

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 56 (1964)
Heft: 9-10

Artikel: Das schweizerische Verbundnetz und der internationale Stromaustausch = Le réseau suisse d'interconnexion et les échanges internationaux d'énergie électrique = The Swiss interconnected network and the exchange of electrical energy on an international scale
Autor: Hochreutiner, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921827>

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: 06.01.2026

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

Der Reichtum an Wasserkraften hat es der Schweiz bis heute als einzigem Land Kontinental-Europas ermöglicht, ihren Bedarf an elektrischer Energie voll mit ihrer eigenen Wasserkrafterzeugung zu decken, abgesehen von einem geringen Anteil thermischer Energie, der weniger als 2% der gesamten Stromerzeugung beträgt.

Die ausbauwürdigen Wasserkraften sind indessen sehr ungleichmässig auf die einzelnen Kantone verteilt. So wird allein auf die Kantone Graubünden, Tessin und Wallis nach dem für 1975 vorgesehenen Abschluss des Bauprogramms eine Leistung von etwa 7 Millionen kW entfallen; das sind rund 70% der gesamten schweizerischen Kraftwerkleistung. In diesen drei Kantonen leben aber nur 10% der Schweizerbevölkerung, die wiederum etwa 25% der bei ihnen erzeugten Energie verbrauchen, so dass rund 75% der Erzeugung jener drei Kantone in die benachbarten Gebiete der Nordschweiz, die eine grössere Verbrauchsdichte haben, abfliessen müssen. Aus dieser Struktur erklärt sich die mit der Ausnützung unserer Wasserkraften zeitlich zusammenfallende Entwicklung des Verbundnetzes.

Schon im Jahre 1908 wurde eine 50-kV-Leitung zwischen Beznau am Zusammenfluss von Aare und Rhein und Löntsch im Kanton Glarus erstellt, eine der ersten Verbindungen zwischen einem Laufwasserkraftwerk und einem Speicherkraftwerk im Alpengebiet. Im Laufe der folgenden Jahre entwickelten sich dann 50-kV-, 70-kV- und auch noch 80-kV-Regionalnetze. Bald fordern jedoch der steigende Bedarf an Transportkapazität und die Verlängerung der Transportwege die Einführung einer höheren Spannungsebene.

In der deutschen Schweiz wird eine erste 150-kV-Leitung zwischen dem Kraftwerk Wägital und dem Gebiet um Winterthur in Betrieb genommen. In der französischen Schweiz ist es die 130-kV-Verbindung Chandoline—Romanel—Genf, die den Transport der in Dixence (Wallis) erzeugten Energie nach Lausanne und Genf sichert. Erst im Jahre 1953 wird mit der Inbetriebnahme der 220-kV-Lukmanier-Leitung von Airolo nach Mettlen, welche die im Tessin erzeugte Energie nach Luzern leitet, eine neue Spannung eingeführt. Seither sind zahlreiche Verbindungen erstellt worden, die sich zum heutigen 220-kV-Verbundnetz mit einer Leitungslänge von 1600 km zusammenfügen (siehe Abb. 1).

Mit Ausnahme zweier Ost-West-Verbindungen, nämlich zwischen den Netzknotenpunkten Grynau — Mettlen — Birkigen im Norden und zwischen den Punkten Airolo — Mörel — Chamoson — Riddes — Romanel im Süden der Schweiz, verlaufen diese Transportwege im allgemeinen in Nord—Süd-Richtung.

Im Hinblick auf den steigenden Stromverbrauch — er nimmt in der Schweiz jährlich um rund 6% zu — und die Inbetriebnahme der im Bau befindlichen Wasserkraftwerke mit einer Erzeugung von etwa 6 Milliarden kWh sollte eine Erweiterung dieses Verbundnetzes vorgesehen werden.

Die verhältnismässig kurzen Entfernungen zwischen den neuen Kraftwerken und den Verbrauchszentren — im allgemeinen etwa 200 km — könnten durchaus wirtschaftlich

mit 220-kV-Leitungen überbrückt werden. Jedoch muss man zwei Schwierigkeiten Rechnung tragen, die einen solchen weiteren Ausbau erheblich erschweren können. Zum einen ist es im sehr dicht bevölkerten Norden der Schweiz beinahe unmöglich, Trassen für neue Leitungen zu erhalten; zum andern erlauben es die geographischen Gegebenheiten in manchem Alpental nicht, eine genügende Anzahl Hochspannungsleitungen zu errichten, zumal auch mit dem Einspruch des Naturschutzes gerechnet werden muss.

Unter diesen Umständen erwies es sich als notwendig, den Energietransport auf eine kleine Anzahl Leitungen grosser Uebertragungsfähigkeit zu konzentrieren und sich einer höheren Spannung, nämlich 380 kV, zu bedienen.

Die erste Teilstrecke einer 380-kV-Verbindung vom Kanton Graubünden bis in die Umgebung von Winterthur wird noch dieses Jahr zwischen Sils i.D. und Breite in Betrieb genommen werden. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, sind mehrere 220-kV-Leitungen bereits für eine Betriebsspannung von 380 kV gebaut worden.

In Abbildung 2 ist dieses Höchstspannungsnetz dargestellt, das nach und nach das bestehende 220-kV-Netz überlagern wird.

Dieses 220-kV-Verbundnetz mit den überlagerten 380-kV-Transportwegen wurde vor allem gebaut, um die elektrische Energie im Inland von den Erzeugungs- zu den Verbrauchszentren zu leiten, um die vornehmlich im Tal errichteten Laufwasserkraftwerke mit den Speicherwerken im Alpen- und Voralpengebiet zu verbinden und um Aushilfe in der ganzen Schweiz leisten zu können, wenn eine Störung oder ein Energiemangel in einem bestimmten Gebiet auftreten sollte.



Bei der gleichzeitigen Entwicklung des 220-kV-Verbundnetzes sowohl in Deutschland als auch in Frankreich und Italien lag es nahe, die diesseits und jenseits der Grenze liegenden Anlagen miteinander zu verbinden und somit dem internationalen Stromaustausch den Weg zu öffnen.

In der Tat pflegten schweizerische Elektrizitätsunternehmen bereits seit langer Zeit Beziehungen zu ausländischen Elektrizitätsgesellschaften. Schon im Jahre 1906 wurden die Wasserkraften des Poschiavo-Tales in Graubünden ausgebaut, um die in diesen Kraftwerken erzeugte Energie aus der Schweiz nach Italien auszuführen. Zwischen 1920 und 1939 ermöglichten zahlreiche Verträge mit deutschen, französischen und italienischen Elektrizitätsgesellschaften, die durch den fortschreitenden Ausbau der schweizerischen Wasserkraften zur Verfügung stehende, jedoch im Inland nicht benötigte Energie im Ausland sinnvoll zu verwerten.

Beispielsweise wurden im hydrologischen Jahr 1939/40 1 Milliarde 800 Millionen kWh ausgeführt, d.h. 22% der Inlanderzeugung jenes Jahres. Dieser Stromaustausch wickelte sich jedoch auf rein regionaler Ebene nur in einer Richtung ab. Entweder speisten einzelne Generatoren schweizerischer Kraftwerke ihre Erzeugung im Richtbetrieb

unmittelbar in das Nachbarnetz ein oder ein abgegrenztes und abgetrenntes Gebiet im Nachbarland wurde von der Schweiz aus versorgt.

Nach dem Kriege sollte eine neue Entwicklung die Beziehungen der Schweiz zu ihren Nachbarländern völlig umgestalten. Anstelle der einseitigen Stromausfuhr trat der gegenseitige Stromaustausch. In aussergewöhnlich kalten und trockenen Wintern musste bereits Energie eingeführt werden, um den Mangel zu decken, der sich daraus ergab, dass der zeitraubende weitere Ausbau der Wasserkräfte dem sehr stark ansteigenden Stromverbrauch nicht folgen konnte. So überschritt im Winter 1955 die Einfuhr elektrischer Arbeit bereits die Milliardengrenze und entsprach rund 18% des Inlandverbrauches.

Eine grosszügige Entwicklung des Stromaustausches mit dem Ausland vertrug sich jedoch nicht mit den durch den Richtbetrieb auferlegten Beschränkungen; somit musste der Parallelbetrieb zwischen den Schweizer- und den Nachbarnetzen eingeführt werden.

Die Durchführung des Parallelbetriebes zwischen zwei benachbarten Ländern stellt verhältnismässig einfache Probleme.

Für die schweizerischen Elektrizitätsgesellschaften, die den Stromaustausch einerseits mit Frankreich, andererseits mit Deutschland durchführen wollten – wobei die bereits parallelgeschalteten EdF- und RWE-Netze ihren Austausch über die Leitung St. Avold–Koblenz aufgenommen hatten –, stellte sich jetzt aber das viel schwierigere Problem eines Verbundbetriebes zwischen drei benachbarten Ländern, wobei jedes mit jedem parallelgeschaltet sein sollte. Um dieser Forderung gerecht zu werden, mussten die schweizerischen Gesellschaften das schweizerische Netz so aufbauen, dass ein Teil mit Frankreich, der andere mit Deutschland parallelgeschaltet war, wie es in Abbildung 3 dargestellt ist.

Der getrennte Betrieb von einzelnen Netzen war mit grossen Schwierigkeiten verbunden, denn er zwang die schweizerischen Elektrizitätsunternehmen, die diesseits und jenseits der Trennungslinie durch das schweizerische Netz lagen, ihren gegenseitigen Stromaustausch mittels Richtmaschinen durchzuführen. Hierzu mussten des öfteren schwierige und gefährliche Schaltungen vorgenommen werden. In Anbetracht dieser für die Schweiz schwerwiegenden Nachteile haben sich die EdF und das RWE nach eingehender Prüfung zusammen mit den in Betracht kommenden schweizerischen Gesellschaften entschlossen, den für den deutsch-französischen Austausch massgebenden Uebergabepunkt vorläufig von St. Avold nach Kembs zu verlegen und ihre Netze mit dem schweizerischen Netz sternförmig in der Schaltanlage Laufenburg zusammenzuschalten. Somit konnte der Austausch zwischen den drei Partnern im Parallelbetrieb durchgeführt werden.

Kurze Zeit danach entschlossen sich die EdF und die beteiligten schweizerischen Gesellschaften, zur Verstärkung dieser Verbindung einen grossen Ring über die seit 1956 in Betrieb stehende 220-kV-Verbindung zwischen Génissiat – Riddes – Mühleberg und Kembs zu schliessen. Um im Rahmen dieses Berichtes zu bleiben, soll hier auf die einzelnen Massnahmen, die die schweizerischen Gesellschaften für die Verwirklichung dieses Ringbetriebes im Jahre 1959 treffen mussten, nicht näher eingegangen werden.

Der Erfolg dieser Massnahme bewirkte eine Art Kettenreaktion. Ende 1959 schliesst sich der italienisch-französisch-schweizerische Ring über Riddes – Génissiat – Malgouvet – Aise. Anfangs 1962 entstehen weitere Ringe über

Soazza – Mese, Lavorgo – Mese und Airo'o – Ponte. Heute erstreckt sich ein vermaschtes 220-kV-Netz über unser ganzes Land, wie es aus Abbildung 5 ersichtlich ist.

Dieses Netz ist ein integrierender Bestandteil des grossen europäischen Verbundnetzes, das sich über die Mitgliedsländer der Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transportes elektrischer Energie (U.C.P.T.E.), nämlich Belgien, die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg, die Niederlande, Oesterreich, die Schweiz sowie Spanien und Portugal erstreckt. Die gesamte, im Parallelbetrieb abgegebene Maschinenleistung dieses ausgedehnten Gebietes gleicher Netzfrequenz überschritt im Dezember 1963 bereits 68 Millionen kW (Abb. 6). Es kann sicherlich ohne Uebertreibung gesagt werden, dass dieser Zusammenschluss eine neue Phase in der Entwicklung des internationalen Stromaustausches einleitet.

Um ein Bild über den Umfang dieses Stromaustausches zu bekommen, erscheint es angebracht, das Volumen der schweizerischen Stromeinfuhr und -ausfuhr näher zu betrachten.

In Abbildung 7 ist der jährliche Inlandverbrauch sowie der Energieaustausch in den letzten 10 Jahren dargestellt. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass sich die Ausfuhr innerhalb 10 Jahren verdreifachte und von 1,5 auf 5,1 Milliarden kWh anstieg. Die Einfuhr stieg in der gleichen Zeitspanne von 0,5 Milliarden kWh auf 4,1 Milliarden kWh, den achtfachen Wert, wogegen der Verbrauch sich in jenem Zeitraum nicht einmal verdoppelte.

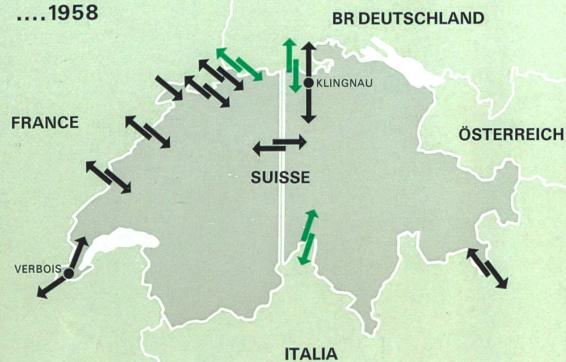
Besonders im Sommerhalbjahr, d. h. in der Jahreszeit, in der die günstige Wasserführung der Flüsse die höchste Erzeugung in den Laufwasserkraftwerken ermöglicht, ist ein beträchtlicher Ausfuhrzuwachs zu verzeichnen, der allgemein die Folge des sehr intensiven Ausbaus der schweizerischen Wasserkräfte in den letzten Jahren ist. Auch im Winter stieg die Ausfuhr in letzter Zeit infolge der Inbetriebnahme zahlreicher Speicherkraftwerke mit sehr hoher installierter Leistung an. Der aus diesen Anlagen zur Verfügung stehende Ueberschuss an Spitzenenergie wird des öftern im Ausland gegen Nachtenergie umgetauscht.

Die Stromeinfuhr hat insbesondere in den strengen und trockenen Winterperioden zugenommen, in denen die Erzeugung der schweizerischen Wasserkraftwerke den Bedarf nicht zu decken vermochte. Der aussergewöhnlich kalte und trockene Winter 1962/63 liefert hierfür ein treffliches Beispiel; zur Deckung des Energiedefizites mussten in jenem Winterhalbjahr 3,5 Milliarden kWh eingeführt werden.

Ein wesentlicher Teil dieser Energie wurde auf Grund langfristiger Verträge, die die schweizerischen Elektrizitätsunternehmen im Hinblick auf Versorgungsschwierigkeiten bei schlechten Wasserverhältnissen abgeschlossen hatten, eingeführt.

Zu diesen vertraglichen Lieferungen kommt der Energieaustausch hinzu, sei es als Rücklieferung von in der vorangegangenen Sommerperiode von der Schweiz ins Ausland gelieferter Energie (nach einem bestimmten Schlüssel), sei es als tägliches Austauschgeschäft von Tages- gegen Nachtenergie und von Spitzenenergie gegen solche ausserhalb der Spitzenzeit. Ueberdies können im Notfall kurzfristig abgesprochene Aushilfslieferungen er-

....1958

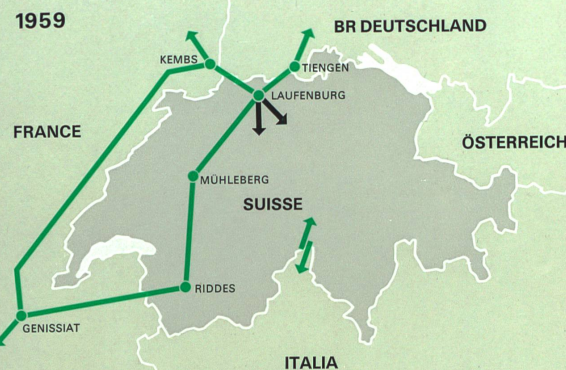


Das aufgetrennte Schweizer Netz im Parallelbetrieb einerseits mit Frankreich, andererseits mit Deutschland

Les deux zones séparées du réseau suisse en parallèle avec la France d'une part et l'Allemagne d'autre part

The two separate zones of the Swiss network, one working in parallel with France, the other with Germany

4

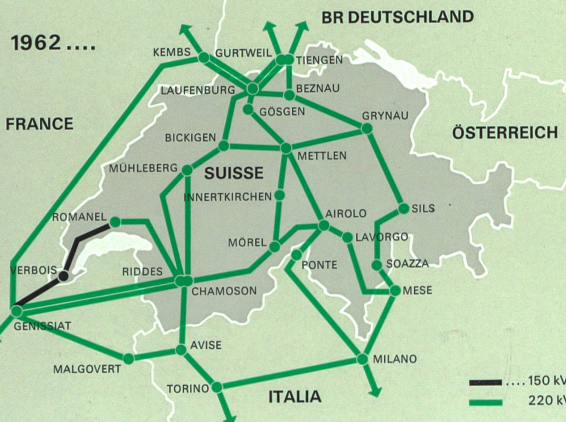


Der Parallelbetrieb des gesamten Schweizer Netzes mit Deutschland und Frankreich; der erste internationale Ringbetrieb

La marche en parallèle des réseaux français et allemand avec l'ensemble du réseau suisse; la fermeture de la première boucle internationale

The interconnection of the French and German networks with the entire Swiss network; completion of the first international closed loop

1962



Das vermaschte 220 kV-Schweizer Netz und seine Verbindungen mit dem Ausland

Le réseau maillé suisse à 220 kV et ses prolongements vers les pays voisins

The 220 kV Swiss network and its extensions into neighbouring countries.

5

folgen, die von Woche zu Woche, von Tag zu Tag oder sogar stündlich vereinbart werden.

Abbildung 8 gibt Aufschluss darüber, wie sich der Energiefluss über die Grenzen im Laufe eines Tages von Stunde zu Stunde ändern kann. Auffallend in diesem Austauschdiagramm vom 28. November 1962 ist die vor allem auf die Nachtstunden konzentrierte, umfangreiche Einfuhr zur Deckung des Winterdefizits. Zu bestimmten Stunden zwischen Mitternacht und 6 Uhr morgens überschreitet die in Anspruch genommene ausländische Leistung 1,2 Millionen kW; das sind mehr als 50% der gesamten Nachtbelastung des schweizerischen Netzes, das rund 2 Millionen kW beträgt.

Die Vorteile des Verbundbetriebes sowohl für die Schweiz als auch für ihre ausländischen Partner sind nicht zu übersehen.

Die Verwertung der in der Schweiz anfallenden überschüssigen Wasserkraftenergie in Ländern mit vorwiegender Wärmekraftenergie vermeidet Wasserverluste in den hydraulischen Kraftwerken des Inlandes und ermöglicht eine Brennstoffersparnis in den ausländischen Wärmekraftwerken.

Im strengen Winter können die in den Jahresspeichern fehlenden Energiemengen aus den benachbarten Ländern bezogen werden. Damit kann das Defizit abgedeckt werden; die Landesversorgung ist gesichert. Den thermischen Kraftwerken kommt dies wiederum zugute, denn ihr Betrieb wird dadurch regelmässiger, dass dieser Bezug vor allem in den Nachtstunden erfolgt. Zum Beispiel haben im Winter-

halbjahr 1962/63, in welchem die Schweiz über Monate während der Nachtstunden beträchtliche Mengen thermischer Energie einfuhrte, einzelne deutsche Werke eine Verminderung der Kesselschäden festgestellt.

Schliesslich bilden die Aushilfslieferungen, mit denen bei Störungen stets gerechnet werden kann, eine wesentliche Erhöhung der Sicherheit der schweizerischen Stromversorgung. Dank dieser sofortigen Hilfe aus dem Ausland können Stromunterbrechungen, die schwere Schäden in industriellen Anlagen verursachen würden, weitgehend vermieden werden. Diese Aushilfe beruht selbstverständlich auf Gegenseitigkeit und kann sich ebensogut zu Gunsten der ausländischen Partner auswirken. Beispielsweise konnte am 28. Februar 1964 infolge einer Störung im Rheinland, die eine Auftrennung des nord- und süddeutschen Netzes verursachte und zu einem Leistungsausfall im Süden von ca. 1,3 Millionen kW führte, die rotierende Reserveleistung der schweizerischen, italienischen und französischen Kraftwerke innerhalb weniger Minuten zur Verfügung gestellt und somit das Defizit ausgeglichen werden. Eine schwerwiegende Versorgungsunterbrechung wurde damit vermieden.

Allgemein gesehen erlaubt dieser auf westeuropäischer Ebene durchgeführte Verbundbetrieb (siehe Abb. 9) den Elektrizitätsunternehmen eine bessere Ausnutzung ihrer Erzeugungs- und Transportanlagen und damit auch eine Verminderung der Energieverluste. Mit dem Thema Verluste befasst sich ja die Teiltagung der Weltkraftkonferenz.

DIE ERZEUGUNG UND DER AUSTAUSCH ELEKTRISCHER ENERGIE IN DEN U.C.P.T.E.-LÄNDERN IM JAHRE 1962 (WERTE IN MILLIONEN KWH)

Land	Einfuhr a	Ausfuhr b	Austausch a+b	Erzeugung c	$\frac{a+b}{c}$
Oesterreich	779	2 825	3 604	17 807	20,24 %
BR Deutschland	5 301	2 437	7 738	126 565	6,11 %
Belgien	317	667	984	17 872	5,51 %
Luxemburg	1 464	2 389	3 853	83 260	4,63 %
Frankreich	1 617	174	1 791	64 730	2,77 %
Italien	360	360	720	18 214	3,95 %
Niederlande	2 922	3 723	6 645	21 342*	31,14 %
Schweiz	12 760	12 575	25 335	349 790	

*) hydrologisches Jahr
(1. 10. 61 — 30. 9. 62)

Aus der Tabelle über den Stromtausch der U.C.P.T.E.-Länder im Jahre 1962 ist die Tätigkeit der Schweiz auf diesem Gebiet zu ersehen. In jenem Jahr erzielte der Austausch mit dem Ausland, d. h. die Summe aller Einfuhren und Ausfuhren, 6,6 Milliarden kWh. Ein Vergleich mit dem Austauschvolumen anderer Länder zeigt, dass dieser Wert nur von Deutschland überschritten wird. Betrachtet man aber das Austauschvolumen im Verhältnis zur Eigenerzeugung eines jeden Landes, so ergibt sich für die Schweiz mit einem Austausch von 30% der Inland-erzeugung der weitaus höchste Prozentsatz (siehe Abb. 10).

Wenn nun die schweizerischen Elektrizitätsunternehmen den Ausbau der Wasserkräfte zur Deckung des Inlandbedarfes fortsetzen, wenn sie vor allem im Interesse der

Schweizer Energiekonsumenten den Zusammenschluss der einzelnen regionalen Netze bewerkstelligen, so unterliessen sie es gleichwohl nicht, ihre Verbindungen mit den Netzen der Nachbarländer immer enger zu gestalten als Ausdruck ihrer Solidarität im Sinne einer engeren internationalen Zusammenarbeit.

Seit der Gründung der Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transportes elektrischer Energie im Jahre 1951 haben sich die schweizerischen Elektrizitätsunternehmen an deren Arbeit beteiligt. In den vergangenen Jahren trafen sie die notwendigen Massnahmen, um ihre Netze in das grosse, parallelbetriebene Verbundnetz, das sich über Belgien, die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg, die Niederlande, Oesterreich, die Schweiz sowie über Spanien, Portugal und den kontinentalen Teil Dänemarks erstreckt, einzufügen.

LE RESEAU SUISSE D'INTERCONNEXION ET LES ECHANGES INTERNATIONAUX D'ENERGIE ELECTRIQUE

R. Hochreutner, ing. dipl., lic. iur., Directeur de l'Electricité de Laufenbourg SA (Laufenbourg)

CD. 621.315 (494:4)

La Suisse, grâce à la richesse de ses forces hydrauliques, est le seul pays d'Europe continentale qui peut encore couvrir entièrement ses besoins en énergie électrique avec la production de ses usines hydrauliques, la part de l'énergie thermique restant inférieure à 2% de la production totale.

Mais les chutes d'eau utilisables sont réparties d'une façon très inégale. Dans les seuls cantons des Grisons, du Tessin et du Valais, la puissance disponible après achèvement du programme de mise en valeur des forces hydrauliques vers 1975 atteindra 7 millions de kW, soit près de 70% de la puissance totale. Les habitants de ces cantons, qui ne représentent que 10% de la population de la Suisse, consomment 25% environ de l'énergie produite; 75% doivent donc être transportés dans les zones de forte consommation de la Suisse septentrionale. Cette particularité fait mieux comprendre les raisons du développement d'un réseau d'interconnexion qui s'est poursuivi conjointement avec la mise en valeur de nos sources d'énergie hydraulique.

En 1908 déjà, une liaison à 50 kV avait été établie entre Beznau au confluent de l'Aar et du Rhin et la centrale de Löltsch dans le canton de Glaris pour réaliser une des premières interconnexions entre une centrale au fil de l'eau et une centrale à bassin d'accumulation des Alpes. Au cours des années suivantes, on assiste au développement de réseaux régionaux à 50, 70 puis 80 kV. Par suite de l'augmentation des puissances à transporter et de l'accroissement des distances de transport, l'introduction d'une tension plus élevée devint nécessaire.

En Suisse alémanique, une première ligne à 150 kV reliant la centrale du Wälgital à la région de Winterthur est mise en service. En Suisse romande, c'est la ligne Chandoline - Romanel - Genève qui est mise sous tension à 130 kV pour transporter l'énergie de la Dixence dans le Valais vers Lausanne et Genève. Mais il faut attendre jusqu'en 1953 pour assister au passage à l'échelon de tension de 220 kV par la mise en service de la ligne du Lukmanier reliant Airolo à Mettlen qui devait assurer le transport de l'énergie produite dans les centrales du Tessin vers Lucerne. Depuis lors, de nombreuses liaisons ont été réalisées pour constituer le réseau actuel d'interconnexion 220 kV dont la longueur totale atteint 1600 km (voir fig. 1).

D'une façon générale, ces artères sont orientées dans la direction nord-sud, à l'exception de deux transversales est-ouest qui relient d'une part en Suisse septentrionale les noeuds d'interconnexion de Grynau - Mettlen - Birkigen et, en Suisse méridionale, d'Airolo - Mörel - Chamoson - Riddes - Romanel.

Du fait de l'augmentation de la consommation d'énergie électrique en Suisse, qui se poursuit à un rythme de 6% environ par an, et de la mise en service des centrales hydrauliques en construction dont la production atteindra 6 milliards de kWh, une extension de ce réseau d'interconnexion doit être envisagée.

Pour assurer un transport économique de l'énergie de ces nouvelles usines à des distances relativement courtes, de l'ordre de grandeur de 200 km, le recours à la tension de 220 kV serait tout à fait rationnel.

Toutefois, il a fallu tenir compte de deux difficultés qui ont mis en question la réalisation de cet équipement. La densité de la population dans toute la moitié septentrionale de la Suisse est telle qu'il est presque impossible de trouver des tracés pour le passage de nouvelles lignes. Souvent aussi, la configuration géographique dans bien des vallées des Alpes ne permet la construction que d'un nombre insuffisant de lignes, sans parler des oppositions faites par l'Association de la protection des sites.

Etant donné ces circonstances, il s'est avéré nécessaire de concentrer les transports d'énergie sur un petit nombre d'artères encore plus puissantes et, par conséquent, de recourir à la tension supérieure de 380 kV.

Le premier tronçon 380 kV d'une ligne reliant le canton des Grisons à la région de Winterthur, de Sils/D à Breite, va entrer en service au cours de cette année. En prévision de cette évolution, une série de lignes actuellement exploitées à 220 kV ont déjà été construites pour permettre leur utilisation à 380 kV.

La fig. 2 donne une image de ce réseau à un échelon supérieur de tension qui progressivement va se superposer au réseau 220 kV.

Cette interconnexion à 220 kV, complétée par de grandes artères à 380 kV, a été réalisée avant tout pour assurer les transports d'énergie électrique entre les centres de production et de consommation dans le pays même, pour relier les usines électriques au fil de l'eau, normalement situées dans la plaine, et les usines à accumulation des Alpes et des Préalpes et pour permettre des fournitures d'énergie de secours dans toute l'étendue du territoire en cas de défaillance ou de pénurie dans une région donnée.

■

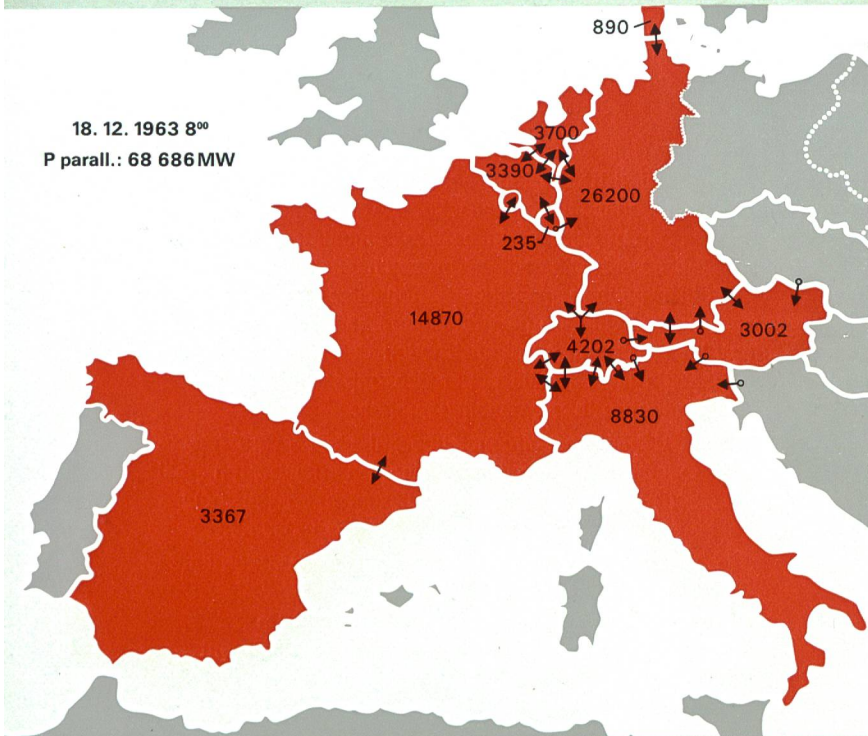
Il était naturel qu'avec le développement simultané de réseaux d'interconnexion à 220 kV aussi bien en Allemagne qu'en France et en Italie, des liaisons soient établies entre des postes d'interconnexion de part et d'autre de la frontière pour ouvrir la voie à des échanges internationaux d'énergie.

Certes, les sociétés suisses d'électricité entretiennent depuis longtemps des relations avec des sociétés étrangères. En 1906 déjà, l'aménagement des forces hydrauliques de la vallée de Poschiavo dans les Grisons avait été réalisé pour exporter de la Suisse vers l'Italie l'énergie produite dans ces centrales électriques. De 1920 à 1939 de nombreux accords avaient été conclus entre des sociétés suisses, allemandes, françaises et italiennes d'électricité, qui ont permis de mettre en valeur à l'étranger de l'énergie disponible à la suite de l'équipement de nos chutes d'eau et qui ne trouvait pas d'utilisation dans le pays même.

Pendant l'année hydrologique 1939/40, ces exportations ont atteint 1 milliard 800 millions de kWh, correspondant à 22% de la production indigène cette année-là. Mais ces échanges d'énergie étaient à sens unique, revêtaient un caractère tout à fait régional et s'effectuaient en service séparé, soit que des groupes générateurs de centrales

6

18. 12. 1963 8⁰⁰
P parall.: 68 686 MW



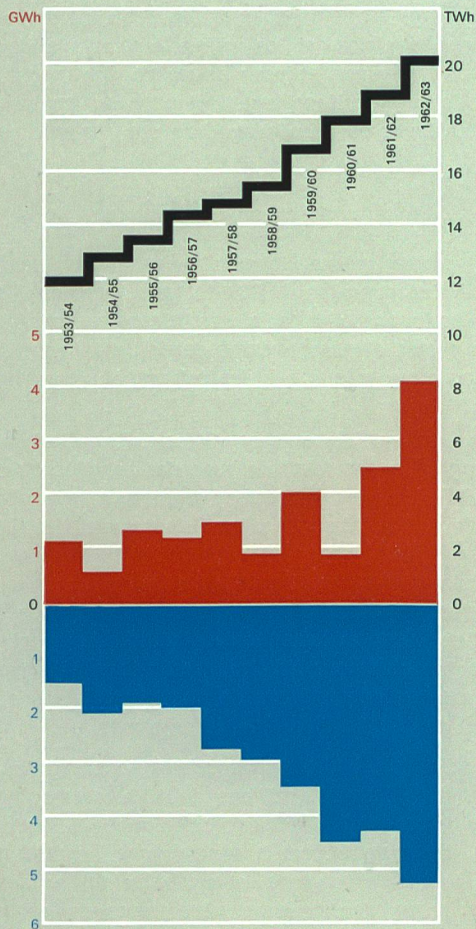
Das Gebiet gleicher Netzfrequenz am 18. Dezember 1963 und die um 8 Uhr abgegebene Leistung der parallelgeschalteten Kraftwerke

L'étendue de la zone exploitée en parallèle et les puissances développées par chacun des pays le 18 décembre 1963 à 8.00 h

The interconnected area of the U.C.P.T.E. and the power produced by each country at 8 a.m. on the 18th December 1963

(1 MW = 1000 kW)

7



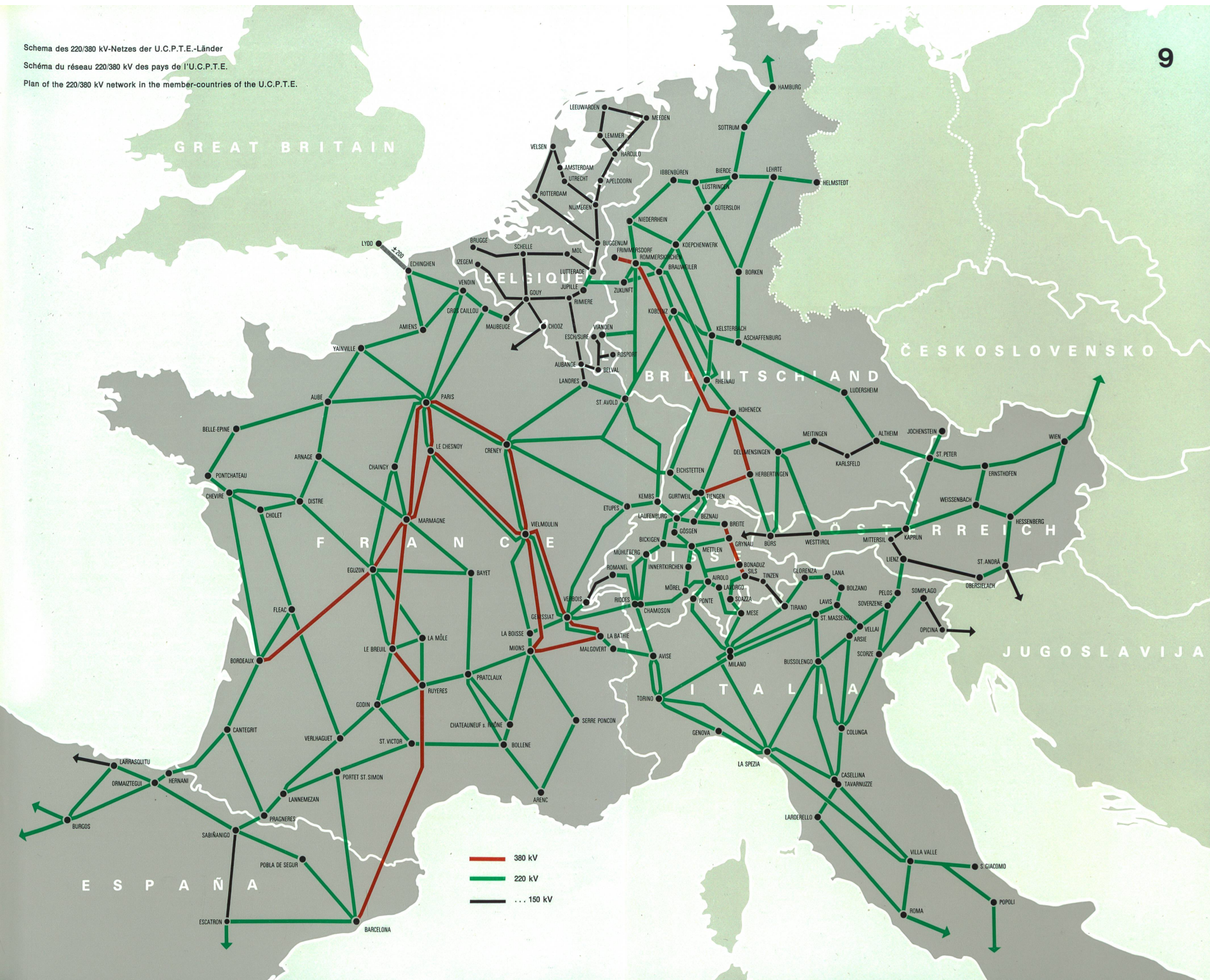
Die Entwicklung des Stromverbrauches und -austausches der Schweiz

L'évolution de la consommation d'électricité en Suisse et des échanges avec les pays voisins

Evolution of the Swiss electricity consumption and the exchange of power with neighbouring countries

(1 TWh = 1000 GWh = 1000 million kWh)

- Einfuhr — Import — Import
- Ausfuhr — Export — Export
- Verbrauch — Consommation — Consumption

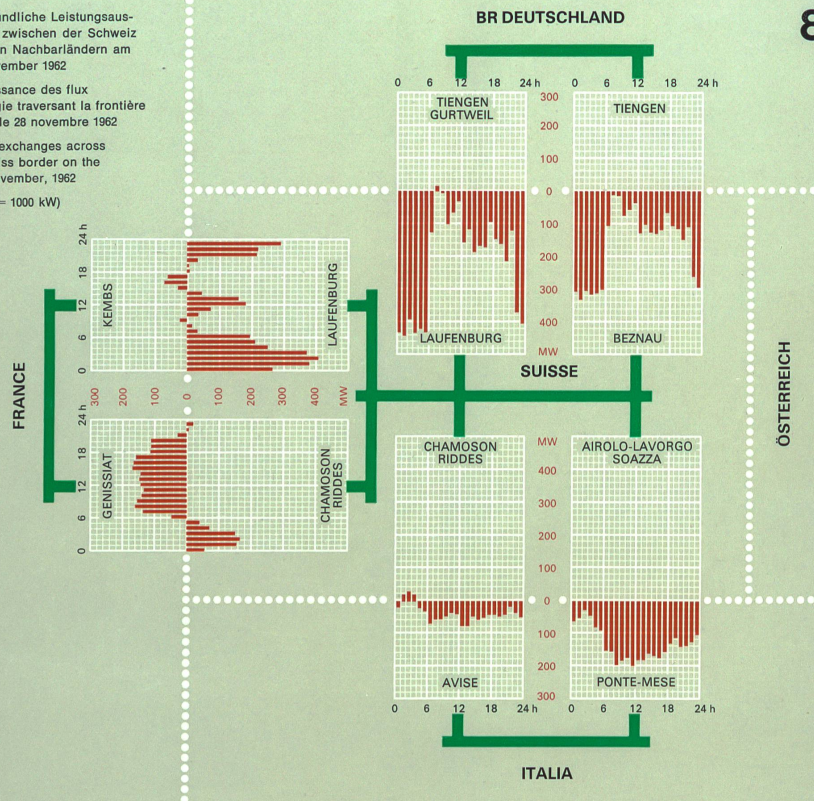


Der stündliche Leistungsaustausch zwischen der Schweiz und den Nachbarländern am 28. November 1962

La puissance des flux d'énergie traversant la frontière suisse le 28 novembre 1962

Power exchanges across the Swiss border on the 28th November, 1962

(1 MW = 1000 kW)



8

suisses étaient raccordés au réseau étranger, soit qu'une zone de distribution bien délimitée de l'autre côté de la frontière était alimentée par la Suisse.

Après la guerre, une nouvelle évolution allait modifier d'une manière fondamentale les relations de la Suisse avec ses voisins. Aux exportations à sens unique se sont substitués des mouvements d'énergie dans les deux sens. En effet, à la suite de pénurie d'électricité pendant les hivers extrêmement froids et secs, l'aménagement de nouvelles forces hydrauliques n'ayant pas pu suivre le rythme d'une consommation en pleine expansion, il avait fallu recourir à des importations d'énergie. Pendant l'hiver 1955 ces importations dépassaient déjà le milliard de kWh et se montaient à plus de 18% de la consommation indigène.

Or, pour développer des échanges d'énergie d'une grande ampleur avec l'étranger, il fallait ne plus être assujéti aux limitations imposées par les services séparés et par conséquent recourir à l'exploitation en parallèle du réseau suisse avec les réseaux étrangers.

S'il n'avait été question que d'interconnexion entre deux pays voisins, le problème eût été relativement simple.

Pour les entreprises suisses d'électricité qui voulaient procéder à des échanges d'énergie, d'une part avec la France et d'autre part avec l'Allemagne, alors que les réseaux de l'Electricité de France (EDF) et de la Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG (RWE) étaient déjà en parallèle par la ligne St. Avoir — Koblenz pour assurer les mouvements d'énergie entre la France et l'Allemagne, se posait le problème plus complexe d'une interconnexion à réaliser entre trois pays voisins dont chacun des réseaux devait marcher en parallèle avec les deux autres. Pour satisfaire à ces exigences, les entreprises suisses ont alors dû procéder à un découpage du réseau national de façon qu'une zone soit en parallèle avec le réseau français et l'autre avec le réseau allemand, comme le montre schématiquement la fig. 3.

Cette exploitation de deux réseaux séparés en Suisse présentait de graves inconvénients. Elle obligeait les sociétés d'électricité de part et d'autre de la ligne de démarcation de ces deux réseaux à recourir à des fournitures par machines séparées pour pouvoir assurer leurs échanges d'énergie réciproques. Souvent des manœuvres difficiles et dangereuses devaient être effectuées dans les postes. Conscient de ces difficultés graves pour notre pays, EDF et RWE, après un examen approfondi de la situation avec les sociétés suisses intéressées, se décidèrent à déplacer à titre provisoire de St. Avoir à Kembs le point de livraison de leurs échanges d'énergie et à coupler en étoile leurs réseaux avec le réseau suisse au poste de Laufenburg, permettant ainsi une marche en parallèle des trois réseaux.

Peu de temps après, EDF et les sociétés suisses intéressées renforçaient cette interconnexion en fermant une grande boucle reliant Génissiat — Riddes — Mühleberg — Kembs par l'artère 220 kV en service depuis 1956. Ce serait sortir du cadre de cet exposé que d'énumérer toutes les dispositions qui ont dû être prises par les sociétés suisses pour permettre la réalisation de cette exploitation en boucle au courant de 1959.

Le succès de cette nouvelle mesure a provoqué une réaction en chaîne. A la fin de 1959, nous assistons à la fermeture d'une boucle italo-franco-suisse Riddes — Génissiat — Malgover — Avisse. Au début de 1962, de nouvelles boucles étaient fermées par Soazza — Mese, Lavorgo —

Mese et Airolo-Ponte. Aujourd'hui, comme il ressort de la fig. 5, c'est un véritable réseau maillé à 220 kV qui s'étend sur tout notre pays.

Ce réseau est intégré à la grande zone interconnectée marchant en parallèle des pays membres de l'Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité (UCPTE), réunissant l'Autriche, la Belgique, la France, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne, la Suisse et finalement l'Espagne et le Portugal. La puissance développée de cette zone à fréquence unique, a déjà dépassé en décembre 1963 68 millions de kW (fig. 6) et il n'est pas exagéré de dire que cette évolution a ouvert une ère nouvelle au développement de nos échanges internationaux d'énergie.

Pour se faire une idée de l'importance de ces mouvements d'énergie, il convient maintenant d'examiner de plus près le volume de nos exportations et de nos importations d'électricité.

La fig. 7 donne une image de la consommation indigène et des échanges d'énergie au cours de ces dix dernières années; elle montre que l'exportation a triplé pendant cette période en passant de 1,5 milliard de kWh à 5,1 milliards de kWh et que les importations ont octuplé, allant de 0,5 milliard de kWh à 4,1 milliards de kWh, alors que la consommation d'énergie électrique du pays n'avait pas doublé pendant le même espace de temps.

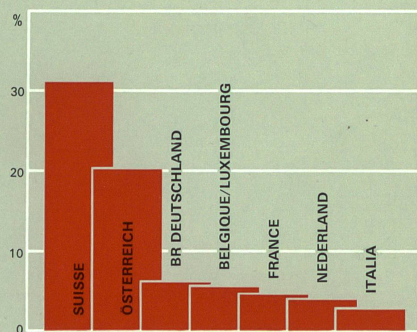
L'augmentation des exportations a été particulièrement importante pendant la période d'été, c'est-à-dire à l'époque où les centrales au fil de l'eau atteignent leur production maximum du fait des débits très favorables des rivières. Elle s'explique, d'une façon générale, par l'accroissement de la production consécutive au grand effort d'équipement de nos forces hydrauliques ces dernières années. En hiver, ces exportations ont pris récemment plus d'ampleur à la suite de la mise en service de nombreuses usines à accumulation très puissantes; les excédents d'énergie de pointe dont nous pouvons disposer dans ces centrales donnent lieu souvent à des échanges avec l'étranger contre de l'énergie d'heures creuses.

Le développement de nos importations d'énergie s'est manifesté avant tout pendant les hivers rigoureux et secs où la production des usines hydrauliques n'a pas été suffisante pour assurer la couverture des besoins. Un exemple typique est donné par l'hiver exceptionnellement sec et froid de 1962/63 où il a fallu importer 3,5 milliards de kWh pour couvrir le déficit.

Une grande partie de ces importations a été assurée en vertu de contrats à long terme, conclus par les entreprises suisses en prévision des difficultés qui pourraient intervenir en cas de mauvaise hydraulité.

A ces fournitures s'ajoutent les échanges d'énergie, c'est-à-dire les restitutions à la Suisse, selon un barème convenu, de l'énergie fournie à l'étranger durant l'été précédent ainsi que la rétrocession quotidienne pendant les heures de nuit de l'énergie livrée de jour ou pendant les heures de pointe. De plus, nous pouvons compter sur des livraisons de secours de courte durée, convenues de semaine en semaine, au jour le jour ou même d'une heure à l'autre.

La fig. 8 nous montre combien ces mouvements d'énergie avec l'étranger peuvent varier d'heure en heure pen-



Das Austauschvolumen der einzelnen U.C.P.T.E.-Länder im Verhältnis zu ihrer Stromerzeugung (Jahr 1962)

Le volume des échanges des pays de l'U.C.P.T.E. en % de leur production (année 1962)

Power exchanges between the U.C.P.T.E. countries as a percentage of their production (1962).

10

dant une même journée. Il est aussi frappant de voir sur ce graphique de la journée du 28 novembre 1962 que c'est avant tout pendant la nuit que des importations massives ont eu lieu pour couvrir le déficit hivernal. A certaines heures entre minuit et 6 heures du matin, la puissance totale mise à contribution de l'étranger a dépassé 1,2 million de kW, ce qui représente plus de 50% de la charge totale de nuit du réseau suisse de 2 millions de kW environ.

On ne saurait suffisamment insister sur la valeur du service rendu par l'interconnexion et les avantages qu'elle présente, aussi bien pour la Suisse que pour ses partenaires étrangers.

L'utilisation d'excédents d'énergie hydraulique en provenance de la Suisse dans des pays où prédomine la production thermique permet d'éviter des déversements dans nos usines hydrauliques et d'économiser du combustible dans les centrales thermiques étrangères.

Par l'importation d'énergie pendant les hivers rigoureux où nos réserves annuelles dans nos lacs sont insuffisantes pour couvrir le déficit, il est possible d'assurer le ravitaillement du pays en énergie. Les fournisseurs étrangers ont, de leur côté, l'avantage de pouvoir améliorer la régularité de marche de leurs centrales thermiques, les livraisons d'énergie ayant lieu avant tout pendant les heures creuses. Durant l'hiver 1962/63, par exemple, au cours duquel la

Suisse a importé pendant des mois des quantités importantes d'énergie de nuit, certains des fournisseurs allemands ont constaté une diminution des incidents de chaudières dans leurs centrales thermiques.

Enfin, les fournitures de secours qui sont assurées dans le cas d'incidents graves, augmentent sensiblement la sécurité de l'alimentation du réseau suisse en énergie électrique. Grâce à une aide immédiate de l'étranger, des interruptions de courant qui, souvent, causent de graves dommages aux installations industrielles, peuvent être évitées. Cette entraide est naturellement réciproque et peut s'exercer aussi bien en faveur des partenaires étrangers. A titre d'exemple, le 28 février dernier, du fait d'un incident en Rhénanie, les réseaux d'Allemagne du sud et du nord ont été séparés, entraînant un déficit d'environ 1 million 300 000 kW dans le sud; en quelques minutes les réserves tournantes des centrales suisses, italiennes et françaises ont été mises à disposition pour couvrir ce déficit et éviter une grave interruption de courant en Allemagne méridionale.

D'une façon générale, cette interconnexion des réseaux à l'échelon de l'Europe occidentale (voir fig. 9) permet aux entreprises d'électricité d'améliorer l'utilisation des moyens de production et de transport et, par conséquent, de diminuer les pertes d'énergie, sujet qui est à l'ordre du jour de cette session de la Conférence Mondiale de l'Energie.

LA PRODUCTION ET LES ECHANGES DES PAYS DE L'U.C.P.T.E. EN 1962
(VALEURS EN MILLIONS DE kWh)

Pays	Importation a	Exportation b	Echanges a + b	Production c	$\frac{a+b}{c}$
Autriche	779	2 825	3 604	17 807	20,24 %
RF Allemagne	5 301	2 437	7 738	126 565	6,11 %
Belgique	317	667	984	17 872	5,51 %
Luxembourg	1 464	2 389	3 853	83 260	4,63 %
France	1 617	174	1 791	64 730	2,77 %
Italie	360	360	720	18 214	3,95 %
Pays-Bas	2 922	3 723	6 645	21 342*	31,14 %
Suisse					
	12 760	12 575	25 335	349 790	

*) année hydrologique
(1. 10. 61 — 30. 9. 62)

Un examen rapide du tableau des échanges d'énergie en 1962 montre l'activité déployée par notre pays dans le domaine des échanges internationaux. Pour cette année-là le volume total des mouvements d'énergie entre la Suisse et l'étranger, c'est-à-dire la somme des exportations et des importations a atteint 6,6 milliards de kWh. Une comparaison avec le volume des échanges des autres pays montre que ce chiffre n'est dépassé que par l'Allemagne. Mais en valeur relative par rapport à la production propre de chacun des pays, la contribution de la Suisse, avec un volume des échanges d'environ 30% de la production indigène, est la plus élevée de tous les réseaux voisins (voir fig. 10).

■

Il est donc possible de conclure que, si l'économie électrique suisse a poursuivi l'équipement de ses chutes d'eau pour couvrir les besoins du pays, si elle a réalisé l'inter-

connexion de ses réseaux régionaux avant tout dans l'intérêt des consommateurs suisses d'énergie, elle n'a pas manqué non plus d'établir des liaisons de plus en plus étroites avec les réseaux des pays voisins, manifestant ainsi sa solidarité dans l'intérêt du développement des relations internationales. Dès la fondation de l'Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité, en 1951, les entreprises suisses se sont associées à ses travaux. Elles ont, au cours de ces dernières années, pris les dispositions nécessaires pour intégrer leurs réseaux à la grande zone interconnectée marchant en parallèle, réunissant l'Autriche, la Belgique, la France, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne, la Suisse ainsi que l'Espagne, le Portugal et la partie continentale du Danemark. Aujourd'hui elles prennent une part prépondérante aux échanges intra-européens d'énergie électrique, au service de l'interconnexion des pays de l'Europe occidentale.

THE SWISS INTERCONNECTED NETWORK AND THE EXCHANGE OF ELECTRICAL ENERGY ON AN INTERNATIONAL SCALE

By R. Hochreutner, ing., lic. iur., Director Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG (Laufenburg)

(Summary)

Due to the abundance of her water-power, Switzerland is the only country in continental Europe where the hydro-electric production can meet the demand for electrical energy.

From a geographical point of view, however, the usable water resources are distributed quite irregularly throughout the country. As a result, the development of an interconnected network carried out in conjunction with the harnessing of our water-power potential has been necessary.

In general, the 220 KV branches of the network are in a north-south direction, with the exception of two which cross in an east-west direction. (See figure 1)

With the increase in electrical consumption in Switzerland at a rate of about six per cent per year further extension of this network must be envisaged. Power plants now under construction will generate an additional six thousand million KWh per year when completed.

The use of 220 KV transmission voltage should be quite adequate to carry the power from these new stations economically over relatively short distances, that is, about 200 Km.

However, the population density in the whole of the northern half of Switzerland is so great that it is almost impossible to obtain new rights of way for transmission lines.

Moreover, very often the geographical structure of many valleys in the Alps permits the installation of only a sharply limited number of transmission lines.

It is evident, therefore, that where power transmission must be concentrated on a limited number of branches there is great advantage to increase their capacity. Consequently, it is necessary to resort to the higher 380 KV tension.

Maschinenhaus und Freiluftschaltanlage Riddes der Kraftwerke Mauvoisin AG im Kanton Wallis
Usine et poste de couplage de Riddes des Forces Motrices de Mauvoisin SA (canton du Valais)
Riddes Power Station and Switch-Yard of the Forces Motrices de Mauvoisin SA (Valais)



Hochspannungsleitung 380 kV über den San Bernardino-Pass; im Hintergrund der Stausee Isola der Misoxer Kraftwerke AG beim Kurort San Bernardino

Ligne de transport d'énergie à 380 kV traversant le col du Saint Bernardin; dans la vallée le lac d'accumulation d'Isola des Forces Motrices de la Moesa S.A., et la station climatique de San Bernardino

High-tension line 380 kV, San Bernardino Alpine Line of the Misoxer Kraftwerke AG; view on the reservoir-lake of Isola near the village of San Bernardino, tourist-center and health-resort

(Photo A. Rieser, Mesocco)

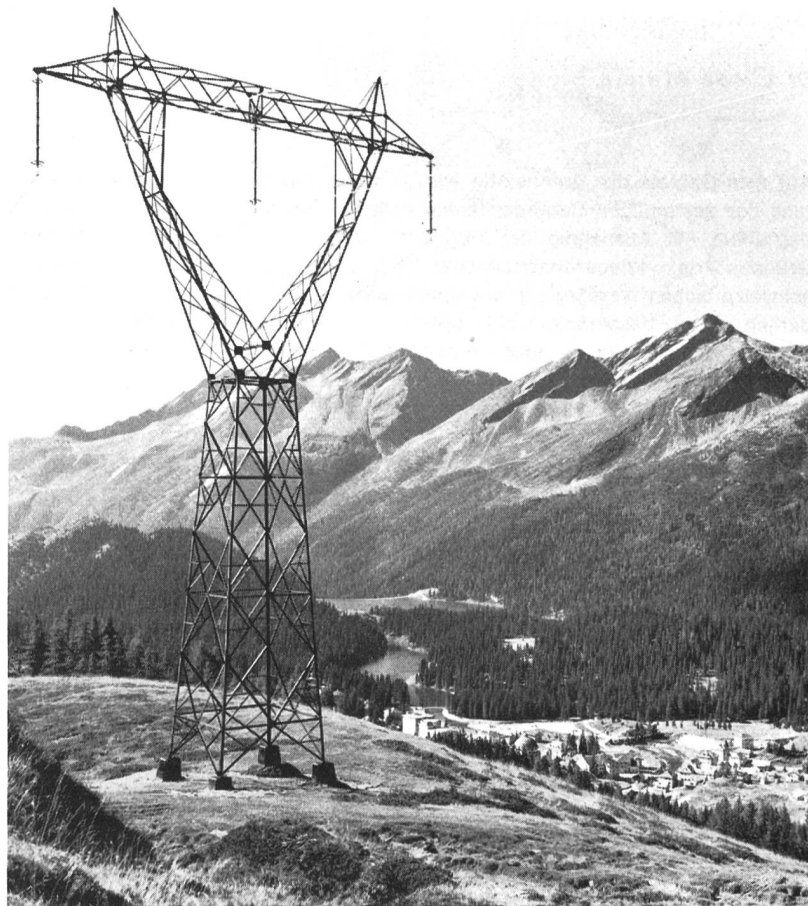


Figure 2 gives an outline of the higher voltage network, which will gradually complement the 220 KV network; figures 3 to 5 showing the development of the interconnection with the networks of neighbouring countries.

The Swiss grid is part of the large interconnected zone served at a common frequency and linking the member-countries of the «Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité» (UCPTE); this zone includes Austria, Belgium, France, Italy, Luxemburg, Holland, West Germany, Switzerland and finally Spain and Portugal. The output within this area had already exceeded 68 million KW by December 1963 (figure 3), and one can say, without any exaggeration, that this evolution has opened up a new era in the development of international power exchange.

Figure 7 shows that Swiss power exports have tripled during a period of 10 years, rising from 1,500 million KWh to 5,100 million KWh and that import has increased eight-fold from 500 million KWh to 4100 million KWh, whereas the consumption of electricity in the country during the same period of time has not even doubled.

The rise in export was particularly marked during the summer period when the run-of-river plants achieve their maximum output.

The increase in our imports was most evident during severe and dry winters when the hydroelectric production was not sufficient to meet our needs.

Figure 8 shows how the transmission of power with neighbouring countries fluctuates from hour to hour in the

course of one day. It is also striking to see that it is principally at night that imports reach their peak to cover winter shortages.

It is impossible to over-estimate the valuable service rendered by this international interconnection and the advantages it offers both to Switzerland and to the other member countries. Over all of Western Europe (see figure 9) it enables power producers to improve the use of their production and transmission facilities and, consequently, to reduce power losses. This, of course, is the theme of this session of the World Power Conference.

The following conclusion may thus be drawn. Whereas the Swiss power companies have gone ahead with harnessing the nation's water-power to meet the needs of the country and have interconnected the regional networks primarily in the interests of consumers, they have at the same time established ever closer links with networks in neighbouring countries, thus showing their interest in the development of international cooperation. Since the founding of the «Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité» in 1951, Swiss concerns have been associated with its activity. In the course of the past years, they participated in making all the necessary preparations to link their networks with the large interconnected zone between Austria, Belgium, France, Italy, Luxemburg, Holland, West Germany, Switzerland, Spain, Portugal and Jutland. Today they play an increasingly important role in the inter-European exchange of electrical energy and in the interconnection between Western European countries.