwenden kann, ist noch nicht vorauszusehen. Man hilft sich in der gegenwärtigen Lage mit Verbundnetzen, die grosse Gebiete zusammenschliessen, so dass bei Ausfall einer Versorgungsanlage andere einspringen können, vorausgesetzt, dass diese nicht selbst in Bedrängnis sind. Obwohl die Verbundnetze von Küste zu Küste reichen, zeigt die Erfahrung, dass jene Verbindungen am erfolgreichsten sind, die ein Gebiet von 200...300 Meilen Durchmesser (eine Meile=1609 m) umfassen. Aber auch auf weite Entfernung ist ein Ausgleich möglich; so hat eine in Florida ansässige Stromerzeugungsgesellschaft der weitentfernten Stadt Cleveland im Staate Ohio mit 50 000 kW ausgeholfen.

Dr. R. Adam

Elektrischer Spitzenbetrieb von Heizkraftwerken

621.311.16:621.3.016.332

[Nach *J. Halzl*: Technische und wirtschaftliche Fragen des Spitzenbetriebes von Heizkraftwerken. Elektrizitätswirtschaft 68(1969)25, S. 817...824]

In Ungarn wurden aufgrund einer zweijährigen Erfahrung in einem bestehenden Heizkraftwerk verschiedene Fragen untersucht, die mit dem Spitzenbetrieb von Heizkraftwerken zusammenhängen. Darunter ist die Möglichkeit zu verstehen, unter Ausnützung der Wärmespeicherkapazität des Heisswasser-Fernheiznetzes die elektrische Leistung des Kraftwerkes in Spitzenzeiten zu erhöhen, ohne dabei die täglich für das Fernheiznetz zu liefernde Gesamtwärmemenge zu verändern.

Je nach Art der eingesetzten Dampfturbine — auch die Verwendung einer Gasturbine ist möglich — und der entsprechenden Betriebsweise kann zur Zeit des Spitzenbetriebes eine gesteigerte Wärmemenge an das Fernheiznetz abgegeben werden, es kann aber auch während dieser Zeit die Heissdampfentnahme für das Netz gänzlich eingestellt werden. Die Aufbringung der dann noch in das Fernheiznetz einzuspeisenden Wärme kann beispielsweise nur während des Tages erfolgen, es lässt sich aber auch ein gewisser Anteil in die Nachtstunden verlegen oder eine gleichmässige Verteilung über 24 h vorsehen. Dabei spielt die wesentliche Frage mit, ob das Heizkraftwerk auch zur Lieferung von Brauchwasser, Industriedampf oder Nachtstrom eingesetzt wird,

wodurch das Abstellen von Kesseln während der Nachtzeit und ihr Neuanfahren vermieden werden kann.

Bei geschickter Ausnützung aller sich bietender Möglichkeiten lässt sich durch den Spitzenbetrieb von Heizkraftwerken eine beachtliche Kosteneinsparung erzielen, die selbst in der Sommerzeit, wenn der Heizwärmebedarf zurückgeht, den Einsatz derartiger Kraftwerke rechtfertigt.

K. Winkler

Aspekte der Pumpspeicherung hydraulischer Energie

621.311.21:621.221.4

[Nach *J. G. Thon*: General aspects of pumped-storage hydro power. Water Power 22(1970)3, S. 89...95]

Der stark zunehmende Bedarf an elektrischer Energie ergibt zwei Hauptaspekte für die Energiewirtschaft, nämlich Dekkung von Spitzenlast und Aufrechterhaltung gesicherter Stromversorgung. Dieses Ziel lässt sich im allgemeinen durch folgende fünf Massnahmen verwirklichen:

1. Energieaustausch im Pool zwischen Kraftwerkssystemen.
2. Einsatz zusätzlicher Dampfkraftwerke für Grundlast- oder Spitzenlastbetrieb.
3. Gasturbinen als Spitzenlastreserve.
4. Hydraulische Zusatzaggregate.
5. Pumpspeicherung.

Ein Energieaustausch zwischen Kraftwerkgruppen besteht über den ganzen nordamerikanischen Kontinent mit Hilfe von Übertragungssystemen, die durch die Entwicklung der Höchstspannungstechnik ermöglicht wurden. Die Anlagekosten der Übertragungsanlagen sind allerdings sehr hoch (z.B. 170 \$/kW für eine 1300 km lange 735-kV-Übertragung).

Die Frage der Maschinenreserve oder zusätzlicher Dampfturbosätze wird mehr und mehr zugunsten der Dampfkraftreserve entschieden. Falls diese in Form unbelastet mitlaufender Maschinen auftritt, kann sie in etwa 30 min mit Vollast eingesetzt werden. Diese Zeit genügt für voraussehbare Lastspitzen, dauert aber zu lange bei plötzlichem Bedarf.

Gasturbinen sind als Spitzenlastmaschinen heute durchaus wettbewerbsfähig. Sie können nahe bei den Verbraucherzentren aufgestellt und in kürzester Zeit in Betrieb gesetzt werden. Es sind Einheiten von 130 MW im Bau, die für Netze mit einem Spitzenlastbedarf von 1000 MW und mehr ausreichen.

Bei der Pumpspeicherung besteht ein einzigartiger Vorteil darin, dass während des Pumpbetriebes die doppelte Anlageleistung als Reserve verfügbar ist, indem nach Abschalten der Pumpen-Vollast die gesamte zusätzliche Erzeugerleistung schon nach wenigen Minuten eingesetzt werden kann. Pumpspeicherung erweist sich als besonders attraktiv in Systemen mit zusätzlichen Dampfkraftanlagen hohen Wirkungsgrades. Der Kapitalaufwand für eine Pumpen-Turbinenanlage ist u.a. vom Aufstellungsort abhängig und Funktion von Gefällshöhe und Maschinendrehzahl. Mit dem Gefälle wächst die Drehzahl, während die Maschinengrösse und damit die Investitionskosten abnehmen.

M. Schultze

Elektrische Maschinen — Machines électriques

Ein bürstenloser Gleichstrommotor mit hohem Wirkungsgrad

621.313.292

[Nach *W. Radziwill*: Ein bürstenloser kleiner Gleichstrommotor mit hohem Wirkungsgrad. Philips Techn. Rdsch. 30(1969/70)1/2, S. 13...18]

Beim konventionellen Gleichstrommotor mit Bürsten kann der Kommutator als ein System von gesteuerten Schaltern angesehen werden. Die an die Ankerwindung angelegte Spannung wird in Abhängigkeit von der Läuferstellung umgepolt. Der Verschleiss durch Funkenbildung und Reibung begrenzt die Lebensdauer des Kommutators auf einige tausend Stunden. In stark verdünnter Atmosphäre kann sie sogar drastisch bis auf einige Minuten sinken!

Ersetzt man die mechanischen Umschalter durch elektronische Schaltelemente, so erhält man sowohl eine viel grössere

Lebensdauer als auch einen viel höheren Wirkungsgrad. Besonders in der Luft- und Raumfahrt, wo es auf hohe Zuverlässigkeit und Wartungsfreiheit ankommt, werden die neuentwickelten Motortypen ihre Anwendung finden.

Im Gegensatz zum klassischen Gleichstrommotor dreht sich beim neuen Typ das Erregerfeld, während der bewickelte Anker stillsteht. Als Magnetmaterial des permanentmagnetischen Läufers wird Ferroxdure verwendet. Je zwei der vier Ankerwindungen liegen in Serie in einer Schalterbrücke. Die Umschaltung im richtigen Moment, die beim normalen Motor durch die geometrische Anordnung der Kollektorlamellen erfolgt, wird hier durch eine spezielle Vorrichtung bewerkstelligt. Vier kleine mit einigen Windungen bewickelte Ferritringkerne sind in Abständen von 90° um die Welle angeordnet. Ein auf der umlaufenden Welle befestigter Magnet ändert die Induktivität eines der Kerne und ermöglicht so die Feststellung der Läuferposition. Diese Anordnung ist gegenüber anderen Positionsgebern einfach, unkritisch, wartungsfrei und benötigt nur ca. 40 mW Leistung. Die eigentliche Kommutatorschaltung besteht aus 4 pnp- und 4 npn-Transistoren. Sie werden so eingeschaltet, dass nur die erwünschten Oberwellen, die zur Erhöhung des Drehmomentes beitragen, auftreten. Dadurch erhält man Wirkungsgrade bis zu 75 %, was weit über den 30...50 % liegt, die man mit Gleichstrommotoren von 10...20 W üblicherweise erreicht. *H. P. von Ow*

**Übertragung, Verteilung und Schaltung
Transmission, distribution et coupage**

**Innere Überspannungen bei einer 750-kV-Energieübertragung
in der UdSSR**

621.315.1.027.875.001.5

[Nach N. N. Beliakow u.a.: Untersuchungen über innere Überspannungen im Betriebe der versuchsindustriellen Energieübertragung 750 kV, Elektritschestwo (russ.) 90(1970)1, S. 8...15]

Die erste versuchsindustrielle Energieübertragung von 750 kV in der Sowjetunion, Konakowo—Moskau, wurde im Oktober 1967 in Betrieb genommen. Diese Übertragung über eine Strecke von 87 km ist mit sowjetischen Prototypen von 750-kV-Einrichtungen ausgerüstet.

Die Wahl einer Übertragungsspannung von 750 kV erfolgte im Hinblick auf die gestellte wissenschaftlich-technische Aufgabe. Diese bestand darin, unter den Bedingungen eines Versuchsbetriebes, die Eigenschaften der verwendeten Einrichtungen und der Leitung bei 750 kV zu kontrollieren und zu vervollkommen, die Bedienungsverfahren zu erarbeiten und Erfahrungen für den Betrieb von 750-kV-Übertragungen zu sammeln.

Die Leitung ist auf Portal-Tragmasten verlegt, die mit Stahlseilen abgespannt sind. Die Höhe bis zur Traverse, an der die Isolatorenketten aufgehängt sind, beträgt 30 m, der Abstand zwischen den Phasen der Leitung 17,5 m. Die Winkelmaste bestehen aus drei voneinander getrennten Ankerstützen, an denen je eine Phase der Leitung befestigt ist. Jede Phase besteht aus vier Stahl-Aluminium-Leitern, die in einem Quadrat mit der Seitenlänge von 60 cm einen Bündelleiter bilden. Als Schutz gegen direkte Blitzeinschläge sind zwei Erdseile aus St.-Al vorgesehen. An den Endpunkten der 750-kV-Leitung befinden sich einphasige Autotransformatoren 500/750 kV, 1250 MVA. Als Schalter werden Druckluftschalter 750 kV/2000 A mit einer Ausschaltleistung von 35 000 MVA verwendet. — Aus den gewonnenen Unterlagen ergibt sich, dass das Isolationsniveau der 750-kV-Einrichtungen richtig gewählt worden ist. Die Ausrüstung der Schalter mit Parallelwiderständen zur Begrenzung der Überspannungen ist bei der vorliegenden Energieübertragung nicht erforderlich. *G. v. Boletzky*

**Elektrische Regelungstechnik, Fernwirktechnik
Réglage électrique, télécommande**

Einsatz von DDC-Rechnersystemen in der Verfahrenstechnik

62-503.55:658.513

[Nach O. Winkler und H. Amrehn: Einfach- oder Doppelrechnersysteme?, Regelungstechnik und Prozess-Datenverarbeitung 18(1970)1, S. 3...10]

Beim Einsatz von DDC-Rechnern (direct digital control) zur Steuerung und Regelung verfahrenstechnischer Anlagen stellt sich die Frage nach Betriebssicherheit und Ausfallrate. Chemische Prozesse mit zum Teil diskontinuierlichen Abläufen verlangen je nach Art und Aufbau Überwachungsgeräte oder -Systeme, die bei Ausfall der normalen Steuergeräte deren Funktion ganz oder teilweise übernehmen können, ohne dass Ausschuss produziert oder unfallträchtige Zustandsbedingungen erreicht werden.

Unterscheidet man allgemein zwischen kritischen, wichtigen und untergeordneten Mess- und Regelkreisen, so lassen sich die Aufgaben der beiden letzteren meistens durch einzelne Reserve-Regelsysteme übernehmen und eine solche Anlage kann mit einem Einfach-Rechnersystem betrieben werden.

Für grössere automatische Anlagen, bei welchen die Steuerungs- und Regelungsaufgaben überwiegen, ist die Einführung eines Doppel-Rechnersystems jedoch fast unumgänglich.

Praktische Erfahrungen an einer PVC-Anlage mit einer Kapazität von rund 110 000 Jahrestonnen haben gezeigt, dass beim Einsatz einer Doppel-DDC-Anlage nebst einer Produktionssteigerung von 8,5 % eine gleichzeitige Verminderung der Wartungs- und Betriebskosten auf ca. die Hälfte erreicht werden konnten. *Chr. Pauli*

Elektronik, Röntgentechnik — Electronique, radiologie

Wärmeableitung durch «Heat pipes»

621.017.72

[Nach C. H. Dutcher und M. R. Burke: Heat pipes — a cool way to cool circuitry. Electronics 43(1970)4, S. 94...100]

Wärmeleitungen (heat pipes) erlauben eine sehr wirkungsvolle Ableitung von thermischer Energie aus einer Wärmequelle (z. B. einer elektronischen Schaltung) zu einer Senke (z. B. Kühlkörper). Die auf dem Weg abgestrahlte Wärme ist von untergeordneter Bedeutung. Eine Wärmeleitung von 1,25 cm Durchmesser kann beispielsweise 200 W über eine Länge von 60 cm mit einem Temperaturabfall von nur $0,5^\circ\text{C}$ ableiten. Würde die gleiche Energie durch einen Kupferstab mit den gleichen Abmessungen gepresst, so würde die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Enden auf 2550°C ansteigen oder bei einer zulässigen Temperaturdifferenz von 70°C würde das notwendige Kupferstück 23 kg schwer. Die oben erwähnte Wärmeleitung wiegt aber nur 300 g!

«Heat pipes» wurden bei Umgebungstemperaturen zwischen $-200\text{...}2000^\circ\text{C}$ eingesetzt und einen Wärmefluss bis zu 4 kW/cm^2 transportiert. Aus dem Laborstadium sind sie nun in die Produktionsstufe gelangt und damit kommerziell erhältlich geworden.

Eine «Heat pipe» ist ein metallisches, langes, röhrenförmiges Gefäß, dessen Innenwände ausgekleidet sind mit einer porösen Dochtstruktur, die meistens aus eng vermaschten Kupfer- oder Nickeldrähten besteht. Dieser Docht ist getränkt mit einer Flüssigkeit, welche verdampft, falls das Gefäß an einem Ende erwärmt wird. Der Dampf wandert an das andere Ende der «Heat pipe», das z. B. durch einen Kühlkörper auf niedriger Temperatur gehalten wird, kondensiert und wird durch die Kapillarwirkung entlang der Wand zum warmen Ende zurückgezogen, wieder verdampft usw. Weil die Wärme in Dampfform weitergeleitet wird, entsteht bei diesem Transport fast kein Temperaturabfall. Eine andere Form der Wärmeleitung mit variablem Kondensatorvolumen erlaubt es, die Temperatur entlang der Wärmeleitung auf Bruchteile eines Grades zu stabilisieren.

Beim Einsatz in der Elektronik bieten «Heat pipes» viele Vorteile: Schaltungen lassen sich enger zusammenbauen, die Zwischenverbindungen werden kürzer, die Geräte können kleiner gebaut werden. Bei Senderöhren, Mikrowellenantennen usw. lassen sich komplizierte Kühleinrichtungen umgehen. Ausserdem wird infolge der viel kleineren Temperaturschwankungen die Zuverlässigkeit des Gerätes oder der einzelnen Bauelemente stark erhöht. *H. P. von Ow*



Wenn Sie Res-i-Glas wirklich

noch nicht kennen —

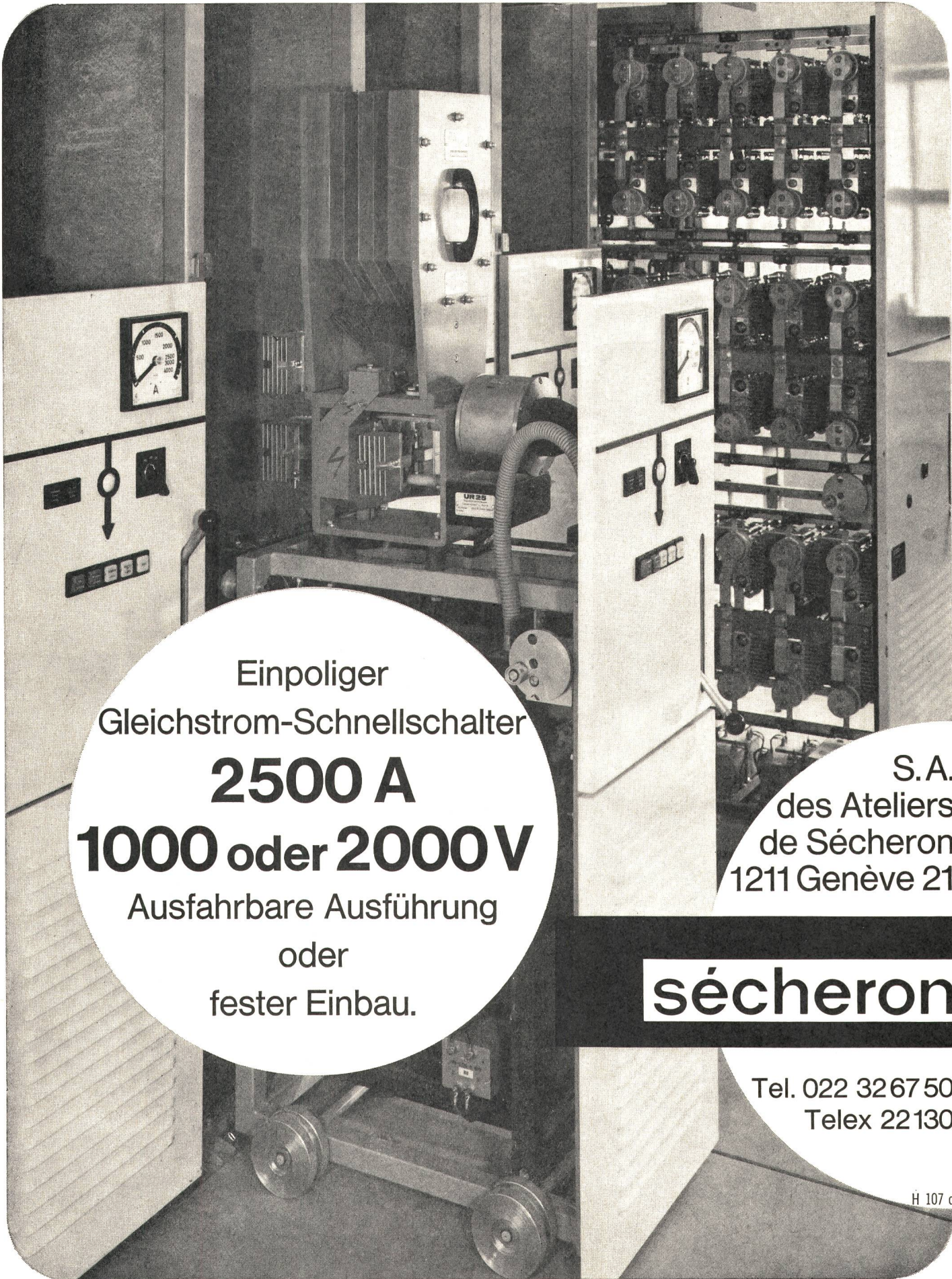
so ist das unsere Schuld!

Diese Unterlassung möchten wir schnellstens gutmachen. Darum offerieren wir Ihnen jetzt kostenlos ausführliche Unterlagen mit Muster und Berechnungstabelle für die Praxis. Sie erhalten die Res-i-Glas-Dokumentation gegen Einsendung dieses Inserates oder einer Postkarte mit Ihrer Adresse. Sie werden dann auch erfahren, dass Res-i-Glas-Bandagierung hilft, Zeit und Kosten zu sparen, zusätzliche Sicherheit bietet, elektrische Vorteile und erstklassige thermische Eigenschaften aufweist (Klasse H 180 °C).

Und noch etwas – das nicht in der Dokumentation steht:

- Res-i-Glas hat sich seit mehr als 10 Jahren in Amerika und Europa bewährt.
- Unsere beste Referenz: Die namhaften Firmen der Elektroindustrie Europas verwenden Res-i-Glas.

MICAFIL AG, CH-8048 Zürich, Postfach (Telefon 62 52 00)



Einpoliger
 Gleichstrom-Schnellschalter
2500 A
1000 oder 2000 V
 Ausfahrbare Ausführung
 oder
 fester Einbau.

S.A.
 des Ateliers
 de Sécheron
 1211 Genève 21

sécheron

Tel. 022 326750
 Telex 22130

H 107 d