

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 54 (1963)

Heft: 5

Artikel: Das Fernwirknetz der schweizerischen Elektrizitätswerke

Autor: Quervain, A. de

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

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: 16.02.2026

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

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 benutzen. 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 amateurhaften 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 Lötsch und Beznau eine erste EW-Telephonieanlage 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 zugeschlagen, 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 Verantwortungsbezirke 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:

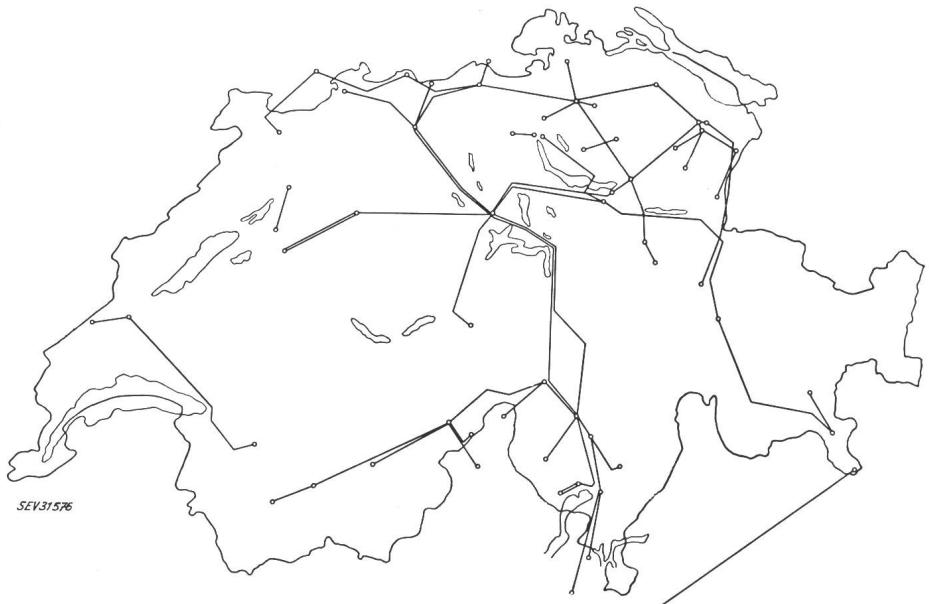
a) Schaffung von Regeln und Leitsätzen für die Hochfrequenzverbindungen auf Hochspannungsleitungen, welche als Rahmenordnung für die vielseitigen technischen und administrativen Probleme eines Übermittlungsnetzes zu gelten hatten und eine Voraussetzung eines zielbewussten Ausbaues darstellten.

b) Vorbereitung eines Frequenzplanes, welcher es gestatten sollte, bei der Ergänzung des Übertragungssystems 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 zuließen.

Da in jenem Zeitpunkt nur teilweise vorauszusehen 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 anpassungsfähig 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 Übertragungskanals 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 anderseits 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-Kanals wurden Überlegungen zu Grunde gelegt, welche von denjenigen des CCITT (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) abweichen. Da neben Telefonie auch Fernwirkanäle zu übertragen sind, wurde die zur Verfügung stehende niederfrequente Netto-Bandbreite von rund 50...3400 Hz weiterhin unterteilt.

Für einen Telefonie-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 Fernwirkanälen zur Verfügung.

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

Fig. 2 zeigt eine Teilansicht des TFH-Geräteraumes in 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-

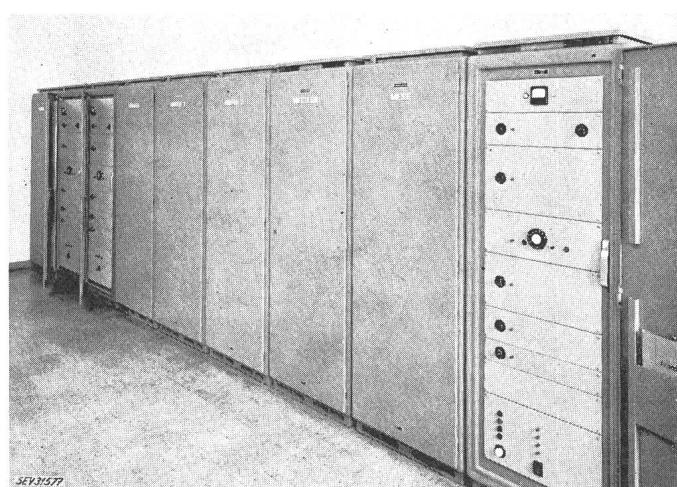


Fig. 2
Teilansicht des TFH-Geräteraumes in der Schaltstation Lavorgo
der ATEL
mit 9 TFH-Einseitenbandgeräten für gleichzeitiges Senden und
Empfangen

lich erwiesen. Die in gewissen Ländern bevorzugte Einzwecktechnik mit getrennten Übertragungsgeräten für Telephonie und Fernwirkanäle erfordert bei jedem Ausbau weitgehende Trägerfrequenzschreibungen und damit sehr kostspielige Anpassungen in den Ankoppelungselementen der Hochspannungsleitung.

Erfahrungsgemäß sind die Leitungsdämpfungen derart, dass man für das schweizerische Fernwirkanäle 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 Sende- 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 *Bandsperren* abgestimmt.

Von diesen Sperreigenschaften werden anderseits 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

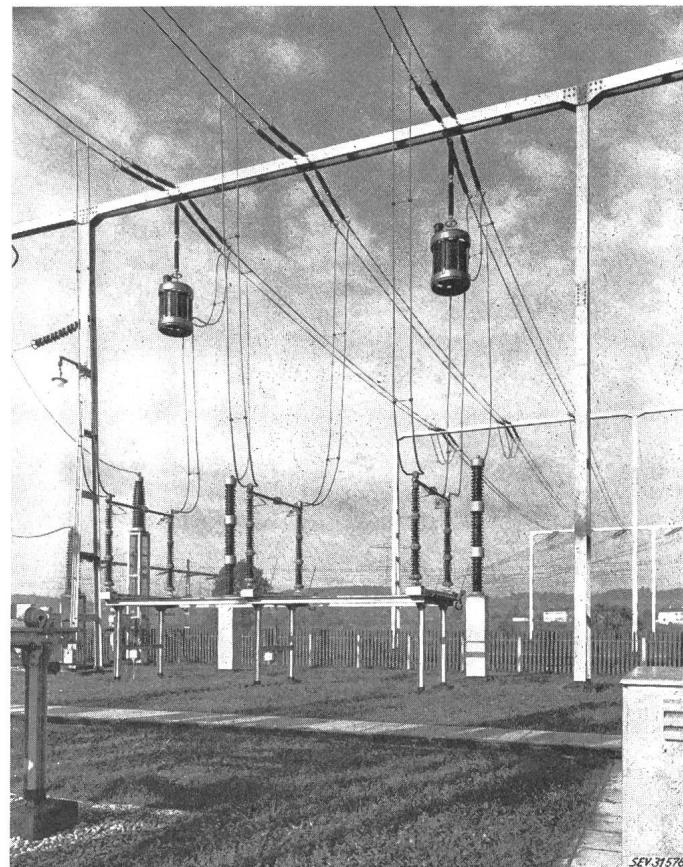


Fig. 3

Zweiphasen-Ankopplung an eine 380-kV-Bündelleitung
in der Schaltstation Mettlen

hängend: 2 Breitbandsperren 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 *Leitungsabschnitte* 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 Leitungsabschnitte; 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 durchgeföhrten 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

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 Telephonikanäle, 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 Automatikanlagen, 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 anderseits 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,

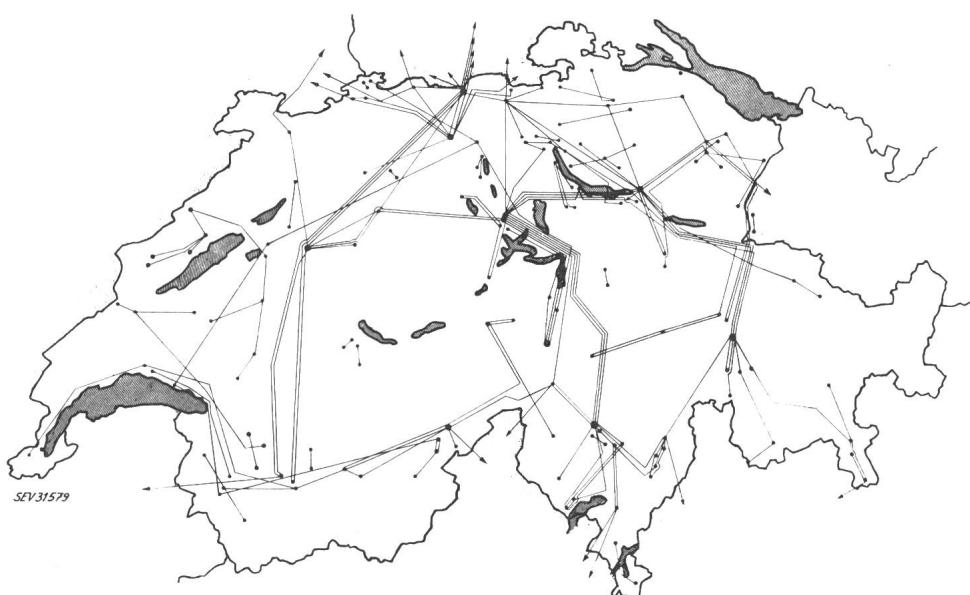


Fig. 4
Stand des Ausbaues des TFH-Netzes der Schweizerischen Elektrizitätswerke Anfang 1962 mit ca. 380 4-kHz-Kanälen
Jeder Kanal ist im Mittel mit 5 Teilkanälen belegt, so dass rund 2000 Informations-Übertragungskanäle mit zusammen 80 000 Kanal-Kilometern im Betrieb stehen

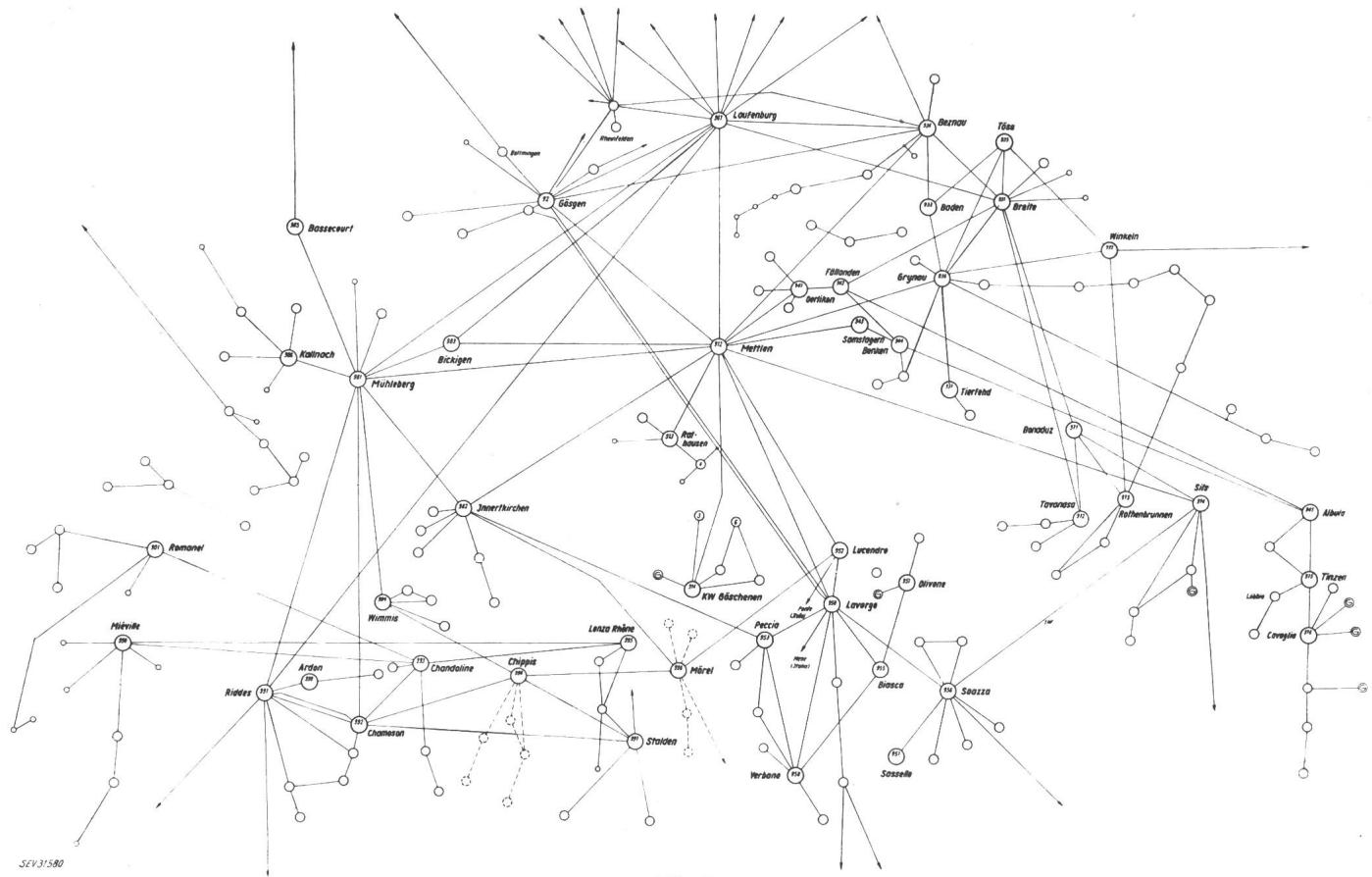


Fig. 5

Prinzipieller Aufbau des Telephon-Netzes mit automatischer Durchwahl der schweizerischen Elektrizitätswerke
Bestehende, offerierte und projektierte Anlagen

Das Telephon-Netz verläuft praktisch ausschliesslich im TFH-Netz

- Netzgruppenhauptamt
- aussenliegender Tln.-Anschluss oder HF-Anschluss

- Netzgruppenknotenamt bzw. -endamt
- ◎ Gruppenstelle

gibt dem Übermittlungsnetz den Charakter eines Fernwirknets.

Es ist nicht Aufgabe dieses Aufsatzes, die eigentlichen Fernwirkeinrichtungen im Detail zu beschreiben; jedoch ist es zum besseren Verständnis erwünscht, mindestens den Aufgabenbereich dieser Einrichtungen und die Bedingungen für die Durchschaltung im Fernwirknets 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 übertrag-

bare Form gebracht werden müssen. Hierzu werden sende- und empfangsseitig nach dem Frequenz-Umtastprinzip (frequency-shift) arbeitende zusätzliche Niederfrequenz-Übertragungsgeräte zwischen die eigentlichen Fernsteuerungen und Trägergeräte geschaltet. Fernmelden und Fernsteuern erfordert Teil-Kanäle 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 Auslösesignals allein zur Verfügung gestellt. Damit erübrigts sich, ohne Preisgabe von Übertragungssicherheit, die Notwendig-

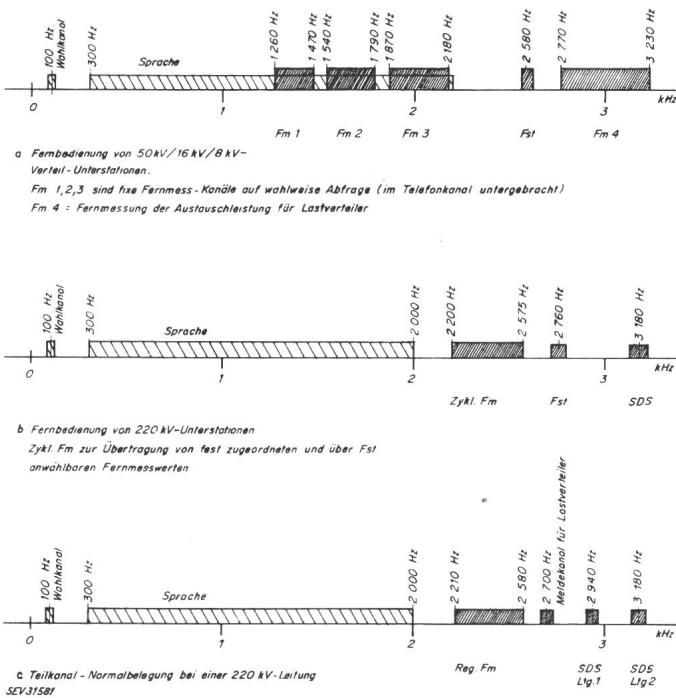


Fig. 6

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 benützt: 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 Telephonikanälen, 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-Zubringe 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 Teilkanaßen.

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-Regulierernetz*.

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-

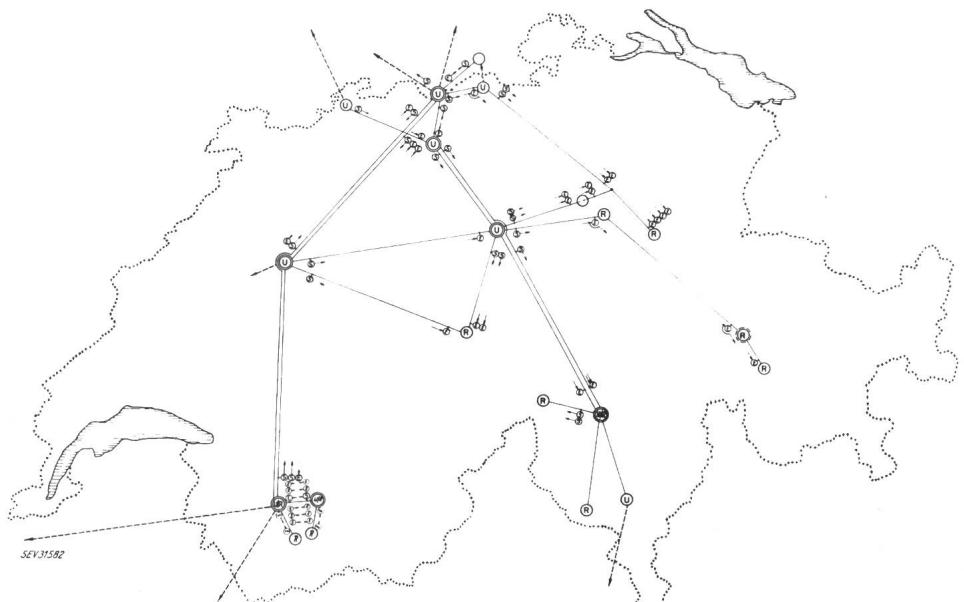


Fig. 7

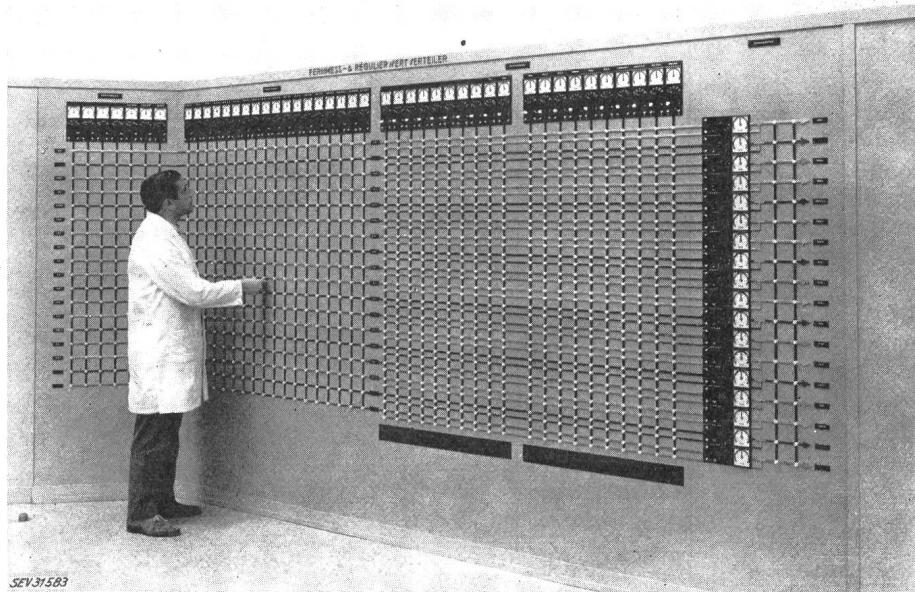
Netz der Regulierkanäle für Frequenz- Leistungs-Regelung, bestehend aus Dauer-Fernmesskanälen

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 Regulierverteiler
im Kommandoraum der Schaltstation Mettlen
Vertikale Schienen: ankommende Fernmess- und lokal gemessene Werte
Horizontale Schienen: summierte, transitgeführte abgehende Messwerte von Übergabestellungen. 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-Reguliernetz 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 Reguliernetz 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. *Regulierverteiler* gelöst. Fig. 8 zeigt den in Mettlen in Betrieb stehenden Regulierverteiler. 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 gegeben, welche abwechselungsweise vom Netz oder der Stationsbatterie gespeist werden und unterbruchslos 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 Ausnutzung der bewilligten Frequenzbänder, das Stadium des Vollausbau. Sofern keine Möglichkeit besteht, die zugebilligten Frequenzbänder zu erweitern, muss zu anderen Übertragungsmethoden greifen 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 werkeigner 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).