

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 76 (1958)
Heft: 47

Artikel: Der Neubau der Maschinenfabrik Oerlikon zum Bau von
Grosstransformatoren: Pläne und Bauleitung: Debrunner & Blankart,
Architekten ...; Ingenieurarbeiten: Henauer & Lee, Ingenieure, Zürich

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-64083>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

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

Der Neubau der Maschinenfabrik Oerlikon zum Bau von Grosstransformatoren

Pläne und Bauleitung: Debrunner & Blankart, Architekten, Inhaber: A. Debrunner, M. Farner, W. Grunder.

Ingenieurarbeiten: Henauer & Lee, Ingenieure, Zürich

DK 725.4:621.314

1. Teil. Die architektonische Gestaltung

Nachdem vor einigen Jahren das bestehende Areal der Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) auf der Ostseite als Folge der Konzentration eines nachbarlichen Betriebes in einen Neubau wesentlich vergrössert werden konnte, ergaben sich für den Generalplan der MFO neue Möglichkeiten, die sich sowohl für die Entlastung und den Ausbau des Betriebs wie auch für die bauliche Entwicklung günstig auswirken werden.

Im Sinne einer betrieblichen Entlastung von bestehenden Werkstätten und um den ständig sich vergrössernden Objekten und zunehmenden Qualitätsanforderungen zu entsprechen, wurde beschlossen, von dem auf dem erweiterten Areal projektierten Transformatoren-Fabrikationskomplex eine erste Bauetappe zu erstellen, die eine Montagehalle, ein Versuchslokal, das Hochspannungslaboratorium und ein Maschinenhaus umfassen sollte. Der Projektierung dieses ersten Bauabschnittes gingen umfangreiche Studien über das noch nicht erschlossene Grundstück voraus. Wegen der extremen Lage mussten die Führung der Industriekanäle für die Werkleitungen und die Verlängerung der Gleisanlage im Rahmen des Vollausbaus dieses Komplexes festgelegt werden. Besonders der neue Gleisanschluss beanspruchte sehr viel Zeit und viele Verhandlungen mit den Behörden, da er in das städtische Industriegleis mündet und somit im Zusammenhang mit der projektierten Verbreiterung der Binzmühlestrasse gelöst werden musste. Der Industriekanal mit den Abzweigpunkten wurde, soweit es möglich war, hinsichtlich Grösse und Lage für den späteren Vollausbau auf dem neuen Areal erstellt. Gewisse Abschnitte mussten aber mit Rücksicht auf noch bestehende Bauten mit vorfabrizierten Fernleitungskanälen ausgeführt werden, die in späteren Etappen wieder verlegt werden können. Für den Transport der in diesen Werkstätten fabrizierten schweren Werkstücke war auch eine neue Werkstrasse für grosse Lasten zu erstellen.

Im Bereiche des neuen Gebäudekomplexes ergaben die vorgenommenen Schlüsselbohrungen und Rammsondierungen ausserordentlich schlechte Verhältnisse beim Baugrund, der bis in grosse Tiefen aus Schlemmsand und mehr oder weniger tragfähigen Lehmschichten besteht. Die durch die grossen Krane von 2×120 t bedingten grossen Säulenlasten konnten nur durch Pfähle aufgenommen werden, die unter den Einzelfundamenten in Längen von 6–8 m nach System Franki erstellt wurden. Stellenweise war der lehmige Baugrund aber so kompakt gelagert, dass auf Pfähle verzichtet werden konnte zugunsten massiver Platten, die die Lasten auf zunehmenden vermögen.

Die Bodensondierungen ergaben auch eine sehr unterschiedliche Lage des Grundwasserspiegels, so dass die Wasseralterhaltung verschiedener tiefliegender Fundamentabschnitte erst mit dem Baufortschritt angeordnet werden konnte. Die beiden Abschnitte für die Grube der Trocknungsanlage und die Maschinenfundamente wurden nach dem bewährten System «Wellpoint» entwässert.

Da der während der Bauzeit festgestellte mittlere Grundwasserstand knapp im Bereich der unterkellerten Partien lag, wurde auch im Hinblick auf die hohen Kosten auf eine Grundwasserisolation verzichtet und ein bei früheren Bauten mit Erfolg verwendetes Sickerrohrsystem mit Pumpen für extreme Grundwasserstände gewählt. Zudem mussten die Generatorfundamente zur Vermeidung von Schwingungsübertragungen von den anschliessenden Fundamenten vollständig getrennt werden und durften beim Betrieb der Generatoren nicht im Grundwasser stehen, so dass in diesem Bereich eine periodische Senkung des Grundwasserspiegels mit Sickerleitungen auf jeden Fall notwendig war.

Bei der Erstellung des Generalplanes wurde von Anfang an ein Einheitsraster von $6,00 \times 6,00$ m für alle Gebäudeteile festgelegt, da umfassende Berechnungen ergeben hatten, dass ein Säulenabstand von 6 m sowohl für Beton wie für Stahl an der wirtschaftlichen Grenze liegt und Hallenbreiten von 12, 18 und 24 m konstruktiv und betrieblich gute Werte ergaben.

Das Raumprogramm umfasste die folgenden Gebäudekomplexe:

1. Montagehalle mit Versuchslokal	24×78 m, Höhe 19 m
2. Anbau	6×78 m, Höhe 7 m
3. Hochspannungslabor	18×30 m, Höhe 22 m
4. Maschinenhaus	18×18 m, Höhe 10 m

Die prinzipielle Lage der Hallen, der Betriebsablauf und die Lage der einzelnen Abteilungen wurden vom Werkstattstudienbureau der Bauherrschaft im Sinne der Generalplanung festgelegt, so dass die Freiheiten des Architekten für die kubische Gestaltung der neuen Anlage auf ein Minimum beschränkt waren und sich seine Aufgaben zur Hauptsache auf die Wahl von Konstruktion, Material und damit einer möglichst rationellen, von jedem Luxus freien Ausführung konzentrierten.

Massgebend für das Konstruktionsprinzip und die Wahl zwischen Beton und Stahl war die grosse Halle mit 24 m Breite und die darin enthaltenen Kranbahnen für zwei Laufkranne für je 120 t. Ausser den Wirtschaftlichkeitsberechnungen wirkten sich vor allem die kurze Bauzeit und die einfachen Erweiterungsmöglichkeiten durch seitlichen Anbau oder Verlängerung der Halle zugunsten des Stahles aus. Die Mischbauweise, d. h. Säulen und Kranbahnen in Stahl und die Dachbinder in vorgespanntem Beton, fiel ausser Betracht, da die Montage mit vorfabrizierten Elementen auf 19 m Höhe auf grosse Schwierigkeiten stiess und die Herstellung der Betonbinder an Ort und Stelle mit einem Lehrgerüst die parallel laufenden Bauarbeiten (Kanäle, Hallenboden usw.) verhindert hätte. Die Lösung mit einem fahrbaren Lehrgerüst auf den Kranbahnen war mit zu hohen Kosten verbunden.

Auch der Vergleich zwischen einer Shedkonstruktion und der Ausführung mit Satteloberlichtern fiel zugunsten der Letztgenannten aus, da die Ost-West-Richtung der Halle durch den Generalplan gegeben war und die Erfahrungen gezeigt hatten, dass Hallen über 15 m Höhe für Grossmontage mit Satteloberlichtern eine bessere Lichtverteilung ergaben und die Wärmeeinwirkung im Sommer nicht unangenehm empfunden wird. Die Flachdachausbildung mit Satteloberlichtern ist zudem kostenmässig günstiger und hat den Vorteil, dass damit die von den Arbeitern sehr angenehm empfundene Strahlungsheizung mit Heisswasser von 180° C zwischen den Oberlichtern einfach angebracht werden kann.

Bei der Bauausführung musste auf äusserste Wirtschaftlichkeit Bedacht genommen werden. Aus diesem Grunde wurde der Hallenanbau, in dem Hilfsanlagen, Garderoben und Bureaux untergebracht sind, in Eisenbeton erstellt. Bis auf eine provisorische Stirnseite sind sämtliche Fassadenwände mit gelben Rohbausteinen von 12 bzw. 25 cm Stärke ausgeführt und innen zum Teil verputzt oder nur mit Dispersion gestrichen. Die seitlichen Fensterflächen wurden auf ein Minimum beschränkt und bis auf die durch das Fabrikgesetz bestimmten Klarglaspartien zur Senkung der Heizkosten und der Einsparung von Sonnenstoren mit Termoluxglas verglast. Für die Bodenbeläge in den Hallen wurden Famabeläge und in den Kellerräumlichkeiten Hartbetonüberzüge gewählt.

Eine wesentliche Erschwernis im Baufortschritt bildete die Forderung, dass im Bereich des Versuchslokals, des Hochspannungslaboratoriums und der unterirdischen Schienenkanäle sämtliche Kreuzungspunkte der Armierung geschweisst

werden und für das umfangreiche Erdungssystem Erdungsrohre gerammt werden mussten.

Im Hochspannungslaboratorium und Maschinenhaus waren zusätzliche Schallprobleme zu lösen. Auf der einen Seite musste der Lärm bei Versuchen gegen die Außenwelt mit stärkeren Mauern und Kastenfenstern abgedämmt werden. Anderseits war im Hochspannungslabor eine Schalldämpfung für Schallmessungen an den Transformatoren notwendig, die durch eine einfache Konstruktion mit rohen Durisolplatten auf einem Holzrost an den Wänden erreicht werden konnte.

Bei der künstlichen Beleuchtung wurden die früher in hohen Hallen verwendeten Breit- und Tiefstrahler mit Glühlampen durch die neuen HPL-Lampen ersetzt, die ein angenehmes weisses und nicht mehr wie früher bläuliches Licht ergeben. Über den Werkplätzen wurden in etwa 6 m Höhe noch zusätzlich doppelflammige Fluoreszenzleuchten angebracht.

Wie bei den in den letzten Jahren in diesem Werk erstellten Neubauten wurde auch hier der Farbgebung der Hallen, Maschinen und Versuchsapparate vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Sämtliche Tragelemente (Säulen und Kranbahnen) sind in einem hellen Grün, die Sockelpartien in einem dunklen Grün und die Binder und Deckenpartien in Weiss gehalten. Die starren Normen, sämtliche Krane gelb zu streichen, wurden teils aus Sicherheitsgründen, teils aus ästhetischen Überlegungen verlassen und somit der 120-t-Laufkran gelb und die gleichlaufenden Konsolkrane als Kontrast blau gestrichen. Die früher in schwarzen und braunen Tönen ausgeführten Geräte im Hochspannungslabor erfuhren auch eine Auffrischung mit Blau-Gelb-Grün-Kombinationen und dominieren in dem aus Versuchsgründen eher dunkel wirkenden Laboratorium.

Die zur Verfügung gestellte Bauzeit war ausserordentlich knapp bemessen und stellte an alle am Bau Beteiligten grosse Anforderungen. Für die hauptsächlichsten Abschnitte ergaben sich folgende Daten, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Ausführungen der einzelnen Trakte zeitlich gestaffelt waren und vor allem auf rasche Fertigstellung der Montagehalle gedrängt wurde.

1. Pfählung: 2 Monate,
2. Erdarbeiten einschliesslich Wasserhaltung: 4 Monate,
3. Fundamente und Kellerpartien: 6 Monate,
4. Stahlkonstruktion: 4 Monate.

Der ganze Komplex wurde in einer totalen Bauzeit einschliesslich Pfählung und Erschliessungsarbeiten von rd. 17 Monaten erstellt, wobei aber die Montagehalle nach 14 Monaten bezogen werden konnte. Wenn in Betracht gezogen wird, dass noch während der Bauzeit laufende Probleme der Ausführung, insbesondere im Bereich der Versuchsabteilungen, abgeklärt und gelöst werden mussten und vor allem die Armierungsschweissungen beträchtliche Verzögerungen nach sich zogen, kann die erreichte Bauzeit als ausserordentlich kurz bezeichnet werden.

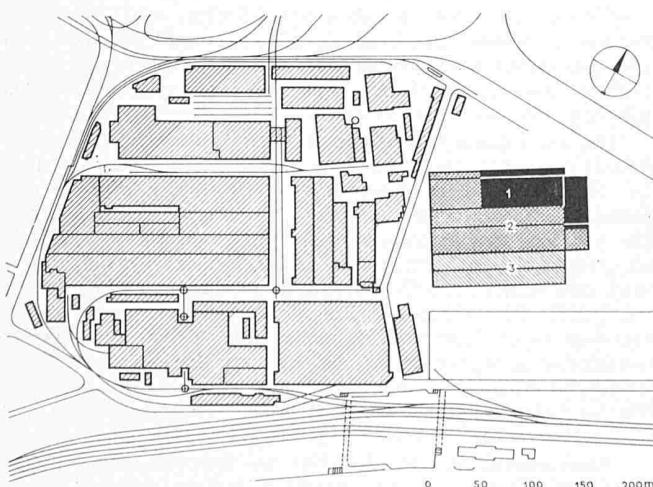


Bild 1. Lageplan 1:7000. 1 Erste Bauetappe, 2 Zweite Bauetappe, 3 Dritte Bauetappe

Auch wenn die vielfachen Wünsche der Bauherrschaft erfüllt werden konnten, hat die Abwicklung dieser Bauaufgabe, wie bei der Mehrzahl anderer Industrien, deutlich gezeigt, dass mit den Bauarbeiten nicht zu früh begonnen werden darf. Es ist verständlich, dass auch das Bauen mit der immer schnelleren Entwicklung bei den Fabrikationsprozessen und den damit notwendigen betrieblichen Umstellungen Schritt halten muss. Es ist aber falsch, wenn vor allem die Planung unter der allgemeinen Zeitknappheit zu leiden hat und dann bei der Ausführung oft kostenmässig und terminlich ungünstige Improvisationen notwendig werden.

Auch beim Neubau der Transformatorenfabrik musste der grösste Teil der Ausführungspläne während der Bauausführung erstellt werden, da bei Baubeginn noch lange nicht alle Probleme abgeklärt waren. Dass trotz diesen Tatsachen die verlangten Termine eingehalten werden konnten, war nur möglich, weil die Bauherrschaft über ein gut organisiertes Werkstattstudienbureau verfügt. An wöchentlich stattgefundenen Bausitzungen wurden die laufenden Probleme von der betrieblichen Seite mit den Architekten und Ingenieuren besprochen, bereinigt und in den vorgeschriebenen Terminplan eingeordnet. Auch für die Baukosten mussten periodische Kontrollen vorgenommen werden, die je nach dem Stand der jeweiligen Bilanz der Mehr- und Minderkosten den Maßstab für den Standard des weiteren Ausbaues gaben. Dank der straffen Ordnung auf diesem Sektor konnte der Kostenvorschlag trotz beträchtlicher Mehrleistungen eingehalten werden.

2. Teil. Betriebliche Gesichtspunkte und technische Einrichtungen

Von Gotthard Egg, dipl. El.-Ing., Zürich

1. Die Lage auf dem Gebiete des Grosstransformatorenbaues

Der ständig steigende Bedarf an elektrischer Energie erfordert den Bau neuer Kraftwerke und Uebertragungsanlagen. Einen wesentlichen Bestandteil solcher Anlagen bilden die Transformatoren, so dass auch der Bedarf an ihnen zunimmt. Aber nicht nur die Zahl der zu bauenden Transformatoren wächst, sondern auch die Grösse der Einheiten, die Höhe der Spannungen sowie die Anforderungen bezüglich Betriebssicherheit und Wirkungsgrad sind gestiegen. Das ergibt sich zwangsläufig aus der Forderung, grössere Energiemengen auf weitere Entfernung zu übertragen. Die höhere Spannung muss gewählt werden, weil Uebertragungssysteme mit niedrigerer Spannung mehrere parallele Linien benötigen, so dass sie unwirtschaftlich werden und außerdem so viel Raum beanspruchen, dass ihre Leistungsfähigkeit durch geographische Engpässe, wie z.B. enge Täler, beträchtlich beschränkt würde. Anderseits ist aber der Aufwand für den Bau von Leistungstransformatoren für die hohe Uebertragungsspannung von 380 kV so gross, dass er sich nur bei grossen Einheiten von mehr als 50 MVA lohnt. Bei ihnen ist die Verlustleistung pro Transformatoren so erheblich, dass sich ihre Verringerung aufdrängt; und zwar nicht nur, um die Rentabilität der Anlage zu erhöhen, sondern auch um die Erwärmung der Transformatoren in zulässigen Grenzen halten zu können.

Dieser Entwicklung müssen auch die Fabrikations- und Forschungseinrichtungen für Grosstransformatoren entsprechen. Das gilt vor allem für die Bearbeitungsmaschinen, Montageeinrichtungen, Hebe- und Transportmittel, aber auch für die Einrichtungen zur Aufbereitung der Isolermittel, zum Trocknen der Transformatoren und die Anlagen für Prüfung und Forschung. Solche kostspielige Einrichtungen rufen ihrerseits wieder einem grossen Umsatz, damit sie amortisiert werden können.

2. Gesichtspunkte für die Anordnung der Fabrikations- und Versuchsanlagen

Bisher wurden in der Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) Transformatoren und Generatoren im gleichen Hallenverband hergestellt. Dabei war es möglich, Belastungsschwankungen in der Fabrikation zwischen diesen beiden Fabrikationszweigen auszugleichen und für die Prüfung der Fabrikate die gleiche Versuchsanlage zu benutzen. Nun trat aber im Laufe der vergangenen Jahre bei Fabrikations-, Montage- und Prüfeinrichtungen sowie bei der Ausbildung des Personals der bei-

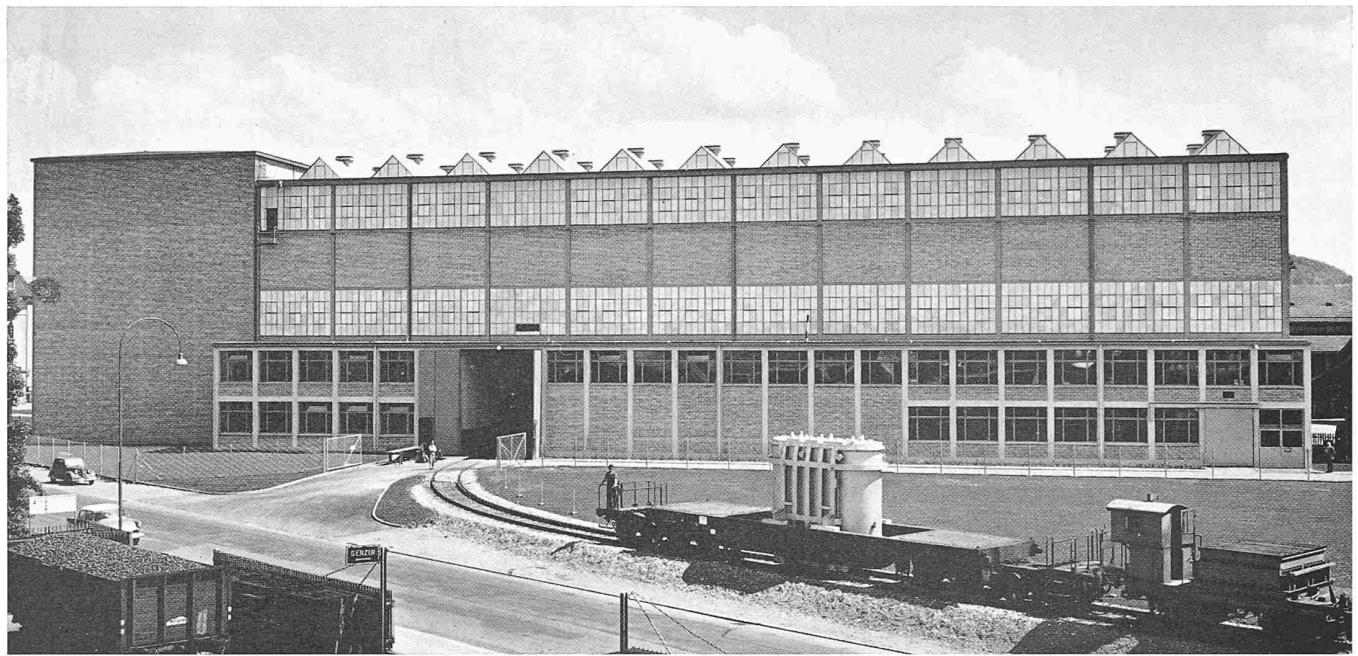


Bild 4. Die Montagehalle für grosse Transformatoren, ganz links das Hochspannungslaboratorium, gesehen von Nordwesten

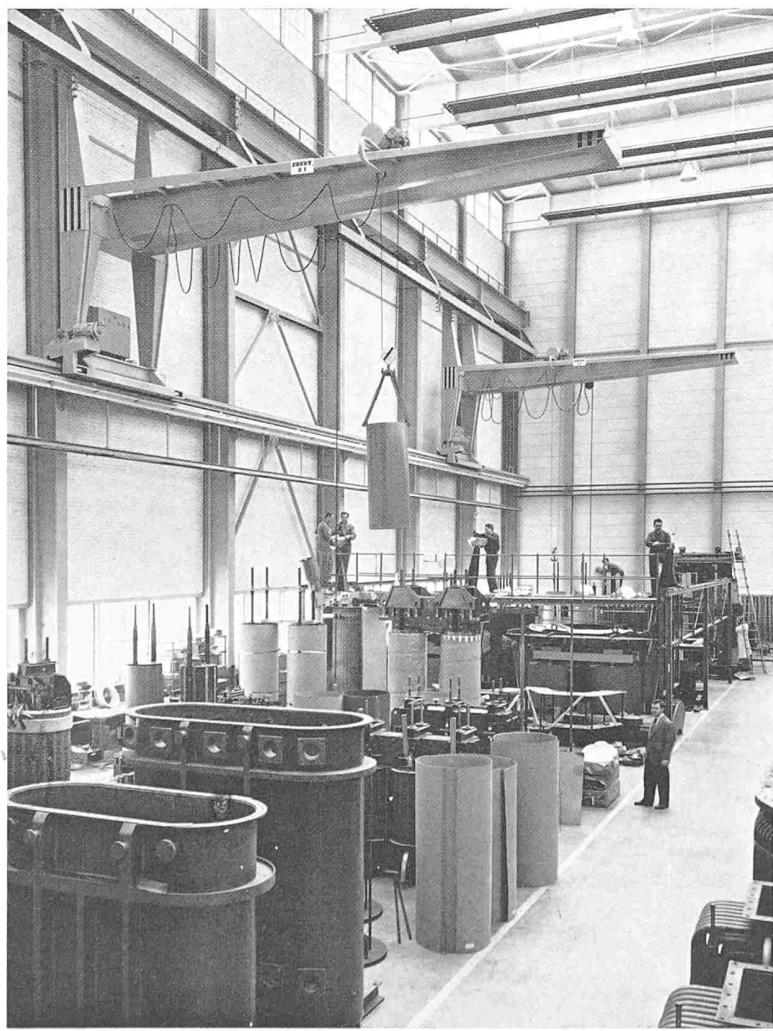


Bild 5. Inneres der Montagehalle

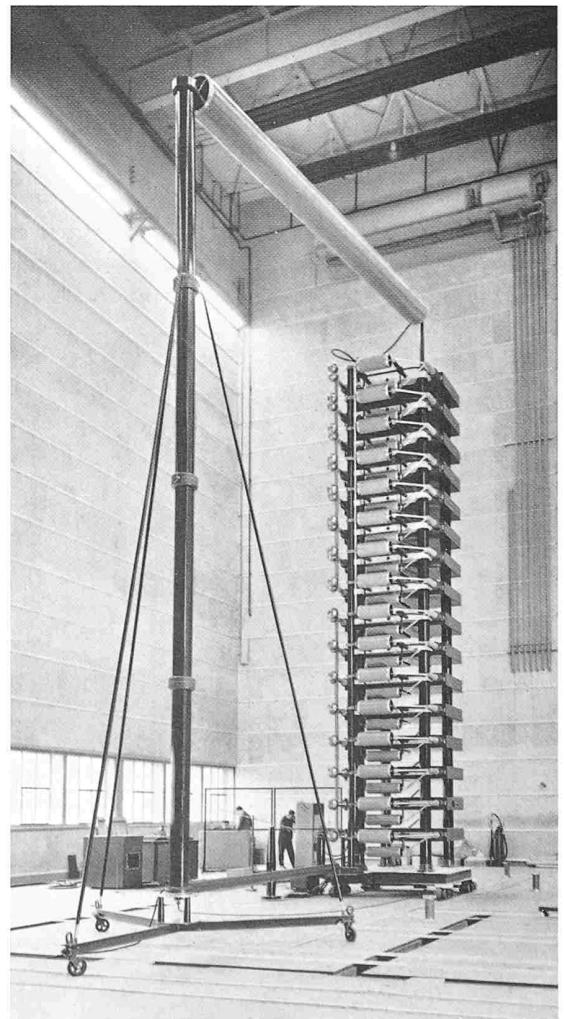


Bild 6. Inneres des Hochspannungslaboratoriums

Bild 2. Die neue Transformatorenfabrik der Maschinenfabrik Oerlikon von Südwesten. Vorn die Montagehalle, hinten rechts das Maschinenhaus

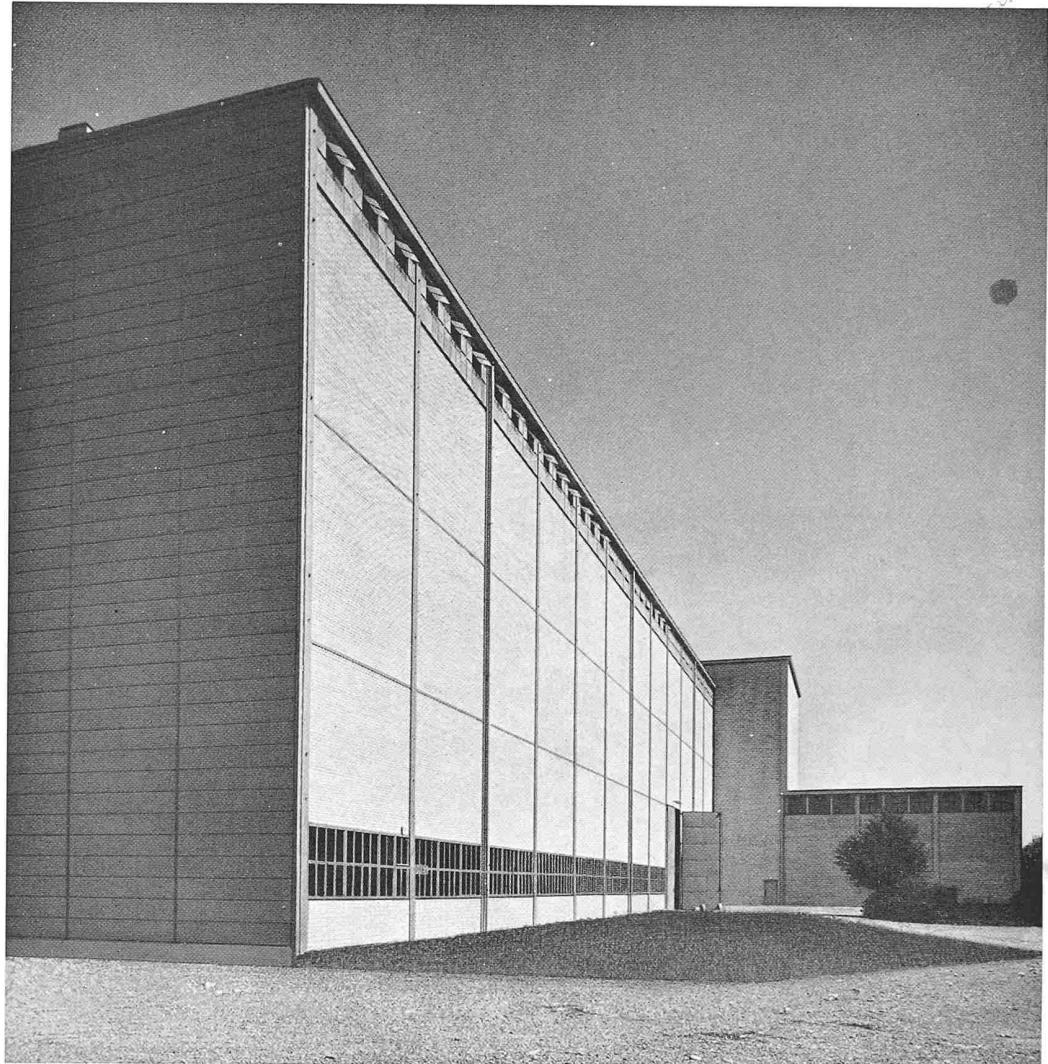
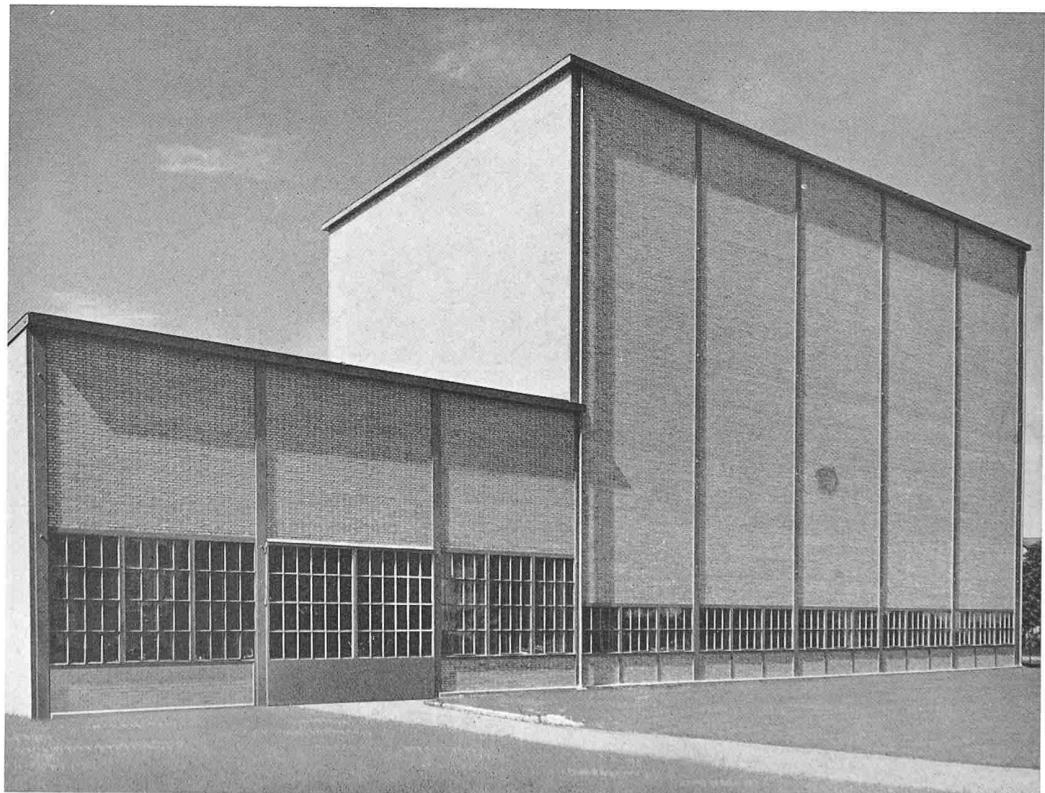


Bild 3. Ansicht des Maschinenhauses (links) und des Hochspannungslaboratoriums (rechts) von Nordosten



den Fabrikationsabteilungen eine so starke Spezialisierung ein, dass der Vorteil einer solchen Anordnung heute nur noch gering ist. Ein Ausbau der bestehenden Produktionsanlage würde grosse Schwierigkeiten mit sich bringen, da während der Umbauperiode weder die laufende Produktion der Generatoren noch jene der Transformatoren beeinträchtigt werden darf. Diese Überlegungen haben zum Bau der vom bisherigen Hallenverband unabhängigen neuen Transformatorenfabrik mit Prüf- und Versuchsanlagen geführt, deren architektonische und bautechnische Probleme hier bereits besprochen worden sind.

Die gegenseitige Lage der Montagehalle und der Versuchsabteilung wird durch zwei Bedingungen festgelegt:

a) Beide müssen unmittelbar nebeneinander liegen und so angeordnet sein, dass die Transporte in beiden Richtungen leicht ausführbar sind, weil an den Transformatoren in den verschiedenen Stadien ihrer Herstellung, also mehrmals Werkproben durchgeführt werden müssen.

b) Das Versuchsfeld, in dem diese Proben und auch andere Versuche vorgenommen werden, muss eindeutig vom Montageraum getrennt sein, um Unfälle zu vermeiden.

Um diese beiden fast gegensätzlichen Forderungen erfüllen zu können, ist das Versuchsfeld an das Ende der Montagehalle verlegt worden, wo es von allen Kranen der Halle gut erreicht werden kann, während es gleichzeitig durch ein quer verlaufendes Speditionsgeleis und einen Drahtzaun von der Montagehalle abgetrennt ist.

Der ganze Gebäudekomplex dieser neuen Fabrikationsanlage (Bild 1) umfasst im Endausbau fünf nebeneinanderliegende parallele Hallen von 120 m Länge, an die sich ein Seitentrakt anschliesst, und einen Querbau längs der Stirnseite dieser Hallen. In den fünf Längshallen und im Seitentrakt werden die Einzelfabrikation, Sondereinrichtungen und die Montageplätze für den Transformatorenbau untergebracht. Der Querbau und der nordöstliche Teil der nordwestlichen Längshalle ist durch die Versuchsanlage belegt. Die Raumaufteilung der Grossmontagehalle und der Versuchsanlage zeigt Bild 7. *)

3. Beschreibung des bisher ausgeführten Teils der Grossmontagehalle

In der ersten Bauetappe wurde nur der in Bild 1 schwarz angelegte Teil des ganzen Komplexes ausgeführt; er enthält einen Teil der Grossmontagehalle, das Prüffeld, das Hochspannungslaboratorium, einen Teil des Maschinenparks und die Energieverteilanlage.

Von der Grossmontagehalle besteht zunächst nur die Hälfte rechts der mittleren Querstrasse beim Meisterbüro d (Bild 7). In der Mitte der Halle verläuft eine Längsstrasse. Sie trennt die Montageplätze e und h von den ausgedehnten Anlagen für Trocknung und Oelabfüllung g sowie der Materialzurüsterei und Schlosserei f. Hier werden auch die Transformatorenkessel kurz vor dem Einbau der Aktivteile gelagert.

Im Seitentrakt sind alle jene Hilfsbetriebe und Werkstätten untergebracht, welche Unsauberkeit, Staub und Dampf

erzeugen oder Lärm verursachen, wie z. B. Teile der Materialzurüsterei und Schlosserei für die Anpassarbeiten von Leitungs- und Isoliermaterial, die Oelaufbereitungsanlage und die Vakuumpumpenaggregate. Auch die Oeltankanlagen befinden sich dort.

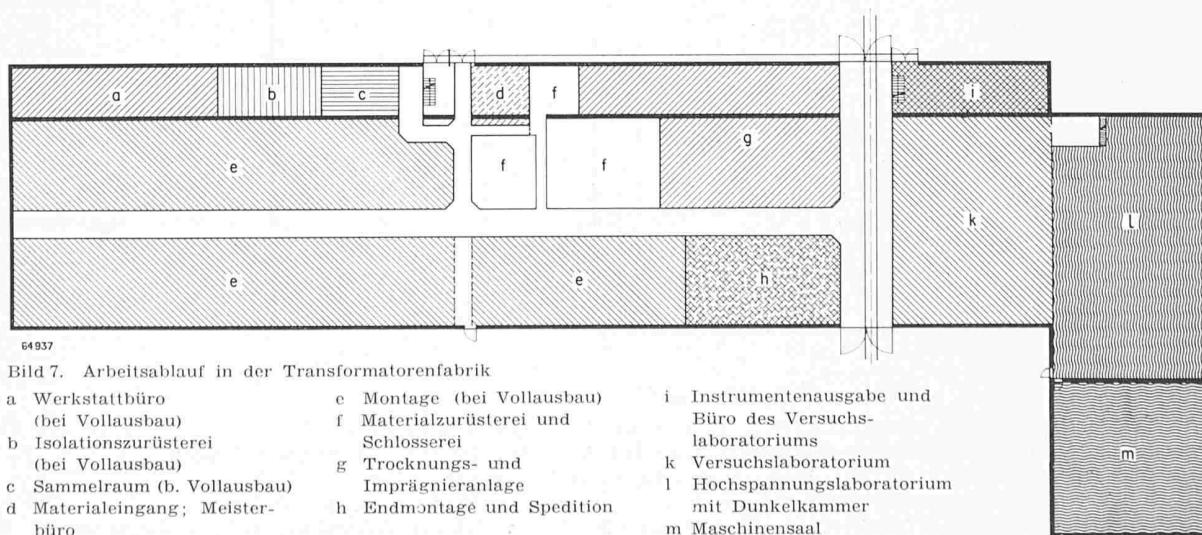
Bei der Montage von Transformatoren muss auf grösste Sauberkeit geachtet und das Eindringen von Staub und Fremdkörpern in den Aktivteil unbedingt vermieden werden. Deshalb wurde als Bodenbelag in der Halle ein harter, glatter Ueberzug gewählt, der regelmässig mittels Staubsaugern und modernen Bodenwaschgeräten gereinigt wird. Bei der Transformatorenmontage werden aus dem gleichen Grunde auch keine Werkzeuge mit Pressluftantrieb verwendet.

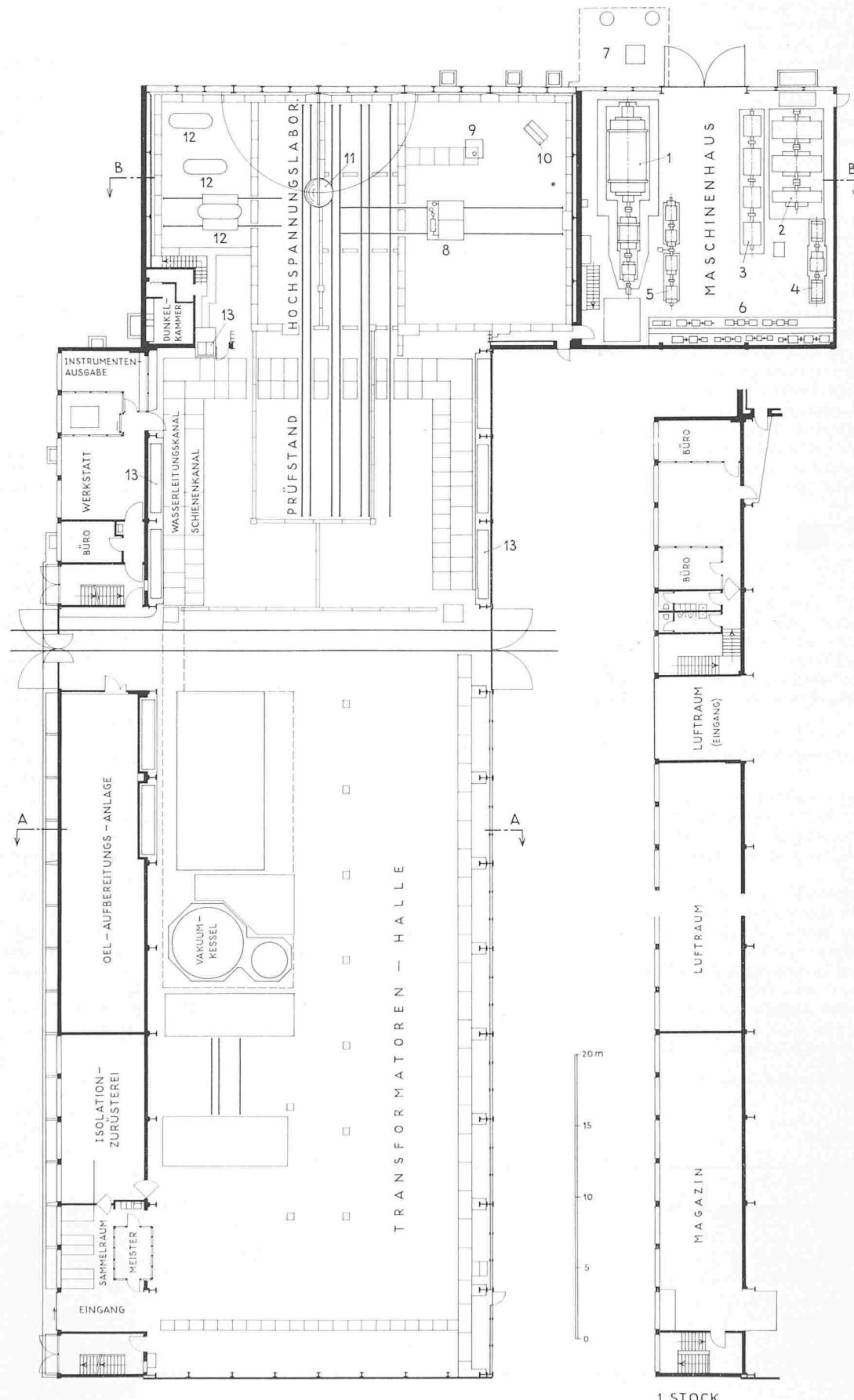
Einstweilen stehen in der Halle ein 120-t-Kran und zwei Konsolkrane mit je 2 t Tragkraft zur Verfügung; im Endausbau wird die Zahl der Krane verdoppelt. Der 120-t-Kran ist mit einer Einhebelsteuerung ausgerüstet, die ein genaues Arbeiten auch bei grössten Lasten gestattet. Die Konsolkrane können bei einer Ausladung von je 10 m das gesamte Areal einer Hallenhälfte überstreichen und sind weitgehend unabhängig vom 120-t-Kran (Bild 10).

Bei der Herstellung von Transformatoren für hohe Uebertragungsspannungen kommt der erstmaligen Trocknung des gesamten Aktivteils vor dem Einbau und der Imprägnierung mit Oel grosse Bedeutung zu. Aus diesem Grunde wurden die Trocknungs- und Evakuierungsanlage sowie die Oelaufbereitungsanlage reichlich bemessen und für die Zukunft ausbaufähig gestaltet. Gegenwärtig stehen einige Trockenöfen sowie ein heizbarer, runder Vakuumkessel von 5 m Durchmesser zur Verfügung. Ein weiterer Vakuumkessel von 11 m l. Länge, 4,1 m l. Breite und 5,2 m l. Höhe ist bereits in Auftrag gegeben und wird in nächster Zeit geliefert. Für die Trocknung und Evakuierung sind Umluftaggregate mit Förderleistungen bis 50 000 m³/h und Vakuumpumpsätze mit Saugleistungen bei 0,1 Torr von 4500 m³/h und 7000 m³/h aufgestellt worden, so dass in den erwähnten Vakuumkesseln Drucke von weniger als 0,1 Torr aufrechterhalten werden können. Die Oelaufbereitungsanlage besteht aus vakuumfesten Filtern, einer Entgasungskolonne, die bei einem Druck von 0,1 Torr eine Durchsatzleistung von 600 bis 1500 l/h aufweist, und den Tanks zur Aufbewahrung des aufbereiteten Oels unter Vakuum. Eine andere Tankanlage dient zur Lagerung der verschiedenen Rohölarten. Die einzelnen Teile dieser Oelaufbereitungs- und Vakuumanlagen sind durch ein weitläufiges System vakuumfester Leitungen miteinander verbunden. Die Oel-Förderpumpen, Schieber und Ventile der Anlage sind z. T. für Fernbedienung eingerichtet, denn die Anlage wird in einem späteren Zeitpunkt halbautomatisch gesteuert.

Die Montageplätze sind mit den modernsten Einrichtungen und Werkzeugen ausgerüstet, so dass sauber, rasch und unfallfrei gearbeitet werden kann. Die Ausrüstung der Montagehalle gestattet heute die Herstellung von Dreiphasentransformatoren mit Leistungen bis 250 MVA und von Einphasentransformatoren bis 200 MVA also für Gruppenleistungen bis 600 MVA.

*) Die Bilder 2 bis 6 befinden sich auf den Tafeln 83/84.





4. Montage und Prüfung von Grosstransformatoren

Die Montage grosser Transformatoren ist sehr arbeitsintensiv, und da sie sich über mehrere Monate erstreckt, hat man alles Interesse daran, allfällige Fehler frühzeitig zu erkennen. An jedem Transformator werden daher in seinen verschiedenen Montagestadien Werkproben durchgeführt. Fällt

das Prüfungsergebnis gut aus, so wird der Transformator für die Weitermontage freigegeben; andernfalls muss zuerst der Fehler behoben werden.

Eine der ersten derartigen Prüfungen wird am fertig montierten aktiven Eisenkörper vorgenommen. Sie gibt Auf-

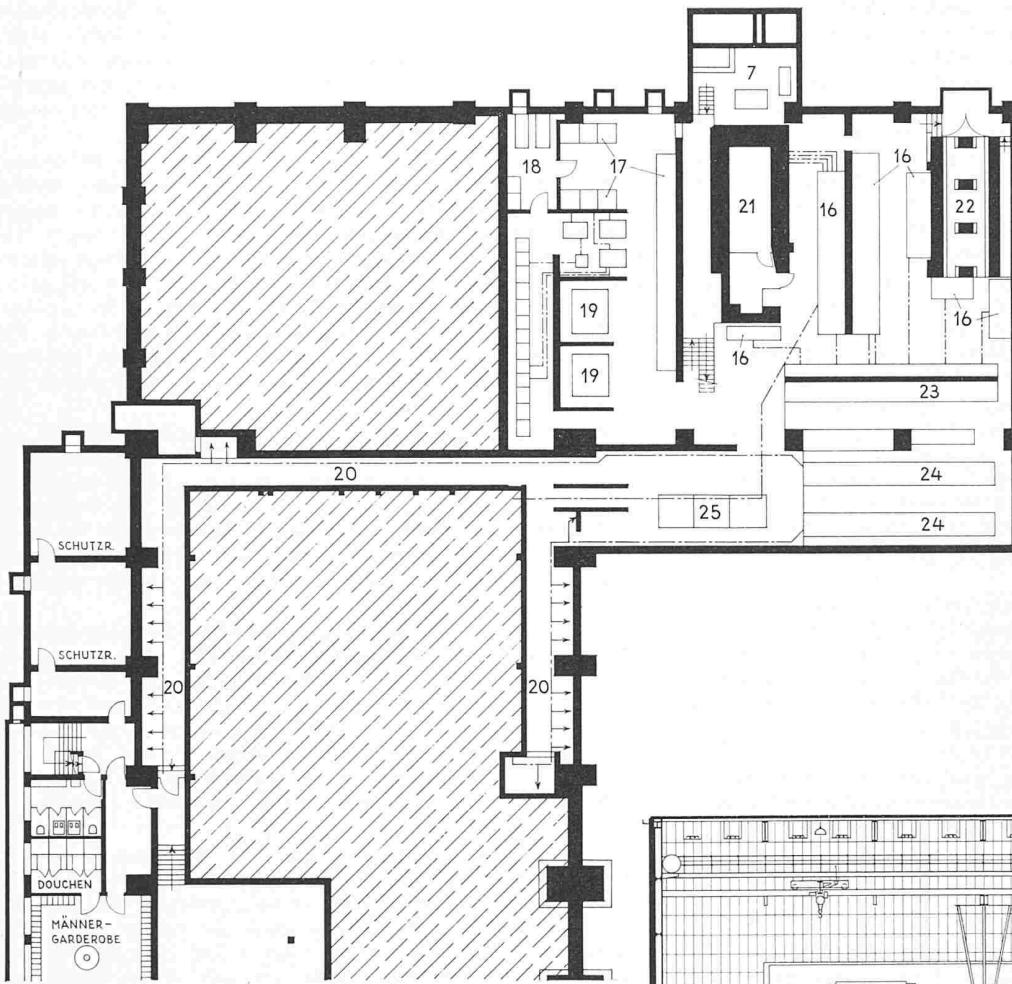
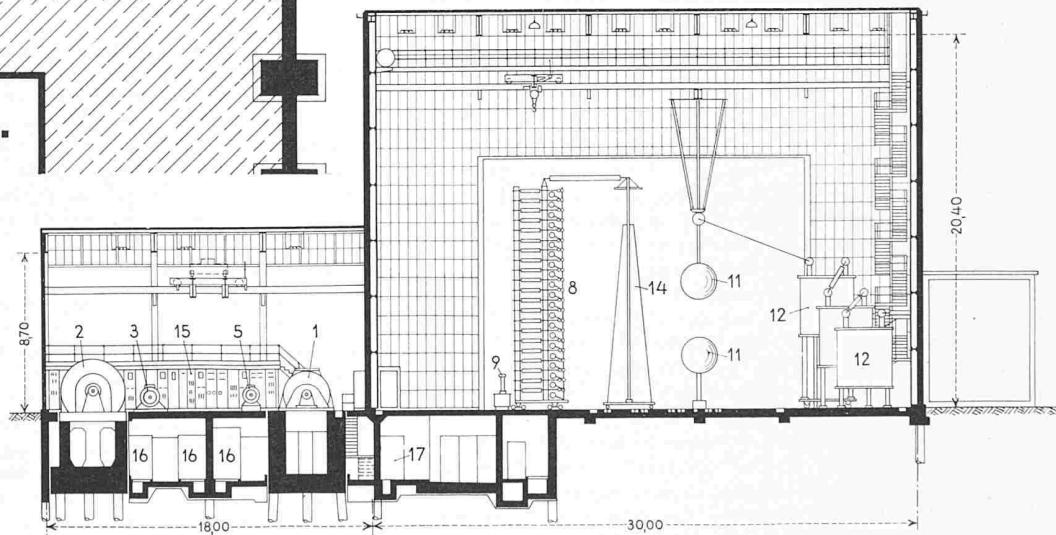


Bild 9. Grundriss Kellergeschoss, 1:400

Bild 11. Querschnitt B-B durch das Hochspannungslaboratorium, 1:400



schluss über die Blechqualität sowie die Güte der Zwischenisolierung und zeigt, ob bei der Montage keine Fehler unterlaufen sind. Für diese Untersuchung wird der Eisenkörper mittels Kran in das Versuchsareal hinüber gehoben. Ist er in Ordnung, so geht er wieder zurück; und es werden die Wicklungen, Isolationsteile, Abstützungen, Schalter und Verbindungsleitungen montiert. Der aktive Teil des Transformators ist hiermit fertiggestellt und wird ohne Kessel und ohne Öl wieder in die Versuchsanstalt gebracht, wo nun an ihm schon alle Prüfungen wie am fertigen Transformator durchgeführt werden können, mit Ausnahme jener, bei denen hohe Spannungen oder hohe Erwärmungen auftreten.

Sind diese Prüfungen befriedigend verlaufen, so beginnt die Trocknung des Aktivteils in der Trocknungsanlage. Alle im Transformatorenbau verwendeten Materialien sind mehr oder weniger hygroskopisch. Da aber die Isolationseigenschaften der festen Isoliermaterialien und auch des Oels mit zunehmendem Wassergehalt abnehmen, muss das Wasser entfernt und sein Wiedereindringen verhindert werden. Hierzu bringt man den aktiven Teil zunächst in den Trockenschrank oder in einen Vakuumkessel und heizt ihn auf eine Temperatur von etwa 80° C auf, wobei ihm gleichzeitig entweder durch Umluft oder durch Ansetzen von Vakuum die Feuchtigkeit weitgehend entzogen wird.

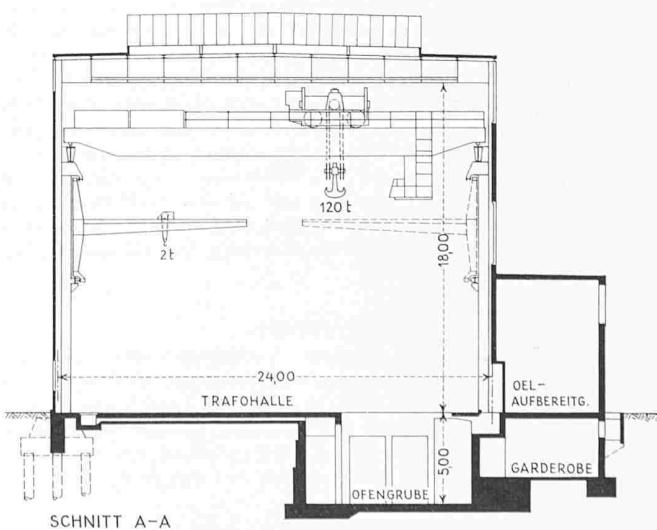


Bild 10. Querschnitt durch die Montagehalle, 1:400

Dann hebt man den heissen aktiven Teil heraus, kontrolliert ihn auf dem Montageplatz nach, spannt alle Pressvorrichtungen nach und baut ihn schliesslich — immer noch in heissem Zustand — in den zugehörigen Transformatorkessel ein. Der so zusammengebaute Transformatork wird nun in den Vakuumkessel gebracht und dort evakuiert. Während man ihn durch besondere Massnahmen auf der erforderlichen Temperatur hält, werden die Dämpfe so weit abgesaugt, bis bei einem Druck im Vakuumkessel von weniger als 0,1 Torr verschiedenartige Messungen erkennen lassen, dass der Feuchtigkeitsgehalt unter 1% (Gewicht) liegt.

Ist dieser Endzustand erreicht, so wird aus der Oelaufbereitungsanlage filtriertes und entgastes Oel, das kein Wasser mehr enthält, unter Vakuum in den heissen Transformatork eingefüllt. Nach Beendigung dieses «Imprägnierprozesses» lässt man die Luft in den Vakuumkessel einströmen und hebt den Transformatork heraus. Bei diesem Vorgehen werden alle Hohlräume des aktiven Teils mit wasserfreiem Oel gefüllt. Ein derart behandelter Aktivteil kann, wenn es später einmal nötig sein sollte, einige Stunden an der Luft bleiben, ohne wieder unzulässig feucht zu werden. Anschliessend werden die Durchführungsisolatoren in den Deckel eingesetzt, das Oel-Expansionsgefäß montiert und aufbereitetes Oel nachgefüllt.

Nach einigen Tagen hat sich das Oel beruhigt, die Temperaturen haben sich ausgeglichen und der Transformatork ist für die abschliessenden Werkproben und für eventuelle Abnahmeverweise bereit. Hierbei werden die bereits bekannten Werkproben wiederholt und nun die Isolationsprüfungen und bei Prototypen auch Dauerlastversuche zur Ermittlung der Erwärmung durchgeführt.

Bei den Isolationsprüfungen setzt man alle Teile, die im Betrieb auf Spannung kommen, gegeneinander und gegenüber dem aktiven Eisen und dem Kessel unter ein Vielfaches der Spannung, die später im Betrieb auftritt. So lassen sich mittels Stossgeneratoren, die Spannungen von einigen Millionen Volt erzeugen können, die Einflüsse von Blitzschlägen nachahmen und auf diese Weise feststellen, ob der Transformatork auch in bezug auf Ueberspannungen betriebssicher ist.

Erwärmungsversuche werden meist folgendermassen durchgeführt: Man schickt durch den sekundärseitig kurzgeschlossenen Transformatork einen so grossen Strom hindurch, dass die in ihm entwickelten Stromwärmeverluste gleich hoch sind wie die Gesamtverluste des Transformatork im Normalbetrieb bei Vollast. Hierbei werden alle Temperaturen kontrolliert, die für die Beurteilung der Belastbarkeit des Transformatork wesentlich sind. Obwohl auch bei grössten Einheiten die Wirkleistung bei solchen Erwärmungsversuchen entsprechend den Verlusten der Transformatoren klein ist (nur etwa 1000 bis 2000 kW), beträgt die Scheinleistung, die aufgebracht werden muss, entsprechend der hohen Nennleistung und Kurzschlussspannung solcher Transformatoren bis zu 45 000 kVA.

Aus diesen wenigen Angaben geht bereits hervor, dass eine Versuchsabteilung für die Durchführung von Werkproben an Transformatoren gut eingerichtet sein muss und dass sie schon durch diese stark in Anspruch genommen ist. Ihr Aufgabenkreis erstreckt sich jedoch über dieses Gebiet der Werkproben hinaus in dasjenige der Forschung und Entwicklung. Obwohl schon aus den Werkproben Unterlagen für die Weiterentwicklung der Transformatoren gewonnen werden, müssen doch die wesentlichen und grundsätzlichen Neuerungen in enger Zusammenarbeit zwischen Konstruktions- und Versuchsabteilung entwickelt werden. Aus diesen Forderungen, die einerseits die Konstruktions- und Fabrikationsabteilungen an die Werkproben und andererseits Forschung und Weiterentwicklung an die Durchführung besonderer Versuche stellen, ist die im folgenden beschriebene Versuchsanlage hervorgegangen.

5. Die Planung der Versuchsanlage

Die Projektierung grosser Versuchsanlagen geht von Grundlagen aus, die sich aus wirtschaftlichen und technischen Erfordernissen ergeben. Da es sich um kapitalintensive Investitionen handelt, muss die Planung solcher Anlagen auf weite Sicht erfolgen, wobei der Extrapolation aus Vergangenheit und Gegenwart in die Zukunft ein weiter Spielraum gelassen ist.

Eine solche Versuchsanlage soll auch noch in zehn oder mehr Jahren den derzeitigen Anforderungen genügen, bzw.

durch Ergänzungen oder Erweiterungen den Bedürfnissen Rechnung tragen können. So muss sie der auf lange Sicht geplanten Produktionskapazität des betreffenden Fabrikationssektors angepasst sein; sie soll aber auch den technischen Anforderungen der Zukunft gerecht werden oder diesen gemäss ausgebaut werden können.

Der Planung liegt das Fabrikationsprogramm für Grosstransformatoren zugrunde. Für alle dort vorgesehenen Typen wurden für sämtliche Prüfungsstadien masstäbliche Lagepläne angefertigt. Weiter hat man auch den Zeitbedarf für die verschiedenen Prüfungen ermittelt. Aus diesen Daten lässt sich eine Tabelle zusammenstellen, die über die jährliche Stückzahl der einzelnen Typen sowie über den gesamten Zeitaufwand und Platzbedarf während eines Jahres für die Untersuchung der aktiven Eisenkörper, für die Prüfung des Aktivteiles ohne Kessel und für die Schlussprüfung im Kessel Aufschluss gibt.

Aus dem Zeitaufwand für sämtliche Versuche konnte ermittelt werden, wieviele Transformatoren durchschnittlich gleichzeitig auf dem Versuchsareal stehen; aus der gesamten Platzbeanspruchung, die in der Aufstellung in Einheiten von Tages-m² erscheint, wurde der Platzbedarf für das Versuchsareal berechnet. Für alle anderen Räume der Versuchsanlage ermittelte man den Platzbedarf auf Grund von Dispositionsplänen (Bild 8).

Eine weitere Untersuchung musste zur Dimensionierung der Energiequellen angestellt werden. Zu diesem Zweck musste vorerst für alle im Fabrikationsprogramm enthaltenen Transformatortypen der Bedarf an Wirkleistung und Scheinleistung für sämtliche Werkprüfungen und Dauerversuche berechnet und in Tabellen zusammengestellt werden. Diese Tabellen geben Aufschluss über die erforderlichen Leistungen der Motoren und Generatoren des zu planenden Maschinenparks.

Über die notwendige Anzahl der Energiequellen verschiedener Leistung gab eine weitere Tabelle Aufschluss, in der die im Fabrikationsprogramm vorgesehenen Transformatoren entsprechend ihrem Leistungsbedarf für die Leerlauf-, Kurzschluss- und Erwärmungsproben in drei Leistungskategorien eingegliedert wurden. Steht für jede dieser Leistungskategorien ein Generator zur Verfügung, so ist im Prüffeld ein reibungsloser Ablauf der Arbeiten möglich.

6. Der Maschinenpark

Dieser besteht aus drei Umformergruppen mit verschiedenen Drehstrom- und Gleichstrommaschinen, welche den drei Leistungskategorien entsprechen, sowie aus zwei Hilfsgruppen und den Erregergruppen. Es können damit gleichzeitig mehrere Messplätze sowohl mit Drehstrom und Wechselstrom (von einstellbarer Spannung und Frequenz) als auch mit Gleichstrom gespeist werden. Die Statorwicklungen der Drehstrom-Generatoren sind für Serie-Parallel- und Stern-Dreieck-Schaltung ausgeführt.

Für die obere Leistungskategorie der Versuche an Transformatoren steht ein Turbogenerator (Bild 12) zur Verfügung, der bei 3000 U/min eine Drehstrom-Dauerleistung von 42,5 MVA bei 50 Hz und einer maximalen Klemmenspannung von 16 kV abgeben kann. Er ist über eine ausrückbare Kupplung mit einer Turbomaschine verbunden, die für 3,7 MVA und 50 Hz bei maximal 6 kV ausgelegt ist und die entweder als Antriebsmotor am Fabriknetz oder als Generator mit einstellbarer Frequenz für die Speisung von Versuchen arbeiten kann. Die dritte Maschine dieser Gruppe ist eine Gleichstrommaschine von 600 kW; sie ist mit der bereits erwähnten 3,7-MVA-Drehstrommaschine starr gekuppelt und wahlweise als Anwurfmotor oder als Haupterregermaschine für den Turbogenerator oder als Gleichstromgenerator für die Speisung von Versuchen verwendbar. Diese ganze Turbogruppe kann mit 1000 bis 3600 U/min laufen, wobei die Drehstromgeneratoren Frequenzen von 16% bis 60 Hz liefern.

Die Schmierung der Gruppe erfolgt durch Drucköl, das aus einem Oeltank den Lagern zufliest. Um sie auch bei Störungen sicherzustellen, sind für die Förderung des Oels in den Tank drei parallel geschaltete Pumpen angeordnet (Bild 16), von denen eine direkt mit der Welle der Turbogruppe gekuppelt ist und die zweite von einem Motor angetrieben wird, der bei Ausfall des Fabriknetzes auf eine Notstromanlage umgeschaltet werden kann. Die dritte Pumpe ist für Handbetrieb eingerichtet. Die Kühlung der beiden Turbo-

generatoren erfolgt über einen Luft-Wasser-Wärmetauscher, der an das Kühlungssystem der Versuchsanlage angeschlossen ist. Unmittelbar vor dem Anlassen der Turbogruppe wird den Hauptlagern Drucköl von 200 atü zugeführt, um die Flüssigkeitsreibung einzuleiten.

Für die mittlere Leistungskategorie der Versuche kann man zur Speisung die 3,7-MVA-Drehstrommaschine der Turbogruppe heranziehen, falls der 42,5-MVA-Turbogenerator nicht anderweitig benötigt wird. Außerdem kann bei Versuchen der mittleren Leistungskategorie die Stromversorgung von einer weiteren langsamlaufenden Maschinengruppe aus erfolgen, deren Generator bei 375 U/min 2,8 MVA und 50 Hz abzugeben vermag (Bild 13). Der Synchronmotor dieser Gruppe vermag 2,7 MVA aus dem Fabriknetz aufzunehmen. Die dritte Einheit dieser langsamlaufenden Maschinengruppe ist eine Gleichstrommaschine, die für eine Leistung von 2,6 MW ausgelegt ist. Diese Gruppe kann entweder synchron am Fabriknetz laufen oder, von der Gleichstrommaschine angetrieben, auch mit variabler Frequenz des Generators von 16% bis 60 Hz arbeiten. Die Frischluft zur Kühlung der beiden Drehstrommaschinen dieser Gruppe wird im Keller des Maschinenhauses angesaugt und als Warmluft wahlweise ins Freie oder zur Heizung in den Keller bzw. in den Maschinensaal ausgestossen.

Eine dritte Maschinengruppe dient der Durchführung von Versuchen der unteren Leistungskategorie. Sie besteht aus zwei Drehstrommaschinen von je 1000 kVA und zwei Gleichstrommaschinen von je 600 kW und ist als Universalgruppe ausgebildet. Je eine Drehstrommaschine und eine Gleichstrommaschine sind zu einer Teilgruppe zusammengefasst, und beide Teilgruppen können durch eine leicht bedienbare Kupplung miteinander verbunden werden. Eine der beiden Drehstrommaschinen kann über eine Anlassdrossel auf das Fabriknetz zugeschaltet und synchronisiert werden. Beide Drehstrommaschinen sind aber völlig gleich gebaut und

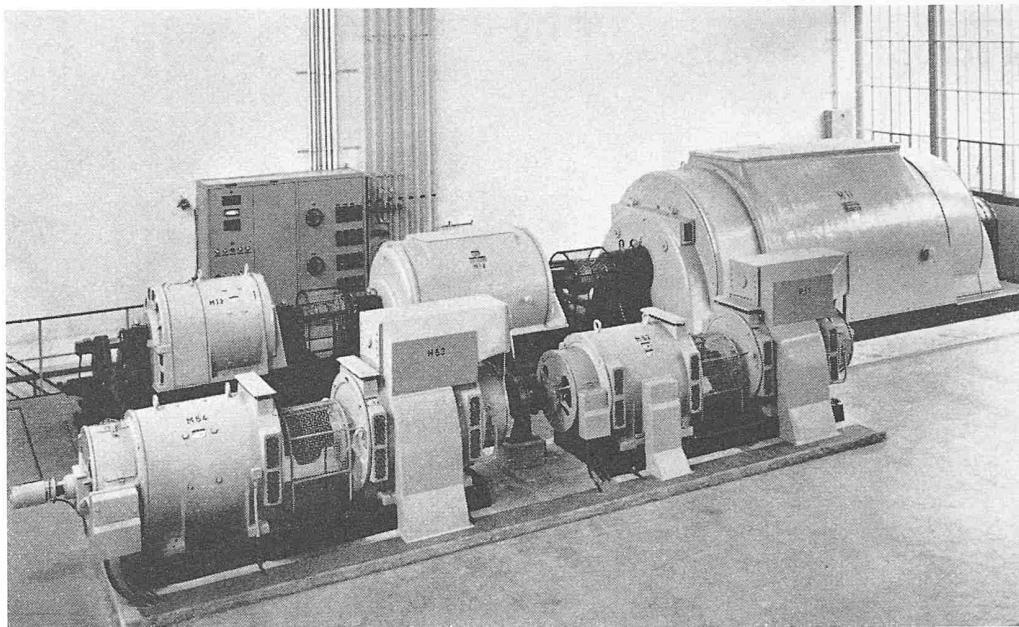


Bild 12. Turbogruppe M₁ von 42,5 MVA (hinten) und Gruppe M₅ (vorn)

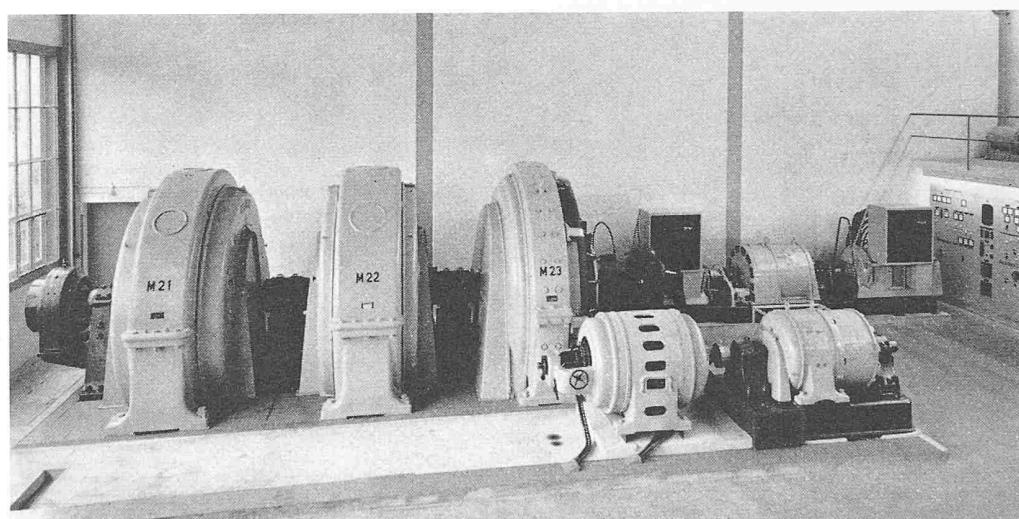


Bild 13. Gruppe M₂ von 2,8 MVA, rechts hinten die Mittelfrequenzgruppe M₄, davor die Gruppe M₃, ganz rechts ein Teil der Steuertafel

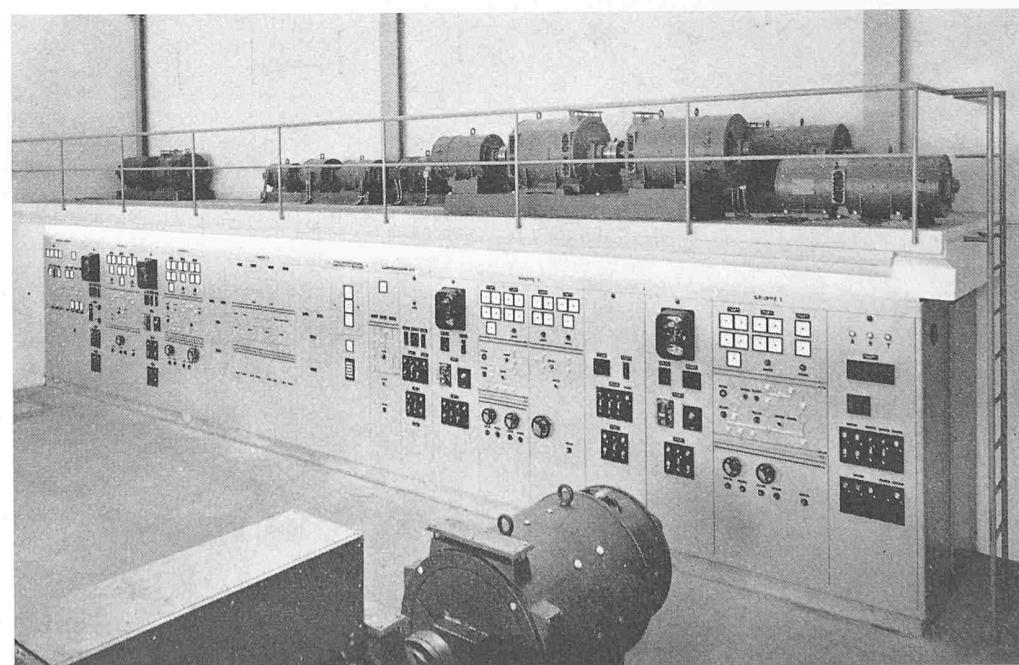


Bild 14. Galerie mit Erregergruppen, darunter die Steuertafel für die Maschinengruppen

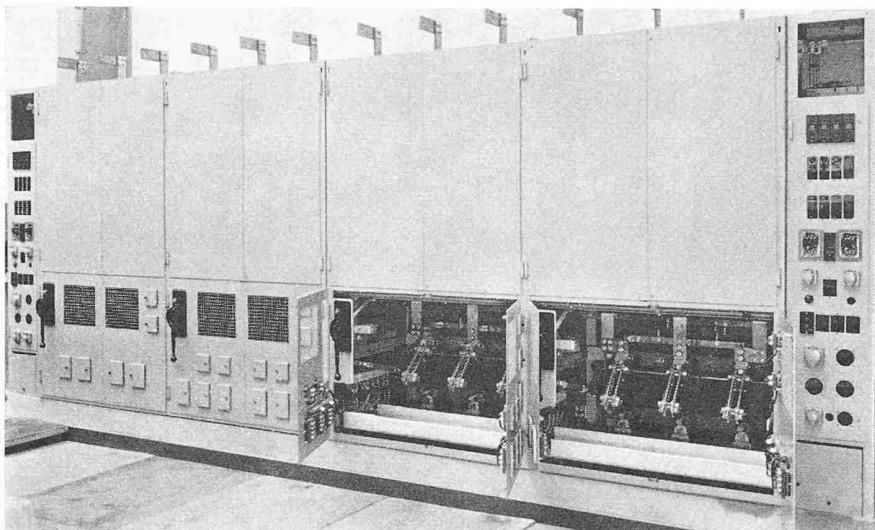


Bild 15 (links). Einer der fünf Anschlussstände, hinter den beiden offenen Türen sind die Trenner sichtbar



Bild 16 (Mitte). Pumpenanlage für die Ölzirkulation

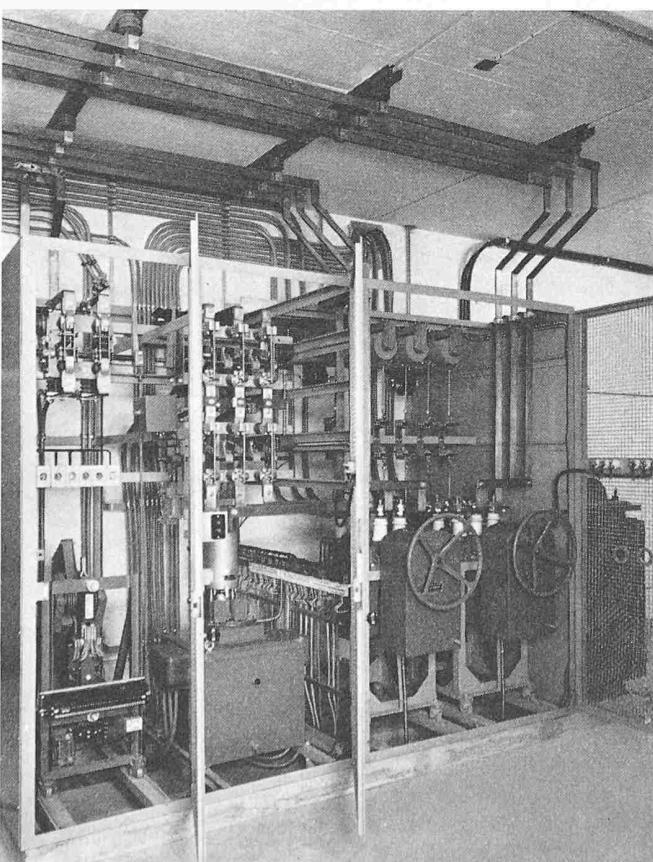


Bild 17 (unten). Ein Gruppenlinienwähler

können auch parallel zueinander als Motoren bzw. als Generatoren laufen, oder die Gruppe kann bei ausgerückter Kupplung als Ward-Leonard-Gruppe benutzt werden, wobei der Generator Frequenzen bis 60 Hz erzeugt. Diese Maschinengruppe kommt bei der nächsten Ausbauetappe zur Aufstellung.

Eine vierte Maschinengruppe dient zur Durchführung von Versuchen bei mittleren Frequenzen bis 400 Hz (Bild 13). Diese Frequenzen kommen z. B. bei Spannungsproben mit selbsterzeugter Spannung zur Anwendung, wie sie an Transformatoren mit abgestufter Isolation üblich sind. Die beiden Drehstromgeneratoren dieser Gruppe leisten bei 3000 U/min je 1040 kVA bei 3000 V und 400 Hz. Sie werden von einer Gleichstrommaschine von 600 kW angetrieben, die genau gleich gebaut ist wie jene der bereits erwähnten Turbogruppe, so dass sich beide gegeneinander auswechseln lassen.

Als eigentliche Anwurfgruppe sowie zur Speisung von Versuchen mit kleinem Leistungsbedarf bis zu 400 kVA ist eine fünfte Maschinengruppe aufgestellt (Bild 12). Sie umfasst vier Einheiten, von denen eine ein Synchron-Induktionsmotor von 480 PS ist. Zwei weitere bestehen aus einander gleichen Drehstromgeneratoren von je 200 kVA; die vierte ist eine Gleichstrommaschine von 500 kW. Soll der Gleichstrommaschine eine grosse Leistung entnommen werden, so schaltet man einen der beiden Drehstromgeneratoren als Motor dem Antriebsmotor parallel. Alle Maschinengruppen sind mit Tachometern und Schleuderschutz versehen. Sämtliche Erregermaschinen und demzufolge auch alle Maschinenspannungen sowie bei Ward-Leonard-Schaltung auch die Drehzahlen der Maschinengruppen sind für Fernregelung eingerichtet.

7. Die Schalt- und Energieverteilungsanlage

Alle Drehstrommaschinen und auch die Fabriknetzeingänge in die Versuchsanlage sind mit fernsteuerbaren Schaltern versehen, die ihrer Kurzschlussleistung angepasst wurden. Die Abschaltung der Gleichstrommaschinen erfolgt durch fernsteuerbare Schnellschalter.

Jeder Maschinengruppe ist im Kellerraum unter dem Maschinensaal ein Schaltschrank zugeordnet (Bild 9). In diesen Schaltschränken sind die Schalteinrichtungen für die Serie-Parallel- und Stern-Dreieck-Schaltung der einzelnen Maschinenwicklungen und für die Kombinationsschaltungen zwischen den Maschinen dieser Gruppe untergebracht (Bild 17). Außerdem enthalten sie die Hauptschalter sowie die erforderlichen Messeinrichtungen. Zur Ausführung von Anlass- oder Ward-Leonard-Schaltungen dienen zwei Sammelschienensysteme, die ebenfalls im Keller des Maschinenhauses verlegt sind. Durch sie lassen sich alle Gleichstrommaschinen der fünf Maschinengruppen mittels fernsteuerbaren Trennern wahlweise miteinander verbinden.

Mit den Einrichtungen der Schaltschränke und der beiden Gleichstrom-Sammelschienensystemen sind innerhalb des Maschinens parkes Teil- und Hilfsschaltungen ausführbar, so dass der eigentliche, weiter unten beschriebene Hauptlinienwähler entlastet ist. Von den Gruppenschaltschränken führen

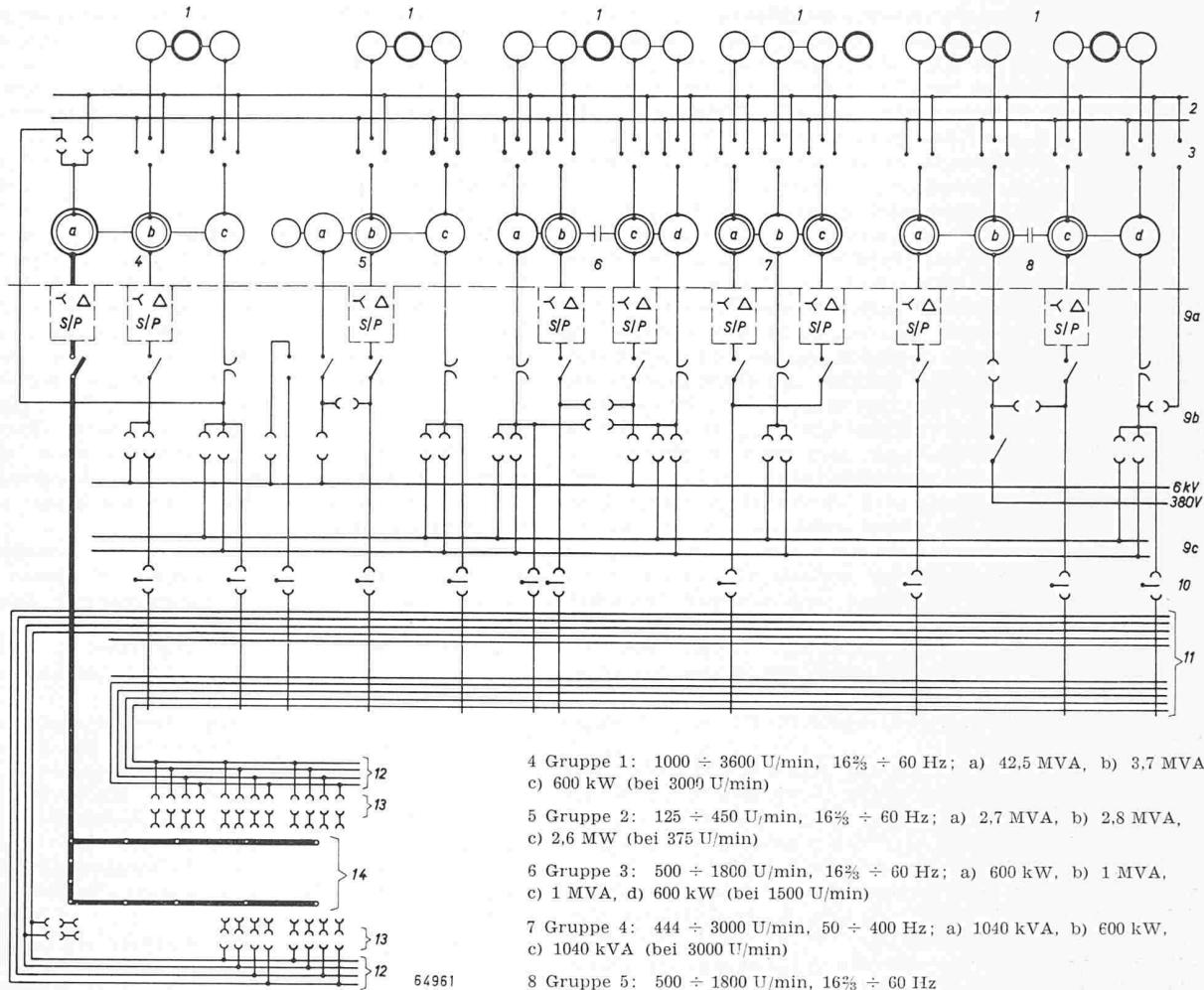


Bild 18. Einpoliges Gesamtschaltschema des Energieverteilsystems

- 1 Erregergruppen
2 Erregersammelschienen
3 Umschaltung zu den Erregermaschinen

4 Gruppe 1: $1000 \div 3600$ U/min, $16\frac{2}{3} \div 60$ Hz; a) 42,5 MVA, b) 3,7 MVA, c) 600 kW (bei 3009 U/min)

5 Gruppe 2: $125 \div 450$ U/min, $16\frac{2}{3} \div 60$ Hz; a) 2,7 MVA, b) 2,8 MVA, c) 2,6 MW (bei 375 U/min)

6 Gruppe 3: $500 \div 1800$ U/min, $16\frac{2}{3} \div 60$ Hz; a) 600 kW, b) 1 MVA, c) 1 MVA, d) 600 kW (bei 1500 U/min)

7 Gruppe 4: $444 \div 3000$ U/min, $50 \div 400$ Hz; a) 1040 kVA, b) 600 kW, c) 1040 kVA (bei 3000 U/min)

8 Gruppe 5: $500 \div 1800$ U/min, $16\frac{2}{3} \div 60$ Hz

- 9a $\prec \Delta$ und Serie-Parallel-Umschaltung
9b Gruppenlinienwähler und Anlassstrenner
9c Schienen für das Anlassen
10 Gruppentrenner
11 Hauptlinienwähler
12 Begehbarer Schienenkanäle
13 Anschlusstände
14 Hochleistungslinie

nur noch verhältnismässig wenig Zuleitungsschienen über ferngesteuerte Gruppentrenner zum Hauptlinienwähler.

Die Anschlussleistung des Maschinenparks der Versuchsanlage beträgt in ihrem gegenwärtigen Ausbau 8 MVA. Für die Speisung aus dem 11-kV-Fabriknetz ist zunächst ein Transfator für 4 MVA und 11/6 kV installiert, der später durch eine weitere Einheit ergänzt werden kann. Alle Erregergruppen sind auf einer Galerie längs einer Wand des Maschinensaals aufgestellt (Bild 14). Der Raum unter dieser Galerie ist durch die aus 22 Feldern bestehende Steuerschalttafel für die Maschinengruppen und die bereits erwähnten Erregersammelschienen belegt.

Ein verhältnismässig grosser Teil des Maschinenraums wurde für den Transport und die Montage der grossen Generatoren freigelassen.

Grosse Bedeutung kommt in einer Versuchsanlage dem Energieverteilsystem zu, da von ihm die Sicherheit gegen Unfälle und das termingerechte Arbeiten weitgehend abhängt (Bild 18). Obwohl es an sich logisch wäre, für alle Generatoren das gleiche Verteilsystem zu benutzen, hat man sich doch entschlossen, für die Zuleitungen vom 42,5-MVA-Turbogenerator zum Versuchsfeld ein getrenntes Hochleistungs-Verteilsystem auszuführen (Bild 19), das vom eigentlichen Hauptverteilsystem vollkommen getrennt ist. Es sind hauptsächlich wirtschaftliche Erwägungen, die zu dieser Auf trennung geführt haben; da die maximale Spannung des 42,5-MVA-Turbogenerators in Stern-Serie-Schaltung 16 kV beträgt und diese Maschine anderseits in Dreieck-Parallel-Schaltung dauernd 5300 A und im Stosskurzschluss 120 000 A abzugeben vermag, müsste das ganze Verteilsystem der Versuchsanlage für diese extremen Daten ausgelegt werden.

Das Isolationsniveau der allgemeinen Verteilanlage ist auf 10 kV festgesetzt worden. Als Leitungsmaterial innerhalb der Schaltanlagen dienen Kupferschienen und für die



Bild 19. Abgang der Schienensysteme aus der Schaltanlage in die Schienenkanäle. Links und rechts die begehbarer Schienenkanäle; in der Mitte die getrennt geführte Hochleistungslleitung; oben rechts Kühlwasserleitung

langen Zuleitungssysteme Aluminiumschielen von 10×100 mm² Querschnitt. Ein solches Dreileitersystem kann bei 6 kV und 50 Hz dauernd 14 MVA übertragen. Auch für die Zuleitung von Gleichstrom werden diese Dreileitersysteme benutzt: bei einer Gleichspannung von 600 V können bei Beanspruchung von zwei Schienensystemen je 2500 kW zugeführt werden. Die Installation ist für die volle Stosskurzschlussleistung der Generatoren bemessen.

Die Zahl der Anschlussstellen im Prüffeld wurde vor allem durch die Forderung beeinflusst, dass die jeweiligen Versuchseinrichtungen zur Prüfung von Transformatoren unfallsicher ausgeführt sein müssen und dass ihre Erstellung nicht viel Zeit beanspruchen darf. Da jedoch bei der Prüfung von Grosstransformatoren immer hohe Ströme auftreten, die grosse Leiterquerschnitte bedingen, müssen die fest installierten Leitungen möglichst nahe an das Prüfobjekt herangeführt werden, damit die improvisierten Leitungen kurz ausfallen. Aus den Platzverhältnissen beim Versuchsfeld in der grossen Montagehalle ergibt sich als sehr günstige Lösung die Anordnung der Anschlusstände zwischen den Hallensäulen. In diesem Sinne sind an der einen Hallenlängswand im Endausbau der Versuchsanlage drei und an der gegenüberliegenden Wand zwei Anschlüsse vorgesehen (Bild 8). Jeder dieser Anschlusstände umfasst vier Zellen, in die je ein Dreileitersystem einmündet. Ein sechster Anschlussstand steht in der Zwischenwand zwischen dem Versuchsfeld und dem Hochspannungsprüfraum und enthält zwei Anschlusszellen. Die fünf Anschlusstände mit je vier Anschlussmöglichkeiten gestatten auch die Durchführung von Versuchen mit komplizierter Schaltung, z.B. solcher mit Rückspeisung.

Die sechs Anschlusstände mit zusammen 22 Zellen sind gruppenweise auf die Zuleitungen parallelgeschaltet, da nie alle gleichzeitig und unabhängig voneinander betrieben werden. Somit sind zwar die vier Zellen eines Anschlusstandes voneinander unabhängig, liegen jedoch parallel mit den entsprechenden Zellen der benachbarten Stände der gleichen Säulenreihe; dadurch verringert sich die Zahl der erforderlichen Zuleitungsschienensysteme von 22 auf 8. Die so erzielte Vereinfachung war für die Ausführung des Hauptlinienwählers eine Grundbedingung.

Den verschiedenen Maschinengruppen sind, wie bereits erwähnt, eigentliche Gruppenwähler zugeordnet, die in Schaltschränken im Keller des Maschinenhauses Platz gefunden haben. In dieser Schaltanlage, die auch die schon erwähnten Gleichstrom-Sammelschienensysteme enthält, können alle Schaltmanipulationen ausgeführt werden, welche die Bereitstellung der gewünschten Energieform betreffen. Mit Ausnahme der getrennt verlegten Hochleistungslinien des 42-MVA-Turbogenerators verlaufen sämtliche aus diesem Gruppenraum abgehenden Schienen längs der Decke in den Nebenraum, wo sie über Trenner dem Hauptlinienwähler zugeführt werden. Dieser gestattet die wahlweise Verbindung der aus dem Maschinenpark an kommenden zwölf Leitungssysteme mit den abgehenden acht Zuleitungsschienensystemen.

men und einem Zuleitungskabel zur Hochspannungskaskade. Die ankommenden Leitungen bilden das vertikale, die abgehenden Leitungen das horizontale Schienensystem des Hauptlinienwählers (Bild 20). Jeder Kreuzungspunkt zweier Leitungssysteme ist in eine mit Türen versehene Zelle zusammengefasst (Bild 21). Alle Verbindungsstellen sind mit schwenkbaren, verschraubten Laschen ausgerüstet. Der ganze Hauptlinienwähler ist in zwei einander gegenüberliegende Hälften aufgeteilt, wovon je eine die vier abgehenden horizontalen Linien zu den Anschlusständen an einer der beiden Hallenwände, sowie je ein Hilfsschienensystem enthält. Er besteht aus 2×60 übersichtlich angeordneten Schaltzellen.

In jeder Schaltzelle sind außer den drei schwenkbaren Laschen zur Herstellung der Verbindung noch ein drehbarer «Prüfbügel» sowie drei Hilfskontakte, zwei Signallampen und ein Prüfkontakt angeordnet, die zum Sicherungssystem der Anlage gehören und anzeigen, ob eine Schaltung ausgeführt werden darf oder nicht. Aus diesem neben dem Maschinenhauskeller liegenden Hauptlinienwähler-Raum sind die Zuleitungsschienen in zwei Gruppen durch begehbarer unterirdische Schienenkanäle zu den Anschlusständen im Versuchsfeld hinübergeführt.

In jeder der vier Zellen eines Anschlusstandes ist ein dreipoliger, über ein Schaltgestänge von aussen bedienbarer Trenner angebracht, der im ausgeschalteten Zustand gleichzeitig die zu den Anschlussklemmen abgehenden Verbindungen kurzschliesst und an Erde legt (Bild 15). Der Anschluss der Versuchsanlage erfolgt an den oben aus dem Schrank herausragenden Kupferschienen.

Das Hochleistungs-Verteilsystem ist wegen der höheren Spannung, der grösseren Ströme und der grösseren Kurzschlussleistung des 42,5-MVA-Turbogenerators ganz unabhängig vom soeben beschriebenen Hauptverteilsystem geführt worden. Mit Ausnahme der Laschenschaltanlage und des Hochleistungs-Druckluftschalters im Gruppen-Linienschrank des 42,5-MVA-Turbogenerators sind im weiteren Linienzug dieser Hochleistungs-Verteilanlage keinerlei Schaltelemente eingebaut.

Die Isolation dieses Verteilsystems ist für 16 kV Nennspannung dimensioniert. Die Leiterquerschnitte können bis auf 4×1000 mm² Aluminium ausgebaut werden, sind aber vorläufig teilweise mit geringerem Querschnitt ausgeführt. Bei der Leitungsführung wurde besonders auf Kurzschlussfestigkeit gegenüber dem maximalen Stosskurzschlusstrom des Generators geachtet. Die drei Stränge dieser Leitung sind bis zur Halle des Versuchsfeldes an der Decke der Kellerräume geführt und im Versuchsfeld selbst in einem gegen oben offenen, aber mit Betonplatten verschlossenen Kanal verlegt. Zur Herstellung der Anschlüsse an die Hochleistungs-Verteilanlage können einzelne dieser Platten herausgehoben werden, so dass die Anschlüsse direkt an den Schienensträngen selbst möglich sind. Neben jeder Platte, die über einer solchen Anschlussstelle liegt, ist eine Nische mit den für die Sicherheit erforderlichen Hilfskontakten und Signallampen angeordnet.

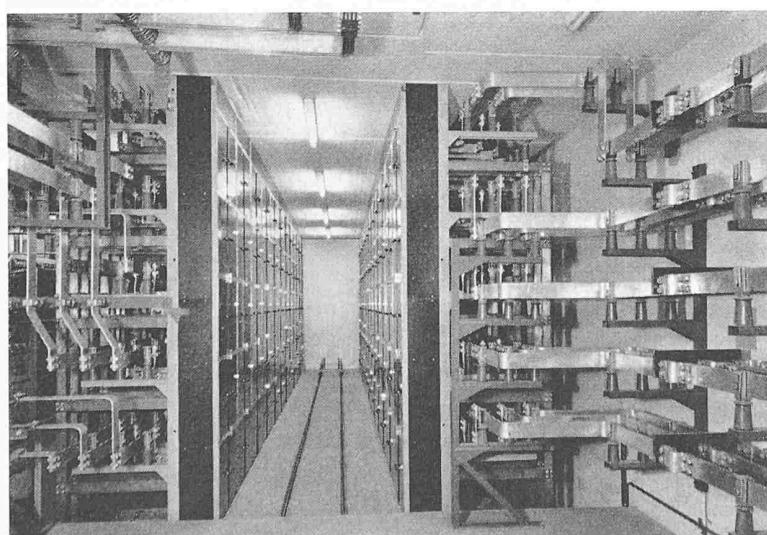


Bild 20. Gesamtansicht des Hauptlinienwählers. Links und rechts die abgehenden Schienenstränge; in der Mitte der Bedienungsgang mit über 120 Schaltzellen

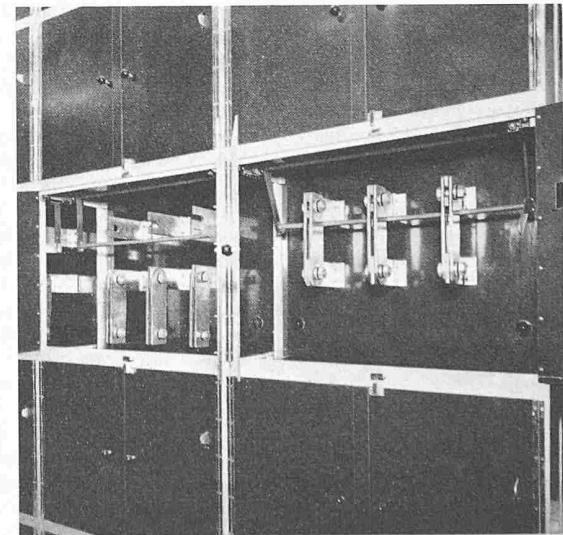


Bild 21. Zwei Schaltzellen des Hauptlinienwählers mit geöffneten Türen

8. Das Erdungssystem

Die Erdung wurde besonders im Hinblick auf die hochfrequente Stoßspannung vorgesehen. Zur guten kapazitiven Kopplung mit der neutralen Erde, und um das Auseinander schwingen der an das Erdungssystem angeschlossenen Gebäudeteile unter sich und gegenüber dem umgebenden Erdreich zu verhindern, wurde die gesamte Bodenarmierung mit einer Maschenweite von 15 bis 30 cm in zwei Lagen benutzt, wobei alle Kreuzungsstellen sorgfältig verschweisst sind. Die damit erreichte kleine Impedanz gegen Erde und zwischen zwei Punkten der Anlage sichert ein störungsfreies Arbeiten. Die Leitungskanäle wurden mit einem zusätzlichen Drahtgeflecht von 5 cm Maschenweite gegen elektromagnetische Beeinflussung abgeschirmt. Da die ganze Transformatorenfabrik erdungstechnisch als elektrische Insel ausgeführt ist, musste auch für gute niederfrequente Erdung gesorgt werden. Dies wird durch neun über die ganze Anlage verteilte Rohrerder mit einem Erdübergangswiderstand von weniger als $0,3 \Omega$ erreicht. Die der Korrosion ausgesetzten Teile des ganzen Erdungssystems werden durch eine besondere Anlage electrolytisch geschützt.

Innerhalb der Versuchsanlage können zwischen Maschinenpark, Schaltanlage, Verteilanlage und Versuchsbereich Kurzschlussströme mit Momentanwerten bis 120 000 A und Dauerkurzschlussströme bis 11 000 A auftreten. Sämtliche Maschinen, Anlageteile und Anschlusstände sind mit einer weit überdimensionierten Erdungsschiene untereinander und mit dem geerdeten Potentialgitter verbunden. Auch die Prüfobjekte im Versuchsbereich können an verschiedenen Stellen des Prüffeldes an diese Erdungsschiene angeschlossen werden.

9. Das System für Fernsteuerung, Sicherung und Kontrolle von Maschinen und Apparaten

Da die verschiedenen Räume der Versuchsanlage weit voneinander entfernt liegen, mussten die Hilfssysteme zur Fernsteuerung der Maschinenspannungen, der Frequenzen und der Schaltvorgänge sowie die Rückmelde- und Sicherungsanlagen gut ausgebaut werden. Von jedem Anschlusstand aus führt eine genügende Zahl von vierpoligen Erreger- und von achtpoligen Steuer- und Messleitungen in den Hauptlinienwähler-Raum hinüber, in dem man an einem Erregerlinienwähler und an einem Steuer- und Messlinienwähler die gewünschten Verbindungen herstellen kann. Auch die Steuerung des Frischwassereinlasses in das Mischreservoir zur Regelung der Wassertemperatur am Kühler des Prüfobjektes kann über eine dieser Steuerleitungen erfolgen.

Das Sicherungssystem der Versuchsanlage erstreckt sich über verschiedene Gebiete. Im Maschinenpark werden alle Maschinengruppen mit Überdrehzahlsschutz ausgerüstet. An der Turbogruppe werden die Temperaturen der Lager, der Warmluft und des Kühlwassers sowie der Ölstand im oberen Reservoir unter Kontrolle gehalten. Als Brandschutz wird eine CO_2 -Anlage eingerichtet.

Für den Fall eines Leitungsbruches an einer Kühlleitung einer provisorischen Versuchsanlage ist in die Vorlaufzuleitung zum Versuchsbereich ein Motor-Absperrventil und zwischen Vorlauf und Rücklauf ein Motor-Shuntventil eingebaut, die sich beide durch Notknöpfe von den Anschlusständen im Versuchsbereich aus betätigen lassen. Für einen allfälligen Ausfall des Fabriknetzes wird in einem späteren Zeitpunkt eine Notstromgruppe aufgestellt, die automatisch anläuft und die Speisung der wichtigen Pumpen, der Druckluftanlage und anderer Hilfsbetriebe übernimmt.

Das elektrische Sicherungssystem ist so angeordnet, dass die brennenden Signallampen die entsprechenden Manipulationen freigeben, während nicht brennende Lampen Gefahr anzeigen und Schaltmanipulationen verbieten. So leuchten z. B. beim Öffnen der Türen einer Schaltzelle im Hauptlinienwähler eine grüne und eine blaue Lampe auf, wenn die vertikale und die horizontale Schiene frei zum Schalten sind. Ist aber z. B. die betreffende vertikale Linie durch einen in einer anderen Schaltzelle eingelegten Trenner bereits besetzt, so leuchtet die grüne Lampe nicht auf und die Schaltung ist verboten. Die Hilfsschalter dieses Sicherungssystems werden durch die Prüfbügel betätigt, die bewegt werden, sobald auch nur ein Trenner einer Schaltzelle eingelegt wird. Hervorstehende Signalscheiben an diesen Prüfbügeln ragen in der Ausschaltstellung der zugehörigen Trenner durch die Zellentüre heraus und zeigen an, dass diese Trenner nicht eingelegt sind. Elektromagnetische Verriegelungen sind so geschaltet, dass sie im stromlosen Zustand blockieren.

10. Die Kühlwasseranlage

Die Verlustleistung, die durch Kühlung abgeführt werden muss, kann bei einer solchen Anlage ganz beträchtliche Werte annehmen. Die grössten Verluste treten bei Erwärmungsmessungen an Grosstransformatoren auf, und zwar zunächst an diesen selbst, gleichzeitig aber auch an den Anpasstransformatoren und in der speisenden Maschinengruppe.

Für den Maschinenpark und die Vorspanntransformatoren wurde Wasserkühlung gewählt. Für das eigentliche Prüfobjekt kann sowohl Luft- als auch Wasserkühlung in Frage kommen, deshalb musste das Kühlwassersystem für die gesamte Kühlleistung dimensioniert werden (Bild 22). Das Kühlsystem ist für einen Durchgang von 33 l/s berechnet. An ein Mischreservoir, dessen Frischwasserzufluss durch ein ferngesteuertes Motorventil geregelt werden kann, ist eine Motorpumpe angeschlossen, die den Vorlaufstrang auf 3 atü hält. An diesen Strang sind der Reihe nach die Kühler des Maschinenparks, der Vorspanntransformatoren und des zu prüfenden Kundentransformators angeschlossen. Jeder dieser Wärmeaustauscher kann durch handbetätigtes Ventile entweder in Serie mit dem Vorlauf oder zwischen diesen und den Rücklauf geschaltet werden, wobei alle Zwischenstellungen möglich sind. Durch diese Variationsmöglichkeit lässt sich der Vorlauf für den Kühler des Prüfobjektes allen Betriebs-

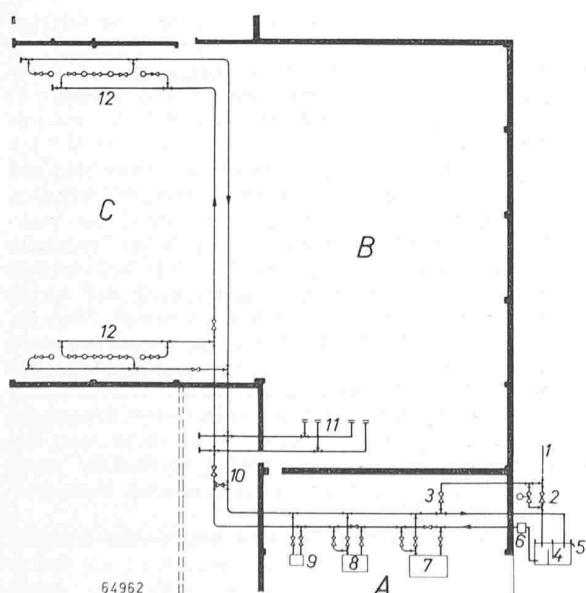


Bild 22 (links). Schaltschema der Kühlwasseranlage

- A Maschinensaal
- B Hochspannungslaboratorium
- C Prüfstand
- 1 Frischwasserzuleitung
- 2 Frischwasserregelung
- 3 Frischwasser-Notspeisung
- 4 Reservoir
- 5 Ueberlauf
- 6 Motorpumpe
- 7 Turbokühler
- 8 Kühler für Antriebsmotor
- 9 Ölkippler
- 10 Notventile
- 11 Kühlung der Netztransformatoren
- 12 Kühlwasser-Anschlusstellen mit Schiebern im Versuchslaboratorium

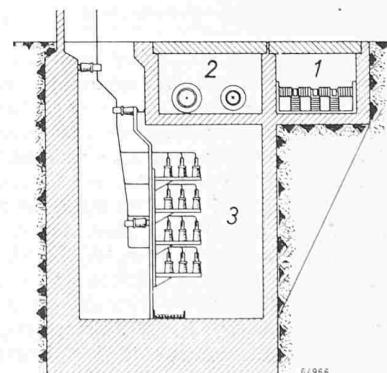


Bild 23. Querschnitt durch die Zuleitungskanäle

- 1 Hochleistungslinie
- 2 Kühlwasserkanal
- 3 Begehbarer Schienenkanal

bedingungen anpassen. Die Kühlwasserleitungen, bestehend aus Stahlrohren von 200 mm Lichtweite für den Vorlauf und 240 mm Lichtweite für den Rücklauf, sind im Versuchsbereich in einen offenen Kanal verlegt, der zum Teil durch Betonplatten, zum Teil durch eine Holzabdeckung verschlossen ist. Er verläuft parallel zum Kanal der Hochleistungs-Verteilungslage und liegt direkt über dem begehbar Schienenkanal der Hauptverteilungslage (Bild 23). In diesem Kanal liegen auch die Bedienungsventile und die Anschlussflanschen zum Anschluss der Kühlung für die Vorspanntransformatoren und die Prüfobjekte.

11. Das Laboratorium für Hochspannungsprüfungen und Geräuschmessungen

Im Hochspannungslaboratorium, das gleichzeitig der Entwicklung und Werkprüfung dient, können Spannungen von 1000 kV bei 16% bis 400 Hz und über 4000 kV bei Stoß erzeugt werden. Da nicht gleichzeitig mit beiden Spannungsmaxima gearbeitet wird, wurden die Anlageteile fahrbar aufgestellt. Dadurch wurde es möglich, unter voller Berücksichtigung aller Erfordernisse mit dem für ein derartiges Laboratorium verhältnismässig kleinen Grundfläche von 18×30 m auszukommen. Die lichte Höhe beträgt allerdings 20 m, so dass der umbaute Raum einen Inhalt von ungefähr 11 000 m³ aufweist (Bilder 6 und 11). Als niederfrequente Spannungsquelle dient eine dreistufige Transformatorkaskade mit einer Totalleistung von 1200 kVA bei 1000 kV. Für Entwicklungsvorläufe kann diese Kaskade durch die bereits beschriebenen Umformergruppen neben 16% und 50 Hz auch mit beliebig andern Frequenzen bis 400 Hz betrieben werden.

Der Haefely-Stoßgenerator (Bild 6), der vorläufig für eine Spannung von 3200 kV bei einem Energieinhalt von 160 kW dimensioniert ist, kann dank seiner neuartigen Konstruktion auf über 4000 kV und 400 kW ausgebaut werden. Er arbeitet nach der Marxschen Vervielfachschaltung. Die 16 Stufen mit einer Stoßkapazität von je 0,5 μF werden durch einen vollständig unter Öl liegenden Selengleichrichter mit 200 kV Gleichspannung auf die Stufenenergie von 10 kW aufgeladen. Die Kondensatoren sind in ölfüllten Metallbehältern untergebracht und mittels je vier vertikalen, isolierenden Tragrohren aufeinander abgestützt. Die freie Zugänglichkeit und die übersichtliche Anordnung erleichtern die Kontrolle und allfällige Nacharbeiten.

Die Entladung erfolgt in jeder gewünschten Serie-Parallel-Schaltung durch einfaches Umlegen von Verbindungsbügeln. Der weitgehend bifilar verlaufende Strompfad, die induktionsarmen Kapazitäten und neuartige Widerstände erlauben es, den Dämpfungswiderstand klein zu halten. Somit können Transformatoren grössten Belastungskapazität unter Einhaltung der vorgeschriebenen Frontzeit der Stoßspannungsquelle geprüft werden. Eine neuartige Konstruktion erlaubt es, den Widerständen bei kleinsten Induktivitäten das nötige Metallgewicht zu verleihen, so dass der Generator bei voller Ladespannung eine Stoßfolge von zwei Stoßen in der Minute zulässt. Eine Trigatronauslösung ermöglicht, die einwandfreie Durchzündung zu jedem beliebigen Zeitpunkt entweder von Hand, vollautomatisch oder netzsynchron einzuleiten.

Zur Spannungsmessung werden bei der Kaskade ein kapazitiver Teiler, beim Stoßgenerator ein Hafely-Berger-Teiler verwendet. Der induktionsarme Widerstand des Stoßteilers von 15 kΩ, der von Ringkondensatoren mit einer Seriekapazität von 400 pF umgeben ist, ermöglicht wahlweise eine kapazitiv abgeschirmte ohmsche, rein kapazitive oder gemischte Spannungsteilung. Daneben steht ein rein ohmscher Teiler für 1,6 MV zur Verfügung. Zur Aufnahme der Stoßvorgänge dient ein zweistrahleriger Glühkathodenoszillograph. Eine schwenkbare Kugelfunkenstrecke für Kugeln von 2 m Durchmesser (vorläufig mit 1-m-Kugeln ausgerüstet) ergänzt die Messeinrichtungen. Beide Spannungsquellen sowie die Kugelfunkenstrecke können mittels fahrbarer Kommandopulpe sowohl von beliebigen Punkten des Hochspannungslaboratoriums als auch des Prüffeldes aus gesteuert werden. Der Transport der Prüfobjekte aus dem Montageraum in den Prüfstand erfolgt mittels eines Krans und von hier aus auf Schienen in den Hochspannungsprüfraum.

Der Raum des Hochspannungslaboratoriums soll auch zur Geräuschmessung an grossen Transformatoren benutzt werden. Daher wurden bereits verschiedene bauliche Massnahmen ergriffen. So sind beispielsweise die Mauern nach

aussen und gegen den Maschinensaal hin in besonders schwerem Mauerwerk ausgeführt; die Verkleidung der Wände gegen innen wurde mit einem Durisol-Belag mit dazwischenliegendem Luftpolster versehen. Die schweren Wände sind so dimensioniert, dass der vom Lärm im Maschinensaal und von aussen stammende Geräuschpegel 60 Phon nicht überschreitet. Die Wandverkleidung wirkt in ihrer Kombination mit der Tragwand wie ein Resonator und absorbiert Schallschwingungen von 50 Hz an aufwärts. Die grosse Öffnung gegen die Montagehalle, die bei einer Höhe von 13 m eine Breite von 18 m aufweist, wird später mit einem mehrteiligen, schweren Schiebetor versehen.

In einer Ecke des Hochspannungsraumes ist eine geräumige Dunkelkammer eingebaut, deren Eingang als Lichtschleuse ausgeführt ist. Ihre Decke bildet eine von einem hohen Schutzgitter umgebene Plattform, von der aus Beobachter gefahrlos die Hochspannungsversuche verfolgen können. Von dort gelangt man einerseits über eine Treppe aufwärts zu einem Bedienungsgang, der in 16 m Höhe längs der Wand des Hochspannungsraumes verläuft, anderseits in die im ersten Stock des Seitentraktes der Montagehalle gelegenen Bürosäume. Im Erdgeschoss dieses Seitentraktes sind unterhalb der Bürosäume ein Magazin für Messinstrumente, ein Raum für den elektrolytischen Trog und eine Werkstatt untergebracht.

Die Generalversammlungen VSE/SEV

DK 061.2:621.3

Die beiden Vereine tagten dieses Jahr am 13. September in St. Gallen. Ihre Jahresberichte sind in den Heften 17 und 18 des «Bulletin SEV» (1958) erschienen. Im Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) gab am Vormittag der Präsident, C. Aeschimann, dipl. El.-Ing., Direktionspräsident der Aare-Tessin AG. für Elektrizität, Olten, einen Überblick über die konjunkturpolitische Lage. Er stellte ferner fest, dass die Speicherseen zu 95% gefüllt sind, so dass der Winter mit einer gespeicherten Energie von 3060 Mio kWh, also unter günstigen Bedingungen angetreten wird. Sofern sich keine außergewöhnliche Trockenheit einstellt, darf die Landesversorgung mit elektrischer Energie als gesichert betrachtet werden. Zu dieser günstigen Ausgangslage hat der immer noch stark geförderte Bau neuer Wasserkraftwerke wesentlich beigetragen. Vom 1. Januar 1957 bis September 1958 konnten folgende Werke dem Betrieb übergeben werden: Lienne (Croix und St-Léonard), Hagneck (Einbau der 5. Maschinengruppe), Lavey (Einbau der 3. Maschinengruppe), Alpnach, Melchsee-Frutt, Diablerets, Aarau (1. Etappe Umbau Zentrale I), Simplon (Gabi), Charmey (Erweiterung 1. Etappe), Piottino (Einbau der 3. Maschinengruppe), Zervreila (Safien-Platz), Mesolcina-Werke (Lostallo), Ritom (Zuleitung der Unterthalpreuss), Gougra (Vissoie), Maggia (Zuleitung Bavona und Einbau der 3. und 4. Maschinengruppe in der Zentrale Cavergn), Handeck II (Einbau der 3. und 4. Maschinengruppe), Grande Dixence (Fionnay), Mauvoisin (3. Maschinengruppe in der Zentrale Fionnay). Bis Ende dieses Jahres kann mit den folgenden weiteren Inbetriebsetzungen gerechnet werden: Zervreila (Seewerk und Rothenbrunnen), Ackersand II (1. Maschinengruppe), Muranzina, Palasui, Simmentaler Kraftwerke (1. Maschinengruppe), Gougra (Motec; 1. und 2. Maschinengruppe), Kleinthal.

Die Bemühungen zur Koordinierung der verschiedenen Standpunkte in der Frage des schweizerischen Höchstspannungsnetzes wurden durch die Eidg. Kommission für elektrische Anlagen, das Eidg. Starkstrominspektorat und das Eidg. Amt für Elektrizität weiter gefördert. Die Entwicklungen auf dem Gebiete der friedlichen Anwendung der Atomenergie werden vom Verband aufmerksam verfolgt. Eine besonders wichtige Frage ist die der Erhöhung der Stromtarife. Eine allmähliche Anpassung an die steigenden Selbstkosten lässt sich nicht mehr umgehen. Verschiedene Werke haben auch einen ersten Schritt zur Verkürzung der Arbeitszeit getan. Die Einführung der Fünftagewoche wird die Belastungsdiagramme der Werke ungünstig verändern. Nach den bisherigen Erfahrungen ist zu erwarten, dass diese Veränderungen tragbar bleiben.

Nach fünfjähriger erfolgreicher und mit grosser Umsicht geführter Tätigkeit hat C. Aeschimann sein Amt als Präsident des VSE niedergelegt. Als neuer Präsident wurde