

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 28 (1937)
Heft: 17

Artikel: Die Ausgestaltung städtischer Drehstromnetze
Autor: Howald, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059861>

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: 12.05.2025

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

Die Ausgestaltung städtischer Drehstromnetze.

Von W. Howald, Winterthur.

621.316.13

Der fortschreitende Ersatz der noch vorhandenen städtischen Gleichstromnetze durch die Wechselstromversorgung und die Anhäufung grosser Belastungen auf kleinem Raum haben, bedingt durch die zur Verfügung stehenden, verschieden ausgebildeten Hochspannungsnetze, zu Betriebsarten der Niederspannungsversorgung geführt, die sich stark voneinander unterscheiden. In neuerer Zeit wird das «Maschennetz» als Mittel zur Erzielung grosser Flächendichte und guter Betriebssicherheit stark diskutiert. In der nachfolgenden Arbeit werden die einzelnen Netzsysteme miteinander verglichen und es wird versucht, auch preisliche Unterschiede festzustellen. Neben der Ausgestaltung des Relaischutzes findet auch die Ermittlung der Kurzschlussverhältnisse durch Rechnung und Modellversuch die ihr zukommende Beachtung.

Le remplacement progressif des réseaux urbains à courant continu par des réseaux triphasés et l'accumulation de fortes charges dans un espace restreint ont conduit à des systèmes de distribution à basse tension qui diffèrent très nettement entre eux, du fait que les réseaux à haute tension dont on dispose sont établis de façons différentes. Depuis quelque temps, on discute beaucoup de l'emploi du réseau maillé comme moyen d'obtenir une grande densité de surface et une bonne sécurité de service. Dans cet article, l'auteur compare entre eux les différents systèmes de réseaux et cherche à établir également les différences de prix. Il considère aussi le développement de la protection par relais et la détermination des conditions de court-circuit par le calcul et les essais sur modèle.

Die immer weiter um sich greifende Elektrizitätsanwendung macht sich in den städtischen Versorgungsnetzen durch eine sehr starke spezifische Belastung der belieferten Baufläche bemerkbar. Deren Folge waren Netzverstärkungen, aus welchen sich nach und nach verschiedene Bauformen entwickelten, die ihre eigenen Grundzüge aufweisen und sich dementsprechen in Kapitalkaufwendung und Betriebsweise stark unterscheiden.

Abarten dieser Grundformen finden sich aber nicht nur in reinen Stadtwerken, sondern auch die Leiter grösserer Ortsnetze werden sich mit diesen Fragen beschäftigen müssen. Auch der Ausbau der Ueberlandhochspannungsnetze wird davon tangiert, so dass die Behandlung des ganzen Fragenkomplexes allgemeines Interesse beanspruchen dürfte, wenn auch nach Besprechung der allgemeinen Grundlagen die weiteren Ausführungen sich auf das spezielle Netz des EW Winterthur beziehen. Dieses Beispiel dürfte aber besonders dadurch interessant sein, dass hier die Freizügigkeit in der Weiterentwicklung und der Ausbau eines bestimmten Versorgungssystems schon sehr stark durch die vorhandenen Verhältnisse mitbestimmt war.

1. Die prinzipiellen Versorgungssysteme.

Für die schweizerischen Verteilungsnetze lagen zu Beginn der Entwicklung die Verhältnisse im allgemeinen so, dass eine Verteilung unmittelbar von dem an einem Fluss gelegenen Kraftwerk aus erfolgen konnte. Dabei zeigte sich, dass für den Anschluss grösserer Abonnenten ein Netz kleinerer Hochspannung nötig war. Mit der Verdichtung des Absatzes wurde dann dieses Netz ergänzt und es wurden weitere Stationen für den Uebergang in das Verteilnetz geschaffen.

Bestand dieses Verteilnetz aus einer Gleichstromversorgung, so wurden sehr oft im Netz sog. Speisepunkte geschaffen, welche vom Kraftwerk aus sternförmig über direkte Leitungen so gespeist wurden, dass ihre Spannungen der Belastung entsprechend kompondiert wurden, unter sich aber gleich waren. Ringleitungen verbanden diese Speisepunkte zwecks gegenseitigen Ausgleiches (Fig. 1a), wobei die einzelnen Netzsektoren von diesen Stützpunkten abgezweigt wurden.

In die Wechselstromversorgung übertragen, zeigte sich bald, dass die Ausgleichsleitungen besser auf die Hochspannungsseite verlegt werden. Auf der Unterspannungsseite wird in der reinen Ausführung dieses Prinzips das Versorgungsgebiet jeder Transformatorstation unabhängig von anderen Stationen gespeist (Fig. 1b). Man erhält das Ringkabel-Strahlennetz.

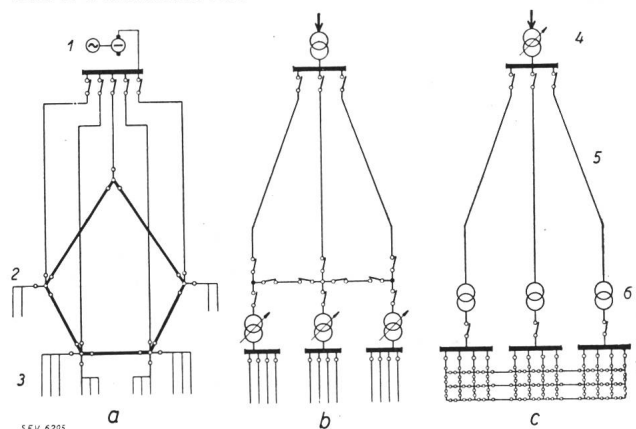


Fig. 1.

Prinzipielle Schaltung der Verteilnetze.

a Gleichstromnetz. b Ringkabel-Strahlennetz. c Strahlenkabel-Maschennetz.

○ Sicherungen.

1 Umformerstation. 2 Stützpunkte. 3 Verteilnetz. 4 Unterwerk. 5 Hochspannung. 6 Netz-Transformator. 7 Sekundär-Netz.

Will man wegen ungenügender Ausnutzung der Transformatoren, ferner wegen Reservestellung und gegenseitiger Aushilfe nicht auf eine sekundäre Zusammenschaltung verzichten, so gelangt man schliesslich zur vollen Vermaschung im Sekundärnetz. Diese erlaubt dann eine vereinfachte Gestaltung des Hochspannungsnetzes (Fig. 1c). Man erhält das Strahlenkabel-Maschennetz¹⁾.

Aus der Betrachtung der Betriebsbedingungen ergeben sich nun die folgenden Vor- und Nachteile für die verschiedenen Netzarten.

1. Gleichstromversorgung:

Leistungsfähiges Netz mit einfacher Selektiermöglichkeit für das Abschalten fehlerhafter Strecken (stromabhängige Sicherungen!). Alle Speisepunkte erhalten regulierte Spannung.

¹⁾ Mestermann, Siemens Z. 1931, Hefte 10 und 11.

2. Ringkabel-Strahlennetz.

Hochspannungsseite: Das Netz ist in Ringen zusammengeschaltet. Jede Transformatorstation muss von mindestens 2 Seiten gespeist werden. Für jeden Abzweig ist eine volle Schaltausrüstung nötig. Der selektive Relaischutz eines solchen Netzes ist schwierig zu erreichen, sobald Querverbindungen bestehen.

Niederspannungsseite: Jede Station versorgt ihr Gebiet unabhängig von anderen Stationen. Der betreffende Netzsektor kann unter sich vermascht werden. Selektive Absicherung der einzelnen Kabel durch Abstufung der Ansprechstromstärke erreichbar.

Betrieb: Hochspannungsseitige Störungen sind selektiv abzuschalten und dann ohne weiteren Einfluss auf den Sektor. Störungen in Transformatoren setzen einen ganzen Netzsektor ausser Betrieb. Sekundäre Netzstörungen können ebenfalls einen grösseren Umkreis betreffen. Die Einzelspannungsregulierung²⁾ ab Transformator ist möglich.

3. Strahlenkabel-Maschennetz.

Hochspannungsseite: Das Hochspannungsnetz führt in einzelnen Strahlen zu den Stationen. Eine Schaltausrüstung ist nur für den Abgang im Kraftwerk oder Unterwerk nötig. Der selektive Schutz ist sehr einfach zu gestalten.

Niederspannungsseite: Das gesamte Niederspannungsnetz ist unter sich vermascht. Die einzelnen Stationen bilden gegenseitige Reserve. Infolge der Vermaschung muss an den Knotenpunkten für die Sicherungen durch die Charakteristik eine Selektivität erreicht werden. Alle Sicherungen haben deshalb gleiche Nennstromstärke. Am Transformator sind sekundärseitig Maschennetzschalter einzubauen.

Betrieb: Hochspannungsseitige Fehler werden durch Abschalten des betr. Kabels behoben, wodurch die betreffende Transformatorstation ausfällt. Bei Transformatorenfehlern erfolgt ebenfalls das Abschalten der Station am abgehenden Kabelschalter. Die Netzbelastung wird aber durch die übrigen Stationen übernommen, so dass kein Unterbruch eintritt.

Sekundäre Fehler werden bei Netzen mit grosser Belastungsdichte herausgebrannt; bei kleineren Netzen sind selektive Sicherungen einzubauen. Bei richtiger Dimensionierung und Anordnung wird nur die zwischen zwei Knotenpunkten liegende geringe Abzweiganzahl von den Störungen betroffen.

Die Spannungsregulierung hat durch Gesamtnetzregulierung im Kraftwerk oder Unterwerk zu erfolgen. Infolge der guten Tragfähigkeit des Sekundärnetzes kommt nur der Abfall der Hochspannungsseite in Betracht, der durch Kompoundierung korrigiert werden kann.

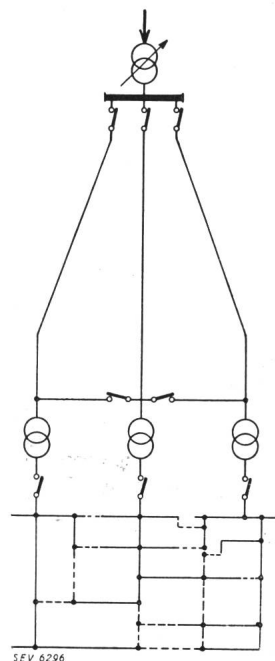


Fig. 2.
Ergänzung eines bestehenden Netzes zum Maschennetz.
(Ringkabel-Speisung).

Im allgemeinen werden in einem Versorgungssystem aus Entwicklungsgründen nicht diese reinen Netzprinzipien zur Anwendung gelangen, sondern das Maschennetz entsteht z. B. durch Ergänzung einzelner bestehender Strahlensektoren. Ferner wird meistens die Hochspannungsspeisung nicht rein durch Strahlenkabel erfolgen. Es wird hier sehr oft eine mehr oder weniger ausgebildete Ringkabelschaltung anzutreffen sein. Wie Fig. 2 zeigt,

²⁾ Howald, Bull. SEV 1937, Nr. 11.

eignet sich diese ebenfalls ohne weiteres für einen Maschennetzbetrieb, während sie für einen richtig selektiven Ringkabel-Strahlennetzbetrieb mit weiterem Hochspannungsschaltmaterial und mit Relais auszurüsten wäre.

In der Schaltung des Hochspannungsnetzes ist lediglich darauf zu achten, dass bei irgendeinem Kabelfehler nicht zu viele Stationen gleichzeitig spannungslos werden, so dass die Netzbelastung von den in Betrieb bleibenden Stationen übernommen werden kann. Es empfiehlt sich dann, die Ringschaltung so durchzuführen, dass irgendeine Kuppelungsstelle die Ringe in Strahlen auftrennt, sobald eine Störung auftritt. Dadurch werden die Aufgaben des Relaischutzes so vereinfacht, dass in den meisten Fällen Maximal-Relais genügen, während für einen selektiven Ringkabelbetrieb Energie richtungsrelais, eventuell sogar Distanzrelais nötig werden.

Die Fragen über den zweckmässigen und wirtschaftlichen Bau von Netzen sind schon eingehend in der Literatur behandelt³⁾, so dass sie hier nicht weiter besprochen werden sollen.

2. Die Ausrüstung der Stationen.

Bei der Charakterisierung der Netztypen wurde bereits auf die verschiedene Ausrüstung der Stationen hingewiesen. Es wurde dabei betont, dass die *Ringkabel-Station* mit vollständiger Schaltausrüstung versehen sein muss. In einem etwas komplizierteren Netz gehört dazu ebenfalls ein Selektiv-Relaischutz.

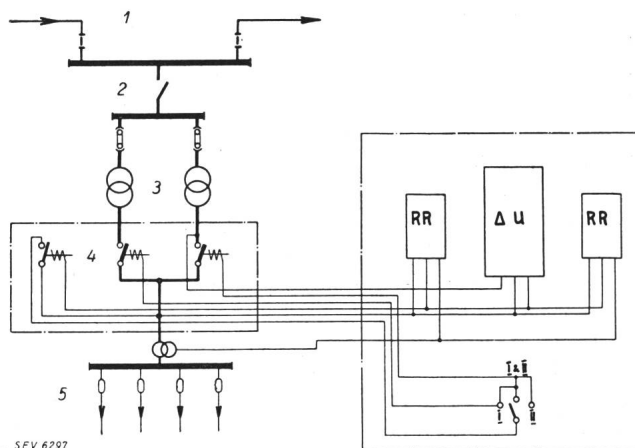


Fig. 3.
Ausrüstung einer Maschennetz-Station.
1 Hochspannungs-Netz. 2 Lastschalter. 3 Netz-Transformator. 4 Maschennetzschalter mit Relais. 5 Verteil-Netzabgänge. ΔU Diff.-Spannungs-Relais. RR Rückwattrelais.

Die *Maschennetzstation* benötigt dagegen kein Hochspannungsmaterial. Immerhin wird man aus Gründen der sektorweisen Unterteilung das Hochspannungskabel nicht nur anzapfen, sondern über Trenner einführen. Für den Transformator ist ebenfalls eine Schaltmöglichkeit zur Unterbrechung des normalen Laststromes zu empfehlen. Hierzu eignen sich sehr gut «Lastschalter», die nun von verschiedenen Firmen auf den Markt gebracht werden.

³⁾ W. v. Mangoldt. Die wirtschaftliche Ausgestaltung städtischer Drehstromnetze. Springer, 1933.

Fig. 3 zeigt den prinzipiellen Ausbau solcher Stationen. Dabei ist für das Maschennetz der sogenannte Maschennetzschalter charakteristisch. Es ist dies ein Sekundärschalter der folgende Betriebsbedingungen genügt:

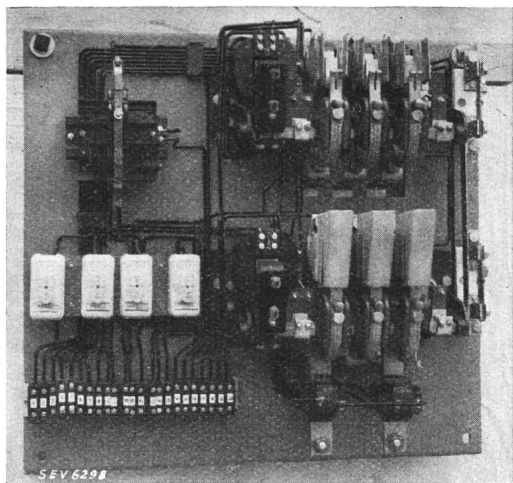


Fig. 4.
Maschennetzschalter.

1. Er schliesst nur, wenn die Spannung auf der Transformatorseite höher als die Netzspannung ist (Speisung von der Hochspannungsseite, Wiedereinschaltung).

2. Er unterbricht bei transformatorseitigem Kurzschluss, ebenfalls bei leerlaufendem, vom Sekundärnetz erregtem Transformator (Einsparung von Leerlaufverlusten!).

3. Er unterbricht bei Kurzschluss im Hochspannungsnetz (Abtrennung des Sekundärnetzes).

4. Bei Störungen auf der Sekundärseite ist die Auslösung gesperrt (Netzsicherungen selektiv).

Diese Maschennetzschalter werden bereits von verschiedenen ausländischen Firmen⁴⁾ seit einigen Jahren auf den Markt gebracht. Nun hat auch in der Schweiz die Firma Sprecher & Schuh in Verbindung mit dem EW Winterthur einen solchen Schalter entwickelt (Fig. 4). Er besteht aus zwei für die beiden Transformatoren der Station bestimmten Schützen, welche mit den zugehörigen Sicherungen und dem Einschalt- hüpfer auf einer Tafel zusammen montiert sind. Für den Relaisanschluss dienen Strom- wandler.

Auf einer zweiten Tafel befinden sich die Relais, und zwar zwei einpolige Energierich- tungsrelais mit hoher Empfindlichkeit, sowie das Spannungs-differenzrelais für die Wieder- einschaltung. Ueber einen Wahlschalter kön- nen entweder beide Transformatoren aus- oder eingeschaltet oder nur der eine oder andere eingeschaltet werden (Fig. 5). Die Tafel trägt ferner noch ein Voltmeter mit Umschalter zur Kontrolle der verketteten und der Stern- Spannungen in der Station.

Das prinzipielle Schema des Schalters ist aus Fig. 3 ersichtlich. In Fig. 6 ist der Schalter nach seinem Einbau in die Station dargestellt. Versuchs- weise wurden an Stelle der Sicherungen einpolige Steckschalter der Firma Sprecher & Schuh einge- baut, auf die hier speziell verwiesen werden soll.

⁴⁾ Siemens Z. 1929, Heft 8. Electr. I. 1935, Nr. 7.

Die Relais-tafel befindet sich rechts an der Seiten- wand, wo auch Steck-Sicherungen für den Eigenbe- darf der am gleichen Ort befindlichen Hochspan- nungsanlage angebracht sind.

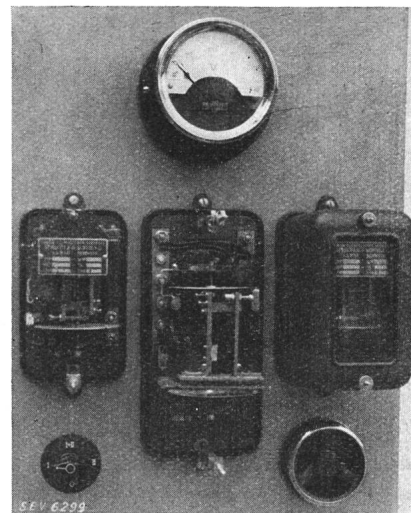


Fig. 5.
Relais-tafel zum Maschennetzschalter

Kostenvergleich für Netzstationen.

Angaben in Franken.

Tabelle I.

Netzsystem	100 kVA		200 kVA		400 kVA	
	Ring	Maschen	Ring	Maschen	Ring	Maschen
Bauliches . .	8000	6000	9000	6000	11000	8000
Hochsp. Anl. u. Transform. .	9500	5200	11000	6500	12500	8400
Sek. Anlage . .	2500	3500	2500	3700	3000	4600
Total	20000	14700	22500	16200	26500	21000

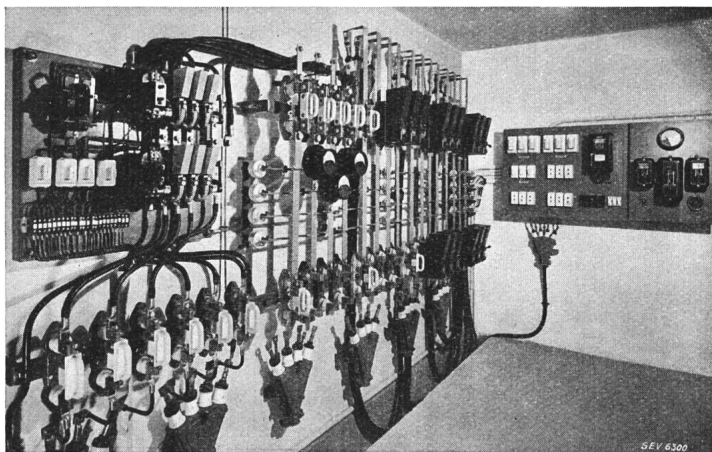


Fig. 6.
Sekundäranlage mit Maschennetzschalter und Steckautomaten.

Tabelle I gibt die ungefähren Kosten für die Erstellung einer Kabelstation verschiedener Lei- stung in unterirdischer Bauweise (z. B. in einer Böschung mit freier Vorderseite, oder unter Trot- toir mit Ausgang in einen Keller) für die beiden Netzsysteme und mit der für 2 ankommende 3-kV- Kabel nötigen Ausrüstung. Es ist daraus ersicht- lich, dass die Maschennetzstation die geringeren

Aufwendungen benötigt, als die Station am Ringkabelnetz. Wenn somit die Kosten der Hochspannungszuleitungen für das Maschennetz nicht höher werden als für ein Ringkabelnetz, so ist dessen Erstellung auch finanziell vorteilhaft. Dies wirkt sich besonders in denjenigen Versorgungsgebieten aus, wo viele Transformatorenstationen kleinerer Leistung auf ein Netz relativ kleiner Flächenausdehnung, aber grosser Belastungsdichte arbeiten, wie es sich im Zentrum von Städten findet.

3. Beispiel eines städtischen Verteilnetzes.

Im folgenden wird am Beispiel eines nach diesen Ueberlegungen ausgebauten Verteilnetzes die Auswirkung beschrieben. In Fig. 7 ist das Versorgungsgebiet des EW Winterthur dargestellt. Darin sind für die einzelnen Gebiete die hauptsächlichsten Charakteristiken ersichtlich.

Ueber die weiteren Details der einzelnen Verteilgebiete orientiert Tabelle II, in welcher die Anschlusswerte sowie die im Sekundärnetz abgegebenen Energiemengen in ihrem Verhältnis zu den versorgten Gebieten angegeben sind.

In dieser Zusammenstellung fällt auf, dass das Gebiet westlich der Bahn (Veltheim/Neuwiesen) an Einwohnern/km² sowie an Anschlusswert/km² reicher ist als das östliche Gebiet (Altstadt/Breite). Dies rührt davon her, dass die Besiedlung gleichmässiger ist und die Häuser mit weniger grossen Gärten umgeben sind (Angestellten- und Beamten-Viertel). Im Gebiet östlich der Bahn finden wir den eigentlichen Altstadt kern, für den sich ungefähr folgende spezifischen Werte errechnen lassen:

Einwohner/km² 16 500
3-kV-Kabel/km² 12,8 km
380-V-Kabel/km² 28,2 km

Darum herum gruppieren sich Villenviertel mit den für Winterthur charakteristischen grossen Gärten. Wie aus Tabelle II hervorgeht, weisen diese aber einen ansehnlichen Anschlusswert und einen gesteigerten Verbrauch an elektrischer Energie auf, was für deren relativ hohe Elektrifizierung spricht.

Die Aussengemeinden Töss, Wülflingen, Oberwinterthur und Seen weisen je nach ihrer mehr der Arbeiterklasse oder der kleinbürgerlich-gewerblichen und teilweise auch der landwirtschaftlichen Bevölkerungsschicht angehörenden Abonnenten ganz andere Verbrauchsziffern auf. Dabei haben einzelne grössere Gewerbebetriebe starken Einfluss auf die Zusammensetzung des Verbrauches. Dies zeigt sich z. B. in den grossen Kraftstromanteilen in Wülflingen und Oberwinterthur, welche von einem Gross-Zimmereigenschaft bzw. einer Futterhandlung herrühren.

Ueber die Betriebsart des Netzes sei erwähnt, dass in den Aussengemeinden Freileitungsnetze bestehen, die in einzelnen, von den Transformatorenstationen ausgehenden Strahlen betrieben werden. Eine Vermaschung innerhalb des Sektors findet nicht statt. Es wird dadurch eine beträchtliche Beschränkung der Störungsauswirkungen im Verteilnetz erreicht. Um die Energieversorgung der Stationen sicherzustellen, wurden überall, wo sich Ringschaltungen bilden liessen, die nötigen Schalteinrichtungen geschaffen. Damit kann z. B. im Gebiet Wülflingen die Zahl von 19 Abschaltungen in 5 Jahren mit Unterbruch der Energiezufuhr auf 2

Charakteristische Daten der versorgten Gebiete.

Tabelle II

Netzsystem	Maschennetz		Ringkabel-Strahlennetz			
Verteilgebiet	I westlich SBB	II östlich SBB	III Töss	IV Wülflingen	V Ob.-Wth.	VI Seen
Einwohner	17 600	17 700	6 650	4 700	5 800	3 500
Versorgte Fläche km ²	2,36	3,53	0,9	1,1	1,15	0,7
Anschlusswert kW	11 860	11 990	3 445	1 895	4 030	1 765
hiervon Licht %	25	25,5	15	18,5	12,5	13,5
Kraft %	13	13,5	47	46	53	32,5
Wärme %	62	61	38	35,5	33,5	54
Abgegebene Energie kWh	2 838 000	7 273 000	590 000	483 000	844 000	388 000
hiervon Licht %	31	32	38	29	24	26
Kraft %	7,5	10	12	38	32	19
Wärme %	61,5	58	49	33	44	55
Anzahl Transf.-Stationen	8	15	3	2	3	2
Inst. Transf.-Leistung kVA	1 000	2 000	360	300	400	300
Mittlere Stationsentfernung m	400	320	400	700	500	500
Spezifische Werte:						
Einwohner/km ²	7 650	5 020	7 400	4 270	5 040	5 000
Einwohner/Abonnent	3,1	3,12	3,6	4,7	4,0	5,4
kW Anschluss/km ²	2,08	2,1	1,86	1,92	2,76	2,72
kW Anschluss/Abonnent	5 040	3 390	3 830	1 720	3 500	2 500
Hochspannungsleitungen km/km ² . .	4,1	4,1	2,4	1,35	2,25	2,58
Niederspannungsleitungen km/km ² . .	22,2	20,4	20,8	15,9	17,3	14,1
Abgegebene Energie:						
kWh/kW Anschluss	238	606	171	255	209	220
» /Abonnent	425	1 280	340	580	564	518
» /km ²	1 205 000	2 060 000	655 000	450 000	735 000	555 000
» /Transformator-Station	298 000	485 000	197 000	241 000	281 300	194 000
» /kVA Transformatoren-Leistung . .	2 840	3 630	1 640	1 610	2 100	1 290

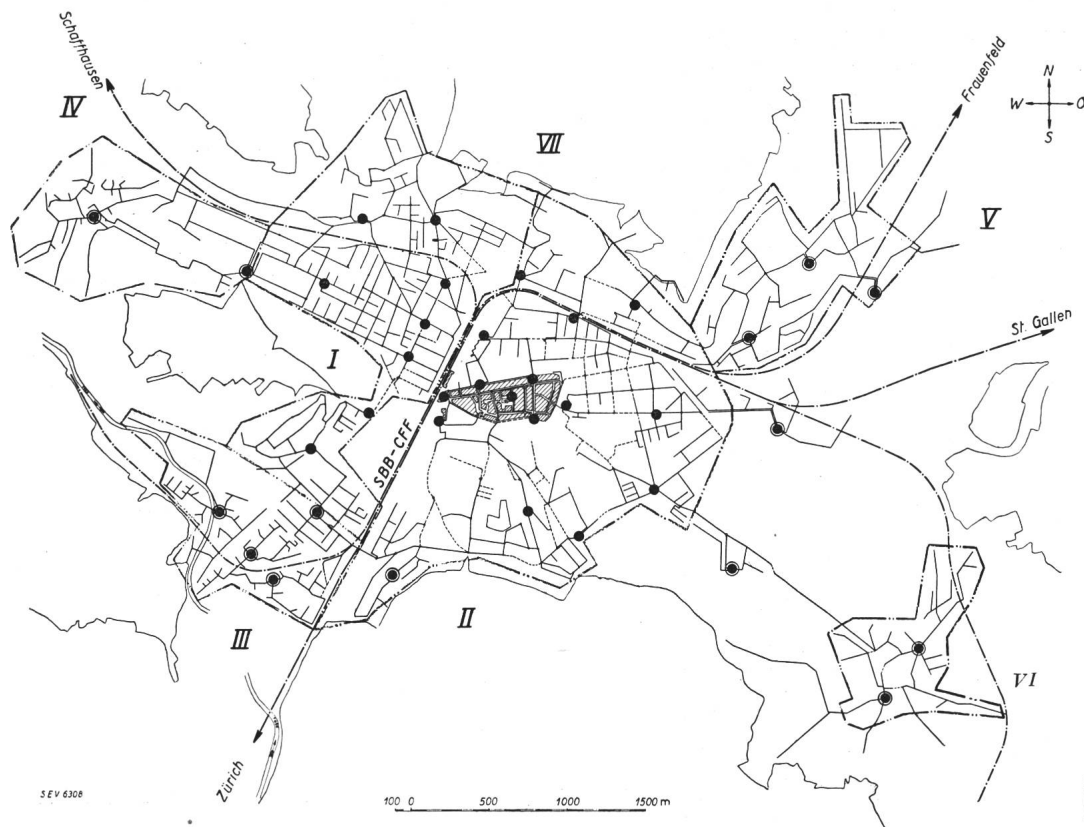


Fig. 7.

Uebersicht über das
Versorgungsgebiet
Winterthur.

- Stationen am Maschennetz.
- ⊙ Stationen a. Ringkabel-Strahlennetz.

No.	Ort	Einwohnerzahl	Fläche km ²	Verbrauch kWh
I	Westl. SBB	17 600	2,36	2 838 000
II	Oestl. SBB	17 700	3,53	7 273 000
III	Töss	6 650	0,9	590 000
IV	Wülflingen	4 700	1,1	483 000
V	Ober-Winterthur	5 800	1,15	844 000
VI	Seen	3 500	0,7	388 000
VII	Maschennetz Winterthur-Veltheim			

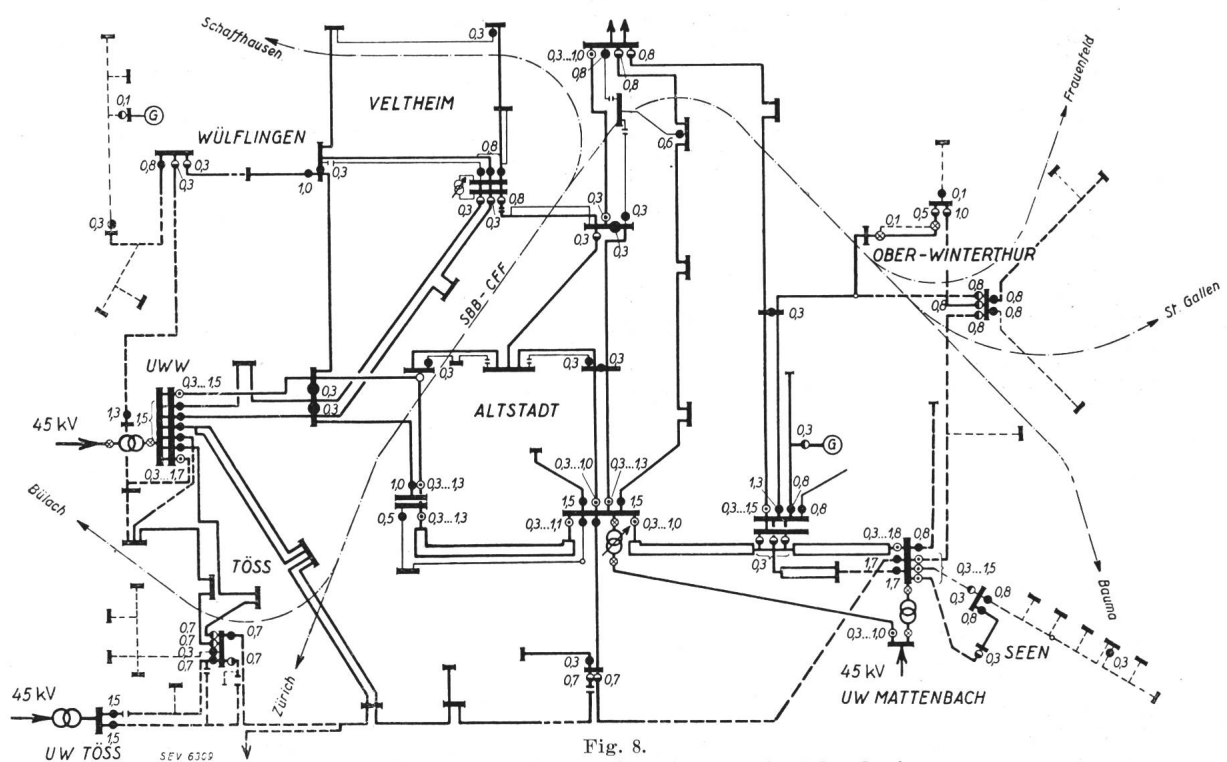


Fig. 8.

Relaisplan des 3-kV-Netzes. (Auslösezeiten in Sekunden.)

- Unabhängige Max.-Relais.
- ⊙ Unabhängige Energierichtsrelais.
- ⊙ Distanzrelais.
- ⊙ Differenzialschutzrelais.

heruntergedrückt werden. Alle übrigen Abschaltungen ergeben keinen Unterbruch mehr. Zugleich wurde das Netz um ca. 60 % leistungsfähiger. Für die Gebiete Oberwinterthur und Seen liegen die Verhältnisse ähnlich.

Im Gebiet der Altstadt, ferner in den Quartieren zwischen Bahn und Altstadt sowie in Veltheim waren bis jetzt die einzelnen Sektoren der Kabelnetze über sogenannte «schwache» Sicherungen miteinander verbunden. Im normalen Betrieb konnte damit ein Belastungsausgleich und eine bessere Spannungshaltung erreicht werden. Bei Störungen traten dagegen neben dem Durchschmelzen der Sicherungen am Störungsherd weitere unkontrollierbare Sicherungsdefekte infolge teilweisen Durchschmelzens der vorerwähnten «schwachen» Sicherungen ein. So griffen in der Altstadt von 8

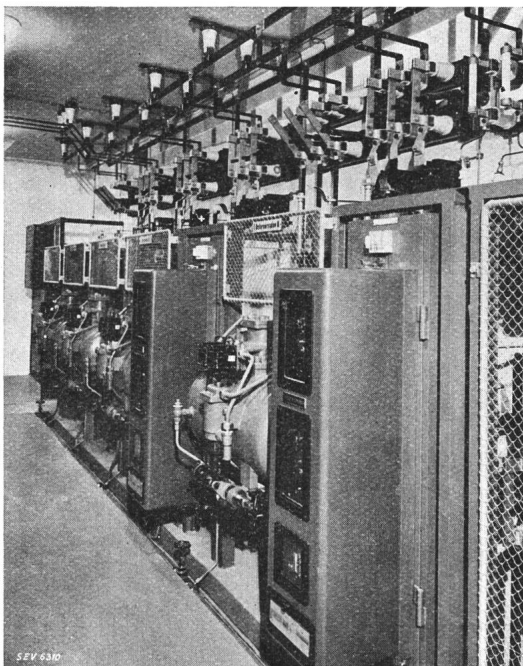


Fig. 9.

Einbau der Brown-Boveri-Distanzrelais.

untersuchten Störungen 7 unbegründeterweise auch auf andere Gebiete über, im Netzteil Veltheim von 6 Störungen 5. Fast alle Sekundärstörungen hatten auch Abschaltungen im Hochspannungsnetz zur Folge. Hochspannungsstörungen ergaben immer Unterbrüche in der Sekundärversorgung.

Diese unzulänglichen Verhältnisse haben nun zur Entwicklung eines Relaischutzes und zu einer Ausgestaltung des Netzes geführt, die in Fig. 8 dargestellt sind. Schaltungstechnisch zeigt sich, dass nach der Bildung von Ringen getrachtet wurde, die in den Aussenbezirken in vollständig ausgerüsteten Schaltstationen zusammengefasst werden. Abliegende Einzelstationen werden von diesen sogenannten *Knotenpunktstationen* durch Strahlenkabel bedient.

Wo die bestehenden Verhältnisse eine Verbesserung der Schaltmöglichkeiten nicht erlauben, werden die Stationen als sog. *Durchgangsstationen*

ohne Schalter behandelt. Hierbei ist aber Rücksicht genommen (wie z. B. im Netz Töss), dass auch im unvermaschten Strahlennetz durch primäre Umschaltung über Trenner und ferner durch sekundäre Zusammenschaltung mit einem andern Netzteil weitere Speisemöglichkeiten entstehen. Ein Unterbruch ist dabei aber nicht zu vermeiden.

Im mittleren Netzgebiet, d. h. im Bezirk Altstadt-Veltheim, hat die Untersuchung gezeigt, dass nur mit grossen Kosten die Schaltstationen für einen sicheren Ringkabelbetrieb mit separaten Sekundärnetzen ausgebaut werden könnten. Teilweise würden auch die Stationsdistanzen nicht einmal für eine sichere Relaisstaffelung genügen. So wurde hier eine Schaltung angewendet, bei der sich bei Auftreten einer Störung die einzelnen Netze sofort in Einzelstränge auflösen.

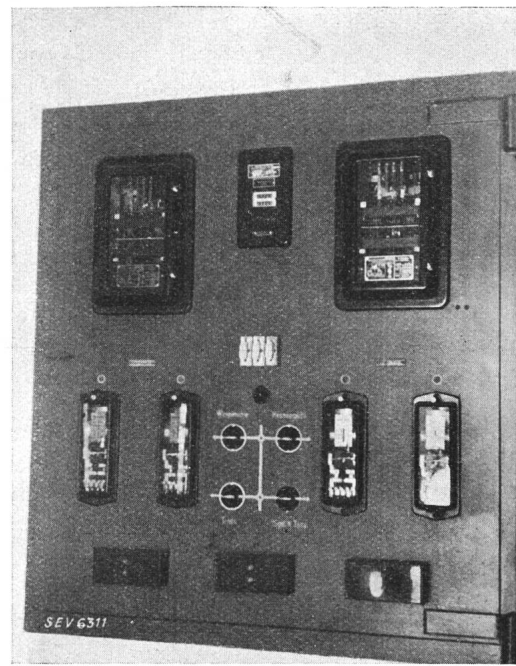


Fig. 10.

Einbau der Energierichtsrelais.

Wie das Schema zeigt, kann dadurch eine Kombination von Distanz-, Energierichts- und Maximalrelais zur Verwendung kommen, wobei als höchste Auslösezeit 1,5 s benötigt werden. Dabei erlaubt das System eine absolut selektive Auslösung. Es gelangten 2polige Distanzrelais Brown-Boveri, Typ LK, 2polig gekuppelte Energierichtsrelais von S & H und MFO kombiniert mit Brown-Boveri-Maximalrelais Typ S, sowie aufgebaute Brown-Boveri-Hauptstromrelais Typ HB zur Verwendung. Fig. 9 zeigt den Einbau von Distanz- und Hauptstromrelais und Fig. 10 die Relaisstaffel einer mit Energierichtsrelais ausgerüsteten Knotenpunktstation. Alle mit Sekundärrelais ausgerüsteten Abzweige sind mit Prüfklemmen zum Anschluss eines Brown-Boveri-Distanzrelaisprüfapparates versehen. Dadurch wird deren laufende Kontrolle wesentlich erleichtert. Diese Prüfklemmen fehlen noch auf der Tafel Fig. 10.

Der Schutz ist nun so ausgebildet, dass auch da, wo Durchgangsstationen angeschlossen sind, bei Ausfall einer Leitung nie mehr als höchstens zwei Stationen spannungslos werden. Durch Versuche wurde festgestellt, dass im Gebiet Altstadt-Veltheim deren Belastung bei zusammengeschaltetem Sekun-

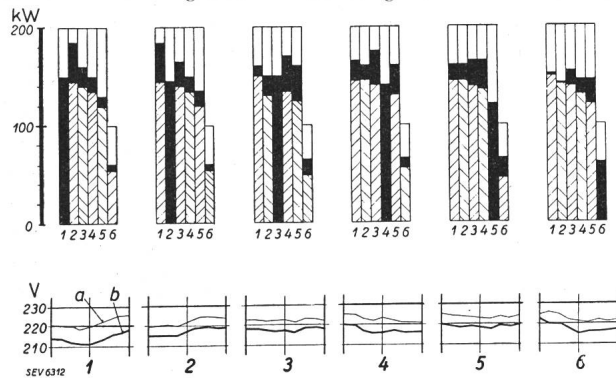


Fig. 11.
Belastungsverschiebung im Netz Altstadt bei Ausfall einzelner Stationen.

Oben: Belastungsverschiebung.
Normale Stationsbelastung.
Last der abgeschalteten Station und übernommene Anteile.
Die ganze Säulenhöhe (200, bzw. 100 kW) bedeutet die installierte Leistung.

Unten: Spannung in der abgeschalteten Station.
1 Epa. 2 Kasino.
3 Graben. 4 Kirchplatz.
5 Holderplatz. 6 Geiselweid.
a vor Abschaltung.
b nach Abschaltung.

därnetz ohne weiteres von den anderen Stationen übernommen werden kann. Das Resultat dieser Versuche ist in Fig. 11 dargestellt (für den Netzplan siehe Fig. 14).

Der Gedanke zur Schaffung eines Maschennetzes für dieses Gebiet drängte sich um so mehr auf, als für den Ausbau auf ein selektives Ringkabelnetz

mit einem Aufwand von ca. 125 000 Fr. gerechnet werden müsste, während für das Maschennetz nur ca. 25 000 Fr. nötig sind. Die evtl. noch nötigen Ergänzungen im Sekundärnetz werden durch Spannungsumbau und Absatzvermehrung ohnehin erforderlich.

4. Netz- und Modellversuche.

Zur Abklärung der verschiedenen Fragen über Einstellung der Relais und Wahl der Sicherungen wurden einerseits Messungen über die Belastungsverteilung im ganzen Netz, sowie anderseits Modell-

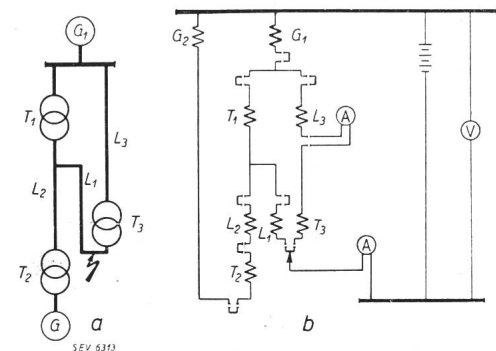


Fig. 13.

Prinzip der Messung am Modell.
a Leitungsschema. b Ersatzschema am Modell.

versuche für den Bezirk Altstadt an dem in Fig. 12 dargestellten Kurzschlussmodell⁵⁾ des SEV durchgeführt. Es ist vorgesehen, nach Abschluss der gesamten Umbauarbeiten effektive Kurzschlussversuche im Netz durchzuführen, um die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen zu überprüfen.

⁵⁾ Bull. SEV 1927, Nr. 11, S. 713.

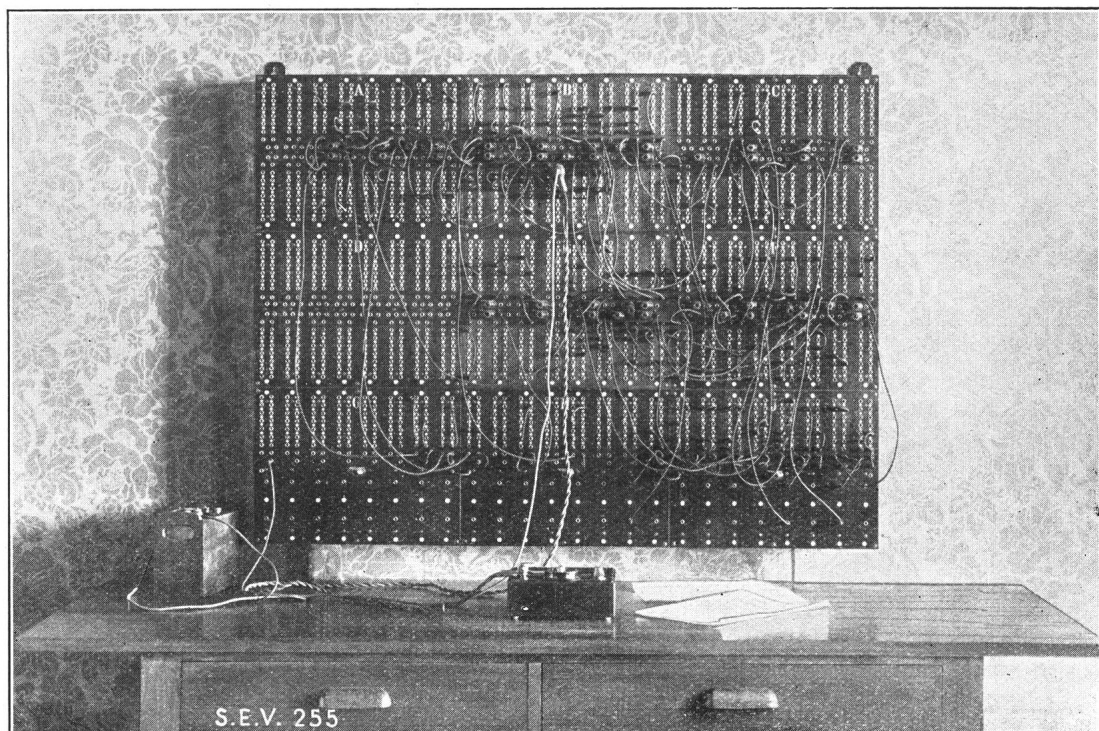


Fig. 12.
Kurzschlussmodell des SEV.

Die Modellversuche haben auch in diesem Fall wertvolle Einblicke in die bei Störungen auftretenden Verhältnisse ermöglicht. In kurzer Zeit konnten eine grössere Zahl von charakteristischen Fällen durchgemessen werden, wobei das erhaltene Bild gegenüber der rechnerischen Durchführung viel klarer war.

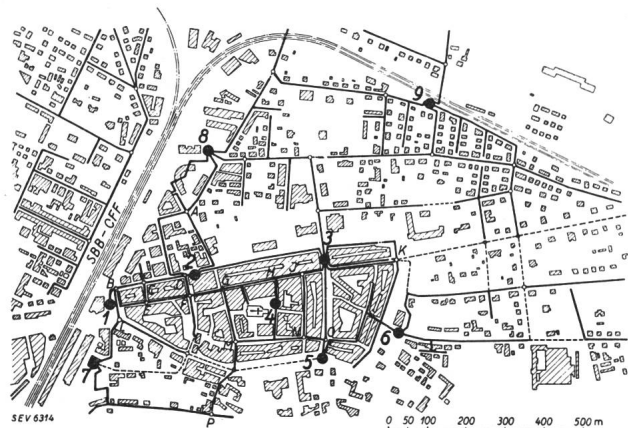


Fig. 14.

Plan des Netzes Altstadt.

- 1 Epa. 2 Kasino. 3 Graben. 4 Kirchplatz. 5 Holderplatz. 6 Geiselweid. 7 Umformerstation. 8 St. Georgen. 9 Schwalmenacker.
 — Bestehende Kabel. - - - - - Ergänzungen.
 A ... P Knotenpunkte.

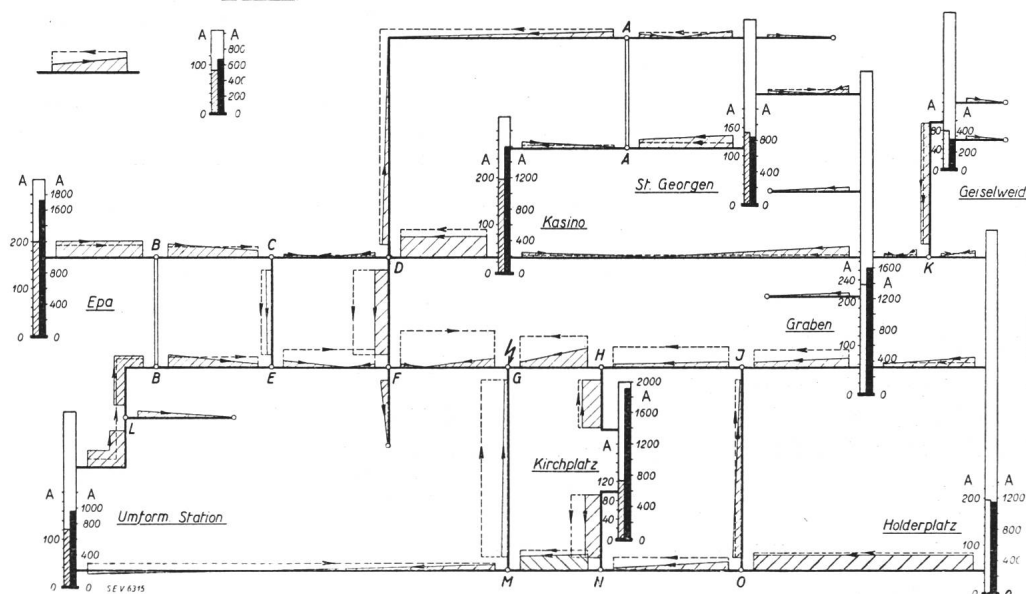


Fig. 15.

Gemessene Stromverteilung im 380-V-Netz Altstadt.

- Sekundär-Sammelschiene.
 ▨ Total Normalbelastung.
 ■ Total Kurzschlussstrombelastung.

Die Arbeitsweise am Modell darf als bekannt vorausgesetzt werden, immerhin sei sie in Fig. 13 kurz charakterisiert. Das durchzumessende Netz wird in einem Ersatzschema durch Widerstände dargestellt. Der einspeisende Punkt wird mit dem einen Pol einer Stromquelle verbunden. Ueber ein erstes Ampèremeter wird der andere Pol an die Kurzschlußstelle gelegt und dabei der totale Kurzschlußstrom gemessen. Ueber ein zweites Ampèremeter, das in die einzelnen Stränge geschaltet werden kann, können die zu- oder abfließenden Teilströme ermittelt werden, deren Summe dem Gesamtstrom entsprechen muss. Das bei den Versuchen erhaltene Kontrollresultat ergab hierbei ausserordentlich geringe Fehler.

In Fig. 14 ist der Plan des untersuchten Netztes dargestellt. Darin sind auch die für Winterthur charakteristischen, bereits erwähnten Wohnverhältnisse mit einerseits engen Stadtquartieren, andererseits lockerer Villenbebauung gut ersichtlich.

Wie sich die Stromverhältnisse bei normaler Belastung und für einen bestimmten Kurzschlussfall im Stadttinnern gestalten, zeigt Fig. 15.

Wie im nächsten Abschnitt gezeigt wird, reichen bei der vorläufigen Vermaschung die Stromdifferenzen für einzelne Fälle nur knapp zur selektiven Abschaltung der Sicherungen aus. Es machen sich hier die noch fehlenden Querverbindungen zwischen Stadthausstrasse und Marktasse unangenehm bemerkbar. Als Regel muss aufgestellt werden, dass Knotenpunkte im Maschennetz wenn irgend möglich aus 4 Strängen gebildet werden sollten.

Bei einzelnen Kurzschlußstellen zeigte sich sogar die Erscheinung, dass verschiedene Transformatorstationen vom Sekundärnetz in das Hochspannungsnetz rückspeisen. Daher muss das Ansprechen des Maschennetzschalters für diese Fälle auch mit den Auslösezeiten im Hochspannungsnetz koordiniert werden, um unnötige Abschaltungen zu vermeiden. Es zeigt sich dadurch, dass Relaiszeiten auf der Oberspannungsseite und Schmelzeiten der Verteilsicherung viel stärker miteinander

in Beziehung stehen und koordiniert werden müssen, als gewöhnlich angenommen wird.

5. Die Wahl der Sicherungen.

Für die richtige Wahl der Sicherungen sind einerseits die normalen Betriebsverhältnisse, andererseits die auftretenden Kurzschlussbeanspruchungen massgebend. Ferner dürfen die Sicherungen ihre Charakteristik auch bei verschiedener Vorwärmung (durch wechselnde Betriebs- und Fehlerstrombeanspruchung) nicht ändern. Der herkömmliche Typ ist also nicht brauchbar, sondern es müssen sog. Hochleistungssicherungen zur Anwendung gelangen. Hierbei kann es sich nicht mehr um einen Überlastungsschutz handeln, wie er früher propa-

giert worden ist. Jeder Betriebsleiter muss sich darüber klar sein, dass ein richtig aufgebauter Schutz, der bei Störungen wirklich nur die fehlerhafte Strecke abschaltet und im übrigen eine grösstmögliche Kontinuität des Betriebes gewährleistet, nur ein Kurzschlußschutz sein kann.

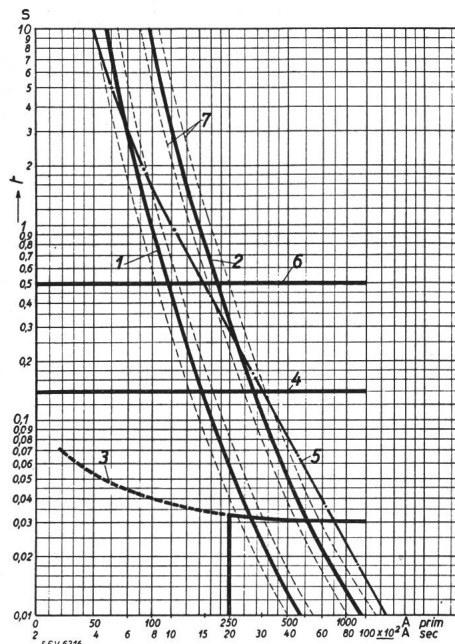


Fig. 16.
Auslöse-Charakteristiken.

- 1 Hochleistungs-Sicherung. 200 A Nennstrom verzögert.
- 2 Hochleistungs-Sicherung. 300 A Nennstrom verzögert.
- 3 Steck-Selbstschalter; ----- blockiert.
- 4 Primär-Oelschalter mit unabhängigem Maximalstromrelais (bei momentaner Auslösung).
- 5 Primär-Röhrensicherung. Schmelzdraht 0,8 mm $\varnothing$; Nennstrom 20 A.
- 6 Rückwattrelais des Maschennetzschalters.
- 7 Steuerung.

Der Schutz gegen Ueberlastung soll durch Einbau entsprechender Apparate ⁶⁾ beim Verbraucher erreicht werden. Im Netz selbst wird man sich durch regelmässige Beobachtung der Belastungen, sei es durch Ablesung eingebauter Instrumente in bedienten Stationen, sei es durch periodischen Einbau von registrierenden Instrumenten in abgele-

⁶⁾ Bull. SEV 1937, Nr. 9, S. 176.

genen Leitungen, die nötigen Angaben verschaffen müssen. Diese Art der Betriebsüberwachung zeigt viel besser als zufällige Schalterauslösungen infolge von Ueberlast die eventuellen Mängel eines Uebertragungssystems und gibt damit die Möglichkeit, die nötigen Ergänzungen auszuführen.

In Fig. 16 sind die für verschiedene Klassen von Sicherungen erreichten Schmelzeiten dargestellt. Zugleich ist darin auch die Koordination der übrigen Schutzapparate eingetragen. Aus der Untersuchung über die verschiedenen auftretenden Fehlerströme ergibt sich für das betrachtete Netz folgendes:

1. Die minimale Staffelzeit muss 0,02 s betragen; dazu ist eine Streuung von 10 % des Stromwertes zu berücksichtigen.
2. Die maximale Schmelzeit darf mit Rücksicht auf den Schutz des Hochspannungsnetzes ca. 0,75 s nicht überschreiten.
3. In allen Knotenpunkten werden einheitlich Sicherungen von 200 A, Klasse «verzögert», eingebaut.
4. Die Stationsabgänge erhalten Sicherungen von 300 A, Klasse «verzögert».
5. Die Transformatorensicherungen von 0,8 mm $\varnothing$ (20 A) auf der Hochspannungsseite arbeiten selektiv und sprechen nur bei Transformatordefekten an.
6. Die Rückstromauslösezeit von 0,5 s für den Maschennetzschalter genügt.
7. Die Steck-Selbstschalter sind in der Schnellauslösung zu blockieren. Immerhin werden sie bei gewissen Störungen gegenüber den Sicherungen nicht selektiv ansprechen. Die Betriebserfahrung wird zeigen, ob sie auszuwechseln sind.
8. Evtl. Transformatorenschalter müssen eine Auslösezeit von nicht unter 1 s aufweisen.

Dass bei den vorhandenen Verhältnissen trotzdem in einigen Fällen die nötige Staffelzeit von 0,02 s nicht ganz erreicht wird, zeigt Tabelle III, welche für die am Modell gemessenen Verhältnisse gilt. Inzwischen wurden diese bereits durch Verlegung eines weiteren Kabels von der Umformstation zum Knotenpunkt F verbessert. Eine weitere Verbindung zwischen Stadthausstrasse und Marktgasse ist vorgesehen. Hierdurch dürfte die Selektivität für ziemlich alle Fälle erreicht werden.

6. Zusammenfassung.

Es wurde versucht, die Grundzüge für den Ausbau städtischer Energieversorgungsnetze darzustel-

Staffelung der Abschmelzeiten.

Tabelle III.

Fehlerort und Fehlerstelle	Knotenpunkt 200 A				Stationsabgang 300 A			
	Abzweig	Strom A	Schmelzeit s	Staffelzeit s	Abzweig	Strom A	Schmelzeit s	Staffelzeit s
Trsf. Station . . } Graben } Abzweig J . . . }	J	4100/3060	0,02/0,02	0	St. G.	8300/900	0,013/5	4,987
	J	4100/1040	0,02/0,3	0,28	Kas.	8300/1200	0,013/1,2	1,187
	H	4100/1550	0,02/0,09	0,07	H. Pl.	8300/1470	0,013/0,75	0,737
Abzweig K . . }	J	12000/4100	0,00/0,02	0,02	K	8300/680	0,013/11	11
					H. Pl.	12000/1470	0,00/0,75	0,75
alle übrigen Differenzen sind günstiger								
Knotenpunkt G	F	4660/2260	0,015/0,035	0,02				
	G	5670/4000	0,02/0,02	0				
	M	5670/1670	0,02/0,07	0,05				
	G	6330/4660	0,008/0,008	0				
	M	6330/1670	0,008/0,07	0,06				
	H	4000/2600	0,02/0,025	0				
	F	8330/4660	0,005/0,008	0				
	H	8330/4000	0,005/0,01	0				
	M	1670/1250	0,1/0,15	0,05				

len. Es wurde dabei gezeigt, wie mit relativ geringen Mitteln der Einbau eines selektiven Relais-systemes zur Verminderung der Störungshäufigkeit und hauptsächlich zur Eingrenzung der Störungsauswirkungen möglich ist.

Aus den Untersuchungen über die Ausgestaltung des Niederspannungsverteilnetzes ergibt sich, dass auch für kleinere städtische Verhältnisse in Gebieten mit dichter Bebauung und mit grösserer Belastungsanhäufung die Erstellung eines Maschen-netzes technisch möglich und wirtschaftlich vorteilhaft ist. Um vor unangenehmen Ueberraschungen sicher zu sein, ist es aber nötig, vor dessen Einführung die Verhältnisse in bezug auf die in den einzelnen Zweigen auftretenden Kurzschlußströme genau zu untersuchen. Als einfachstes Mittel hiezu erweist sich das Netzmodell, an dem die verschie-

denen Betriebsfälle rasch und zuverlässig bis in alle Details ermittelt werden können.

Was die Kabelquerschnitte anbelangt, so richten sich dieselben nach der vorhandenen Belastung. Immerhin muss darauf gesehen werden, dass nicht zu geringe Querschnitte gewählt werden. Speziell zur Verbindung zwischen den einzelnen Stationen empfiehlt sich ein kräftiges Kabel.

Als vorteilhaft hat sich auch die Verlegung von Steueradern, welche im Kabel eingebaut sind, erwiesen. Diese können entweder für die Steuerung der Strassenbeleuchtung oder aber für Rückmeldezwecke benützt werden. In gewissen Fällen wurde für Beleuchtung und Rückmeldung sogar ein eigenes Kabel verlegt. Separate Kabel empfehlen sich im Zentrum des Netzes, von wo Steuerung und Rückmeldung ausgehen. In den Kabelausläufern genügen die im Hauptkabel eingebauten Hilfsadern.

Le réglage de la puissance réactive en rapport avec les réseaux à haute tension.

Par Ch. Jean-Richard, Berne.

621.316.727

L'auteur, ingénieur aux Forces Motrices Bernoises S.A. à Berne, expose une méthode de réglage concernant la puissance réactive en rapport avec les réseaux à haute tension et explique le cas d'une application pratique de cette méthode.

Der Autor, Ingenieur der Bernischen Kraftwerke A.-G., Bern, beschreibt ein Verfahren für die Regelung der Blindleistung in Hochspannungsnetzen und gibt ein Anwendungsbeispiel dieses Verfahrens.

La distribution de l'énergie électrique se fait souvent avec un déphasage qui correspond environ au facteur de puissance 0,8 ind. C'est-à-dire que l'énergie réactive comporte 75 % environ de l'énergie active.

On a essayé à juste titre de réduire l'énergie réactive en installant des condensateurs à la périphérie du réseau. C'est alors qu'on s'est aperçu que les réseaux à haute tension imposent une certaine restriction dans l'installation des condensateurs. Cela provient de ce que ces réseaux représentent eux-mêmes des condensateurs de grande capacité. Ainsi une ligne triphasée à 140 kV et de 100 km équivaut à un condensateur dont la puissance nominale serait de 6000 kVar.

Toutefois les condensateurs peuvent être déclenchés en même temps que la charge réactive qu'ils compensent. Il est donc possible, malgré les réseaux à haute tension, d'atteindre en pleine charge des facteurs de puissance se rapprochant sensiblement de l'unité.

Lorsque la charge va en diminuant, l'influence des réseaux à haute tension va en augmentant pour devenir prépondérante lorsque la charge est nulle. C'est alors qu'il faut non seulement déclencher tous les condensateurs, mais encore compenser l'énergie capacitive des réseaux à haute tension par une quantité d'énergie réactive de même valeur et de sens contraire.

Le diagramme de la fig. 1 représente le principe de cette façon d'agir. La droite inclinée qui forme avec l'axe des ordonnées l'angle φ est déterminée

d'une part par les besoins du consommateur en énergie réactive à pleine charge et d'autre part par les besoins du fournisseur en énergie réactive lorsque la charge est nulle. Le cercle dont le rayon est égal à m , représente justement ces besoins du fournisseur, au point d'intersection avec l'axe posi-

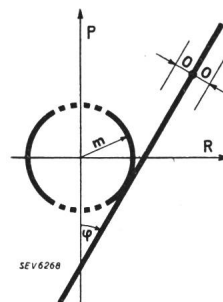


Fig. 1.
Diagramme de charge servant de programme pour le réglage de la charge réactive en fonction de la charge active, en rapport avec les réseaux à haute tension.
 P charge active; R charge réactive; m charge réactive à vide déterminée par les besoins de l'exploitant d'un réseau à haute tension; φ angle déterminé par les besoins du consommateur à pleine charge en tenant compte de m ; O insensibilité du régulateur d'énergie réactive.

tif désigné par R . Les lignes parallèles qui accompagnent la droite inclinée à la distance de ± 0 représentent la marge inévitable dont tout réglage se trouve affecté.

En réalité le rayon m sera plus petit et l'angle φ également. D'ailleurs tant le rayon m que l'angle φ doivent être adaptés aux besoins individuels de chaque exploitation.

La fig. 2 montre le schéma d'une installation de réglage de l'énergie réactive par transformateur à prises supplémentaires (5) et commandée par le régulateur automatique 1.

Ce régulateur se compose d'un système wattmétrique muni de deux contacts se fermant soit l'un, soit l'autre, et d'une barre graduée sur laquelle