

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 40 (1949)
Heft: 3

Artikel: Netzgestaltung und Netzberechnung
Autor: Gubelmann, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060643>

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

Netzgestaltung und Netzberechnung

Vortrag, gehalten an der Betriebsleiterversammlung des VSE vom 16. September 1948 in Bern,
von R. Gubelmann, Winterthur

621.316.1

Der Referent berührt einige allgemein interessierende Probleme über den Aufbau und Betrieb von Niederspannungs-Kabel- und Freileitungsnetzen. An Hand von Beispielen wird gezeigt, nach welchen Richtlinien beim Elektrizitätswerk der Stadt Winterthur die Netze gebaut und betrieben werden. Es wird besonders auf die Vor- und Nachteile des Maschen-netzbetriebes hingewiesen. In einem zweiten Teil werden die für die Projektierung von Verteilnetzen massgebenden Grundlagen behandelt.

L'auteur traite de divers problèmes généraux relatifs à l'établissement et à l'exploitation des réseaux de câbles et de lignes aériennes à basse tension. A l'aide d'exemples, il expose les méthodes adoptées à ce sujet par le Service de l'électricité de la Ville de Winterthur et indique quels sont les avantages et les inconvénients des réseaux bouclés. Il traite ensuite des données fondamentales pour l'établissement des projets de réseaux de distribution.

I. Netzgestaltung

Zur grundsätzlichen Frage *Freileitungs- oder Kabel-Netze*, wann Kabel- und wann Freileitungs-Netze zu wählen sind, ist ganz allgemein darauf hinzuweisen, dass Kabel-Netze in folgenden Fällen anzustreben sind:

1. In städtischen Verhältnissen, wo die spezifischen Belastungen allgemein höher sind als bei ländlichen Energieverteilungsanlagen und wo wegen der geschlossenen oder dichten Überbauung mit Freileitungen nicht mehr auszukommen ist,
2. ferner wenn aus ästhetischen Gründen Freileitungen nicht in Frage kommen.

In Winterthur sind beispielsweise die Altstadt und Veltheim verkabelt, während die Vorortsgemeinden, welche mit der Stadt zusammengebaut sind, grösstenteils noch Freileitungsnetze besitzen. Wegen zunehmender Überbauung mit zum Teil vollelektrifizierten neuen Kolonien sowie wegen des Anschlusses grosser gewerblicher Betriebe genügen die Freileitungsnetze dieser Vororte nicht mehr. Wir beabsichtigen, die Freileitungsanlagen allmählich durch Kabel zu ersetzen. Die Freileitungsnetze der übrigen Aussengemeinden, die noch auf längere Zeit ihren ländlichen Charakter beibehalten werden, bleiben bestehen.

Die Mischung von Freileitungs- und Kabel-Netzen suchen wir wegen den damit verbundenen erschwerten Unterhaltsarbeiten nach Möglichkeit zu vermeiden.

Allgemeiner Aufbau der Netze

Im *Kabelnetz* unterscheiden wir drei Netzformen:

- Das reine Strahlennetz,
- das teilweise vermaschte Netz
- und das vermaschte Netz.

Wir betreiben normalerweise keine reinen Strahlennetze. In den einzelnen Stationssektoren werden die Leitungen, soweit es wirtschaftlich tragbar ist,

in Ringe zusammengeschaltet. Die einzelnen Ringleitungen sind teilweise noch durch Querleitungen verbunden. Wir sprechen hier von einem teilweise vermaschten Netz. Mit den benachbarten Stations-Sektoren besteht betriebmässig keine Verbindung. Die einzelnen Sektoren können jedoch in Schaltkabinen zusammengeschaltet werden. Die Netze sind so aufgebaut und bemessen, dass sie die Leistung anliegender Sektoren bei Ausfall einer Station



Fig. 1
EWW-Netz-Sektor-Hermannseck
Ringbildung

übernehmen können. Auf die Spannungshaltung wird in solchen nicht betriebmässigen Fällen keine Rücksicht genommen. Die Vorteile der Ringbildung (Fig. 1) in Kabelnetzen sind bekannt und brauchen hier nicht weiter erläutert zu werden. Wenn ich nun auf die *Vollvermaschung* etwas eingehender eintrete, so geschieht das nicht mit der Absicht, diese Netzform als die für alle Betriebsverhältnisse geeignetste Form darzustellen, sondern weil es mei-

nes Erachtens interessant ist, die im allgemeinen wenig angewandte Vollvermaschung von Kabelnetzen etwas näher zu studieren. Unter Vollvermaschung ist eine Betriebsart zu verstehen, bei der mehrere Stationen niederspannungsseitig betriebsmässig parallelgeschaltet sind. Die Vollvermaschung haben wir z. B. mit 8 Transformatorstationen im Gebiet der Altstadt durchgeführt (Fig. 2).



Fig. 2
EWW-Netz-Sektor Altstadt
Vollvermaschung

Das vermaschte Versorgungsgebiet umfasst eine überbaute Fläche von zirka 0,5 km² Ausdehnung. Die maximale Belastung in diesem Gebiet beträgt zirka 2000 kW, was eine spezifische Flächenbelastung von zirka 4 W/m² ergibt.

Die Vorteile der Vollvermaschung sind:

1. Gleichmässige Belastung von Leitungen und Transformatoren, daher hohe Ausnützung und kleine Reserven.
2. Günstige Spannungsverhältnisse, auch bei Anschluss grosser Einzelbelastungen.
3. Grosse Gewähr, dass bei Störungen im Netz nur das schadhafte Leitungsstück herausgetrennt wird.
4. Bei Ausfall von Hochspannungsleitungen können Betriebsunterbrüche weitgehend vermieden werden, indem die Belastung der ausgefallenen Transformatorstationen von den benachbarten Stationen übernommen wird.

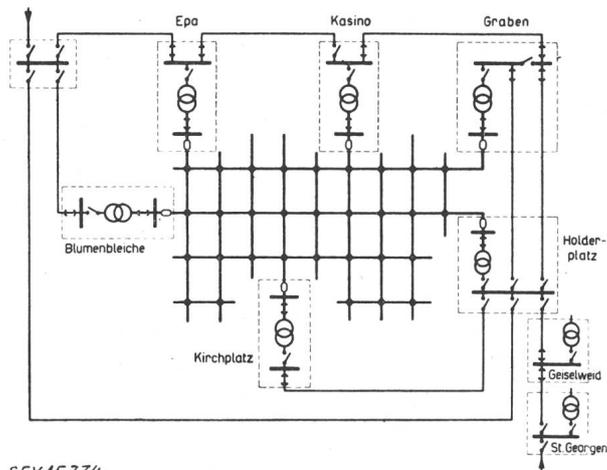
Aufbau des Maschennetzes

Der Aufbau des Maschennetzes der Altstadt Winterthur lässt sich folgendermassen charakterisieren:

Die Speisung der Maschennetzstationen erfolgt durch eine Ringleitung und teilweise durch Stichleitungen (Fig. 3). Nur die Hauptknotenpunkte sind mit Schaltern ausgerüstet. Die Ringleitung ist durch Kabel-Distanzrelais geschützt, die Stichleitungen und Kuppelschalter mit Maximalstromrelais. Der Schutz der Hochspannungsspeiseleitungen ist so aufgebaut, dass bei Ausfall von einzelnen Leitungsstücken jeweils immer nur *eine* der Maschennetzstationen ausser Betrieb fällt. Durch diese Massnahme war es möglich, die Hochspannungsausrüstung der meisten Stationen in einfachen und wirtschaftlichen Grenzen zu halten. Die Transformatoren sind auf der Oberspannungsseite mit 1 Thermorelais mit Schleppzeiger für den Überlast-

schutz und 2 Primär-Maximalstromrelais für den eigentlichen Kurzschluss-Schutz ausgerüstet. Die Relais sind mit den Sicherungen auf der Niederspannungsseite zeitlich gestaffelt. Auf der Niederspannungsseite sind die Transformatoren über verschraubbare Trenner direkt an die Sammelschiene angeschlossen. Die einzelnen Kabelabgänge sind mit Niederspannungs-Hochleistungsicherungen versehen. Das Niederspannungsverteilnetz ist überall, wo es betriebstechnisch zweckmässig und wirtschaftlich tragbar ist, in Schaltkabinen zusammengesaltet. In jeder Schaltstelle sind sämtliche Kabel über Hochleistungsicherungen angeschlossen.

Das Netz ist mit wenigen Ausnahmen mit 4×70-mm²-Kabeln aufgebaut. Die Kabelabgänge in den Stationen sowie die Knotenpunkte sind durchgehend mit 200-A-Sicherungen gleichen Trägheitsgrades und gleicher Charakteristik ausgerüstet. Das selektive Abtrennen des defekten Leitungsstückes wird erreicht, indem der zur Schadenstelle fließende Kurzschlußstrom grösser ist als der grösste zufließende Teilstrom. Voraussetzung ist selbstverständlich, dass diese Differenz bei den minimalen und maximalen Kurzschlußströmen im Netz so gross ist, dass die Staffelzeiten für das selektive Arbeiten der Sicherungen genügen.



SEV 15774

Fig. 3
Maschen-Netz der Altstadt Winterthur

Wir haben diese Verhältnisse am Netzmodell des SEV überprüft und dabei festgestellt, dass Störungen auftreten können, bei denen die Staffelzeiten nicht mehr genügen. Ausserdem wurde am Modell auch untersucht, mit welchen minimalen und maximalen Kurzschlußströmen wir zu rechnen haben. Für unsere Verhältnisse ergaben sich Ströme von rund 1500...10 000 A. Heute rechnen wir mit einem maximalen Kurzschlußstrom im Maschennetz von zirka 14 000 A. Diesen Abschaltströmen haben die Hochleistungsicherungen selbstverständlich zu genügen. Die vom SEV aufgestellten Vorschriften verlangen heute 30 000 A bei 380 V und 20 000 A bei 500 V.

Ich muss nun noch auf einen speziellen Betriebsfall im Maschennetzbetrieb hinweisen: Es ist der Ausfall einer Speiseleitung. Wenn eine Hochspan-

nungsspeiseleitung, welche nur über Trenner mit einer Maschennetzstation verbunden ist, wegen Defekt ausfällt, so fließt ein Fehlerstrom aus dem Maschennetz über den Transformator auf die Fehlerstelle zu. Der Rückstrom kann ein Mehrfaches

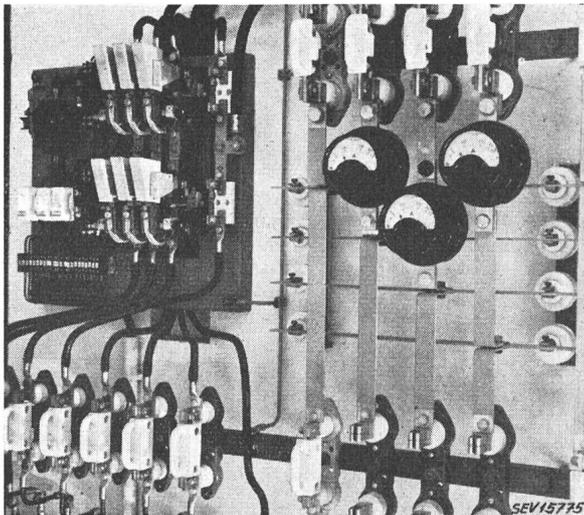


Fig. 4
Maschennetzschalter
Ausführung mit 2 Schützen für 2 Transformatoren

der Sicherungs-Nennströme erreichen. Es muss also dafür gesorgt werden, dass die am gestörten Hochspannungskabel liegende Station abgeschaltet wird, bevor die Sicherungen im Niederspannungsnetz zum

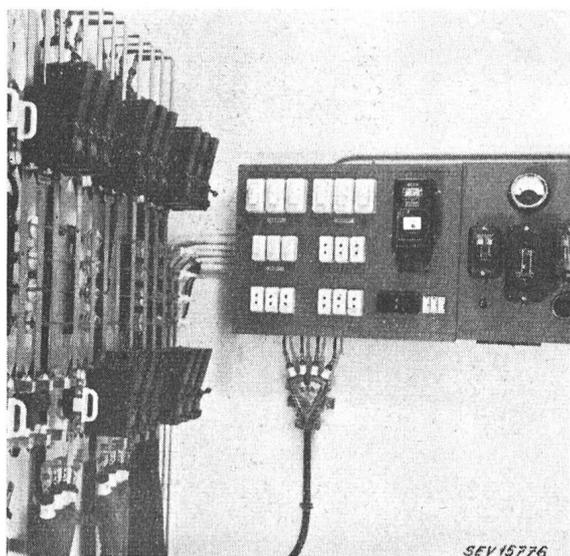


Fig. 5
Maschennetzschalter

Die Rückwattrelais und das Spannungsdifferentialrelais sind auf der rechten Seite der Schalttafel angeordnet. Auf der linken Seite des Bildes ist die Niederspannungsverteilanlage sichtbar. Die Anlage ist versuchsweise mit einpoligen Steckautomaten ausgerüstet.

Ansprechen kommen. Um dies zu erreichen, haben wir in Anlehnung an bekannte ausländische Ausführungen einen «Maschennetzschalter» in vereinfachter Ausführung entwickelt (Fig. 4 und 5).

Der Maschennetzschalter wird zwischen Transformator und Niederspannungssammelschiene eingebaut. Der Versuchsschalter besteht zur Hauptsache aus einem dreipoligen Schütz mit Einschaltspule, Rückwattrelais und Spannungsdifferentialrelais. Die allgemeinen Betriebsbedingungen, welche an den Schalter gestellt werden, sind:

1. Der Maschennetzschalter unterbricht bei hochspannungsseitigen Fehlern (Kurzschlußstrom als Rückstrom).
2. Bei einem Fehler im Niederspannungsnetz darf er nicht unterbrechen.
3. Er unterbricht nach dem Ausschalten des Speisekabels.
4. Nach dem Einschalten des Speisekabels schließt er selbsttätig, wenn die Spannung auf der Transformatorseite höher als auf der Netzseite ist.

Fig. 6 zeigt die Belastungsverhältnisse der einzelnen Transformatoren-Stationen beim Maschennetzbetrieb und beim Betrieb mit getrennten Netzen.

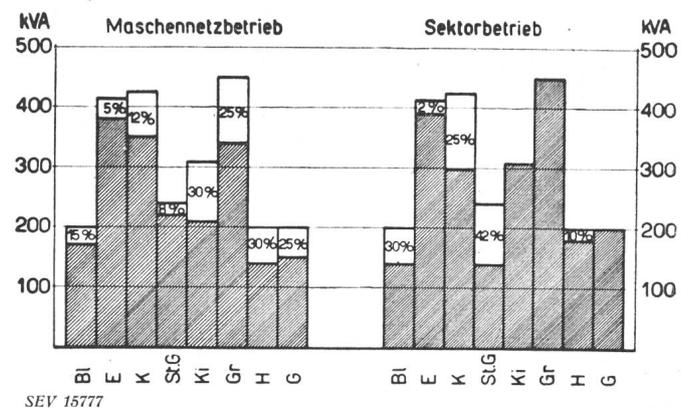


Fig. 6
Belastungsverhältnisse im Altstadtetz
Schraffiert: Wirkliche Transformator-Belastung
Weiss: Transformator-Reserve

Beim Maschennetz variiert die Transformator-Reserve in den einzelnen Stationen zwischen zirka 5...30%. Bei einer installierten Transformator-Leistung von 2390 kVA und zirka 1960 kW maximaler Belastung ergibt sich damit für das ganze betrachtete Netz eine Transformator-Reserve von rund 18%.

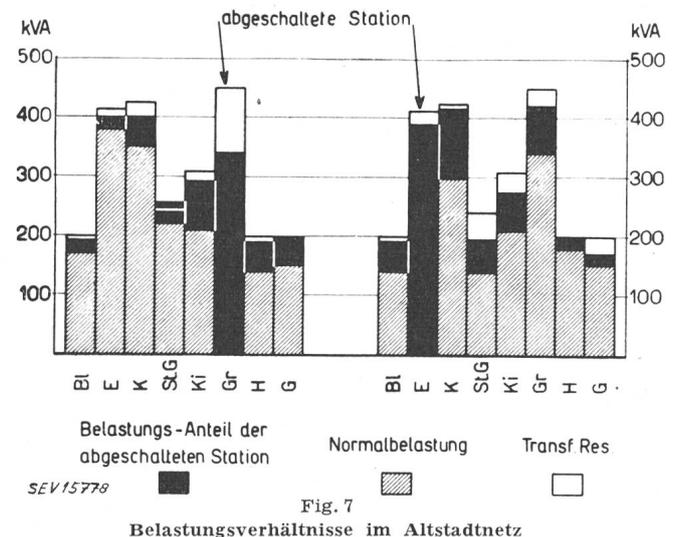


Fig. 7
Belastungsverhältnisse im Altstadtetz

Beim Sektorbetrieb zeigt sich sofort eine ausgeprägtere Ungleichheit der Belastungsverteilung. Die Transformator-Reserve variiert hier zwischen 0...42 %. Wenn die Transformator-Leistung den Spitzenbelastungen angepasst wird, so erhöht sich die installierte Transformator-Leistung gegenüber dem Maschennetzbetrieb um rund 12 %.

Aus dem Belastungsunterschied bei der Station Graben (Gr) ist z. B. deutlich zu ersehen, wie grosse Einzelverbraucher beim Maschennetz bedeutend weniger in Erscheinung treten als bei aufgetrennten Netzen.

Aus Fig. 7 ist ersichtlich, wie die Spitzen von ausgefallenen Stationen von den Nachbar-Stationen übernommen werden.

Nachteile des Maschennetzbetriebes

Es sei nun doch auch noch auf zwei Nachteile aufmerksam gemacht, die wir für unsere Verhältnisse sehen.

1. Wir haben den Maschennetzschalter, damit er für einfache Verhältnisse wirtschaftlich tragbar wird, nur mit Schützen, statt als Schalter mit Motorantrieb ausgeführt. Es bedeutet dies, dass die Schützen bei Spannungsabsenkungen abfallen. Beim Wiederkehren der Spannung ist es etwas unangenehm, dass die erste auf das Maschennetz wieder zugeschaltete Station, wenn auch nur für einen kurzen Moment, die Gesamtlast des Netzes übernehmen muss, bis die übrigen Stationen ebenfalls auf das Netz geschaltet sind.

2. Als weiteren Nachteil muss bezeichnet werden, dass es nach einem allfälligen Auseinanderfallen des Netzes verhältnismässig lange Zeit dauert, bis die Netze getrennt und wieder einzeln zugeschaltet sind. Wir versuchen dem zu begegnen, indem Schaltaufträge für die Trennung und die Wiederinbetriebnahme der einzelnen Netze vorbereitet werden.

Betriebserfahrungen

Während der zehnjährigen Betriebsdauer des Maschennetzes hatten wir zwei erwähnenswerte Störungen zu verzeichnen.

Bei einer Messung wurde ein Kurzschluss zwischen einem Pol und dem Nulleiter verursacht. Die anliegenden Sicherungen schalteten das gestörte Leitungsstück selektiv ab. Die Störung war damit in einem für Unterbrüche empfindlichen Gebiet weitgehend lokalisiert.

Auf der Hochspannungsseite eines Transformators erfolgte an einem Anzapfschalter ein Überslag. Die Station wurde durch den Transformator-Schalter ordnungsgemäss vom Hochspannungsnetz getrennt. Ein Maschennetzschalter war in dieser Station nicht eingebaut. Der aus dem Niederspannungsnetz auf die Fehlerstelle zufließende Strom musste deshalb von den Sicherungen in den abgehenden Kabelleitungen unterbrochen werden. Ein Teil dieser Sicherungen trennte nun tatsächlich die Station vom Netz, während eine Anzahl Sicherungen in den nächstliegenden Schaltstellen abschalteten. Im Netz entstanden dadurch örtlich be-

schränkte Unterbrüche der Energielieferung, die zu vermeiden gewesen wären, wenn ein Maschennetzschalter vorhanden gewesen wäre.

Die Freileitungsnetze betreiben wir mit Rücksicht auf die grössere Störanfälligkeit im allgemeinen nur als Strahlennetze. Ausnahmen bilden jedoch auch hier die Regel. Ringleitungen sind sicher überall dort am Platz, wo sich durch den damit erzielten Belastungsausgleich bessere Spannungsverhältnisse erreichen lassen und wo eine zweiseitige Speisung aus betriebstechnischen Gründen nötig ist.

Schaltmöglichkeiten

Bei Ausfall einzelner Leitungsteile, sei es wegen betriebsmässigen Abschaltungen, sei es wegen Störungen, ist es mit Rücksicht auf die fortschreitende Elektrifizierung des Haushaltes und Gewerbes je länger desto mehr geboten, die Unterbrechung der Energielieferung auf möglichst kleine Zonen zu beschränken. Wir sind deshalb bestrebt, die Verteilungskabel an den Schnittpunkten des Verkehrsnetzes im allgemeinen schaltbar zu machen. Wir verwenden dazu seit Jahren an Stelle der früheren unterirdischen Kabelkasten nur noch oberirdische Schaltkabinen. Diese Ausführung hat sich ganz besonders für Punkte aufgedrängt, in denen häufig Schaltungen vorgenommen werden sollen, oder die hinsichtlich Verkehr exponiert gelegen sind. Die Kabinen sind mit bequem bedienbaren Hochleistungssicherungen versehen, wodurch rasche und sichere Schalthandlungen möglich sind. Die innere und äussere Ausführung solcher Kabinen, die wir in unserem Netz verwenden, ist aus Fig. 8 ersichtlich.

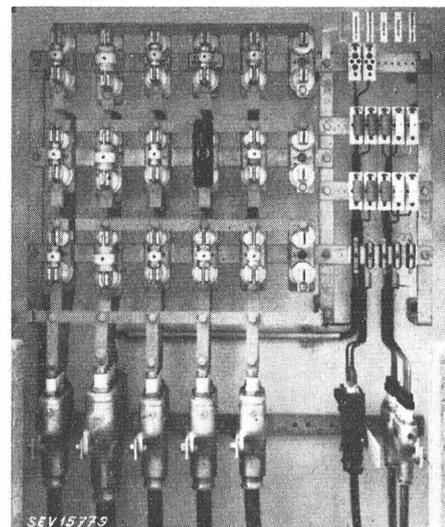


Fig. 8

Inneres einer Schalt-Kabine

Vertikale Anordnung der Gruppen

Platz für eine Schalteinrichtung der Strassenbeleuchtung

Leichte Montage der Kabel

Die Kabinen werden in der Regel auf privates Land an die Trottoir- oder Strassengrenze gestellt. In den neuen Kolonien, wo keine Zäune mehr erstellt werden, wurde die unserer Meinung nach ästhetisch bessere Lösung nach Fig. 9 gewählt.

Die Kabelabgänge in den Transformatoren-Stationen sind in gleicher Weise wie in den Schaltkabinen, nur mit schaltbaren Hochleistungssicherungen, ausgerüstet. Das Bedürfnis nach Ölschaltern auf der Niederspannungsseite hat sich für unser Netz nie gezeigt. Die Niederspannungsverteilanlagen können dadurch sehr einfach ausgeführt werden. Es wird vielleicht in diesem Zusammenhang interessieren, dass uns eine solche Verteilanlage mit 10 Kabelabgängen und 2 Transformator-Anschlüssen komplett montiert auf rund 3000 Fr. zu stehen kommt.

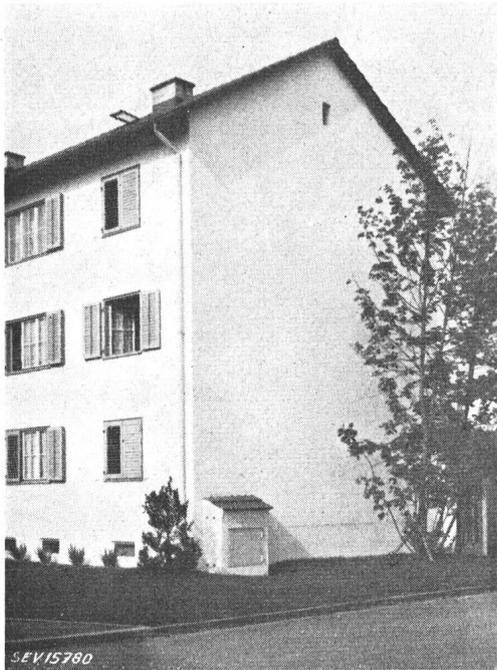


Fig. 9
Ausseres einer Kabine

Ausser den angeführten Schaltmöglichkeiten werden auch Trennstellen in grossen Geschäftshäusern und Hotels sowie in wichtigen gewerblichen Betrieben eingebaut. Die Verteilkabel werden über einpolige Trenner an eine Sammelschiene angeschlossen, an der dann über Sicherungen die Energie abgenommen wird. Die Trennstellen werden nach eigenen Konstruktionen als geschlossene und plombierte Blechkasten ausgeführt. Neuerdings sind wir dazu übergegangen, diese Anlagen nach dem Baukastenprinzip zusammenzustellen, wobei auf dem Markt erhältliche Bauelemente verwendet werden.

In den Freileitungsnetzen verwenden wir Mast-Ölschalter und Leitungstrenner. Von den bekannten Freileitungsschaltern sind wir wegen den ständigen Unterhaltsarbeiten vollständig abgegangen. Die Mast-Ölschalter, die sich ausserordentlich gut bewährt haben, werden in die Verbindungsleitungen zu den Nachbar-Netzen sowie in Ringleitungen eingebaut.

Die Leitungstrenner dienen zur Hauptsache zum Unterteilen langer Leitungen. Stromunterbrüche wegen Störungen oder Unterhaltsarbeiten können

auf diese Art besser lokalisiert werden. Der Nachteil, dass diese Leitungstrenner nicht vom Boden aus bedient werden können, fällt unseres Erachtens nicht so stark ins Gewicht, weil sie relativ wenig bedient werden müssen.

Trennung der Netze

Die Frage, ob die Trennung von Netzen für Industriegebiete und solche für Wohngebiete nötig sei, lässt sich allgemein nicht ohne weiteres beantworten. Bestimmend für die eine oder andere Lösung ist die Ausdehnung und Dimensionierung des Netzes sowie die Art, Grösse und Zahl der industriellen oder gewerblichen Betriebe. Massgebend ist auch, ob solche Betriebe mehr oder weniger in geschlossenen Gebieten konzentriert sind, oder sich auf das ganze Wohngebiet verteilen.

Es ist nicht zu verkennen, dass das Einheitsnetz dort, wo es möglich ist, eine ganz bedeutende Vereinfachung und Verbilligung der Energieverteilung bedeutet. In Fällen, wo in Industriezentren sehr viele elektrische Einrichtungen vorhanden sind, welche grosse und z. T. auch stark variierende Leistungen benötigen, lässt sich jedoch ein zweites Netz, ein sogenanntes «Kraftnetz», nicht umgehen. Diese Kraftnetze werden bis 500 V betrieben; auch Betriebsarten mit 3×380 V kommen sehr oft zur Anwendung. Das Kraftnetz kann dabei an die gleiche Sammelschiene wie das Lichtnetz angeschlossen werden, oder der Betrieb erfolgt über separate Transformatoren. Der Separatbetrieb wird bei einigen Werken auch auf der Hochspannungsseite durchgeführt. Welcher Betriebsart der Vorzug zu geben ist, hängt weitgehend von den speziellen Betriebsverhältnissen bei jedem Werk ab.

In Winterthur lösen wir dieses Problem folgendermassen:

Die Grossindustrie wird ausnahmslos in Mittelspannung von 3000 V beliefert.

Ein grosses Unternehmen wird in einem separaten Unterwerk direkt an die 45/3-kV-Transformatoren angeschlossen. Die Speisung der übrigen Betriebe erfolgt über das 3-kV-Netz. Die Leistungsgrenze, von welcher an die Hochspannung geliefert wird, schwankt um 100 kW herum.

Eine weitere Gruppe von grossen Abnehmern, die in der Nähe von Transformatorenstationen liegen, werden über separate Leitungen direkt ab Niederspannungs-Sammelschiene versorgt. Alle übrigen Abnehmer, die sich zur Hauptsache auf das ganze Versorgungsgebiet verteilen, sind an das Einheitsnetz 380/220 V der Allgemeinversorgung angeschlossen.

Der Betrieb ohne Kraftnetz erfordert nun allerdings, dass die Anschlussbedingungen speziell in bezug auf den Anschluss von Motoren und Schweißmaschinen genau festgelegt werden. Ausserdem untersuchen wir jedes grössere Objekt nach der Inbetriebsetzung auf die Rückwirkungen auf das Lichtnetz.

In vereinzelten Fällen hat sich das Fehlen eines Kraftnetzes hauptsächlich in den Versorgungsge-

bieten mit Freileitungsnetzen ungünstig ausgewirkt. So mussten wir schon den Anschluss von Schweissmaschinen verweigern oder die Nennlast reduzieren. In gewissen Härtefällen haben wir den Anschluss von solchen Objekten am Tag zugelassen, während der Lichtzeit aber gesperrt.

Von den vielen Fragen über Netzgestaltung möchte ich abschliessend noch die Frage des Anschlusses *abgelegener Siedelungen* kurz streifen.

Ausser den rein wirtschaftlichen Erwägungen sind für die Lösung dieses Problems vor allem auch die technischen Belange massgebend. Aus wirtschaftlichen Gründen müssen bei Leitungen, die der Versorgung sehr weit abgelegener Gehöfte dienen, oft bis 15 % Spannungsabfall zugelassen werden. Im Versorgungsgebiet des Elektrizitätswerkes der Stadt Winterthur wird beispielsweise ein grosser landwirtschaftlicher Betrieb über eine zirka 2500 m lange Leitung mit $4 \times 50 \text{ mm}^2$ Cu Querschnitt bedient. Im vorliegenden Fall wird die Betriebszeit der grossen Verbraucher, z. B. Futtermühle und landwirtschaftliche Motoren, die einen Spannungsabfall bis gegen 14 % erzeugen, auf die Zeit der Tageshelle beschränkt. Trotz diesen Einschränkungen müssen an die Qualität des Lichtes noch Konzessionen gemacht werden.

Eine weitere Betriebsverbesserung kann erreicht werden, indem am Anfang oder am Ende der Leitung ein Spannungsregler mit entsprechendem Regulierbereich eingebaut wird. Je nach dem Aufstellungsort des Reguliertransformators, unmittelbar beim Verbraucher oder am Anfang der Leitung, wird auf konstante Spannung an den Klemmen des Reguliertransformators oder in Abhängigkeit der Leitungs-Belastung reguliert. Im zweiten Fall erfolgt die Regulierung am Anfang der Leitung compoundiert, was allerdings zur Voraussetzung hat, dass auf der Zwischenstrecke keine weiteren Verbraucher angeschlossen sind.

Die Bedienung weitabgelegener Abonnenten ist ferner eingeschränkt durch die mit Rücksicht auf den maximal auftretenden Kurzschlußstrom höchstzulässigen Sicherungen.

In allen jenen Fällen, wo mit den genannten Mitteln nicht mehr auszukommen ist, erfolgt die Energielieferung in Hochspannung. Der Transformator mit den für die vorliegenden Verhältnisse kleinen Leistungen von etwa 5...50 kVA wird fast ausnahmslos in der Nähe der Siedelung auf Holzstangen oder Holzgerüsten montiert.

Eine interessante Form der Energie-Übertragung, die in der Schweiz bis heute wenig bekannt ist, ist die Verwendung der höchstzulässigen Niederspannung von 1000 V als Übertragungsspannung. Soviel mir bekannt ist, wird dieses System in Genf angewendet.

2. Netzberechnung

Ich möchte auch hier nicht Rezepte erteilen, wie die Berechnung von Niederspannungs-Verteilanlagen durchzuführen ist; ich werde mich darauf beschränken, darzulegen, wie die Projektierung neuer Netze in Winterthur durchgeführt wird.

Wir versuchen, jede Netzerweiterung frühzeitig und vorausschauend zu disponieren. Zu diesem Zweck stehen wir in ständiger Fühlung mit dem Bebauungsplanbureau der Stadt. Wir sind im Besitz eines nicht für die Öffentlichkeit bestimmten Planes, in dem sämtliche zur Überbauung vorgesehenen Gebiete eingezeichnet sind. Dabei sind die für die industrielle Überbauung reservierten Zonen bereits ausgeschieden. An Hand dieses Überbauungsplanes ist es uns möglich, den generellen Ausbau des Netzes für die nähere Zukunft festzulegen.

Beim Bau neuer Kolonien erhalten wir vom Planungsbureau ungefähre Angaben über die Zahl der zum Bau vorgesehenen Wohnungen; ferner werden wir in Kenntnis gesetzt über die Projektierung von Strassen und Plätzen. Diese Unterlagen genügen uns schon weitgehend für die Detail-Projektierung. Wir sind in der Lage, mit genügender Genauigkeit den voraussichtlichen Leistungsbedarf der im Entstehen begriffenen Kolonie zu bestimmen.

Belastungen von elektrifizierten Haushaltungen
in Winterthur Tabelle I

Siedelung	Anzahl Haushaltungen	Morgen		Mittag		Abend	
		Max. Belastung pro Haushaltung kW	Spitzenzeit	Max. Belastung pro Haushaltung kW	Spitzenzeit	Max. Belastung pro Haushaltung kW	Spitzenzeit
Arbeiter-Siedelung im Vorort	114	0,5	0630	1,5	1150	1,1	1730
Arbeiter-Siedelung am Stadtrand	40	0,5	0715	1,5	1140	1,0	1800
Angestellten-Siedelung	16	1,0	0700	1,7	1145	1,2	1800
Komfortable Stadtwohnungen	12	1,3	0700	2,0	1145	1,5	1830
Total	185	0,8	0700	1,65	1145	1,2	1800

Tabelle I zeigt die gemessenen Belastungswerte von elektrifizierten Haushaltungen. Unter elektrifiziertem Haushalt verstehen wir in erster Linie die elektrische Küche. Die Messungen wurden jeweils während längerer Zeit mit Registrierinstrumenten durchgeführt, so dass die maximale Belastung ohne elektrische Heizung mit genügender Genauigkeit ermittelt werden konnte. Die Belastung pro Haushalt wurde erhalten, indem die gemessene Gesamtbelastung der Kolonie durch die Zahl der Wohnungen dividiert wurde. Es sind Unterschiede je nach Lebensstandard feststellbar. Für die Dimensionierung des Netzes rechnen wir mit einer durchschnittlichen gleichzeitigen Belastung pro Haushalt von rund 1,7 kW Mittags-Kochbelastung.

Andere für die Netzbelastung ins Gewicht fallende elektrische Geräte, z. B. Heisswasserspeicher und Waschmaschinen, werden nicht berücksichtigt. In unserem Netz ist die Belastung durch die Heisswasserspeicher, abgesehen von einigen Sonderfällen, weit niedriger als die Kochbelastung. Ferner haben wir Untersuchungen in einer Kolonie durchgeführt, wo jedes Einfamilienhaus mit einer direkt beheiz-

ten Waschmaschine von 5,5 kW Leistung ausgerüstet ist. Dabei hat es sich gezeigt, dass der Gleichzeitigkeitsfaktor solcher Maschinen so klein ist, dass mit einer fühlbaren Vergrößerung der Netzbelastung nicht gerechnet werden muss. Etwas anders liegen die Verhältnisse, wo Mehrzweck-Heisswasserspeicher für Waschmaschine, Bad und Küche mit kurzen Aufheizzeiten verwendet werden. Hier sind grössere Belastungsspitzen möglich, wenn die Speicher alle die gleiche Einschaltzeit besitzen. Durch Staffelung der Einschaltzeiten kann die Belastung jedoch weitgehend ausgeglichen werden.

Auf Grund dieser Erkenntnisse und praktischer Erfahrungen projektieren wir nun die Verteilungsanlagen im Detail. Besondere Wirtschaftlichkeitsberechnungen, z. B. Ermittlung des wirtschaftlichen Spannungsabfalles, führen wir in der Regel aus Zeitmangel nicht durch. Ohne den Wert solcher Rechnungen bestreiten zu wollen, sind wir der Ansicht, dass die Resultate in vielen Fällen vielleicht doch etwas hypothetischer Natur sind.

Die zu erwartenden Belastungen geben uns ein Mass für die Wahl der Leitungsquerschnitte. Wir rechnen dabei immer mit vollelektrifizierten Siedelungen, auch wenn von Anfang an bekannt ist, dass ganz oder teilweise Gasküchen und Gas-Warmwasserapparate eingebaut werden. Für die Bemessung der Leitungsquerschnitte legen wir einen maximalen Spannungsabfall von 5% zu Grunde. Dabei kommen wir in geschlossenen Siedelungen mit Kabeln von $4 \times 150 \text{ mm}^2$ Kupfer auf Distanzen der Energie-Übertragung von 400...500 m. Es dürfte dies aus praktischen Gründen für Verteilkabel mit Abzweigmuffen der grösste in Frage kommende Querschnitt sein. Bei kurzen Leitungen wird die Grenze der Belastbarkeit nicht durch den Spannungsabfall bestimmt, sondern durch die Erwärmung des Kabels oder der Freileitung. Wegen der höheren Belastbarkeit werden in diesem Falle oft auch Einleiter-Kabel verlegt, wobei vielfach auch grössere Querschnitte als 150 mm^2 gewählt werden.

Während man beim Bau von Kabelnetzen im allgemeinen ohne grosse Rechnung auskommt, ist es oft nötig, dass man sowohl bestehende, als auch projektierte genullte *Freileitungsnetze* speziell in bezug auf die Nullungsbedingungen nachrechnet.

Nach Art. 26, Ziff. 4, der Verordnung über Starkstromanlagen dürfen beim Auftreten von Erdschlüssen keine Berührungsspannungen über 50 V zwischen defekt gewordenen Apparaten und Erde be-

stehen bleiben. Wenn die Berührungsspannung höhere Werte als 50 V annimmt, so muss das defekte Objekt oder die fehlerhafte Leitung innert 5 Sekunden abgeschaltet werden.

Das Nachrechnen der ersten Nullungsbedingung erfordert nun sehr viel Arbeit. Nach den Erfahrungen mit unseren Freileitungsnetzen, die wir in den 20er Jahren von den eingemeindeten Vororten übernommen haben, ist es in sehr vielen Fällen äusserst schwierig, der ersten Nullungsbedingung zu genügen. Wir bauen oder sanieren unsere Netze deshalb so, dass sie auf alle Fälle der zweiten Nullungsbedingung genügen, d. h. dass die Sicherungen bei Fehlern innert 5 s abschalten.

Um die Leitungsimpedanzen möglichst klein zu halten, d. h. um grosse Fehlerströme zu erhalten, welche die Sicherungen innert kürzester Zeit mit Sicherheit zum Ansprechen bringen, erstellen wir neue Leitungen nur noch mit 8-mm-Cu-Drähten, auch wenn dies mit Rücksicht auf den Spannungsabfall nicht unbedingt erforderlich wäre. Um die alten Netze nachrechnen zu können, fehlten uns vielfach die genauen Leitungsdaten. Die Beschaffung der nötigen Unterlagen und das Nachführen des Leitungskatasters erforderte umfangreiche Arbeiten.

Für die Kontrolle des minimalen am Leitungsende auftretenden Fehlerstromes bei einem Kurzschluß zwischen Polleiter und Nulleiter rechnen wir mit den ohmschen und induktiven Widerständen der Transformatorwicklung und des Pol- und Nulleiters. Die parallel zum Nulleiter geschalteten Widerstände der Transformatorsternpunktterdung und der Erdung des Nulleiters am Netzausläufer vernachlässigen wir. Durch diese Vereinfachung wird ein Sicherheitsfaktor in die Rechnung eingeführt, indem der Fehlerstrom bei Störungen etwas grösser wird als der errechnete. Damit die Sicherungen innert 5 s zum Ansprechen kommen, ist dafür zu sorgen, dass der Fehlerstrom mindestens den 2,5...3fachen Wert des Sicherungs-Nennstromes annimmt. Bringt der Fehlerstrom die Strangsicherung in der Transformatorstation trotz eventueller Netzverstärkung nicht zum Schmelzen, so bauen wir an geeigneter Stelle im Leitungsstrang eine vom Boden bedienbare Streckensicherung ein, die schwächer bemessen ist als die Stations-Sicherung.

Adresse des Autors:

R. Gubelmann, Vizedirektor des Elektrizitätswerkes Winterthur, Winzerstrasse 32, Winterthur.