

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
<b>Band:</b>	55 (1964)
<b>Heft:</b>	4
<b>Artikel:</b>	Bericht über Abschalt- und Regeluntersuchungen der Schweiz im westeuropäischen Verbundnetz
<b>Autor:</b>	Luder, H. / Pfander, A. / Bloch, H.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-916684">https://doi.org/10.5169/seals-916684</a>

### 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>**

- [32] Birkholz, U.: Diplomarbeit. Braunschweig 1956.
- [33] Halbleiter-Institut: Haubleiter in Wissenschaft und Technik. Moskau-Leningrad: 1958.
- [34] Justi, E.: Leitfähigkeit und Leitungsmechanismus fester Stoffe. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1948.
- [35] Kohler, M.: Das Verhalten der thermoelektrischen Effekte in tiefsten Temperaturen. Abh. Braunschweig. wiss. Ges. 2(1950), S. 49...54.
- [36] Justi, E. und G. Lautz: Referat Phys. Tag Heidelberg 1957.
- [37] Haken, W.: Ann. Phys. 32(1910), S. 291.
- [38] Körber, F. und U. Haschimoto: Z. anorg. Chemie 188(1930), S. 116.
- [39] Plank, R.: Elektrothermische Kälteerzeugung. Kältetechnik 10(1958)1, S. 2...10.
- [40] Ainsworth, L.: Single Crystal Bismuth Telluride. Proc. Phys. Soc. Lond.-B 69(1956)6, S. 606...612.
- [41] Wright, D. A.: Vortrag Halbleitertagung, Garmisch 1956.
- [42] Shilliday, T. S.: Performance of Composite Peltier Junctions of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . J. appl. Phys. 28(1957)9, S. 1035...1042.
- [43] Satterthwaite, C. B. und R. W. Ure: Electrical and Thermal Properties of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Phys. Rev. 108(1957)5, S. 1164...1170.
- [44] Putley, E. H.: The Hall Coefficient Electrical Conductivity and Magneto-Resistance of Lead Sulphide, Selenide and Telluride. Proc. Phys. Soc. Lond. -B 68(1955)1, S. 22...34.
- [45] Putley, E. H.: Thermoelectric and Galvanomagnetic Effects in Lead Selenide and Telluride. Proc. Phys. Soc. Lond. -B 68(1955)1, S. 35...42.
- [46] Forsberg, N.: Kylteknisk Tidskrift 11(1952), S. 53.
- [47] Harman, T. C.: Special Techniques for Measurement of Thermo-electric Properties. J. appl. Phys. 29(1958)9, S. 1373...1374.
- [48] Fleischmann, H., H. Guy und J. Rupprecht: Untersuchungen an IV III-I V VI<sub>2</sub>-Mischkristallen. Z. Naturf. 18(1963); [erscheint demnächst?].
- [49] Hänlein, W.: Die technologischen Probleme bei der Anwendung des Peltiereffektes. Kältetechnik 12(1960)5, S. 137...144.
- [50] Hänlein, W.: Neuartige Halbleiter-Kühlelemente. Siemens-Z. 35(1961)4, S. 264...265.
- [51] Hänlein, W.: Technische Anwendungsmöglichkeiten des Peltiereffektes. Kältetechnik 14(1962)3, S. 81...85.
- [52] Schreiner, H. und F. Wendler: Die Theorien der Sinterung im Hinblick auf Effekte bei der pulvermetallurgischen Herstellung thermoelektrischer Werkstoffe. I, II. Z. Metallkde. 52(1961)4, S. 218...223; S. 224...228.
- [53] Schreiner, H.: Pulvermetallurgische, thermoelektrische Werkstoffe. Österr. Chem.-Z. 63(1962)2.
- [54] Schreiner, H. und F. Wendler: Inversion der Thermokraft bei gesinterten thermoelektrischen Werkstoffen. Metall 16(1962)5, S. 399...402; 9, S. 855...858.

#### Adresse des Autors:

Dr. W. Hänlein, Laboratorium der Zentralwerksverwaltung der Siemens-Schuckertwerke AG, Nürnberg (Deutschland).

## Bericht über Abschalt- und Regeluntersuchungen der Schweiz im westeuropäischen Verbundnetz

Von H. Luder, A. Pfander, Laufenburg, und H. Bloch, W. Frey, Baden

621.311.161.072.8 (4)

Die Berechnung der für den Verbundbetrieb massgebenden Netzkenngrößen ist infolge der vermaschten Netze kompliziert und führt nur teilweise auf die wirklichen Werte. Im Oktober 1961 wurden in der Schweiz Versuche zur empirischen Ermittlung dieser Werte vorgenommen. Die Messungen wurden im Höchstspannungsnetz 220 kV durchgeführt und zwar innerhalb des schweizerischen Netzes, im Verbundnetz Deutschland-Frankreich-Schweiz und zwischen ad hoc gebildeten Netzgruppen. Die Ergebnisse zeigen den Einfluss grosser Laständerungen auf die Netzfrequenz und die verabredeten Übergabeleistungen. Weiter wurde die Wirkung der Netzregler auf solche Netzschwankungen im Normalbetrieb aufgenommen.

### 1. Einleitung

Der Verbundbetrieb der Schweiz mit dem westeuropäischen Netz wurde in verschiedenen Etappen erreicht. Vor einigen Jahren musste noch aus betrieblichen Gründen das schweizerische Hochspannungsnetz in zwei oder mehrere Regionen aufgeteilt werden, damit überhaupt ein Energieaustausch mit dem Ausland möglich war. Um den Energieaustausch sowohl mit Frankreich als auch mit Deutschland gleichzeitig tätigen zu können, kamen die betreffenden Gesellschaften überein, im Norden der Schweiz ihre Netze sternförmig zusammenzuschalten. Im Laufe der Zeit wurde das schweizerische Hochspannungsnetz im Südwesten nochmals mit Frankreich verbunden, parallel zu der bereits im Norden bestehenden Verbindungsleitung über Laufenburg nach Kembs. Später wurden auch die grenzüberschreitenden Leitungen Richtung Italien zum Parallelbetrieb herangezogen.

Um das betriebliche Verhalten der Regelung im Verbundbetrieb kennen zu lernen, wurden erstmals im Jahre 1957 durch die Arbeitsgruppe für Betriebsfragen der UCPTE (Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité) Versuche anberaumt zur Ermittlung der Leistungszahl der am Energieaustausch beteiligten Netze.

Auf Initiative der Autoren wurden im Oktober 1961 im Rahmen des westeuropäischen Verbundbetriebes verschiedene weitere Versuchsreihen durchgeführt.

Du fait que les réseaux sont maillés, le calcul des caractéristiques des réseaux interconnectés est compliqué et n'aboutit que partiellement à des valeurs réelles. En Suisse, des essais ont été entrepris en octobre 1961 afin de déterminer empiriquement ces valeurs. Les mesures ont eu lieu dans le réseau suisse, dans le réseau interconnecté Allemagne-France-Suisse, ainsi qu'entre des groupes de réseaux constitués dans ce but. Les résultats montrent l'influence des grandes variations de charge sur la fréquence des réseaux et sur les puissances échangées aux points d'interconnexion. On a en outre enregistré l'action des régulateurs de réseaux sous l'influence de telles fluctuations en régime normal.

In den nachfolgenden Aufzeichnungen wird nun über diese Versuche (16. bis 20. Oktober 1961) berichtet.

### 2. Regelprinzip und Messorgane

Die Einregelung der Übergabeleistung erfolgte, indem jeder Partner die Summe der mit den beiden andern Partnern verabredeten Energieaustauschprogramme einhielt (Fig. 1).

- a) Die EdF (Electricité de France) regelte ihre Übergabeleistung für die Schweiz und Deutschland nach dem Frequenz-Leistungsverfahren im Punkt Kembs Richtung Laufenburg.  
 b) Das RWE (Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk) re-

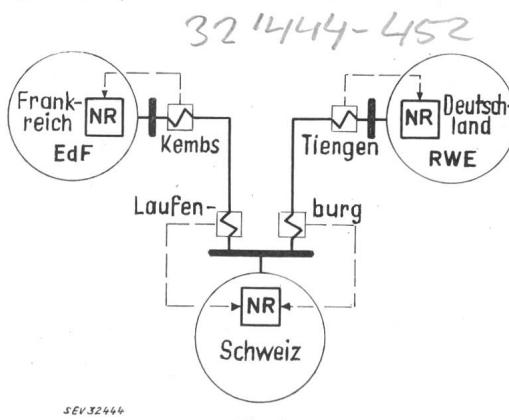


Fig. 1

Regelprinzip im Verbundbetrieb Frankreich-Deutschland-Schweiz

gelte seine Übergabeleistung für die Schweiz und für die EdF nach dem Frequenz-Leistungsverfahren im Punkt Tiengen Richtung Schweiz.

c) Die Schweiz regelte ihre Übergabeleistung für die EdF und für das RWE nach dem Frequenz-Leistungsverfahren im Punkt Laufenburg.

Im Zusammenhang mit den Abschaltuntersuchungen wurde ein Meßsystem innerhalb der Schweiz aufgebaut, um die an der Regelung teilnehmenden Kraftwerke zu steuern und auch die verschiedenen Messgrößen zu erfassen. Fig. 2 zeigt den Messaufbau für die Versuchsreihen 1 und 2, Fig. 3 für die Reihen 3 und 4. Die gemessenen Werte sind aus der Legende von Fig. 2 ersichtlich.

### 3. Versuche

Die Versuche wurden in 4 Hauptgruppen unterteilt, nämlich:

#### 3.1 Versuchsreihe 1 (Fig. 4)

Untersuchungen im schweizerischen Netz.

Bestimmung von Leistungszahl, Statik, Anlaufzeitkonstante. Schaltzustand: Inselbetrieb.

#### 3.2 Versuchsreihe 2 (Fig. 5)

Untersuchungen im schweizerischen Netz.

Bestimmung der Regelparameter des Netzreglers Laufenburg. Schaltzustand: Verbundbetrieb.

#### 3.3 Versuchsreihe 3

Untersuchungen im Verbundnetz.

Untersuchung der Regelcharakteristik des Netzverbandes der EdF und der Schweiz gegenüber dem RWE.

##### a) Regelwerke von der EdF gestellt (Fig. 6).

Der Netzregler Paris regelte den Leistungsfluss in den Übergabestellen der zusammengeschlossenen Netze von Frankreich und der Schweiz gegenüber Deutschland mit der Frequenz-Leistungsregelung.

##### b) Regelwerke von der Schweiz gestellt (Fig. 7).

Der Netzregler Laufenburg regelte den Leistungsfluss in den Übergabestellen der zusammengeschlossenen Netze von Frankreich und der Schweiz gegenüber Deutschland mit der Frequenz-Leistungsregelung.

Schaltzustand: Verbundbetrieb.

#### 3.4 Versuchsreihe 4

Untersuchung im Verbundnetz.

Untersuchung der Regelcharakteristik des Netzverbandes des RWE und der Schweiz gegenüber der EdF.

##### a) Regelwerke vom RWE gestellt (Fig. 8).

Der Netzregler Brauweiler regelte den Leistungsfluss in den Übergabestellen der zusammengeschlossenen Netze von Deutschland und der Schweiz gegenüber Frankreich mit der Frequenz-Leistungsregelung.

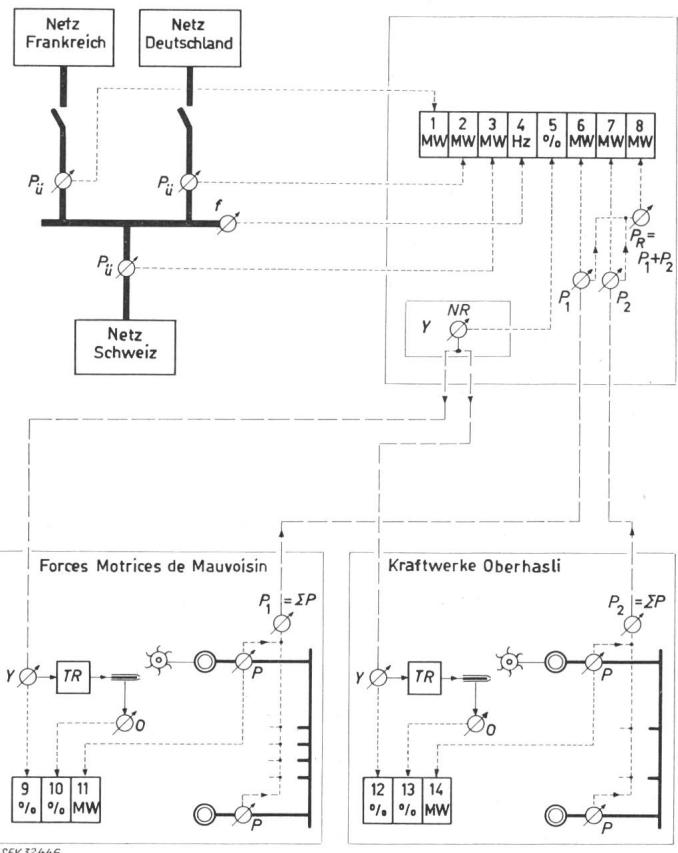


Fig. 2

#### Messtechnik bei den Versuchsreihen 1 und 2

1 Übergabeleistung EdF; 2 Übergabeleistung RWE; 3 Übergabeleistung Schweiz; 4 Frequenz; 5 Stellbefehl; 6 Summe der Regelleistung FMM; 7 Summe der Regelleistung KWO; 8 Totalsumme der Regelleistung; 9 Stellbefehl; 10 Öffnung der Turbine; 11 Regelleistung eines Generators; 12 Stellbefehl; 13 Öffnung der Turbine; 14 Regelleistung eines Generators; 15 Stellbefehl; 16 Öffnung der Turbine; 17 Regelleistung eines Generators; 18 Summe der Regelleistung GD

$\odot$  Meßstelle;  $\square$  Schleifenoszillograph;  $\circlearrowleft$  Turbine;  $\odot$  Generator;  
— — Fernmessung; - - - - Messleitungen; NR Netzregler;  $O$  mechanische Öffnungsanzeige;  $P$  Generatorleistung;  $P_u$  Übergabeleistung;  $P_1, P_2, P_3$  Teilsummen der Regelleistung  $P_R$ ; TR Turbinenregler; Y Stellbefehl

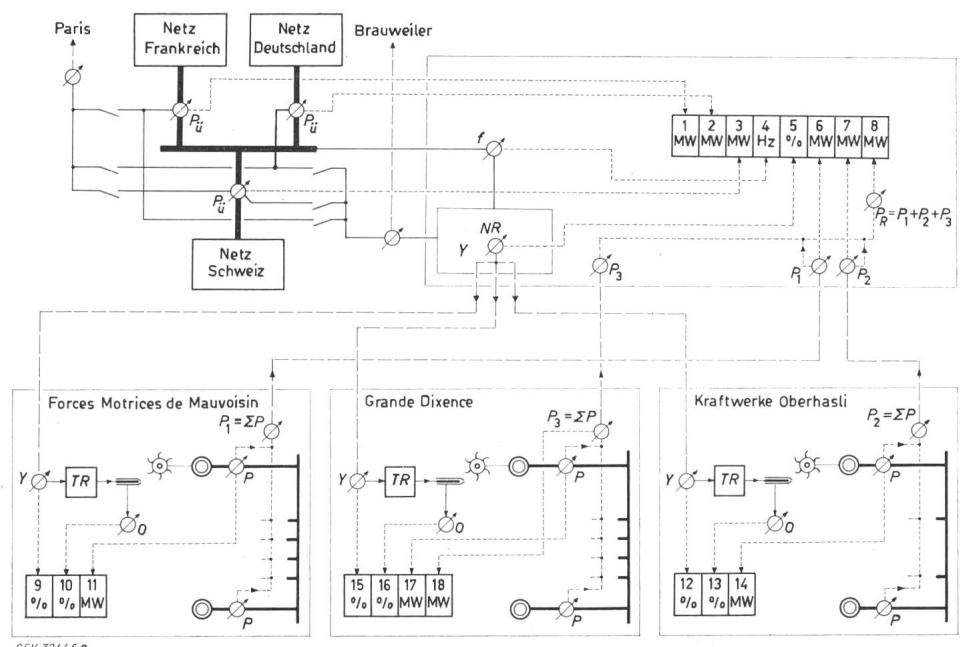


Fig. 3

#### Messtechnik bei den Versuchsreihen 3 und 4

Bezeichnungen siehe Fig. 2

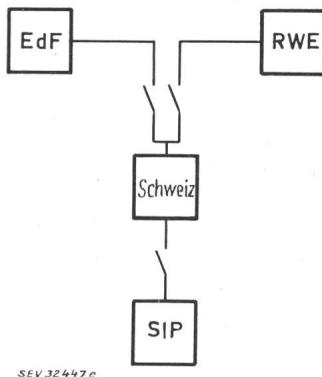


Fig. 4

**Prinzipschema für die Versuchsreihe 1**

b) Regelwerke von der Schweiz gestellt (Fig. 9).

Der Netzregler Laufenburg regelte den Leistungsfluss in den Übergabestellen der zusammengeschlossenen Netze von Deutschland und der Schweiz gegenüber Frankreich mit der Frequenz-Leistungsregelung.

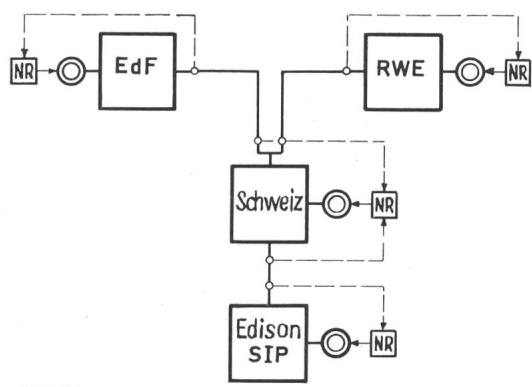


Fig. 5

**Regelprinzip für die Versuchsreihe 2**

Schaltzustand: Verbundbetrieb.

Zur Ausführung dieser Versuche war es notwendig, ein Nachrichten-Übermittlungssystem mit allen Betriebsstellen der am Versuch beteiligten Gesellschaften aufzubauen. Ein ausführliches Schaltprogramm bildete die Basis aller Aktionen, um eventuell eingeleitete Störungen sofort wieder eliminieren zu können.

#### 4. Versuchsreihe 1

(Untersuchungen im schweizerischen Netz)

##### 4.1 Versuchsziel

Bestimmung der Leistungszahl, der Statik und der Anlaufzeitkonstante des schweizerischen Netzes.

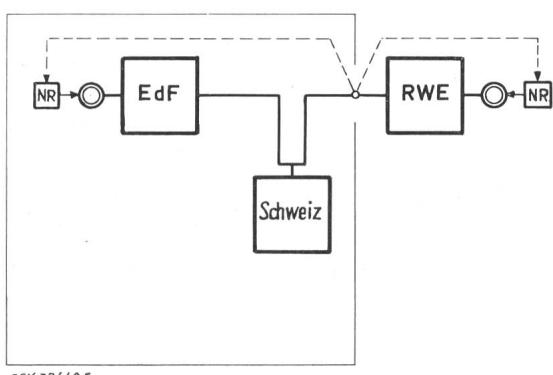


Fig. 6

**Regelprinzip für die Versuchsreihe 3a**

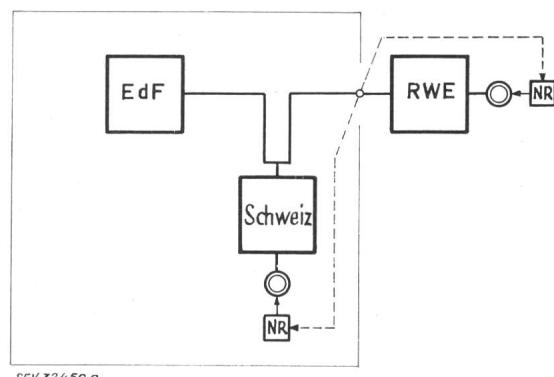


Fig. 7

**Regelprinzip für die Versuchsreihe 3b**

#### 4.2 Schaltzustand des Netzes

Inselbetrieb des schweizerischen Netzes; Kupplungen mit dem Ausland vollständig aufgetrennt.

#### 4.3 Betriebszustand der Netzregler

Während der Versuche waren alle schweizerischen Netzregler blockiert oder ausser Betrieb.

Vor Ausführung der Abschaltungen wurde eine Frequenzregelung des schweizerischen Netzes durch den Netzregler Laufenburg durchgeführt.

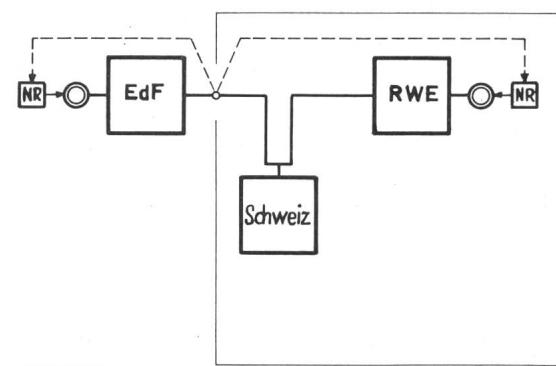


Fig. 8

**Regelprinzip für die Versuchsreihe 4a**

#### 4.4 Regelwerke

Am Netzregler Laufenburg waren angeschlossen:  
Forces Motrices de Mauvoisin (FMM)  
Kraftwerke Oberhasli (KWO)

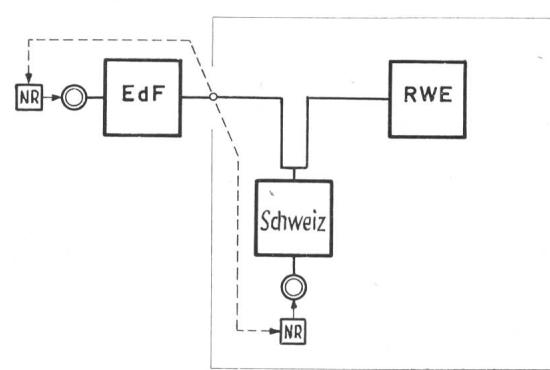


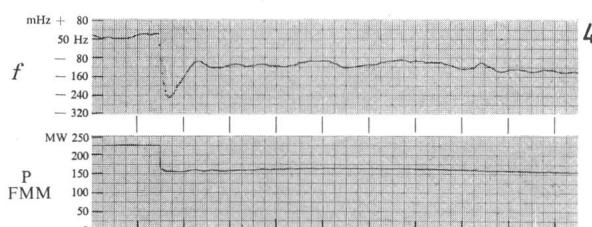
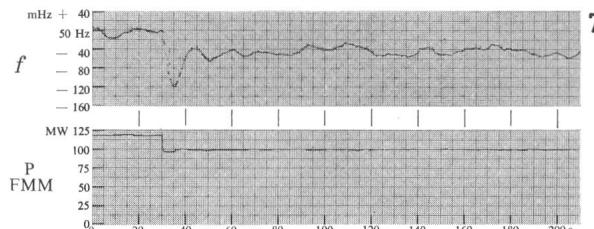
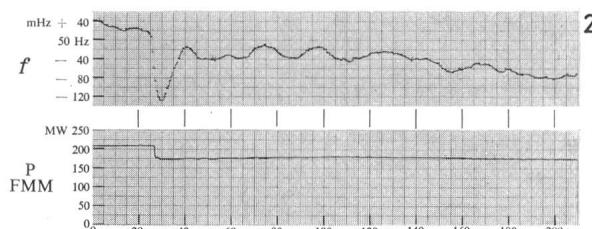
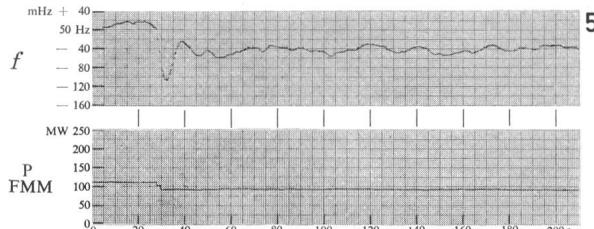
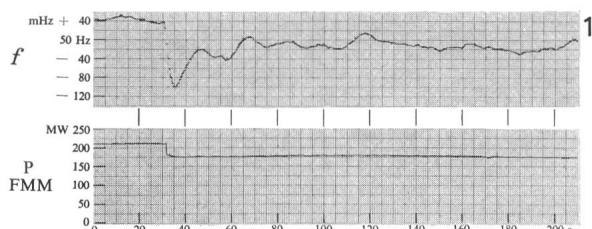
Fig. 9

**Regelprinzip für die Versuchsreihe 4b**

*Versuchsreihe I*  
*Auswertung der Oszillogramme*

Tabelle I

Versuch gemäss Ziffer ....	Oszillo- gramm- Nr.	Datum 1961	Uhrzeit	Abschaltung bei FMM		Auswertung der Oszillogramme			Gesamtnetz der Schweiz Prot MW	Resultate im schweizerischen Netz		
				$\Delta P_o$ MW	$\Delta P$ MW	$(\frac{df}{dt})_{t=0}$ mHz/s	$\Delta f_{max}$ mHz	$\Delta f_s$ mHz		$K$ MW/Hz	$S$ %	$T_a$ s
4.5.1.1	1	16. 10.	09.26	40	35,5	52	140	50	3950	710	11,1	9,7
4.5.1.2	2	16. 10.	09.32	40	35,5	52	146	48	3950	740	10,7	9,7
4.5.1	Mittelwerte								725	10,9	9,7	
4.5.2.1	3	16. 10.	09.38	80	71	118	292	127	3950	560	14,1	8,6
4.5.2.2	4	16. 10.	09.48	80	71	108	266	123	3950	580	13,7	9,4
4.5.2	Mittelwerte								570	13,9	9,0	
4.5.3.1	5	17. 10.	02.10	25	22	43	112	47	2100	470	9,0	13,8
4.5.3.2	7	17. 10.	02.26	25	22	40	120	48	2100	460	9,3	14,9
4.5.3	Mittelwerte								465	9,1	14,3	
4.5.4.1	8	17. 10.	02.33	50	44	91	240	92	2100	480	8,8	13,1
4.5.4.2	9	17. 10.	02.39	50	44	88	230	87	2100	510	8,3	13,5
4.5.4	Mittelwerte								495	8,5	13,3	



#### 4.5 Versuche

- 4.5.1 Abschaltung von ca. 40 MW Generatorleistung im schweizerischen Netz am Tag zwischen 9.00 und 10.00 h (Osz. Nr. 1 und 2).
- 4.5.2 Abschaltung von ca. 80 MW Generatorleistung im schweizerischen Netz am Tag zwischen 9.00 und 10.00 h (Osz. Nr. 3 und 4).
- 4.5.3 Abschaltung von ca. 25 MW Generatorleistung im schweizerischen Netz in der Nacht zwischen 2.00 und 3.00 h (Osz. Nr. 5 und 7).
- 4.5.4 Abschaltung von ca. 50 MW Generatorleistung im schweizerischen Netz in der Nacht zwischen 2.00 und 3.00 h (Osz. Nr. 8 und 9).

#### 4.6 Auswertung und Ergebnisse der Abschaltungen

In Tabelle I sind die Ergebnisse aus den Oszillogrammen und die daraus berechneten Kenngrößen des schweizerischen Netzes zusammengestellt.

Aus den Oszillogrammen wurde jeweils entnommen:

- Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz kurz nach der Abschaltung  $\frac{df}{dt}$  (massgebend für die Anlaufzeitkonstante  $T_a$ ).
- Bleibende Frequenzänderung  $\Delta f_s$  (massgebend für die Leistungszahl und die Statik).
- Höchstwert der Frequenzänderung  $\Delta f_{max}$  nach der Abschaltung (nur orientierungshalber).

Zu den Abschaltungen ist zu bemerken, dass die Pelton-Turbinen der abzuschaltenden Einheiten parallel mit 3...4 weiteren Maschinen von der gleichen Druckleitung gespeist wurden. Kurz nach der Abschaltung hatte die hydraulische Rückwirkung auf die parallel laufenden Turbinen noch keinen wesentlichen Einfluss. Die durch den Generator vor der Wegschaltung abgegebene Leistung wurde daher in der nachfolgenden Rechnung als Laständerungsgröße ( $\Delta P_0$ ) verwendet zur Bestimmung der Anlaufzeitkonstante  $T_a$ .

Sobald die Düsen der abgeschalteten Einheiten ganz geschlossen sind (Schliesszeit ca. 60 s), reduziert sich der Druckabfall an der Druckleitung entsprechend der Durchflussmenge der abgeschalteten Einheiten. Dadurch steigt die Leistungsaufnahme der an derselben Druckleitung verbleibenden Einheiten und reduziert die effektiv abgeschaltete Leistung. Der Berechnung der Leistungszahl ( $K$ ) und der Netzstatik ( $S$ ) wurde die um den Druckabfall korrigierte abgeschaltete Leistung ( $\Delta P$ ) zu Grunde gelegt.

Die Werte der erzeugten Leistung im schweizerischen Netz wurden dem Quartalsbericht der UCPTE I — 1962 für den Stichtag 18. Oktober 1961 entnommen:

	3.00 h	11.00 h
Last im schweizerischen Netz	1772 MW	2992 MW
Import	465 MW	
Export		169 MW
Produktion im schweizerischen Netz	1307 MW	3161 MW

Weil die Wasserführung des Rheins nur 55 % des langjährigen Monatsmittels betrug, waren die Laufkraftwerke mit einer Produktion von 970 MW demnach zu 55 % ausgelastet. Die rotierende Leistung der Laufkraftwerke ist jedoch um 45 % = 790 MW höher. Massgebend für die Bestimmung der Netzkenngroßen ist die gesamte rotierende Leistung ( $P_{rot}$ ), also die Summe aus: Produktion im schweizerischen Netz und Leistungsreserve der Laufkraftwerke, weil die rotierenden Schwungmassen den zeitlichen Verlauf von Netzschwankungen mitbeeinflussen:

18. 10. 1961	3.00 h	11.00 h
$P_{rot}$	2100 MW	3950 MW

Die Netzkenngroßen wurden nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$\text{Leistungszahl} \quad K = \frac{\Delta P}{\Delta f_s} \quad [\text{MW/Hz}]$$

$$\text{Netzstatik} \quad S = \frac{\Delta f_s/f_0}{\Delta P/P_{rot}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\text{Anlaufzeitkonstante} \quad T_a = \frac{f_0}{df/dt} \cdot \frac{\Delta P_0}{P_{rot}} \quad [\text{s}]$$

worin:

$P_{rot}$  rotierende Leistung

$\Delta P$  korrigierte Laständerung

$\Delta P_0$  unkorrigierte Laständerung

$f_0$  Sollfrequenz des Netzes (50 Hz)

$\Delta f_s$  bleibende Frequenzänderung

$\frac{df}{dt}$  Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz für  $t = 0$

Aus Tabelle I ist zu ersehen, dass die Netzstatik bei Tag für kleine Abschaltleistungen kleiner ist als für grössere, während nachts die Verhältnisse gerade umgekehrt liegen. Als Grund kann angenommen werden, dass bei Tag ein grösserer Teil der Einheiten auf Vollast oder an der Öffnungsbegrenzung fährt, wodurch wenig Leistungsreserve zur Frequenzstützung zur Verfügung steht. Bei Nacht steht mehr Leistungsreserve zur Verfügung, doch macht sich die Unempfindlichkeit der mechanischen Turbinenregler bemerkbar, indem bei kleinen Abschaltleistungen und daher kleiner Frequenzänderung ein Teil der Regler gar nicht zum Eingriff kommt.

Zusammengefasst wurden folgende mittlere Daten für das schweizerische Netz bestimmt:

	$K$ MW/Hz	$S$ %	$T_a$ s
Bei Tag	650	12,4	9,3
In der Nacht	480	8,8	13,8
Mittel über 24 h	565	10,6	11,5

#### 5. Versuchsreihe 2

(Untersuchungen im schweizerischen Netz)

##### 5.1 Versuchsziel

Nachweis der Erfüllung der Regelgleichung für Frequenz-Leistungs-Regelung des Netzreglers Laufenburg (Versuch 5.5.1).

$$\Delta G = \Delta P + K \cdot \Delta f \approx 0$$

worin:

$\Delta G$  Regelabweichung

$\Delta P$  Leistungsabweichung vom Sollwert

$K$  Leistungszahl des Netzes

$\Delta f$  Abweichung der Netzfrequenz vom Sollwert

Bestimmung der optimalen Regelparameter für die Energieaustauschprogramme der Schweiz gegenüber der EdF und dem RWE.

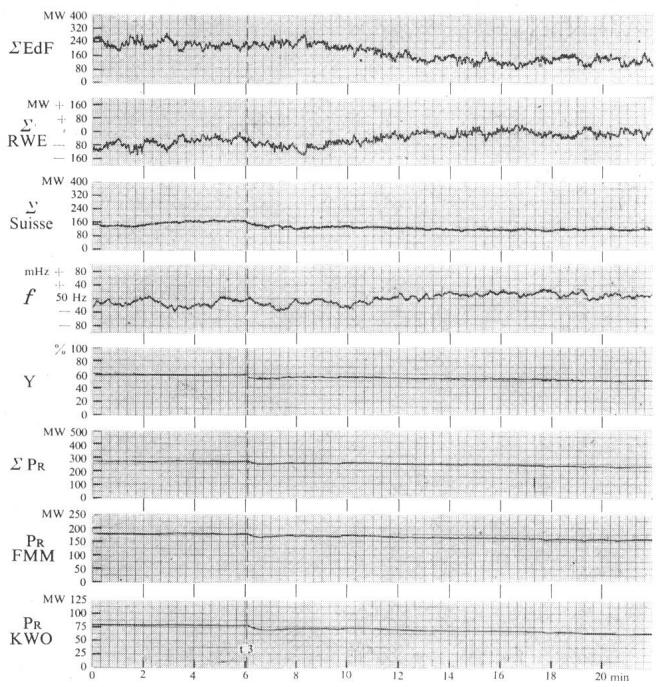
Aufnahme der durch die gewählten Parameter hervorgerufenen Regelmaschinen-Beeinflussung (Versuch 5.5.2).

##### 5.2 Schaltzustand der Netze

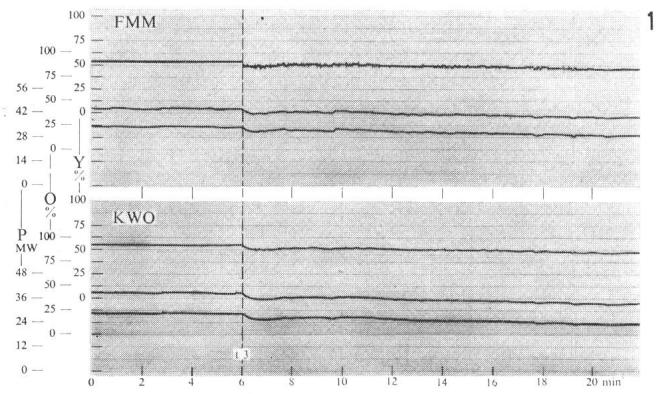
Verbundbetrieb der Schweiz mit der EdF und dem RWE, zeitweise auch mit Edison (Italien).

##### 5.3 Betriebszustand der Netzregler

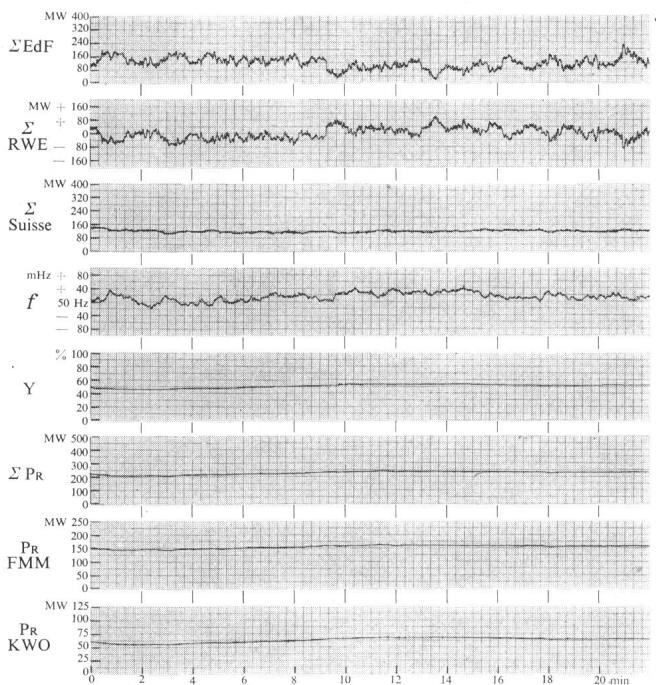
Der Verbundbetrieb wurde normal geregelt mit dem Netz-



11

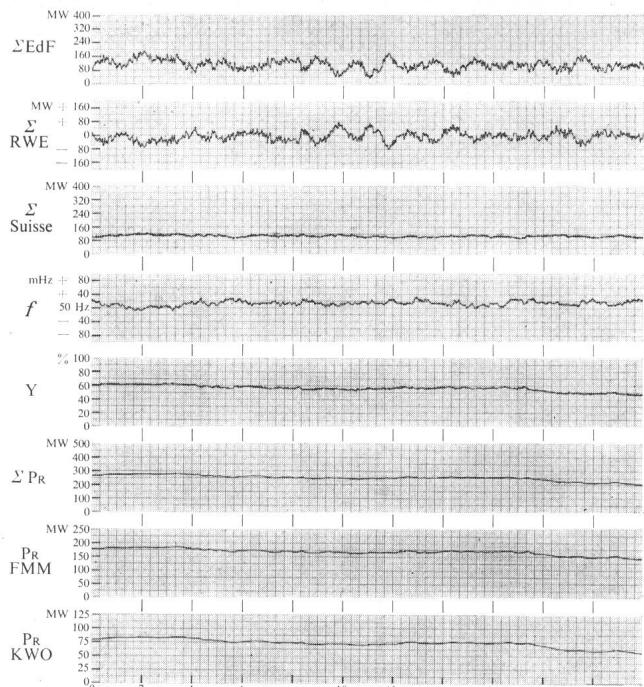
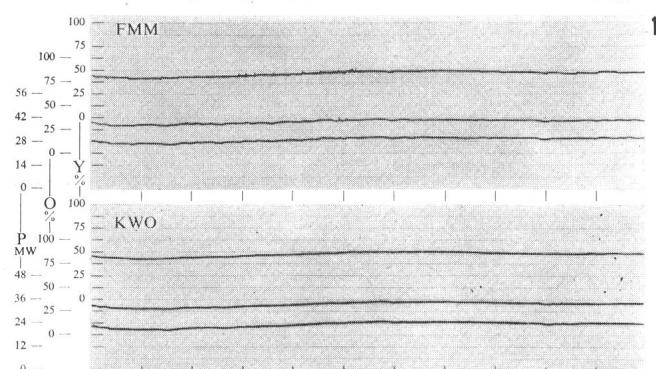


11a

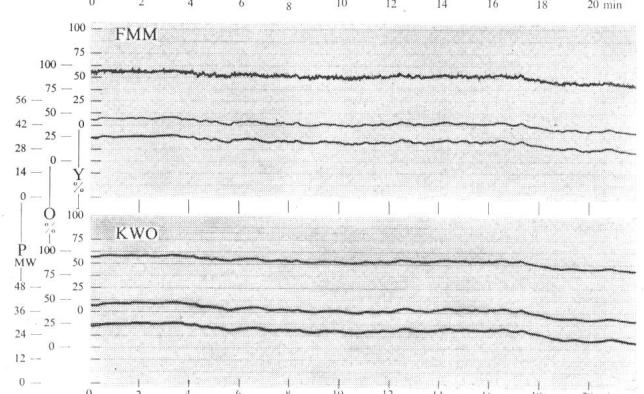


12

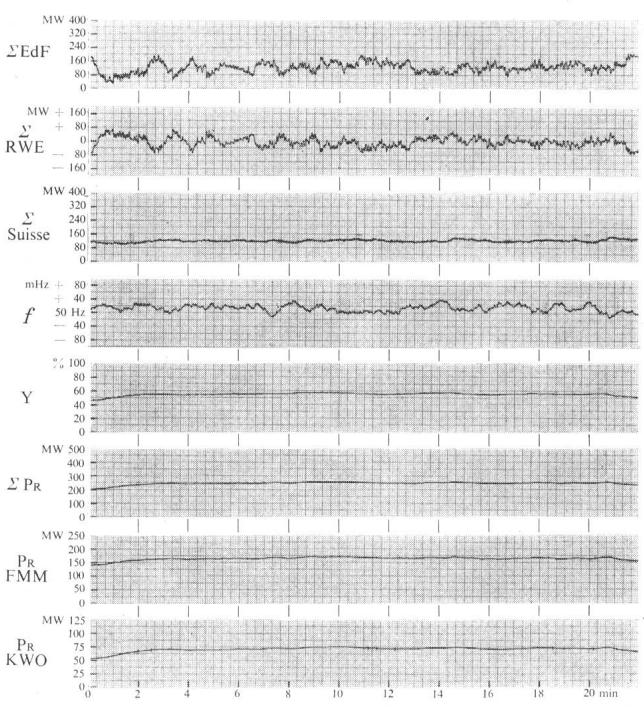
12a



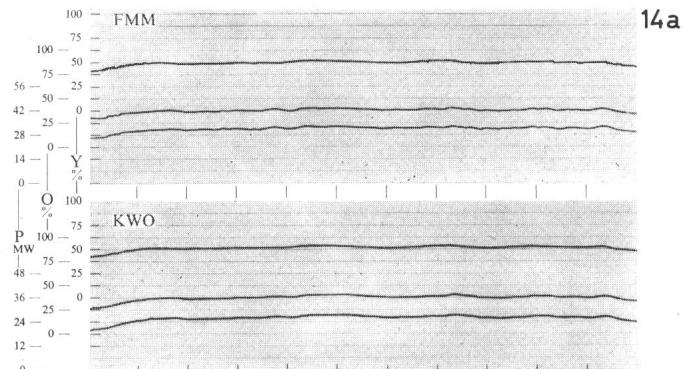
13



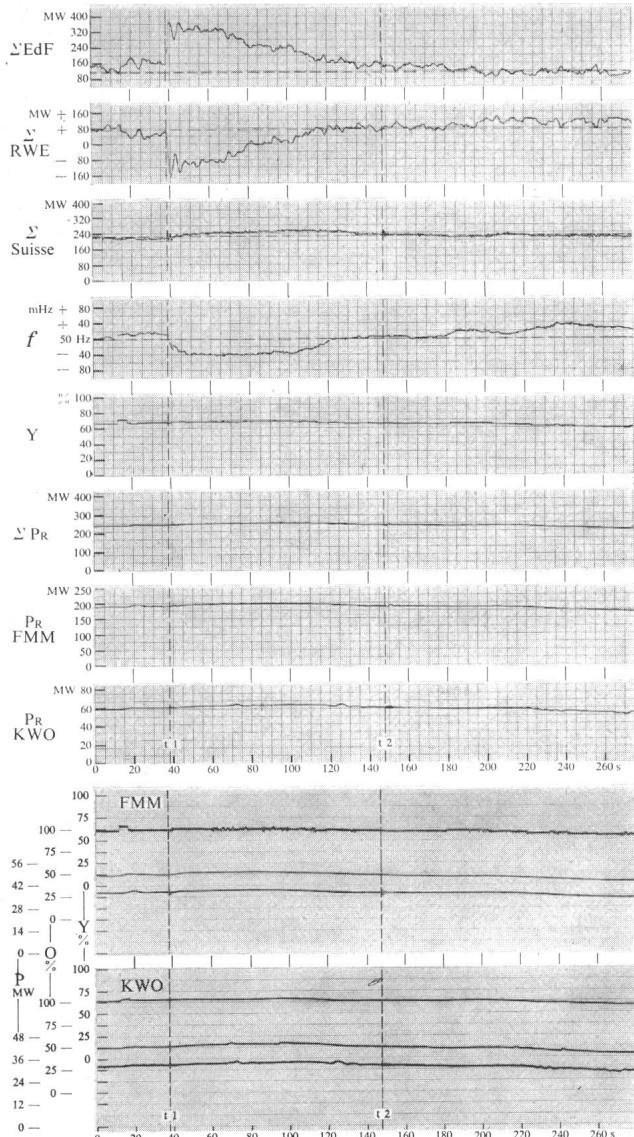
13a



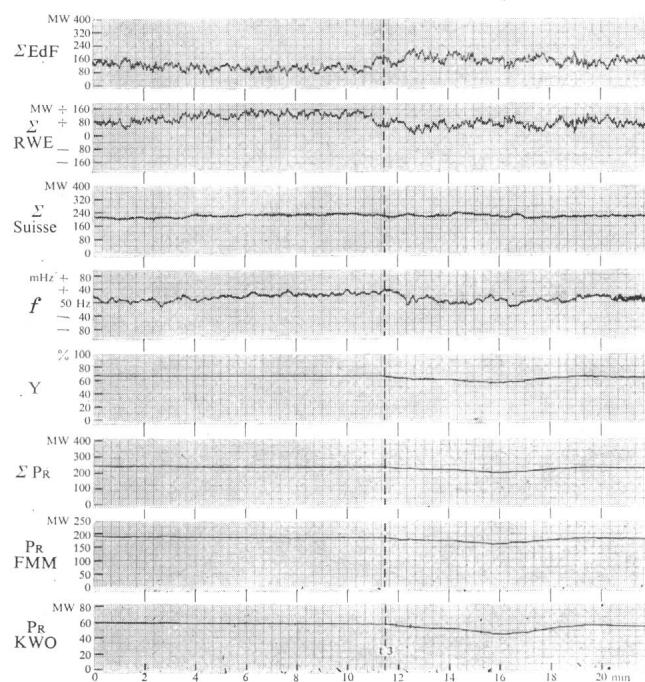
14



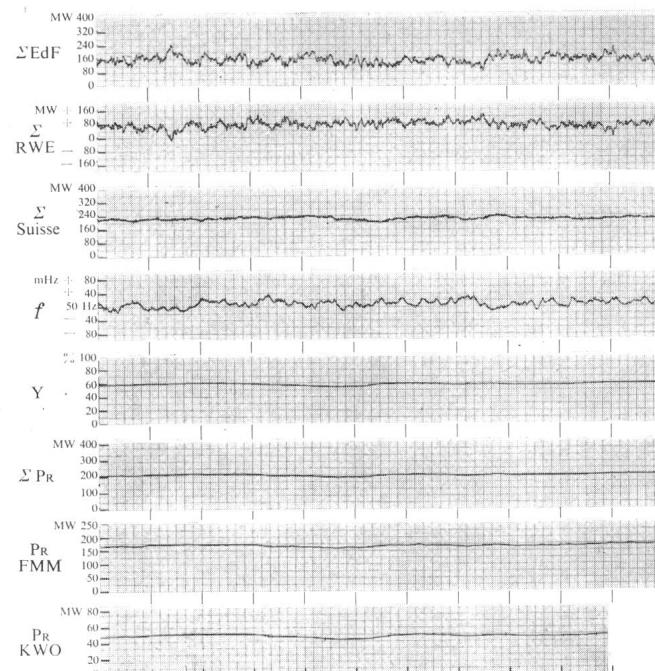
14a



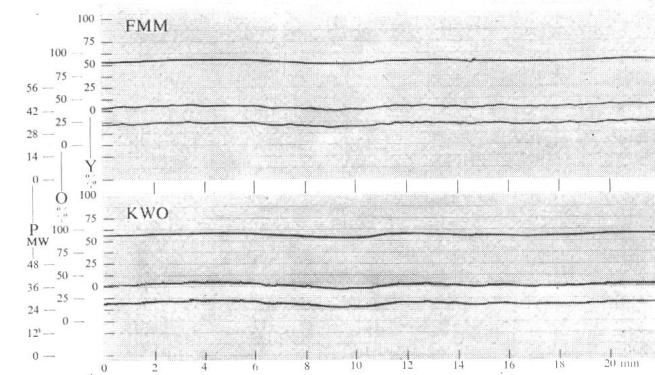
16a



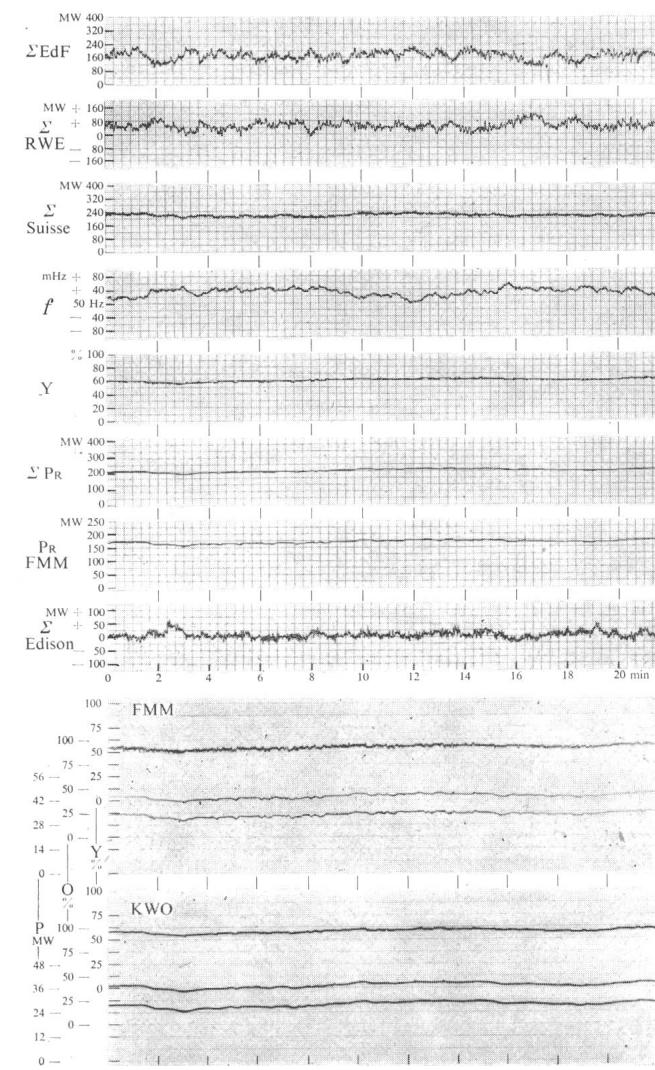
17



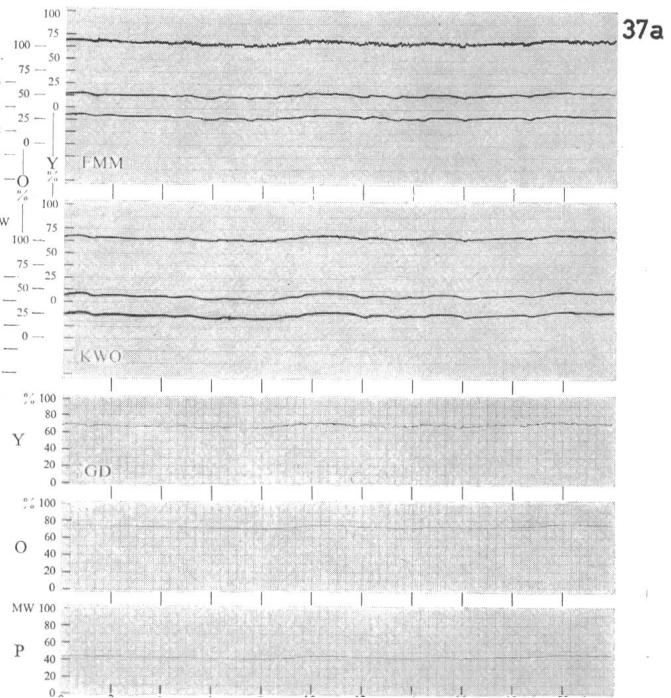
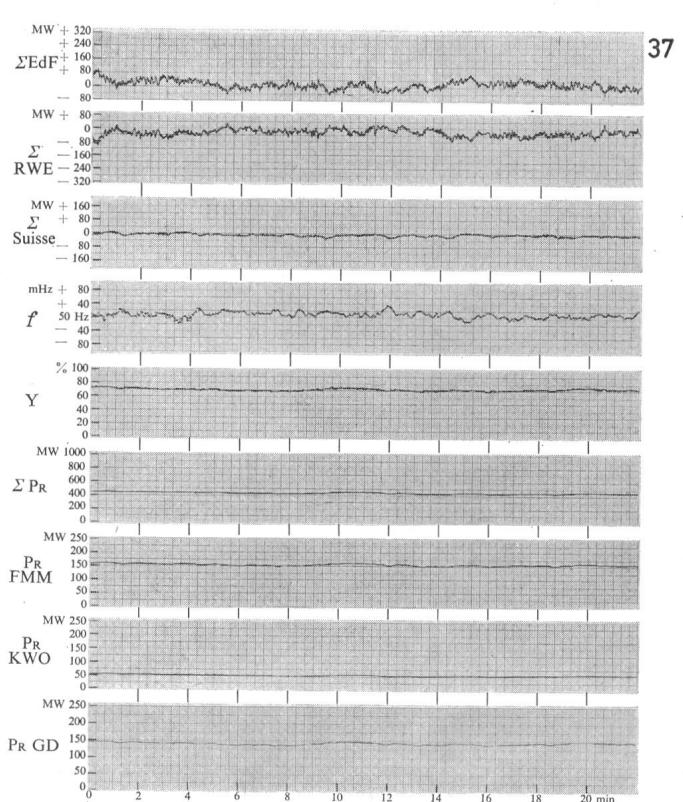
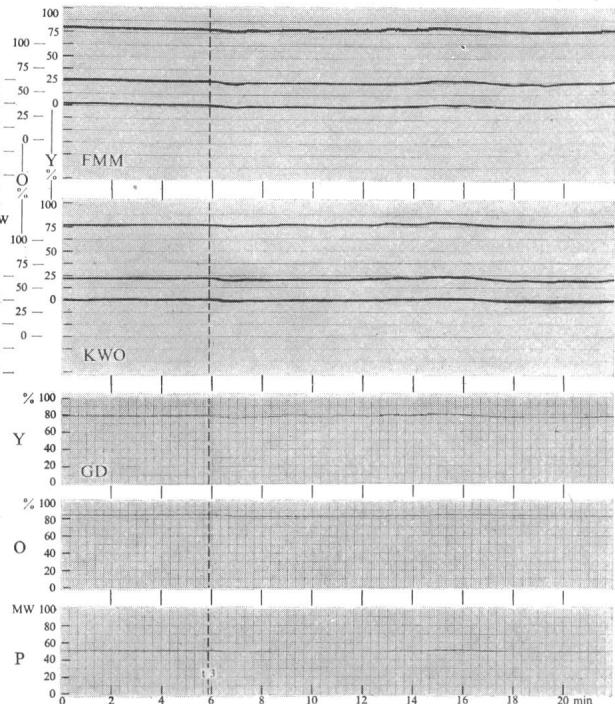
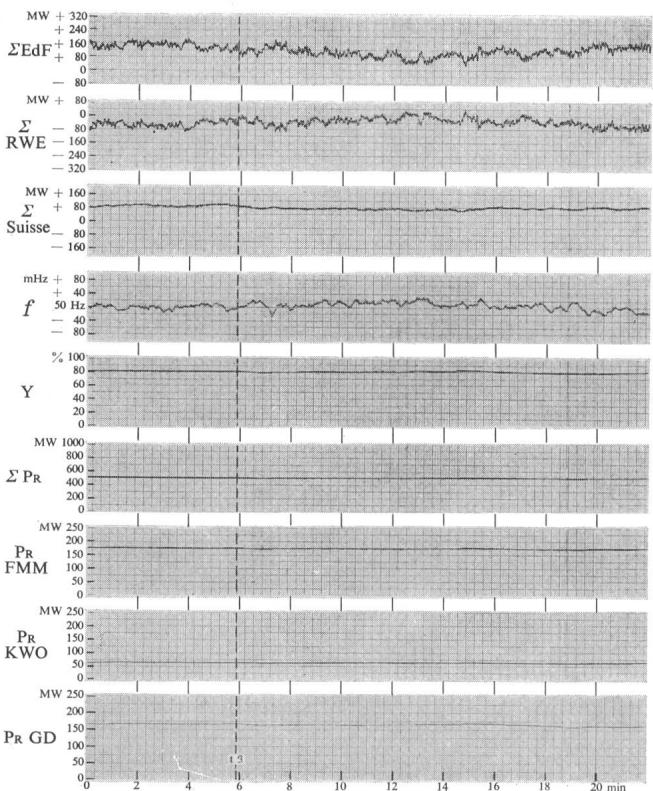
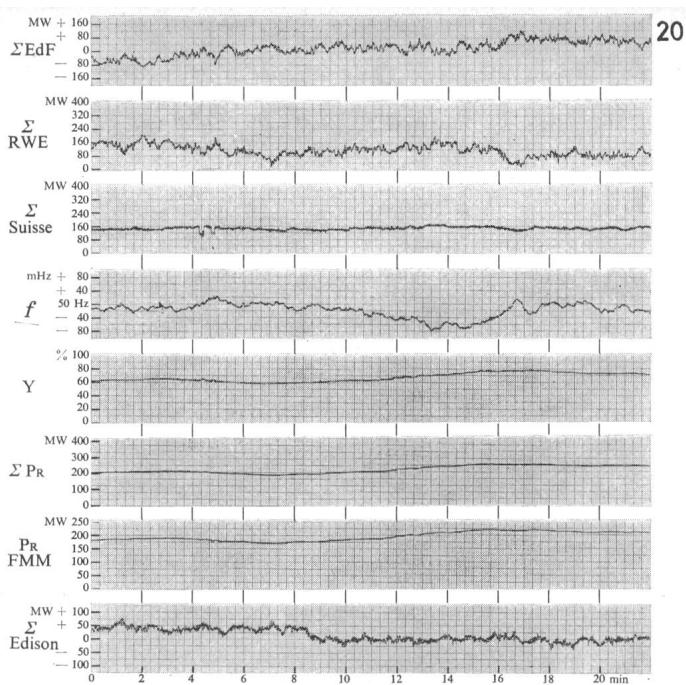
18a

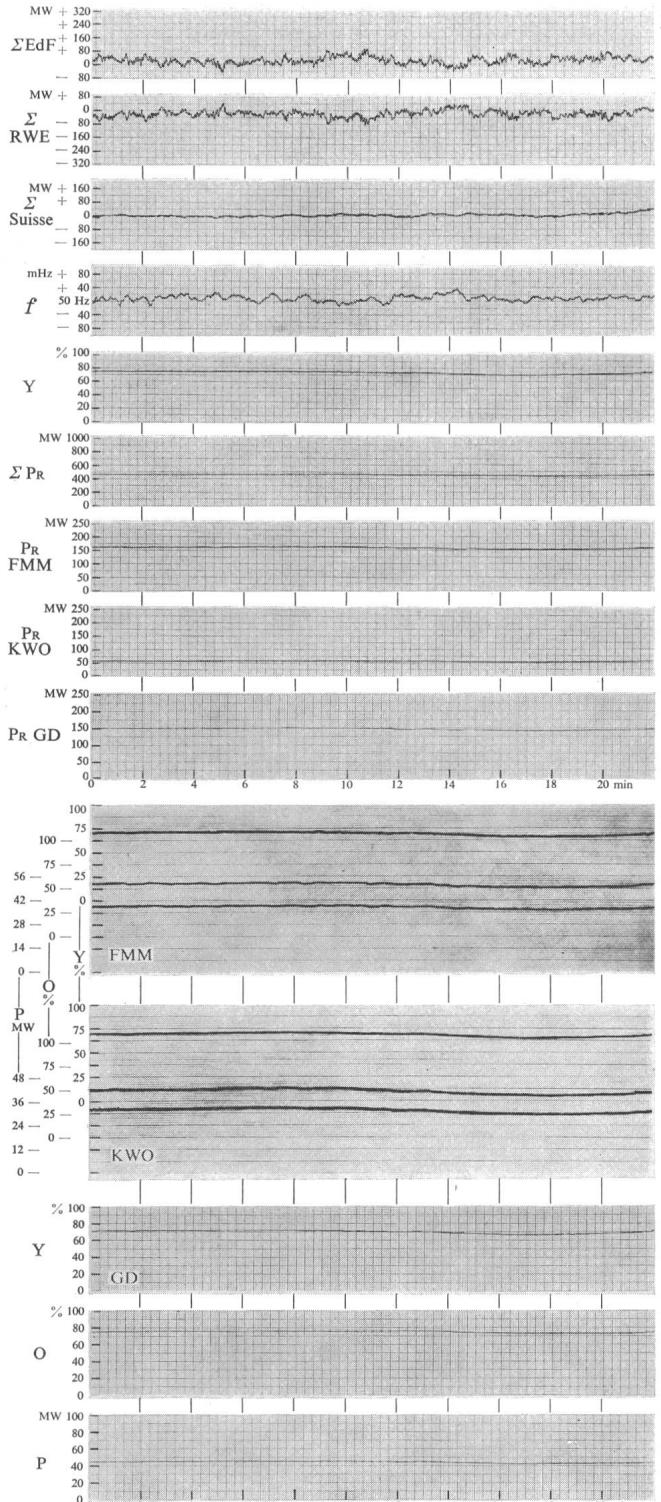


19

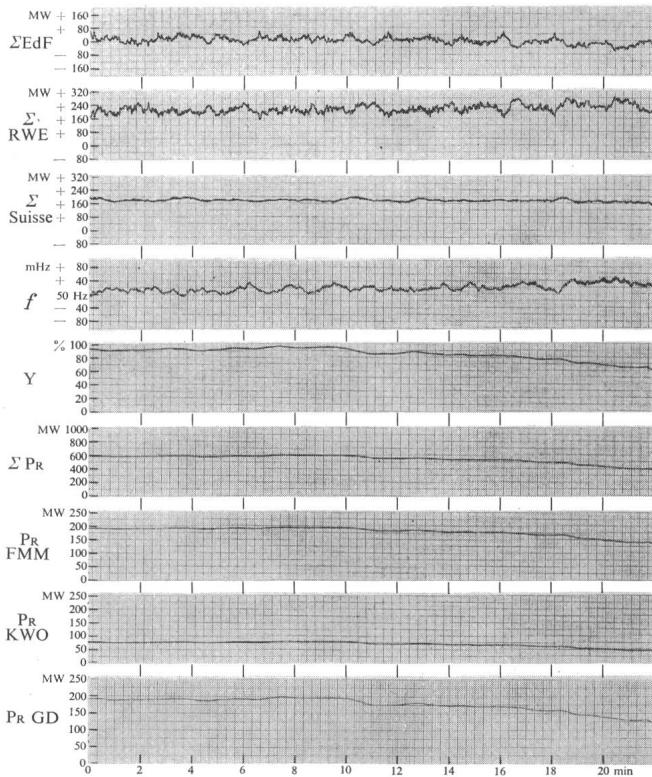


19a





38a



39a

regler Laufenburg auf die totale Übergabeleistung der Schweiz an das Ausland.

Netzregler Paris für die EdF

Netzregler Brauweiler für das RWE

(Netzregler Edison für Edison, zeitweise)

Die Netzregler der schweizerischen Gesellschaften blieben normal in Betrieb für die Versuche 5.5.1 und 5.5.2 (topische Regelung) und wurden blockiert oder ausser Betrieb gesetzt für die Versuche 5.5.3 (atopische Regelung).

#### 5.4 Regelwerke

Am Netzregler Laufenburg waren angeschlossen:  
Forces Motrices de Mauvoisin (FMM)

Kraftwerke Oberhasli (KWO)  
Grande Dixence (GD), zeitweise

#### 5.5 Versuche

##### 5.5.1 Abschaltungen — topische Regelung

Die Netzregler der schweizerischen Gesellschaften blieben normal in Betrieb.

5.5.1.1 Abschaltung der Produktionsgruppe Génissiat im Netz der EdF mit 250 MW.

Am Netzregler wurden, gemäss Tabelle II, folgende Regelparameter eingestellt:

$$K = 700 \text{ MW/Hz}, C_p = 0,25, T_n = 15 \text{ s}$$

worin

$K$  Leistungszahl des Netzreglers [MW/Hz]

$C_p$  Proportionalkonstante, durch Regelabweichung von 1 MW verursachte Änderung der Maschinenleistung in MW.

$T_n$  Nachstellzeit [s]; benötigte Zeit des Reglers zur Änderung der Stellgrösse um den Wert des Proportionalteiles im offenen Regelkreis.

### 5.5.2 Betriebsversuche 1 — topische Regelung

Die Netzregler der schweizerischen Gesellschaften blieben normal in Betrieb.

Die Aufnahme der Betriebswerte erfolgte während 30 min; während den ersten 10 min waren die Netzregler Paris, Brauweiler und Laufenburg zur Beurteilung des Netzausachsens blockiert.

5.5.2.1 bis 5.5.2.4. Die eingestellten Parameter sind aus Tabelle II ersichtlich.

5.5.2.5 bis 5.5.2.8. Zusätzlich mit Grande Dixence als Regelwerk; Parameter siehe Tabelle II.

### 5.5.3 Betriebsversuche 2 — atopische Regelung

Die Netzregler der schweizerischen Gesellschaften waren blockiert oder ausser Betrieb.

Die Betriebswerte wurden während 30 min aufgenommen.

5.5.3.1 bis 5.5.3.2. Die eingestellten Parameter sind aus Tabelle II ersichtlich.

5.5.3.3 bis 5.5.3.4. Zusätzlich wurde Edison mit der Schweiz gekuppelt; Parameter siehe Tabelle II.

## 5.6 Ergebnisse der Versuche

In Tabelle II sind die Versuchsbedingungen zusammengestellt. Zur Beurteilung der Ergebnisse sei auf die zugehörigen Oszillogramme verwiesen.

### 5.6.1 Abschaltungen (Osz. 16)

Die Stellgrösse des Netzreglers Laufenburg blieb in der ersten Minute nach der Abschaltung praktisch konstant. Es kann daraus geschlossen werden, dass die Parameter, insbesondere die Leistungszahl, richtig gewählt wurden. Das Prinzip der Frequenz-Leistungsregelung, dass der Netzregler des von der Laständerung verschonten Netzes nicht zu intervenieren hat, war sowohl statisch als auch dynamisch erfüllt.

Der Beitrag der Schweiz zur Frequenzstützung (siehe  $\Sigma$  Schweiz<sup>1)</sup>) kam allein aus der Statik der Turbinenregler. Bemerkenswert ist die relativ lange Zeit (ca. 1 min) bis die Frequenz wieder anstieg, d. h. ausgeregelt wurde. Aus der Abschaltleistung von 250 MW und der Frequenzänderung von 50 mHz berechnet sich die Leistungszahl des westeuropäischen Verbundnetzes zu 5000 MW/Hz.

### 5.6.2 Betriebsversuche topisch, Osz. 11...14 und 36...39

Vor und nach der Blockierung aller Netzregler ( $t_3$ ) ist aus den Osz. 11 und 36 ersichtlich, dass das Netzauschen, d. h. die statistischen Schwankungen der Übergabeleistung und der Frequenz, ohne und mit Netzregelung, gleich gross war. Bei Osz. 11 lief die Übergabe  $\Sigma$  Schweiz bis  $t_3$  um 35 MW ab und erreichte

<sup>1)</sup>  $\Sigma$  Schweiz = Totale Übergabeleistung der Schweiz an das Ausland.

innert 2 min nach der Inbetriebnahme der Netzregler wieder den Sollwert. Bei Osz. 36 waren die Belastungsänderungen in den Netzen klein. Auch mit blockierten Netzreglern wichen die Übergaben wenig von den Sollwerten ab.

Ausser bei Versuch 5.5.2.8 (Osz. 39) war die Last im schweizerischen Netz sehr ruhig. Die Stellgrössenänderungen bei den Osz. 11...14 (mittags 15.00 bis 17.00 h) blieben pro Versuch innerhalb 10 % bei einer Regelleistung von 380 MW, was Laständerungen von max. 38 MW entsprach. Die Stellgrössenänderungen bei den Osz. 36...38 (vormittags 09.00 bis 11.00 h) blieben pro Versuch innerhalb 4 % bei einer Regelleistung von 600 MW, was Laständerungen von max. 24 MW entsprach.

Bei den kleinen Laständerungen mit ebenfalls kleinen Änderungsgradienten ist bei Versuchszeiten von nur 30 min eine Beurteilung, welche Parameter als optimal zu betrachten sind, kaum möglich. Der gewählte Bereich der Parameter ist für den Betrieb brauchbar. Zur Vermeidung von Regelarbeit durch kleine Abweichungen (Frequenz, Übergabeleistung) ist eine mittlere bis langsame Regelung vorteilhaft; siehe Osz. 13 und 37 bzw. 11, 12, 36 und 38.

Bei reiner Leistungsregelung (Osz. 14) resultierten bei mittlerer Regelgeschwindigkeit und kleiner Regelarbeit relativ kleine Regelabweichungen der Übergabe, weil die Frequenzstützungsarbeit wegfiel. Diese Regelart ist jedoch für den Verbundbetrieb unzweckmässig.

Versuch 5.5.2.8 zeigt eine reine Integralregelung (Frequenz-Leistung) mit dem Netzregler Laufenburg. Die Entlastung nach der Mittagsspitze von ca. 200 MW wurde sehr gut ausgeglichen. Allerdings wurde die Integralkonstante  $C_I = \frac{\alpha}{K}$  mit 5,6 %/s gegenüber dem üblichen Wert von ca. 1 %/s sehr hoch gewählt.

$\alpha$  [MW/Tour] gibt an, um wieviel MW die Maschinenleistung allein unter dem Integraleinfluss des Netzreglers erniedrigt wird, wenn der Netzvektor gegenüber dem sich mit der genauen Frequenz 50 Hz drehenden Vektor um eine Umdrehung voreilt.

Die Erhöhung der Regelleistung von 380 MW (Osz. 11...14) auf 600 MW (Osz. 36...39) machte sich naturgemäß durch eine wesentliche Verkleinerung der Regelarbeit der einzelnen Kraftwerke bemerkbar.

Alle vom Netzregler Laufenburg beeinflussten Regelmaschinen sind mit elektrischen Turbinenreglern ausgerüstet. Aus den Oszillogrammen ist zu ersehen, wie dank dieser die einzelnen Regelwerke auch kleinsten Änderungen der Stellgrösse folgen.

### 5.6.3 Betriebsversuche atopisch Osz. 17...20

Gegenüber den Versuchen mit topischer Regelung ist kein eindeutiger Unterschied zu erkennen. Sinngemäß sind die unter Ziff. 5.6.2 gemachten Bemerkungen auch für diese Versuchsreihe gültig.

Bei den Versuchen 5.5.3.3 und 5.5.3.4 (Osz. 19 und 20) war Edison über die Leitung Soazza-Mese mit dem schweizerischen Netz parallel geschaltet. Der entsprechende Fernmesswert wurde in den Regelverteilern Laufenburg einbezogen. Abgesehen von vergröß-

## Versuchsreihe 2

Tabelle II

Versuch gemäss Ziff. . .	Oszillogramm-Nr.	Datum 1961	Uhrzeit	Sollwerte der Leistungsübergabe-Programme <sup>1)</sup>				Verfügbare Regelleistung				Eingestellte Parameter am Netzregler Laufenburg			Bemerkungen	
				$\Sigma$ EdF <sup>2)</sup> MW	$\Sigma$ RWE <sup>3)</sup> MW	$\Sigma$ Edison <sup>4)</sup> MW	$\Sigma$ Schwz. <sup>5)</sup> MW	FMM MW	KWO MW	GD MW	total MW	$K$ MW/ Hz	$C_p$ MW/ MW	$T_n$ s		
5.5.1	Topische Regelung — Abschaltungen (intern schweizerische Netzregler in Betrieb)															
5.5.1.1	16	18. 10.	14.51	+154	+ 72			+226	290	90		380	700	0,25	15	$t_1$ Abschaltung von 250 MW im Netz der EdF (Produktion der Génissiat-Gruppe) $t_2$ Parallelschaltung Produktion der Génissiat-Gruppe
5.5.2	Topische Regelung — Betriebsversuche (intern schweizerische Netzregler in Betrieb)															
5.5.2.1	11	17. 10.	15.00	+149	— 16			+133	290	90		380	700	0,25	15	mittlere Parameter bis $t_3$ alle Netzregler blockiert
5.5.2.2	12	17. 10.	15.30	+149	— 16			+133	290	90		380	250	0,18	20	niedrige Parameter (langsame Regelung Laufenburg)
5.5.2.3	13	17. 10.	16.00	+149	— 16			+133	290	90		380	700	0,50	10	hohe Parameter (schnelle Regelung Laufenburg)
5.5.2.4	14	17. 10.	16.30	+149	— 16			+133	290	90		380		0,25	15	reine Leistungsregelung Laufenburg
5.5.2.5	36	23. 10.	09.20	+130	— 52			+ 78	290	90	220	600	500	0,28	15	zusätzliches Regelwerk GD, mittlere Parameter
5.5.2.6	38	23. 10.	10.35	+ 40	— 37			+ 3	290	90	220	600	250	0,20	20	zusätzliches Regelwerk GD, niedrige Parameter
5.5.2.7	37	23. 10.	10.05	+ 40	— 37			+ 3	290	90	220	600	700	0,56	10	zusätzliches Regelwerk GD, hohe Parameter
5.5.2.8	39	23. 10.	11.05	— 85	+268			+183	290	90	220	600	700	$\alpha = 39$	MW/T	reine Integralregelung Laufenburg
5.5.3	Atopische Regelung — Betriebsversuche (intern schweizerische Netzregler blockiert)															
5.5.3.1	17	18. 10.	15.00	+154	+ 72			+226	290	90		380	700	0,25	15	mittlere Parameter bis $t_3$ alle Netzregler blockiert
5.5.3.2	18	18. 10.	15.30	+154	+ 72			+226	290	90		380	250	0,18	20	niedrige Parameter
5.5.3.3	19	18. 10.	16.00	+154	+ 72	0	+226	290	90		380	700	0,25	15	Schweiz mit Edison (I) gekuppelt	
5.5.3.4	20	18. 10.	17.05	— 6	+142	0	+136	290	90		380	500	0,18	10	Schweiz mit Edison (I) gekuppelt	

<sup>1)</sup> Vorzeichenerklärung  $\pm$  Leistungsabgabe } von der Schweiz aus gesehen<sup>2)</sup>  $\Sigma$  EdF = Übergabeleistung der Schweiz an die EdF<sup>3)</sup>  $\Sigma$  RWE = Übergabeleistung der Schweiz an das RWE<sup>4)</sup>  $\Sigma$  Edison = Übergabeleistung der Schweiz an Edison<sup>5)</sup>  $\Sigma$  Schweiz = Totale Übergabeleistung der Schweiz an das Ausland

serternetzung blieb die Übergabe  $\Sigma$  Schweiz von dieser Zuschaltung unbeeinflusst.

In Osz. 20 ist von 10...15 min ein Frequenzeinbruch von 80 mHz zu erkennen, verursacht durch einen Lastanfall im Ausland, zu dessen Ausregelung offensichtlich momentan zu wenig Reserve an Regelleistung verfügbar war.

## 6. Versuchsreihe 3

### 6.1 Versuchsziel

Vergleichsversuche der Regelung (nach *Darrieus-Graner*) des Netzverbandes der EdF und der Schweiz gegenüber dem RWE; einerseits mittels Netzregler der EdF und EdF-Regelwerken, anderseits mittels Netzregler Laufenburg und Schweizer-Regelwerken.

### 6.2 Schaltzustand der Netze

Normalzustand des Verbundbetriebes der Schweiz mit der EdF und dem RWE.

### 6.3 Betriebszustand der Netzregler

- a) Das RWE regelte normal seine Austauschprogramme gegenüber der EdF und der Schweiz.
- b) Bei den Versuchen 6.5 regelte die EdF die Summe der Austauschprogramme der EdF und der Schweiz gegenüber dem RWE.
- c) Bei den Versuchen 6.6 regelte die Schweiz mittels Netzregler Laufenburg die Summe der Austauschprogramme der EdF und der Schweiz gegenüber dem RWE.

### 6.4 Regelwerke

- |         |  |
|---------|--|
| RWE     | RWE-Regelwerke, gesteuert durch Netzregler Brauweiler.         |
| EdF     | EdF-Regelwerke, gesteuert durch Netzregler Paris (Versuch 6.5) |
| Schweiz | gesteuert durch Netzregler Laufenburg (Versuch 6.6)            |

Forces Motrices de Mauvoisin, Riddes	}	290 MW
Forces Motrices de Mauvoisin, Fionnay		130 MW
Kraftwerke Oberhasli, Innertkirchen		
Grande Dixence, Nendaz		220 MW
Grande Dixence, Fionnay		

### 6.5 Versuche: EdF regelte $\Sigma$ EdF<sup>2)</sup> + $\Sigma$ Schweiz gegenüber dem RWE

#### 6.5.1 Abschaltungen

6.5.1.1 Abschaltungen der Produktionsgruppe Génissiat im Netz der EdF mit 250 MW

#### 6.5.2 Betriebsversuche

Die Aufnahme der Betriebswerte erfolgte während 30 min, wobei in den ersten 10 min die Netzregler Paris und Brauweiler blockiert waren.

6.5.2.1 Die EdF regelte den Betrieb mit Parametern eigener Wahl.

### 6.6 Versuche: Laufenburg regelte $\Sigma$ EdF + $\Sigma$ Schweiz gegenüber dem RWE

#### 6.6.1 Abschaltungen

6.6.1.1 Abschaltung der Produktionsgruppe Génissiat im Netz der EdF mit 250 MW.

<sup>2)</sup>  $\Sigma$  EdF = Übergabeleistung der Schweiz an die EdF.

6.6.1.2 Abschaltung einer thermischen Gruppe in Champagne im Netz der EdF mit 150 MW.

6.6.1.3 Abschaltung einer thermischen Gruppe in Champagne im Netz der EdF mit 250 MW.

#### 6.6.2 Betriebsversuche

6.6.2.1 Laufenburg regelte den Betrieb mit den Parametern  $K = 2000 \text{ MW/Hz}$ ,  $C_p = 0,30$ ,  $T_n = 15 \text{ s}$

Die Betriebswerte wurden während 30 min aufgenommen, wobei in den ersten 10 min die Netzregler Laufenburg und Brauweiler blockiert waren.

6.6.2.2 Wie 6.6.2.1, jedoch an einem andern Tag und ohne vorangehende Blockierung der Netzregler.

#### 6.7 Ergebnisse der Versuche

In Tabelle III sind die Bedingungen bei den Versuchen zusammengestellt. Zur Beurteilung der Ergebnisse sei auf die zugehörigen Oszillogramme verwiesen.

#### 6.7.1 Abschaltungen

Vergleicht man die Oszillogramme der 250-MW-Abschaltungen mit der Regelung durch die EdF (Osz. 21) und mit der Regelung durch Laufenburg (Osz. 23), so ist folgendes festzustellen:

Bei Osz. 21 bleiben die Regelabweichungen von der Übergabe ( $\Sigma$  RWE<sup>3)</sup>) und der Frequenz nach der Abschaltung ca. 1 min lang auf ihrem Anfangswert, während bei Osz. 23 vom Moment der Abschaltung an eine stetige Verkleinerung der Regelabweichungen zu beobachten ist. Dieser Unterschied wird vermutlich durch den reines Integralverhalten aufweisenden Netzregler der EdF verursacht. Im Gegensatz dazu ist der Netzregler Laufenburg ein Proportional-Integralregler. Dieses P-I-Verhalten ist an der Stellgröße Y (Osz. 23) ersichtlich. Aus den Werten  $\Sigma P_R$  (Summe aller Regelleistungen) und  $\Sigma$  Schweiz ist zu ersehen, wie der Proportionaleinfluss des Netzreglers Laufenburg gerade die Zeitkonstanten der Turbinenregler kompensiert. Dadurch stellte sich vom Abschaltmoment an ein Anstieg der Regelleistung ohne Totzeit ein.

Die Störung in Osz. 21 bei 130...140 s wurde durch Auslösung des Schalters einer 50-MW-Einheit in Riddes verursacht.

Der augenfällige Unterschied im Charakter der Abschaltungen im Netz der EdF bei Osz. 23 (250 MW) einerseits und Osz. 32 und 35 (150 bzw. 250 MW) anderseits stammt daher, dass bei Osz. 23 die Abschaltung in Génissiat mit ca. 230 km Distanz von Laufenburg und bei Osz. 32 und 35 in Champagne (EdF-Zentrale) mit ca. 450 km Distanz von Laufenburg erfolgte. Dies bestätigt die Abhängigkeit der Wirkung einer Abschaltung vom Ort im Netz (siehe auch CIGRE 1962, Rapport Nr. 314).

#### 6.7.2 Betriebsversuche

Beim Versuch 6.5.2.1 (Osz. 22) wurde der Netzregler Laufenburg blockiert, Leistungsänderungen der schweizerischen Regelkraftwerke resultierten einzig aus Frequenzänderungen durch die Statik. Bis zur De-

<sup>3)</sup>  $\Sigma$  RWE = Übergabeleistung der Schweiz an das RWE.

Tabelle III

Versuch gemäß Ziff. ....	Oszillo- gramm- Nr.	Datum 1961	Uhrzeit	Sollwerte der Programme <sup>1)</sup>			Verfügbare Regelleistung				Parameter des Netzreglers Laufenburg			Bemerkungen
				$\Sigma$ EdF <sup>2)</sup> MW	$\Sigma$ RWE = $\Sigma$ EdF + $\Sigma$ Schweiz <sup>2)</sup> MW	$\Sigma$ Schwz. <sup>2)</sup> MW	FMM MW	KWO MW	GD MW	total MW	$K$ MW/ Hz	$C_p$ MW/ MW	$T_n$ s	
6.5	EdF regelte $\Sigma$ EdF + $\Sigma$ Schweiz gegenüber RWE													
6.5.1.1	21	19. 10.	14.37	+162	— 55	+107								$t_1$ Abschaltung von 250 MW im Netz der EdF
6.5.2.1	22	19. 10.	15.30	+162	— 55	+107								bis $t_3$ alle Netzregler blockiert
6.6	Laufenburg regelte $\Sigma$ EdF + $\Sigma$ Schweiz gegenüber RWE													
6.6.1.1	23	19. 10.	16.30	+162	— 55	+107	290	130	220	640	2000	0,30	15	$t_1$ Abschaltung von 250 MW im Netz der EdF (Produktion der Génissiat-Gruppe) $t_2$ Parallelschaltung Produktion der Génissiat-Gruppe
6.6.1.2	32	21. 10.	15.15	— 80	+ 21	— 59	290	130	220	640	2000	0,30	15	$t_1$ Abschaltung thermische Gruppe 150 MW im Netz der EdF
6.6.1.3	35	21. 10.	17.10	+ 10	+ 21	+ 31	290	130	220	640	2000	0,30	15	$t_1$ Abschaltung thermische Gruppe 250 MW im Netz der EdF
6.6.2.1	24	19. 10.	17.00	+ 2	+ 15	+ 17	290	130	220	640	2000	0,30	15	bis $t_3$ alle Netzregler blockiert
6.6.2.2	34	21. 10.	16.35	— 80	+ 21	— 59	290	130	220	640	2000	0,30	15	

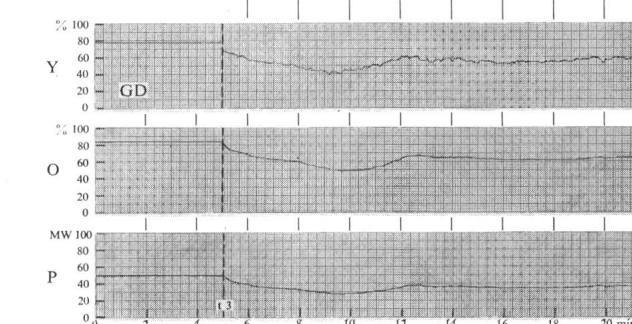
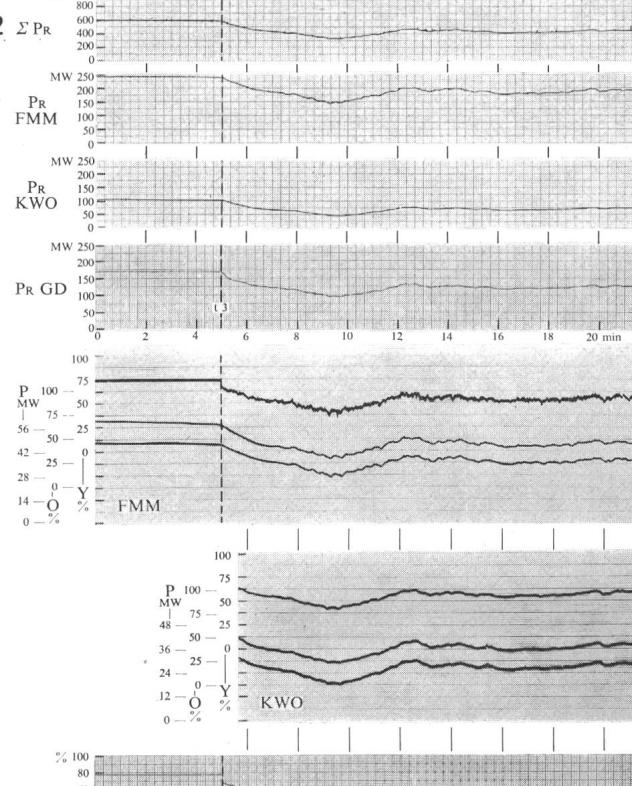
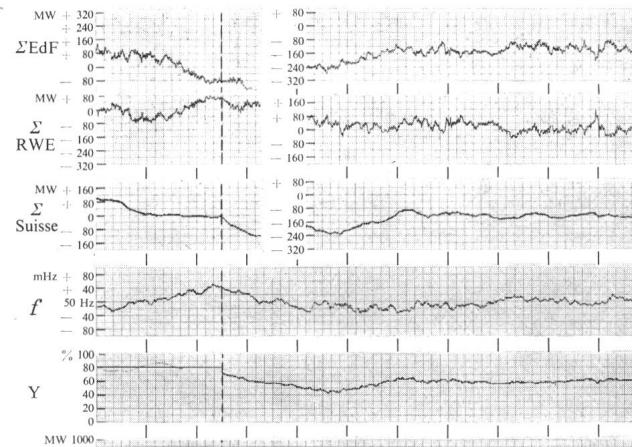
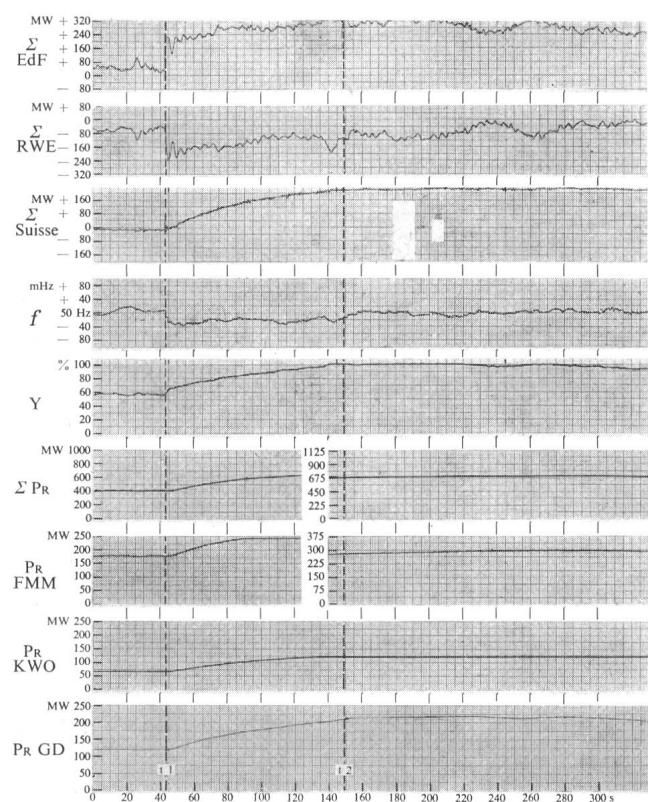
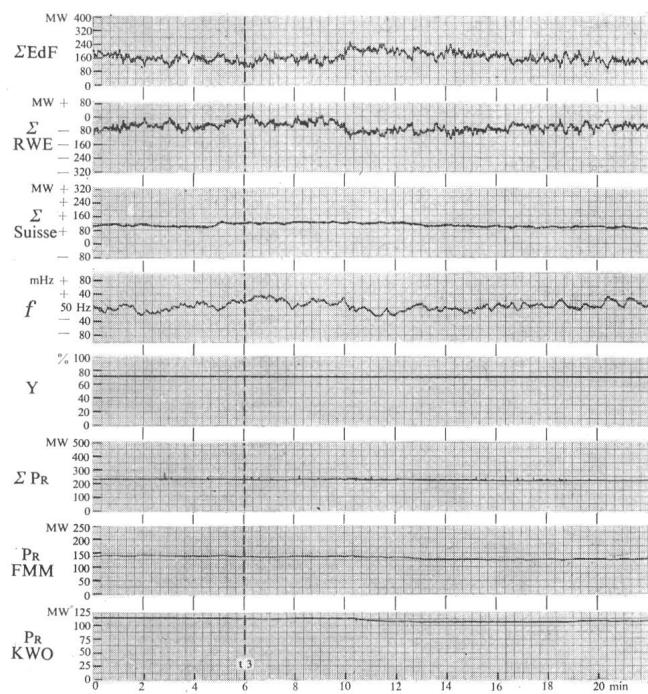
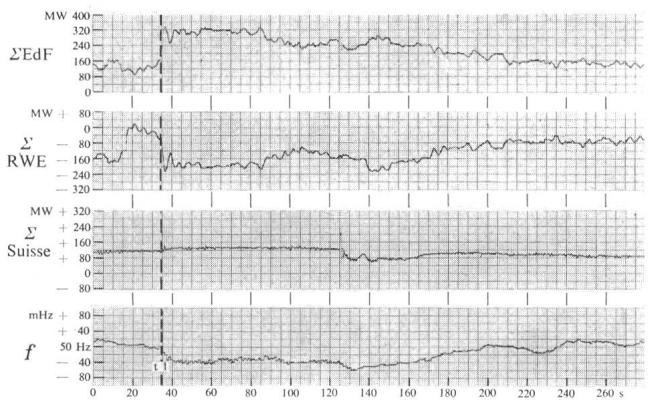
<sup>1)</sup> Vorzeichenerklärung wie in Tabelle II.<sup>2)</sup> Bezeichnungen siehe Tabelle II.

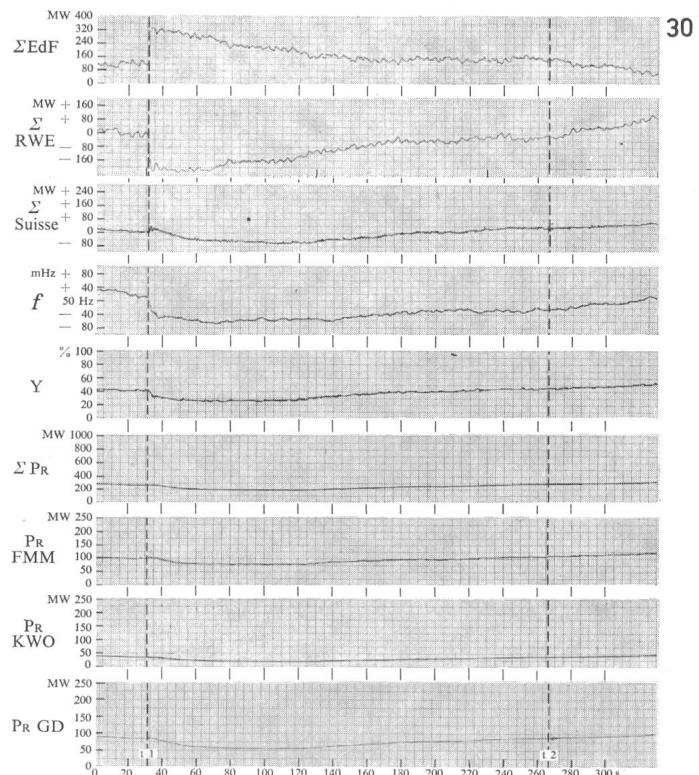
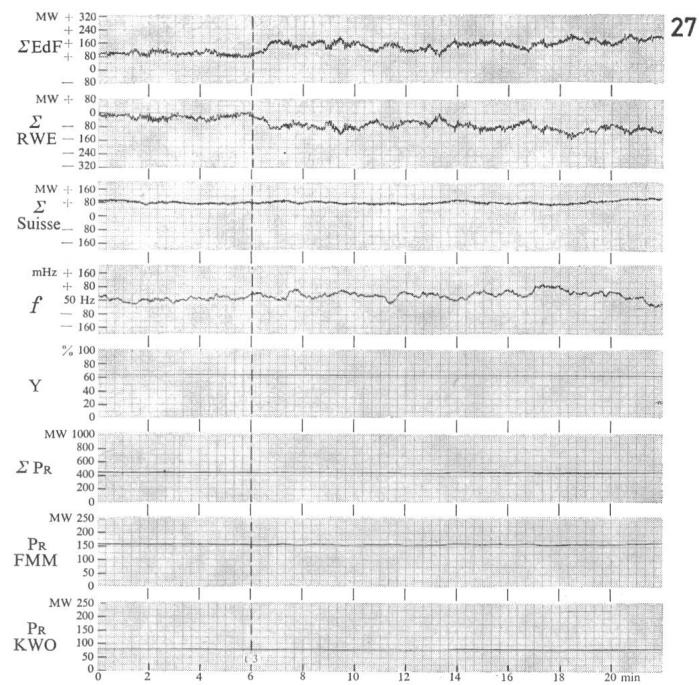
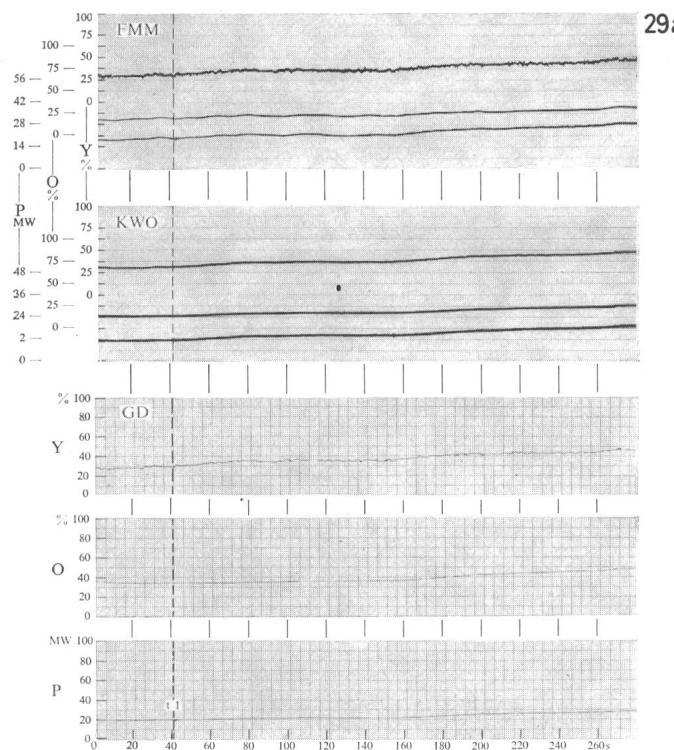
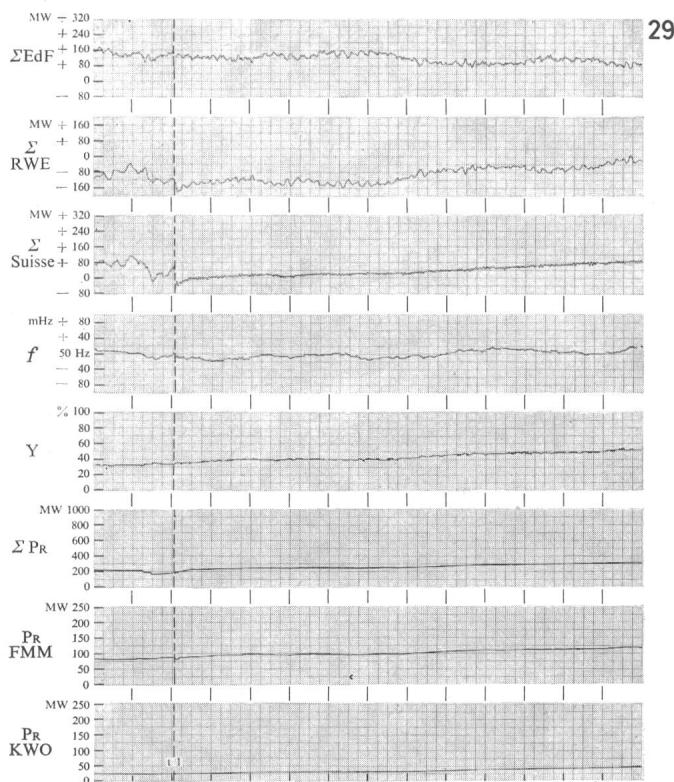
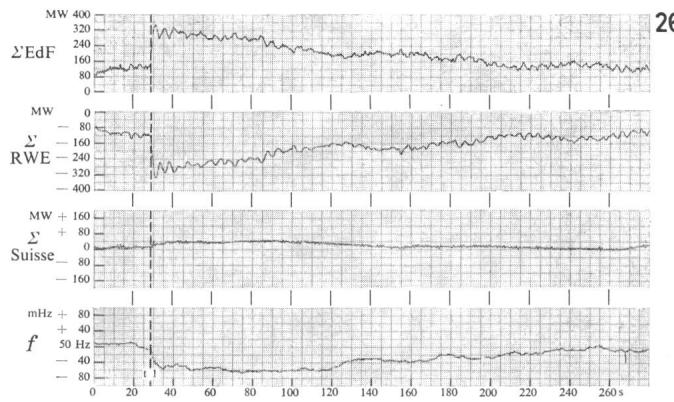
Versuchsreihe 4

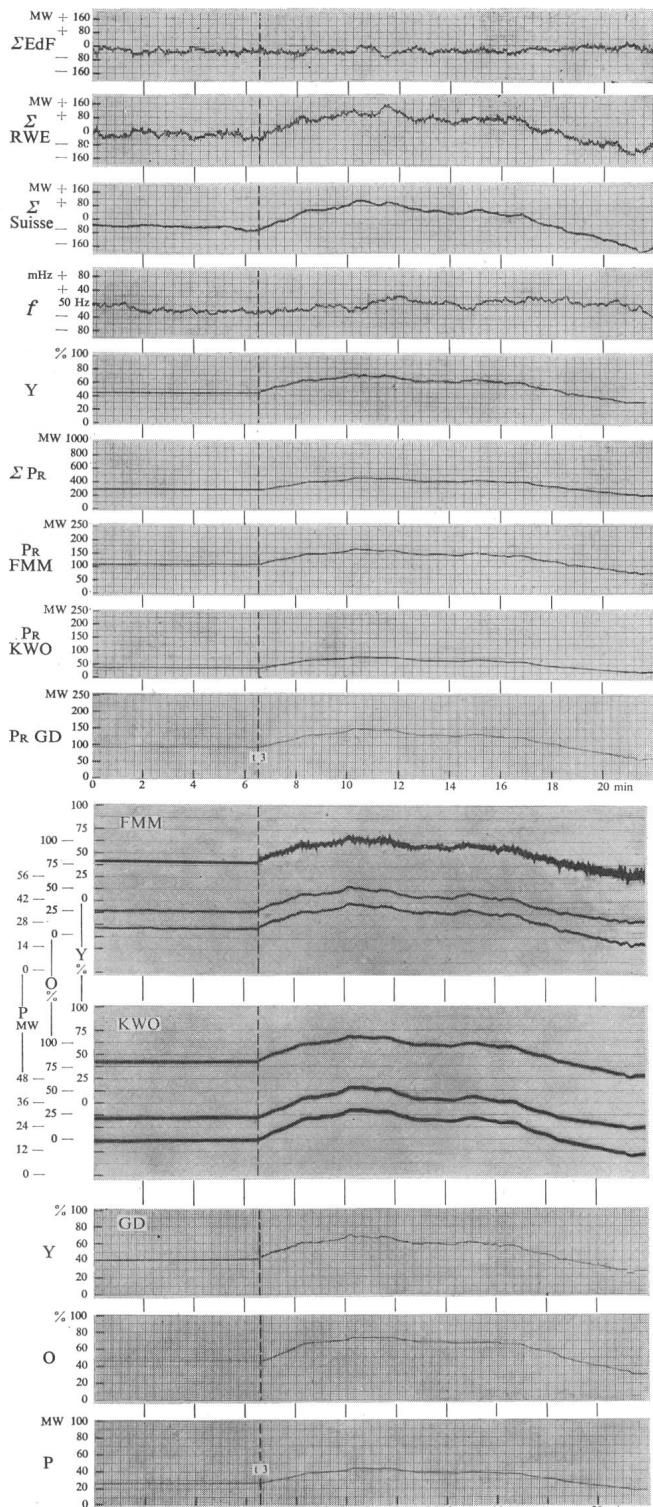
Tabelle IV

Versuch gemäß Ziff. ....	Oszillo- gramm- Nr.	Datum 1961	Uhrzeit	Sollwerte der Programme <sup>1)</sup>			verfügbare Regelleistung				Parameter des Netzreglers Laufenburg			Bemerkungen
				$\Sigma$ EdF = $\Sigma$ RWE + $\Sigma$ Schweiz <sup>2)</sup> MW	$\Sigma$ RWE <sup>2)</sup> MW	$\Sigma$ Schwz. <sup>2)</sup> MW	FMM MW	KWO MW	GD MW	total MW	$K$ MW/ Hz	$C_p$ MW/ MW	$T_n$ s	
7.5	RWE regelte $\Sigma$ RWE + $\Sigma$ Schweiz gegenüber EdF													
7.5.1.1	25	20. 10.	14.30	+139	— 79	+ 60								$t_1$ Abschaltung von 100 MW Import von SIP (I) nach der Schweiz
7.5.1.2	26	20. 10.	15.00	+139	— 79	+ 60								$t_1$ Abschaltung von 250 MW im Netz der EdF (Produktion der Génissiat-Gruppe)
7.5.2.1	27	20. 10.	15.20	+139	— 79	+ 60								bis $t_3$ alle Netzregler blockiert
7.6	Laufenburg regelte $\Sigma$ RWE + $\Sigma$ Schweiz gegenüber EdF													
7.6.1.1	29	20. 10.	16.30	+139	— 79	+ 60	360	90	220	670	2000	0,30	15	$t_1$ Abschaltung von 100 MW Import von SIP (I) nach der Schweiz
7.6.1.2	30	20. 10.	16.45	+139	— 79	+ 60	360	90	220	670	2000	0,30	15	$t_1$ Abschaltung von 250 MW im Netz der EdF (Produktion der Génissiat-Gruppe) $t_2$ Parallelschaltung Produktion der Génissiat-Gruppe
7.6.2.1	31	20. 10.	17.00	— 21	— 9	— 30	360	90	220	670	2000	0,30	15	bis $t_3$ alle Netzregler blockiert

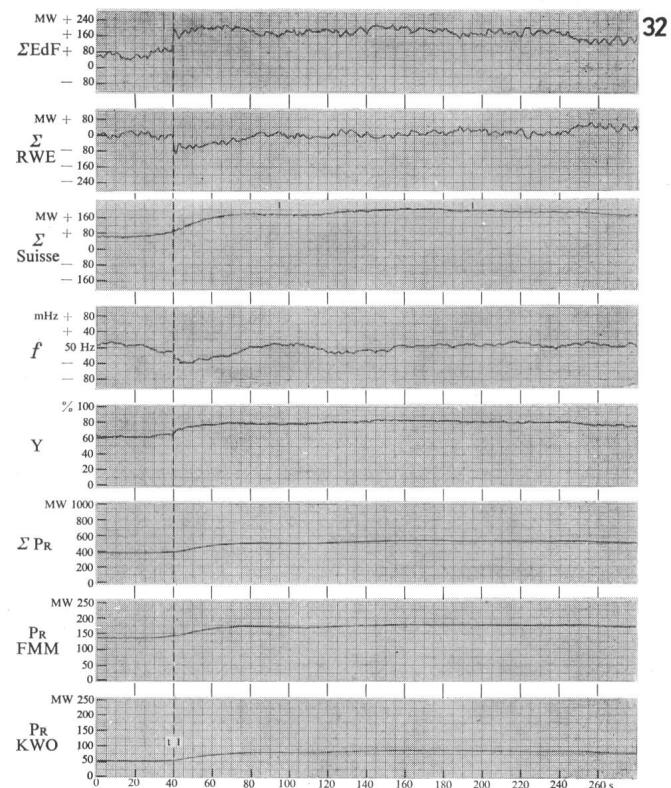
<sup>1)</sup> Vorzeichenerklärung wie in Tabelle II.<sup>2)</sup> Bezeichnungen siehe Tabelle II.





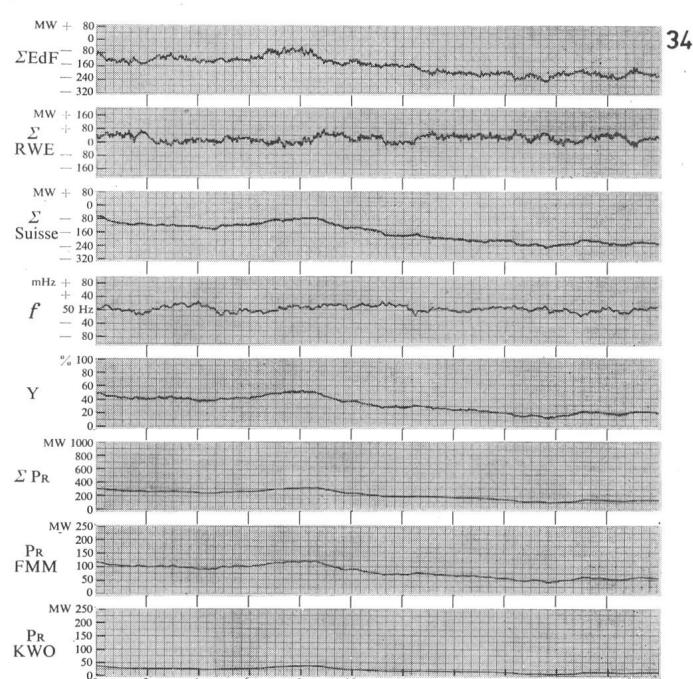


31



32

31a



34

blockierung der Netzregler Paris und Brauweiler ( $t_3$ ) wich die Übergabe  $\Sigma$  RWE nur wenig vom Sollwert ab. Bei  $t = 10$  min war im RWE-Netz ein grösserer Lastanstieg zu bemerken, dessen Ausregelung ca. 7 min beanspruchte. Die Regelabweichungen der Übergabe  $\Sigma$  RWE blieben innert  $\pm 45$  MW konstant.

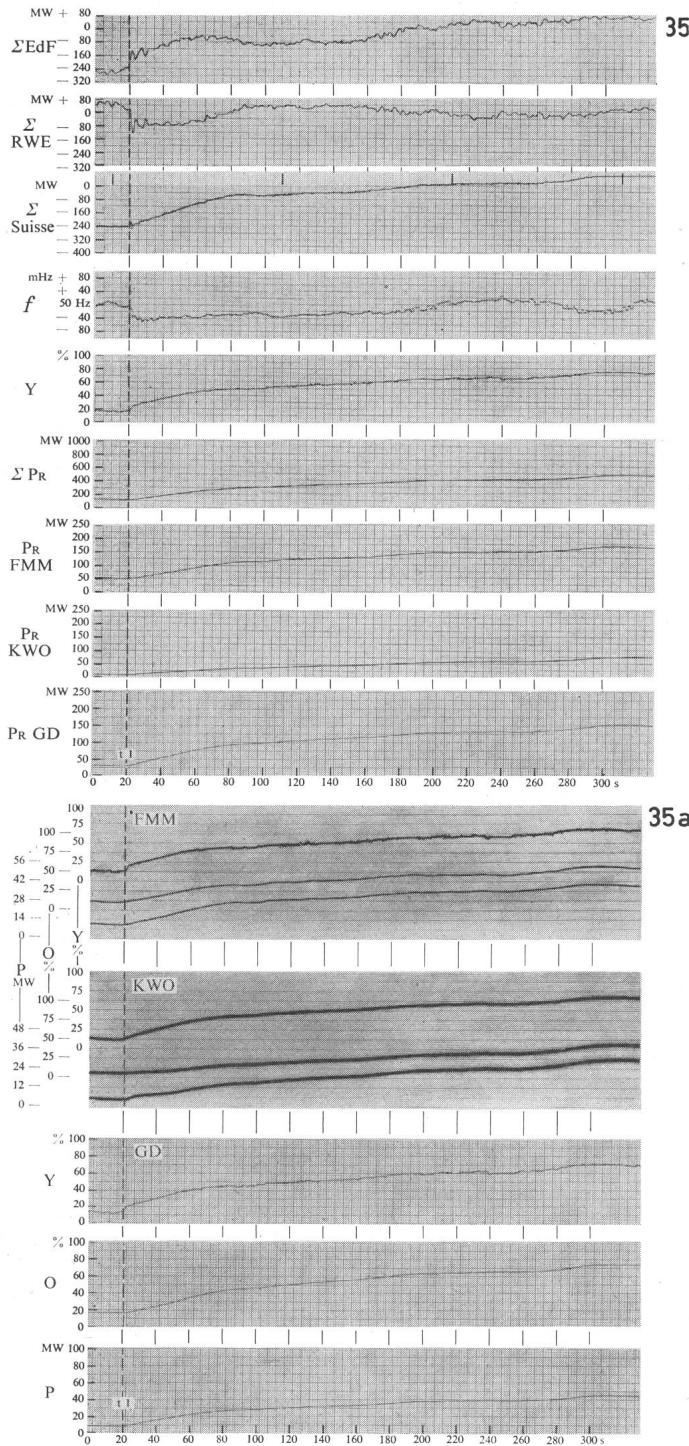
Beim Versuch 6.6.2.1 (Osz. 24) war der Netzregler Paris blockiert. Bis zur Deblockierung der Netzregler Brauweiler und Laufenburg wichen die Übergabe  $\Sigma$  RWE um ca. 50 MW vom Sollwert ab. Die Ausregelung dieser Lastverschiebung benötigte ca. 5 min. Sonst war die Belastung bei Osz. 24 sehr ruhig, im Ge-

gensatz zu einem gleichartigen Versuch 6.6.2.2 an einem anderen Tag (Osz. 34), an dem Regelbewegungen von 200 MW zum Ausgleich der Laständerung notwendig waren; trotzdem blieben die Regelabweichungen der Übergabe  $\Sigma$  RWE innert  $\pm 35$  MW.

## 7. Versuchsreihe 4

### 7.1 Versuchsziel

Vergleichsversuche der Regelung des Netzverbandes des RWE und der Schweiz gegenüber der EdF; einerseits mittels Netzregler des RWE und RWE-Regelwerken, anderseits mittels Netzregler Laufenburg und Schweizer-Regelwerken.



## 7.2 Schaltzustand der Netze

Normalzustand des Verbundbetriebes der Schweiz mit der EdF und dem RWE. Vor den Abschaltungen 7.5.1.1 und 7.6.1.1 wurde zusätzlich die SIP (Società Idroelettrica Piemonte [Italien]) mit der Schweiz gekuppelt.

## 7.3 Betriebszustand der Netzregler

- Die EdF regelte normal ihre Austauschprogramme gegenüber dem RWE und der Schweiz.
- Bei den Versuchen 7.5 regelte das RWE die Summe der Austauschprogramme des RWE und der Schweiz gegenüber der EdF.
- Bei den Versuchen 7.6 regelte die Schweiz mittels Netzregler Laufenburg die Summe der Austauschprogramme des RWE und der Schweiz gegenüber der EdF.

## 7.4 Regelwerke

EdF	EdF-Regelwerke, gesteuert durch Netzregler Paris.
RWE	RWE-Regelwerke, gesteuert durch Netzregler Brauweiler (Versuch 7.5).
Schweiz	gesteuert durch Netzregler Laufenburg (Versuch 7.6).
Forces Motrices de Mauvoisin, Riddes	} 360 MW
Forces Motrices de Mauvoisin, Fionnay	
Kraftwerke Oberhasli, Innertkirchen	} 90 MW
Grande Dixence, Nendaz	
Grande Dixence, Fionnay	} 220 MW

## 7.5 Versuche: RWE regelte $\Sigma$ RWE + $\Sigma$ Schweiz gegenüber der EdF

### 7.5.1 Abschaltungen

7.5.1.1 Abschaltung der Kuppelleitung SIP-Schweiz mit einem Energietransport in Richtung Schweiz von 100 MW.

7.5.1.2 Abschaltung der Produktionsgruppe Génissiat im Netz der EdF mit 250 MW.

### 7.5.2 Betriebsversuche

7.5.2.1 Das RWE regelte den Betrieb mit Parametern eigener Wahl. Die Aufnahme des Versuchs erfolgte während 30 min, wobei in den ersten 10 min die Netzregler Paris und Brauweiler blockiert waren.

## 7.6 Versuche: Laufenburg regelte $\Sigma$ RWE + $\Sigma$ Schweiz gegenüber der EdF

### 7.6.1 Abschaltungen

7.6.1.1 Abschaltung der Kuppelleitung SIP-Schweiz mit einem Energietransport Richtung Schweiz von 100 MW.

7.6.1.2 Abschaltung der Produktionsgruppe Génissiat im Netz der EdF mit 250 MW.

### 7.6.2 Betriebsversuche

7.6.2.1 Laufenburg regelte den Betrieb mit den Parametern  $K = 2000 \text{ MW/Hz}$ ;  $C_p = 0,30$ ;  $T_n = 15 \text{ s}$ .

Die Aufnahme des Versuchs erfolgte während 30 min, wobei in den ersten 10 min die Netzregler Paris und Laufenburg blockiert waren.

## 7.7 Ergebnisse der Versuche

In Tabelle IV sind die Bedingungen bei den Versuchen zusammengestellt. Zur Beurteilung der Ergebnisse sei auf die zugehörigen Oszillogramme verwiesen.

### 7.7.1 Abschaltungen

Bei den 100 MW-Abschaltungen der Kuppelleitung SIP-Schweiz innerhalb des Netzverbandes des RWE und der Schweiz machten sich diese auf die Übergabe  $\Sigma$  EdF und die Frequenz praktisch nicht bemerkbar (Osz. 25 und 29). Es lassen sich folglich aus diesen Versuchen keine Schlüsse ziehen. Eine Abschaltleistung von 100 MW ist für Versuche im westeuropäischen Netz offensichtlich zu klein. Bei den 250-MW-Abschaltungen bei der EdF, also ausserhalb des Netzverbandes des RWE und der Schweiz, sind die Ergebnisse bei der Regelung durch das RWE (Osz. 26) und bei der Regelung durch die Schweiz (Osz. 30) gleich-

wertig. Der Netzregler im Netzverband des RWE und der Schweiz hat bei Frequenz-Leistungsregelung und richtiger Wahl der Leistungszahl am Netzregler auf Laständerungen ausserhalb dieses Verbandes nicht zu intervenieren, bzw. der Verband hat sich nur durch die Netzstatik an dem Vorgang zu beteiligen.

Bei der Regelung durch Laufenburg war offensichtlich  $K$  mit 2000 MW/Hz um ca. 1000 MW/Hz zu niedrig eingestellt, was aus Osz. 30 nach der Abschaltung ( $t_1$ ) sowohl aus der Senkung der Stellgrösse  $Y$  als auch aus dem Rückgang der Anfangsleistung  $\Sigma$  Schweiz zu erkennen ist. Die eigentliche Ausregelung der Abschaltung geschah durch den Netzregler der EdF in ca. 200 s.

### 7.7.2 Betriebsversuche

Beim Versuch 7.5.2.1 (Regelung durch das RWE) wich die Übergabe an die EdF bis zur Deblockierung der Netzregler Paris und Brauweiler um ca. 60 MW vom Sollwert ab. Nach der Deblockierung war die Regelabweichung in ca. 1 min ausgeregelt. In der restlichen Versuchszeit schwankte die Netzelastung wenig. Die Regelabweichung der Übergabe blieb innerhalb + 45 bis - 35 MW und diejenige der Frequenz innerhalb + 90 bis - 10 mHz.

Beim Versuch 7.6.2.1 (Regelung durch Laufenburg) wich die Übergabe an die EdF bis zur Deblockierung der Netzregler Paris und Laufenburg praktisch nicht vom Sollwert ab. Im weiteren Verlauf schwankte die Netzelastung um ca. 150 MW. Die Regelabweichung der Übergabe blieb innerhalb + 30 bis - 40 MW und diejenige der Frequenz innerhalb + 20 bis - 30 mHz.

## 8. Schlussbemerkungen

Dank den heutigen Regelmethoden erfolgt ein Parallelbetrieb der Schweiz mit den Nachbarnetzen ohne Schwierig-

keiten. Die Ergebnisse zeigen auch, dass es vorteilhaft ist, wenn sich mehrere Kraftwerke gemeinsam an der Netze Regelung beteiligen; der einzelne Generator arbeitet in einem engeren Regelbereich und wird dadurch besser ausgenutzt.

Weiter sei auf folgende Tatsache hingewiesen:

Jeder der an den Versuchen beteiligten Netzregler ist in der Lage, die Steuer- und Regelfunktion als zentrale Kommandostelle innerhalb des westeuropäischen Verbundnetzes zu übernehmen, d. h. Netzfrequenz und vereinbarte Übergabeleistungen zwischen den Netzverbänden auf den Sollwerten zu halten. Als Grundlage eines reibungslosen Betriebes ist ein modernes Nachrichten- und Messwertübertragungssystem unumgänglich.

Die Autoren danken den Vertretern der verschiedenen Gesellschaften im In- und Ausland für die während der Versuche gewährten Unterstützung. Nur durch allseitige Mithilfe war es möglich, diese in so grossem Umfang durchzuführen.

## Literatur

- [1] Bloch, H., W. Frey und H. Luder: Rapport concernant l'interconnexion de la Suisse avec les réseaux de l'Europe occidentale. Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (CIGRE), 19. Session 1962, Bd. 3, Rapp. 318.
- [2] Bloch, H., W. Frey und H. Luder: Complément au rapport 318 sur l'interconnexion de la Suisse avec les réseaux de l'Europe occidentale. Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (CIGRE), 19. Session 1962, Bd. 3, Rapp. 318 bis.
- [3] Hochreutiner, R.: Entwicklung des westeuropäischen Verbundbetriebes in der Stromversorgung. Bull. SEV 52(1961)16, S. 637... 644.
- [4] Quervain, A. de und W. Frey: Regelmethoden und Netzregelung im Verbundbetrieb. Brown Boveri Mitt. 44(1957)11, S. 472...487.
- [5] Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Électricité (UCPTE): Bedeutung und Bestimmung der Leistungszahl und der Statistik für die zusammengeschalteten Netze von Westeuropa. Jahresbericht 1957/58.
- [6] Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Électricité (UCPTE): Ergebnisse neuer Abschaltversuche in den Netzen Westeuropas zur Bestimmung von regeltechnisch wichtigen Grössen. Jahresbericht 1958/59.

## Adressen der Autoren:

H. Luder und A. Pfander, Ingenieure der Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG, Laufenburg (AG); H. Bloch und Dr. W. Frey, Ingenieure der AG Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

## Bau und Betrieb einer Autobahnbeleuchtung<sup>1)</sup>

Von H. Wüger, Zürich

628.971.6 : 625.711.3

haben sich die EKZ auch mit den Fragen eingehend beschäftigt.

Über die grundsätzliche Anordnung der Beleuchtung muss ebenfalls nicht viel gesagt werden, weil wir uns an die Richtlinien der SBK halten, das heisst: auf der offenen

Strecke wird die Beleuchtung in der Regel im Mittelstreifen angeordnet, wobei Kandelaber mit zwei Auslegern Verwendung finden. Liegen die beiden Fahrbahnhälften weiter auseinander

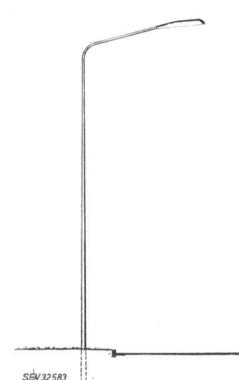


Fig. 1  
Typenskizze des Stahlrohrmastes von  
10 m Höhe  
Neigung des Auslegers 15°, Neigung  
der Leuchte 5°

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung der Schweiz. Beleuchtungs-Kommission am 15. November 1963 in Zürich.