Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 22

Artikel: Die elektrische Energieversorgung der Eidg. Techn. Hochschule Zürich

Autor: Stahl, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904887

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: 09.12.2025

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

Die elektrische Energieversorgung der Eidg. Techn. Hochschule Zürich

E. Stahl

Die Entwicklung der Stromversorgung der Eidgenössischen Technischen Hochschule erfolgte etappenweise. Heute benötigt der Schulbetrieb an der ETH jährlich über 60 Millionen kWh (ohne Annexanstalten). Zur störungsfreien Belieferung aller ETH-Gebäude waren umfangreiche elektrische Anlagen zu konzipieren und organisch dem spezifischen Bedürfnis einer Hochschule anzupassen.

Le développement de l'approvisionnement en électricité de l'Ecole Polytechnique Fédérale s'est fait par étapes. L'activité d'enseignement à l'EPF exige actuellement 60 millions de kWh par an (institutions annexes exclues). Afin de pouvoir desservir sans perturbations tous les bâtiments de l'EPF, il a fallu concevoir d'importantes installations électriques et les adapter organiquement aux besoins spécifiques d'une grande école.

1. Historischer Rückblick

An der Eidg. Techn. Hochschule müssen, an heutigen technischen und wirtschaftlichen Massstäben gemessen, im Sektor der elektrischen Verteilanlagen bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges noch idyllische Zustände geherrscht haben. Diese Feststellungen veranschaulichen nicht nur die Figuren 1 bis 4, sondern werden auch durch die Stromrechnungen der Jahre 1924 bis 1946 belegt, die für diese beiden Jahrzehnte einen gesamten Verbrauchszuwachs von 0,6 auf 1,7 GWh registrierten und jährliche Kosten zwischen Fr. 85 000.– und Fr. 155 000.– auswiesen.

Die meisten Schul- und Laborgebäude wurden früher noch direkt aus Niederspannungsverteilanlagen der Stadt Zürich mit 3×500, 3×380/220 und 2×220/440 V versorgt, wobei die Verrechnung der verbrauchten Energie jeweils individuell nach Licht-, Kraft- und Wärmetarifen erfolgte. Die Trennung der einzeln gemessenen und abgerechneten Zählerstromkreise besass den besonders grossen Nachteil, dass für jede Tarifart die Montage von speziell kalibrierten Steckdosenmodellen vorgeschrieben war, was nicht nur

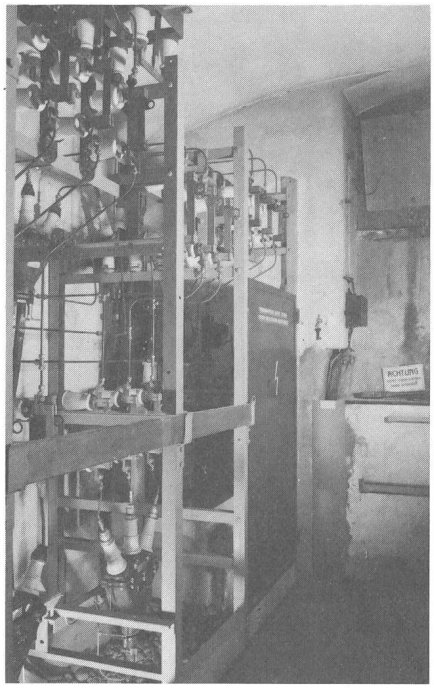

Fig. 1 Station Physik Altbau: demontiert 1959; unter Spannung stehende Leitungstrenner ragen in geöffneter Stellung über die Abschrankungen hinaus

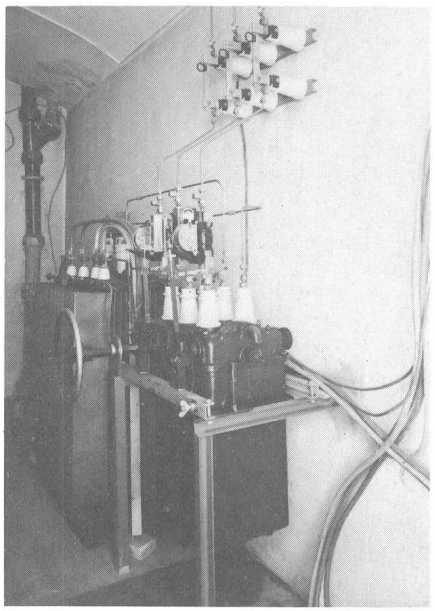

Fig. 2 Station Chemie Altbau: demontiert 1959; provisorisch aufgestellter Transformator mit altem Ölschalter

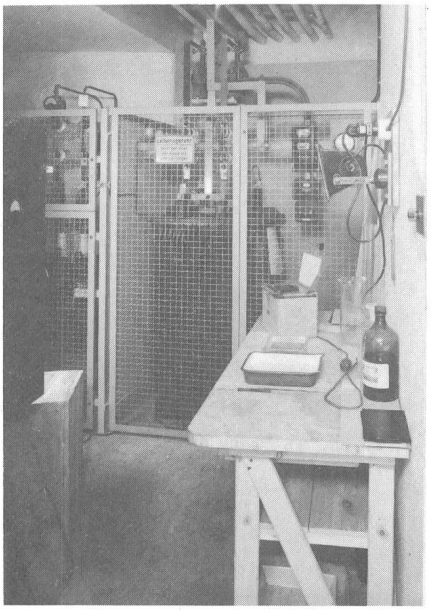

Fig. 3 Station Hauptgebäude: demontiert 1957; «friedliche Koexistenz» zwischen Fotolabor und Hochspannungsanlage 4 kV

Adresse des Autors
E. Stahl, Montalinstrasse 3, 7000 Chur.

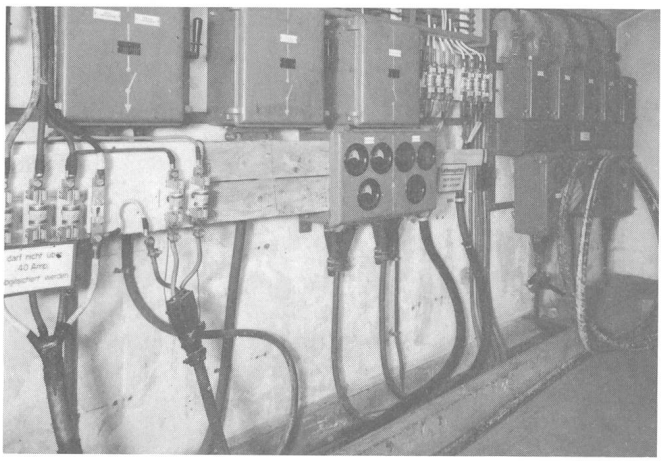

Fig. 4
Station Chemie Altbau: demontiert 1959; provisorisch «erweiterte» Niederspannungshauptverteilung mit zusätzlich montierten MH-Sicherungsgruppen

den Anschluss der verschiedensten Apparate und Versuchseinrichtungen sehr erschwerte, sondern auch die Erstellung der dazu notwendigen Installationen zusätzlich verteuerte.

Wie einem Protokollauszug des Schulrates vom 27. Februar 1930 zu entnehmen ist, beklagten sich schon zu dieser Zeit neben verschiedensten Instituten auch das energieliefernde Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) über unangenehme Störungen als Folge überlasteter Leitungen, mangelhaft ausgeführter Installationen und nicht zuletzt auch über die Unzulänglichkeiten der unterschiedlich vorgeschriebenen Steckdosenmodelle, die besonders in den Laborräumen das ungehinderte Arbeiten stark erschwerten.

Die Betreuung aller elektrischen Installationen ausserhalb des Fernheizkraftwerkes gehörte bis 1953 in erster Linie zu den Obliegenheiten und der Pflicht des Technischen Dienstes, dessen Leiter im jeweiligen Einvernehmen mit den Baufachorganen das Notwendige zu veranlassen und Leitungspläne sowie Schaltschemas nachzuführen hatte.

Mit der Erstellung des Fernheizkraftwerkes Anfang der dreissiger Jahre sowie der gleichzeitigen Zentralisierung der veralteten Heizungsanlagen wurden auch die technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für ein zweckmässiges und leistungsfähiges Versorgungssystem für das gesamte ETH-Zentrum geprüft. Es verstrichen aber nochmals 20 Jahre, ehe der gewünschte Sanierungsplan konkretere Formen anzunehmen begann.

Unter der Leitung von Prof. B. Bauer, damaliger Direktor des Fernheizkraftwerkes an der ETH, wurde in den fünfziger Jahren innerhalb des Fernheizkraftwerkes eine neue Dienststelle (Büro für elektrische Anlagen) geschaffen, welche bei Verhandlungen mit dem Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) oder anderen Lieferwerken ausserhalb des ETH-Zentrums als selbständiger Partner auftreten konnte. Ferner versprach sich der neue Leiter von seinem Fernziel, alle Energiebezugsstellen inner- wie ausserhalb des Hochschulareals in einem Rahmenvertrag zu vereinigen, auch gewisse finanzielle Vorteile für die ETH.

2. Ausbau der Versorgungsanlagen, erste Ausbauetappe

Nach eingehenden, zusammen mit Ingenieuren des EWZ Anfang der fünfziger Jahre durchgeführten Untersuchungen ergab sich aus einer Reihe mehrerer Projektvarianten der folgende Sanierungsplan:

Der elektrische Energiebezug des ETH-Zentrums sollte, soweit möglich, in den Bereich der Hochspannung verlegt werden. Unter diesen Voraussetzungen mussten die einzelnen Gebäude an eine vom Fernheizkraftwerk der ETH zu erstellende Kabelringleitung mit doppelter Einspeisung – Chemiegebäude einerseits und Fernheizkraftwerk andererseits – angeschlossen werden können. Durch den Bezug der Energie in Hochspannung würde sich ausserdem für die ETHZ ein günstigerer Strompreis gegenüber den bisherigen Kosten für Niederspannungsenergie ergeben. Allein für die drei Liegenschaften Chemie Altbau, Land- und Forstwirtschaft sowie das Hauptgebäude durfte auf Grund der empfohlenen Umstellung auf der Preisbasis von 1952 mit jährlichen Einsparungen von etwa Fr. 30 000.– gerechnet werden. Von der doppelseitigen Einspeisung versprach man sich zusätzlich eine wesentliche Verbesserung der Betriebssicherheit, die es erlauben würde, alle untereinander verbundenen Gebäude einzeln und ohne Einwirkung auf benachbarte Liegenschaften zu- oder abzuschalten. Ende 1954 wurde die erste Ausbauetappe in Angriff genommen. Diese umfasste zuerst einmal folgende Massnahmen:

- Anschluss und Ausbau der Transformatorenstation im Chemiegebäude A
- Verlegen eines Hochspannungskabels von der Station Chemie A nach dem alten Chemiegebäude bis zur Station Chemie B
- Anschluss und Ausbau der beiden Transformerstationen in den Gebäuden Chemie Altbau sowie Chemie B
- Verlegen eines Hochspannungskabels von der Station Chemie B nach dem Westbau Land- und Forstwirtschaft (Land und Forst)
- Erstellung sowie Anschluss einer neuen Transformerstation im Westbau Land und Forst
- Verlegen eines Hochspannungskabels zwischen der Station Land und Forst sowie dem Hauptgebäude
- Erstellen und Anschliessen einer neuen Transformerstation im Hauptgebäude
- Verlegen einer Hochspannungskabelleitung zwischen der Station Hauptgebäude und dem Fernheizkraftwerk
- Ausbau der Hochspannungsschaltanlage im Fernheizkraftwerk für den Anschluss der Hochspannungskabelleitung

In einer zweiten, unmittelbar darauf folgenden Ausbauphase war der Anschluss aller übrigen im ETHZ stehenden Labor- sowie Unterrichtsgebäude an die von der neu verlegten Kabelringleitung gespeisten Transformerstationen vorgesehen, nämlich:

- Anschluss verschiedener Gebäude wie Sternwarte, Versuchshaus Land und Forst, Naturwissenschaft usw. an die neu erstellten Transformerstationen
- Umbau sowie Anpassung und Sanierung von Niederspannungs-Verteilanlagen in den genannten ETH-Gebäuden
- Aufbau eines Notstromversorgungs- und Überwachungsnetzes
- Umbau der noch mit 500 V betriebenen Anlagen auf Normalspannung 380/220 V.

3. Ausbau der Verteilanlagen

Nach dieser ersten, bereits Ende 1956 zum Abschluss gekommenen

Bauetappe folgte im Hinblick auf weiter geplante Bauvorhaben ab 1959 ein weiterer Ausbau.

3.1 Hochspannungsanlagen

Beim Entwurf der Hochspannungsschaltanlagen wurde nach bisheriger Lehrmeinung konsequent auf abgewinkelte, die Übersicht allgemein erschwerende Konstruktionen verzichtet. Um bei der konventionellen offenen Bauweise früher errichteter Anlagen den Berührungsschutz zu verbessern, fand zur Abschirmung von Schalt- und Messzellen anstelle der bisher üblichen Abschrankungen nur noch Sicherheitsglas Verwendung. Ferner wurden für die relativ kurzen Leitungsverbindungen zwischen Schaltern und Transformatoren aus platzsparenden Gründen (Endverschlüsse) nur noch die Anfang der fünfziger Jahre stark aufkommenden Kunststoffkabel montiert. Seit 1977 gehört im ETHZ auch die offene Bauweise der Vergangenheit an, nachdem im Handel genormte und allseitig geschlossene und geschottete Schaltzellen zu angemessenen Preisen angeboten werden (Fig. 5 und 6). Diesem Wandel liegt ausser dem Wegfall der früheren zeitaufwendigen Detailplanung zweifellos auch die wesentlich verbesserte Betriebssicherheit zu Grunde.

Von den 21 heute im ETH-Zentrum in Betrieb stehenden Transformerstationen mussten während der vergangenen 20 Jahre deren sechs wegen bauseits bedingter Änderungen wieder demontiert oder an einen andern Ort verlegt werden. Aus den beiden Prinzipschemas (Fig. 7 und 8) über die Erstellung und Demontage von Stationen lässt sich die bemerkenswerte Entwicklung der Versorgungsanlagen zwischen 1958 und 1982 deutlich verfolgen.

Aus raumsparenden Gründen mussten die meisten Stationen in verhältnismässig tiefliegenden Untergeschossen plaziert werden. Längere Gewitter oder gelegentliche Wasserleitungsbrü-

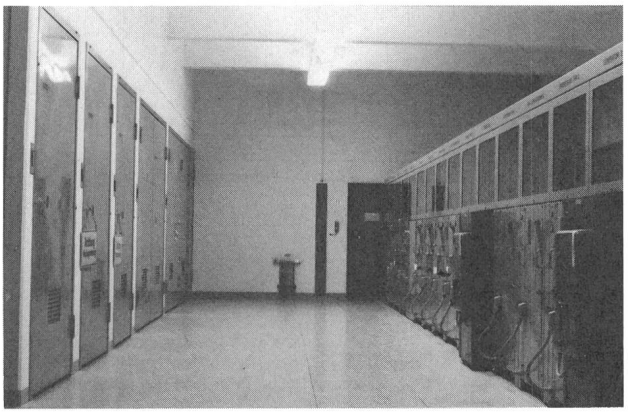

Fig. 6 Station Fernheizkraftwerk; geschlossene Bauweise, Baujahr 1979

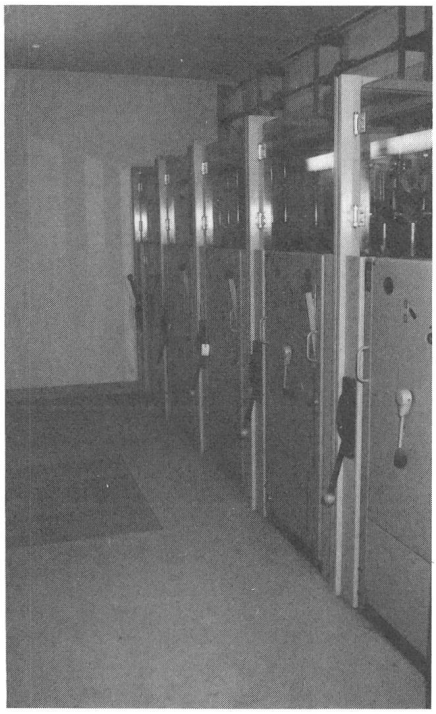

Fig. 5 Station Land- und Forstwirtschaftl. Gebäude; offene Bauart mit Sicherheitsglasabschirmung, Baujahr 1976

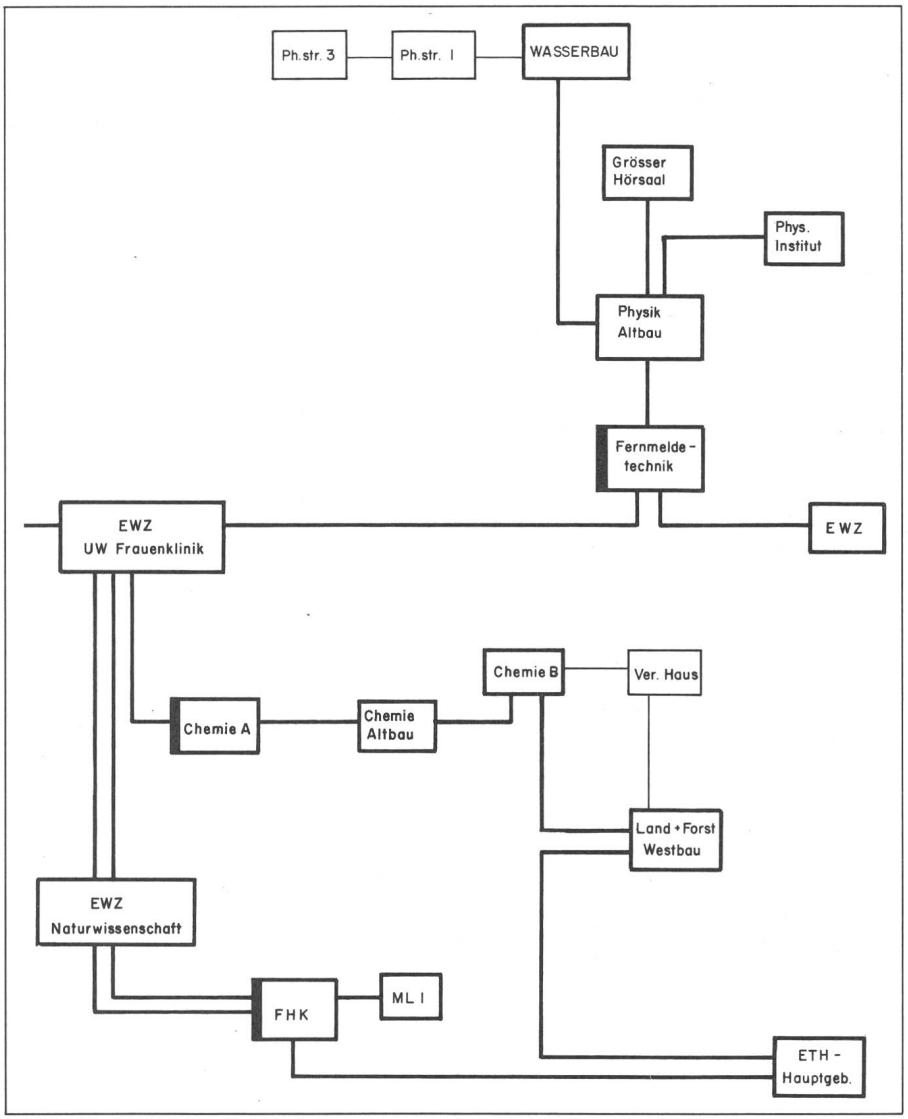

Fig. 7 Prinzipschema über Erstellung und Demontage von Stationen. Stand 1958

Messstationen EWZ/ETH

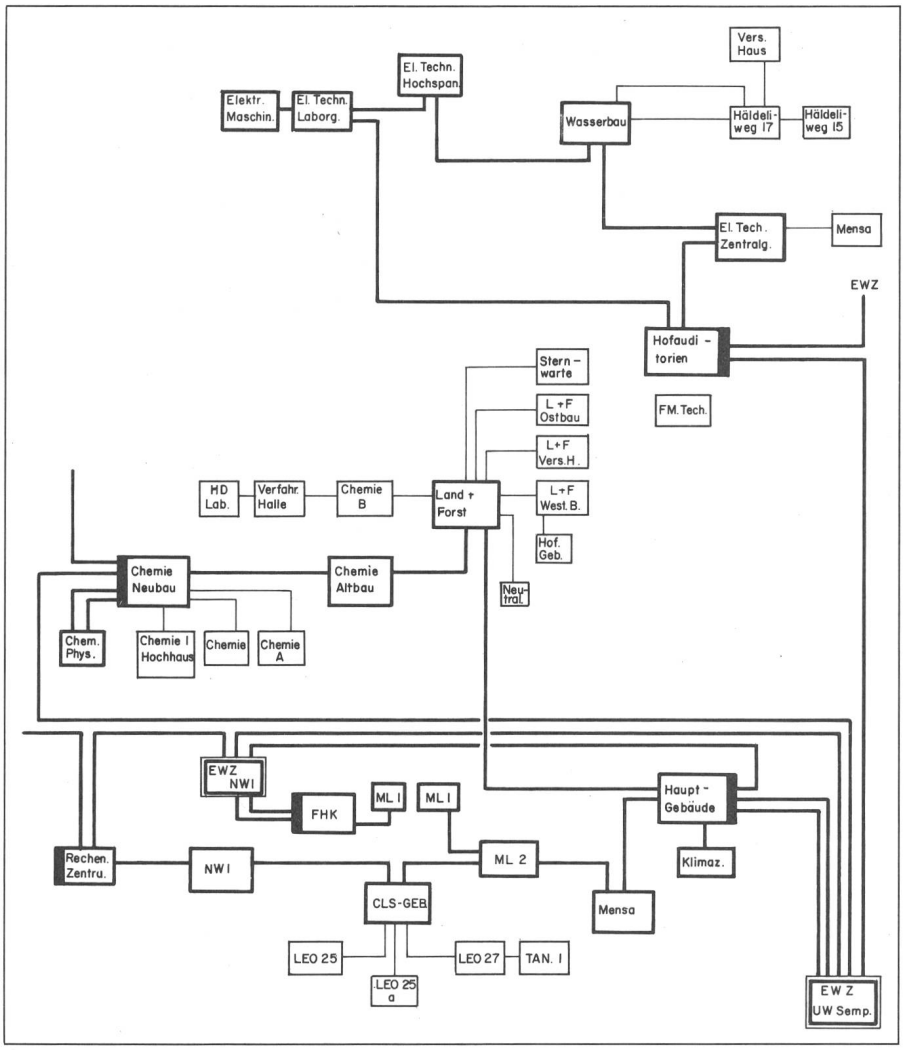

Fig. 8 Prinzipschema über Erstellung und Demontage von Stationen. Stand 1982

Messstationen EWZ/ETH

che, von denen oftmals auch elektrische Schalträume in Mitleidenschaft gezogen bzw. überflutet wurden, gaben schon sehr früh dazu Anlass, in solchen Anlagen für blanke Klemmen von Kabelendverschlüssen eine Mindesthöhe von einem halben Meter über dem Fussboden zu verlangen.

3.2 Niederspannungsanlagen und Installationen

Wie bei den Hochspannungsanlagen, wo eine gewisse Normierung des Ausrüstungsmaterials aus finanziell und technisch naheliegenden Gründen nicht vernachlässigt werden durfte, ergaben sich auch bei den niederspannungsseitigen Verteil- und Schaltanlagen hinsichtlich der Anordnung sowie des Aufbaues ähnliche Probleme. Grosser Wert wurde hier ebenfalls auf einfache Zugänglichkeit und Bedienung der Anlagen gelegt.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Konstruktionen mit sperrigen und umständlich transportierbaren Gerüsten versuchte man speziell dafür geeignete Schalttafelfelder zu entwickeln, die einzeln an die manchmal etwas schwierig zugänglichen Aufstellungsorte in den Kellergeschossen transportiert und dort auf einfache Weise mit Spezialschienen zusammengefügt werden konnten. Zur Überwachung der Energiebezüge und Belastungsspitzen wurde für jeden Transformator stets ein Zähler mit Maximumanzeige eingebaut, wodurch auf frühere periodische und zeitraubende Messungen mit Registrierwattmetern vollständig verzichtet werden konnte. Die in Tabelle I zusammengestellten Werte lieferten zuverlässige Grundlagen für die Dimensionierung neu zu erstellender Hauptverteilanlagen.

Nachdem jede Transformerstation im Prinzip nach gleichen Kriterien ausgeführt wurde (Fig. 9 bis 12), wobei natürlich bauseitige Bedingungen für

Fig. 11 Rückseitige Ansicht der Mess- und Schaltfelder in der Station Hauptgebäude

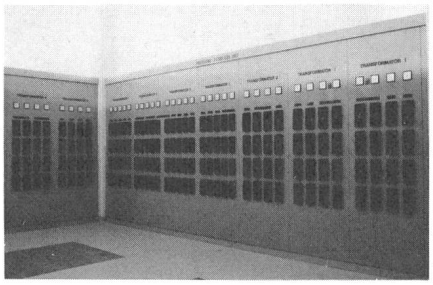

Fig. 9 Station Chemie Neubau; Niederspannungsverteilung, Baujahr 1971

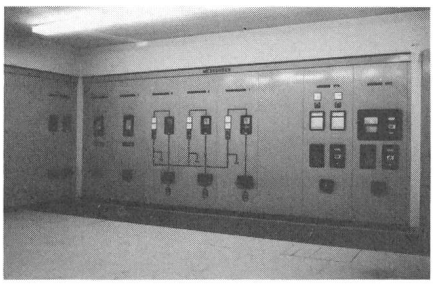

Fig. 10 Vorderseitige Ansicht der Mess- und Schaltfelder in der Station Hauptgebäude

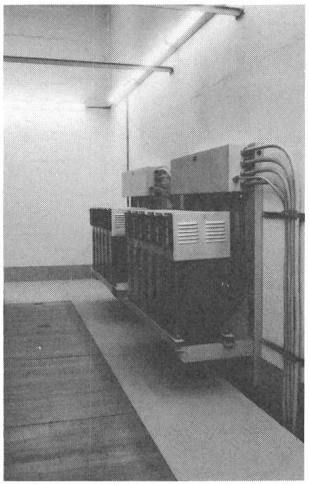

Fig. 12 Station Chemie Neubau, Automatische Kondensatorenanlage, 2×150 kVar

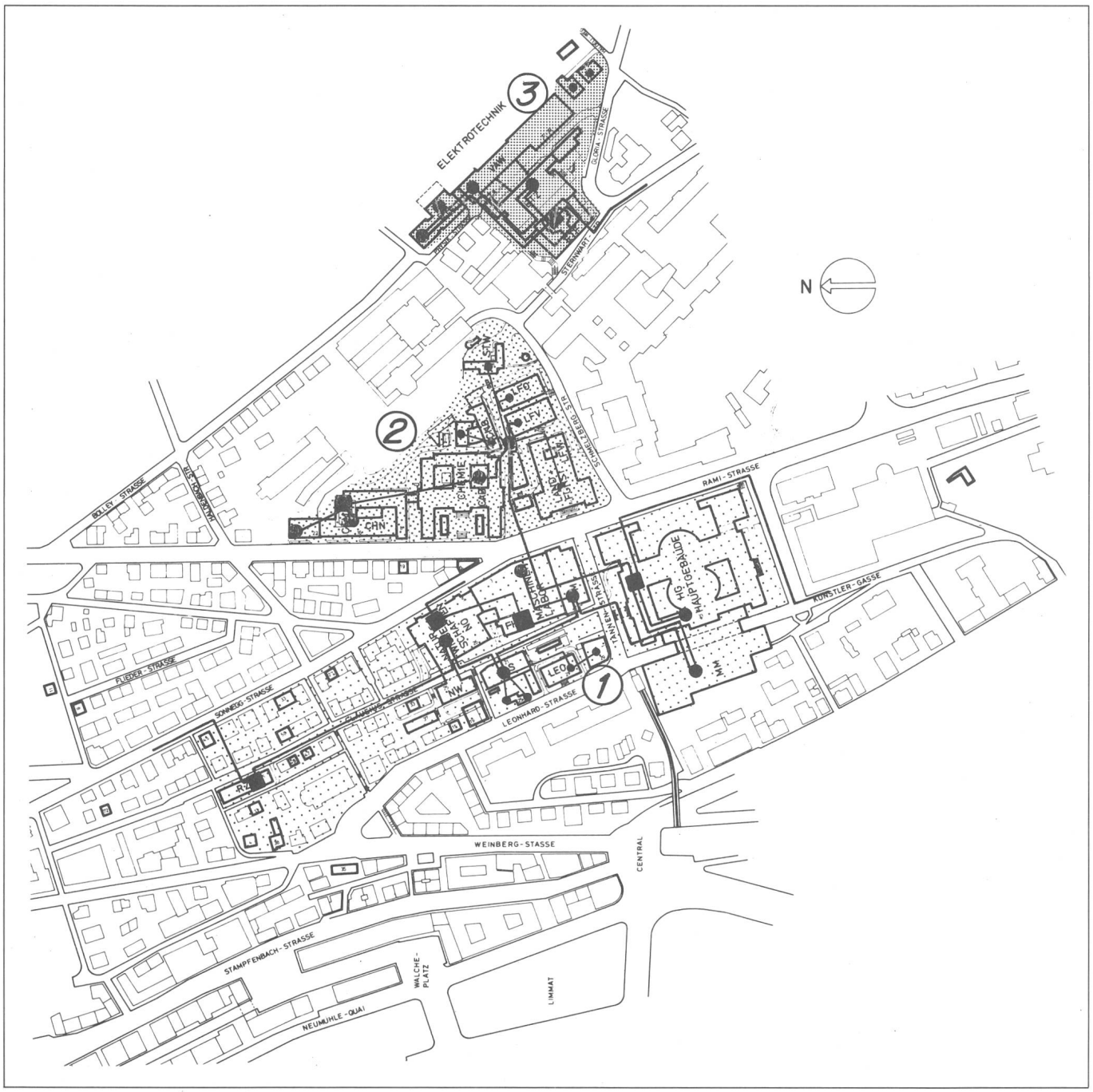

Fig. 13 Aufteilung des ETH-Areals in drei Versorgungssektoren

Sektor 1

Sektor 2

Sektor 3

Messstation EWZ/ETH

die Anordnung jeder Anlage verständlicherweise den Ausschlag gegeben hatte, sei hier auf eine nähere Beschreibung der einzelnen Entwicklungsphasen verzichtet. Zwei besondere Ereignisse sind aber hervorzuheben, nämlich der 1970 durch das EWZ vollzogene Spannungsumbau von 6 auf 11 kV sowie der langwierige und komplizierte Umbau der Hochspannungsschaltanlage im Fernheizkraftwerk.

3.3 Spannungsumbau 6/11 kV

Im Frühjahr 1969 gab das EWZ zum erstenmal seine Absicht bekannt, im Zuge des eigenen Netzausbaues im Hochschulquartier auf dem Grundstück des Sempersteiges oberhalb des Hirschengrabens ein neues leistungsfähigeres Unterwerk für 150/11 kV zu erstellen. Der gleichzeitig damit verbundene Wegfall des alten Unterwerkes Frauenklinik (50/6 kV) stellte aber auch die Versorgung des ETH-Zentrums vor Probleme, die nur mit einer grundlegenden Änderung des bisherigen Verteilungskonzeptes gelöst werden konnten. Aus der Tatsache, dass zugleich mit dem Ausbau des Hauptgebäudes auch die 1955 dort errichtete Transformerstation wieder verlegt werden musste, ergab sich nach gründlicher Prüfung eine Aufteilung des ETH-Areals in drei neue Versorgungssektoren, wie sie in Fig. 13 dargestellt ist.

Spezifische Belastungen in Watt je m² Nutzfläche im ETH-Zentrum
Daten 1980

Tabelle I

Gebäude	Nutzfläche m²	Install. Transf.-leistung kVA	Maximum kW	Belastung W/m²	Leistungsteil %[1])	Inst. Anschlussleistung kW[2])
Versorgungssektor 1						
Hauptgebäude	79 585	2 500	1 354	17	54	3 856
Mensa	20 750	1 260	610	29,4	45,4	1 040
Maschinenlabor 2	13 000	1 630	590	45,4	36,2	1 863
Maschinenlabor 1	10 201	630	200	19,6	31,8	1 156
Clausiusstrasse 21	7 686	500	130	16,9	26	224
Naturwissenschaft	16 510	1000	592	35,8	59,2	707
Rechenzentrum	8 100	1 500	580	71,5	38,7	2 002
Versorgungssektor 2						
Westbau Land und Forst	13 750		310	22,5	15,5	407
Ostbau Land und Forst	5 926	2 000	108	18,3	5,4	177
Versuchshaus	2 880		117	41,7	5,8	–
Chemiegebäude B	8 250		168	20,4	8,4	142
Chemie Altbau	16 067	1 000	570	35,5	57	956
Chemiegebäude A	3 800		60	15,8	2	–
Chemie Neubau	10 735	3 000	832	77,5	83,2	1 932
Physik, Chemie	2 376		190	80,2	76	255
Versorgungssektor 3						
El.-Techn. Laborgebäude	10 000	3 520	365	36,5	10,4	–
El.-Techn. Neubau	35 200	1 630	570	16,2	35	–
El.-Tech. Fernmeldetechn.	4 195	–	76	18,1	–	364
Wasserbau	10 662	1 000	288	27	28,8	500
Mittelwert Sektoren 1–3	279 673	19 420	7 710	27,6	39,5	19 025

[1]) Ausnützungsfaktor in % der installierten Trafoleistung
[2]) Installierte Leistung ohne bewegliche Apparate

Die neu zu erstellende Station «Hauptgebäude» wurde zusammen mit der Eigenversorgung des genannten Gebäudes nunmehr wichtigste Energieübergabestelle des ETH-Zentrums. Von hier aus konnten alle westlich der Achse Rämi-, Universitäts- und Sonneggstrasse liegenden Gebäude im Sektor 1, die östlich dieser Achse stehenden Liegenschaften in einem zweiten Sektor und alle übrigen um das alte ehrwürdige, 1976 abgebrochene Physikgebäude herum gruppierten Lehr- und Laborbauten in einem dritten Sektor zusammengefasst werden.

3.4 Umbau der Schaltanlage im Fernheizkraftwerk (FHK)

An dieser 1932 erstellten Anlage waren zwischen 1953 und 1970 verschiedene Änderungen und Ergänzungen ausgeführt worden, die zwar zusätzliche Schaltmanöver mit dem neu aufgebauten Versorgungsnetz des ETH-Zentrums erlaubten, aber auf Kosten der Übersicht und leider auch mit sicherheitstechnischen Nachteilen sowie Unfallrisiken erkauft werden mussten. Nach dem Umbau von 6 auf 11 kV waren indessen bei der veralteten Anlage die erwähnten Mängel durch das zusätzlich notwendig gewordene Provisorium noch erheblich grösser geworden. Berücksichtigte man den allgemeinen Zustand der inzwischen nahezu 50 Jahre alt gewordenen Anlage, dann drängte sich in Anbetracht der sicherheitstechnischen Risiken eine Sanierung bzw. ein genereller Umbau je länger desto gebieterischer auf.

Betriebstechnische Überlegungen führten zu der im Prinzipschema Fig. 14 dargestellten Lösung. Während für den EWZ-Anlageteil im wesentlichen die Anordnung des 11-kV-Provisoriums übernommen wurde, ergab sich bei der Schaltanlage des FHK eine Aufteilung in zwei selbständige, durch einen Längstrenner kuppelbare Anlageteile. Jede dieser Hälften verfügt über je einen Generator- und Transformeranschluss, so dass bei allfälligen Störungen oder bei reduziertem Leistungsbedarf der eine oder andere Anlageteil ohne Betriebseinschränkung für Reparaturen oder Revisionen abgeschaltet werden kann. Die Figuren 15 und 16 zeigen die alte und neue Lösung.

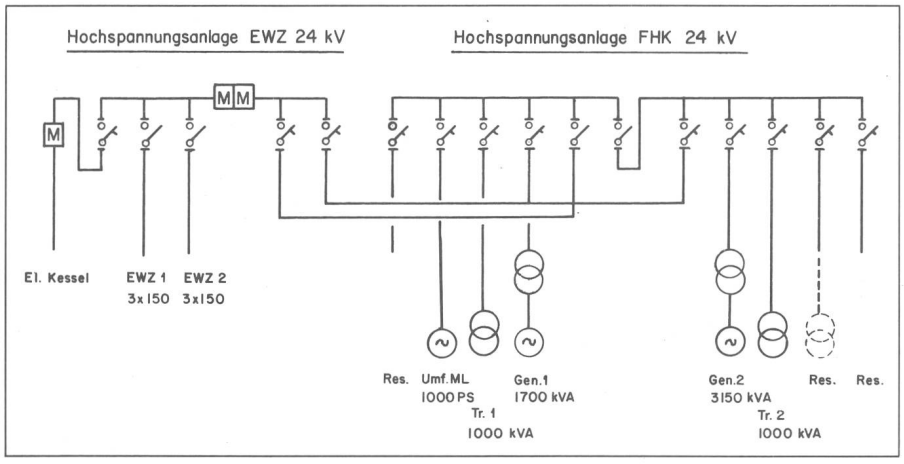

Fig. 14 Prinzipschema der neuen Hochspannungs-Schaltanlage EWZ – FHK 24 kV

4. Allgemeiner Versorgungsbetrieb

4.1 Zusammenfassung

Die Verteilanlagen im ETH-Zentrum waren stets den neugeschaffenen Verhältnissen anzupassen. Besondere Aufmerksamkeit wurde vor allem dem Bau von Transformerstationen sowie der Wahl der Leitungsquerschnitte zugewendet. Trotz der enormen Energieverbrauchszunahme von 1,5 Mio kWh im Jahre 1945 auf über 36 Mio kWh im heutigen Betrieb musste bisher keine der neu erstellten Stationen oder Hochspannungskabelleitungen – sofern nicht bauseitige Gründe eine Änderung oder Verlegung des Standortes erforderten – erweitert oder umgebaut werden. Gut bewährt hat sich dabei die grosszügige Dimensionierung der Transformatorenzellen, die es erlaubte, bei nachträglichen Leistungserhöhungen bisher verwendete Transformatoreneinheiten von 500 kVA ohne

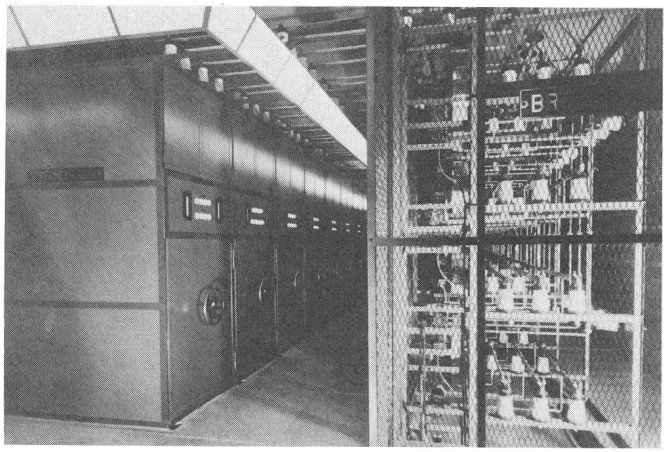

Fig. 15 Fernheizkraftwerk; alte Hochspannungsanlage 6 kV mit Schalterzellen und Sammelschienen, erstellt 1932, demontiert 1980

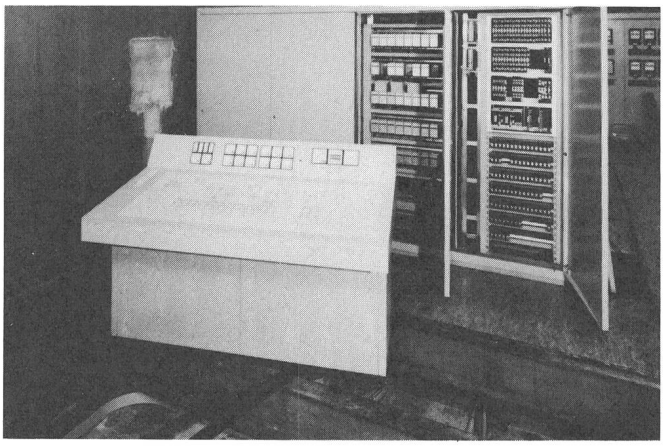

Fig. 16 Fernheizkraftwerk; neue Schalt- oder Leitwarte mit Steuerschrank, Rangierverteiler und Kommandopult, Länge 1,6 m, montiert 1980

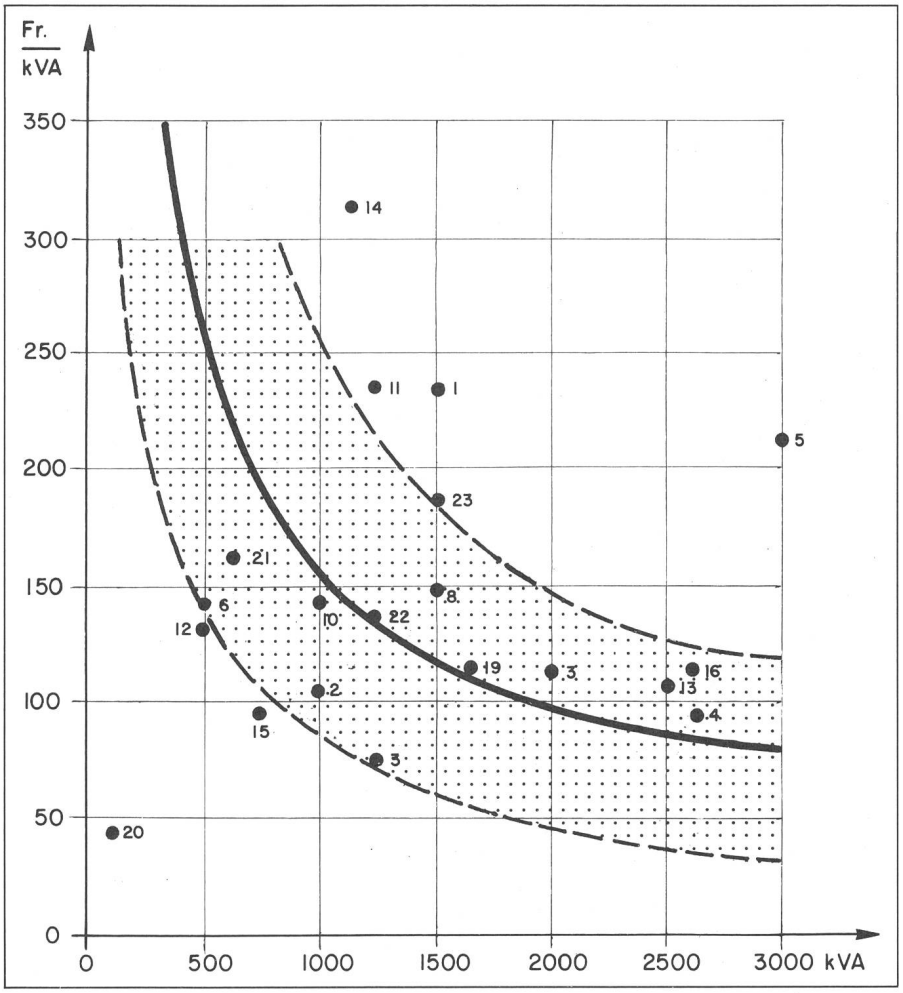

Fig. 17 Grafische Darstellung der Investitionskosten in Franken je installiertes kVA

1. Hauptgebäude
2. Klimazentrale
3. Mensa
4. Maschinenlabor 2
5. Fernheizkraftwerk
6. CLS-Gebäude
7. Naturwissenschaft
8. Rechenzentrum
9. Land und Forst 2
10. Chemie Altbau
11. Chemie Frauenklinik
12. Physik, Chemie
13. Chemie Neubau
14. Physik Altbau
15. Wasserbau
16. Hofauditorien
17. Laborgebäude ET
18. Hochspannungslabor ETL
19. Zentralgebäude ETZ
20. Tätsch Illnau
21. Lindau Eschikon
22. Private Firma
23. Elektrizitätswerk

jede Änderung durch solche von 1000 kVA zu ersetzen.

Längere, durch Netzüberlastungen verursachte Betriebsunterbrüche früherer Zeiten gehören heute der Vergangenheit an. Sofern ähnliche Fälle dennoch auftreten, handelt es sich meistens um Störungen im städtischen Versorgungsnetz, während alle innerhalb der ETH-eigenen Anlagen jedes Jahr hauptsächlich zwischen Ende November bis Mitte Dezember registrierten Unterbrüche sich in der Regel auf überlastete Steigleitungen und lokale Installationsbereiche beschränken.

4.2 Anlagekosten

In der Figur 17 sind die investierten Kosten pro installierte Leistungseinheit einander gegenübergestellt. Die bauseitigen Aufwendungen (Preis je m^3) wurden dabei bewusst ausgeklammert, da die Unterschiede zwischen innerstädtischen und mehr ländlichen Verhältnissen das Rechnungsergebnis zu sehr beeinflusst hätten. Alle angegebenen Kosten beziehen sich daher lediglich auf die elektrischen Stationsausrüstungen. Um zeitgemässe Vergleiche zu erhalten, wurden die Gestehungskosten seit 1960 unter Berücksichtigung des jeweiligen Teuerungsindexes auf das Stichjahr 1980 umgerechnet.

Bei der Dimensionierung von Kabelleitungen war es aus betriebstechnischen Gründen nicht immer sinnvoll, bezüglich der Querschnittswahl unbedingt Einsparungen erzielen zu wollen. Manche Berechnung hat nämlich ergeben, dass sich schon während der Projektierung solcher Leitungen eine angemessene Leistungsreserve durchaus rechtfertigt, wenn bei den An-

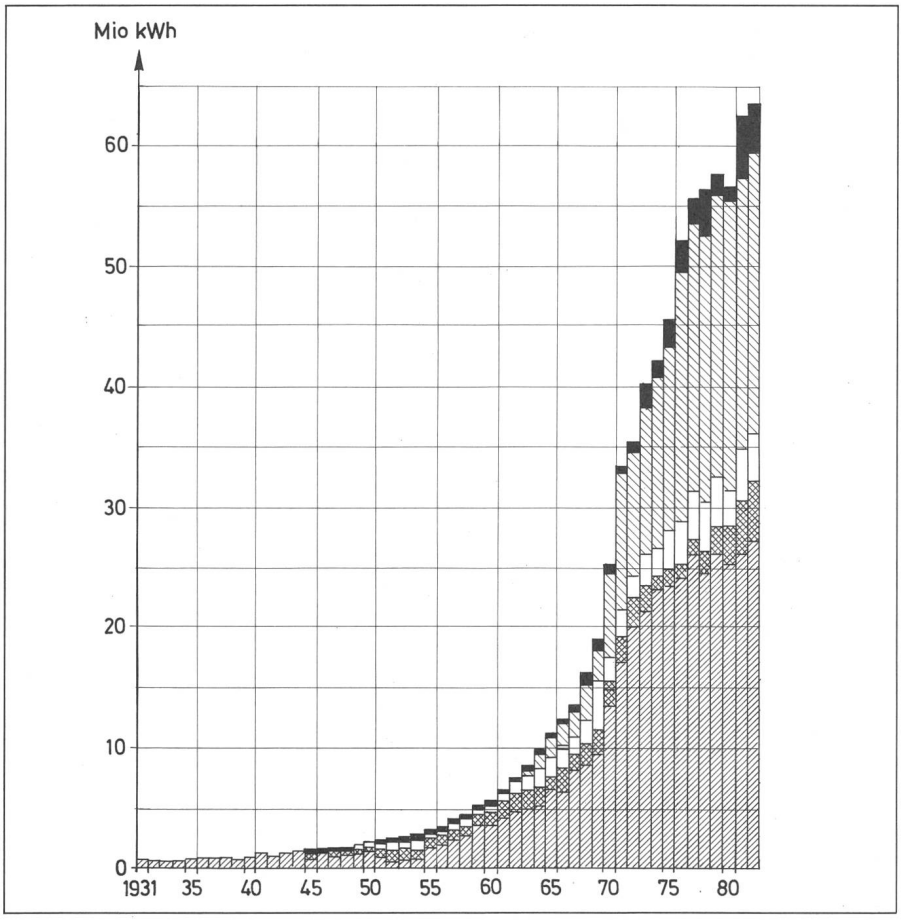

Fig. 18 Elektrische Energieversorgung der ETHZ, Energiebezug und Energieabgabe

Verluste

Hönggerberg

Aussenstationen

Versorgungssektoren 1 und 2:
Hauptgebäude; Maschinenlaboratorien; Fernheizkraftwerk; CLS-Gebäude; Naturwissenschaft; Rechenzentrum; Land und Forst; Chemiegebäude

Versorgungssektor 3:
Elektrotechnik; Wasser und Erdbau

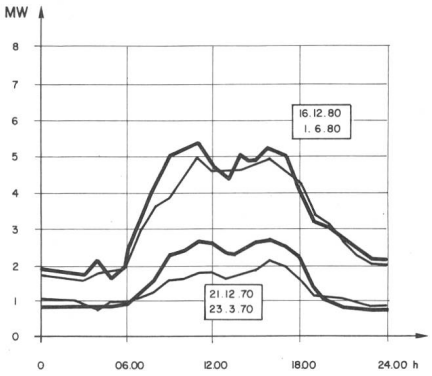

Fig. 19 Verlauf der Tagesbelastung der Versorgungssektoren 1 und 2 in den Jahren 1970 bzw. 1980

—— Sommertage
—— Wintertage

schaffungs- wie Verlegungskosten die Teuerung entsprechend berücksichtigt wird.

5. Energiewirtschaftliche Aspekte

Nur wenige private Industriebetriebe weisen, am durchschnittlichen Wachstum ihres Energiebedarfs gemessen, eine ähnliche Entwicklung wie die ETHZ auf. Diese enorme Steigerung ist vor allem eine direkte Folge der vielen Erweiterungs- sowie Umbauten, welche vornehmlich in den zehn letzten Jahren erstellt und in Betrieb genommen worden sind.

Besonders auffällige Zuwachsraten im Stromkonsum verzeichnen die verschiedenen chemischen Institute, das Hauptgebäude mit der neuen Mensa, das Rechenzentrum und die Aussenstation Hönggerberg sowie in jüngster Zeit auch die Abteilung für Elektrotechnik. Mit dem allgemeinen Trend zu vermehrter Anwendung der elektrischen Energie tragen hauptsächlich grössere technische Hilfseinrichtungen und unter denselben Gründen speziell die Klima- und Lüftungsanlagen mit einem Anteil von nahezu 30% zum hohen Verbrauch bei. Erheblich geringer sind dagegen die Bezüge der übrigen Aussenstationen, bei denen sich trotz mancher neu hinzugekommener Objekte die Zu- bzw. Abnahme in normalen Grenzen hält (Fig. 18).

Zusammengefasst beträgt die gesamte von der ETH und ihren Aussenstationen 1981 bezogene elektrische Energiemenge 62,513 Mio kWh, wovon 35,03 Mio kWh auf das ETH-Zentrum und 27,48 Mio kWh auf die Aussenstationen entfallen. Unter der Einwirkung der allgemeinen Kostenentwicklung in den übrigen Wirtschaftsbereichen hat aber auch bei der elektrischen Energie eine spürbare Verteuerung stattgefunden, obwohl der gegenwärtige Durchschnittspreis von 10,59 Rp./kWh noch als angemessen betrachtet werden darf.

Mehr oder weniger parallel mit der Verbrauchszunahme verläuft die Leistungsbeanspruchung, welche in den Tagesbelastungsdiagrammen (Fig. 19) während je eines Sommer- und Wintertages in den Jahren 1970 sowie 1980 aufgezeichnet ist.

Nicht minder bemerkenswert sind auch die in der Tabelle II und in Figur 20 zusammengestellten Angaben

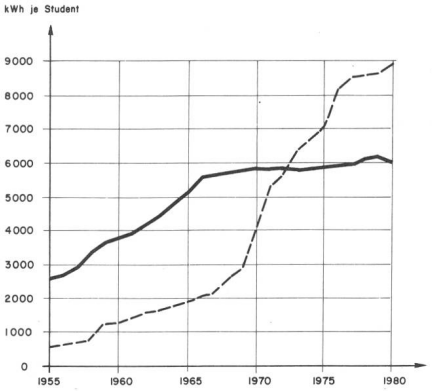

Fig. 20 Durchschnittlicher Stromverbrauch in kWh je Student und Jahr (ohne Doktoranden)

—— Anzahl Studenten
– – – kWh je Student

Anteile einzelner Abteilungen am gesamten Stromverbrauch der ETHZ im Jahre 1981, zusammen mit dem Hönggerberg, aber ohne Aussenstationen und Annexanstalten

Tabelle II

Abteilung	Studenten		Stromverbrauch		Verbrauch je Student und Jahr
	Anzahl	%	Anteil kWh	%	kWh
Maschinenbau	837	13,9	1 450 000	2,7	1 732
Elektrotechnik	1020	17	2 316 000	4,3	2 270
Chemie	427	7,1	10 335 000	19,6	24 203
Pharmazeutik, Naturwissenschaft	630	10,6	2 032 000	3,7	3 184
ETHZ, total	6003	100	53 946 000	100	8 986

über die Entwicklung des Stromverbrauches der ETH je immatrikulierten Studenten. Dabei fällt auf, dass die chemischen Institute gesamthaft gegenüber anderen Abteilungen bei 24 203 kWh je Student und Jahr mit grossem Abstand die Spitze einnehmen.

In Figur 21 ist als Ergänzung noch die Belastungskennlinie des ETH-Zentrums für das Betriebsjahr 1981 aufgezeichnet. Zwischen etwa 2500 und 8500 Stunden weicht zwar die Kurve deutlich von der theoretischen Ideallinie ab, doch darf die auf Grund des Gesamtverbrauches der beiden Sektoren 1 und 2 errechnete Benutzungsdauer von 4650 Stunden im Vergleich zu Industriebetrieben (im Durchschnitt 2000 bis 3000 Stunden) als sehr gut bezeichnet werden.

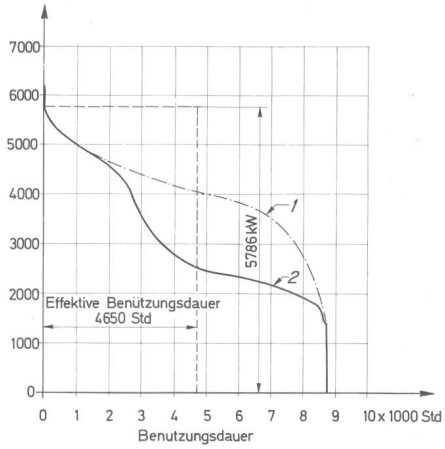

Fig. 21 Belastungskennlinie ETH-Zentrum für das Jahr 1981

1 theoretische Ideallinie
2 effektiv gemessene Werte

Der Einfluss der Bündelanordnung auf die maximal auftretende Feldstärke bei Höchstspannungs-Freileitungen

F. Schwab

Die verschiedenen möglichen Bündelanordnungen von 400-kV-Freileitungen werden untersucht und der Grenzwertfeldstärke gegenübergestellt. Der Zweierbündel liegt wegen der heute höheren Betriebsspannung bei extremen meteorologischen Verhältnissen an der oberen Grenze und sollte künftig eher mit höherem Teilleiterquerschnitt ausgerüstet oder durch den Dreierbündel ersetzt werden.

L'article analyse les différentes dispositions possibles des faisceaux pour les lignes aériennes à 400 kV et les oppose à la valeur limite de l'intensité de champ. En raison de la tension d'exploitation actuellement plus élevée, les faisceaux à deux conducteurs se situent à la limite supérieure en cas de conditions météorologiques extrêmes, et il vaudrait mieux installer un conducteur élémentaire de section plus élevée ou les remplacer par un faisceau à trois conducteurs.

Adresse des Autors

Dr. *F. Schwab*, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor, Aare-Tessin AG für Elektrizität, 4600 Olten.

1. Einleitung

Die Übertragungsleitungen, eine der drei Säulen der Elektrizitätsversorgung, sind etlichen Gefahren und Beanspruchungen ausgesetzt [1, 2, 3] und sollten gegenüber der Umwelt keine Emissionen erzeugen. Eine mögliche Beeinträchtigung der Umgebung liegt im Koronaeffekt. Früher wurden die Höchstspannungsleitungen wegen des damals üblichen Mittelwellen-Radiohörens in erster Linie auf niedrige Radiostörspannungen ausgelegt [4, 5]. Im heutigen UKW-Zeitalter stehen die akustischen Störungen im Vordergrund. Es kann in seltenen Fällen vorkommen, dass 400-kV-Leitungen Lärmemissionen erzeugen. Bei trockenem und schönem Wetter sind alle Leitungen geräuschfrei, aber bei extrem hoher Luftfeuchtigkeit, d.h. im Nebel oder bei Regen, können die Leiter brummen. Bei trockener Luft wird auch an den Zweierbündeln von Höchstspannungsleitungen die Einsatzfeldstärke zur Bildung von Stielbüscheln nicht erreicht, aber schon kleine Unebenheiten am Leiter, wie sie bei der Tropfenbildung entstehen, genügen, den Stielbüscheleinsatz und damit das Brummen zu erzeugen. Es stellt sich somit die Frage, wie gross die auftretenden Felder sind und wie die Einsatzfeldstärke herabgesetzt werden kann.

2. Optimierung der Bündelanordnung

Die Einsatzfeldstärke wird von sehr vielen Faktoren beeinflusst. Die meteorologischen Faktoren wie Druck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden von der Wetterlage diktiert. Die Höhe der Spannung wird vom europäischen Verbund bestimmt und kann daher kaum beeinflusst werden. Es bleiben die geometrische Anordnung, d.h. Anzahl der Teilleiter pro Bündel, Querschnitt der Teilleiter und Abstand