

# Das Fernwirknetz der schweizerischen Elektrizitätswerke

Autor(en): **Quervain, A. de**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **54 (1963)**

Heft 5

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916460>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)  
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

## Das Fernwirknetz der schweizerischen Elektrizitätswerke

Von A. de Quervain, Baden

621.398(494)

### 1. Einleitung

Kurz nach dem ersten Weltkrieg wurden in Deutschland und Japan die ersten Versuche durchgeführt, die Hochspannungsleitung selbst für die Übertragung von Informationen zu benützen. Es zeigte sich, dass eine niederfrequente Übertragung praktisch unmöglich war, jedoch Trägerfrequenzen im Bereich von 30..300 kHz sich gut eigneten. Nachdem auch die Möglichkeit bestand, betriebssichere Kopplungskondensatoren zu bauen, war der Grundstein zu einer Übertragungstechnik gelegt, welche rasch den ursprünglich amateurlastigen Charakter verlor und eigenständig wurde.

Zu den Pionieren der Anwendung dieser Übertragungstechnik in der Schweiz gehören die Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK), welche im Jahre 1925 zwischen Löntsch und Beznau eine erste EW-Telephonanlage in Betrieb nahmen. In der Schweiz wurden anschliessend und im Laufe des 2. Weltkrieges eine Reihe weiterer Trägerfrequenzverbindungen längs Hochspannungsleitungen von verschiedenen Elektrizitätsgesellschaften in Betrieb genommen. Diesen Verbindungen war die Aufgabe zugeordnet, zwischen den Kraftwerken einer Gesellschaft und der zugehörigen Verwaltung eine oder mehrere direkte Telephon-Verbindungen sicherzustellen. Auch wurde damals schon daran gedacht, zur Erleichterung der Betriebsüberwachung Messwerte, wie beispielsweise Wirk- und Blindleistung, von den Kraftwerken in eine zentrale Betriebsstelle zu übertragen. Bis Ende des zweiten Weltkrieges behielten diese Verbindungen, deren Zahl inzwischen auf 16 angewachsen war, diesen eher lokalen, auf die Bedürfnisse der jeweiligen Gesellschaften zugeschnittenen Charakter. Für die Betriebsführung stellten sie schon damals eine willkommene Ergänzung des staatlichen, öffentlichen Telephonnetzes dar.

Der vom Jahre 1950 ab intensivierte Ausbau der Elektrizitätsproduktion in Form von Partner-Werken führte zu einer starken Erweiterung des Hochspannungsnetzes und damit auch der notwendigen Verbindungen, wobei sich die Konzeption eines übergeordneten Übermittlungsnetzes als besonders zweckmässige Lösung empfahl. Hierbei sollten jedoch weder die Eigentumsverhältnisse noch die Verantwortungsgebiete der einzelnen Gesellschaften, in Bezug auf Betrieb und Unterhalt der ihnen gehörenden Übermittlungseinrichtungen angetastet werden. In jenem Zeitpunkt war noch nicht entschieden, ob sich die leitungs-

gerichtete Übertragung für einen derartigen Ausbau eignen würde.

Auf Grund der gemachten Erfahrungen fiel eine Vorentscheidung in dem Sinne, dass Anstrengungen in Bezug auf Ausbaupläne eines Übermittlungsnetzes weder in Richtung eines werkeigenen Kabelnetzes, noch des vermehrten Einsatzes gemieteter PTT-Kanäle, sondern in Richtung des Ausbaues von Trägerfrequenzverbindungen zielen sollten. Es wurde deshalb den Ausbauplänen eines Trägerfrequenz-Übermittlungsnetzes längs Hochspannungsleitungen der Vorrang gegeben. Diese Übermittlungsart wurde später TFH-Technik benannt (Trägerfrequenz auf Hochspannungsleitung). Fig. 1 zeigt den Ausbaustand des TFH-Netzes im Jahre 1952 mit rund 100 4-kHz-Kanälen.

Damit wurde offensichtlich, dass die damals bestehenden Übermittlungsnetze den bisherigen Rahmen lokalen Charakters sprengen würden und in nicht allzu ferner Zukunft mit wesentlich breiterer Anwendung gerechnet werden müsse. Der mit dem Ausbau der schweizerischen Elektrizitäts-Produktion zu erwartende steigende Bedarf an Übermittlungskanälen erforderte eine weitsichtige Planung, welche sich vorerst einmal auf die folgenden Punkte zu konzentrieren hatte:

a) Schaffung von Regeln und Leitsätzen für die Hochfrequenzverbindungen auf Hochspannungsleitungen, welche als Rahmenordnung für die vielseitigen technischen und administrativen Probleme eines Übermittlungsnetzes zu gelten hatten und eine Voraussetzung eines zielbewussten Ausbaues darstellten.

b) Vorbereitung eines Frequenzplanes, welcher es gestatten sollte, bei der Ergänzung des Übertragungssystemes mit dem in ständiger Erweiterung begriffenen Hochspannungsnetz Schritt zu halten.

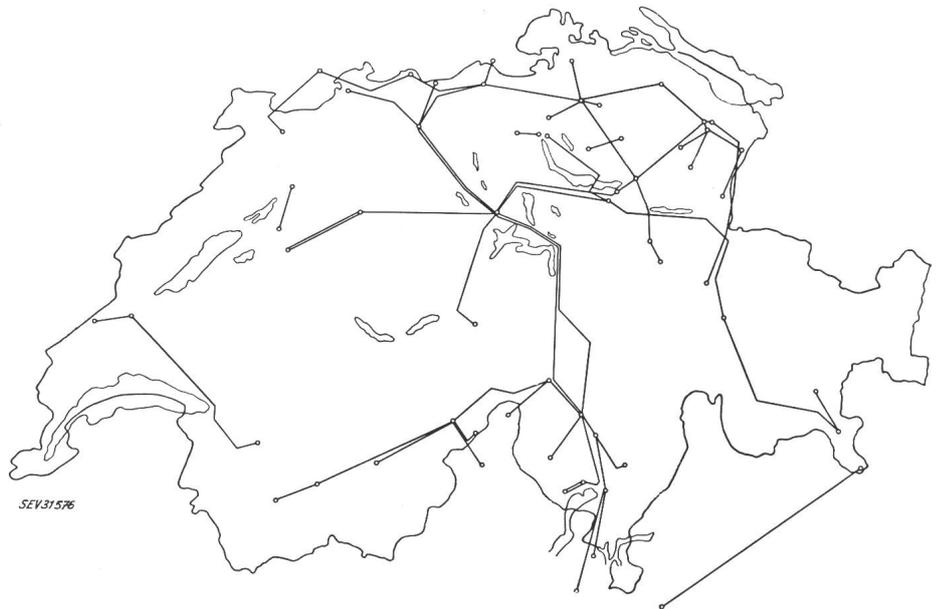
c) Entwicklung und Bereitstellung von Trägerfrequenz-Übermittlungssystemen, welche bei einem Minimum an belegter Frequenz-Bandbreite ein Maximum an Informationen zu übertragen gestatten, und zugleich auch die zu erwartende starke Bündelung solcher Kanäle auf einer Hochspannungsleitung, sowie eine beträchtliche Konzentration von Kanälen in den Stationen zulassen.

Da in jenem Zeitpunkt nur teilweise voraussehen war, wo die Schwerpunkte von Energieproduktion und -Verteilung in Zukunft liegen würden, ferner wie sich das Informationsvolumen auf Telephonkanäle einerseits und reine Fernwirkkanäle für Fernmelden, Fernsteuern, Fernmessen andererseits verteilen würden, mussten die zu wählenden Systeme äusserst anpassungs- und ausbaufähig sein.

Fig. 1

Stand des Ausbaues des TFH-Netzes  
der Schweizerischen Elektrizitätswerke  
im Jahre 1952

Es waren damals etwa 100 4-kHz-Kanäle  
in Betrieb



Die Ausarbeitung der «Richtlinien» und der Frequenzplanung wurde einem Unterkomitee des Fachkollegiums 12 (Radioverbindungen), des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees, übertragen. Die endgültige Fassung der Richtlinien wurde im Jahre 1954 in Kraft gesetzt.

In diesen Richtlinien wurde auch festgelegt, dass einem Experten-Komitee des SEV, bestehend aus Vertretern der Elektrizitätswerke, der Industrie und der PTT, die Aufgabe obliegt, den Weiterausbau der Frequenzplanung zu verfolgen, und neu eingehende Konzessionsgesuche zu begutachten.

## 2. Aufbau des Fernwirknetzes

### 2.1 Trägerfrequenzeinrichtungen

Die ursprünglich in Deutschland schon bis zu einer gewissen Reife entwickelte TFH-Übertragungstechnik fusste auf der leicht zu beherrschenden Zweiseitenbandtechnik. Die von einem Übertragungskanal im Trägerfrequenzbereich beanspruchte Bandbreite beträgt hierbei das Doppelte der im Niederfrequenzbereich belegten Bandbreite.

Die Selektivität dieser ersten Gerätetypen war noch sehr mangelhaft, so dass Hin- und Rückweg einer Duplex-Verbindung im Frequenzspektrum weit auseinander gelegt werden mussten, und damit eine ganz ungenügende Ausnutzung der Frequenzbänder bestand.

Theoretische Überlegungen zeigten den eindeutigen Vorteil der *Einseitenbandmodulation* gegenüber Zweiseitenband- und Frequenzmodulation in Bezug auf die

Ausnutzung der Frequenzbänder, und ein günstigeres Verhältnis von Nutzsignal zu Störpegel bei gegebener Sendeleistung. Als Brutto-Bandbreite eines Übertragungskanales wurde in den erwähnten Regeln das bei Weitverkehrs-Trägerfrequenzanlagen international genormte Raster von 4 kHz Brutto-Bandbreite pro Kanal angenommen. Die optimale Belegung der zur Verfügung stehenden Frequenzbänder kann nur erreicht werden, wenn Sender und Empfänger frequenzmässig direkt nebeneinander liegen, d. h. zusammen eine Bandbreite von  $2 \times 4 \text{ kHz} = 8 \text{ kHz}$  ergeben. Eine solche Forderung erheischt andererseits wegen der grossen Pegelunterschiede von Sender und Empfänger eine sehr hoch gezüchtete Einseitenband-Technik. Mit Rücksicht auf diese neuen Aufgaben wurde die Entwicklung von Einseitenbandgeräten an die Hand genommen, deren technische Spezifikationen, in Bezug auf Selektivität der Filter, Frequenzstabilität der Oszillatoren, sowie Verzerrungsfreiheit der Sender als wesentlicher Fortschritt bezeichnet werden konnte.

Der niederfrequenten Ausnutzung eines 4-kHz-Kanales wurden Überlegungen zu Grunde gelegt, welche von denjenigen des CCITT (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) abweichen. Da neben Telephonie auch Fernwirkkanäle zu übertragen sind, wurde die zur Verfügung stehende niederfrequente Netto-Bandbreite von rund 50...3400 Hz weiterhin unterteilt.

Für einen Telephonie-Dienstkanal ist erfahrungsgemäss eine Nutzbandbreite von 300...2000 Hz genügend, somit stehen noch rund 1200 Hz für die Unterbringung und gleichzeitige Übertragungsmöglichkeit von 4...6 Fernwirkkanälen zur Verfügung.

Diese sog. *Mehrzwecktechnik* sicherte die für den Netzausbau erforderliche Flexibilität. Jedes Gerät bot damit im Anschluss an den Erst-Ausbau mit Telephonie- und Wahlkanal die Möglichkeit eines Weiterausbaues durch zusätzliche Überlagerung von Fernwirkkanälen, ohne dass ein Eingriff in die einmal festgelegte Planung der Hochfrequenzkanäle notwendig wurde.

Fig. 2 zeigt eine Teilansicht des TFH-Geräteraaumes der Schaltstation Lavorgo der ATEL mit 9 Einseitenbandgeräten.

Die Wahl der Mehrzwecktechnik, im Rahmen des 4-kHz-Rasters hat sich in der Folge als überaus glück-

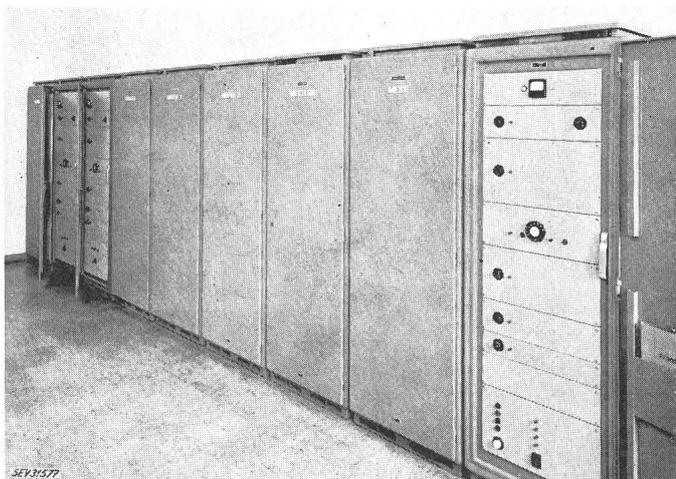


Fig. 2

Teilansicht des TFH-Geräteraaumes in der Schaltstation Lavorgo der ATEL mit 9 TFH-Einseitenbandgeräten für gleichzeitiges Senden und Empfangen

lich erwiesen. Die in gewissen Ländern bevorzugte Einzwecktechnik mit getrennten Übertragungsgeräten für Telephonie und Fernwirkkanäle erfordert bei jedem Ausbau weitgehende Trägerfrequenzschiebungen und damit sehr kostspielige Anpassungen in den Ankopplungs-Elementen der Hochspannungsleitung.

Erfahrungsgemäss sind die Leitungsdämpfungen derart, dass man für das schweizerische Fernwirknetz mit einem Einheitsgerät von 10-W-Einseitenbandleistung, in drei Stufen regelbar, auskommt. Die unteren Spannungsebenen weisen im allgemeinen eine höhere kilometrische Dämpfung auf, als die höheren Spannungen mit grossen Leiterquerschnitten oder den übertragungstechnisch besonders günstigen Bündelleitern. Dafür sind die mittleren Teilstreckenlängen auf der 220-kV-Ebene grösser.

## 2.2 Frequenzplanung und Kopplungseinrichtungen

Wie schon erwähnt, sind jedem Trägerfrequenzkanal für Hin- und Rückweg im Trägerfrequenzbereich eine Bandbreite von je 4 kHz zugeordnet.

Das von der schweizerischen PTT zugelassene Trägerfrequenzspektrum umfasst die Bänder 40...160 kHz, 284...312 kHz, hierzu kam später ein weiteres Band von 416...452 kHz. In diesen Trägerfrequenzbereichen stehen somit zusammen 48 Kanäle (von je 4 kHz Breite) zur Verfügung. Ohne eine *Wiederverwendung* derselben Trägerfrequenzen auf mehreren örtlich auseinanderliegenden Leitungsabschnitten wäre ein Aufbau eines Trägerfrequenznetzes im geplanten Umfang von rund 300 Kanälen gar nicht möglich. Die Voraussetzungen für die Wiederverwendung von Trägerfrequenzen sollen deshalb ganz kurz gestreift werden.

Eine der Voraussetzungen liegt in der Forderung, die längs einer bestimmten Hochspannungsleitung verlaufenden Kanäle zweckmässig zusammenzufassen und gruppieren zu können. Daraus ergeben sich erst einmal Bedingungen an die Einkopplungsglieder, wie Leitungsübertrager und Kopplungskondensatoren der betreffenden Leitung. Die zwischen Ausgang der Trägerfrequenzgeräte und Kopplungskondensatoren geschalteten Leitungsübertrager haben die Aufgabe, die charakteristische Impedanz der Hochspannungsleitung an den Wellenwiderstand der zwischen Send- und Empfangsgeräte und Einkopplungseinrichtung liegenden Hochfrequenzkanal anzupassen. Sie sind so zu dimensionieren, dass sie innerhalb der Durchlass-Bandbreite, welche dem zu übertragenden Kanalbündel entspricht, eine minimale Einkopplungsdämpfung aufweisen, andere Frequenzen jedoch gesperrt bleiben. Nach denselben Überlegungen werden die Sperrbereiche der in den Leitungszug geschalteten Sperren ausgelegt mit dem Unterschied, dass ihre Sperrdämpfung innerhalb der vorgegebenen Bandbreiten möglichst hoch sein soll. Die Sperren werden deshalb vorzugsweise als *Bandsperrn* abgestimmt.

Von diesen Sperreigenschaften werden andererseits die Möglichkeiten der Wiederverwendung von Trägerfrequenzen weitgehend beeinflusst. Je niedriger die Pegel der noch messbaren Trägerfrequenzen auf den Leitungen ausserhalb der belegten Leitungsabschnitte sind, desto häufiger ist eine Wiederverwendung derselben Frequenzen in einem gegebenen Netz von Hochspannungsleitungen möglich.

Die Sperreigenschaften der Sperren hängen ihrerseits von einer ganzen Reihe von Parametern ab, die nur teilweise trägerfrequenten Charakter haben. So

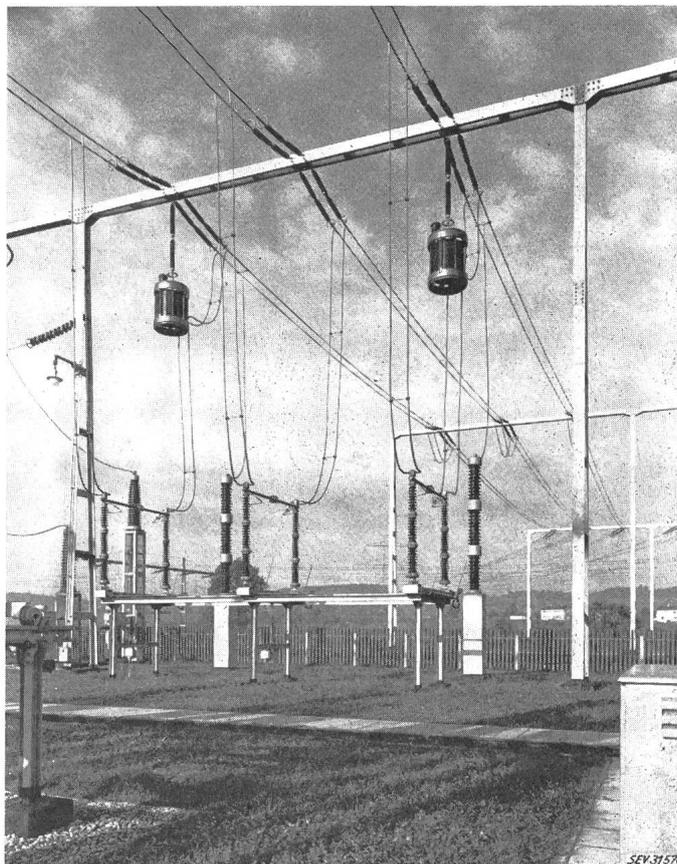


Fig. 3  
Zweiphasen-Ankopplung an eine 380-kV-Bündelleitung  
in der Schaltstation Mettlen  
hängend: 2 Breitbandsperrn für 2000 A Nennstrom und 90 kA  
dyn. Kurzschlußstrom  
stehend: 2 Kopplungskondensatoren für 380 kV, Kapazität 5000 pF  
In den Sockeln sind die Schutzeinrichtung und Leitungsübertrager  
eingebaut

wird beispielsweise der Sperrbereich für eine gegebene Sperre und gegebene Sperreigenschaften sehr schmal, sobald die untere Grenze des zu sperrenden Bandes bei tiefen Trägerfrequenzen liegt.

Von der Preisseite her bestehen wiederum scharfe Einschränkungen in der Wahl der Grundinduktivität und damit der erreichbaren Sperrwirkung einer Sperre. Die in vermaschten Netzen auftretenden hohen Kurzschlußströme setzen der Grösse einer Sperre in der Regel die obere Grenze.

Diese flüchtigen Hinweise sollen lediglich verständlich machen, wie komplex die Dimensionierung von Sperren ist und immer einen Kompromiss zwischen starkstrom- wie trägerfrequenztechnischen Überlegungen darstellt.

Fig. 3 zeigt Sperren und Einkopplungseinrichtungen einer 380 kV Leitung im Lastverteiler Mettlen. Die in dieser Figur abgebildeten Sperren sind mit Rücksicht auf die hohen, in Mettlen auftretenden Kurzschlußleistungen, die zur Zeit grössten in Europa im Betrieb stehenden Einheiten.

Die durch Sperren abgegrenzten *Leistungsabschnitte* entsprechen in der Regel den Leitungsabschnitten zwischen Hochspannungsschaltern und reichen damit von einem Kraftwerk bis in das nächste Unterwerk, bzw. von Unterwerk zu Unterwerk. Für die Mehrzahl der TFH-Kanäle befinden sich die jeweils zugehörigen Trägerfrequenzgeräte an den Enden dieser Leistungsabschnitte; nur eine kleine Zahl von TFH-Kanälen, besonders auf der 220-kV-Ebene, wird durch mehr-

fache Aus- und Einkopplung über sog. Hochfrequenzbrücken über mehrere Leitungsabschnitte hinweggeführt.

Im Laufe der Zeit haben sich auf Grund der vielen Erfahrungen Regeln herausgebildet, in welcher Weise und wie oft Trägerfrequenzen innerhalb eines bestimmten Hochspannungsnetzes wieder verwendet werden dürfen.

Eine Wiederverwendung derselben Trägerfrequenzen in direkt benachbarten Leitungsabschnitten ist bei dem geforderten Störabstand (Pegelunterschied zwischen Nutz- und Störsignalen min. 3 N) nicht durchführbar. Innerhalb derselben Spannungsebene sollen in der Regel zwei Teilstrecken übersprungen, d. h. mit anderen Trägerfrequenzen belegt werden. Von Spannungsebene zu Spannungsebene genügt eine Teilstrecke, sofern nicht durch Parallelführung von Leitungen die Gefahr des Übersprechens wiederum vergrößert wird. Bei der Frequenzplanung ist weiterhin auch die Vermaschung des Hochspannungsnetzes zu beachten, sowie die mögliche Einführung neuer Spannungsebenen, wie z. B. die 380-kV-Ebene. Es ist hier nicht der Ort, auf alle die Schwierigkeiten einzugehen, die sich einstellen, sobald in einem grossen Netz eine gewisse Frequenz-Belegungsdichte erreicht ist.

Durch eine rückhaltlos offene Zusammenarbeit aller Werke, der Industrie und der PTT, im Rahmen des erwähnten Expertenkomitees, konnte eine weitsichtige Planung des Übermittlungsnetzes durchgeführt und Schritt für Schritt in die Tat umgesetzt werden.

Ab 1953 wurden Einseitenband-Geräte in grösserem Umfang in Betrieb gesetzt. Sukzessive wurden im Laufe der folgenden Jahre die älteren noch in Betrieb stehenden Zweiseitenbandgeräte ersetzt oder an die Peripherie in Gebiete kleinerer Kanaldichte verlegt. Damit konnte im Zuge der konsequent durchgeführten Frequenzplanung dem Wunsche der Elektrizitätswerke nach einem Weiterausbau des Netzes und nach grösserer Kanalzahl auf den Hauptverbindungsadern weitgehend Rechnung getragen werden. Fig. 4 zeigt in etwas vereinfachter Darstellung den Stand des Ausbaues des TFH-Netzes 1962 mit total 380 in Betrieb stehenden 4-kHz-Kanälen.

In diesem Zusammenhang darf auch darauf hingewiesen werden, dass in keinem Land der Welt eine auch nur annähernd so grosse Zahl von TFH-Kanälen, sowohl bezogen auf die totale Leitungslänge, als auch bezogen auf die Fläche des versorgten Gebietes, im Betrieb stehen.

### 2.3 Automatik-Einrichtungen

Das Zusammenwachsen der ursprünglich isoliert arbeitenden Netze einzelner Gesellschaften erforderte ebenfalls eine einheitliche Regelung des Problems der

Fig. 4  
Stand des Ausbaues des TFH-Netzes der Schweizerischen Elektrizitätswerke Anfang 1962 mit ca. 380 4-kHz-Kanälen. Jeder Kanal ist im Mittel mit 5 Teilkä-  
nen belegt, so dass rund 2000 Informations-Übertragungskanäle mit zusammen 80 000 Kanal-Kilometern im Betrieb stehen



automatischen Wahl. Es war von vornherein klar, dass ein leistungsfähiges TFH-Netz nur mit automatischer Durchwahl aufgebaut werden konnte. Die in den Werken ohnehin vorhandenen Nebenstellenzentralen wurden durch Zufügen von sog. Tandemgruppenwählern der Doppelaufgabe von Teilnehmervermittlung lokal und der automatischen Vermittlung innerhalb des TFH-Netzes angepasst. Die im automatischen Fernverkehr des PTT-Telephonie-Netzes bestens erprobten Prinzipien der Wahl mit Fernkennziffern, der Vierdrahtschaltung bei Verkehr über mehrere Trägerfrequenz-Teilstrecken und der Pegel-Angleichung wurden für das gesamte TFH-Netz zur Norm erklärt und im Laufe der Jahre sukzessive eingeführt.

Die Telephoniekanäle, welche im TFH-Netz verlaufen, stellen zusammen, von wenigen kleineren isolierten Netzen abgesehen, mit den zugehörigen Einrichtungen für automatische Wahl ein integriertes, vom öffentlichen Telephonnetz der PTT vollständig getrenntes Telephonnetz dar. In diesem Telephonnetz der Elektrizitätswerke besteht die Möglichkeit der automatischen Wahl mit Fernkennziffern über mehrere TFH-Teilstrecken. Fig. 5 gibt Aufschluss über die Struktur der Fernwahl in diesem Telephonnetz. Es bestehen rund 50 Netzgruppen-Hauptämter mit dreistelligen Fernkennziffern. An diese sind die Abonnenten direkt oder über ein Netzgruppen-Endamt angeschlossen.

Die Kraftwerke besitzen und betreiben die eigentlichen TFH-Trägerfrequenzanlagen, sowie alle an sie angeschlossenen Fernwirkeinrichtungen, währenddem die PTT die Automatanlagen, automatische Vermittlungseinrichtungen, und zugehörige Telephonapparate an die Elektrizitätswerke vermietet und deren Wartung übernimmt. Entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen können die Automatik-Einrichtungen einerseits für die Durchwahl ins PTT-Netz und andererseits für die Vermittlung innerhalb des TFH-Netzes, nicht jedoch für direkte Durchwahl vom PTT-Netz in das TFH-Netz und umgekehrt verwendet werden.

### 2.4 Fernwirkeinrichtungen

Erst die Mehrfachausnutzung durch gleichzeitige Übertragung von Telephonie und Fernwirk-Informationen, in Form der erwähnten Mehrzwecktechnik,

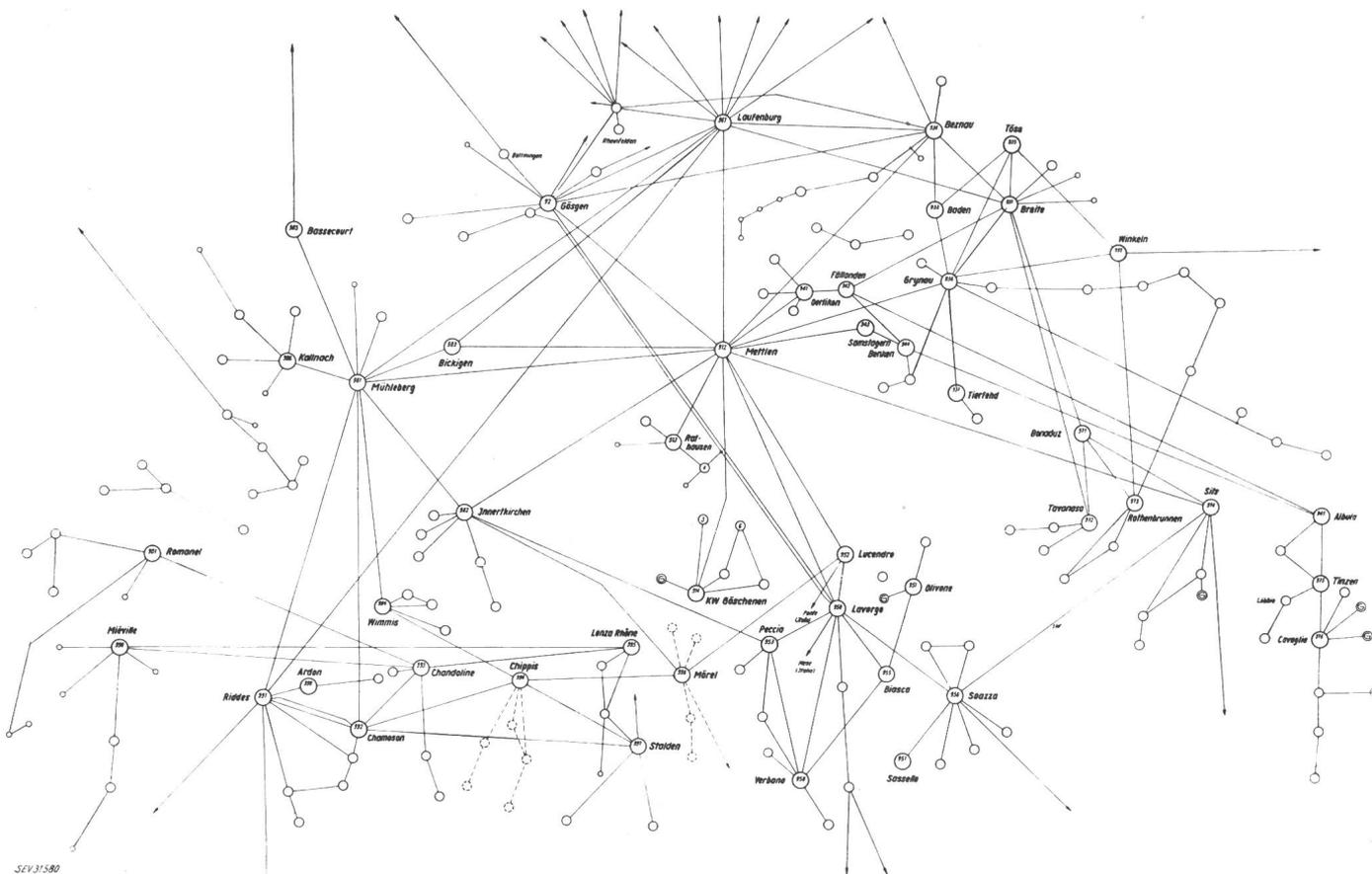


Fig. 5

Prinzipieller Aufbau des Telefon-Netzes mit automatischer Durchwahl der schweizerischen Elektrizitätswerke  
 Bestehende, offerierte und projektierte Anlagen  
 Das Telefon-Netz verläuft praktisch ausschliesslich im TFH-Netz

- Netzgruppenhauptamt
- Netzgruppenknotenamt bzw. -endamt
- aussenliegender Tln.-Anschluss oder HF-Anschluss
- ⊙ Gruppenstelle

gibt dem Übermittlungsnetz den Charakter eines Fernwirknetzes.

Es ist nicht Aufgabe dieses Aufsatzes, die eigentlichen Fernwirkrichtungen im Detail zu beschreiben; jedoch ist es zum besseren Verständnis erwünscht, mindestens den Aufgabenbereich dieser Einrichtungen und die Bedingungen für die Durchschaltung im Fernwirknetz grob zu umreissen.

Ausser dem in allen Fällen vorhandenen Telephonie- und Wahlkanal sind die folgenden Arten von Informationen zu übertragen:

- a) Fernmelden und Fernsteuern;
- b) Fernmessen und Fernregulieren;
- c) Auslösesignale für den Leitungsschutz.

Die Art und Weise des Einsatzes der Teilkanäle richtet sich nun einerseits nach den individuellen Erfordernissen der Werke, andererseits sind auch Gesichtspunkte des Gemeinschaftsbetriebes vieler Kraftwerke und im besondern einer möglichst ökonomischen Ausnützung aller Wasserkräfte in der Form eines Verbundbetriebes der Kraftwerke massgebend.

Diese Informationen müssen in eine Form gebracht werden, welche eine tonfrequente Übertragung im Bereich von 2200...3400 Hz erlaubt. Fernmesseinrichtungen besitzen in der Regel schon einen tonfrequenten Ein- und Ausgang und können direkt an die Übertragungsgeräte angeschlossen werden. Fernsteuerungen herkömmlicher Technik erzeugen Gleichstrom-Impulstelegramme, die zuerst in eine tonfrequente Übertragung

bare Form gebracht werden müssen. Hierzu werden sende- und empfangsseitig nach dem Frequenz-Umstapprinzip (frequency-shift) arbeitende zusätzliche Niederfrequenz-Übertragungsgeräte zwischen die eigentlichen Fernsteuerungen und Trägergeräte geschaltet. Fernmelden und Fernsteuern erfordert Teilkanäle von brutto 120 Hz Bandbreite, Fernmessen und Fernregulieren je nach erforderlicher Übertragungsgeschwindigkeit eine solche von brutto 120...480 Hz.

Die Hochspannungsleitungen der 220-kV-Ebene und höher sind mit *Distanzschutz* und *Schnellwiedereinschaltung* ausgerüstet. Die Sicherstellung der *Simultanen* Auslösung der Schalter in Grundzeit erfordert eine Übertragungsmöglichkeit eines Auslösesignals von einem Ende des Leitungsabschnittes zum anderen und umgekehrt. Diese Aufgabe der Übertragung eines Auslösesignales wird unter Zwischenschaltung eines besonderen Kopplungsgerätes ebenfalls dem TFH-Mehrzweckgerät anvertraut.

Die Übertragung hat in der Regel über die gestörte Leitung (den Fehler hindurch) zu erfolgen. Für die Zeitdauer des ein- oder mehrphasigen Kurzschlusses ist somit mit einer erhöhten Dämpfung der Übertragung zu rechnen. Während der kurzen Zeit der Übermittlung des Auslösesignales werden die übrigen Teilkanäle des TFH-Gerätes abgeschaltet und die kurzzeitig über den Nominalwert von 10 W erhöhte Sendeleistung der Übertragung des Auslösesignales allein zur Verfügung gestellt. Damit erübrigt sich, ohne Preisgabe von Übertragungssicherheit, die Notwendig-

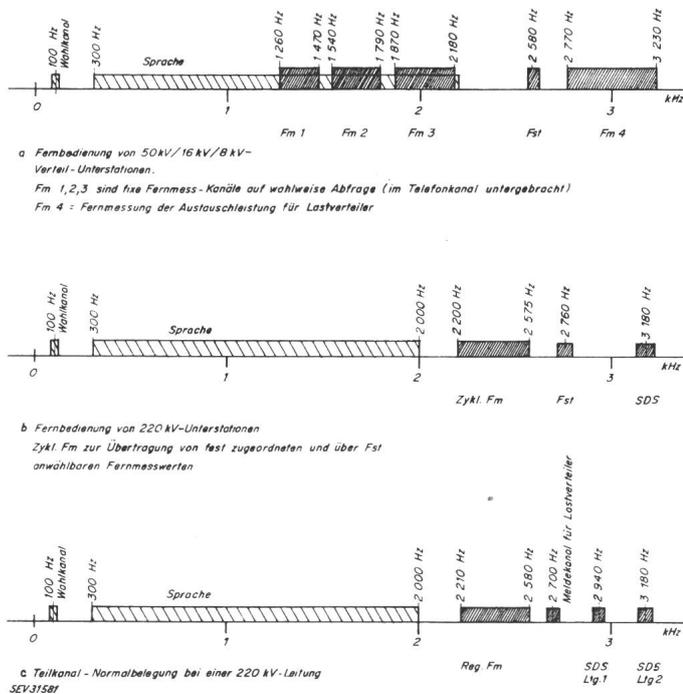


Fig. 6

**Typische Belegungen eines 4-kHz-Kanals mit Teilkanälen**

Die zur Verfügung stehende Nettobandbreite von 50...3400 Hz wird ausser für Sprachübertragung auch für die gleichzeitige Übertragung der folgenden Informationen benutzt: Fernsteuerung und Rückmeldung (Fst), Fernmessung dauernd oder zyklisch (Fm), in beiden Fällen auch auf Anwahl, Auslösesignale für Schnelldistanzschutz (SDS)

keit, für Schutzzwecke gesonderte Träger-Kanäle vorzusehen. Die Technik der Schalter-Auslösung «durch den Fehler hindurch» wurde schon vor 1951 das erste Mal in der Schweiz erprobt und hierauf in grösserem Umfang eingeführt. Sie wird heute auch mehr und mehr in anderen Ländern anerkannt und verwendet.

Fernwirkkanäle sind, im Gegensatz zu den Telephoniekanälen, in der Regel über eine vorbestimmte Anzahl von TFH-Teilstrecken fest durchgeschaltet. In der Belegung der TFH-Kanäle mit Fernwirkkanälen haben sich im Laufe der Jahre, entsprechend den nachrichtentechnisch spezifischen Aufgaben der verschiedenen Spannungsebenen, einige charakteristische Merkmale herausgebildet:

a) Auf der Ebene der Verteilspannungen 30...90 kV herrschen Aufgaben vor, wie die Fernbedienung unbemannter Unterwerke von einer zentralen Schaltwarte aus. Fernsteuerkanäle zu und Fernmesskanäle von den fernbedienten Objekten her, bilden den Hauptanteil der Fernwirkkanäle.

b) Die Ebene von 150 kV wird mehr und mehr ins Verteilnetz einbezogen und dementsprechend treten die Übertragungsaufgaben im Rahmen der Fernbedienung in den Vordergrund.

c) Die 220-kV-Ebene und die nächstfolgende, im Ausbau begriffene Spannungsebene von 380 kV sind die Energie-Zubringer von den Kraftwerken, sowie für Import aus dem Ausland und Export in umgekehrter Richtung bestimmt. Sie enden in den Umspannwerken, welche zugleich auch Aufgaben der Lastverteilung übernehmen.

Diese Leitungen sind durchwegs mit Hochfrequenzkupplung zum Schnelldistanzschutz ausgerüstet. In vielen Fällen sind über einen TFH-Kanal auch die Auslösekanäle für zwei Leitungen desselben Gestänges geführt. Auf diesen Ebenen sind eigentliche Fernsteuerungsaufgaben eher selten. Dafür treten Fernmessungen in den Vordergrund.

Fig. 6 zeigt typische Belegungen eines 4-kHz-Kanals mit Teilkanälen.

Es existieren zwei Kategorien von Fernmesskanälen, die sich vor allem in ihren Aufgaben unterscheiden:

In der Richtung von den Kraftwerken zu den Lastverteilern werden sie, meist in grösserer Zahl gebündelt als zyklische Fernmessungen übertragen und dienen der allgemeinen Orientierung des Betriebspersonals in den Lastverteilern über die erzeugte Leistung in den zugeordneten Kraftwerken.

Für die Bedürfnisse der Frequenz- und Wirkleistungsregelung besteht ein von den erwähnten Fernmesskanälen unabhängiges, ebenfalls ausschliesslich über TFH-Kanäle geführtes Fernmess-Reguliernetz.

Dieses Reguliernetz stellt eine Besonderheit dar und ist in dieser ausgebauten Form in keinem Lande anzutreffen. Es lohnt sich deshalb, ihm noch einige Zeilen zu widmen.

Sowohl der Energieaustausch zwischen den einzelnen schweizerischen Gesellschaften unter Einschluss der Partnerwerke, wie auch der Austausch mit dem Ausland erfolgt nach dem Prinzip der Frequenz-Leistungsregelung, wobei mehrere Netzregler und eine Reihe von Regulierwerken an dieser Aufgabe gleichzeitig beteiligt sind.

Es ist nun eine Eigenart dieser Form des Verbundbetriebes, dass im Zuge der Planung des Energieaus-

Fig. 7  
**Netz der Regulierkanäle für Frequenz-Leistungs-Regulierung, bestehend aus Dauer-Fernmesskanälen**

Die Messwerte können über die in den Regulier-Verteilstationen aufgebauten Regulierverteiler summiert und weitergeleitet werden. Die Regulierkanäle verlaufen ebenfalls im TFH-Netz

- ⊙ Regulierverteilstation
- ⊕ Übergabe-Meßstellen
- ⊕ Regulierwerk
- ⊕ Fm.-Sendestelle für Regulierung
- ⊕ Fm.-Empfangseinrichtung für Regulierung

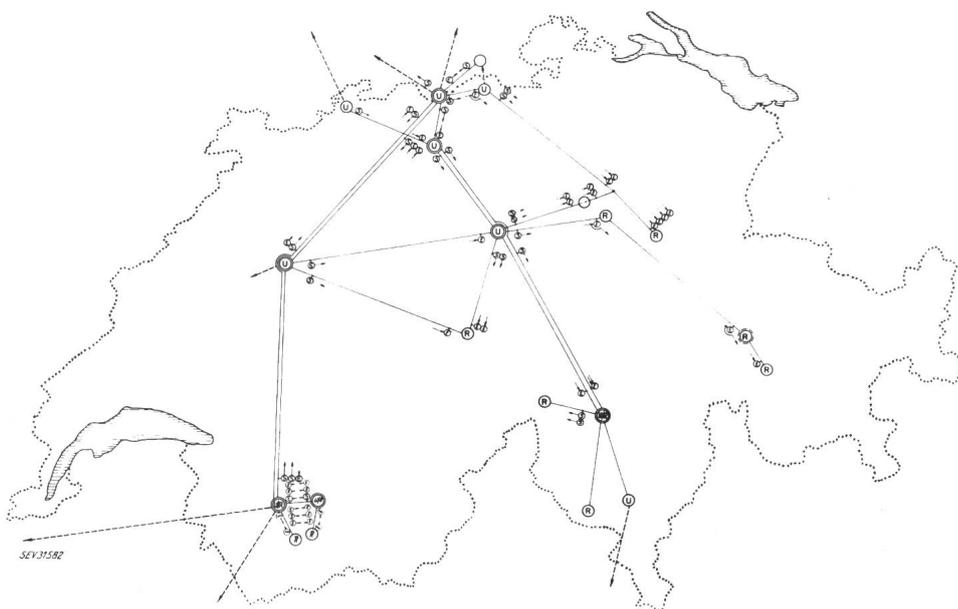
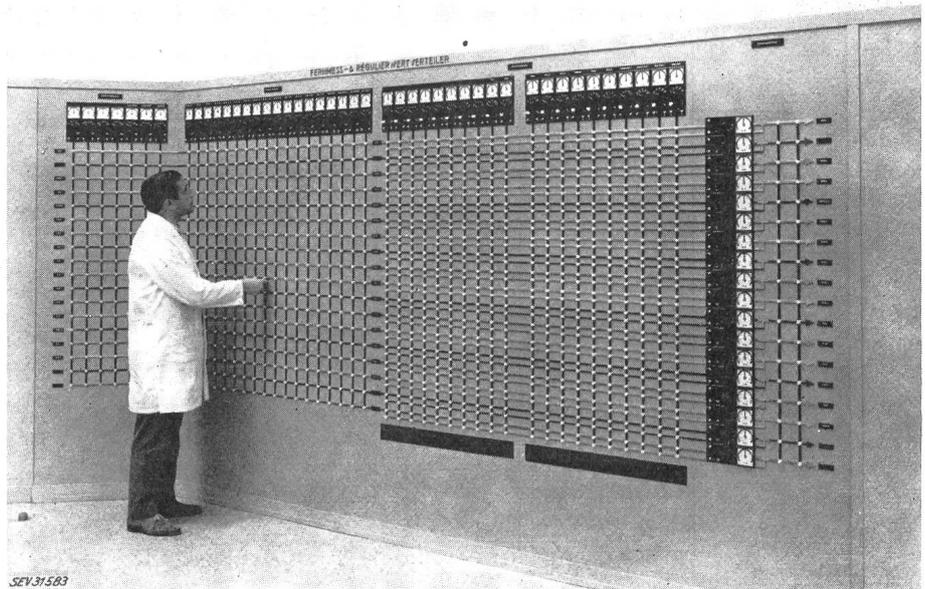


Fig. 8

**Fernmess- und Regulierteiler  
im Kommandoraum der Schaltstation Mettlen**  
*Vertikale Schienen:* ankommende Fernmess- und lokal gemessene Werte  
*Horizontale Schienen:* summierte, transitgeführte abgehende Messwerte von Übergabeleistungen. Sie werden den Netzreglern für Frequenz-Leistungsregelung zugeführt  
 Die Summierung geschieht durch Drücken der Tasten in den Kreuzungspunkten. Sie wird durch eine zugeordnete Relais-Automatik ausgeführt



tausches die Anzahl und die Orte der Leistungsübergabestellen öfters wechseln können. Ebenso kann die Anzahl der an der Regelung beteiligten Kraftwerke auf Grund langfristiger Vereinbarungen, wie auch bedingt durch die momentanen Wasserverhältnisse, wechseln.

Das Fernmess-Reguliertnetz hat somit die folgenden Aufgaben zu erfüllen:

- a) Es müssen alle in Frage kommenden Leistungs-Übergabewerte über gewissen Regionen, evtl. mit Bildung von Zwischensummen, unter Berücksichtigung des Vorzeichens und der Messbereiche, zentral summiert werden können.
- b) Die Summenleistung muss entweder zur weiteren Aufsummierung von Messwerten weitergeleitet oder direkt den Netzreglern zugeführt werden können.
- c) Die von den Netzreglern herrührenden Stellgrößen müssen wiederum an eines oder mehrere Kraftwerke geleitet werden können.
- d) Die Übertragung muss ein Optimum an Sicherheit in Bezug auf Ausfall und Störbeeinflussung aufweisen. Störungen sollen sofort angezeigt werden und eine Umschaltung des automatischen Regulierbetriebes auf Handbetrieb bewirken.

Mit Rücksicht auf die geforderte Sicherheit der Übertragung, der notwendigen kleinen Zeitkonstanten der Fernmessübertragung wurde das Reguliertnetz nicht in das System der zyklischen Fernmesskanäle einbezogen, sondern als ein System separater Fernmesskanäle nach dem Frequenz-Variationsprinzip aufgebaut. Fig. 7 zeigt den schematischen Verlauf der über das TFH-Netz geführten Regulierkanäle.

Die Aufgabe der Summierung und Verteilung der Messwerte wird durch sog. *Regulierterteiler* gelöst. Fig. 8 zeigt den in Mettlen in Betrieb stehenden Regulierterteiler. Der Aufbau in Form eines Kreuzschienen-Schaltbildes ermöglicht rasches Arbeiten und bestmögliche Übersicht. Die Summierung und Weiterleitung der Messwerte in einer bestimmten Richtung erfolgt durch Drucktasten, die in den Kreuzungspunkten angeordnet sind.

### 2.5 Die Energieversorgung

Die Betriebssicherheit eines solchen ausgedehnten Fernwirknetzes ruht zum wesentlichen Teil auf der Sicherstellung der Energieversorgung aller Einrichtungen. In den Kraftwerken bestehen in der Regel keine Probleme. In grösseren Unterwerken wird zur Lösung

mit dauernd laufender Dreimaschinen-Gruppen ge-griffen, welche abwechslungsweise vom Netz oder der Stationsbatterie gespeist werden und unterbrochlos 220 V, 50 Hz, abgeben. In kleineren Unterwerken sind zur Notstromversorgung Zweimaschinen-Sätze vorgesehen, welche bei Netzausfall automatisch anlaufen. Die entstehende kurze Unterbrechung der Speisespannungen wird lediglich für die Anodenspannungen der Geräte durch Parallelkondensatoren überbrückt, während für die Röhrenheizung keine Pufferung notwendig ist.

### 3. Ausblick

Im Ausbau des Fernwirknetzes ist vorerst kein Ende abzusehen. Die Vermehrung unbedienter Werke, die Lösung neuer Aufgaben, wie beispielsweise vermehrte Automatisierung und Optimierung von Energie-Produktion und -Austausch, alle zusammen erheischen früher oder später die Bereitstellung zusätzlicher Informations-Übertragungseinrichtungen. Die TFH-Übertragung erreicht jedoch in naher Zukunft, infolge restloser Ausnützung der bewilligten Frequenzbänder, das Stadium des Vollaushaubes. Sofern keine Möglichkeit besteht, die zugebilligten Frequenzbänder zu erweitern, muss zu anderen Übertragungsmethoden ge-griffen werden.

Ein möglicher Weg ist in anderen Ländern schon vorgezeichnet. So erhalten in Deutschland, Italien, den angelsächsischen Ländern, Japan u. a. die Elektrizitätsgesellschaften Konzessionen zum Betrieb werkeigener Mikrowellen-Richtstrahlverbindungen. Der Ausbau dieser Richtstrahlnetze hat in mehreren Ländern schon einen beträchtlichen Umfang erreicht. Die schweizerischen Elektrizitätswerke sind gegenwärtig daran, die Möglichkeiten, welche Richtstrahlverbindungen zur Erweiterung ihres Fernwirknetzes bieten, eingehend zu studieren.

Es ist zu hoffen, dass auch in diesem Fall die bisher so bewährte Zusammenarbeit zwischen den Elektrizitätswerken und der PTT zu einer technisch, wie betrieblich befriedigenden Lösung führen wird.

#### Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. A. de Quervain, Direktionsassistent, AG Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).