37. Diskussionsversammlung vom 19./20. Januar 1971 in Luzern : Planung von Mittelspannungsnetzen in städtischen Gebieten

Autor(en): **Meier, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **62 (1971)**

Heft 15

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915845

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

den USA aufheben und diese Sonderrisiken auch übernehmen wollen, oder ob sie auf die MBV verzichten und den Pools überlassen wollen. Eine solche Entwicklung wäre im Interesse der Erhaltung einer gewissen Konkurrenzsituation zu bedauern. Die europäischen Maschinenbruchversicherer sollten daher versuchen, durch vermehrte und engere Zusammenarbeit mit den amerikanischen Versicherern die Situation zu retten.

Es wäre auch zu prüfen, ob nicht die gesamte MBV für Kernkraftwerke als Erstrisikoversicherung unter Aufhebung der bisherigen Ausschlüsse, jedoch mit genügend hoher Deckungssumme ausgestaltet werden könnte.

Adresse des Autors:
G. Hertig, Direktor der Bernischen Kraftwerke AG, Viktoriaplatz 2, 3000 Bern 25.

37. Diskussionsversammlung vom 19./20. Januar 1971 in Luzern

Planung von Mittelspannungsnetzen in städtischen Gebieten

Von *W. Meier*, Schaffhausen

1. Einleitung

In meinem Referat möchte ich ein mögliches Verfahren zur *Planung* von Mittelspannungsnetzen in städtischen Gebieten zur Diskussion stellen. Damit zusammenhängend werde ich Erdungsfragen behandeln. Es sind dies Themen, die vor allem diejenigen interessieren werden, die sich mit der Energieversorgung von grösseren Ortschaften oder kleineren Städten befassen und die deshalb periodisch vor den Aufsichtsorganen ihrer Werke Netzbauten vertreten müssen.

2. Was ist Planung?

Planung bedeutet:

- Voraussehen, was in der Zukunft zu tun ist
- Voraussehen, welche Entscheidungen zu treffen sind
- Voraussehen, welche Mittel benötigt werden

Durch Planung kann aber nicht verhindert werden, dass unvorhergesehene Ereignisse spontanes Handeln erfordern. Es besteht jedoch ein deutlicher Gegensatz zwischen Planung und Improvisation. Die Improvisation sollte in einer gut geführten Unternehmung eine Ausnahme bilden.

3. Was bedeutet Planung von Verteilnetzen?

Das Planen von Verteilnetzen bedeutet:

- Voraussehen, welche Energie in einem bestimmten Gebiet oder Quartier in Zukunft benötigt wird
- Voraussehen, welche Übertragungsleitungen in der Zukunft benötigt werden
- Voraussehen, welche Mittel (finanziell und materiell) dazu erforderlich sind

Das Vorausplanen von Verteilnetzen hat deshalb grosse Bedeutung, weil Strassen und Plätze pro Werkleitung innerhalb einer Zeitspanne von 30...40 Jahren höchstens einmal aufgegraben werden sollten.

Es besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Vorausplanen der *Energiebeschaffung* und Vorausplanen der *Energieverteilung*.

Die Zunahme des *Energieverbrauches* betrug in den letzten 10 Jahren durchschnittlich etwa 5 % pro Jahr. Diese Durchschnittswerte sind für die *Energiebeschaffung* von grosser Bedeutung. Auf Grund dieser Werte kann der *Energieverbrauch* einer Region auf Jahre hinaus vorausgesagt werden. Natürlich müssen dabei gewisse die wirtschaftliche Entwicklung beeinflussende Faktoren, wie zum Beispiel Erschliessung durch neue Bahnlinien oder Nationalstrassen usw., mitberücksichtigt werden.

Auf eine ganze Stadt verteilt, stellt die jährliche Gesamtzunahme eine Verschachtelung von Werten in der Grösse von 0...100 % dar. Es gibt Quartiere, in denen der Energieverbrauch während Jahren konstant bleibt, während er sich in neu erschlossenen Gebieten innert weniger Jahre vervielfacht. Die aus den Statistiken bekannte durchschnittliche jährliche Gesamt-Energiezunahme hat deshalb für die Planung städtischer Mittelspannungsnetze nur untergeordnete Bedeutung. Welche Grundlagen können nun für diese im Hinblick auf den hohen Kapitalbedarf und die lange Lebensdauer der Übertragungselemente wichtige Planung zugezogen werden?

4. Planungsgrundlagen

Der Energieverbrauch eines bestimmten Gebietes ist abhängig von der Art der Überbauung oder anders ausgedrückt, von der Nutzung des Bodens. Diese Nutzung des Bodens ist heute in den meisten Ortschaften und Städten in einer Bauordnung klar umschrieben. Die Zonen verschiedener Nutzung, Ausnützung und Bauweise sind dabei in einem Zonenplan festgehalten. Als wichtigste Grundlage für die Planung eines Mittelspannungsnetzes dient die Lastdichte der verschiedenen Zonen. (Unter Lastdichte versteht man die auf eine Flächeneinheit bezogene Höchstbelastung.) Die Lastdichte einzelner Zonen kann anhand von Erfahrungswerten vorausgesagt werden (siehe Tabelle I).

Am einfachsten und genauesten sind wohl die Lastdichtewerte für Wohnzonen in Verbindung mit der Ausnützungs-

Lastdichten in Wohnzonen

Tabelle I

a) ohne el. Raumheizung, sonst vollelektr. Haushalt		Lastdichte VA/m²
Wohnzone Ausnützungsziffer	0,4	5
Wohnzone Ausnützungsziffer	0,6	8
Wohnzone Ausnützungsziffer	0,8	11
Wohnzone Ausnützungsziffer	1,0	15
b) mit Raumheizung, vollelektrischer Haushalt		
Wohnzone Ausnützungsziffer	0,4	70...140
Wohnzone Ausnützungsziffer	0,6	110...220
Wohnzone Ausnützungsziffer	0,8	150...300
Wohnzone Ausnützungsziffer	1,0	190...380

ziffer vorauszusagen. (Nicht in Verbindung mit der Anzahl Wohnungen und der Anzahl Zimmer pro Wohnung.) Nebenbei sei erwähnt, dass die Benützungsdauer in Wohnzonen stark im Steigen begriffen ist, da je länger, je weniger kochintensive Menüs vorbereitet werden, hingegen die übrige Elektrifizierung der Haushalte fortschreitet (Gefriertruhen, Luftbefeuchter usw.). In der Stadt Schaffhausen verzichtet man deshalb heute bereits auf jegliche Spitzensperrung. Die Energie soll jederzeit in beliebiger Menge abgegeben werden, was jedoch eine absatzorientierte Stromtarifpolitik bedingt (nicht Tarif nach Verwendungszweck). Der Vergleich der Lastdichten (Tabelle I) zeigt deutlich, dass die elektrische Raumheizung für die Verteilnetze eine völlig neue Ausgangslage bildet.

Die Lastdichte für Wohnzonen ohne Raumheizung, sonst jedoch vollelek. Haushalt liegt zwischen 5...15 VA/m². Bei Speicherheizungen liegen diese Werte zwischen 70...190 und 140...380 VA/m². Die Werte 140...380 beziehen sich auf reine Nachtspeicher und die Werte 70...190 auf Nachtspeicher mit Tagesnachladung.

Der Anschluss von einzelnen Speicherheizungen (z. B. Altliegenschaften ohne Kamin usw.) in erschlossenen Gebieten ist in der Regel ohne weiteres möglich, da er im Sekundärnetz verkraftet werden kann. Vermehrt sich aber die Zahl der Anschlüsse, so hat dies unverhältnismässig grosse Investitionen zur Folge. Die Frage, ob die Verteilnetze heute schon im Hinblick auf die Einführung der elektrischen Raumheizung dimensioniert und konzipiert werden sollen, können uns wohl auch diejenigen, welche sich mit Elektrizitätswirtschaft befassen, nicht mit einem eindeutigen Ja beantworten.

Für die Industrie-, Gewerbe- und Kernzonen sind Zukunftsprognosen wesentlich schwieriger aufzustellen. Immerhin lassen sich auch hier anhand von Grossbezüger-Verbraucherstatistiken wertvolle Angaben ermitteln. Tabelle II zeigt Lastdichte-Prognosen von Industrie-, Gewerbe- und Kernzonen. Aus der Höchstlast 1970 wird unter Berücksichtigung der effektiv genutzten Arealfläche die Lastdichte 1970 errechnet. Aus dem Lastanstieg zwischen 1960 und 1970 kann dann unter Berücksichtigung verschiedener die Entwicklung eines Betriebes beeinflussender Faktoren eine Lastdichte und damit eine Höchstbelastung für die Zukunft angenommen werden.

Lastendichten in Industrie-, Gewerbe- und Kernzonen

Tabelle II

	Höchstlast 1960 kW	Höchstlast 1970 kW	Lastdichte 1970 VA/m²	Lastdichte für Planung VA/m²
a) Industrie- und Gewerbezonen				
Maschinenfabrik	350	550	39	70
Kammgarnspinnerei	650	850	91	130
Druckerei	140	150	135	160
Molkerei	65	95	36	60
Silberwarenfabrik	85	110	41	60
Chemische Fabrik	300	530	44	80
Fabrik für Fahrradbestandteile	320	410	38	60
Uhrenfabrik	50	60	22	30
b) Kernzone				
Warenhaus 1	45	55	88	650
Warenhaus 2	60	104	118	650
Warenhaus 3 Umbau/Neubau 1968	160	650	630	650
Bank Neubau 1967		180	75	100
Geschäftshaus			150...200	200...250

5. Wahl der Transformatorengrösse

Ein wichtiges Kriterium für den Entwurf des Mittelspannungsnetzes bildet die Wahl der Transformatorengrösse und somit des Versorgungsradius einer Transformatorenstation. Gewiss steht die wirtschaftliche Grösse einer Transformatorenstation in engem Zusammenhang mit der Lastdichte des zu versorgenden Gebietes. An einer früheren Diskussionsversammlung über Kompaktstationen wurde dieses Thema eingehend behandelt. Einige generelle Vor- und Nachteile zur Frage, ob eine grosse Zahl kleiner oder eine kleine Zahl grosser Transformatoren wirtschaftlicher sei, möchte ich trotzdem erwähnen. Die eigentliche Wirtschaftlichkeitsrechnung kann dem einzelnen Betriebsleiter überlassen werden. Er hat dann die Möglichkeit, die unbekannten Faktoren der Rechnung zu wählen, dass das ihm am besten erscheinende Resultat herauskommt.

a) Grosse Zahl kleiner Transformatorenstationen (bis ca. 630 kVA).

Vorteile:

- Es können vorfabrizierte Stationen und Kompaktstationen mit kurzer Bauzeit verwendet werden
- In Gebieten mit grosser Lastdichte können sekundärseitig Strahlennetze mit direkter Speisung einzelner Objekte aufgebaut werden. Da solche Strahlennetze keine Abzweigungen besitzen, kann bedenkenlos Aluminium als Kabel-Leiter-Material verwendet werden (siehe Deutschland)
- Der Anteil Investitionsaufwand für das Kabelnetz ist klein
- Übertragungsverluste im Kabelnetz sind klein

Nachteile:

- Anteil Investitionsaufwand für Stationen ist gross
- Die Abschreibungsdauer (Lebensdauer) von Kompaktstationen ist kleiner als diejenige herkömmlicher Stationen offener Bauart (20...30 Jahre statt 30...40 Jahre)
- Unterhaltsaufwand ist grösser als bei wenigen grossen Stationen
- Beschränkte Ausbaumöglichkeit
- Trafoverluste sind grösser

b) Kleine Zahl grosser Transformatorenstationen bis 2×1000 kVA

Vorteile:

- Kleiner Anteil Investitionsaufwand für Transformierung
- Kleinere Transformierungsverluste, da Trafoleistung mit kleinem Aufwand der Energieverbrauchszunahme angepasst werden kann
- Lebensdauer 30...40 Jahre (Stationsraum noch länger)
- Unterhaltskosten kleiner als bei vielen kleinen Stationen
- Ausbau-Möglichkeit

Nachteile:

- Grosser Investitionskostenanteil für Kabelnetz. Dies wirkt sich jedoch in der Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht stark aus, da die Lebensdauer der Kabel mit 50 Jahren eingesetzt werden kann und die Unterhaltskosten für Kabel sehr klein sind (Verteilkabinen-Unterhalt)

Versorgungs-Flächen und Radien von Trafostationen

Tabelle III

Lastdichte VA/m²	Fläche u. Radius bei $P_{inst} \cdot 0{,}8$	P_{inst} (kVA)						
		2 × 1000	2 × 630	1 × 1000	2 × 400	1 × 630	1 × 400	1 × 250
2	Fläche (m²)	800 000	504 000	400 000	320 000	252 000	160 000	100 000
	Radius (m)	505	401	357	319	283	226	178
5	Fläche	320 000	201 000	160 000	128 000	100 500	64 000	40 000
	Radius	319	253	226	202	179	143	113
8	Fläche	200 000	126 000	100 000	80 000	63 000	40 000	25 000
	Radius	252	200	178	160	142	113	89
11	Fläche	145 000	91 000	72 500	58 000	45 500	29 000	18 000
	Radius	215	170	152	136	120	96	76
15	Fläche	106 000	67 000	53 000	42 600	33 500	21 300	13 250
	Radius	184	146	130	116	103	82	65
30	Fläche	53 000	33 500	26 500	21 300	16 750	10 650	6 600
	Radius	130	103	92	82	73	58	46
50	Fläche	32 000	20 100	16 000	12 800	10 050	6 400	4 000
	Radius	101	80	71	64	57	45	36
100	Fläche	16 000	10 000	8 000	6 400	5 000	3 200	2 000
	Radius	71	57	50	45	40	32	25
200	Fläche	8 000	5 000	4 000	3 200	2 500	1 600	1 000
	Radius	50	40	36	32	28	23	18
400	Fläche	4 000	2 500	2 000	1 600	1 250	800	500
	Radius	36	28	25	23	20	16	13

- Grössere Übertragungsverluste
- Hohe Kurzschluss-Ströme im Sekundärnetz

Neben den hier aufgeführten wirtschaftlichen Vor- und Nachteilen dürfen aber auch die betrieblichen Gesichtspunkte nicht vergessen werden. Ich denke dabei vor allem an:

- Ausführen von Netzumschaltungen im Zusammenhang mit Revisionsarbeiten
- Unterhaltsarbeiten
- Frühzeitiges Erkennen von möglichen zukünftigen Störungsursachen

Tabelle III zeigt den Versorgungsradius und die Versorgungsfläche verschiedener Einheitstransformatorengrössen in Funktion der Lastdichte. Bei der Berechnung der Versorgungsradien wurde 80 % der Transformator-Nennleistung berücksichtigt, da in Störungsfällen eine gewisse Reserve zur Versorgung benachbarter Stationsgebiete zur Verfügung stehen soll. Aus der Tabelle ist deutlich ersichtlich, dass bei Lastdichten von 100 und mehr VA/m², wie dies bei klimatisierten Geschäfts- und Warenhäusern in Kernzonen der Fall ist, der Einbau von Transformatorenstationen in das betreffende Objekt die wirtschaftlichste Lösung sein dürfte.

6. Stationenstandorte

Die Stationsstandorte sollten *grundsätzlich* im Belastungsschwerpunkt des zu versorgenden Gebietes gewählt werden, um die Übertragungsverluste wie auch den Spannungsabfall auf einem Minimum zu halten. Bekanntlich lässt sich dies in den wenigsten Fällen verwirklichen. Als Stationsstandorte werden vorzugsweise Autoeinstellhallen von Wohn- und Geschäftshäusern, öffentliche Bauten, wie Schulhausanlagen, Amtshäuser usw., oder öffentliche Anlagen gewählt. Im Hinblick auf die Kabelführung sind bei der Wahl der Stationen-Standorte auch die topographischen Gegebenheiten sowie Verkehrsanlagen wie Strassenkreuzungen und Plätze speziell zu berücksichtigen. Der Bau von freistehenden Stationen dürfte in städtischen Gebieten wirtschaftlich kaum mehr zu verantworten sein. (Ausnahme vorfabrizierter Stationen in Randgebieten.)

Mit dem Festlegen der Transformatorenstationsgrösse, der Wahl der Standorte sowie dem Vorausbestimmen des zukünftigen Grossbezüger-Energiebedarfs kann der Entwurf des eigentlichen Mittelspannungsleitungsnetzes begonnen werden. Fig. I zeigt einen Ausschnitt aus einem derart zum Entwurf des Mittelspannungsnetzes vorbereiteten Quartieres. Die ausgezogenen Kreise stellen die Versorgungsradien von bestehenden und auszubauenden Transformatorenstationen dar. Die strichierten Kreise zeigen die projektierten Stationen und deren Versorgungsflächen. Als Stationseinheitsgrösse wurde mit Ausnahme der Randgebiete 2 × 1000 kVA gewählt.

7. Entwurf des Mittelspannungsnetzes

7.1 Netzaufbau

Der Aufbau des Mittelspannungsnetzes kann als Strahlennetz, Ringnetz oder Maschennetz erfolgen.

Das Strahlennetz ist die einfachste Netzform. Die Leitungen führen vom Unterwerk strahlenförmig zu den Transformatorenstationen. Die Leitungsquerschnitte können mit zunehmender Entfernung vom Speisepunkt verkleinert werden. Die Vorteile des Strahlennetzes sind:

- Einfacher und übersichtlicher Aufbau
- Einfache Überwachung der Strombelastung
- Einfache Netzberechnung
- Einfacher Netzschutz

Grosse Nachteile des Strahlennetzes sind die geringe Versorgungssicherheit infolge einseitiger Einspeisung sowie die umständlichen Vorbereitungen für Abschaltungen zu Revisionszwecken.

Im Maschennetz sind alle Leitungen innerhalb des Versorgungsgebietes eines Unterwerkes zusammengeschlossen. Der Zusammenschluss an den Knotenpunkten erfolgt über Leistungsschalter. Die Vorteile des Maschennetzes sind:

- Günstiger Lastausgleich
- Kleine Netzverluste
- Hohe Versorgungssicherheit

Nachteile:

Fig. 1
Versorgungsradius von bestehenden und projektierten Transformatorenstationen

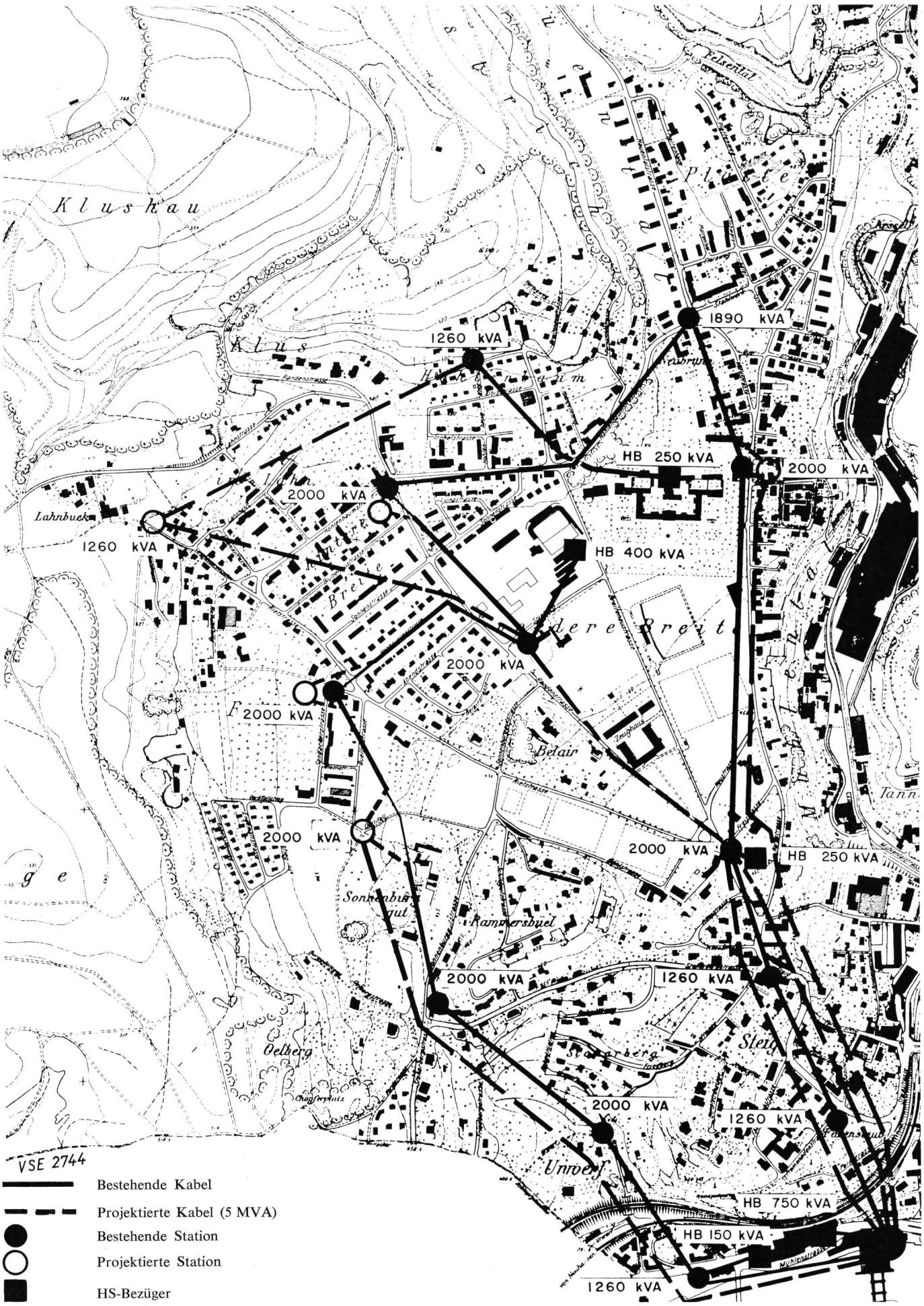


Fig. 2
Bestehende und projektierte Mittelspannungskabel

- Komplizierte Ermittlung der Stromverteilung
- Aufwendiger Netzschutz
- Hohe Kurzschlussleistungen im Netz

Die für Mittelspannungsnetze in städtischen Gebieten meistverwendete Netzart ist das Ringnetz. Es wird die gleiche Versorgungssicherheit erreicht wie beim Maschennetz. Um die Hauptvorteile des Strahlennetzes ausnutzen zu können, werden die Ringe oft an geeigneter Stelle aufgetrennt betrieben. Ähnliche Vorteile werden auch erreicht, indem an geeigneter Stelle im Ring die Kurzschlußschutzrelais eines Leistungsschalters auf eine Schaltzeit von 0,1...0,3 Sekunden eingestellt wird. Im Störungsfall wird dann der Ring sofort aufgetrennt, womit die Kurzschlussleistung und allenfalls die Kurzschlussauswirkung verringert wird. Durch den Betrieb offener Ringe oder das sofortige Auftrennen im Störungsfalle wird der denkbar einfachste Netzschutz ermöglicht. Sofern die Kabelquerschnitte der Ringe konstant sind, kann auf einen Überlastschutz verzichtet werden. Die Belastung der einzelnen Kabelabgänge wird im Unterwerk überwacht. In diesem Fall können Hauptstromzeitrelais mit einheitlichem Nennstrom (ca. 1,2...1,5facher Kabelnennstrom) auf die Leistungsschalter montiert werden. Durch Zeitstaffelung lässt sich eine selektive Abschaltung erreichen. (Z. B. 2, 1,75, 1,5, 1,25, 1,0 Sek.) Um betriebliche Umdispositionen zu erleichtern, ist es beim Ringnetz von Vorteil, wenn an *beiden* Kabelenden Leistungsschalter mit Relais montiert werden. Weitergehende Massnahmen zur Verhinderung, Eingrenzung oder Verkürzung von Störungen wie Schnellwiedereinschaltung, Rückmeldung der Schalterstellung auf ein Blindschema usw. sind im Hinblick auf die geringe Störungshäufigkeit (3 Primärstörungen pro 100 km Kabel/Jahr) und im Hinblick auf die grosse Anzahl Schaltstellen (330 Leistungsschalter pro 100 km Kabelleitungen) in städtischen Gebieten wirtschaftlich kaum zu verantworten.

7.2 Netzdimensionierung

Der minimale Kabelquerschnitt der Hochspannungskabel ist begrenzt durch den höchsten auftretenden Kurzschlußstrom bei der durch die Zeitstaffelung der Leistungsschalter gegebenen längsten Abschaltzeit. Der maximale Kabelquerschnitt wird normalerweise begrenzt durch das Gewicht pro Verlegelänge sowie durch die Handlichkeit bei der Verlegung (Biegeradien, Kabelsteingrössen, Kunststoffrohrdurchmesser usw.). Durch Hintereinanderschalten von höchstens 10...12 Stationen pro Ring oder 5...6 Stationen pro Strahl (bei Strahlennetzen) kann eine Zeitstaffelung mit Abständen von etwa 0,25 Sekunden erreicht werden. Dies ergibt maximale Abschaltzeiten von etwa 2 Sekunden.

Fig. 3
Kunststoffrohrblock mit 32 Rohren 124/120 mm Durchmesser

Nach dem Festlegen des Netzkonzeptes ergibt sich die Dimensionierung des *endgültigen* Kabelnetzes leicht aus den erarbeiteten zukünftigen Belastungen der einzelnen Transformatorenstationen und Hochspannungsbezügeranlagen.

Es stellt sich nun aber die Frage, ob im Mittelspannungsnetz zu den erarbeiteten zukünftigen Belastungen weitergehende Reserven eingebaut werden sollen. Im Hinblick auf die elektrische Speicherheizung oder andere unvorhergesehene Anwendungen elektrischer Energie ist dies sicher erforderlich.

Die Dimensionierung des *endgültigen* Mittelspannungskabelnetzes entsprechend der 1,5...2fachen erarbeiteten zukünftigen Belastung könnte zweckmässig sein.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt eines Mittelspannungsnetz-Entwurfes. Die durchgezogenen Linien stellen den bestehenden Mittelspannungsring dar. Die strichierten Linien zeigen die für die Zukunft benötigten Leitungen.

Ob die *endgültige* Anzahl Kabel eines auszubauenden Streckenabschnittes auf Anhieb eingelegt werden soll, hängt weitgehend von der Verlegungsart ab.

Das Verlegen im Sand mit Decksteinen dürfte nur dort in Frage kommen, wo aus Kurzschlussgründen der Querschnitt eines einzeln zu verlegenden Kabels bereits dem endgültigen Querschnitt entspricht (verstärken nicht nötig). Beim Verlegen in Zementkanälen ist der spätere Nachzug von Kabeln in Reservekanälen möglich, erfordert aber einen umfangreichen baulichen Aufwand. Wesentlich günstiger sind die Verhältnisse beim Verlegen in Kunststoffrohre. Das Einziehen von Kabeln auf eine Länge von 300 und mehr Metern mit mehreren Kurven ist ohne weiteres möglich. Auf Streckenabschnitten mit mehreren parallelen Kabeln kann die für den *Endausbau benötigte Anzahl Kunststoffrohre* eingelegt werden. Die Kabel können dann später je nach Bedarf nachgezogen werden. Fig. 3 zeigt ein Beispiel einer Kunststoffrohranlage mit 32 Rohren von 120 mm Innendurchmesser. Diese Anlage wurde gebaut als Ersatz für ein Kabeltrasse, das in herkömmlichen Zementkanälen 4 Steuerkabel, 18 10-kV-Kabel und 2 50-kV-Kabel enthielt. Diese Kabelumlegung wurde durch einen projektierten Spitalneubau verursacht, und zwar wird das Spital direkt über dieser Kabelbahn erstellt werden. Dies ist der Grund, weshalb der Rohrblock hier in einem bis zu 8 m tiefen Graben liegt.

Fig. 4 zeigt einen Muffenschacht am Ende dieser Kunststoffrohranlage. An den Seitenwänden sind je 4 Tablare zur Aufnahme von je 2 Kabeln angebracht.

8. Erdschlußströme im Mittelspannungskabelnetz

Im Zusammenhang mit der Planung von Mittelspannungs-Kabelnetzen drängen sich einige Überlegungen in bezug auf Erdschlußströme und somit der Sternpunktbehandlung auf.

Der Betrieb mit isoliertem Sternpunkt ist, wie die Erfahrung zeigt, die versorgungssicherste Methode. Einpolige Erdschlüsse bleiben oft während Stunden stehen. In dieser Zeit können diese (in Ringnetzen ohne Unterbruch) lokalisiert und abgeschaltet werden. Beispiel: Stahlnadel eines Bauunternehmers dringt durch Kabelstein, Eisenarmierung, Bleimantel in die Ader eines 10-kV-Kabels. Erdschlussanzeige im Unterwerk.

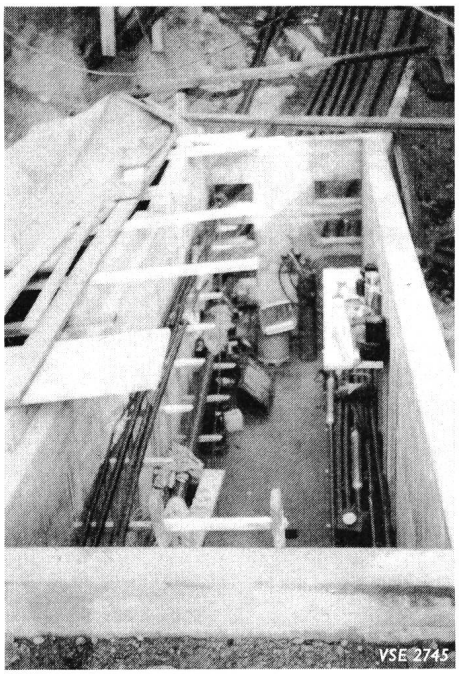


Fig. 4
Muffenschacht von Kunststoffrohrblock

Weiteres Beispiel: Beim Freileitungsendverschluss eines Dreibleimantelkabels entsteht ein Erdschluss Phase–Bleimantel. Erdschlussanzeige im Unterwerk. In beiden Fällen wurde das defekte Kabel ohne Versorgungsunterbruch innerhalb von etwa 2 Stunden lokalisiert und abgeschaltet. Nun sind jedoch die betrieblichen Vorteile nicht allein ausschlaggebend für die Behandlung des Sternpunktes. Den aus dem Erdschlußstrom resultierenden Berührungs- und Schrittspannungen ist ebenso grosse Bedeutung beizumessen. Es gehört deshalb zur Sorgfaltspflicht jedes Betriebsleiters, sich über die Erdschlußströme in seinem Netz und deren Folgen ins Bild zu setzen.

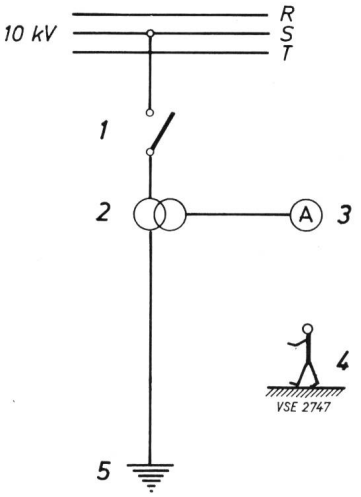
Fig. 5 zeigt die Messung des Erdschlußstromes in einem Mittelspannungsnetz mit isoliertem Sternpunkt. Die eine Phase wird über einen Leistungsschalter geerdet. Die erhöhte Beanspruchung der Isolation der beiden anderen Phasen gegen Erde erfordert Vorsichtsmassnahmen im Falle des Auftretens eines Doppelerdschlusses. Es wird folgendes vorgekehrt:

1. Diese Messung wird in einer belastungsarmen Zeit, z. B. Sonntag vormittag, durchgeführt.
2. Es wird Personal zum raschen Eingreifen im Falle des Doppelerdschlusses bereitgehalten (Versorgungsunterbruch).
3. Die Relais des zum Erden benutzten Leistungsschalters werden auf Momentauslösung eingestellt.
4. Das die Instrumente und Schalter bedienende Personal steht auf Isolierschemeln.

In Mittelspannungskabelnetzen liegen die Erdschlußströme in der Grösse von ca. 20...200 A.

Welche Berührungs- und Schrittspannungen resultieren nun aus den Erdungsströmen?

Die Höhe der *Erdungsspannung* und damit der Berührungs- und Schrittspannung ist eine Funktion der *Erdungsimpedanz*. Unter *Erdungsimpedanz* versteht man das unter betriebsmässigen Bedingungen messbare Verhältnis zwischen der Erdungsspannung und dem Erdungsstrom. Die unter betriebsmässigen Bedingungen messbare Erdungsimpedanz ist je kleiner, je mehr metallene Kabelmäntel mit der Erdung verbunden sind. (Diese sind auf der Gegenseite wieder geerdet.) Bei Messungen in Transformatorenstationen mit mehreren Kabelabgängen in überbauten Gebieten konnten Erdungsimpedanzen von weniger als 1 Milliohm ermittelt werden.



1 = Leistungsschalter mit Relais (Momentauslösung)
2 = Stromwandler
3 = Amperemeter
4 = Bedienungsstandorte, isoliert
5 = Anlage-Erdung

Fig. 5
Messung des Erdschlußstromes in einem 10-kV-Netz

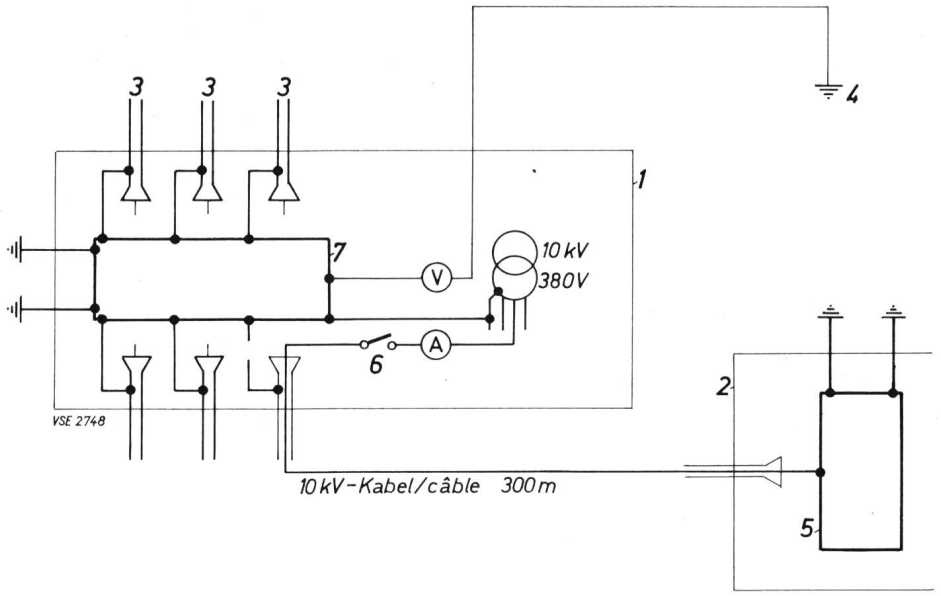


Fig. 6
Messung von Erdungsspannung/Erdungsimpedanz

1 = Station A
2 = Station B
3 = Kabel-Metallmäntel, Prim.- + Sek.-Kabel an Anlage-Erdung
4 = Sonde, ev. Erde von benachbarter Tr.-Station
5 = Anlage-Erdung
6 = Schalter
7 = Anlage-Erdung, Sammelerdleitung

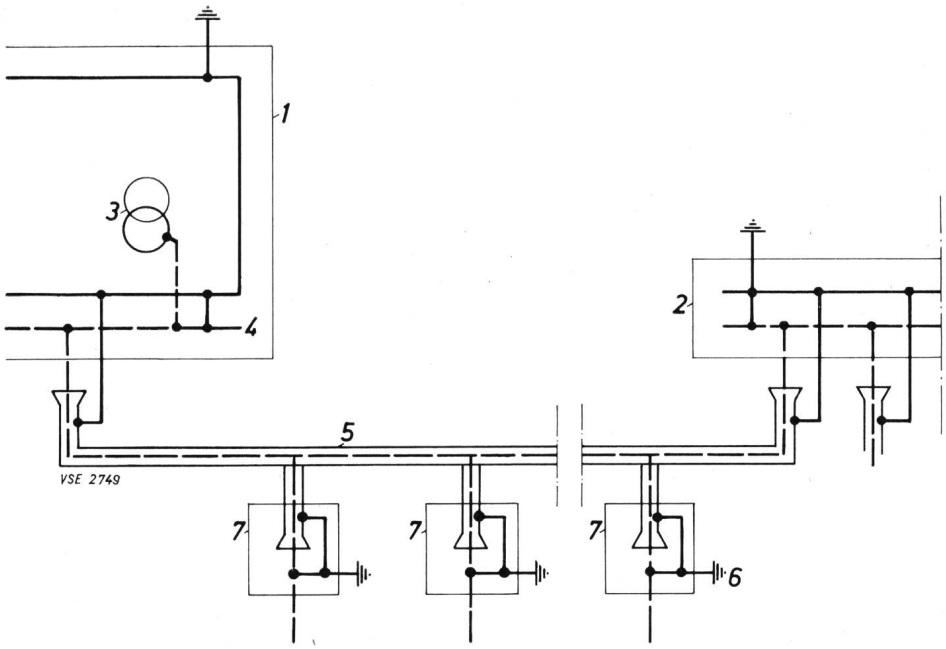


Fig. 7
Transformatorenstation ohne Sondererdung
1 = Station
2 = Verteilkabine
3 = Transformator
4 = Nulleiter
5 = Kabel-Metallmantel
6 = Band-Erder oder Wasserleitung
7 = Hausanschlusskasten

Die Genauigkeit der Messwerte in der Grösse von 1 Milliohm lässt gewiss zu wünschen übrig. Es ist jedoch zu beachten, dass eine Impedanz von 250 Milliohm erforderlich ist, um bei 200 A Erdungsstrom eine Erdungsspannung von 50 V zu erreichen. Wir sind also mit Impedanzwerten von 1 bis 10 Milliohm auf jeden Fall auf der sicheren Seite.

Fig. 6 zeigt, wie die Erdungsspannung gemessen werden kann. Die Phase eines Netztransformators wird über ein Amperemeter, über einen Leistungsschalter mit der Ader eines abgeschalteten 10-kV-Kabels verbunden. Die Ader des 10-kV-Kabels wird in der Station B geerdet und als Hilfserder für diese Erdungsmessung benutzt. Der Erdschlussstrom fliesst nun über die Erdung der Station B über Erde zur Station A. Mit einer Sonde in neutraler Erde wird die Erdungsspannung der Station A gemessen.

Es ist leicht verständlich, dass in einem Versorgungsnetz mit derart kleinen Erdungsimpedanzen und somit (auch bei hohen Erdschlußströmen) unterhalb von 50 Volt liegenden Erdungsspannungen das Erden des 380-V-Transformator-Sternpunktes an eine Sondererdung keine Berechtigung mehr hat. Auf Grund solcher Erdungsmessungen gestattet uns deshalb das Eidg. Starkstrominspektorat seit einigen Jahren auf die Sondererdung in Transformatorenstationen zu verzichten.

Das konsequente Verbinden der Nulleiter und Kabelmetallmäntel, das konsequente Durchverbinden der Kabelmetallmäntel bis zum Hausanschluss sowie das Erden derselben in Transformatorenstationen, in Verteilkabinen und bei jedem Hausanschluss schafft die saubersten Erdungsverhältnisse.

Fig. 7 stellt die Erdungsverhältnisse in einem solchen Verteilnetz ohne Sondererdung dar. Die Kabelmäntel und Nulleiter sind pro Station an bis zu einigen hundert Stellen geerdet. Die Bedeutung des bis zum Hausanschlusskasten durchverbundenen Kabelmetallmantels ist hier deutlich ersichtlich. Er bildet den 5. Leiter von HA zur Transformatorenstation.

Es ist sogar denkbar, dass man bei konsequentem Durchführen aller obiger Massnahmen in städtischen Gebieten eines Tages nicht mehr auf die metallene Wasserleitung angewiesen ist, und zwar auch dann, wenn die Metallumhüllungen der Kabel nicht erdfühlig sind (PVC-Mantel).

Mit diesem Zukunftsgedanken möchte ich mein Referat über Planung abschliessen. Es sei nur noch hervorgehoben, dass Planung für die Zukunft nur dann sinnvoll und realistisch ist, wenn sie laufend den neuen Gegebenheiten angepasst wird. Es gilt auch hier der Satz:

Nichts ist beständig – ausser der Wechsel.

Adresse des Autors:
W. Meier, Chef der Verteilanlagen, Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen, 8201 Schaffhausen.

Verbandsmitteilungen

75 Jahre Elektrizitätswerk Schwyz

Am 26. Mai 1971 fand in Schwyz, im einzigartigen Raum des Bundesbriefarchivs, die Generalversammlung und Jubiläumsfeier «75 Jahre EWS» statt.

Der Präsident des Verwaltungsrates, Herr Dr. E. Zihlmann, konnte zahlreiche Behördevertreter, Gäste und Aktionäre begrüssen und gedachte in seiner gehaltvollen Festansprache, die von Vorträgen des Instrumental-Trios Brunnen umrahmt war, zunächst den Gründern des EWS, die den Mut hatten, die Wasserkonzession des Bezirkes Schwyz und der Gemeinde Muotathal zu erwerben und zu deren Nutzen eine Unternehmung ins Leben zu rufen. Bereits im Jahre 1896 wurde mit dem Bau des Kraftwerkes Wernisberg begonnen, dessen 4 Maschinen zusammen 1800 PS leisteten. 1897 konnte erstmals elektrische Energie erzeugt und abgegeben werden. Ende 1897 waren bereits 7 Motoren mit zusammen 62 PS, 3018 Lampen und 47 Bogenlampen mit einem Anschlusswert von 540 kW angeschlossen. Zur Beschaffung weiterer Energie wurde in den Jahren 1909 und 1910 eine Dieselmotorenanlage von 750 PS installiert. Da