

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 44 (1953)  
**Heft:** 3  
  
**Rubrik:** Diskussionsversammlungen des VSE über den Bau und den Betrieb von Transformatorenstationen

### **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:** 03.04.2025

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

gen Dauerbetrieb geschlossen werden konnte. Die BKW werden daher die Generatoren mit den ursprünglichen Wicklungen weiterhin im Betriebe belassen, jedoch eine komplette Reservewicklung beschaffen, so dass beim Auftreten eines umfangreichen Schadens die alte Wicklung innert kürzester Frist ersetzt werden kann.

Auch der aktive Eisenkörper befindet sich in einwandfreiem Zustand, besonders die Blechpressung ist noch ausgezeichnet, und irgendwelche Schlagrostbildungen sind nicht vorhanden.

Adresse des Autors:

R. Frey, Prokurist der Bernischen Kraftwerke A.-G., Viktoria-platz 2, Bern.

## Diskussionsversammlungen des VSE über den Bau und den Betrieb von Transformatorstationen

### Einleitung

Die 5. Diskussionsversammlung des VSE über den Betrieb von Transformatorstationen fand für deutsch Sprechende am 29. März 1951 und 31. Mai 1951 in Zürich und für französisch Sprechende am 5. April 1951 in Lausanne statt. Die 7. Diskussionsversammlung über den Bau von Transformatorstationen wurde für deutsch und für französisch Sprechende am 6. März 1952 durchgeführt. Alle Versammlungen waren gut besucht.

Wir berichten nachstehend und in einem späteren Heft des Bulletins zusammenfassend über diese Diskussionsversammlungen: dem Bericht über die Diskussionsversammlung über den Betrieb von Transformatorstationen folgt das Einführungsreferat, das Direktor Binkert an der Diskussionsversammlung über den Bau von Transformatorstationen hielt, sowie eine Zusammenfassung der an dieser Versammlung geführten Diskussion.

Sekretariat des VSE

### Bericht über die Diskussionsversammlungen über den Betrieb von Transformatorstationen

Vom Sekretariat des VSE, Zürich

621.316.262

#### A. Allgemeine elektrische Fragen

##### I. Hochspannungsseite

##### 1. Wahl der Schaltelemente

Bis 12 kV und 200 kVA werden im allgemeinen Sicherungen verwendet, während in Netzen über 12 kV oder bei grösseren Leistungen Lastschalter, Ölschalter oder ölarme Schalter üblich sind. Der gewöhnliche Ölschalter wird für zahlreiche Fälle als gut erachtet, doch bedeutet die Brand- und Explosionsgefahr einen gewissen Nachteil. Andererseits sind die Ölschalter bedeutend billiger als ölarme Schalter. Druckluftschalter lohnen sich nur in grösseren Anlagen, weil die Druckluftanlage sonst die Apparatur zu stark verteuert. Ausschlaggebend bei der Wahl von Schaltern ist der vorhandene Raum, die Betriebssicherheit des Schalters sowie die Frage der Notwendigkeit der Schnellwiedereinschaltung.

Sicherungen haben den Vorteil, dass sie nur wenig Platz in Anspruch nehmen und auch selten versagen. Ein Überlandwerk zieht die Sicherungen den durch Relais geschützten Schaltern vor, da seine Wiederverkäuferwerke kein zuverlässiges Personal besitzen, um die Schalter zu bedienen. Dieses Werk benützt in seinem 8-kV-Netz Sicherungen bis zu einer Transformatorleistung von 1500 kVA, doch kann dieses Beispiel nicht zur Nachahmung empfohlen werden.

Lastschalter bewähren sich seit vielen Jahren bis ca. 350...400 A gut. Immerhin traten in verschiedenen Fällen Störungen auf, die durch schlechten Kontakt, Isolatorenbruch usw. bedingt waren.

Die ölarmen Schalter weisen, der kleinen Ölmenge wegen, nur eine geringe Brandgefahr auf. Die flache Bauform erlaubt auch eine gute Leitungsführung. Bei ölarmen Schaltern zeigten sich

in Einzelfällen schlechte Dichtungen; seitdem das Kriegsmaterial in Wegfall gekommen ist, wurden jedoch mit solchen Schaltern gute Erfahrungen gemacht.

Die in grossen Anlagen aufgestellten Druckluftschalter wiesen im Anfang Mängel auf; sie konnten unterdessen jedoch behoben werden und funktionieren heute zur vollen Zufriedenheit.

##### 2. Schutz der Transformatoren gegen Überlast

Im allgemeinen werden nur Stationen mit geringer Leistung durch Hochleistungssicherungen geschützt. Bei Stationen mit mittlerer und grösserer Leistung werden Schalter mit Relais verwendet, wobei das Thermorelais im allgemeinen in der mittleren Phase liegt und die Hauptstromrelais an den beiden äusseren Phasen. Der Signalkontakt des Thermorelais wird von einigen Werken zur Meldung der Überlast ins Betriebsbureau verwendet. Bei industriellen Abnehmern betätigt er in vielen Fällen eine Hupe im Fabrikareal, die erst ausschaltet, wenn die Belastung herabgesetzt wird. Als günstig für die Betriebsüberwachung erweisen sich die Schleppzeiger am Thermorelais.

Da die Relais nicht die Öl-, sondern die Wicklungstemperatur anzeigen, werden sie im allgemeinen auf 80...120 °C eingestellt. Wichtig ist ihr sorgfältiger Unterhalt. Viele Werke bevorzugen ein einziges Fabrikat, weil dies den selektiven Schutz erleichtert.

Ein Vertreter eines städtischen Werkes referierte eingehend über die unternommenen Versuche mit sog. Temperaturmessfarben (Thermochrome, Thermocolor). Diese sind für Temperaturen von 65...650 °C erhältlich und erreichen bei der kritischen Temperatur eine bestimmte Färbung, was an Hand von Lichtbildern dargelegt wurde. Durch Verwendung solcher Temperaturmessfarben konnten

an Kontaktstellen oft erhöhte Temperaturen nachgewiesen werden, z. B. an Stellen von Aluminium-Kupfer-Verbindungen.

### 3. Schutz der Transformatoren gegen Überspannung

Von insgesamt 760 Transformatorenstationen eines Überlandwerkes haben 60 einen Kabelanschluss ohne und 150 mit Überspannungsschutz. Die neuen Stationen an Freileitungsnetzen werden alle mit einem Überspannungsschutz ausgerüstet. Es werden Ableiter mit ca. 4 kA Ableitvermögen verwendet.

Im allgemeinen werden vor den Ableitern keine Sicherungen eingebaut. Nur einige wenige Werke bauen solche bei bedienten Stationen ein. Wenn Platz vorhanden ist, kommt der Ableiter in die Station, wo dies nicht geht, auf die letzte Stange vor der Station. Bei Kabelzuleitungen ab Freileitung wird nur bei kürzeren Kabeln (weniger als 500 m) ein Ableiter angebracht. Versuche der Forschungskommission für Hochspannungsfragen des SEV und VSE (FKH) hierüber sind im Gang.

Bei einem anderen Überlandwerk wurden mit Überspannungsableitern mit variablem Widerstand gute Erfahrungen gemacht; Bedingung ist allerdings, dass ihr Ableitvermögen genügend gross ist (4...10 kA). Dieses Werk, das atmosphärischen Störungen sehr ausgesetzt ist, hat in allen Stationen Überspannungsableiter installiert, wodurch die Zahl der Störungen wesentlich herabgesetzt werden konnte. Anfänglich waren den Ableitern Trenner zugeordnet, doch wurde später auf deren Einbau verzichtet. In umfangreichen Unterwerken und Transformatorenstationen empfiehlt es sich, Ableitersätze an verschiedenen Stellen vorzusehen.

### 4. Schaltbilder von Stationen in Kabelringen

Die Verbindung mehrerer Stationen durch einen Kabelring hat den Vorteil, dass von zwei Seiten gespeist werden kann; dadurch können die einzelnen Abschnitte ohne Störung des Betriebes abgeschaltet werden, was den Unterhalt der Kabel erleichtert.

Meistens sind die Kabelstrecken zwischen zwei Stationen nicht lang genug für die Anwendung des Selektivschutzes, da die Zeitintervalle zu kurz ausfallen würden.

### 5. Verwendung von genormten Konstruktionsteilen

Ein Werk verwendet genormte Eisengestelle, in welche die verschiedensten Apparate eingebaut werden können. Die einzelnen Gestelle werden unter sich so verbunden, dass dazwischen eine Fuge offen bleibt, in die eine Isolierplatte eingeschoben werden kann, wodurch die Arbeit neben einer spannungsführenden Zelle ermöglicht wird. Zwischen den einzelnen Zellen besteht bei dieser Lösung während des normalen Betriebes keine Trennung. Die meisten Werke trennen jedoch aus Sicherheitsgründen die einzelnen Zellen durch feste Trennwände (aus Beton oder Gips) voneinander.

### 6. Verwendung von Hochspannungskabeln mit Polyäthylenisolation

Die bisherigen Erfahrungen mit Polyäthylen-Hochspannungskabeln zeigen, dass bei unsorgfälti-

ger Verlegung der Kabelenden eine ungünstige Feldverteilung eintritt, so dass schon bei Spannungen von ungefähr 10 kV Radiostörungen auftreten können. Polyäthylen wird sodann schon bei 100 °C weich und beginnt zu schmelzen; zudem ist es brennbar. Weiter muss vermieden werden, dass Nagetiere zu den Polyäthylenkabeln gelangen und sie anfressen.

Indessen haben verschiedene Werke die neuartigen Polyäthylenkabel mit Vorteil an Stelle von Papierbleikabeln verwendet, besonders für Verbindungen in Transformatorenstationen und bei Umbauten. Eigentliche Kabelendverschlüsse fallen dabei weg, womit Platz und Kosten erspart werden. Ein Werk verwendet Polyäthylenkabel mit Höchststatterschutz, dem in der Nähe der Kabelenden Deflektoren angefügt werden. Polyäthylenkabel ohne Höchststatterschutz müssen jedenfalls von leitenden Gebäudeteilen distanziert und mit Isolierbriden befestigt werden, da sonst Glimmentladungen zu befürchten sind. Solche Glimmentladungen haben in der Zwischenzeit schon zu verschiedenen Zerstörungen von Polyäthylenkabeln, die direkt auf Mauerwerk oder leitenden Gebäudeteilen befestigt waren, geführt.

## II. Niederspannungsseite

### 1. Niederspannungs-Schaltelemente und Anordnung der Niederspannungs-Sicherungen

Während früher im allgemeinen Röhrensicherungen verwendet wurden, werden heute in der Regel Hochleistungssicherungen vorgezogen. Allerdings kommen auch bei Hochleistungssicherungen Versager vor. Zahlreiche Werke ordnen die Sicherungen anstatt nebeneinander, wie bisher üblich, vertikal an. Einige Werke verwenden Schaltbatterien, wieder andere Schaltautomaten.

Ein Referent erinnerte daran, dass in der gleichen Station parallel geschaltete Transformatoren bis 4000 kVA vorkommen. Die Verwendung von Sicherungen ist in solchen Fällen riskiert. Die Parallelschaltung von grossen Transformatoren kann nur unter bestimmten Umständen empfohlen werden; besser ist im allgemeinen die Auftrennung der Netzteile.

### 2. Überspannungsschutz

Ein Überspannungsschutz in der Station kommt bei Niederspannungs-Freileitungen nur ausnahmsweise vor, nämlich bei langen unverzweigten Sticheleitungen.

## III. Erdungsfragen

Der Anschluss der Erdungen an Wasserleitungen ist in vielen Fällen dem Anschluss an Band- oder Plattenelektroden vorzuziehen, ausgenommen in Gleichstromanlagen. Dabei ist es aber wichtig, dass die Übergangswiderstände der Sternpunkterdungen in den Transformatorenstationen und jene der Apparateerdungen in den Hausinstallationen (Objekterdungen) richtig aufeinander abgestimmt sind. Bei relativ hohem Widerstand der Sternpunkterdung und kleinem Widerstand der Objekterdung fällt die Berührungsspannung an geerdeten Apparaten, die einen Isolationsfehler erleiden, klein aus. Bei um-

gekehrtem Widerstandverhältnis ist dagegen die Berührungsspannung nicht unter 50 V zu bringen. Nur mit durchwegs kleinen Widerständen (Nullung der Objekte oder alle Erdungen am gleichen Wasserleitungsnetz) ist beim direkten Erdschluss an einem geerdeten Verbrauchsapparat ein grösserer Strom, der das Schmelzen der Sicherungen gewährleistet, zu erwarten.

Bei der Verlegung von Erdelektroden neben Transformatorenstationen ist auf die Möglichkeit von Schrittspannungen zu achten. Tiere, besonders Pferde, reagieren schon auf kleine Schrittspannungen. In der Nähe von Transformererdungen sind öfters eiserne Umzäunungen unter Spannung geraten und haben zu Unfällen geführt. Die Bodenart, die Feuchtigkeit und die Temperatur haben grossen Einfluss auf den Erdungswiderstand.

Schutz- und Sondererdungen müssen in Transformatorenstationen von einander elektrisch getrennt sein. Sie lassen sich aber im gleichen Boden graben verlegen, wenn für die Zuleitungen zu den Sondererdelektroden isolierte Kabel verwendet werden.

#### IV. Ventilations- und Geräuschfragen

##### 1. Ventilation

Ein Grossteil der Werke verfolgt das Prinzip, wenn möglich ohne künstliche Kühlung der Transformatoren auszukommen. Bei einem grossen städtischen Werk sind z. B. von über 200 Stationen nur 4 künstlich belüftet. Andere Werke wiederum bauen häufig Ventilatoren ein, die durch einen Thermostaten beim Transformator gesteuert werden. Die Querschnitte der Öffnungen sollten nicht zu gross gewählt werden, um das Eindringen von Staub und Flugschnee zu vermeiden. Allerdings empfiehlt es sich, beim Bau eher zu grosse Öffnungen vorzusehen und sie später wenn nötig abzudecken. Der Öffnungsquerschnitt hängt von der Ventilationshöhe und den Transformatorenverlusten ab. Als Faustregel gilt pro Transformatorenleistung von 500 kVA eine Öffnung von 0,5...0,6 m<sup>2</sup>. Die Öffnung ist wenn möglich auf die Nordseite einzubauen. Zur Vermeidung von Beschädigungen und Unfällen darf der Luftabzug nicht direkt über dem Transformator angeordnet werden.

##### 2. Geräuschfragen

Die Werke haben verschiedene z. T. sehr kostspielige Massnahmen getroffen, um Geräusche von Transformatorenstationen auf ein Minimum zu beschränken. So werden die Transformatoren vielfach auf schallisolierende Platten (z. B. Trichopieplatten) gestellt. Bei Versuchen mit Gummipplatten und Gummi mit Kork wurde festgestellt, dass solche Platten mit dem Alter und bei Feuchtigkeit in ihrer Wirkung nachlassen. Oft verursachen jedoch nicht nur Transformatoren, sondern auch Ventilatoren, Relais oder gar Sammelschienen ein Geräusch. Dem Geräusch der Sammelschienen kann entgegengewirkt werden durch Anbringen flexibler Verbindungen. Zu beachten ist, dass alle Geräusche während der Nachtzeit bedeutend auffallender sind als

während den Abnahmeversuchen in der Fabrik. Daher bildet der Einbau von Transformatorenstationen in Wohnhäuser, speziell auf dem Lande, ein besonderes Kapitel. In hohen Häusern wurde vielfach die Feststellung gemacht, dass die Geräusche in den oberen Stockwerken stärker hörbar sind als direkt über der Station. Mit Rücksicht auf die ständigen Reklamationen von Seiten der Mieter bauen viele Werke heute prinzipiell keine Stationen mehr in Wohnhäuser. Vielfach werden die Stationen an Wohnhäuser angebaut, oft aber mit isolierender Zwischenlage und getrenntem Fundament. In vielen Fällen wird auch ein Schallschutzraum (z. B. eine Garage) dazwischen gebaut.

#### V. Aufteilung der Transformatorenleistung, grösste Einheiten, Überlastbarkeit

Bei einem grossen städtischen Werk erfolgt die Unterteilung der Niederspannungs-Sammelschiene in gleich viele Sektoren wie Transformatoren vorhanden sind. Nach Ansicht dieses Werkes sollte eine Lagerreserve an Transformatorenleistung von 5 % der eingesetzten Transformatorenleistung vorhanden sein. Die mittlere Leistung eines Transformators beträgt bei diesem Werk im 380-V-Netz 330 kVA und im 500-V-Netz 500 kVA.

Bei vielen Werken werden Neuanschlüsse durch Vornahme von Belastungsmessungen auf ihren Einfluss auf die in Frage stehende Station geprüft. Überbelastungen werden im allgemeinen nicht zugelassen.

Von einem Überlandwerk werden bei Stangenstationen Transformatoren bis 250 kVA, bei Kabinenstationen von 200...600 kVA verwendet. Für Betriebe, bei welchen in der Energiebelieferung Unterbrüche nicht zulässig sind, wird ausser zweiseitiger Speisung ein Reservetransformator bereitgestellt. Die älteren Modelle von Transformatoren hatten eine relativ grosse Reserve für Überlastungen. Bei den neueren Modellen dagegen ist es empfehlenswert, sich genau an die Angaben des Fabrikanten zu halten.

Ein städtisches Werk benützt nur Transformatoren bis zu einer Leistung von maximal 500 kVA, wobei 3...4 parallel geschaltet werden. Bei Parallelschaltung von derartig starken Transformatoren können allerdings in kleinen Netzen beim Schmelzen von Sicherungen sehr hohe Überspannungen auftreten.

Die aufgeworfene Frage, ob ein Transformator mit grosser Leistung mehreren schwächeren vorzuziehen sei, beantwortete ein Referent negativ, da bei einem Unterbruch eines grossen Transformators zu viele Abonnenten nicht beliefert werden können.

#### VI. Einbau des Telephons in Stationen

Ein städtisches Werk hat zahlreiche Stationen mit Telephon ausgerüstet. Verlegt ist ein Signalnetz, bestehend aus 20 Adern, je 2 paarweise verdrillt. Dieses Kabel ist im gleichen Graben wie das Niederspannungskabel, jedoch in einem Abstand von ca. 20...30 cm von diesem verlegt und für eine Prüfspannung von 4000 V isoliert.



## VII. Umzäunungen

Das Anbringen einer Umzäunung wird im allgemeinen nur bei Stationen mit sehr hohen Spannungen als nötig erachtet. Inbezug auf die Möglichkeit von Schrittspannungen machte ein Referent folgende Angaben: Die Schrittspannung beträgt bei einer Eingrabetiefe von 0,5 m ca. 20 %, bei 1 m ca. 9 %, bei 1,5 m ca. 5,5 % und bei 2 m 4 % der vollen elektrischen Spannung.

### B. Betriebstechnische Fragen

#### I. Schloss und Schlüssel

Verschiedene Werke verwenden für alle Stationen Einheitsschlösser, ohne besondere Sicherungen. Der Schlüssel wird gegen Quittung abgegeben, worüber Kontrolle geführt wird. Bei Stationen, für welche ein anderer Schlüssel benötigt wird, kann dieser in einem Kasten, der ebenfalls mit dem Einheitsschlüssel geöffnet werden kann, deponiert werden. Mit diesem einfachen System wurden bis heute keine schlechten Erfahrungen gemacht. Unverschlossene Räume werden sehr selten angetroffen, und auch Unfälle ereigneten sich keine. Mit Rücksicht auf diese guten Erfahrungen mit dem einfachsten System wird man die anderweitig verwendeten komplizierten Systeme mit zwei verschiedenen Schlüsseln und Schlössern nur dann anwenden, wenn besondere Gründe dafür sprechen.

#### II. Abschränkungen

Bei älteren und kleinen Anlagen werden vielfach horizontale Holzbarrieren verwendet. In grösseren Anlagen werden vorzugsweise Drahtgeflechte angebracht; neuestens werden auch Versuche mit Securit- und Plexiglas durchgeführt. Securitglas-Abschränkungen sollen kaum teurer sein als solche aus Drahtgitter, Eternit oder Blech. Im allgemeinen werden heute mobile Abschränkungen vorgezogen. Als sehr geeignet erachtet ein Referent Schienen, in die die Abschränkungen hineingestellt werden können.

#### III. Periodische Kontrollen

Besonders hervorgehoben wird die Wichtigkeit einer genauen und laufenden Kontrolle der Relais, die auch in neuem Zustand oft nicht funktionieren oder falsch eingestellt werden. Die Diskussion ergibt, dass bei verschiedenen Werken Interesse für einen geeigneten Relaisprüfapparat besteht. Solche Apparate sollten aber nur von geschultem Personal bedient werden, weshalb vorgeschlagen wird, dass die grösseren Werke kleineren Unternehmungen ihr Personal, das für Revisionen geschult ist, gegen entsprechende Vergütung zur Verfügung stellen. Eventuell könnten auch verschiedene kleinere Werke zusammen einen Relaisprüfapparat anschaffen.

Die genaue Kontrolle der Relais ist mit Rücksicht auf die Ausschaltung nicht jedes Jahr möglich. Bei den meisten Werken werden die Relais beim Neuaufbau und nachher bei gelegentlichen Kabelaus-

schaltungen, spätestens aber innert 8...10 Jahren nachgeprüft. Bei einem grösseren städtischen Werk, das seine Relais ebenfalls in diesem Turnus prüft, und das mehrere Tausend Relais in Betrieb hat, haben innert 15 Jahren bei Störungen nur 4 Relais versagt. Zu viele Revisionen, namentlich bei Schaltern, die wenig geschaltet werden, sollten vermieden werden. Einmal pro Jahr sollte eine äusserliche Kontrolle (Entstauben, evtl. Kontrolle und Nachzug von Schrauben usw.) durchgeführt werden. Verschiedene Werke prüfen ihre wichtigsten Relais alle Jahre zu Beginn der Gewitterperiode. Bei heftigen Ausschaltungen sind Zwischenrevisionen von Schaltern und Relais vorzunehmen.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem einwandfreien Funktionieren des Freilaufes der Schalterantriebe zu widmen, der bei nicht automatischem Antrieb nicht gefettet, sondern nur geölt werden sollte. Das Revisionspersonal ist so zu instruieren, dass es bei Schaltungen die Schalter nicht nur mit dem Handrad, sondern mit dem Isolierstock durch Schlag auf das Relaisgestänge auslöst, wodurch Versager entdeckt werden.

#### IV. Stationsbuch, Schaltbilder, Bedienungsvorschriften

Wichtig ist, dass der Schaltzustand sofort ersichtlich ist. Zu diesem Zwecke wird bei vielen Werken ein sog. Stationsbuch geführt; andere Werke verwenden spezielle, gedruckte Formulare. Bei vielen Werken müssen sich alle Besucher der Station in das Stationsbuch eintragen mit Angabe des Grundes, des Datums, der Zeit des Besuches und der gemachten Beobachtungen. Die Eintragungen werden vom Chef des Netzbetriebes im Laufe seiner periodischen Inspektionen kontrolliert. Das Stationsbuch enthält mit Vorteil auch ein Bedienungsreglement der Station, Angaben über die Schaltkompetenzen usw. An gut sichtbarer Stelle der Station ist ferner ein Schema mit den Details der betreffenden Station aufzuhängen. Schaltbefehle für umfangreichere Schaltungen haben grundsätzlich schriftlich zu erfolgen.

#### V. Messung

Viele Werke messen die Energie in den Transformatorstationen nicht, da dies nach ihrer Ansicht zu weit führen würde. Andere Werke wiederum haben in allen Stationen Zähler eingebaut, namentlich zur Berechnung der durchschnittlichen maximalen Belastung, sowie zum Vergleich mit der verkauften Energie (Stromdiebstähle und Verluste). Bei grossen Stationen werden oft Zähler mit Maximumzeiger eingebaut. Die Messung der aufgetretenen Leistung gestattet zu kontrollieren, ob die Transformatorleistung ausreichend bemessen ist. Nach den Erfahrungen müssen für 1000 kW Anschlussleistung in typisch landwirtschaftlichen Gegenden, ohne elektrische Küche, ca. 100 kW, in Vorgebiet der Stadt ca. 200...330 kW, in Wohnkolonien ca. 250...330 kW Transformatorleistung installiert werden, wobei Fabriken besonders zu berücksichtigen sind. Eine Gruppe von Werken kontrolliert die beanspruchte Leistung nur in periodischen Abständen.

## VI. Schutzmassnahmen bei Arbeiten

Bei einigen Werken werden fest eingebaute Erdungstrenner verwendet. Sie haben nach Ansicht einzelner Fachleute ausser dem hohen Preis den Nachteil der Unsicherheit, da bei heftigem Kurzschluss die Trenner sich durch die dynamische Kraft öffnen könnten, womit der Schutz illusorisch würde. In der Praxis sind solche Fälle indessen noch nicht vorgekommen. Meistens werden auch besondere Erdungsgarnituren verwendet. So erfolgt das Entladen, Erden und Kurzschliessen bei einem Werk durch Aufstecken der Garnitur auf konische Zapfen mit Bajonettverschluss. Spannungsführende Zellen neben den Arbeitsplätzen werden mit Hartpapierplatten abgedeckt.

## VII. Insektenplage

Gegen das Auftreten von Fliegen sind verschiedene Massnahmen versucht worden: Anbringen von

feinen Sieben bei Ventilationsöffnungen, Anstrich der Stationsfenster mit blauer Farbe, Anwendung von Gésarol, starke Ventilation usw. Keine dieser Massnahmen hat bis heute zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Zu beachten ist, dass das Anbringen von Fliegengittern die Ventilation verschlechtert.

## VIII. Verschiedenes

Für wichtigere Arbeiten in den Stationen empfiehlt es sich, zwei Leute einzusetzen. Bei Arbeiten in unter Spannung stehenden Stationen sind zwei Leute erforderlich, wobei einer für die Durchführung verantwortlich zu machen ist.

Inbezug auf die Verwendung von Sicherungen wurde dem Wunsche Ausdruck gegeben, der SEV möge prüfen, ob hier nicht eine Normung erreicht werden kann.

# Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

## Theorie der Aufladungserscheinungen an Staub, Papier und Spinnstoffen

537.24

[Nach P. Böning: Theorie der Aufladungserscheinungen an Staub, Papier und Spinnstoffen. Elektrotechn. Z. Ausg. A, Bd. 73(1952), Nr. 20, S. 655..658]

In Natur und Technik treten vielerorts und unter mannigfachen Umständen elektrische Erscheinungen auf, die teils harmlos, teils aber auch störend oder sogar gefährlich sein können. Solche Erscheinungen sind:

### a) Staubelektrische Erscheinungen

Wird Staub aufgewirbelt, so erweisen sich die einzelnen Staubteilchen als positiv oder negativ geladen. Auch wenn Staub von einer Unterlage abgeblasen wird, erweist er sich als elektrisch geladen. Ein isoliert aufgestellter Körper lädt sich auf, wenn er mit einem Luft- oder Gasstrom, der Staub enthält, angeblasen wird. Der Staub ist in diesem Falle Träger von Ladungen von entgegengesetztem Vorzeichen. Der Staub kann anorganischer oder organischer Natur sein: Silikate, Sulfate, Carbonate, Oxyde, Mehl, Zuckerstaub usw.

Wird Wasser zerstäubt, so sind auch die einzelnen Wassertropfen Träger von elektrischen Ladungen. Die Aufladungen durch Staub können zu hohen Spannungen führen und daher besonders in Fernmeldeanlagen erhebliche Störungen hervorrufen. In industriellen Betrieben, in denen grosse Staubmengen organischer oder brennbarer Art vorkommen, wie in Mühlen, Zuckerfabriken usw. können Staubladungen, die sich durch Funken ausgleichen, Entzündungen und Explosionen hervorrufen.

### b) Riemenelektrische Erscheinungen

Es ist eine bekannte Erscheinung, dass Treibriemen sich aufladen. Die dabei auftretenden Spannungen können so gross sein, dass Funkenentladungen bis 30 cm Länge beobachtet werden. Dieselben Aufladungen sind an bewegten Papierbahnen in Druckmaschinen zu beobachten. Infolge der elektrischen Felder, die diese Aufladungen begleiten, treten unerwünschte Kräfte auf, die z. B. durch Kleben des Papiers an den Walzen den ordnungsmässigen Betrieb stören. In der Filmindustrie führen Aufladungen der Filme zu den gleichen Schwierigkeiten. Ähnliche Erscheinungen sind ebenfalls beim Verspinnen von Wolle hinderlich.

### c) Elektrische Erscheinungen in isolierenden Flüssigkeiten

Es wurde beobachtet, dass sich beim Ausströmen von Benzin, Benzol, Äther und ähnlichen Flüssigkeiten u. U. so starke Aufladungen der Rohrleitungen ergaben, dass Funkenentladungen zu benachbarten Gegenständen übergingen. Mancher Brand ist auf eine Entzündung solcher Flüssigkeiten durch elektrische Entladungen zurückzuführen.

### d) Verschiedene Aufladungserscheinungen

Elektrische Erscheinungen können beim Spalten, Zerbrennen oder allgemein beim Trennen bestimmter isolierender fester Stoffe festgestellt werden. So leuchtet beim Zerbrennen eines Zuckerstückes die Bruchstelle für einen Augenblick auf.

### Deutung der Erscheinungen

Die meisten Versuche, die Aufladungserscheinungen der besprochenen Art zu deuten, knüpfen an die reibungselektrischen Vorgänge an. Der Verfasser hat aus den Versuchsergebnissen verschiedener Forscher und aus zahlreichen eigenen Versuchen eine neue Theorie abgeleitet.

Aus den Versuchen geht eindeutig hervor, dass der Ladungssinn des Staubes lediglich durch die äusseren Versuchsbedingungen bestimmt wird: dieselbe Staubsorte wird in Wechselwirkung mit einer Wand aus gleichem Stoff z. B. positiv beim Aufprall, dagegen negativ beim Abblasen. Dieser Befund lässt sich auf Grund des «Stosseffektes» oder des «Abreisseffektes» erklären, wenn der Oberfläche von festen Stoffen folgende Eigentümlichkeiten zugeschrieben werden. Es ist bekannt, dass sich auf der an einen Luftraum grenzenden Oberfläche eines festen Stoffes eine Schicht verdichteter Luft anlagert und durch Adsorptionskräfte gebunden wird. Fernerhin ist bekannt, dass die Luft stets Ionen beiderlei Vorzeichens etwa in gleicher Zahl enthält. In der angelagerten Luftschicht werden sich daher ebenfalls Ionen beider Vorzeichens befinden. Es ist nun anzunehmen, dass die Adsorptionskräfte eine der Ionenarten bevorzugen und sie fester binden werden als die andere («polare Ionenadsorption»). Unmittelbar auf der Oberfläche des festen Stoffes klebt also eine Schicht von z. B. positiven Ionen, darüber lagert sich in lockerer Bindung die gleiche Anzahl negativer Ionen. Die Untersuchungen über das Auftreten elektrischer Ladungen beim Strömen isolierender Flüssigkeiten durch Faserstoffe führen z. B. auf eine polare Adsorption von Ionen durch Oberflächen.

### Der Stosseffekt

Wird ein kugelförmiges Teilchen, z. B. ein Staubteilchen, das eine festhaftende Schicht positiver Ionen und darüber eine lockere Schicht negativer Ionen trägt, gegen eine feste Wand geschleudert, so wird es elastisch reflektiert. Infolge der Beharrungskräfte lösen sich beim Aufprall negative Ionen vom Staubteilchen in Richtung auf die feste Wand ab und bleiben an ihr kleben. Dieser Stosseffekt bewirkt demnach einen Überschuss an positiven Ladungen auf dem Staubteilchen und einen Überschuss an negativen Ladungsträgern auf der (isolierenden) festen Wand. Die Energie, die zur Trennung der beiden Ladungsarten notwendig ist, wird der kinetischen Energie des Staubteilchens entnommen, die ihm durch den Luftstrahl zugeführt wird.