

Die Schweiz im internationalen Verbundbetrieb = La situation de la Suisse dans le réseau d'interconnexion international

Autor(en): **Trümpy, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **67 (1976)**

Heft 1

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915101>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Bereits im Bulletin 20/1975 konnten wir drei Fachreferate der INELTEC 1975, Internationale Fachmesse für industrielle Elektronik und Elektrotechnik, welche im Rahmen der Tagung «Mittel und Wege der Optimierung der Energieerzeugung» gehalten worden sind, veröffentlichen. Nachfolgend publizieren wir das vom Autor teilweise überarbeitete Einführungsreferat in deutsch und in der französischsprachigen Übersetzung sowie zwei weitere Fachreferate.

Dans notre Bulletin n° 20/1975, nous avons déjà reproduit trois exposés de spécialistes tenus à l'INELTEC 1975, le Salon de l'électronique industrielle et de l'industrie électrotechnique, dans le cadre, sur le thème des journées d'information «Voies et moyens pour amener une production et une distribution optimales de l'énergie». Aujourd'hui, nous poursuivons cette série de publications par l'exposé d'introduction en allemand et dans sa traduction française, ainsi que deux nouveaux exposés spécialisés.

Die Schweiz im internationalen Verbundbetrieb

Von Dr. E. Trümpy

Die Entwicklung der schweizerischen Stromversorgung wird anhand von einigen wichtigen Etappen aufgezeigt und die spezielle Rolle, die die Schweiz von Anfang an im europäischen Verbund zu spielen hatte, skizziert. Abschliessend wird auf die vielfältigen Anforderungen, welche der Verbundbetrieb an die Technik stellt, eingegangen.

1. Die Anfänge und die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung in der Schweiz

Die ersten Anlagen der Elektrizitätsversorgung in der Schweiz waren fast reine Lichtwerke, d. h., sie gaben im allgemeinen nur für Beleuchtung Strom ab und wiesen daher eine sehr geringe und unregelmässige Ausnützung auf. Man kam aber gleich von Anfang an zur Einsicht, dass die Elektrizitätserzeugung eine weiterreichende Verwertungsmöglichkeit für die bedeutenden schweizerischen Wasserkräfte darstelle. 1882 wurde dann auch die erste kleine Gleichstromanlage in Lausanne und bereits 1887 in Taulan-Montreux das erste Wechselstromwerk erstellt. Als erste schweizerische elektrische Kraftübertragung, die dauernd in Betrieb stand, kann die zwischen einer Hochdruckturbinenanlage in der Taubenlochschlucht bei Biel und den Drahtziehereien der Firma Blösch-Schwab & Co. in Bözingen gelegene Leitung bezeichnet werden. Sie wurde 1884 errichtet und übertrug auf etwa 1500 m ungefähr 30 PS mit 400 V. Zwei Jahre später baute der damals bei MFO arbeitende Konstrukteur C. E. L. Brown die 8 km lange Leitung von Kriegstetten nach Solothurn mit einer Leistung von etwa 30 PS. Die Spannung erreichte den für jene Zeit gewagt hohen Wert von etwa 2000 V.

Als erste eigentliche Kraftwerke im heutigen Sinne mit einer Leistung von über 5 MW seien die im Jahre 1896 erbauten Werke Montbovon an der Saane, Chèvres in Genf und Ruppoldingen an der Aare erwähnt.

La situation de la Suisse dans le réseau d'interconnexion international

Par E. Trümpy

L'article que nous présentons ci-après traite de l'évolution de l'approvisionnement de la Suisse en énergie électrique au cours de quelques étapes importantes. Il esquisse le rôle particulier que notre pays a joué dès le début dans le réseau européen d'interconnexion. Il évoque enfin les multiples exigences que nécessite sur le plan de la technique, ce réseau d'interconnexion.

1. Les débuts et le développement de l'approvisionnement en électricité dans notre pays

A ses débuts, l'approvisionnement en électricité de notre pays fut presque exclusivement une affaire de production de lumière. En d'autres termes, il s'agissait d'une manière générale de produire du courant destiné à l'éclairage seulement, ce qui signifiait une utilisation aussi restreinte qu'irrégulière. Très tôt cependant, on s'avisait que la production d'électricité permettait d'envisager d'autres vastes possibilités de mise en valeur des forces hydrauliques suisses. En 1882, la première petite installation à courant continu fut édifée à Lausanne, suivie, en 1887, à Taulan-Montreux de la première centrale à courant alternatif. La première ligne suisse de transport d'énergie, en activité constante, fut établie entre une installation de turbines à haute pression, dans les gorges du Taubenloch, près de Bienne, et la tréfilerie Blösch-Schwab et Co., à Bözingen. Cette ligne, construite en 1884, avait les caractéristiques suivantes: 1500 m de long environ, puissance de transport 30 CV à 400 V. Deux ans plus tard, un collaborateur des Ateliers de construction d'Oerlikon, C. E. L. Brown, édifiait une ligne de 8 km de long entre Kriegstetten et Soleure, d'une puissance de quelque 30 CV. La tension, considérable pour l'époque, s'élevait à 2000 V environ.

Les premières véritables centrales, au sens moderne du terme, avec une puissance de plus de 5 MW, furent celles de Montbovon sur la Saane, de Chèvres près de Genève et de Ruppoldingen sur l'Aare, construites en 1896.

Die Entwicklung der Überlandversorgung schritt für die damalige Zeit sehr rasch voran. Eine 1895 durchgeführte Zählung ergab für Hoch- bzw. Niederspannung je ungefähr 800 km Leitungslänge. Ende 1900 verfügten allein die *Überlandwerke* über rund 1200 km Leitungslänge, die ungefähr 28 000 Stangen erforderte.

Im ganzen dürften in der Schweiz aber bereits etwa 2000 km Hochspannungsleitungen mit etwa 45 000 Stangen vorhanden gewesen sein. Zu dieser Ausdehnung der Netze trugen die damaligen drei grössten Überlandwerke

- Kanderwerk mit etwa 220 km,
- La Goule mit 120 km,
- Olten-Aarburg mit 90 km

Hochspannungsleitung bei. Die Betriebsspannungen dieser Leitungen steigerten sich von anfänglich 5000 V auf 10 000 V. Im ersten Dezennium des 20. Jahrhunderts wurden die Spannungen auf vorerst 25 kV und weiter auf 70 kV erhöht. Dadurch konnte eine Übertragungsdistanz von 50 km bis 100 km erreicht werden.

Ausgehend von Campocologno, Rheinfelden, Beznau und Gösigen erschienen schon im zweiten Jahrzehnt die ersten Leitungen, die der Energieausfuhr ins Ausland dienten. Insbesondere wurde 1913 von der Vorgängerin der Motor-Columbus AG für das EW Olten-Aarburg, das heisst die heutige Atel, die erste solche Weitspannleitung erstellt. Sie führte von Anwil (Nähe Ormalingen) bis Bottmingen, mit Anschluss nach Frankreich, und kann als erste 150-kV-Leitung angesehen werden. Diese wie spätere Leitungen ermöglichten erstmals einen eigentlichen Verbundbetrieb, bei dem durch Zu- und Umschalten mehrere Kraftwerke oder Teilnetze miteinander gekoppelt werden konnten. Die im Jahre 1932 erstellte, einsträngige Gotthardleitung war von Anfang an für eine Spannung von 400 kV vorgesehen, die Isolatoren und Leiter hingegen waren nur für 150 kV dimensioniert. Ende 1949 wurde die Lukmanierleitung gebaut und vorerst mit 150 kV betrieben; im Zusammenhang mit dem Bau der Maggia-Kraftwerke kam sie in der Folge im Februar 1953 als erste schweizerische 220-kV-Überlandleitung in Betrieb

Le développement de l'approvisionnement interurbain fit alors des progrès considérables pour l'époque. Un recensement établi en 1895 fait état d'un réseau de 800 km de lignes à haute tension et d'autant pour la basse tension. A fin 1900, les entreprises à grand transport d'énergie disposaient à elles seules d'un réseau de près de 1200 km, ce qui nécessitait environ 28 000 poteaux. Pour toute la Suisse cependant, il est vraisemblable que l'on disposait alors de 2000 km de lignes à haute tension comprenant 45 000 poteaux. A l'origine de cette extension des réseaux on trouve les trois grandes entreprises interurbaines d'énergie de l'époque:

- la centrale de Kander avec 220 km environ de ligne
- La Goule avec 120 km
- Olten-Aarburg avec 90 km

Les tensions utilisées pour ces lignes passèrent de 5000 V, au début, à 10 000 V. Au cours de la première décennie du XX^e siècle, les tensions furent portées d'abord à 25 kV et plus tard à 70 kV. Il était ainsi possible d'atteindre des distances de transport d'énergie de 50 à 100 km.

Avec les centrales de Campocologno, Rheinfelden, Beznau et Gösigen, on vit alors apparaître au cours de la seconde décennie les premières lignes destinées à l'exportation d'énergie. En 1913 en particulier, la société, qui par la suite devait devenir Motor-Columbus S.A., installa la première ligne à grandes portées de ce genre pour le compte des Usines électriques Olten-Aarburg c'est-à-dire de l'Atel actuelle. Cette ligne, qui partait d'Anwil à proximité d'Ormalingen pour aboutir à Bottmingen où la liaison se faisait avec la France, peut être considérée comme la première ligne à 150 kV. Cette ligne, de même que celles qui lui suivirent permirent pour la première fois d'établir un réseau qui pouvait être couplé avec diverses centrales ou parties de réseau. La ligne à un terna du Gotthard, construite en 1932, fut conçue dès le début pour une tension de 400 kV, mais les isolateurs et les conducteurs ne furent prévus d'abord que pour 150 kV. La ligne du Lukmanier fut érigée en 1949 et exploitée initialement avec une tension de 150 kV. A la suite de la construction de la centrale du val Maggia, sa tension

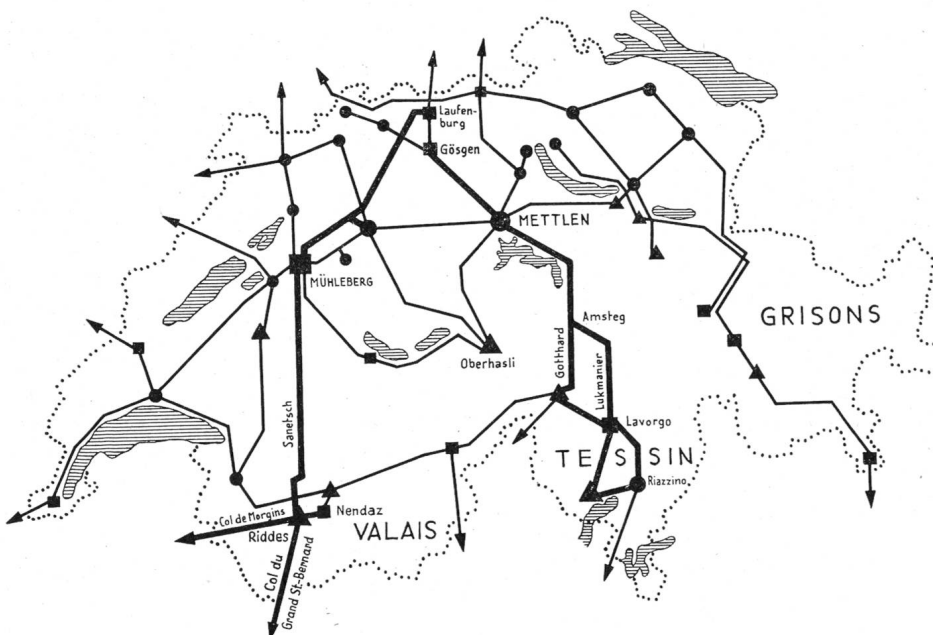


Fig. 1
Schweizer Hochspannungsnetz 1956
Le réseau suisse à haute tension 1956
 ——— 220-kV-Leitungen - lignes à 220 kV
 ——— 130- und 150-kV-Leitungen -
 lignes à 130 et 150 kV

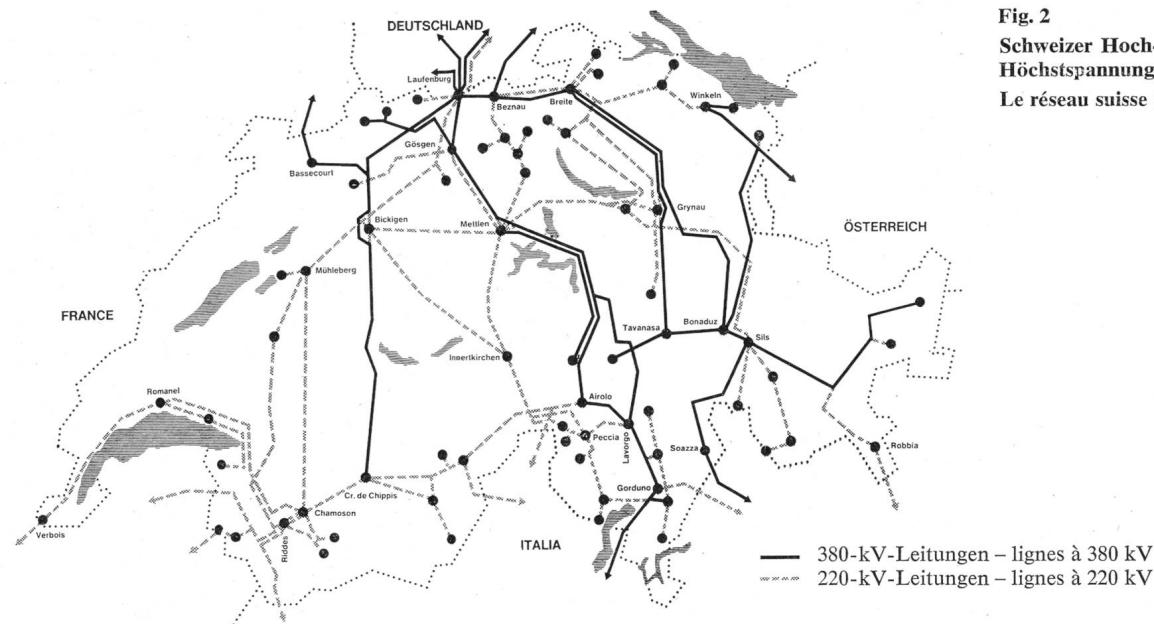


Fig. 2
Schweizer Hoch- und
Höchstspannungsnetz 1975
Le réseau suisse à très haute tension 1975

(Fig. 1). Im Herbst 1964 wurde als erste 400-kV-Übertragung in der Schweiz die 113 km lange Kunkelsleitung auf partnerschaftlicher Basis von Bonaduz nach Breite fertig erstellt.

Heute arbeiten in der Schweiz 34 Kraftwerke mit einer Leistung von je über 100 MW, von welchen das Wasserkraftwerk Nendaz der Grande Dixence S.A. mit 384 MW die grösste Leistung aufweist. Die Ausbauleistung aller Wasserkraftwerke liegt nunmehr bei rund 10 000 MW, die installierte Leistung der thermischen Kraftwerke bei 1600 MW. Die gesamte Produktionsmöglichkeit in einem mittleren hydraulischen Jahr beträgt rund 39 000 GWh.

Das Höchstspannungsnetz unseres Landes ist heute auf rund 4400 km 220-kV-Leitungen und rund 1200 km 400-kV-Leitungen angewachsen (Fig. 2). Im europäischen Verbund ist die Schweiz mit zehn grenzüberschreitenden Leitungen zu 220 kV und deren acht zu 400 kV vertreten. Ihre totale Übertragungskapazität beträgt 14 600 MW.

2. Die Entwicklung des europäischen Verbundbetriebes

In den ersten und zweiten Dezennien dieses Jahrhunderts entwickelte sich die Elektrizitätsversorgung, mit Ausnahme einiger weniger Richtbetriebe, nur innerhalb der einzelnen Länder. Nach dem Ersten Weltkrieg hingegen erkannte man den Nutzen eines internationalen Verbundes. Die verschiedenen Probleme wurden anhand von Arbeiten und Studien mehrerer internationaler Organisationen, bei denen sich auch die Schweiz beteiligte, untersucht. Erwähnt seien in diesem Zusammenhang die 1921 gegründete «Conférence International des Grands Réseaux Electriques» (CIGRE), die «Welt-Energie-Konferenz» (WEK), deren Gründung ins Jahr 1924 fällt, und die «Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Electrique» (UNIPÉDE), die seit 1925 besteht. Diese internationalen Organisationen trugen auch dazu bei, technische und wirtschaftliche Probleme der Stromversorgung zu lösen und einen fruchtbaren Erfahrungsaustausch unter den verantwortlichen Ingenieuren einzuleiten.

Die UNIPÉDE befasst sich vor allem mit den langfristigen Problemen und Studien. Sämtliche westeuropäischen

passa en février 1953 à 220 kV, ce qui constitua une «première» helvétique. En automne 1964 on employa pour la première fois en Suisse la tension de 400 kV pour la ligne du col du Kunkel de 113 km entre Bonaduz et Breite, établie en collaboration par plusieurs partenaires.

34 centrales d'une capacité supérieure à 100 MW chacune, parmi lesquelles celle de Nendaz de la Grande Dixence S.A. qui avec ses 384 MW a la plus grande puissance installée, fonctionnent à ce jour dans notre pays. La capacité totale de toutes les centrales hydrauliques atteint maintenant une puissance de près de 10 000 MW, alors que celle des centrales thermiques se situe à environ 1600 MW. La production globale théorique au cours d'une année d'hydraulicité moyenne s'élève à 39 000 GWh environ.

Le réseau à haute tension de notre pays s'étend en chiffres ronds sur 4400 km de lignes à 220 kV et 1200 km de lignes à 400 kV. La Suisse est reliée au réseau européen par dix lignes à 220 kV et huit à 400 kV. Leur capacité globale de transport s'élève à 14 600 MW.

2. Le développement du réseau européen d'interconnexion

Durant les première et seconde décennies du XX^e siècle, l'approvisionnement en électricité s'était développé exclusivement à l'intérieur de chacun des différents pays, à l'exception de quelques rares entreprises prévues d'emblée pour l'exportation. La nécessité d'établir un réseau international d'interconnexion fut cependant reconnue après la Première Guerre mondiale. Divers problèmes qui en découlaient ont fait l'objet de travaux et d'études de plusieurs organisations internationales auxquelles la Suisse a également participé. Evoquons à ce sujet la Conférence internationale des grands réseaux électriques (CIGRE) fondée en 1921, la Conférence mondiale de l'énergie (CME), dont la fondation remonte à 1924, et l'Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique (UNIPÉDE), qui existe depuis 1925. Ces organismes internationaux se sont également vu confier la tâche de résoudre des problèmes techniques et économiques et d'engager un fructueux échange d'expériences entre les ingénieurs responsables.

Länder, mit Ausnahme von Luxemburg, sind Mitglieder dieser Organisation. Ferner gehören Polen und Jugoslawien dazu. Unter der Leitung eines Direktionskomitees widmen sich über ein Dutzend Studienkomitees und Arbeitsgruppen den die Elektrizitätswerke interessierenden Fragen. Die Behandlung der speziell den Verbund betreffenden Probleme wurde dem «Studienkomitee für grosse Netze und internationalen Verbundbetrieb» anvertraut, dessen Präsidium zurzeit der Verfasser innehat. Eine der wichtigsten Aufgaben, womit sich dieses Komitee heute zu befassen hat, ist die Bestimmung der nächsthöchsten Spannungsebene in Europa. Durch die vor allem bei den Kernkraftwerkblöcken immer grösser werdenden Einheitsleistungen und aufgrund der Schwierigkeit, dafür geeignete Standorte zu finden, wie auch um den Ausfall grösserer Einheiten oder Blöcke zu decken, wird gegebenenfalls in Europa gegen Ende dieses Jahrhunderts ein übergeordnetes Netz nötig werden. In Zusammenarbeit mit der «Commission électrotechnique internationale» (CEI) ist man unter anderem daran, die Spannungsebene des erwähnten Netzes zu bestimmen. Das heutige 400-kV-Netz ist allerdings noch für viele Jahre in der Lage, sowohl die landesinternen wie die Bedürfnisse des internationalen Verbundes zu befriedigen.

Der Stromaustausch blieb bis in die dreissiger Jahre beschränkt. Ein Austausch ergab sich vorwiegend aus der Grenzlage bestimmter Wasserkraftwerke oder aus garantierten langfristigen Lieferungen. Die Betreiber der Kraftwerke und Netze erkannten jedoch zunehmend den Wert einer Erweiterung des Verbundbetriebs und des Stromaustausches über die Ländergrenzen hinweg. Beachtliche Vorteile bieten beispielsweise

- der Ausgleich der Spitzenbelastung infolge Zeitdifferenzen,
- die gemeinsame Stellung erforderlicher Reserve, wodurch die Gesamtreservehaltung vermindert werden kann,

L'UNIPEDE s'occupe avant tout de problèmes et d'études à long terme. Tous les pays de l'Europe occidentale, à l'exception du Luxembourg, font partie de cette organisation, de même que la Pologne et la Yougoslavie. Placés sous l'autorité d'un Comité de direction, une douzaine de comités d'études et de groupes de travail se penchent sur les questions intéressant les entreprises électriques. Les problèmes se rapportant tout particulièrement au réseau d'interconnexion sont traités par le Comité d'études des grands réseaux et les interconnexions internationales, dont la présidence est actuellement assumée par l'auteur de cet exposé. L'une des principales tâches à laquelle ce comité d'études se voue, est de fixer le prochain échelon de tension en Europe. En raison principalement des centrales nucléaires, dont la puissance des unités augmentent sans cesse, ce qui entraîne des difficultés à trouver des sites adéquats, ainsi que pour parer à la défaillance de grandes unités ou groupes, il sera nécessaire d'envisager pour la fin de ce siècle en Europe un réseau de niveau supérieur. En collaboration avec la Commission électrotechnique internationale (CEI), on est en train de fixer entre autre le niveau de tension de ce nouveau réseau. Le réseau actuel à 400 kV est toutefois en mesure, pour de nombreuses années encore, de satisfaire aux besoins tant nationaux qu'internationaux.

Les échanges d'énergie sont restés limités jusque dans les années trente. Un échange eut lieu principalement du fait de la situation frontalière de certaines centrales hydrauliques ou lorsqu'il était possible de garantir des livraisons à long terme. Les exploitants des centrales et réseaux reconnurent cependant l'importance qu'il y avait à accroître l'interconnexion et les échanges de courant par-dessus les frontières nationales. Des avantages notables s'en dégagent, tels que par exemple

- la compensation de la charge de pointe par suite de différences de fuseaux horaires,

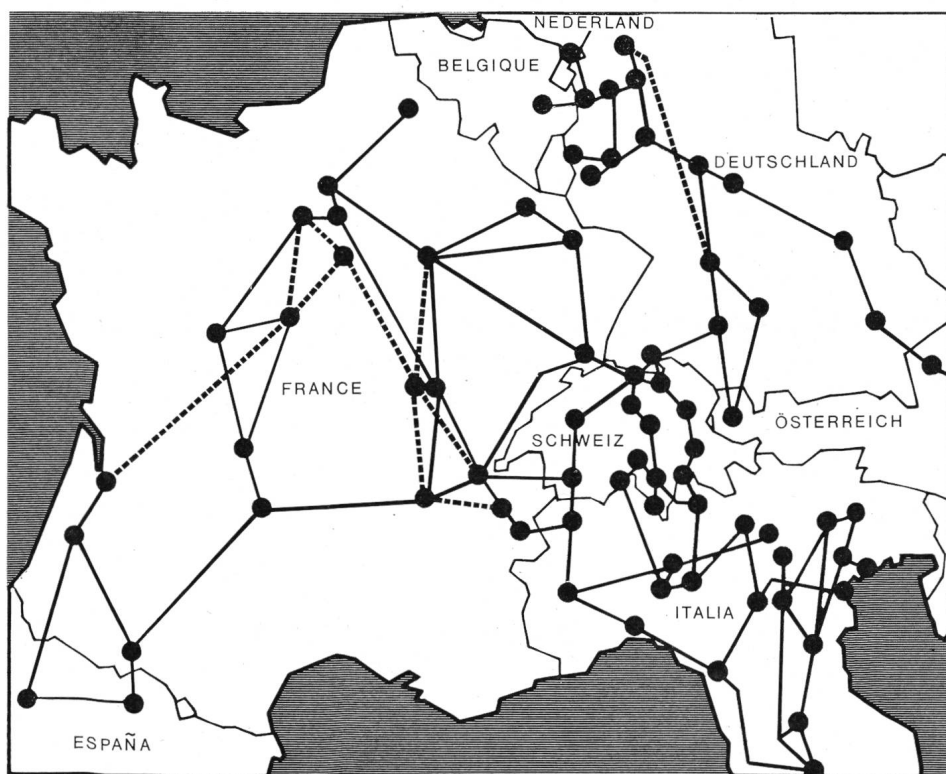


Fig. 3
Hochspannungsnetz in Europa 1963
Réseau européen à haute tension 1963
 — 380-kV-Leitungen – lignes à 380 kV
 - - - 220-kV-Leitungen – lignes à 220 kV

– der vorrangige Einsatz billiger Energiequellen und die Verwertung von Überschussenergie.

Nach dem Zweiten Weltkrieg kamen die für die Stromversorgung Verantwortlichen der kontinentalen westeuropäischen Länder, denen sich Vertreter Englands angeschlossen hatten, unter dem Namen «Public Utilities Panel» zusammen und tauschten Gedanken über den Betrieb und Unterhalt der Anlagen aus. Als 1948 die «Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit Europas» (OECE) gegründet wurde, gehörten ihrem Elektrizitätsausschuss auch einige ehemalige Mitglieder des Panels an. Ende 1950 hat der Rat der OECE im Rahmen seiner Arbeiten die Gründung der «Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transportes elektrischer Energie» (UCPTE) empfohlen, in der Belgien, die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg, die Niederlande, Österreich und die Schweiz zusammengeschlossen sind. Heute zählen auch Griechenland, Portugal, Spanien, Jugoslawien und ein Vertreter der NORDEL (Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden) zu den Sitzungsteilnehmern.

Im April 1951 nahm die UCPTE ihre Tätigkeit auf. Die Vereinigung hat den Zweck, zur besten Ausnutzung der in den Mitgliedländern bereits bestehenden oder noch zu errichtenden elektrischen Erzeugungs- und Übertragungsanlagen beizutragen. Ihre Hauptaufgabe besteht vor allem darin, Wege zur Nutzbarmachung von Überschussenergie zu suchen. Periodisch finden in diesem Gremium deshalb Aussprachen über die Versorgungslage der verschiedenen Länder statt, bei denen aber auch alle weiteren den Verbundbetrieb betreffenden Fragen, im speziellen die Speicher- und die thermische Reservehaltung, diskutiert werden. Sie bemüht sich ganz allgemein, den internationalen Energieaustausch zu erleichtern und zu erweitern. Durch die Ölkrise, die einerseits den Wunsch nach vermehrter Ablösung der Kohlenwasserstoffenergie durch die Elektrizität brachte, aber auch als Folge der wirtschaftlichen Rezession, die andererseits Finanzierungsschwierigkeiten mit entsprechenden Verzögerungen im Bau von Kernkraftwerken nach sich ziehen konnte, ist der internationale Verbund wichtiger denn je geworden. Wie teilweise bereits erwähnt, bringt die Kuppelung vieler Netze zu einem Verbundbetrieb zahlreiche Vorteile, nämlich:

– eine bessere Ausnützung der vorhandenen Produktionsmittel und somit eine wirtschaftliche Erzeugung, indem ein Ausgleich stattfindet zwischen den in den verschiedenen Ländern abweichenden Faktoren, wie Erzeugungsmöglichkeiten, Belastungsverhältnisse, klimatische und hydrologische Verhältnisse,

– eine höhere Betriebssicherheit, zum Beispiel beim Ausfall von grossen Kraftwerkblöcken,

– eine gesicherte Versorgungslage, speziell bei regional ungünstigen klimatischen Verhältnissen und in unsicheren Zeiten (Ölkrise usw.).

Alle diese Vorteile eines Verbundbetriebes sind heute anerkannt. Es besteht kein Zweifel darüber, dass sich die bis dahin für dessen Verwirklichung geleisteten Aufwendungen gelohnt haben. In einigen Teilen Europas wird der Verbundbetrieb in Zukunft an Bedeutung noch zunehmen. Die hauptsächlichsten Gründe dafür sind

– die immer grösseren Generatoreinheiten in den Kraftwerken, speziell beim Kernkraftwerkbau,

– la constitution en commun de réserves, qui permet de réduire la réserve globale,

– l'exploitation prioritaire de sources d'énergie bon marché et l'utilisation des excédents.

Après la Seconde Guerre mondiale, les responsables de l'approvisionnement en électricité des pays de l'Europe occidentale auxquels se joignirent des représentants de l'Angleterre, se réunirent en un groupement nommé «Public Utilities Panel», pour échanger leurs expériences sur l'exploitation et l'entretien des installations. Lorsque fut fondée, en 1948, l'Organisation de coopération et de développement économique européenne (OCDE), quelques anciens membres du Panel firent partie également de son comité pour l'électricité. A fin 1950, le Conseil de l'OCDE a, dans le cadre de ses travaux, recommandé la création de l'«Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité» (UCPTE). En font partie: l'Autriche, la Belgique, la France, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, la RFA et la Suisse. Aujourd'hui, l'Espagne, la Grèce, le Portugal, la Yougoslavie ainsi qu'un représentant du NORDEL (Danemark, Finlande, Norvège, Suède), s'y sont également affiliés.

L'UCPTE a commencé ses travaux en avril 1951. Cette association a pour but d'utiliser le mieux possible les installations de production et de transport d'électricité existantes ou à construire dans les pays membres. Sa tâche principale consiste à rechercher les moyens pour mettre en valeur les excédents d'énergie. C'est pourquoi des discussions sur la situation de l'approvisionnement des différents pays se tiennent périodiquement. Mais bien entendu, elle se penche aussi sur d'autres questions en relation avec le réseau d'interconnexion, plus particulièrement sur l'état des réserves sous forme d'accumulations hydrauliques et dans les centrales thermiques. Sur un plan plus général, elle s'efforce de faciliter et d'étendre les échanges d'énergie internationaux. A la suite de la crise pétrolière, elle a émis le vœu de voir l'électricité prendre une part plus importante dans l'approvisionnement. Mais il y eut aussi les conséquences de la récession économique qui a créé des difficultés financières, engendrant des retards correspondants dans la construction de centrales nucléaires. C'est la raison pour laquelle le réseau international d'interconnexion a pris d'autant plus d'importance. Ainsi que nous l'avons esquissé plus haut, le couplage de plusieurs réseaux offre de nombreux avantages dont:

– une meilleure utilisation des moyens de production à disposition qui assure ainsi une production rationnelle permettant de réaliser une compensation entre les facteurs divergents dans les différents pays tels que: possibilités de production, relations des charges, conditions climatiques et hydrauliques;

– une amélioration du degré de sécurité d'exploitation par exemple lors de la défaillance de grandes unités de production;

– un approvisionnement assuré, particulièrement dans les régions où les conditions climatiques sont défavorables, ainsi que pendant des périodes troublées (crise pétrolière, etc.).

Tous ces avantages sont aujourd'hui reconnus. Il ne fait aucun doute que tous les efforts déployés jusqu'ici pour réaliser ce réseau international d'interconnexion se sont révélés payants. Dans quelques régions de l'Europe, ce réseau va

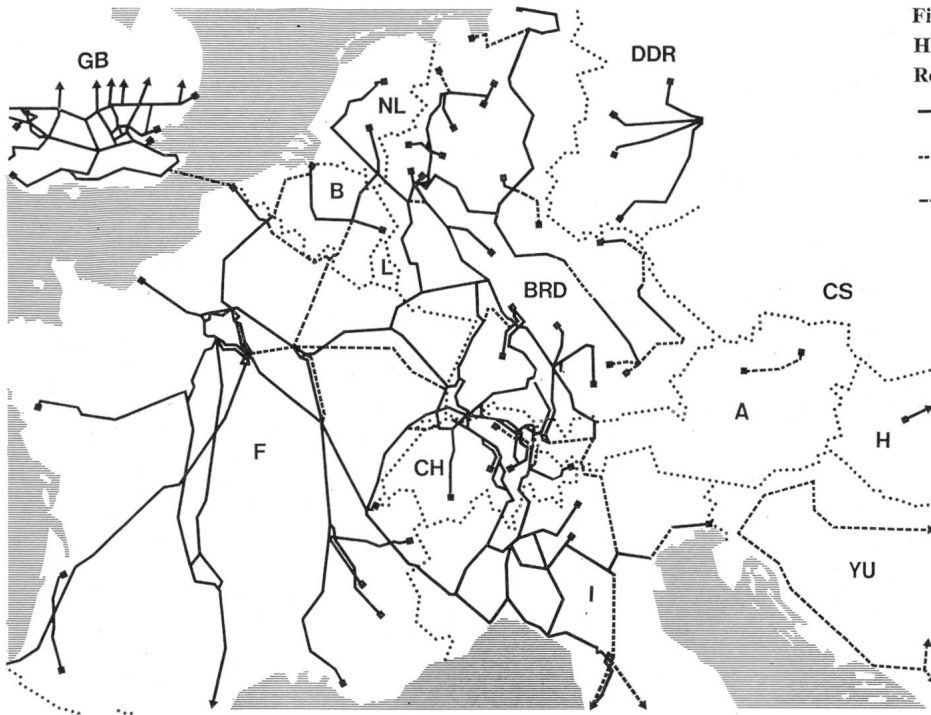


Fig. 4
Hochspannungsnetz in Europa 1975 (380 kV)
Réseau d'interconnexion européen 1975 (380 kV)
 — in Betrieb en exploitation
 - - - - - projetiert projeté
 - · - · Gleichspannung tension continue

- die Schwierigkeit, günstige Standorte für diese Kraftwerktypen zu finden,
- die eventuelle Forderung nach mehreren Kraftwerkblöcken am gleichen Standort
- sowie die durch die Topographie gegebenen Standorte der Pumpspeicherwerke.

Die zukünftige Aufrechterhaltung eines guten Verbundbetriebes in Westeuropa wird immer mehr Probleme stellen, die nur durch die Weiterführung der traditionell guten und fruchtbaren Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Ländern lösbar sind.

Die neuen Verbundleitungen werden gegenwärtig und in der nächsten Zukunft für 400 kV gebaut und meistens auch mit dieser Spannung betrieben. Heute sind zwischen den UCPTÉ-Ländern bereits sechzehn grenzüberschreitende 400-kV-Verbundleitungen mit einer Transportkapazität von 32 200 MVA in Betrieb (Fig. 4).

Von 1948 bis 1974 stieg der Strom austausch unter den UCPTÉ-Ländern von 3000 GWh auf 39 000 GWh. Die installierte Leistung erhöhte sich in der Zeit von 1951 bis 1974 von 41 000 MW auf rund 180 000 MW.

Da sich in Zukunft das europäische Netz immer mehr verdichten wird, gewinnen die Fragen der Koordinierung der Stromerzeugung und des Transportes sowie der Beherrschung der Kurzschlussleistung, der Frequenz- und Spannungshaltung, der Abstimmung der Netzschutzsysteme und der Relaisstellungen zunehmend an Bedeutung. Ein enges Zusammenarbeiten unter den einzelnen Lastverteilern bleibt unumgänglich. Die Möglichkeiten der Fernübertragung und die persönlichen Kontakte der verantwortlichen Ingenieure sind Vorbedingungen hiezu.

même prendre une importance encore plus considérable. Les raisons principales sont les suivantes:

- les unités de générateurs toujours plus puissantes dans les centrales, en particulier dans les centrales nucléaires,
- la difficulté de trouver des lieux adéquats pour ces types de centrale,
- le besoin éventuel d'installer plusieurs groupes de production au même endroit,
- ainsi que les sites appropriés pour les centrales de pompage dépendant de la topographie.

La possibilité de conserver à l'avenir en Europe occidentale une interconnexion avantageuse va poser toujours plus de problèmes qui ne pourront être résolus qu'en maintenant la collaboration traditionnelle et fructueuse entre les pays membres.

Les nouvelles lignes du réseau, établies actuellement et dans un proche avenir, seront conçues et exploitées pour une tension de 400 kV. A l'heure qu'il est, les pays de l'UCPTÉ disposent déjà de 16 lignes internationales de 400 kV, d'une capacité de transport de 32 200 MVA (fig. 4).

De 1948 à 1974, les échanges de courant entre les pays affiliés à l'UCPTÉ passèrent de 3000 à 39 000 GWh. La puissance installée augmenta de 41 000 MW à environ 180 000 MW durant la période s'étendant de 1951 à 1974.

Etant donné qu'à l'avenir le réseau européen va s'intensifier de plus en plus, les questions de coordination de la production de courant et de son transport ainsi que la maîtrise de la puissance de court-circuit, du maintien de la fréquence et de la tension, de la coordination des systèmes de protection de réseau et de l'ajustement des relais, augmenteront d'importance. Une collaboration étroite entre les divers répartiteurs de charges demeure indispensable. Les possibilités de transport à longue distance et les contacts personnels entre les ingénieurs responsables en constituent les pré-alables.

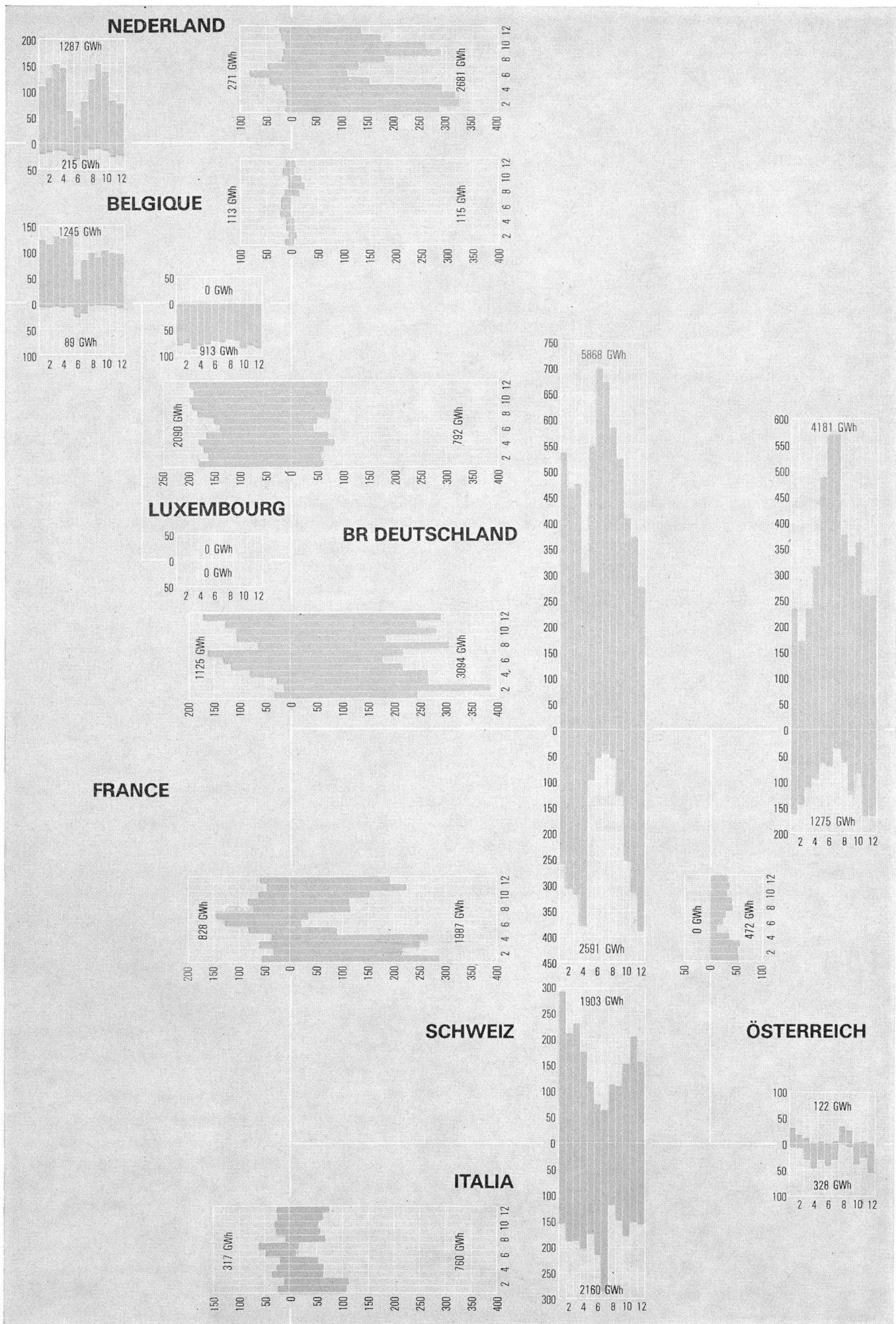


Fig. 5 Monatlicher Stromaustausch in Europa 1973 – Echanges mensuels d'énergie en Europe 1973

3. Die spezielle Rolle der Schweiz im Rahmen des internationalen Verbundbetriebes

Die Schweiz hat von Anfang an eine grosse Rolle im europäischen Verbund gespielt. Da sie praktisch in der Mitte des westeuropäischen Netzes liegt, trägt sie die entsprechende Verantwortung für den Energieaustausch, der sich über das schweizerische Netz zwischen den verschiedenen Ländern abwickelt. Das Höchstspannungsnetz unseres Landes dient somit zu einem Teil automatisch auch den europäischen Erfordernissen, ohne dass dafür spezielle Leitungen hätten gebaut werden müssen.

Jedes Land muss grundsätzlich für seine Energieversorgung selbst besorgt sein. Die zum Teil komplementären Erzeugungs- und Belastungsverhältnisse zwischen der Schweiz und dem Ausland erlauben jedoch gegenseitige Kompensationen und zusätzliche Austauschmöglichkeiten (Fig. 5). Bedingt durch die zentrale Lage fallen der Schweiz auch im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit gewisse gemeinsame Aufgaben zu. So überwacht Laufenburg die europäische Frequenz und gibt gegebenenfalls den grossen europäischen Produktionsländern, wie Frankreich und Deutschland, Anweisungen für deren Korrektur. Für die schweizerischen Überlandwerke führt die gleiche Gesellschaft überdies die Kontrolle des Energieaustausches zwischen der Schweiz und dem Ausland, dessen administrative Kosten von den Schweizer Werken teilweise übernommen werden. Die Überlandwerke sind momentan daran, diese gemeinsamen Aufgaben neu zu überprüfen.

Der Partnerschaftsidee stehen die Schweizer Werke schon seit Jahrzehnten sehr aufgeschlossen gegenüber. Dies kommt insbesondere beim Kraftwerk- und Leitungsbau zum Ausdruck. Die notwendigerweise damit verbundene gemeinsame Planung führte seit jeher zu einem intensiven Gedankenaustausch zwischen den einzelnen Gesellschaften. Die Vorteile dieser Partnerwerke liegen zudem in einer breiteren Risikoverteilung, zum Beispiel in bezug auf die unterschiedliche Hydraulizität bei den Wasserkraftwerken oder hinsichtlich des Ausfalls von thermischen Anlagen. Auch die sich heute hierzulande im Bau oder in der Projektierung befindenden grossen Kernkraftwerke werden als Partnerwerke erstellt.

4. Die Forderungen unseres Verbundbetriebes an die Technik

Der ständig steigende Energieaustausch zwischen den europäischen Ländern und der damit zusammenhängende Ausbau der Verbundleitungen stellen in zunehmendem Masse betriebliche, technische und wirtschaftliche Probleme. Die von Stunde zu Stunde variierenden Energieaustauschprogramme, die täglich für den folgenden Tag berechnet werden müssen, haben einen solchen Umfang angenommen, dass sie nicht mehr wie früher mit den herkömmlichen Rechenmaschinen, sondern nur noch mit Computern erarbeitet werden können. Bedingt durch die Erwartung einer beinahe 100%igen Versorgungssicherheit der Abnehmer, werden auch auf der technischen Seite seit Jahrzehnten an die Betriebssicherheit und die Verfügbarkeit der elektrischen Anlagen immer höhere Anforderungen gestellt. Zuerst konnten Messwerte und Steuerbefehle noch per Telefon übermittelt werden. Schon Ende der vierziger Jahre stellte sich aber die

3. Le rôle particulier de la Suisse dans l'exploitation en interconnexion du réseau international

D'entrée, la Suisse a joué un rôle important au sein du réseau européen d'interconnexion. Etant donné qu'elle se situe pratiquement au milieu du réseau de l'Europe occidentale, elle assume une responsabilité dans le domaine des échanges d'énergie entre les différents pays réalisés par l'intermédiaire du réseau suisse. Le réseau à haute tension de notre pays sert donc en partie aux besoins européens, sans qu'il soit pour autant nécessaire d'installer des lignes spéciales.

Par principe, chaque pays est sensé s'inquiéter lui-même de son approvisionnement en énergie. Les conditions de production et de charges partiellement complémentaires entre la Suisse et l'étranger permettent cependant des compensations réciproques de même que des possibilités d'échange supplémentaires (fig. 5). En raison de sa situation centrale, certaines tâches incombent à la Suisse dans le cadre de la collaboration internationale. C'est ainsi par exemple, que l'Electricité de Laufenburg surveille la fréquence européenne et donne aux grands pays producteurs européens, tels l'Allemagne et la France, des directives correctrices lorsque cela s'avère nécessaire. Pour les entreprises suisses, c'est la même société qui supervise le contrôle des échanges entre la Suisse et l'étranger. Les frais administratifs sont partiellement pris en charge par les entreprises helvétiques, qui sont actuellement en train de réexaminer le problème des tâches communes.

Depuis plusieurs dizaines d'années, les entreprises suisses sont très ouvertes à l'idée d'installations de partenaires. Ceci se manifeste en particulier dans la construction de centrales et de lignes. L'établissement en commun des projets a conduit de tout temps à un échange intensif d'idées entre les diverses sociétés. L'avantage essentiel de cette collaboration entre entreprises réside dans une large répartition des risques, par exemple du fait de l'hydraulizité très diversifiée pour les centrales hydrauliques ou lors d'incidents dans les centrales thermiques. Ce même principe de centrales de partenaires trouve aujourd'hui son application dans la construction ou les projets de grandes centrales nucléaires.

4. Les exigences techniques de l'exploitation en interconnexion

L'accroissement constant des échanges d'énergie entre les pays européens, d'où découle la multiplication des lignes de liaison, pose dans une mesure toujours plus élevée des problèmes d'exploitation, techniques et économiques. Le programme d'échange d'énergie, qui varie d'une heure à l'autre et doit être calculé quotidiennement pour le lendemain, a pris une ampleur telle que l'on ne peut plus se contenter comme par le passé de machines à calculer, mais que l'on doit recourir à l'ordinateur. Compte tenu du fait que les acheteurs d'énergie s'attendent à avoir une sécurité d'approvisionnement proche de 100 %, on a institué depuis plusieurs décennies des exigences toujours plus élevées sur le plan technique quant à la sécurité d'exploitation et la disponibilité des installations électriques. Au début, les valeurs de mesure et les programmes de réglage pouvaient encore être transmis par téléphone. Dès la fin des années quarante cependant, l'exi-

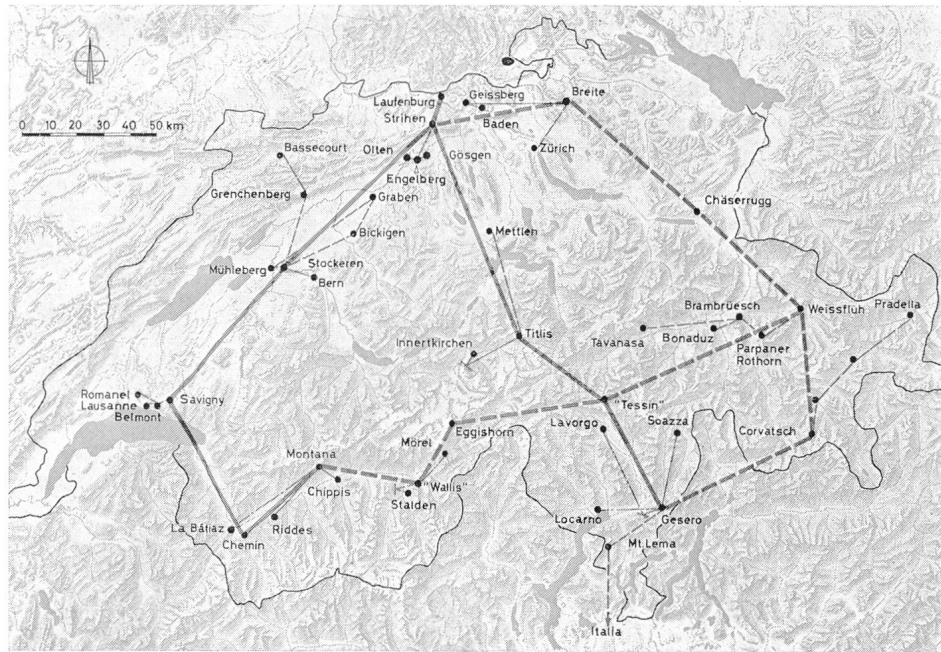


Fig. 6
EW-eigenes Richtstrahlnetz in der Schweiz
Réseau de transmission à faisceaux dirigés
appartenant en propre aux centrales
suisse d'électricité

in Betrieb en exploitation	geplant projeté	
—	---	Basisnetz – Réseau de base
---	- - - -	Zubringer – Amenée
- - - -	- · - · -	Zubringer Atel – Amenée Atel

Forderung nach einem momentanen Überblick über das Netz und somit nach zentralen Überwachungsstellen.

Aus diesem Grund nahmen die Überlandwerke im Laufe der Zeit sogenannte Lastverteiler in Betrieb, mit deren Hilfe sie ihr Regelgebiet überwachen und steuern können. Eines ihrer wichtigsten Instrumente ist der Netzregler, der in der Schweiz seit über zwei Jahrzehnten auf dem Prinzip der Frequenz-Leistungsregelung basiert. Entsprechend den Versorgungsgebieten und den Produktionsstellen der Überlandwerke war die Schweiz zuerst in vier und dann in fünf Netzregelsysteme unterteilt. Heute sind es deren sieben. Im Normalbetrieb regelt jedes Überlandwerk seinen Netzbereich mit eigenen Mitteln selbst aus. Im Störfall hingegen helfen die benachbarten Netze aus.

Der Ausdruck Frequenz-Leistungsregelung stammt aus dem korrigierenden Einspringen des Netzreglers sowohl bei fehlender Leistung wie bei einem Frequenzeinbruch. In den meisten Fällen stehen in der Schweiz Digitalnetzregler als PI (proportional-integral-) Regler im Einsatz. Der P-Einfluss ergibt eine hohe Regelgeschwindigkeit, der I-Einfluss bewirkt die Erreichung des Soll-Wertes ohne Pendelungen. Im On-line-close-loop-Verfahren werden die Ist- und Soll-Werte der Übergabeleistung eines Überlandwerkes an seine Partner dauernd durch den Netzregler verglichen, wobei dieser im Fall einer Abweichung die entsprechenden Korrekturwerte, den sogenannten Stellbefehl, an die Turbinenregler der Regelkraftwerke weiterleitet. Diese Regelung, die mit einer Zeitkonstante von einigen 10 s arbeitet, nennt man die *Sekundärregelung*. Im Gegensatz dazu wirkt die sogenannte *Primärregelung* in Bruchteilen von Sekunden durch den Einfluss des Netzes bei Leistungsschwund direkt auf die Turbinenregler ein. Die längerfristigen Korrekturen, in erster Linie für die Einhaltung der Energieaustauschprogramme, werden im allgemeinen separat über einen Prozessrechner ermittelt und entsprechen der *Tertiärregelung*. Verglichen mit

genze s'imposa de disposer d'une vue d'ensemble momentanée sur le réseau ce qui impliquait le recours à des postes de surveillance centraux.

C'est pourquoi les entreprises de grand transport d'énergie ont installé avec le temps des répartiteurs de charges à l'aide desquels le réglage régional pouvait être pratiqué. L'un des instruments les plus importants est le régulateur de réseau, qui, en Suisse, est basé depuis deux décennies sur le principe du réglage fréquence-puissance. Tenant compte des régions à approvisionner et des lieux de production, la Suisse a été divisée d'abord en quatre puis en cinq systèmes de réglage de réseau, qui, aujourd'hui sont au nombre de sept. En période d'exploitation normale, chaque entreprise assure le fonctionnement de son réseau avec ses moyens propres. En cas de dérangement au contraire, les réseaux voisins prêtent leur concours.

L'expression «réglage fréquence-puissance» tire son origine de l'intervention correctrice du régulateur de réseau aussi bien dans le cas d'une défaillance de la puissance que lors d'un fléchissement brusque de la fréquence. Dans la plupart des cas en Suisse, un régulateur de réseau digital intervient comme régulateur PI (proportional-integral). L'influence P fournit une vitesse de régulation élevée, alors que l'influence I permet d'atteindre la valeur prévue sans oscillations. Dans le processus On-line-closed-loop, la centrale est en mesure d'adapter constamment par la régulation de réseau la valeur réelle et prévue de la puissance à disposition à celles de ses partenaires. Dans le cas d'un décalage, il indique la correction nécessaire, dit ordre de réglage, qui est alors transmis au régulateur de la turbine de l'usine chargée du réglage. Ces régulations, qui travaillent avec une constante de temps de quelques secondes, sont nommées réglages secondaires. A l'opposé, le réglage primaire intervient en fraction de seconde directement sur les régulateurs des turbines en cas de manque de puissance. Les corrections à long terme,



Fig. 7 Lastverteiler der AteI
Dispatching AteI

dem europäischen Verbund verfügt die Schweiz wohl über relativ kleine installierte Leistungen. Diese können aber bei einem Grossausfall von Kraftwerken in Europa – dank der den hydraulischen Werken eigenen sehr kurzen Zeitkonstanten – doch wesentlich mithelfen, eine Großstörung zu vermeiden.

Die Überlandwerke der Schweiz nahmen nach ihren Bedürfnissen zu verschiedenen Zeitpunkten ihre ersten Lastverteiler in Betrieb, wobei diese später entsprechend den technischen Gegebenheiten erneuert wurden. Heute stehen somit verschiedene Systeme mit unterschiedlichem technischem Stand im Einsatz. Die derzeitigen fünf grossen Lastverteiler der Überlandwerke sind:

	Inbetriebnahme
Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg AG	1964
Nordostschweizerische Kraftwerke AG	1966
Bernische Kraftwerke AG	1971
S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse	1972
Aare-Tessin AG für Elektrizität	1975

Einen wesentlichen Schritt zur technischen Vervollkommnung des Verbundbetriebes bedeutete der Entschluss der schweizerischen Überlandwerke, ein EW-eigenes *Richtstrahlnetz* aufzubauen.

Auch hier wurde grosses Augenmerk auf die Sicherheit gelegt. Das Basisnetz besteht aus einer West-, einer Nord-Süd- und einer Ost-Strecke (Fig. 6), die im Süden über das Wallis, das Tessin und Graubünden so geschlossen werden, dass beim Ausfall einer dieser Strecken das Richtstrahlnetz funktionstüchtig bleibt. Zudem werden die Sender- und Empfängeranlagen nach dem Prinzip der Raum-Diversity betrieben; das heisst, die Strecke ist auch beim Ausfall eines Senders oder eines Empfängers sowie bei extremen Fading-Einwirkungen sichergestellt. Das Basisnetz funktioniert mit 7 GHz und ist mit mehreren Strängen zu 24 Kanälen ausgerüstet. Ebenso arbeiten die meisten sogenannten Zubringer zu den Lastverteilern oder Steuerzentren mit 7 GHz. Eine

necessités principalement par le maintien du programme d'échanges d'énergie sont généralement déterminées séparément au moyen d'un ordinateur et représentent le réglage tertiaire. Comparé au réseau européen, il est évident que la Suisse ne dispose que de puissances installées relativement petites. On peut toutefois, en cas de gros incidents en Europe, s'attendre à ce que les centrales hydrauliques apportent une aide importante, grâce à leur constante de temps très courte, pour éviter un dérangement grave.

Les centrales de Suisse ont mis leurs premiers répartiteurs de charges en service selon leurs besoins au cours des années et les ont par la suite modernisés pour répondre à de nouveaux critères techniques. C'est ainsi qu'aujourd'hui, on dispose de différents systèmes ayant leurs caractéristiques propres. Les cinq plus importants répartiteurs de charges actuellement en service dans notre pays sont:

	Entrée en service
Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg AG	1964
Nordostschweizerische Kraftwerke AG	1966
Forces Motrices Bernoises S.A.	1971
S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse	1972
Aar et Tessin S.A. d'Electricité	1975

Un pas décisif vers l'amélioration technique du réseau d'interconnexion a été franchi par les entreprises suisses à grand transport d'énergie en mettant en place leur propre réseau à faisceaux dirigés.

Là encore, la plus grande attention fut portée au problème de la sécurité. Le réseau de base se compose d'une section ouest, une nord-sud et une section est qui se bouclent au sud, à travers le Valais, le Tessin et les Grisons, de manière telle qu'un dérangement d'une de ces sections n'empêche pas le bon fonctionnement du réseau. En outre, les installations tant émettrices que réceptrices ont été réalisées selon le principe de la diversité géographique; en d'autres termes, même lors de l'arrêt d'un émetteur ou d'un récepteur ou d'influences de fading extrêmes, le réseau reste en fonction. Le réseau de base fonctionne avec 7 GHz et est doté de plusieurs ternes à 24 canaux. Quelques rares liaisons à 400 MHz, rendues nécessaires par des considérations géographiques ou financières, constituent une exception. La participation s'entend ici comme une conception suisse globale dont la plupart des stations sont exploitées en commun avec d'autres organisations étrangères aux centrales d'électricité, telles les PTT, le TCS, la police ou l'armée.

Dans le cadre de l'UCPTE également, il a été adjoint au groupe de travail pour les questions d'exploitation un sous-groupe dénommé «Technique de l'information» qui s'occupe de coordonner les réseaux de transmission de données afin de déterminer s'il existe des canaux disponibles pour transmettre des données entre les différents répartiteurs de charges.

A côté des liaisons par ondes porteuses sur les lignes à haute tension (LOH) et des transmissions par faisceaux dirigés, on utilise aujourd'hui les câbles coaxiaux incorporés au fil de garde et l'on procède à des essais de transmission par conducteurs jumelés.

Un exemple parmi de nombreux autres dans le développement de la commande de réseau est celui fourni par l'AteI (fig. 7) qu'il convient d'examiner de plus près. Ses modalités

Ausnahme bilden einige wenige geographisch oder finanziell bedingte 400-MHz-Verbindungen. Die Partnerschaft ist hier sozusagen eine gesamtschweizerische, wird doch die Mehrzahl der Stützpunkte gemeinsam mit EW-fremden Organisationen, wie PTT, TCS, Polizei oder Militär, betrieben.

Auch im Rahmen der UCPTÉ ist in der Arbeitsgruppe für Betriebsfragen eine Untergruppe «Informationstechnik» an der Arbeit, um die bis heute vorwiegend nationalen Datenübertragungsnetze zu koordinieren und festzustellen, auf welchem Wege freie Kanalplätze zur Verfügung stehen, um diese gegebenenfalls für Rechnerverbindungen zwischen den verschiedenen Lastverteilern nutzen zu können.

Neben den seit Jahrzehnten bekannten Trägerfrequenzverbindungen auf Hochspannungsleitungen (TFH) und dem modernen Richtstrahl sind heute auch Erdseilkoaxkabel und versuchsweise auch Interbündelübertragungen im Einsatz.

Als ein Beispiel unter vielen in der Entwicklung der Netzführung soll diejenige der Atel (Fig. 7) etwas näher dargelegt werden. Die Ausführungen gelten teilweise auch für andere moderne Lastverteiler des In- und Auslandes.

Die Atel nahm im Jahr 1954 einen der ersten Lastverteiler der Schweiz in Betrieb. Damals gab es eine einzige 220-kV-Alpenleitung. Alle übrigen arbeiteten mit einer Spannung von 150 kV oder weniger. Dieser Lastverteiler leistete während vieler Jahre sehr gute Dienste, doch vermochte er wegen des technisch langsam veraltenden Materials den Anforderungen in zunehmendem Masse nicht mehr zu genügen. Daher wurde Ende der sechziger Jahre eine neue moderne Zentrale Netzleitstelle (ZNL) konzipiert, die seit diesem Frühjahr im Einsatz steht. Diese Zentrale Netzleitstelle stellt im Moment die neueste schweizerische Anlage dieser Art dar. Im Ausdruck «Zentrale Netzleitstelle» werden der neue Lastverteiler, welchem die Netzüberwachung und Netzführung obliegt, sowie die Programmplanungsstelle, die speziell die Energiebilanz und damit den Energieaustausch für die folgenden Tage rechnet, begrifflich zusammengefasst. Der technische und betriebliche Aufbau ist ein streng hierarchischer. Vom Lastverteiler aus bestehen enge Verbindungen zu den sogenannten Netzsteuerzentren. Die einzelnen Kraftwerke und Unterwerke werden, soweit diese Möglichkeit gegeben ist, von den Netzsteuerzentren aus überwacht und fernbedient. Diese nehmen ihrerseits die nötigen Anweisungen via Gegensprechanlage vom Lastverteiler in Olten entgegen.

Als Datenübertragungsmittel werden zwei Typen eingesetzt. Eine *Dauerfernmessung* für die nötigen Daten und den Stellbefehl des Netzreglers ist auf dem Frequenzmultiplexprinzip aufgebaut. Dabei werden die entsprechenden Leistungsdaten in den einzelnen Netzsteuerzentren über Regulierverteiler summiert und als Summenwert zum Regulierverteiler Olten übertragen. Dieser übergibt die Gesamtsumme des Netzes dem Netzregler. Über die gleiche Verbindung geht der Stellbefehl via Netzsteuerzentren zurück zu den einzelnen Kraftwerken.

Beim zweiten Fernwirkssystem werden für die Übertragung aller für die Netzführung, die Statistiken und die Verrechnung benötigten Daten zwei digitalzyklische Systeme eingesetzt, die im Zeit-Multiplex-Verfahren arbeiten. Durch diese werden die Wirk- und Blindleistungen, die Sammelschienenspannungen und Schalterstellungen für das Blindschaltenschema des Lastverteilers sowie die Leistungen, Pegel-

sont en partie valables aussi pour d'autres répartiteurs de charges modernes tant en Suisse qu'à l'étranger.

L'Atel mit en 1954 l'un des premiers répartiteurs de charges de notre pays en service. A cette époque, il n'existait qu'une seule ligne alpine à 220 kV. Toutes les autres travaillaient avec une tension de 150 kV ou moins. Ce répartiteur de puissance a fourni durant de nombreuses années d'excellents services. Cependant, avec le temps, il ne répondit plus aux exigences de façon suffisante en raison du vieillissement technique du matériel. C'est pourquoi vers la fin des années 1960, une nouvelle station de commande centrale de réseau (SCR) fut conçue, qui fonctionne depuis le printemps de cette année à Olten. Cette station de commande (dispatching) représente pour l'heure, l'installation la plus moderne de Suisse. Sous le terme «dispatching» on comprend le nouveau répartiteur de charges auquel incombe la commande et la surveillance du réseau, ainsi que le poste de planification du programme plus particulièrement consacré au bilan énergétique et donc à l'établissement des échanges d'énergie pour les jours suivants. La construction sur le plan technique et pratique est strictement hiérarchisée. Il existe d'étroites liaisons entre le répartiteur de charges et les centres de commande des réseaux. Chacune des centrales et sous-stations seront dans la mesure du possible surveillées et dirigées par les centres de commande des réseaux. Celles-ci de leur côté prennent connaissance des directives nécessaires par le biais d'un appareil d'intercommunication en liaison avec le répartiteur de puissance d'Olten.

Deux types de transmission de données ont été retenus: une télé-mesure permanente pour les données importantes et pour la commande de réglage de réseau basée sur le principe de la fréquence multiplex. Ceci permet d'additionner les données de puissance dans les divers centres de réseaux par l'intermédiaire des répartiteurs de régulation et de transmettre la somme ainsi obtenue au répartiteur de régulation d'Olten. Celui-ci, à son tour, transmet la somme totale aux régulateurs de réseaux. On emprunte la même voie pour transmettre les ordres en retour aux diverses centrales.

Le second type, le système de télé-action, est utilisé pour la transmission de toutes les données nécessaires à l'exploitation, à l'établissement des statistiques et à la facturation; il requiert deux ensembles cycliques digitaux, lesquels travaillent selon un procédé de multiplexage. Grâce à ceux-ci, on transmet les puissances actives et réactives, les tensions aux barres collectrices et les positions des disjoncteurs pour le schéma synoptique du répartiteur de charges, ainsi que les puissances, les données limnimétriques et les fréquences pour les instruments d'enregistrement de même que la position des compteurs. L'un des systèmes permet en outre, en sens contraire, de communiquer aux centres de réseaux les ordres, de bloquer la position des compteurs, de démarrer et arrêter les pompes, etc. A la SCR d'Olten, toutes les valeurs de puissance rassemblées par le système cyclique digital sont additionnées par l'une des calculatrices et la somme obtenue est comparée au total obtenu par la télé-mesure permanente. Dès que surgit une différence, c'est-à-dire une erreur dans l'un ou l'autre système, l'alarme est déclenchée. Si l'erreur provient de la télé-mesure permanente, celle-ci est remplacée dans le répartiteur de régulation d'Olten par la somme obtenue

stände und die Frequenz für die Registrierinstrumente wie auch die Zählerstände übertragen. Über das eine System können ausserdem in umgekehrter Richtung Befehle, wie Zählerstandeinfrierung, Pumpenabwurf, Auffahren usw., zu den Netzsteuerzentren übermittelt werden. In der ZNL in Olten werden alle digitalzyklisch eintreffenden Leistungswerte des einen Rechners summiert und mit dem Summenwert der Dauerfernmessung verglichen. Beim Auftreten einer Differenz, das heisst bei einem Fehler im einen oder anderen System, wird Alarm ausgelöst. Liegt der Fehler bei der Dauerfernmessung, wird dieser Zweig am Regulierteiler Olten durch die Summe des digitalzyklischen Zweiges ersetzt, so dass der Netzregler auch beim Ausfall des ersten Systems richtig weiterarbeitet.

Alle wichtigen, vor allem die den Netzregler betreffenden Daten und Befehle sowie die Gegenseitigverbindungen werden doppelt übermittelt, nämlich via Trägerfrequenzübertragung auf Hochspannungsleitungen TFH und über die Richtstrahlverbindungen. Als Netzregler ist ein neuer elektronischer Digitalregler vorgesehen, der in Olten installiert und dem der heute in Lavorgo arbeitende Regler als Ersatz dienen wird. Zur Bewältigung der umfangreichen Daten kommt im Lastverteiler ebenfalls der Prozessrechner zum Einsatz. Neben den bereits erwähnten Aufgaben kommt ihm zudem eine wichtige Funktion in der Datenverarbeitung zur Erstellung der Betriebs-, Zähler- und Störprotokolle, in der Reservestellung beim Ausfall des Programmplanungsrechners, der Ansteuerung der Bildschirme der Sichtgeräte usw. zu. Auf den Sichtgeräten können die Schaltungsschemas der Unterwerke mit den entsprechenden Angaben über

– Wirk- und Blindleistungen der Transformatoren und Leitungsabgänge, die Flussrichtungen, die Schalterstellungen, Spannungen, Kraftwerkgeneratoren, Pumpen usw. sowie die Ringübergabedaten, die Zählerstände, die Energieprogramme usw.

abgerufen werden. Die Netzsteuerzentren sind mit Kleinrechnern ausgerüstet, welchen die Aufgabe des Zählerdatenpuffers und des Klartextstörmelders zufällt und die eine Auswahl der wichtigsten Störungsangaben nach Olten weiterleiten. Die bisher beschriebenen Einrichtungen dienen der eigentlichen Netzführung und Netzüberwachung. Sie arbeiten im On-line-open-loop-Verfahren. Daneben ist auch die Programmplanungsstelle mit modernen Hilfsmitteln ausgerüstet. Eine ausbaufähige Datenverarbeitungsanlage dient der Erstellung der Energieprogramme und der Statistiken sowie der Verarbeitung der Zählerstände. Diese Anlage wird unabhängig vom Lastverteiler betrieben, kann hingegen durch deren Rechner ersetzt werden. Bei beiden Rechnern handelt es sich um identische Typen, welche sehr einfach, in erster Linie über die Sichtgeräte, bedient werden können.

Die Technik wird auch in Zukunft nicht stehenbleiben. Die Entwicklung wird in noch weitergehenderer und noch schnellerer Datenerfassung und -übertragung fortschreiten, wobei auch die State-Estimation (Netzzustandsbestimmung) in Europa vermehrt zum Einsatz kommen wird. Auch rein äusserlich wird man feststellen können, dass dank den integrierten Schaltungen die benötigten Volumen trotz immer grösser werdenden Leistungen stets kleiner werden. Als Beispiel sei die heutige Zentrale Netzleitstelle der Atel erwähnt, die Ende der sechziger Jahre beim damaligen Stand der Technik den drei- bis vierfachen Raum benötigt hätte.

nue au moyen du système cyclique digital de manière à ce que le régulateur de réseau puisse, même dans ce cas, continuer à travailler correctement.

Toutes les indications importantes, et principalement les données et ordres se rapportant au régulateur de réseau ainsi que les échanges d'informations, sont transmises à double, d'une part par liaisons par ondes porteuses sur lignes à haute tension, d'autre part par faisceaux dirigés. Il est prévu de mettre en place un nouveau régulateur digital électronique comme régulateur de réseau, qui sera installé à Olten, et qui remplacera le régulateur aujourd'hui en fonction à Lavorgo, gardé en réserve. Pour traiter l'énorme quantité de données, le répartiteur de charge sera complété par un ordinateur. En plus des tâches déjà évoquées, le travail de traitement des données englobe une fonction importante: l'établissement des procès-verbaux pour l'exploitation, les compteurs et les perturbations, la prévision d'une réserve en cas de panne du calculateur du programme de planification, du dispositif actionnant les appareils pour le contrôle visuel, etc. Pour ces derniers, les schémas de connexion des sous-stations peuvent être appelés pour les postes suivants:

– puissances actives et réactives des transformateurs et des départs de lignes, les directions des courants, les positions des disjoncteurs, les tensions, les générateurs de centrales, les pompes, etc., ainsi que les données des lignes reliées à une boucle, la position des compteurs, les programmes d'énergie, etc.

Les centres de commande de réseaux sont équipés de petits ordinateurs, auxquels incombent la tâche de mémoriser les données de compteurs et les textes en clair des perturbations. En outre, ils choisissent les données les plus importantes sur les perturbations pour les transmettre à Olten. Les installations décrites jusqu'ici servent à la surveillance et à l'exploitation du réseau proprement dit, le travail se faisant selon le processus On-line-open-loop. De plus, on a installé un poste de planification de programme doté des derniers perfectionnements. Une installation de traitement de données sert à la mise sur pied des programmes énergétiques, à l'établissement des statistiques ainsi qu'à la mise en valeur des données fournies par les compteurs. Cette installation travaille indépendamment du répartiteur de charges, mais peut en revanche être remplacée par le calculateur de celui-ci. Ces deux calculateurs sont d'un type identique, qui peuvent très facilement être utilisés par l'intermédiaire des appareils de contrôle visuel.

A l'avenir également, la technique ne demeurera pas stagnante. L'évolution tend à la mesure et à la transmission toujours plus rapide et étendue des données et l'on cherche toujours plus à améliorer l'appréciation de l'état des réseaux. En outre, on peut constater que, grâce aux circuits intégrés, les volumes nécessaires aux installations deviennent toujours plus petits malgré les puissances en jeu toujours plus élevées. A titre d'exemple, on peut citer l'actuelle centrale de commande de réseau de l'Atel qui, à la fin des années soixante, nécessitait au niveau de la technique d'alors trois à quatre fois plus de place.

Dans ce contexte, les entreprises d'électricité expriment à l'intention de l'industrie le vœu d'obtenir du matériel toujours meilleur, plus sûr et à meilleur marché.

In diesem Zusammenhang sei der Industrie der Wunsch der Elektrizitätswerke nach immer besseren, weniger störungsanfälligen und billigeren Betriebsmitteln ans Herz gelegt.

Abschliessend darf festgestellt werden, dass sich die Zusammenarbeit der Elektrizitätswerke voll bewährt hat. Heute herrscht die absolute Überzeugung, die beste Gewähr für eine sichere und preiswerte Versorgung der Schweiz mit elektrischer Energie bestehe in der bisherigen Weiterarbeit in eigener Verantwortung und im direkten Gespräch zwischen den einzelnen Werken.

Adresse des Autors

Dr. E. Trümpy, Direktionspräsident der Aare-Tessin AG für Elektrizität, Bahnhofquai 12, 4600 Olten.

Enfin, on peut constater pour terminer que la collaboration entre les entreprises d'électricité a parfaitement joué. Une certitude absolue apparaît aujourd'hui, à savoir que le meilleur moyen d'assurer un approvisionnement de la Suisse en énergie électrique de façon sûr et à un prix intéressant réside dans la poursuite du travail accompli jusqu'ici dans un esprit de responsabilité propre et dans un contact direct entre les diverses entreprises.

Adresse de l'auteur

E. Trümpy, président de la direction de l'Aar et Tessin S.A. d'Electricité, Bahnhofquai 12, 4600 Olten.

Betriebsoptimierung in der elektrischen Energieversorgung

Von H. Edelmann

Die Arbeit gibt die klassischen Grundlagen für die Betriebsoptimierung im Bereich der elektrischen Energieversorgung. Es werden zur Herleitung nur elementare Grundlagen der Differentialrechnung und der Variationsrechnung benötigt. Neben dem rein thermischen Verbundbetrieb wird auch der hydrothermische Verbundbetrieb mit Speicherwasserkraftwerken betrachtet.

1. Einleitung

Elektrizitätsversorgungsunternehmen sind Einrichtungen, die zum Ziele haben, elektrische Energie zu erzeugen und zu verkaufen. Wie jedes Unternehmen muss es darauf abzielen, bei Erfüllung der vertragsmässigen Verpflichtungen einen möglichst grossen Gewinn zu erwirtschaften. Diesem Gewinn sind freilich Grenzen gesetzt: Rohstoffe für Energiequellen sind nicht beliebig billig. Die verkaufte Energie kann auch nicht beliebig teuer verkauft werden. Während sich die Preise der Rohstoffe für Energiequellen im allgemeinen nach Angebot und Nachfrage regeln, herrscht auf der Abnehmerseite kein freier Markt. Hier wacht eine gewisse staatliche Kontrolle darüber, dass der Abnehmer einen gerechten Tarif erhält. Im ganzen gesehen wird also jedes Versorgungsunternehmen darauf achten müssen, die vom Abnehmer geforderte Energie möglichst billig zu erzeugen. Für den Ingenieur im EVU-Bereich ergibt sich hierdurch eine Optimierungsaufgabe, die er durch mathematische Hilfsmittel und den Einsatz von Rechnern zu lösen hat. Praktisch wird dies fast immer eine Optimierung über einen gewissen Zeitraum sein. Man unterscheidet kurzfristige, mittelfristige und Langzeitoptimierungen. Eine Grundaufgabe ist hierbei die Momentan-Optimierung der Erzeugungskosten. Die wesentlichen Grundlagen sollen nun anhand eines vereinfachten Modells dargestellt werden.

L'auteur donne les bases de travail conventionnelles pour une exploitation optimale dans le secteur de l'approvisionnement en énergie. Pour réaliser cette conception, il utilise les seules bases élémentaires du calcul différentiel et des variations entrant en considération. A côté de ces interconnexions purement thermiques, l'auteur a également abordé le problème des interconnexions hydrothermiques avec des centrales hydrauliques d'accumulation.

2. Momentanoptimierung eines thermischen Verbundsystems

Will man die Erzeugungskosten für einen Verbundbetrieb optimieren, so muss man zuvor die Abhängigkeiten der Energieerzeugungskosten aller Kraftwerke von den Einspeiseleistungen kennen. Sie heissen Absolutkostenfunktionen (Fig. 1a), und sie sind in der Regel nur von thermischen Kraftwerken bekannt. Jedoch auch von Übergabestellen existieren solche Absolutkostenfunktionen. Für Kraftwerke und Übergabestellen gelten gleichzeitig auch minimale und maximale Grenzleistungen \underline{P}_i bzw. \overline{P}_i .

Die Absolutkostenfunktionen K_i werden dann durch folgende Gleichungen beschrieben

$$K_i = F_i(P_i) \quad (1)$$

$$\underline{P}_i \leq P_i \leq \overline{P}_i \quad i = 1 \dots n \quad (2)$$

Wir wollen annehmen, dass die Absolutkostenfunktionen stetig sind und 1. und 2. Ableitungen besitzen. Die ersten Ableitungen nennt man die *Zuwachskosten* k_i (Fig. 1b). Für sie gilt

$$k_i = f_i(P_i) = \frac{dF_i(P_i)}{dP_i} \quad (3)$$

Wenn man annimmt, dass die Absolutkosten mit der Leistung nicht fallen, so gilt auch