

# Planung von Mittelspannungsnetzen unter Verwendung von raumsparenden Transformatorenstationen

Autor(en): **Schläpfer, A.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **57 (1966)**

Heft 4

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916574>

## **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.

# Planung von Mittelspannungsnetzen unter Verwendung von raumsparenden Transformatorenstationen

von A. Schläpfer, Solothurn

DK 621.316.11 : 621.311.426 - 181.4

## A. Allgemeines

Eine gute Planung der Nieder- und Mittelspannungsnetze, somit auch die Festlegung der Transformatorenstationsstandorte ist die Voraussetzung einer wirtschaftlichen Verteilung. Leider lassen sich die optimalen Standorte der Transformatorenstationen nicht immer verwirklichen, sei es, dass wegen des zeitlichen Ablaufes der Entwicklung oder aus praktischen Gründen der Standort anders gewählt werden muss. Die steigende Energiedichte und die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf Anlagekosten und Verluste lassen es jedoch nicht zu, dass Netzstationen an beliebigen Punkten in das Verteilnetz einspeisen.

In den letzten 10 bis 15 Jahren haben sich viele Städte mit ihrer Agglomeration, ja auch vorwiegend ländliche Gegenden so schnell entwickelt, dass die Versorgungsunternehmen der Erschliessung kaum folgen konnten. Diese Probleme in Bezug auf Planung und Ausbau müssen deshalb grundsätzlich neu überdacht werden.

Dabei sind zu berücksichtigen die hohen Landpreise, steigende Baukosten und Löhne, sowie der Umstand, dass qualifiziertes Montagepersonal nur beschränkt vorhanden ist.

## B. Planung

Als Grundlage der Planung neuer Mittelspannungsnetze dienen die Regional- und Ortsplanungen. Diese Planungen halten im allgemeinen die Endüberbauung in einer entsprechenden Region oder einem entsprechenden Baugebiet fest, wobei die Zonen für Industrie, Wohnen, Verkehr, Schulen usw. festgelegt werden. Wie alle Planungen werden diese auf Grund veränderter Verhältnisse neu angepasst, so dass

auch der Ausbau der Infrastruktur laufend geändert werden muss. Über die Ausnützungsziffern können die Elektrizitätswerke den spezifischen Leistungsbedarf pro Einheit Landfläche (z. B. kW/km<sup>2</sup> und kVA/km<sup>2</sup>), sofern es sich um Wohnbau handelt, festlegen. Die Bestimmung des Energiebedarfs für Industriezonen ist für grossräumige Gebiete mittels Erfahrungswerten möglich. Diese Resultate geben im allgemeinen jedoch nur die Unterlagen für die Planung in den Spannungsebenen von 50 kV an aufwärts. Die Vorausbestimmung des Energiebedarfs für die Mittelspannungs- oder Niederspannungsnetze jedoch ist mit genügender Sicherheit bis in alle Details nicht möglich, so dass die Versorgung von Fall zu Fall abgeklärt werden muss.

Was nun den EW (und z. B. auch Wasserversorgungen) besondere Schwierigkeiten macht, ist der Faktor Zeit. Wohl kennt man die Endüberbauung oder den Zweck der Zone; nicht festgelegt jedoch ist in den meisten Fällen der zeitliche Ablauf der Überbauung. Natürlich können vorerst Provisorien mit Freileitungen und Stangentransformatorenstationen gebaut werden, doch werden damit die Probleme nur zeitlich verschoben. Auch Fragen der Durchleitungsrechte stellen sich, die Leistungsfähigkeit der Anlagen und die Betriebssicherheit sind reduziert. Die Sekundärleitungen werden meistens von Anfang an verkabelt, so dass bei der Erstellung der definitiven Transformatorenstation Anpassungen notwendig werden.

## C. Kostenfragen

Die steigenden Zinssätze, die Kapitalknappheit und hohen Baukosten und Landpreise haben ganz allgemein zu sehr hohen Erschliessungskosten geführt. Die sich abzeichnende schlechtere Ausnützung der Anlagen wegen sinkendem Nachtenergieverbrauchs reduzieren die spezifischen Einnahmen der energieliefernden Werke weiter.

Die Kostenentwicklung für eine freistehende konventionelle Transformatorenstation 16000/380 V und 2 × 630 kVA Transformatorenleistung zeigt folgendes Bild:

	1957	1964
	%	%
<i>1. Baulicher Teil</i>		
Maurerarbeiten	100	193
Zimmerarbeiten	100	158
Spenglerarbeiten	100	123
Dachdeckerarbeiten	100	102
Schlosserarbeiten	100 <sup>1)</sup>	97 <sup>2)</sup>
Malerarbeiten	100	175
Total baulicher Teil	100	166
<i>2. Elektrischer Teil</i>		
Schaltanlage 16 kV	100	116
Transformatoren	100	115 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Einzelanfertigung.

<sup>2)</sup> Serienanfertigung.

<sup>3)</sup> Ausführung gemäss Leitsätzen des SEV, Publikation 4009.



Fig. 1

Compact-Transformatorenstation «Grederstrasse 1», 400 kVA, Reihe 20 kV

	1957	1964
3. Kabelgräben	0/0	0/0
Kabelgraben in Wiese		
100×50 cm	100	260
In Strasse	100	240
Regielöhne Maurer	100	210

Selbstverständlich sind diese Vergleiche nicht absolut repräsentativ, sie sollen auch nur die Grössenordnung zeigen. Die Zahlen beziehen sich auch nur auf den Raum Solothurn.

Zu erwähnen ist, dass auch die Landerwerbsunkosten, Personaldienstbarkeiten und Baurechte in diesen 8 Jahren wesentliche Erhöhungen erfahren haben.

#### D. Raumsparende Transformatorenstationen

Seit einigen Jahren werden durch die Industrie gekapselte Transformatorenstationen angeboten. Die umhüllenden Teile sind aus Metall, Kunststoff oder vorfabrizierten Betonplatten. Die elektrischen Teile sind unter Verwendung konventioneller Schaltgeräte mit teilweisem Ersatz durch Kunststoffe oder Giessharz aufgebaut. Die Abmessung dieser gekapselten Schaltanlagen oder Blockanlagen, wie sie auch genannt werden, sind in den letzten Jahren stark reduziert worden, finden jedoch eine untere Begrenzung in den Konstruktionsmöglichkeiten der eingebauten Apparate. Diese Anlagen werden vorfabriziert und müssen am Aufstellungs-ort noch zusammengesetzt werden.

Die Blockanlagen haben weitgehend Eingang in der Versorgung von Industrien mit elektrischer Energie gefunden. In den allgemeinen Verteilnetzen sind sie jedoch weniger verwendet worden, vor allem weil sie grundsätzlich einen ähnlichen Platzbedarf wie konventionelle gemauerte Transformatorenstationen benötigen. Auch können Fragen des Landschaftschutzes und des Unterhaltes eine Rolle spielen.

Angeregt durch ausländische Erfahrungen hat sich die AEK, Gesellschaft des Aare- und Emmentals, Solothurn, anfangs 1964 entschlossen, für ihr Mittelspannungsnetz 16 kV den Einsatz von Compact-Transformatorenstationen vorläufig ausländischer Herkunft zu prüfen. Über ein im Aufbau begriffenes Wohngebiet wurden Vergleichsrechnungen und Projekte erstellt, die in Abschnitt E beschrieben sind. Bevor jedoch auf die Vergleichsrechnung und die Projekte eingetreten wird, sei zuerst die zur Verwendung kommende Compact-Transformatorenstation beschrieben (Fig. 1).

Die Compact-Transformatorenstation (Reihe 20 kV VDE) ist eine raumsparende, betriebsfertige Transformatorenkleinstation.

Sie weist folgende Dimensionen auf:

Länge	:	2,50 m
Höhe über Boden	:	1,52 m
Breite	:	1,27 m
Gewicht mit		
Transformator		
400 kVA	:	2900 kg



Fig. 2  
Hochspannungs-Schaltschrank

von links nach rechts die Schalteinheiten: «Ein», «Trennstellung» und «geschwenkt». Die Schalteinheit rechts ist mit Hochleistungs-Sicherungen ausgerüstet.

Sie wird fertig montiert angeliefert und auf ein kleines Fundament versetzt. Die Verwendung der Transformatorenstation ist für die Mittelspannungskabelnetze vorgesehen, und sie besteht aus folgenden wesentlichen Bausteinen:

- Hochspannungsschaltschrank
- Transformatorenteil
- Niederspannungsschaltschrank
- Fundamentkonstruktion mit Ölauffangbehälter
- Abdeckhaube und Seitenbleche

#### 1. Hochspannungsschaltschrank

Im Hochspannungsschaltschrank sind drei Schalt-Einheiten Reihe 20 kV, Nennstrom 400 A, eingebaut.

Um das Volumen der Hochspannungsschaltanlage extrem verkleinern zu können, mussten die eingesetzten Lastschalter grundsätzlich neu entwickelt werden. Das Prinzip der 3poligen Schaltung mit nebeneinanderliegenden Phasen wurde beibehalten, da sie betriebstechnische (Anschluss) und physikalische Vorteile bieten (Fig. 2).

Die Schalter können wahlweise mit oder ohne Hochleistungssicherungen (auch schweizerischer Herkunft) eingebaut werden und entsprechen der Reihe 20 S VDE 0111.

Durch die Verwendung der Einschiebetechnik, verbunden mit einem Schwenksystem, sind Sicherungswchsel und Betriebskontrollen für das Personal ungefährlich und gut durchzuführen. Die Einschiebetechnik gestattet auch das Herstellen einer Trennstrecke im Sinne der Starkstromvorschriften. Automatisch wirkende, geerdete Abdeckungen verhindern das Berühren spannungsführender Teile bei geschwenkten oder ausgebauten Schaltern.

Für die Prüfung auf Spannungsfreiheit und die Erdung stehen Zusatzgeräte zur Verfügung, die gegenüber den

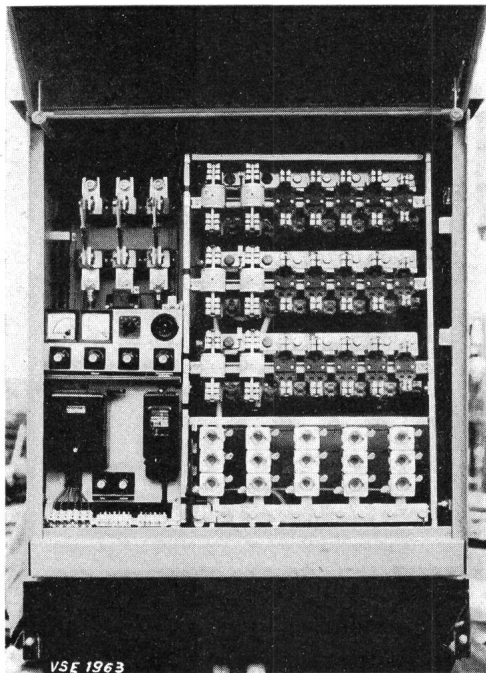


Fig. 3  
Niederspannungs-Schaltschrank

links oben Speisung vom Transformator, darunter Trenner, Instrumente, Empfänger und Schütze; rechts 6 Abgänge ( $2 \times 600 + 4 \times 400$  A +  $1 \times 250$  A für Strassenbeleuchtung), darunter Sicherungen für Strassenbeleuchtung.

Schaltern gegen Fehlbedienungen verriegelt sind. Die voll-isolierte Sammelschiene, von der zu jeder Schalteinheit ein Teilstück vorhanden ist, wird mittels Kupplungen verbunden.

Die wesentlichen technischen Daten der Schalteinheiten sind:

Spannungsreihe 10 oder 20 kV (Prüfspannung 40 bzw. 50 kV, 50 Hz, 1 min).

Sammelschienenblock: Nennstrom 400 A  
Thermischer Grenzstrom 20 kA  
1 sec  
Dynamischer Grenzstrom 35 kA  
SW

Kabelanschlussblock: Anschluss bis  $3 \times 185$  mm<sup>2</sup>  
Kabelquerschnitt

Schalteinheit: Nennstrom 400 A  
Thermische Festigkeit 14 kA  
1 sec  
Dynamische Festigkeit 35 kA  
SW  
Max. Ausschaltvermögen:  
400 A bei  $\cos\phi$  0,7  
35 A bei  $\cos\phi$  0,1 ind.  
25 A bei  $\cos\phi$  0,1 kap.

## 2. Transformatorenteil

Der Transformator befindet sich zwischen Hoch- und Niederspannungsschrank über einer Ölauffangwanne. An der Hochspannungsklemme sind die Polyäthylenkabel

zum Transformatorenschalter direkt angeschlossen. Anzapf-schalter, Ölschauglas und ein speziell konstruiertes Expansionsgefäß vervollständigen die ganze Ausrüstung (Fig. 4).

## 3. Niederspannungsschaltschrank

Hier sind sämtliche für die Niederspannungsverteilung notwendigen Apparate eingebaut wie Trenner, Stromwandler, Ampère- und Voltmeter, Sicherungsuntersätze, Zähler, Empfänger und Schütze. Der Ausbau richtet sich nach den Bedürfnissen des entsprechenden Elektrizitätswerkes und ist unter Berücksichtigung der reduzierten Platzverhältnisse anpassungsfähig (Fig. 3).

## 4. Fundamentkonstruktion und Abdeckungen

Eine mit Kabelstützen versehene Fundamentkonstruktion wird direkt auf das Fundament aufgesetzt und verbindet Fundament und Oberteil der Transformatorenstation. Sie enthält den Raum der Hochspannungskabel, die Ölauffangwanne und die Zuführung für Sekundärkabel. Die Abdeckungen der Transformatorenstation sind seitlich wegnehmbar, und die Haube kann abgehoben werden.

## E. Vergleich der Anlagekosten Grederhof Bellach SO

Das Gebiet des Grederhofs in der Gemeinde Bellach wird als Wohnsiedlung überbaut. Die Gemeinde besitzt einen rechtsgültigen «speziellen Bebauungsplan». Damit werden die Gebäudeumrisse der Wohnbauten, die Platzierung des Schulhauses und des Kindergartens und die Fixierung der Ladenzentren mit Restaurant und Freizeitgestaltung festgehalten. Die Überbauung wird im Endausbau etwa 1200

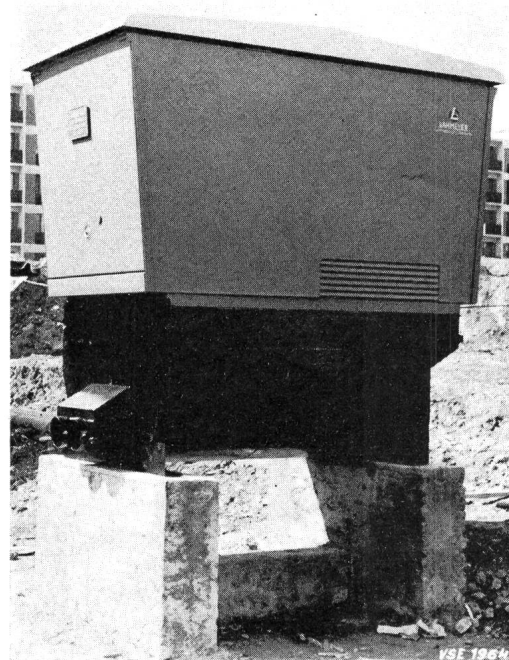


Fig. 4

### Compact-Transformatorenstation

Montage auf Fundament, Fundamentkonstruktion (schwarz) mit Kabeleinführungsstützen links und Abdeckungen.

Wohnungen mit 3000 bis 4000 Einwohnern umfassen (Fig. 5).

Der Leistungsbedarf für die ganze Wohnsiedlung wurde auf Grund von Messungen im Verteilgebiet der AEK und für die UNIPEDE mit einem Spitzenwert von 1,5 kVA pro Wohnung gleichzeitig auftretender Belastung, für die übrigen Bauten mit total 200 kVA bestimmt. Die Gesamtbelastung erreicht also etwa 2000 kVA.

Für die ganze Überbauung wurden nun 2 Projekte ausgearbeitet:

Projekt A: Mit 2 konventionellen Transformatorstationen

Projekt B: Mit einer konventionellen Transformatorstation und drei Compact-Transformatorstationen.

Die Leistungsfähigkeit beider Projekte ist mit Ausnahme der Schutzeinrichtungen annähernd gleich. Eingeschlossen in die Vergleichsrechnung sind Landerwerb, Transformatorstationen voll ausgebaut mit Einrichtungen für die Strassenbeleuchtung und das Sekundärnetz bis und mit Hausanschlusskasten, jedoch ohne Hochspannungskabel, da diese für beide Projekte gleich geführt sind.

Zu den technischen Auslegungen der Vergleichsprojekte sind noch folgende Bemerkungen zu machen:

Projekt A: (Fig. 6)

Das Gebiet wird durch zwei Transformatorstationen zu je  $2 \times 630$  kVA-Transformatorleistung versorgt. Die Stationen haben Platz für vier 16 kV-Leitungsfelder, wo-

Kostenvergleich (Basis 1964/65)

	Projekt A Fr.	Projekt B Fr.
<b>1. Transformatorstationen</b>		
Landerwerb, Dienstbarkeiten	50 000.—	28 000.—
Baulicher Teil	110 000.—	56 000.—
Elektromech. Teil inkl. Transformatoren	158 000.—	214 000.—
<b>Totalkosten</b>	<b>318 000.—</b>	<b>298 000.—</b>
<b>2. Niederspannungsnetz</b>		
Baulicher Teil (Kabelgraben, Fundamente)	51 000.—	24 000.—
Elektromech. Teil (Kabinen, Kabel)	219 000.—	126 000.—
	270 000.—	150 000.—
<b>Totalkosten 1+2</b>	<b>588 000.—</b>	<b>448 000.—</b>
In %	100	76
Transformatorleistung in kVA	2 520	2 460
<b>3. Montageaufwand in h (in den Kosten unter 1 und 2 enthalten)</b>		
Transformatorstationen	700	400
Niederspannungsnetz	3 300	2 450
	4 000	2 850
In %	100	71

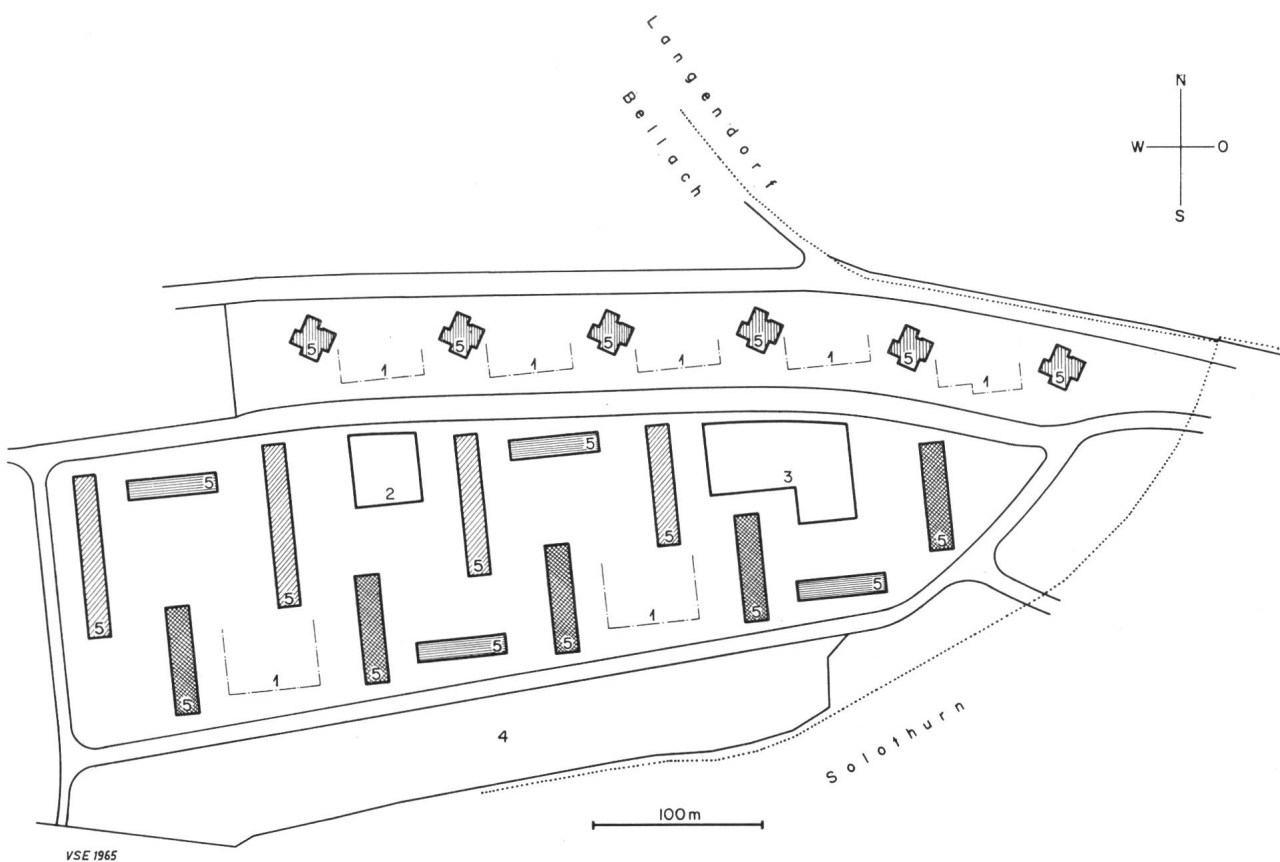


Fig. 5  
Überbauungsplan Grederhof Bellach (SO)

- 1 Garagen (unterirdisch)
- 2 Kindergarten
- 3 Ladenzentrum, Freizeit, Restaurant
- 4 Schulzentrum
- 5 Wohnbauten, verschiedene Anzahl Geschosse (2 bis 15)

bei aber nur die zwei benötigten ausgebaut sind. Die Transformatoren sind durch Hochleistungssicherungen und Leistungstrenner geschützt, die abgehenden 16 kV-Felder mit Leistungsschaltern ausgerüstet.

Die Sekundärkabel sind in Kabelverteilkabinen zusammengeführt, von wo aus auch die einzelnen Objekte angeschlossen sind. Das Sekundärnetz ist grundsätzlich vermascht, d. h. in Schwachlastzeiten kann unter Inkaufnahme grösserer Verluste eine Transformatoreinheit ausser Betrieb genommen werden. Der Versorgungsbe-  
reich pro Transformatorenstation beträgt ca. 250 bis 300 m.

Projekt B: (Fig. 7)

Das Gebiet wird durch eine konventionelle Transformatorenstation zu  $2 \times 630$  kVA (wie in Projekt A) und 3 Compact-Transformatorenstationen zu 400 kVA Transformatorenleistung erschlossen.

In der Compact-Transformatorenstation ist kein Kurzschluss-Schutz eingebaut, die Schutzstrecke umfasst also alle 3 Transformatorenstationen.

Das Sekundärnetz ist unter Vermeidung von Kabelverteilkabinen eingebaut. Jeder grössere Wohnblock oder die Hochhäuser sind direkt mit den Transformatorenstationen verbunden. Das Sekundärnetz ist nicht vermascht. In Einzelfällen, wo sich eine direkte Zuleitung nicht lohnt, sind die Wohnbauten geschlauft. Alle Sekundärkabel ha-

ben Kunststoffisolation. Das Versorgungsgebiet der Compact-Transformatorenstation ist auf 100 bis 200 m reduziert.

Auf Grund oben aufgeführter Resultate wurde Ende 1964 der Entschluss gefasst, die Erschliessung gemäss Projekt B durchzuführen. Im April 1965 kam die erste Compact-Transformatorenstation in Betrieb (Grederstrasse 1).

**F. Bau und Betrieb**

Die Station wurde in einem Zeitpunkt in Betrieb genommen, als sie auch noch die Speisung der Bauinstallationen übernehmen konnte. Der Baubehörde wurde das Vorhaben mit einer Anzeige mitgeteilt, Rücksicht auf Baulinien musste keine genommen werden.

Die Station wurde mit einem Baurecht gemäss ZGB 779 am idealen Standort plaziert und konnte kurzzeitig unter Spannung gesetzt werden.

Die Frage des Anschlusses der Hochspannungskabel benötigte Studien und Versuche, da die Anschlussklemmen an den Hochspannungsschalteneinheiten nur etwas über 100 mm Distanz aufweisen. Die gewählte Lösung ist in Fig. 8 ersichtlich und besteht im wesentlichen aus einer Übergangsmuffe Papierisolation/Polyaethylenisolation, die direkt im Einführungsstutzen der Fundamentkonstruktion befestigt ist. Bei Verwendung von Dreibleimantelkabeln kann dort die Aufteilungsmuffe montiert werden, währenddem die Endver-

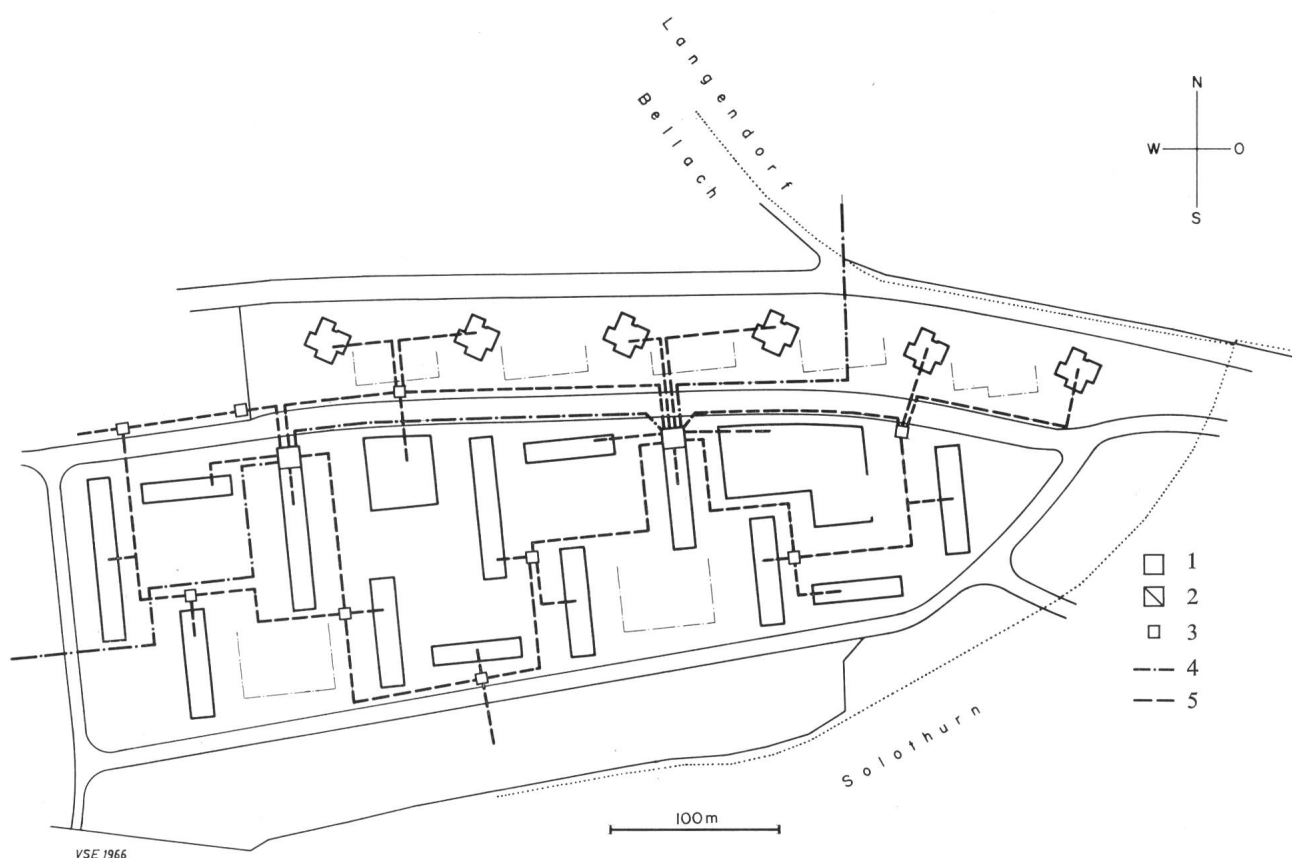


Fig. 6  
Überbauung Grederhof Bellach (SO): Projekt A

- |   |                        |
|---|------------------------|
| 1 Konventionelle Transformatorenstation | 4 Hochspannungskabel   |
| 2 Compact-Transformatorenstation        | 5 Niederspannungskabel |
| 3 Kabelverteilkabine                    |                        |

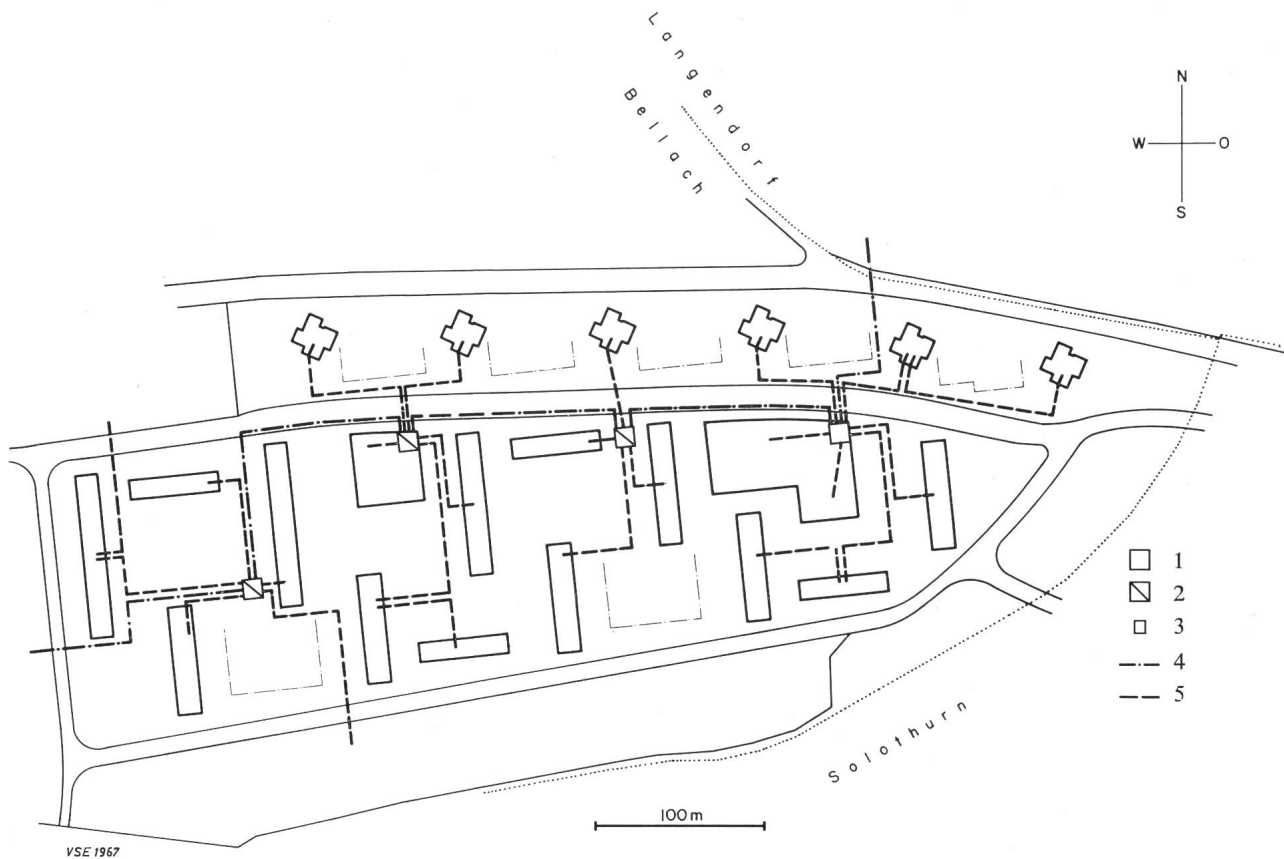


Fig. 7  
**Überbauung Grederhof Bellach (SO): Projekt B**  
 (Bezeichnungen wie Fig. 6)

schlüsse der einzelnen Phasen unter die Schalteinheiten zu liegen kämen. Der Durchmesser der Abschlüsse darf jedoch 70 mm nicht überschreiten.

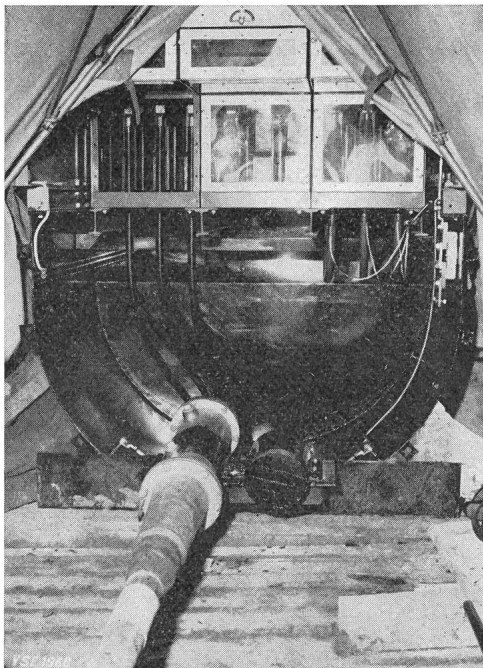


Fig. 8  
**Compact-Transformatorstation**

Anschluss des Hochspannungsbleikabels, der Übergangsmuffe und des Polyäthylenkabels bis an die Klemmen einer Schalteinheit sind sichtbar; das zweite Feld ist noch Reserve.

Die Erfahrungen nach knapp einjähriger Betriebszeit sind gut. Selbstverständlich kann die kurze Betriebsdauer keine endgültige Beurteilung zulassen.

Wir sind jedoch überzeugt, dass die kompakten Transformatorstationen neben den konventionellen Transformatorstationen vermehrt zum Einsatz kommen und dazu beitragen werden, die Wirtschaftlichkeit der Verteilanlagen der Elektrizitätswerke zu verbessern.

Es versteht sich von selbst, dass auch hier die Entwicklung weiter fortschreiten wird, und dass vielleicht in einigen Jahren Lösungen auch durch die schweizerische Industrie angeboten werden, die noch vermehrte Vorteile bieten.

Es ist auch möglich, dass in absehbarer Zeit die spezifische Belastung pro Wohnungseinheit wesentlich gestiegen sein wird, z. B. wenn Nachtspeicheröfen mit hohen Anschlusswerten Wärme erzeugen werden. Die spezifischen Belastungen werden dann das Mehrfache der heutigen betragen und das Mittelspannungsnetz wird teilweise die Rolle des heutigen Niederspannungsnetzes übernehmen müssen.

Für die Transformierung sollen dann kompakte, kleine und billige Transformatorstationen eingesetzt werden können, um eine wirtschaftliche Verteilung zu ermöglichen. Auch wird aus Mangel an qualifiziertem Montagepersonal die heutige Methode der Einzelmontage in den Transformatorstationen überholt sein, und es ist vorstellbar, dass Stationen auf dem Markt sein werden, die fast «steckbar» sind.

**Adresse des Autors:**

A. Schläpfer, Chef der Betriebsabteilung in der Gesellschaft des Aare- und Emmentenkantons, Westbahnhofstrasse 3, 4500 Solothurn.