

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 57 (1966)
Heft: 8

Artikel: Betrieb der Zentralen und Netze im Hinblick auf die Anforderungen des schweizerischen Verbrauches
Autor: Schaerer, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916589>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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

Energie-Erzeugung und-Verteilung

Die Seiten des VSE

Betrieb der Zentralen und Netze im Hinblick auf die Anforderungen des schweizerischen Verbrauches

von R. Schaerer, Laufenburg

DK 621.311.003(494)

I. Allgemeine Lage

Durch ihre geographische Lage bedingt hat die Schweiz als einzige Einnahmequelle ihre Veredelungsindustrie, denn der Boden ihres Territoriums, das sich über die höchsten Alpenketten erstreckt, birgt fast keine Rohstoffe. Zur Entwicklung dieser Einnahmequelle war es notwendig, das einzige Energievorkommen, die «weisse Kohle» nutzbar zu machen.

Als die Übertragung elektrischer Energie mittels Hochspannung genügend fortgeschritten war, konnten die bisher von Flusskraftwerken belieferten Verbrauchszentren im Mittelland mit den Kraftwerken, welche grosse Gefälle ausnutzen, und deren Speicherbecken es erlauben, die Produktion an den Verbrauch anzupassen und die durch die Jahreszeiten und das Klima bedingten Änderungen der Wasserführung der Flüsse auszugleichen, verbunden werden.

Unter dieser Entwicklung, welche der privaten Initiative überlassen blieb und regional war, entstanden zahlreiche voneinander unabhängige Verteilnetze von kleiner Ausdehnung. Einige davon wurden von den an den Grenzflüssen liegenden Kraftwerken, welche einen Teil der erzeugten Energie an das betreffende Nachbarland abgeben müssen, gespeist. In diesen Grenzkraftwerken waren die einen Generatoren mit dem ausländischen, die andern mit dem eigenen Netz verbunden. Durch Zuschalten von einem oder mehreren Generatoren auf das eine oder andere Netz war eine begrenzte gegenseitige Aushilfe möglich. Dies war der Anfang des schweizerischen Energieaustausches mit dem Ausland.

Durch den fortschreitenden Zusammenschluss der schweizerischen regionalen Netze und durch die Bildung von ausgedehnten Verbundnetzen in den Nachbarländern wurde eine systematische Nutzung der schweizerischen Überschüsse an hydroelektrischer Energie in den Sommermonaten, während denen die Wasserführung unserer Flüsse am grössten ist und die thermischen Zentralen der angrenzenden Länder zwecks Revision stillgelegt sind, möglich. Die Wasserverluste mangels Stromabsatz während der Schwachlaststunden im Inland konnten durch Energielieferung von direkt auf die ausländischen Netze arbeitenden Generatoren auf ein Minimum verringert werden. Den Abnehmern dieser Energie war es somit möglich, bedeutende Brennstoffeinsparungen in ihren thermischen Zentralen zu verwirklichen.

Dieses Verfahren verlangte aber zahlreiche Umschaltungen in den Schaltstationen und schränkte somit den Energieaustausch ein. Die Schweizer Elektrizitätsunternehmen entschlossen sich, ihre Netze einerseits mit dem französischen und andererseits mit dem deutschen Netz zusammenzuschalten.

Da das inländische Netz zur Durchführung des Energietransites in grossem Maßstab zu schwach war, musste ein Verbindung dieser beiden Partner über die Schweiz vermieden werden. Durch Aufteilung desselben in zwei Teile, von denen der eine mit der Electricité de France (EDF), der andere mit einem der grossen deutschen Netze verbunden wurde, war dieser Betrieb möglich.

Dieses System konnte dank dem Entgegenkommen der EDF und der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke AG (RWE) noch im Jahre 1958 verbessert werden. Die beiden genannten Unternehmungen erklärten sich mit der Verlegung ihrer Kuppelstelle auf den Rhein in der Nordschweiz, wo die Grenzen der 3 Länder zusammentreffen, einverstanden. Das französische, deutsche und schweizerische Netz ist dort sternförmig zusammengeschaltet und arbeitet seit 1958 im Parallelbetrieb.

Heute bestehen die folgenden 220 kV-Verbindungen der Schweiz mit dem Ausland: 5 Stromkreise mit einer Gesamtübertragungskapazität von 140 MW mit Frankreich, 25 Stränge mit einer Gesamtübertragungsleistung von 1000 MW mit Deutschland und 4 mit einer totalen Transportfähigkeit von 1000 MW mit Italien. Drei dieser Leitungen zählen zu den grossen internationalen Verbundschleifen, die von 1959...1960 zur Erhöhung der Betriebssicherheit geschaffen wurden. (Siehe Fig. 1) Diese Figur zeigt ebenfalls die für den inneren Aufbau des schweizerischen Hochspannungsnetzes wichtigsten Übertragungsleitungen.

Diese Leitungen haben zur Aufgabe:

- a) Sicherstellung des Transportes der in den Alpengegenden unter hoher Leistung erzeugten Energie nach den Verbrauchszentren hohen spezifischen Energiebedarfes im Mittelland. Aus diesem Grunde verlaufen sie im allgemeinen von Süden nach Norden.
- b) Verbund der einzelnen Elektrizitätswerke untereinander.
- c) Ermöglichung des Energieaustausches mit den Nachbarländern.

II. Ausrüstung

1. Energieerzeugung

Um die Verbrauchszunahme, welche während der letzten 15 Jahren durchschnittlich 5,8% betrug, decken zu können, sahen sich die Elektrizitätswerke gezwungen, Hochdruckkraftwerke zu bauen, welche oft sehr weit von den Verbrauchszentren entfernt liegen. Zur Durchführung dieser kapitalintensiven Projekte wählten sie zur Aufteilung der

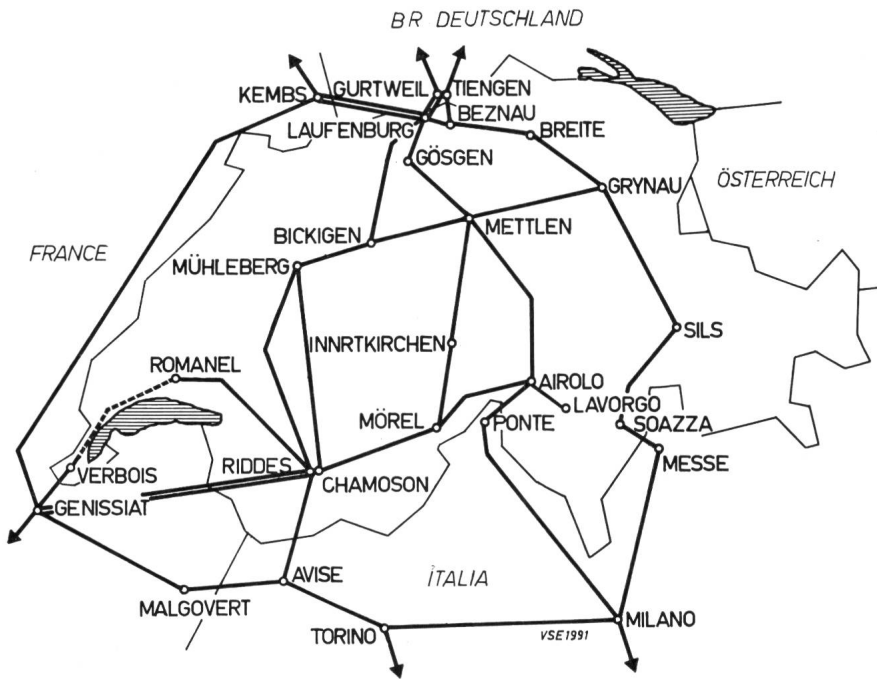


Fig. 1
Schema des schweizerischen Höchstspannungsnetzes

finanziellen Anstrengungen den Weg, neue Aktiengesellschaften zu gründen, an denen sich mehrere Elektrizitätsunternehmen sowie Konzessionsgemeinden beteiligen. Bei einem solchen Werk verpflichten sich die Aktionäre zur Tragung der Jahreskosten und zum Kauf der anfallenden Energie und zwar proportional zu ihrer Beteiligung. Diese Partnerwerke bieten aber noch zusätzlich die folgenden Vorteile: Jedes Unternehmen kann sein Ausrüstungsprogramm besser an die Entwicklung seines Energiebedarfs anpassen, als wenn es plötzlich gezwungen wäre, von einem Jahr auf andere durch die Inbetriebsetzung einer grossen Anlage eine zusätzliche Produktion von einigen hundert Millionen bis über eine Milliarde kWh allein aufzunehmen. Andererseits kann ein Elektrizitätsunternehmen sich an mehreren solchen Anlagen beteiligen und so seine Energiequellen auf ein grosses Territorium verteilen. Dies erlaubt eine vorteilhafte Nutzung der Hydraulizität, welche auf der Süd- und Nordseite der Alpen und sogar von einem Tal zum andern verschieden sein kann und die Fluktuation der Erzeugungsmöglichkeit zwischen einem normalen und einem trockenen Jahr wird für die Gesamtheit seiner Produktionsanlagen kleiner als dies für ein einziges Werk der Fall wäre. Weiter bleibt im Falle eines Maschinenschadens oder bei Unterhaltsarbeiten an den Wasserkraftanlagen, welche oft eine längere Stilllegung der gesamten Anlage oder sogar die Entleerung des Speichersees erfordern, der Leistungsausfall für jeden Partner in kleinen Grenzen, so dass dieser noch immer seinen Verpflichtungen zur Deckung des Bedarfs seiner Abonnenten nachkommen kann. Als Vorteil sei auch noch die Tatsache erwähnt, dass jedem Partner die gesamte Produktionskapazität zur Verfügung steht, wenn die anderen von ihrem Anteil keinen Gebrauch machen können. Dadurch wird der Betrieb einer solchen Anlage rationeller.

2. Energietransport

Die bis zu 300 km von den Verbrauchszentren entfernten grossen Produktionsanlagen mit relativ niedriger Gebrauchsdauer, welche in den Alpen installiert sind, erfordern

ein Leitungsnetz von hoher Übertragungskapazität. Durch die Bevölkerungsdichte im schweizerischen Mittelland (bis zu 300 Einwohner pro km²) und die Topographie der Alpentäler wird jedoch die Zuteilung neuer Leitungsstrassen problematisch. Schon vor einigen Jahren sahen deshalb die interessierten Firmen den Übergang auf die 380 kV-Spannungsstufe vor. Es wurden einige Linien für diese Spannungen gebaut, die jedoch vorläufig bis auf eine nur mit 220 kV betrieben werden. Diese Leitungen durchqueren die Schweiz von Süden nach Norden und in naher Zukunft schon werden sie den 380-kV-Verbundbetrieb mit den Nachbarländern ermöglichen.

Wie bereits weiter oben erwähnt, ist ein grosser Teil der Produktionsanlagen als Partnerwerke entstanden;

es war also logischerweise auf eine ähnliche Lösung für die zum Transport zu den nahe an den Verbrauchszentren notwendigen Verteilstationen und Leitungen zurückzugreifen. Statt dass jede Unternehmung ihre eigene Leitung, welche in vielen Fällen auf bestimmten Strecken parallel auf dem gleichen Trasse verlaufen wäre, zu bauen, haben die Partner sich freiwillig zum Zusammenschluss entschlossen, um sich an der Investition einer Leitung mit grosser Kapazität zu beteiligen und sich so das Miteigentum oder ein unveräusserliches Transportrecht zu sichern. Jeder Partner verfügt also bei jeder gemeinsamen Leitung über die Transportkapazität, die er benötigt.

III. Betrieb

Eine grosse Anzahl öffentlich-, privat- und gemischtwirtschaftlicher Elektrizitätsunternehmen, zu denen man auch die industriellen Selbstproduzenten und die Schweizerischen Bundesbahnen zählen muss, soweit letztere Energie aus dem 50-Hz-Netz beziehen (das Bahnnetz wird mit 16²/₃ Hz betrieben), verfügen, wie bereits gesagt, über im ganzen Lande verteilte Zentralen und sind über ein Hochspannungsnetz, von dem eine grosse Anzahl Leitungen in Kollektivbesitz sind, mit den Verbrauchszentren verbunden. Dabei bleibt jedoch jede Unternehmung selbständig und bewirtschaftet nach eigenem Ermessen, d. h. der Nachfrage entsprechend, die Kapazität ihrer Produktions- und Verteilanlagen.

Für die Bewirtschaftung eines hydroelektrischen Kraftwerkes mit Saison-Speicher wird die Verarbeitung einer grossen Anzahl Daten notwendig, wenn eine solche Anlage als Partnerwerk betrieben wird. Da jedem Partner nur ein bestimmter Energie- und Leistungsanteil zusteht, muss der Speicherinhalt in virtuelle senkrechte Tranchen aufgeteilt werden, von denen jede nach einem anderen Programm eingesetzt wird. Der fiktive Wasserstand eines jeden Partners muss jeden Tag neu berechnet werden, unter Berücksichtigung seines Zuflussanteils und seiner Energieentnahme. Theoretisch kann der Fall eintreten, dass der fiktive Wasserstand eines Partners sein Maximum übersteigt, wobei das Speicherbecken nicht

voll zu sein braucht, weil die anderen Partner einen Energieanteil entnommen haben. Diese Bestimmung der fiktiven Wasserstände und ihres Energieäquivalenten ermöglicht es, in jedem Augenblick, unter Berücksichtigung des Gefälles, die Energiereserven eines jeden Partners zu bestimmen. Diese Aufgabe übernimmt das Unternehmen, das mit dem Betrieb des Partnerwerkes betraut wurde.

Die erzeugte Energie muss nun über das Höchstspannungsnetz den Umspannwerken, wo sie von den Partnern abgenommen wird, zugeführt werden. Wie bereits erwähnt, hat sich jeder die notwendige Transportkapazität gesichert. Da die verschiedenen Unternehmungen auch einen intensiven Energieaustausch untereinander betreiben, haben sie sich für die Schaffung eines Systems entschlossen, das mit der Netzregulierung auch die Abrechnung ihrer Energieverschiebungen ermöglicht. Die Schweiz ist in eine bestimmte Zahl von Reguliergebieten eingeteilt. Diese Gebiete sind wiederum untereinander mit einem oder mehreren Gebieten in einer von der Netzgestaltung abhängigen Zahl von Anschlusspunkten verbunden. Jeder dieser Sektoren muss seine Energieproduktion an seinen momentanen Bedarf und an die Lieferungs- und Bezugsprogramme anpassen, welche in den Partner-Verträgen festgelegt sind. Die verschiedenen 220/380-kV-Verbundleitungen sind auch in die Regulationszonen eingliedert, ohne dass diese Leitungen notwendigerweise der Gesellschaft gehören, der sie zugeordnet wurden. An den verschiedenen Knotenpunkten zweier Gebiete sind Messwandler aufgestellt. Diese sind einerseits mit den Zählern und andererseits über Kodierungsapparaturen mit einem Sender zur sofortigen Übermittlung des augenblicklichen Leistungsflusses an das regionale Verteilzentrum verbunden. Dieses führt dem Netzregler die übermittelten Daten zu. Nach dem Vergleich dieser Daten mit den Programmwerten nimmt der Netzregler unter Berücksichtigung der Frequenz die notwendigen Korrekturen vor. Die Austauschleistung wird durch Rückwirkung auf die Regulierkraftwerke auf den Sollwert zurückgebracht. Dieser Sollwert wird für jede Tages- und Nachtstunde berechnet und ergibt sich aus der Summe der Austauschprogramme mit den Nachbargebieten. Jede im Produktionsprogramm nicht vorgesehene Verbrauchsänderung erscheint im Energieaustausch als Lieferungs- oder Be-

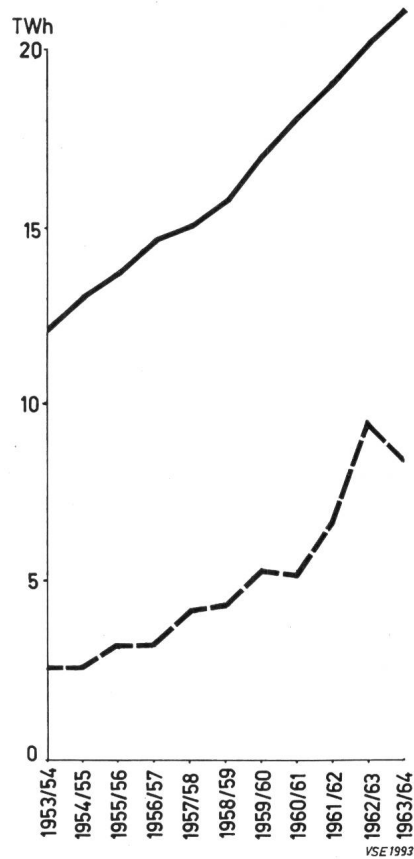


Fig. 3
Energieverbrauch der Schweiz und Umfang des Energieaustausches (Import und Export) mit den Nachbarländern

zugsüberschuss. Die Regulierung derselben bewirkt also automatisch die Regelung des eigenen Netzes.

Die schweizerischen Elektrizitätsunternehmen haben den Energieaustausch mit den Nachbarländern nach einem ähnlichen Schema verwirklicht. Die Gesamtheit der 220/380-kV-Leitungen, die alle Verbindungen mit den Nachbarländern und dieser unter sich einschliessen, wird als «schweizerisches Sammelschienensystem» betrachtet, an das gewisse Gesellschaften — im heutigen Stadium sind es deren fünf — direkt angeschlossen sind. Die anderen sind über die Netze der ersteren damit verbunden. Die Resultierende ihres Energieaustausches mit den Nachbarländern meldet jede Gesellschaft an diejenige unter ihnen, welche mit der Ausarbeitung des gesamten Energieaustauschprogrammes mit dem Ausland für den folgenden Tag beauftragt ist. Bei der Aufstellung dieses Programms müssen ferner die zwischen Frankreich und Deutschland im nordschweizerischen Sternpunkt ausgetauschten Energiemengen und die Transitenergie zwischen Frankreich und Italien über die durch schweizerisches Territorium führende Schleife berücksichtigt werden. Die mit der Regulierung des Energieaustausches beauftragte Gesellschaft gibt also ihrem Netzregler die Gesamtheit ihres Austauschprogrammes mit ihren schweizerischen Partnern sowie die Gesamtheit der Austauschprogramme mit den Nachbarländern ein. In Fig. 2 ist das Regulierschema dargestellt.

Wie aus der Fig. 3 ersichtlich ist, nahm der Energieaustausch mit dem Ausland parallel mit dem Anstieg des Inlandverbrauches und der Erzeugung zu. Es ist klar, dass dadurch das Aufstellen der täglichen Austauschprogramme zu einer sehr langwierigen Arbeit geworden ist. Zu einem grossen Teil wird sie jetzt automatisch von einem Elektronenrechner

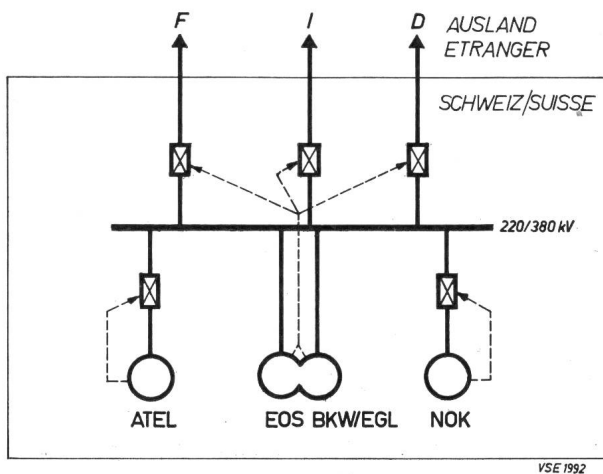


Fig. 2
Regulierung des Energieaustausches zwischen der Schweiz und den Nachbarländern

ausgeführt. Dadurch kann nicht nur Personal eingespart werden; auch die Regelung wird durch die direkte Eingabe in den Netzregler eines von in kleinen Zeitintervallen berechneten Korrekturwertes verbessert. Dieser Korrekturwert wird aus der Differenz zwischen den Programmsollwerten und den Zählerständen auf den internationalen Verbundleitungen ermittelt. Der Elektronenrechner kann weiter den Energiehaushalt der Partnerwerke verwalten und die monatlichen Abrechnungen für sämtliche Lieferungen, unter Berücksichtigung der Tarife, erstellen. Weiter führt er das Ausgleichskonto über die Lieferungen oder Bezüge, die sich aus den Abweichungen zwischen Programm- und gemessenen Austauschwerten ergeben und die nicht fakturiert, sondern während der selben Tarifzeiten kompensiert werden müssen.

Durch die Zunahme des Energieverbrauchs ergab sich also eine immer engere Zusammenarbeit zwischen den schweizerischen Elektrizitätsunternehmungen und den Nachbarländern auf dem Produktions-, Transport- und Betriebssektor.

IV. Zukünftige Entwicklung

Der Ausbau der wirtschaftlich nutzbaren Wasserkräfte wird bald zu Ende gehen und die schweizerischen Elektrizitätsgesellschaften werden auf andere Energiequellen zurückgreifen müssen, um den wachsenden Bedarf zu decken. Durch den Einsatz von klassischen thermischen Kraftwerken und der Atomenergie verliert die Schweiz eine nur relative

Autonomie, denn sie kann trotz ihrer meistens positiven Jahresenergiebilanz den Winterverbrauch bei ungünstiger Wasserführung schon seit vielen Jahren nicht mehr selbst decken. Alle anderen Energieträger — mit Ausnahme des Holzes, dem aber nur eine unbedeutende Rolle zukommt — müssen eingeführt werden. Man kann den Gestehungspreis für eine bestimmte Qualität hydroelektrischer Energie in gewissen Grenzen als unabhängig von der Leistung der Produktionsanlagen betrachten. Für die klassischen thermischen Kraftwerke und besonders für die Atomkraftwerke liegen die Verhältnisse ganz anders; der Gestehungspreis der in solchen Anlagen erzeugten Kilowattstunde ist umso niedriger, je grösser die Einheit ist. Es ist klar, dass bei der Eingliederung von Einheiten von 300, 500 MW und noch grösserer in das schweizerische Produktionssystem, dessen Höchstlast kaum 4 Millionen kW beträgt, gewisse Schwierigkeiten auftreten werden. Die schweizerischen Unternehmungen werden sich deshalb zur Produktion von thermischer oder Atomenergie in Anlagen mit grossen installierten Leistungen zusammenschliessen müssen, wie sie das bereits zum gemeinsamen Bau und Betrieb der hydroelektrischen Kraftwerke und des Hochspannungsnetzes getan haben.

Adresse des Autors:

R. Schaerer, dipl. Ing., Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg, 4335 Laufenburg.

Der Verbrauch elektrischer Energie in der Schweiz; beeinflussende Faktoren, Entwicklung und Möglichkeiten der Deckung des zukünftigen Bedarfes

von W. Lindecker und W. Wild

DK 621.311.003(494)

I. Allgemeine Lage

Seit dem Ende des letzten Weltkrieges kennt die Schweiz eine wirtschaftliche Blütezeit, die zu einer starken Zunahme ihrer Aktivität in der Industrie und im Bauwesen geführt hat. Zur Bewältigung dieser Expansion musste eine grosse Zahl ausländischer Arbeitnehmer herangezogen werden. Die nachstehenden Zahlen geben einen Überblick über die Bevölkerungszunahme und die Einwanderung von Fremdarbeitern.

Jahr	Gesamtbevölkerung (Schweizer und Ausländer) in 1000	Total der im Februar ²⁾ kontrollpflichtigen Fremdarbeiter ¹⁾ in 1000	In % der Gesamt- bevölkerung
1950	4694	90	1,9
1953	4878	139	2,7
1958	5199	262	5,1
1963	5770	512	8,9

¹⁾ Als kontrollpflichtige Fremdarbeiter gelten jene, die weniger als 10 Jahre in der Schweiz wohnen. Im allgemeinen wird die Niederlassungsbewilligung nach 10 Jahren erteilt. Aus diesem Grund ist die wirkliche Anzahl Fremdarbeiter höher als die in der Tabelle angegebenen Werte.

²⁾ Für den Monat August liegen diese Zahlen wegen der im Baugewerbe beschäftigten Saisonarbeiter noch höher. Die Zahlen betragen im August 1958 363, im August 1963 690.

Die anhaltende Hochkonjunktur bewirkte einen ständig steigenden Zustrom von Fremdarbeitern. Dies trug einen gewissen Teil zur Teuerung bei, welche die bisher gesunde schweizerische Wirtschaftsstruktur gefährdet. Im Jahre 1964 trafen die schweizerischen Behörden zwecks Vermeidung einer weiteren Konjunkturüberhitzung Massnahmen zur Immobilisierung von gewissen Kapitalien und stellten Kreditbeschränkungen für Neubauten auf. Für die nächste Zukunft lässt sich ein andauernder guter Beschäftigungsgrad mit einem nur langsamen Zuwachs des Fremdarbeiterbestandes voraussagen.

Im heutigen Zeitpunkt ist die Wasserkraft als einzige inländische Energiequelle zu nennen. Durch den frühzeitigen Ausbau derselben war die Elektrifikation der Schweiz schon vor dem letzten Weltkrieg weit vorangeschritten. Der Bedarf an elektrischer Energie ist jedoch seither unaufhörlich weiter angewachsen. Im Jahre 1964 betrug er annähernd 22 TWh. Während einer Periode von 10 Jahren ergab die mittlere jährliche Zuwachsrate 5,3 %. Nach dem Ausbau sämtlicher wirtschaftlich nutzbarer Wasserkräfte dürfte nach den Schätzungen die jährliche Erzeugungsmöglichkeit bei mittleren hydrologischen Verhältnissen 35 TWh betragen. Mög-