

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 44 (1953)  
**Heft:** 19

**Artikel:** Der Ausbau eines Stadtnetzes mit gekapselten Schaltanlagen  
**Autor:** Bubenko, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059967>

### **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>**

# BULLETIN

## DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

### Der Ausbau eines Stadtnetzes mit gekapselten Schaltanlagen

Von J. Bubenko, Göteborg

621.311.1 : 621.316.364

*Der Autor schildert die Gesichtspunkte, die die Leitung des Elektrizitätswerkes der schwedischen Stadt Gävle veranlassten, im neuen 10-kV-Verteilnetz Schaltstationen mit Schrankschaltfeldern zu wählen. Er beschreibt die teilweise schon in Betrieb stehenden Anlagen ausführlich.*

*Exposé des raisons qui ont amené le Service de l'électricité de Gävle (Suède) à prévoir, dans son nouveau réseau à 10 kV, des postes de couplage équipés de panneaux de distribution. Description de ces installations, dont une partie est déjà en service.*

#### 1. Einleitung

Schrankschaltfelder oder ortsfeste Zellen — diese Frage steht heutzutage mehr als je im Mittelpunkt der Diskussion sowohl in der Elektroindustrie, als auch unter den Energieversorgungs- und Industriebetrieben. Die Herstellerfirmen sehen im Schaltanlagebau nach dem Bausteinsystem eine weitere Möglichkeit zur Normung und zur Einsparung von Material, Zeit und Arbeitskraft [1...10]<sup>1)</sup>. Die Elektrizitätsunternehmen pflegen die gewöhnlichen ortsfesten, oft in eigener Regie gebauten Schaltanlagen vorzuziehen, und zwar weil sie gewisse Einwände gegen die Schrankfelder vom bau- und betriebstechnischen Standpunkt aus erheben [11]. Erfahrungen haben aber bewiesen, dass bei Anlagen mit mässigen Betriebsströmen und Kurzschlussleistungen, sowie auch mit einfacher Grundschaltung, den Schrankfeldern eine recht grosse Bedeutung zukommen kann [12...14]. Besonders in den USA ist die Entwicklung in dieser Hinsicht sehr weit fortgeschritten [15...18]. Die Elektrizitätswerke und die Industrie bauen dort ihre Verteilnetze nach bestimmten Systemen und bevorzugen Standardapparate und einheitliche Anlagen. Die Netzstationen werden z. B. als komplette Einheiten — «load-center unit substations» — aufgestellt; für den Zusammenbau der Schaltanlagen höherer Spannung verwendet man genormte Teile. In Europa (exkl. Grossbritannien) haben z. Zt. noch wenige Firmen die Seriefabrikation von Schrankfeldern aufgenommen [4, 9]. Nur in einzelnen Fällen findet man Elektrizitätswerke und Industriebetriebe, die sich für Schrankanlagen entschieden haben. Aus diesem Grunde fehlt es an den nötigen Erfahrungen zum Meinungsaustausch über die schon in Betrieb befindlichen Schaltanlagen.

Die Absicht der folgenden Ausführungen ist, die grundlegenden Gesichtspunkte über Schrankanlagen einer schwedischen Elektrizitätsunternehmung zu erörtern und eine Beschreibung ihrer Ausführung zu geben. Es handelt sich um die Schaltstationen des Elektrizitätswerkes der Stadt Gävle, die für das neugeplante 10-kV-Verteilnetz gebaut und teilweise in Betrieb genommen sind.

<sup>1)</sup> siehe Literaturverzeichnis am Schluss.

#### 2. Die Gestaltung des Netzes

Für die Hafen-, Industrie- und Handelsstadt Gävle, die ca. 180 km nördlich von Stockholm am Bottnischen Meerbusen liegt, gelegentlich auch «das Tor zu Nord-Schweden» genannt, ist ein Generalplan für den zukünftigen Ausbau der Stadt ausgearbeitet worden. Dieser umfasst die zukünftige Entwicklung der Stadt über eine Zeitspanne von etwa 25 Jahren. Eine Erweiterung der Hafenanlagen, der Industrie- und Wohngebiete, sowie das Sanieren und der Neubau der Altstadt sind darin vorgesehen. Man rechnet mit einem Bevölkerungszuwachs von 48 000 Einwohnern auf 70 000. Eine lange Zeit hat die Stadt ihren alten, friedlichen Charakter bewahrt. Nun aber lässt sich ein starker Aufschwung der Entwicklung immer deutlicher feststellen. Es sind schon neue moderne Wohnhäuser, Schulen, Fabrik- und Hafenanlagen entstanden, was einen kräftigen Anstieg des Energiekonsums und die Erweiterung des Verteilnetzes zur Folge hat.

Die Stadt wird in der Hauptsache vom staatlichen Versorgungsnetz durch eine 70-kV-Leitung mit elektrischer Energie versorgt. Ein Teil des Bedarfes wird von eigenen, am Gavlefluss gelegenen kleineren Wasserkraftwerken gedeckt. Die Mittelspannungsverteilung umfasst ein überbelastetes und nicht kurzschlussfestes 5-kV-Netz mit einer grösseren Zahl von kleinen provisorischen Transformatorstationen. Die Niederspannungsverteilung geschieht für den grössten Teil der Abnehmer noch mit Gleichstrom, was natürlich ein Hindernis für die allgemeine Entwicklung der Energiewirtschaft ist.

Das kommunale Elektrizitätswerk hat grundlegende Richtlinien für die Entwicklung des Netzes ausgearbeitet, die der Belastungsprognose des neuen Stadtplanes entsprechen. Man hat versucht ein einheitliches Verteilungssystem zu schaffen und die Anlagen so zu dimensionieren, dass bei einem allmählichen Ausbau des Netzes und der Stationen die Qualität der gelieferten Energie gesichert und eine ökonomische Lösung der gesamten Energieversorgung erreicht wird [19, 20].

Die zukünftige Mittelspannungsverteilung wird für 10 kV Betriebsspannung projektiert; mit dem

Übergang auf die höhere Spannung ist in absehbarer Zeit zu rechnen. Im Zentrum der Stadt mit höherer Belastungsdichte werden die Netz- und Schaltstationen, sowie die wichtigsten Hochspannungsabnehmer durch ein Ringkabel gespeist. Das Kabel ist mit Differentialschutz ausgerüstet.

Die Vororte mit geringerer Belastungsdichte und die Industriegebiete haben eine radiale Mittelspan-

Betriebs- und Verlustkosten berücksichtigt. In Fig. 2 ist der Zusammenhang zwischen der ökonomischen Transformatorleistung, dem Stationsabstand und dem Kabelquerschnitt bei verschiedenen Belastungen angegeben. Die voll ausgezogenen Kurven entsprechen der Ausführung mit dem Ringkabel und vermaschtem Niederspannungsnetz (Schema «a»), die punktierten Kurven der radialen Hoch- und Niederspannungsverteilung (Schema «b»).

Der Energiekonsum einer Stadt ist nicht homogen, und ein Netz hat selten einen regelmässigen Ausbau, weshalb die Berechnung mit dem schematisierten Netz nur Anhaltspunkte für die wirkliche Projektierung gibt. In diesem Falle rechnet man in der Stadtmitte mit einer zukünftigen Belastung von 12 000...15 000 kW/km<sup>2</sup>, für die modernen Wohnquartiere mit mehrstöckigen Häusern von 6000...8000 kW/km<sup>2</sup> für die Siedlungen und Vororte von 1000...3000 kW/km<sup>2</sup> und für die Werkstätten, Maga-

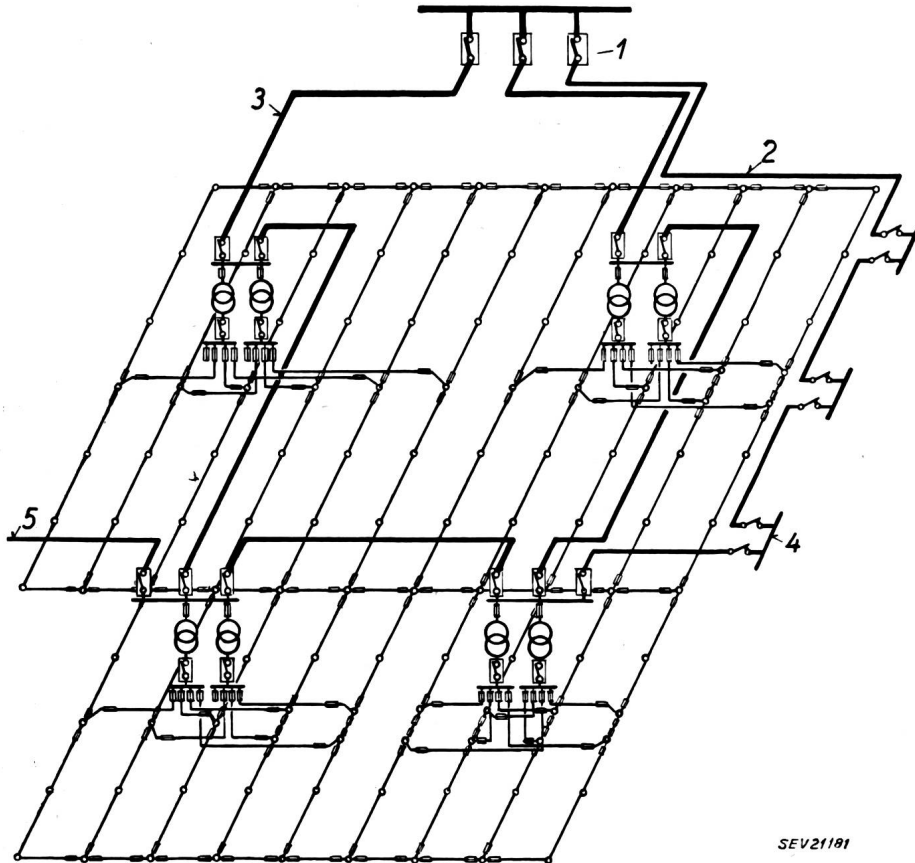


Fig. 1

Schematische Darstellung eines Ringkabels mit vermaschtem Niederspannungsnetz, einem Industriekabel für die Hochspannungsabnehmer und einem Abzweigkabel nach den Vororten

1 Verteilstation; 2 Industriekabel; 3 Ringkabel; 4 Hochspannungsabnehmer; 5 Abzweigkabel

nungsverteilung. Die speisenden Kabel nach diesen Stadtteilen können in den selektiv geschützten Schaltstationen der Ringkabel eingeschaltet werden.

Fig. 1 gibt eine schematische Darstellung des Ringkabels mit dem zugehörigen Maschennetz, einem Industriekabel mit Hochspannungsabnehmern und einem Abzweigkabel nach den Vororten. Bei vollem Ausbau ist jede Station mit zwei Transformatoren ausgerüstet, die auf getrennte Niederspannungssammelschienen arbeiten und nur durch das Maschennetz parallel geschaltet sind. Bei niedriger Stationsbelastung, z. B. wenn eine neue Station ins Netz eingeschaltet wird, oder zur Sommerzeit, da mit kleinerer Belastung zu rechnen ist, kann ein Transformator die ganze Belastung einer Station übernehmen.

Die Vororte und Siedlungen haben eine radiale Niederspannungsverteilung mit allfälliger Umschaltmöglichkeit in Kabelschränken.

### 3. Die Einheitsstationen

Die wirtschaftliche Leistung einer Station und der entsprechende Kabelquerschnitt sind für ein schematisches Netz mit gleichmässig verteilter Belastung berechnet. In dieser Berechnung werden die Anschaffungs- sowie die jährlichen Kapital-

zine, Lager und Schulen von 5000 kW/km<sup>2</sup>. Z. Zt. beträgt die Belastung für moderne Wohnviertel mit elektrischer Küche, ohne Warmwasserbereitung und Raumheizung, etwa die Hälfte dieser Werte.

Im Hinblick auf die theoretisch berechneten Stationsleistungen hat sich das Elektrizitätswerk Gävle für zwei Einheitsstationen entschieden. Für dichtbevölkerte Stadtteile sind pro Station zwei Transformatoren von maximal 800 kVA und für die spärlich bevölkerten Stadtteile zwei Transformatoren von maximal 400 kVA vorgesehen. Die Grösse und die Zahl der Transformatoren muss aber für jede Station von Fall zu Fall nach der Belastung und Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Die Leistung der Transformatoren wurde für Einheitsstationen auf 200, 400, 600 und 800 kVA genormt. Als lagermässige Kabelquerschnitte wurden für das Netz 95 und 185 mm<sup>2</sup> als geeignet befunden. Für Abonnentenschlüsse werden 10- und 25-mm<sup>2</sup>-Kabel verwendet.

Grössere Netzstationen, die auch als Schaltstationen vorgesehen sind, erhalten eine Hochspannungsanlage mit folgenden acht Feldern (nach Fig. 2, Schema «a»):

zwei Schalterfelder für das Ringkabel;  
zwei Leistungstrennerfelder mit Hochleistungssicherungen für die Netztransformatoren;

ein Sammelschienen-Längstrennerfeld und drei Reservfelder für die ein- oder auslaufenden Kabel oder für das Messfeld.

Im normalen Betrieb ist der Sammelschienen-Längstrenner eingeschaltet. Im Notfalle oder bei in Zellen auszuführenden Arbeiten kann eine Hälfte

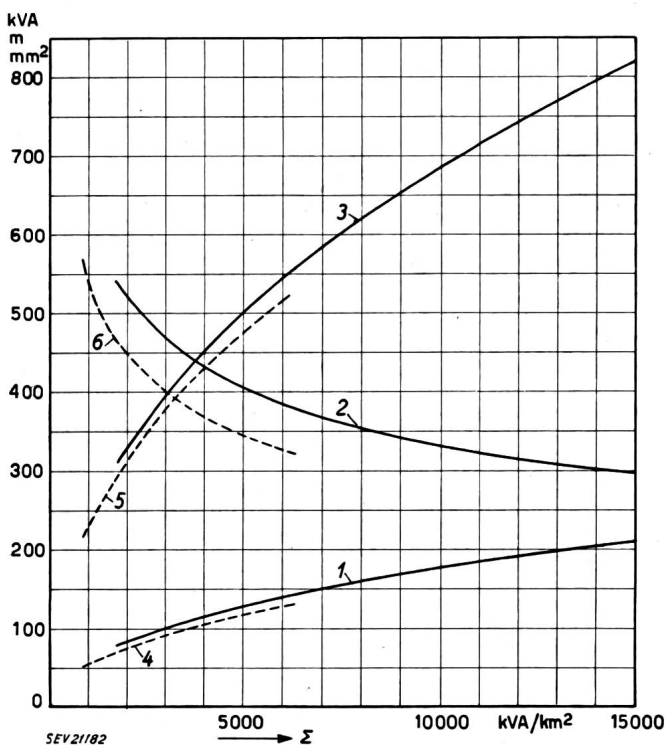
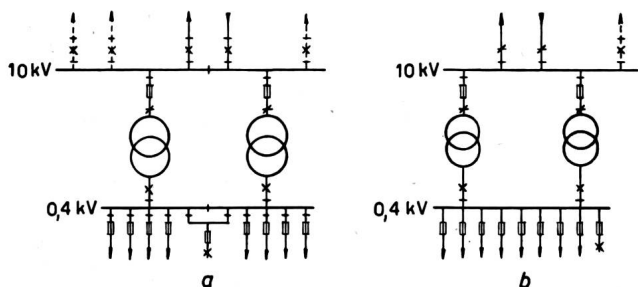


Fig. 2

Ökonomische Transformatorleistung, Stationsabstand und Kabelquerschnitt eines schematisierten Netzes

1, 4 Kabelquerschnitt; 2, 6 Stationsabstand;

3, 5 Transformatorleistung;  $\Sigma$  Belastungsdichte

— a Ringkabel mit vermaschtem Niederspannungsnetz  
 - - - - b Radiale Hoch- und Niederspannungsspeisung

der Schaltanlagen spannungslos gemacht werden. Eine nach diesem Schaltschema gebaute Anlage ist mit einer Schaltanlage mit Doppel- oder Einfach-sammelschiene mit einer zusätzlichen Hilfsschiene qualitativ zu vergleichen, hat aber niedrigere Erstellungskosten.

Kleinere Stationen für die radiale Hoch- und Niederspannungsverteilung enthalten eine Hochspannungsanlage mit folgenden fünf Feldern (nach Fig. 2, Schema «b»):

- zwei Leistungstrennerfelder für das ein- und ausgehende Kabel;
- zwei Felder für die Transformatorabzweigung und ein Feld für ein Abzweigkabel.

Die Sammelschienen sind einfach und ohne Trennmöglichkeit gebaut.

Die Niederspannungsverteilung umfasst die Luftschalter für die Transformatoren, die Sicherungsgruppen und allfällig die Trenner für die ausgehenden Kabel sowie die Verteilung der Strassenbeleuchtung. Für die grösseren Stationen ist die Niederspannungsverteilung auch aus einzelnen Feldern zusammengebaut. Für kleinere Stationen kann eine leichtere Bauart gewählt werden.

#### 4. Die Einheitsfelder

Das Elektrizitätswerk hat drei Varianten für die Herstellung der Schaltanlagen mit insgesamt über 100 Hochspannungsfeldern und 15 Niederspannungsverteilanlagen für die erste Ausbaustufe des Netzes untersucht:

- a) Bau sämtlicher Anlagen in eigener Regie;
- b) Bau der Schaltanlagen an Ort und Stelle durch eine Spezialfirma, oder
- c) Zusammenbau von fabrikfertigen Schrankfeldern durch eigenes Personal.

Das Bauen in eigener Regie, wie es meistens bei Elektrizitätswerken üblich ist, bedingt eine Projektierungs- und Montageabteilung mit qualifizierten Fachleuten. Für kleinere Elektrizitätsunternehmen kann diese Lösung sehr kostspielig werden, wenn die Arbeit in absehbarer Zeit fertig werden soll.

Varianten b) und c) sind qualitativ ebenbürtig. Es hat sich aber in diesem Falle erwiesen, dass das Bauen mit fertigen Schrankfeldern nicht nur die Lieferzeit abkürzt und eine langwierige örtliche Montage durch ortsfremde Arbeitskräfte vermeidet, sondern auch wirtschaftlich vorteilhafter ist. Daraus entstand die Aufgabe, die kleinste Zahl von Einheitsfeldern festzustellen, um die Möglichkeit für eine Normung und Serienanfertigung zu schaffen. Für das gewählte Netzsystem — mit Ringkabel in der Stadtmitte und radialen Kabeln in den Vororten und zu den Hochspannungsabnehmern — sind vier Einheitsfeldertypen für die Hochspannungsanlage ausreichend (Fig. 3):

- a) das Schaltfeld;
- b) das Leistungstrennerschaltfeld;
- c) das Messfeld;
- d) Sammelschienen-Längstrennung.

Das Schaltfeld enthält die einfachen Sammelschienen, Leistungsschalter mit allfälliger Fernbetätigung, die Trenner zwischen Schalter, Sammelschienen und Kabel, Hauptstromwandler in zwei Phasen für den Überstromschutz und die Messung des Stromes, einen Kabelringwandler für den Erdschlußschutz, die Erdungsmesser, Relais, Messinstrumente usw.

Der Unterschied zwischen den Feldern eines Ringkabels (Fig. 3a) und eines auslaufenden Kabels (Fig. 3b) besteht in der Ausführung des Schutzes. Das Ringkabel hat einen Spannungsdifferentialschutz und das auslaufende Kabel einen gewöhnlichen Überstrom- und Erdschlußschutz. Für ein Kabel, das nur einen einzelnen Hochspannungsabnehmer speist und meistens als Reserve einer Eigen-

anlage dient, kann die Messeinrichtung mit Zählern und entsprechenden Stromwandlern im Abzweigfeld eingebaut werden. Das Kabel kann beim Abnehmer ohne Hochspannungsanlage direkt am Transformator angeschlossen werden.

Das Einheitsfeld für den Leistungstrenner hat im Transformatorabzweigfeld einen Leistungstrenner

tig auch als Signalkabelschrank verwendet wird (Fig. 3f).

Für die Niederspannungsverteilung in Maschennetzstationen entstanden drei Einheitsfelder:

a) Schaltfeld des Transformatorabzweiges mit einem Schalter, Trenner, drei Stromwandlern und Kabelanschlüssen, Strom-, Spannungs- und Energiemessgeräten (Fig. 4a);

b) Feld für die abgehenden Kabel mit NH-Sicherungen und Trennern, sowie Stromwandlern und Strommessern in einer Phase (Fig. 4b);

c) Feld für die Sammelschienen-Trennung, sowie die Verteilung der Strassenbeleuchtung mit entsprechender Fernschalt- und Signaleinrichtung (Fig. 4c).

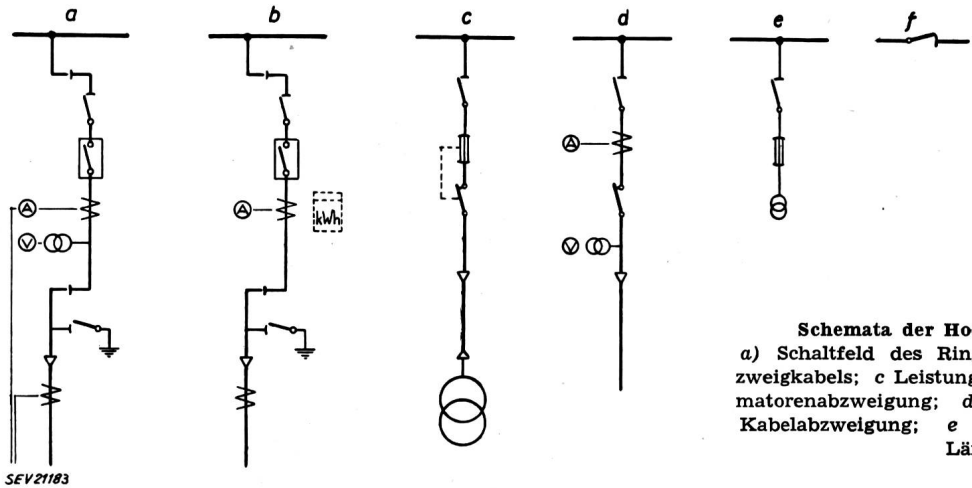


Fig. 3

Schemata der Hochspannungs-Einheitsfelder

a) Schaltfeld des Ringkabels; b) Schaltfeld des Abzweigkabels; c) Leistungstrennerschaltfeld der Transformatorabzweigung; d) Leistungstrennerschaltfeld der Kabelabzweigung; e) Messfeld; f) Sammelschienen-Längstrennung

mit aufgebauten Hochleistungssicherungen, die mit dem Leistungstrenner und dem Luftschalter auf der Niederspannungsseite des Transformators verriegelt sind, und einen Sammelschienen-Trenner (Fig. 3c). Beim Schmelzen der HH-Sicherungen, wenn das auch nur in einer Phase geschieht, z. B. bei Doppelerdschluss, wird der Leistungstrenner und der niederspannungsseitige Luftschalter automatisch ausgeschaltet. Im Kabelabzweigfeld ist bei normalen Verhältnissen kein Bedürfnis für HH-

5. Die Ausführung der Schrankfelder

Bei Projektierung und Ausbau der Schaltanlagen sollen folgende grundsätzliche Bedingungen erfüllt werden [3, 11, 14, 22]:

1. Zweckmässige Schaltung und günstige räumliche Anordnung der Geräte, klare Gliederung und leichte Erkennbarkeit des Schaltzustandes; einfache Umbaumöglichkeit des Leistungstrennerschaltfeldes auf einfaches Schaltfeld; nicht-brennende Isolation; Einbaumöglichkeit von modernen Apparaten verschiedener Fabrikate.

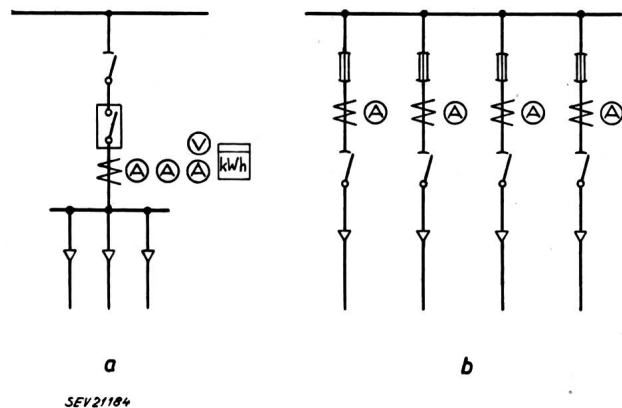


Fig. 4

Schemata der Niederspannungs-Einheitsfelder der Maschennetzstationen

a) Schaltfeld der Transformatorabzweigung; b) Feld der abgehenden Kabel; c) Sammelschienen-Längstrennung und Verteilung der Strassenbeleuchtung

Sicherungen. Das Feld soll jedoch so gebaut werden, dass die Aufstellung der Strom- und Spannungswandler für die allfällige Messung des Stromes und der Spannung des ankommenden Kabels möglich ist (Fig. 3e).

Das Messfeld wird benötigt in Stationen, wo das Messen der Leistung oder der Richtungsschutz auf der Hochspannungsseite gefordert wird. Es muss mit Spannungswandler, HH-Sicherungen und Trenner versehen werden (Fig. 3e).

Es hat sich erwiesen, dass es konstruktiv vorteilhafter ist, die Sammelschienen-Längstrennung in einem besonderen Felde einzubauen, das gleichzei-

2. Richtige und koordinierte Dimensionierung von Geräten und Strombahnen in bezug auf Nennlast, Kurzschlussstrom, Betrieb- und Überspannung, entsprechend den vorhandenen Normen.

3. Einfache Bedienbarkeit und zweckmässige Verriegelung, so dass alle nötigen Schaltungen auch vom weniger geschulten Personal mit Sicherheit durchgeführt werden können; die Vermeidung von Fehlschaltungen mit Trennern.

4. Unempfindlichkeit gegen Störungen und die Möglichkeit, diese leicht zu beheben; Reinigungs- und Kontrollmöglichkeit ohne Betriebsunterbrechung, erzielt durch ausreichende Zugänglichkeit aller Anlageteile.

5. Grösstmögliche Betriebssicherheit und weitgehender Personenschutz des Personals bei Bedienung und Revision.

6. Koordination der Hauptabmessungen der Felder mit den Abmessungen der Netztransformatoren, der Bedienungs-

gänge, sowie der normalen Raumhöhe von Gebäuden, die für die Aufstellung der Anlage in Frage kommen können, z. B. im Kellergeschoss von Wohn- oder Geschäftshäusern.

Alle diese Bedingungen sollen bei geringstem Aufwand an Baustoffen, Raum und Zeit erfüllt werden.

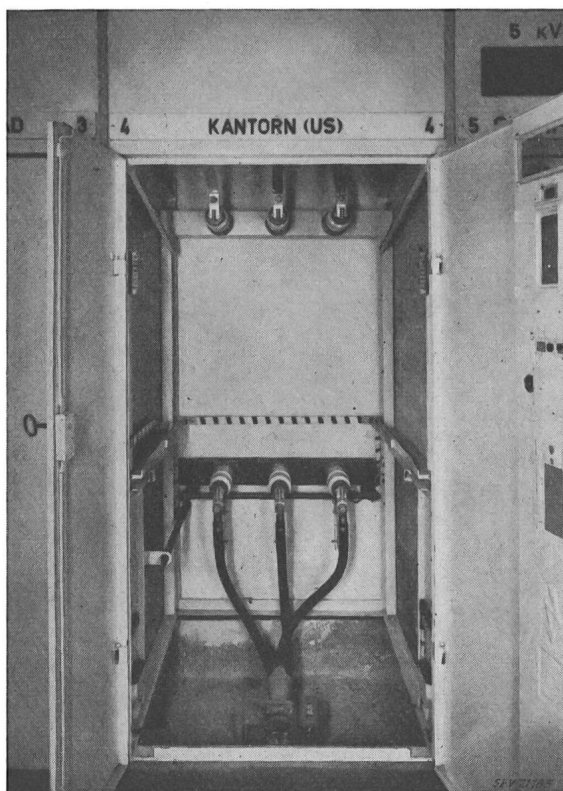


Fig. 5  
Schaltfeld mit ausgefahrenem Schaltwagen

Die Hoch- und Niederspannungseinheitsfelder sind als Schrankfelder entwickelt. Als Hauptabmessungen der Hochspannungsfelder normaler Teilung sind für die Ausführung mit 600 A Nennstrom und 250 MVA Kurzschlussleistung bei 10 kV Betriebsspannung folgende Werte festgelegt worden [9]:

Höhe	2300 mm
Tiefe	1000 mm
Breite	1055 mm

Die Fachbreite der Sammelschienen-Trennung ist kleiner, nämlich 550 mm. Trotz den geringen Abmessungen und normalen Standardapparaten sind die erforderlichen Sicherheitsabstände gewahrt. Diese betragen nach den schwedischen Normen bei 10 kV Betriebsspannung und für die Lage der Anlage 140 mm.

Die Felder sind bei der Abnahme in der Fabrik mit 50 Hz Wechselspannung von 42 kV, und bei offenen Trennstrecken mit 53 kV während 1 min, sowie mit 85 kV Stoßspannung (10 positive und 10 negative Stöße,  $1/50 \mu s$ ) geprüft worden.

Der Aufbau der Felder ist einfach und stabil, geeignet für Eisenbahn- und Autotransport. Sie besitzen geschweisste Profilstahlgrundrahmen. Die Zellen enthalten verstärkte, fest eingebaute Kupfersammelschienen für 1000 A, die oberen Trennkontakte, die für den Einbau der Geräte erforder-

lichen Befestigungseisen, die Erdleitungen, das Führungseisen für das Einsetzen der Isolationsplatte zum Abschirmen der Sammelschienen, die Fahrchienen für den Schaltwagen und an Klemmen geführte Hilfsleitungen (Fig. 5). Die Fernsteuer- und Meldeleitungen werden verkabelt der Zelle unten zugeführt. Die Leitungen für Hilfsgleich- und Wechselspannung sind durchgehend oben im Felde eingebaut. Auf beiden Seiten des Gerüsts befinden sich Kupplungsteile für die Hilfsleitungen. Die Kupplungsteile sind mit kräftigen Federdruckkontakten versehen. Das Schaltfeld ist ausserdem mit den unteren Kontakten bestückt, an welche das Kabel angeschlossen wird. Für die Erdung des Kabels sind angebaute Erdmesser vorgesehen.

Das Feld ist oben mit Stahlblech verkleidet, unten und rückwärts jedoch offen, geeignet für Aufstellung an einer Wand. Beim Zusammenbau der Schaltanlage werden die Felder durch Schrauben miteinander verbunden, wobei die einzelnen Felder durch eingeschobene 12 mm starke Platten aus Asbestzement mit Doppeldrahteinlage von einander feuersicher getrennt sind. Die Stossfugen sind mit einer Formgummidichtung abgedichtet. Die Aus-



Fig. 6  
Schaltwagen

senseiten der Endfelder sind durch eine Blechkassette abgedeckt, in die ebenfalls eine Trennwand eingeschoben wird.

Den vorderen Abschluss für das Schaltfeld bildet eine gepresste Stahlblechdoppeltür, die mit entspre-

chenden Aussparungen für den Schalterantrieb, die Skalen der Messinstrumente und die Signallampen versehen ist. Das Leistungstrenner- und das Messfeld haben gepresste Einzeltüren. Beim Umbau des Leistungstrennerfeldes auf Schaltfeld muss nur die Einzeltüre und Seitenblende durch eine Doppeltüre ersetzt werden. Die Zelle ist übrigens so ausgebildet, dass keine weiteren Änderungen für das Einsetzen des Schaltwagens oder für den Einbau fester Apparate erforderlich sind. Die Strombahn verfolgt den kürzesten Weg von den Sammelschienen (oben) bis zum Kabelanschluss (unten), ohne Umwege und zusätzliche Verbindungsstücke.

Alle dem Schaltfeld zugehörigen Apparate sind auf dem Schaltwagen aufgestellt (Fig. 6). Im eingefahrenen Zustande ist der Wagen, ohne Gefährdung durch Hochspannung, allseitig und bequem zugänglich. Auf der Rückseite des Wagens sind Hochspannungsapparate: ölarmierter Leistungsschalter mit Kontakten, Trenner, Strom- und Spannungswandler aufgebaut. Die Vorderseite des Wagens enthält die Niederspannungsapparatur mit dem Antriebsmechanismus, den Messinstrumenten, den Relais, den Klemmen, sowie die abschliessende Wand. Durch eine Plexiglasöffnung ist es möglich die im Feld befindlichen Messwandler, Trennkontakte, den Ölstand des Leistungsschalters, die Trennstrecke des Trenners bei geöffneter Tür, aber eingefahrenem Wagen, laufend zu überwachen. Alle Wagen sind so genau gebaut, dass sie unter sich vertauscht werden können und in alle Felder passen.

Nach Einfahren des Wagens wird dieser mit der Zelle mechanisch verriegelt. Der Wagen hängt in der Zelle auf Gleitschienen und ist vom Fussboden frei und unabhängig. Der Anschluss des Schalters in der Zelle geschieht mit kräftigen Federkontakten, die auf vierfachen Nennstrom geprüft sind. Die Federkontakte sind beweglich am Schalter angeordnet, um geringe Toleranzen zwischen Kontaktteilen zu überbrücken. Diese Beweglichkeit, in Verbindung mit der Führung des Schaltwagens durch die Gleitschienen, gewährleistet einen sicheren Eingriff der Trennkontakte. Der Wagen hat auf beiden Seiten Kupplungsteile, die sich selbsttätig bei Verriegelung des Wagens in der Zelle mit den Kupplungsteilen auf dem Gerüst schliessen. Der Verriegelungsgriff des Wagens ist mit dem Schaltmechanismus so gekuppelt, dass der Schalter einerseits erst dann betätigt werden kann, wenn sich der Wagen in seiner Endstellung befindet, andererseits ein Ausfahren des Wagens bei eingeschaltetem Schalter nicht möglich ist. Der Trenner ist mechanisch mit dem Schalter verriegelt. Die Erdung des Kabels wird beim Einsetzen des Wagens ins Feld aufgehoben. Diese Massnahmen gewährleisten eine hohe Betriebssicherheit.

Für die Erdung dient eine fest eingebaute Erdungsschiene. Die Verbindung zwischen dem Wagen und der Erdungsschiene ist durch Gliedkontakte gesichert. Beim Ausfahren des Wagens sind die Erdkontakte in Verbindung mit der Schiene so lang, bis der notwendige Isolationsabstand zwischen Wagen und den spannungsführenden fest eingebauten Teilen erreicht ist. Beim Einsetzen des Wagens verläuft das Eingreifen der Kontakte umgekehrt.

Die Kontakte sind für eine dem doppelten Erdschlussstrom entsprechende Stromstärke geprüft worden. Die Verbindungsleitungen im Schalterauslösekreis und zwischen Messwandlern, Relais- und Messinstrumenten sind fest verlegt. Der Schalter ist mit einem zusätzlichen Trenner versehen, damit Schalter, Fernsteuer- und Signalleitungen, sowie der Differentialrelaiskreis bei eingefahrenem Wagen geprüft werden können.

Durch die Stahlblechverkleidung gewährleisten die Schrankfelder den grössten denkbaren Schutz des Betriebspersonals. Bei Revisions- oder Montage-

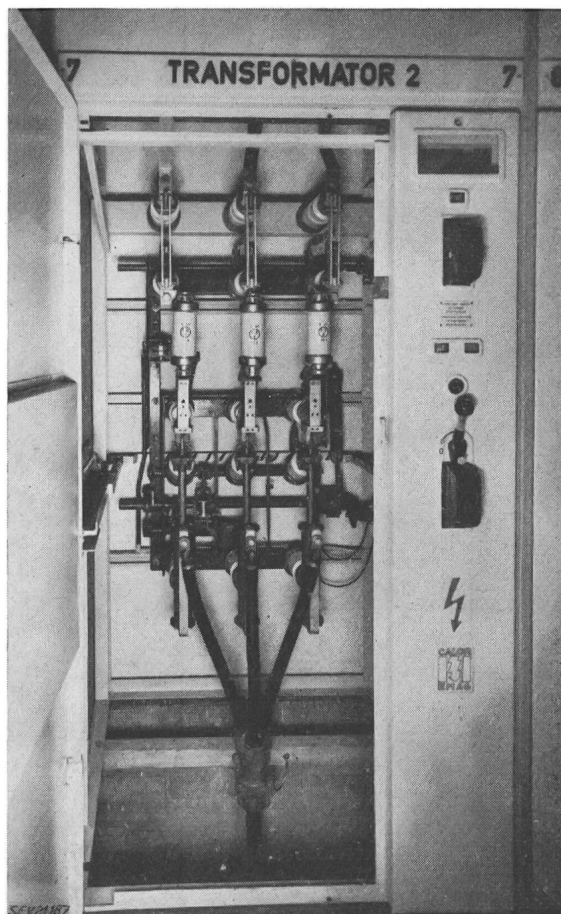


Fig. 7

Leistungstrennerschaltfeld der Transformatorenabzweigung

arbeiten verwendet man eine Montageplatte, die die Zelle von den Sammelschienen abtrennt und gegen unabsichtliche Berührung mit den unter Spannung stehenden Schienen schützt. Die Türen werden mit einem Dreieckhandgriff und einem Schlüssel abgeschlossen.

## 6. Die Ausführung der Stationen

Bei der Projektierung und dem Ausbau der Stationen soll eine Anzahl grundsätzlicher Bedingungen erfüllt werden [23...25]. Diese sind:

Einfache und übersichtliche Disposition, gute Bedienungsmöglichkeit und leichte Zugänglichkeit aller Anlageteile, wie Schaltanlage, Transformatoren, Kabel; einfache Erweiterungsmöglichkeit durch Anschluss neuer Kabel, Austausch der Transformatoren; minimaler Raumbedarf; einfache, dem Gelände und der Umgebung angepasste Bauweise.

Für die Einheitsstationen sind zwei Varianten für eingeschossige oberirdische Bauart entwickelt:

- a) Eine Station mit der Schaltanlage in der Mitte und den Transformatorenräumen an beiden Enden des Gebäudes.
- b) Eine nahezu quadratische Disposition mit beiden Transformatorenräumen nebeneinander und der Schaltanlage dahinter.

Welche von diesen beiden Bauarten bevorzugt wird, hängt von betriebs- und bautechnischen, sowie architektonischen Gesichtspunkten ab.

Die Schaltfelder werden frei auf dem Boden aufgestellt und mit Ankerbolzen an den Kanten-eisen des Ansatzes des Hausfundamentes und der Balken befestigt. Unter den Balken sind die Tablare für Signal- und Hilfsleitungen angebracht.

Der Raumbedarf für ein Schaltfeld, einschliesslich Bedienungsgang und Kabelgeschoss, ist  $10 \text{ m}^3$ .

Für die Ventilation der Transformatorzellen sind abschliessbare Öffnungen vorgesehen. Die Stationen werden nach Möglichkeit so plaziert, dass die Wand mit den Warmluftöffnungen gegen Norden liegt. Ausserdem besteht die Möglichkeit, eine künstliche Kühlung durch Einbau von Ventilatoren einzurichten. Geräuschbildung der Transformatoren ist bei freistehenden Stationen weniger störend. In anderen Gebäuden untergebrachte Transformatoren werden durch schallübertragende Fundamente und Wände isoliert.

Die Erdung der Stationen geschieht gewöhnlich durch das städtische Wasserleitungsnetz, wodurch der Erdungswiderstand unter  $1 \Omega$  gebracht wird. Im Graben der Hochspannungskabel ist ein Erdseil verlegt und an der Stationserde angeschlossen. Das Erdseil hat gute Erdungseigenschaften, es ist den Erdungsplatten weit überlegen und mit einer Erdung am Wasserleitungsnetz vergleichbar [26]. Im Hafengelände, z. B. wo kein Wasserleitungsnetz vorhanden war, wies die Erdplatte einen Widerstand von  $4...5 \Omega$  auf, gegenüber nur  $1 \Omega$  des Erdseiles. Wegen der guten Erdungsverhältnisse ist die Betriebs- und Schutzerdung gemeinsam angeordnet.



Jede Station ist mit einem Werktelefon ausgerüstet; man beabsichtigt, in der Zukunft Fernmelde- und Fernsteueranlagen einzubauen. Parallel mit den Hochspannungskabeln sind Signalkabel von je  $2 \times 12$  Adern für den Schutz, für das Tele-

phon, für das Fernmelde- und Fernsteuersystem verlegt. Signale von Betriebsstörungen werden in zwei Gruppen eingeteilt: In die erste Gruppe gehören

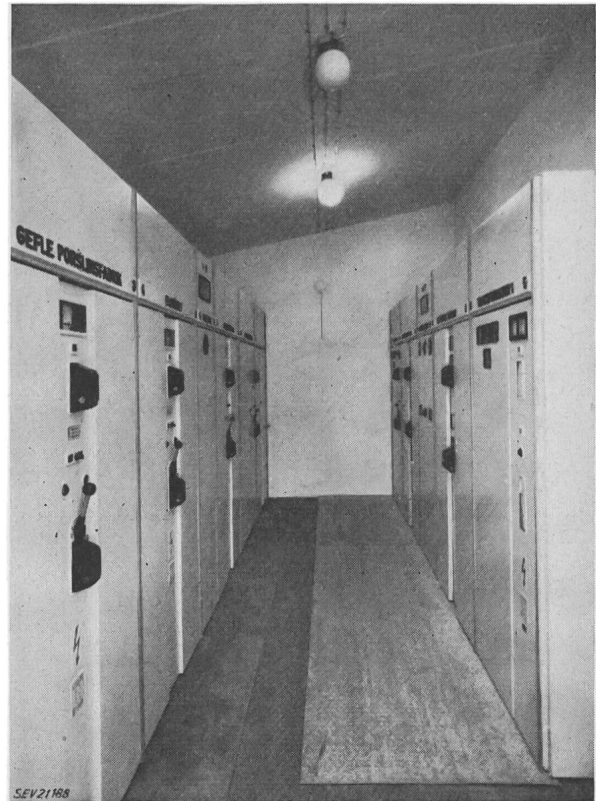


Fig. 8  
Inneres einer Einheitsstation mit der Hochspannungsanlage (links) und der Niederspannungsverteilung (rechts)

die wichtigen Meldungen, z. B. Abschaltung eines Kabels oder Transformators, Fehler in der Strassenbeleuchtungsverteilung oder Wegfallen der Hilfs-spannung; die weniger wichtigen Meldungen, z. B. vorübergehende Überlastung des Transformators oder der Kabel, Ausbrennen einzelner Strassenbeleuchtungslampen usw. werden der zweiten Gruppe zugeordnet.

Eine gute Beleuchtung und die helle Farbe der Felder und der Wände bewirken ein freundliches Interieur der Stationen (Fig. 8). Man hat absichtlich die helle Farbe gewählt, um das Betriebspersonal psychologisch zu einer guten Ordnung zu beeinflussen.

Fig. 9  
Station in Hafen- und Güterbahngelände

Die Montagearbeit für die Aufstellung von acht Hoch- und fünf Niederspannungsfeldern, eines Transformators, die Verlegung der Kabel einschliesslich Wickeln der Endverschlüsse, das Anschliessen der Signalleitungen, das Installieren der Beleuch-



tung, des Telephons, der Batterie usw. nahm für eine Montagegruppe von vier Männern zwei Wochen in Anspruch.

Für die architektonische Ausführung der Stationen wird von Fall zu Fall der Stadtarchitekt zugezogen, um die Bauweise der Stationen dem jetzigen oder beabsichtigten Baustil der anliegenden Gebäude nach Möglichkeit anzupassen. Fig. 9 zeigt einen typischen Bau einer Einheitsstation.

#### Literatur

- [1] Tschumi, F.: Gekapselte Hoch- und Niederspannungs-Schaltanlagen. Brown Boveri Mitt". Bd. 39(1952), Nr. 4, April, S. 143...151.
- [2] Heinze, J.: Hochspannungs-Schrankanlagen für Innenraum- und Freiluftaufstellung. VDE Fachber". Bd. 14 (1950), S. 15...21.
- [3] Blaschke, Heinrich: Schaltschrank oder ortsfeste Zelle in Hochspannungs-Verteilanlagen. Elektrotechnik, Berlin Bd. 5(1951), Nr. 12, Dezember, S. 558...564.
- [4] Equipements Nr. 1, 2, 3; Rev. éd. par Les Ateliers de Constructions Electriques de Delle, Chalon-sur-Saône.
- [5] Tschumi, F.: Gekapselte Schaltanlagen der Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden. Bull. SEV Bd. 43 (1952), Nr. 6, 22. März, S. 205...207.
- [6] Benninger, H.: Gekapselte Schaltanlagen der Maschinenfabrik Oerlikon. Bull. SEV Bd. 43(1952), Nr. 6, 22. März, S. 207...211.
- [7] Bosshardt, C.: Gekapselte Schaltanlagen von Sprecher & Schuh A.-G., Aarau. Bull. SEV Bd. 43(1952), Nr. 6, 22. März, S. 211...214.
- [8] Jaekel, W.: Stahlblechgekapselte, geschottete Schalteinheiten für Hochspannungsanlagen bis 10 kV. Elektr.-Wirtsch. Bd. 51(1952), Nr. 8, 20. April, S. 181.
- [9] Mitteilung der Calor-Emag A.-G., Ratingen bei Düsseldorf. -(1952), November.
- [10] Maring, B.: Stahlblechgekapselte Hochspannungs-Freiluftschaltanlage. Elektr.-Wirtsch. Bd. 52(1953), Nr. 8, 20. April, S. 217...218.
- [11] Schneider, Ch.: Einiges über gekapselte Schaltanlagen. Bull. SEV Bd. 43(1952), Nr. 6, 22. März, S. 203...204.
- [12] Dehn, A., und E. Sperling: 10-kV-Schaltzellen für

- 200 MVA mit Einfachsammlerschienen in betriebsfertig lieferbarer Ausführung. Elektrotechnik, Berlin Bd. 5 (1951), Nr. 10, Oktober, S. 438...444.
- [13] Bäuerle, E.: Der Zweileistungsschalter im Mittelspannungs-Schaltanlagenbau. Elektr.-Wirtsch. Bd. 52(1953), Nr. 1, 5. Januar, S. 5...9.
- [14] Bubenko, J.: Über den Bau der Netzstationen. Berichte des schwedischen EWV Bd. -(1952), Nr. 23 (schwedisch).
- [15] Brunner, A.: Gekapselte Schaltanlagen in Nordamerika. Bull. SEV Bd. 43(1952), Nr. 6, 22. März, S. 200...203.
- [16] Hunter, E. M., und J. C. Page: Standardized Load-Center Unit Substations for Low-Voltage A-C Systems. Electr. Engng., Trans' Sect. Bd. 61(1942), Juli, S. 519...525.
- [17] Craig, D. E., E. M. Hunter und L. D. Madsen: Factory Assembled Substations. Gen. Electr. Rev. Bd. 52(1949), Nr. 2, Februar, S. 31...36; Nr. 3, März, S. 31...33; Nr. 4, April, S. 34...40.
- [18] Morton, B., und L. L. Nonemaker: Seven Standard Substations Fit System Needs from 4 to 220 kV. Electr. Wld. Bd. 137(1952), Nr. 14, 7. April, S. 114...117.
- [19] Ekström, A.: Der neue Generalplan des Gävle Elektrizitätswerkes. Berichte des schwedischen EWV Bd. -(1952), Nr. 23 (schwedisch).
- [20] Bubenko, J.: Der Generalplan für das Elektrizitätswerk der Stadt Gävle. Göteborg: 1952 (schwedisch).
- [21] Bubenko, J.: Die Generalplanung der städtischen Verteilnetze. Tekn. T. Bd. 83(1953), Nr. 23, S. 474 (schwedisch).
- [22] Tauchen, Hans: Mittel zur Unfallverhütung bei Arbeiten in Hochspannungsanlagen, Kabelnetzen und Prüffeldern. Elektr.-Wirtsch. Bd. 51(1952), Nr. 21, 5. Nov., S. 588...592.
- [23] Sekretariat des VSE: Bericht über die Diskussionsversammlungen über den Betrieb von Transformatorstationen. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 3, 7. Febr., S. 97...101.
- [24] Binkert, E.: Einführungsreferat, gehalten an der Diskussionsversammlung des VSE über den Bau von Transformatorstationen. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 5, 7. März, S. 201...208.
- [25] Tobler, E.: Erfahrungen im Bau und Betrieb von Transformator- und Schaltstationen. Schweiz. techn. Z. Bd. 44(1947), Nr. 49, 4. Dezember, S. 823...832.
- [26] Wettstein, M.: Vorausberechnung der Masse, der Form und der Anordnung der Erdelektroden bei der Erstellung von Erdungsanlagen. Bull. SEV Bd. 42(1951), Nr. 2, 27. Januar, S. 49...63.

#### Adresse des Autors:

Dozent, Dipl.-Ing. habil. Janis Bubenko, Chalmers technische Hochschule, Storgaten 43, Göteborg (Schweden).

## Die Ausnützung der Atomenergie im Kernreaktor

Von W. Hanle, Giessen

539.172.4 : 621.039.42

Nach Entdeckung der Kernspaltung wurden sofort von den verschiedensten Stellen Überlegungen und Versuche angestellt, ob und wie man auf Grund dieser Erscheinungen Atomenergie gewinnen könnte. Die Ereignisse des zweiten Weltkrieges haben diese Entwicklung in den USA beschleunigt. Sie haben dazu geführt, dass zunächst die militärische Anwendung der Atomenergie in der Atombombe vorangetrieben wurde. Aber die dabei gemachten Erfahrungen und gewonnenen neuen Erkenntnisse haben auch die friedliche Anwendung ausserordentlich gefördert. Diese Entwicklung ist jetzt in ein Stadium getreten, in welchem verschiedene Stellen sich ernsthaft mit dem Problem der wirtschaftlichen Ausnützung von Atomenergie beschäftigen [1, 2] <sup>1)</sup>.

Zur Zeit wird der grösste Teil unserer Energie durch Verbrennung von Kohle erzeugt, also durch einen chemischen Prozess. Bei der Gewinnung von Atomenergie in Kernreaktoren (Uranbrenner, Uranmeiler, Pile) handelt es sich um einen ganz anderen Vorgang. Wir wollen den Unterschied durch eine kurze Beschreibung der Struktur der Atome erläutern.

Die Atome bestehen aus elektrisch geladenen Teilchen. Ein positiv geladener Kern, welcher praktisch die gesamte Atommasse enthält, ist von negativ geladenen Elektronen umgeben. Die chemischen Eigenschaften der Elemente sind durch die Struktur ihrer Elektronenhülle gegeben. Bei der Verbindung von Atomen, z. B. bei der Bildung von Kohlendioxyd aus Kohlenstoff und Sauerstoff, wird Energie frei. Hierauf beruht die Entwicklung von Wärme bei der Verbrennung von Kohle.

Die Kerne der verschiedenen Elemente setzen sich aus Protonen, das sind Wasserstoffkerne, und Neutronen, das sind neutrale Teilchen von nahezu der gleichen Masse wie die der Protonen, zusammen. Die meisten Elemente bestehen aus mehreren Atomarten, sog. Isotopen, deren Kerne unterschiedliche Neutronenzahlen haben. Z. B. enthält der Was-

serstoff im Wasser neben den gewöhnlichen Wasserstoffatomen einen geringen Prozentsatz Atome, die schwerer sind, weil ihre Kerne aus einem Proton und einem Neutron bestehen. Auch das schwerste in der Natur vorkommende Element, Uran, besteht aus 2 Atomsorten. Der Kern von U 238 setzt sich aus 92 Protonen und 146 Neutronen zusammen, der Kern des im normalen Uran nur zu 7% vorkommenden Isotops U 235 aus ebenfalls 92 Protonen, aber nur 143 Neutronen.

Auch bei Reaktionen von Atomkernen kann Energie frei werden. Z. B. tritt beim radioaktiven Zerfall von schweren Elementen wie Uran oder Radium «Kernenergie» in Form von Bewegungsenergie ausgeschleuderter Teilchen oder Strahlungsenergie in Erscheinung. Dabei entstehen jedoch nur minimale Energiebeträge, weil einerseits die zerfallenden Mengen sehr klein sind und andererseits der Zerfall nicht beschleunigt werden kann. Auch bei der künstlichen Umwandlung von Atomen war es zunächst nicht möglich, Kernenergie zu gewinnen.

Eine besondere Rolle spielen nun Neutronen, da sie keine Ladung besitzen und daher nicht von anderen Kernen abgestossen werden. Entscheidend für die Entwicklung der Kernphysik und die Anwendungen wurde die Umwandlung schwerer Elemente wie Uran durch Neutronen, weil hierbei Kernenergie praktisch gewonnen werden kann. Das leichte Uranisotop, U 235, wird durch Neutronen in 2 Kerne von ähnlicher Masse gespalten — z. B. in einen Krypton- und einen Bariumkern — und einige schnelle Neutronen. Die entstehenden Spaltbruchstücke sind in der Regel neutronenreiche Isotope der normalen Elemente und daher radioaktiv. Sie zerfallen unter Emission schneller Elektronen allmählich in die stabilen Isotope der Elemente. Bei der Spaltung wird zugleich eine ausserordentlich grosse Energie frei. Sie tritt hauptsächlich als Bewegungsenergie der Spaltbruchstücke und Neutronen in Erscheinung. Die bei der Spaltung des Urans entstehenden Neutronen kann man wiederum mit Urankernen reagieren lassen. Durch diese sog. Kernketten-

<sup>1)</sup> siehe Literatur am Schluss.