**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 52 (1961)

**Heft:** 5

**Rubrik:** Diskussionsbeiträge

**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:** 04.12.2025

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

der Hand, sowohl Lage und Grösse der stabilisierenden Frequenzzone, wie auch den Spannungsgradienten zu bestimmen. Der hochempfindliche Zusatz-Frequenzregler hat statischen Charakter, und es ergibt sich da-

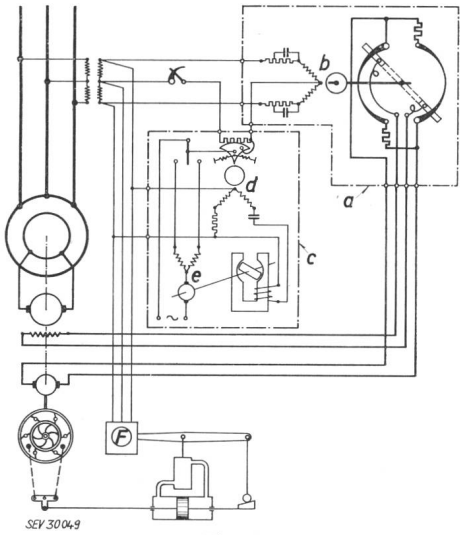



Fig. 5
**Schema für die Stabilisierung der Turbinenregelung durch zusätzlichen Frequenzregler**
Spannungsregelung isodrom für konstante Spannung im Parallellauf
*a* Spannungsregler; *b* Mess-System des Spannungsreglers; *c* Zusatz-Frequenzregler; *d* Mess-System des Frequenzreglers; *e* automatische Rückführung; *F* Primärregler der Turbine

mit für jeden Frequenzwert eine eindeutige Generatorspannung. Für die vorliegenden Verhältnisse erreichte man mit einem an diesem Regler eingestellten Spannungsgradienten von etwa 1000 V/Hz entsprechend dem Diagramm in Fig. 4 eine vollkommen stabile Regelung. Die aus dieser Einstellung resultierende Spannungsänderung beträgt etwa $\pm$ 6 % und ist für den Verbraucher noch tragbar.

Die Beeinflussung durch den Zusatz-Frequenzregler hat übrigens nur vorübergehenden Charakter. Eine Nachsteuerung mit Drosselspule bewirkt, dass der Frequenzregler am Ende jedes Regelvorganges immer wieder gegen die Mittellage gesteuert, also keine dauernde Spannungsänderung hervorgerufen wird. Bestehen bleibt nur die Spannungsänderung von Leerlauf zu Vollast, die von der Statik des Spannungsreglers bestimmt wird. Weiter wird verhindert, dass mit dieser Zusatzeinrichtung ausgerüstete Generatoren im Parallelbetrieb bei Frequenzschwankungen übermässig mit Blindstrom belastet werden.

Die stabilisierende Wirkung des Zusatz-Frequenzreglers ist, wie aus dem Registrierstreifen in Fig. 6 hervorgeht, überraschend.

Der Betrieb ist auch bei grösseren Laständerungen durchaus stabil. Die geringen Abweichungen der Drehzahl werden bei ruhender Laufradregelung ausschliesslich durch den Frequenzregler über den automatischen Spannungsregler ausgeregelt.

Jeder Generator verfügt über seine eigene Stabilisierungseinrichtung. Diese ist im Normalbetrieb immer eingeschaltet. Sie ist unwirksam, so lange die Frequenz vom Netz gehalten wird und tritt automatisch in Aktion, wenn infolge einer Netzstörung zum Inselbetrieb auf Ofenlast übergegangen wird.

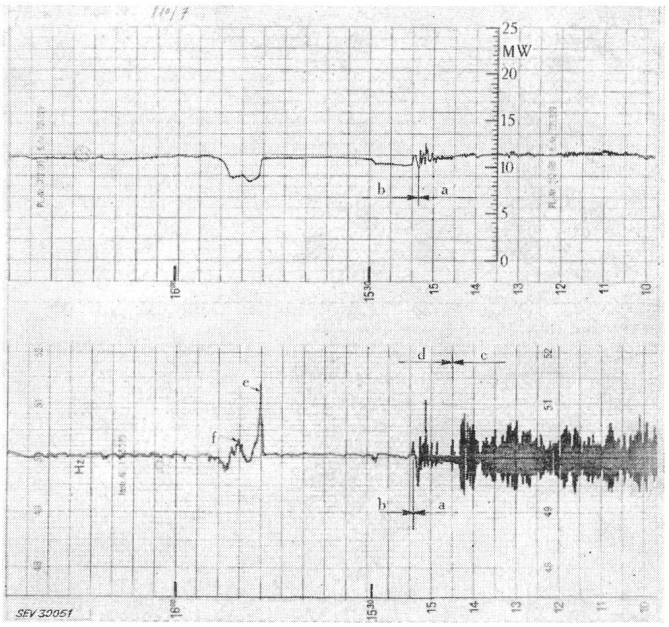



Fig. 6
**Frequenz- und Leistungsdiagramm eines Dreiphasengenerators von 22 MVA, 11 kV, 75 U./min, 50 Hz bei Alleinbetrieb auf Ofenlast mit und ohne elektrische Stabilisierung**
*a* kleiner Vorschub der Registrierinstrumente; *b* grosser Vorschub der Registrierinstrumente; *c* ohne elektrische Stabilisierung; *d* mit elektrischer Stabilisierung; *e* und *f* Laststösse

Die Stabilisierungseinrichtung hat sich seit ihrer Inbetriebnahme im Jahre 1947 sehr bewährt und zwar im Einzel-, wie auch im Parallelbetrieb der beiden Maschinen. Sie wurde in der Zwischenzeit auch in anderen Anlagen mit Erfolg eingebaut und ist durch die neuesten Entwicklungen im Reglerbau keineswegs hinfällig geworden.

Die kombinierte elektro-hydraulische Regelung gewährleistet nicht nur einen stabilen Betrieb, sondern ermöglicht überdies einen rascheren Regelvorgang, weil sie die Einstellung der Dämpfung am Turbinenregler ohne Gefahr auf kleinere Werte gestattet. Auf Grund dieser Feststellung dürfte es in vielen Fällen möglich sein, durch den Einsatz solcher Hilfsmittel die Schwungmomente der Maschinengruppen wesentlich reduzieren zu können. Tatsächlich ist es heute aus wirtschaftlichen Gründen kaum mehr vertretbar, die Schwungmassen allein mit Rücksicht auf die Regelstabilität in seltenen Störungsfällen bemessen zu müssen.

### Literatur


[1] *Keller, R.:* Die Beherrschung der stabilen Drehzahlregulierung bei frequenzunabhängiger Last. Brown Boveri Mitt. Bd. 34(1947), Nr. 6/7, S. 99...104.



**Adresse des Autors:**
*H. Schwendener,* Ingenieur, Betriebsleiter der Kraftwerk Reckingen AG, Rekingen (AG).


## Diskussionsbeiträge

**Ch. Jean-Richard,** ingénieur, Forces Motrices Bernoises S. A.: Le réglage de la tension des alternateurs concerne aussi le réseau alimenté par eux, cal il n'est pas indifférent, à quel endroit les alternateurs règlent la tension.

En ne considérant que le réseau à 220 kV alimenté depuis le Tessin et le Valais on voit apparaître trois barres omnibus. La première reliera les usines entre elles, la seconde s'étendra de Mühleberg par Bickigen à Mettlen et la troisième se trouvera dans le Jura et le long du Rhin.

Entre ces barres omnibus il y aura lieu d'établir des lignes en

utilisant tous les cols existants dans les Alpes d'une part et les tracés disponibles dans le Jura et le long du Rhin d'autre part.

Un tel réseau se prêtera au réglage de la tension par les alternateurs en un point situé sur la barre omnibus entre Mühleberg et Mettlen. A cet effet il faudra connaître dans les usines réglantes la tension de ce point.

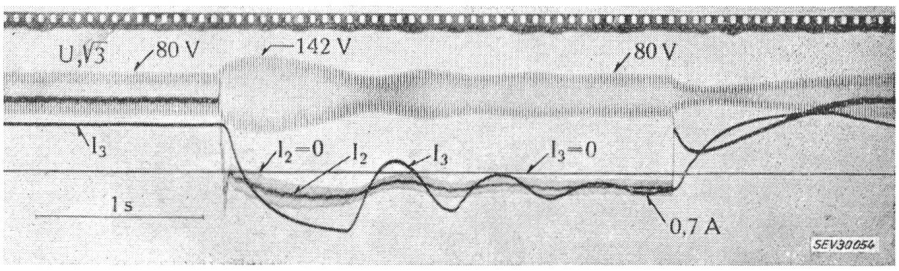
En plus on voit apparaître une interdépendance des usines du Valais et du Tessin dans ce sens que l'excitation des usines du Valais devra suivre la production de puissance active par les usines du Tessin. A cet effet, il faudra que les tensions du réseau à 220 kV, comme on dit si modestement, se présentant au Tessin soient connues au Valais et réciproquement.

Ainsi équipé le réseau à 220 kV pourra véhiculer les puissances produites au Tessin et en Valais et permettre des échanges de puissances allant du Nord au Sud et d'Est en Ouest ou inversément.

Fig. 1

**Oszillographische Aufnahmen der Zu- und Abschaltung einer leerlaufenden Leitung auf einen kleinen Versuchsgenerator**

Die Reaktanz der kapazitiven Last liegt zwischen der Längs- und Querreaktanz des Generators, weshalb der Polradstrom $I_2$ bei zugeschalteter Kapazität negativ ist. Der stabile Betrieb wird in diesem Bereich durch einen Spannungsregler gewährleistet




**Dr. R. Zwicky**, Ingenieur, AG Brown, Boveri & Cie., Baden: Man konnte in zwei Referaten [1]) interessante Aspekte über die theoretischen und praktischen Möglichkeiten des Betriebes von Synchronmaschinen mit negativem Erregerstrom kennenlernen. Von grossem praktischem Interesse ist die Möglichkeit, mit einer Synchronmaschine im Gebiet der langsamen Selbsterregung zu fahren. Obschon die Synchronmaschine hier an sich unstabil ist, kann die Stabilität mit Hilfe eines Spannungsreglers gewährleistet werden.

In diesem Zusammenhange sei auf eine Publikation zu diesem Thema hingewiesen, die vor 15 Jahren veröffentlicht wurde. Es handelt sich um eine Arbeit [1] [2]), in welcher der theoretische und experimentelle Nachweis dafür erbracht ist, dass mit einem Spannungsregler die lange Selbsterregung stabilisiert werden kann. Fig. 1, die aus diesem Artikel stammt, zeigt diese Betriebsart. Nach Zuschaltung einer kapazitiven Reaktanz, deren Grösse zwischen der Längs- und Querreaktanz der Maschine liegt, leitet der Regler (hier ein Sektorregler) die negative Erregung ein und gewährleistet einen stabilen Betrieb.

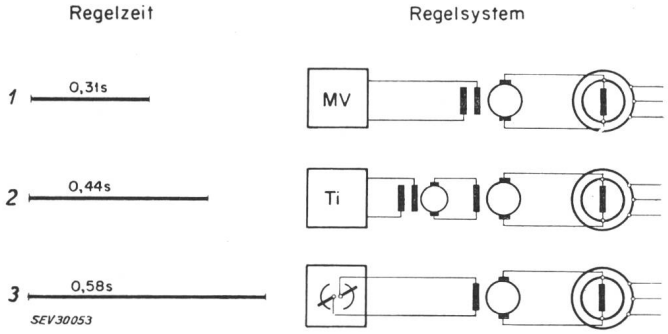



Fig. 2

**Vergleichsversuche mit drei verschiedenen Spannungsreglern an einem Generator 23 MVA, 750 U./min**

Regelzeiten bei Abschaltung von 50 % induktiver Last

*links:* Regelzeiten; *rechts:* vereinfachte Darstellung des Regelsystems

Weitere Erklärungen siehe im Text

Im Anschluss an diese theoretische Untersuchung und deren Überprüfung an einer kleinen Versuchsmaschine konnten wir, dank dem Entgegenkommen der Elektrizitätswerke, im Kraftwerk Lucendro einen Grossversuch durchführen [2]. An einem 30 000-kVA-Generator mit angeschlossenen, leerlaufenden 150-kV-Leitungen von annähernd 300 km Länge wurde die langsame Selbsterregung mit dem bekannten Hochleistungsregler einwandfrei beherrscht.

Dieser Hinweis auf zwei ältere Veröffentlichungen und die seither gewonnenen Betriebserfahrungen zeigen, dass der stabile Betrieb einer Synchronmaschine mit einer kapazitiven Last, deren Reaktanz zwischen der Längs- und Querreaktanz liegt, mit jedem Spannungsregler guter Qualität gewährleistet werden kann. Diese Feststellung unterstreicht die Tatsache, dass es nicht so sehr darauf ankommt, nach welchem System ein Spannungswandler aufgebaut wird, sondern vielmehr auf dessen Qualität und auf die richtige Bemessung der Betriebsdaten. Die moderne Regelungstechnik stellt dafür eine Vielzahl von Mitteln zur Verfügung, wie beispielsweise Magnetverstärker, Transistoren, rotierende Verstärker und andere mehr. Da gleichzeitig eine ganze Anzahl möglicher grundsätzlicher Schaltungen für den prinzipiellen Aufbau eines Spannungsreglers besteht, ist eine ungemein grosse Auswahl von Spannungsreglern denkbar. Dies erklärt auch, wieso heute auf dem Markte so mannigfache Ausführungen angeboten werden, was die Übersicht für den Käufer sehr erschwert.

Wenn man sich jedoch an die von *Th. Laible* gezeigten Schemata erinnert [3]), so können die modernen Systeme im Prinzip in zwei Hauptklassen zusammengefasst werden, nämlich einerseits

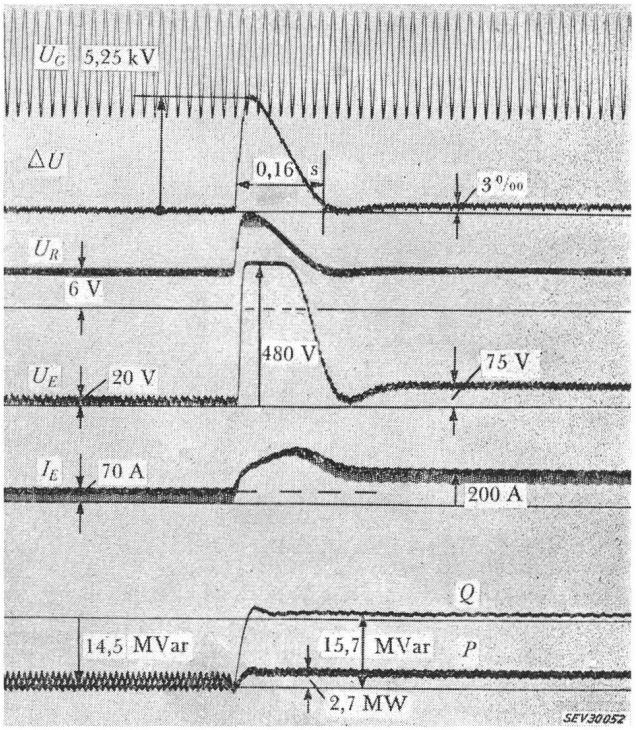



Fig. 3

**Zuschaltung von Blindlast an einem Generator mit Mutatorerregung**

Nenndaten des Generators: 46,7 MVA, 5200 V, 5150 A, 3000 U./min, Zuschaltung von 33 % induktiver Blindlast

$\Delta U$ Abweichung der Generatorspannung vom Sollwert, maximal 4,7 %; $U_G$ Generatorspannung; $U_R$ Ausgangsspannung des Reglers; $U_E$ Erregerspannung; $I_E$ Erregerstrom; $Q$ Blindlast; $P$ Wirklast

[1]) Siehe Bull. SEV Bd. 51(1961), Nr. 4 und Nr. 5.

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Diskussionsbeitrages.

[3]) Siehe Bull. SEV Bd. 51(1961), Nr. 4.

die Regler, welche über rasche Verstärkungsglieder auf den Haupterreger arbeiten, anderseits die Schaltungen mit *direkter* Erregung des Polrades über gesteuerte Gleichrichter.

Vorausgesetzt, dass der Regler mit wenig Trägheit auf den Haupterreger arbeitet, was bei den meisten modernen Spannungsreglern der Fall ist, so hängen die Regeleigenschaften in erster Linie von der auf den Erreger wirkenden Erregerleistung, sowie von der Dimensionierung des Erregers selbst ab. Man kann sich deshalb auf wenige der möglichen Varianten beschränken.

Um einen zahlenmässigen Vergleich zu ermöglichen, führten wir im Jahre 1959 an einem 23 000-kVA-Generator des Kraftwerkes Piottino mit verschiedenen Systemen Vergleichsversuche unter einheitlichen Bedingungen durch [3]. Die Resultate dieser Versuche zeigt Fig. 2. Rechts sind die 3 angewandten Regelsysteme zu ersehen: In der obersten Zeile erkennt man einen rein magnetischen Spannungsregler mit Gegentakt-Ausgangsstufe und direkter Wirkung auf den Erreger. Die mittlere Zeile zeigt einen Transistor-Spannungsregler, dessen Ausgangsstufe über eine trägheitsarme Zwischenverstärkermaschine auf den Erreger einwirkt. Zu unterst befindet sich die bekannte Ausführung mit dem elektrohydraulischen Hochleistungsregler, der den Erreger ebenfalls mit positiver und negativer Erregung direkt erregt. Die Regelzeiten bei Abschaltung von 50 % induktiver Last sind links aufgetragen und variierten bei diesen Vergleichsversuchen von 0,31...0,58 s. Dazu sei noch erwähnt, dass bei den Versuchen eine abnormal rasche Erregermaschine mit einer Zeitkonstante von 0,35 s verwendet wurde. Mit den üblichen Erregermaschinen, deren Zeitkonstante beträchtlich höher liegt, werden die Regelzeiten länger und deren relative Abweichungen kleiner. Es sind wohl Unterschiede da, die jedoch im allgemeinen nicht sehr ins Gewicht fallen und nur in seltenen Fällen derart sind, dass sie für die Wahl des Reglersystems bestimmend sein können. Vielmehr werden andere Gesichtspunkte, wie Einfachheit, Wirtschaftlichkeit und vor allem die Speisung der Regler im autonomen Betrieb den Ausschlag geben.

Sind extrem rasche Regeleigenschaften notwendig, wie etwa bei starken Blindlastströmen in Netzen mit vorwiegender Walzwerklast, so führt im allgemeinen keines der Systeme mit Erregermaschinen zum Ziele. In solchen Fällen hilft allein die direkte Erregung des Polrades durch gesteuerte Gleichrichter [4; 5]. Fig. 3, die wir an einer solchen Ausrüstung aufgenommen haben, vermittelt einen Eindruck von der Raschheit der Gleichrichtererregung. Im Moment der Blindlastschaltung springt die Erregerspannung unverzüglich auf den Wert ihrer Deckenspannung. Damit wird die sog. Tasche der Spannungseinsenkung, d. h. die vorübergehende weitere Zunahme der Spannungsabweichung nach dem ersten, durch die Maschinenreaktanz gegebenen Sprung, vermieden. Die Spannung wird in kürzester Zeit, die nur von der angewandten Deckenspannung abhängt, ausgeregelt. Dank des Fehlens jeglicher Trägheit erreicht man auf diese Weise minimale Regelzeiten, welche einzig durch die Deckenspannung bestimmt sind.

### Literatur


[1] *Waldvogel, P.:* Theorie der Spannungshaltung einer auf eine lange leerlaufende Leitung arbeitenden Drehstrommaschine. Brown Boveri Mitt. Bd. 32(1945), Nr. 8, S. 251...263.

[2] *Keller, R.:* Die Beherrschung der Selbsterregung bei Synchrongeneratoren. Bull. SEV Bd. 40(1949), Nr. 7, S. 173...179.

[3] *Dudler, A.:* Versuche mit verschiedenen Spannungsreglern für Grossgeneratoren. Brown Boveri Mitt. Bd. 47(1960), Nr. 5/6, S. 361...370.

[4] *Frey, W.* und *R. Noser:* Evolution récente de la question de l'excitation et du réglage des machines synchrones. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 17. Session 1958, Bd. 2, Rapp. 127.

[5] *Hosemann, G.:* Grandes machines synchrones à excitation par redresseurs, pour variations brusques de charge n'impliquant que de faibles chutes dynamiques de tension. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 18. Session 1960, Bd. 2, Rapp. 124.


# Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

## Das Wirken der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) beim gewaltigen Wachstum der Elektrotechnik


061.2(100) CEI : 621.3


[Auszug aus einem Vortrag von Prof. *Gijsbertus de Zoeten* zu Ehren von *Charles le Maistre* an der Generalversammlung der CEI in Neu-Delhi, 31. Oktober 1960]

Seitdem vor mehr als 50 Jahren die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) gegründet wurde, hat sich unser Weltbereich fortlaufend verengt. Die beiden wichtigsten Gründe hiefür sind die ungeheure Entwicklung der Nachrichtenübermittlung und jene der Reisemöglichkeiten. Als die Delegierten am Internationalen Kongress der Technik in St. Louis, USA, im Jahr 1904 beschlossen, Massnahmen zu ergreifen, um die internationale Zusammenarbeit zwischen den technischen Fachorganisationen zu fördern, bestand für die rasche Übermittlung von Nachrichten über grosse Strecken nur der Telegraph; das Telephon hatte vorerst lokale Bedeutung. Heute sind Telephongespräche von einem Kontinent zum andern auf direktem Leitungsweg oder über den Äther möglich. Mit dem Rundspruch und dem Fernsehen lassen sich ganze Völker für den Nachrichtendienst erfassen.

Sehr grosse Fortschritte hat die Technik auch im Verkehrswesen herbeigeführt. Im Jahr 1904 kannte man zur Beförderung von Personen und Waren lediglich die Eisenbahn und das Dampfschiff. Diese Verkehrsmittel sind zwar wesentlich beschleunigt worden; eine überragende Steigerung hat aber vor allem das Flugwesen herbeigeführt. Benötigte man vor 55 Jahren noch 10 Tage, um den Ozean gegen Nordamerika zu überqueren, und 40 Tage für eine Schiffsreise nach Japan, so verkürzt das moderne Düsenflugzeug die Reisezeit auf 8 Stunden nach Nordamerika und auf 20 Stunden nach Japan. Diese Entwicklung bringt die Völker einander auf allen Gebieten immer näher. Man ist also eindeutig berechtigt zu sagen, die Erde unterliege einem Schrumpfungsprozess.

Andere Verhältnisse herrschen dagegen bei den Elektrizitätsanwendungen. Schon die Umwandlung der in den Brennstoffen enthaltenen chemischen Energie mit Hilfe der Dampfmaschine in mechanische Energie hatte seinerzeit den Übergang vom rein handwerklichen Arbeiten zum Maschinenbetrieb und, im Verkehr, das Aufkommen der Eisenbahnen zur Folge. Weitere, gewaltige Fortschritte brachten die Anwendungen der Elektrizität. Ihre Bedeutung geht schon daraus hervor, dass die Jahreserzeugung an elektrischer Energie auf etwa 2000 Milliarden kWh angestiegen ist.

Der gesamte Energiebedarf der Welt entspricht ungefähr 4 Milliarden Tonnen Kohle; 24 % davon werden dazu verwendet, elektrische Energie zu erzeugen. Voraussichtlich wird der gesamte Energiebedarf in den nächsten zwei Jahrzehnten jährlich um 2½ % ansteigen, jener an elektrischer Energie aber sogar um 6...7 %. Im Jahr 1970 werden also etwa 30 % der Naturkräfte in elektrische Energie umgewandelt werden.

Woher kommt es nun, dass wir Menschen es vorziehen, die Naturkräfte auf dem Umweg über die Elektrizität anzuwenden? Die Antwort ist einfach: Keine andere Energieform eignet sich in gleichem Mass dazu, am Verbraucherort in mechanische Leistung — vom schweren Walzwerkmotor bis zum elektrischen Rasierapparat —, in Wärme, chemische Energie, Licht und elektromagnetische Wirkungen umgewandelt zu werden. Die Industrie hätte ihren heutigen Stand überhaupt nie erreichen können, wenn ihr nicht der elektrische Motor und das elektrische Licht zur Verfügung gestanden wären. Dabei hat die elektrische Energie den weitern Vorteil, dass sie sich mit einfachen Mitteln und in jeder gewünschten Form an die Verbraucherorte weiterleiten lässt. Ihr Bedarf hat sich denn auch in jedem Jahrzehnt ungefähr verdoppelt. Die Elektrizitätserzeugung ist gegenwärtig 150mal grösser als damals, wo, 1904, die Grundlagen der CEI geschaffen wurden. Dieses Wachstum bedingte ständig grösser werdende Kraftwerke und leistungsfähigere Erzeugergruppen. *Edison* schuf seinen ersten Generator für 90 kW. Nach 1900 erschienen die ersten Maschinengruppen für 5 MW, 1920 schon für 60 MW. Heute sind Generatorengruppen bis zu 650 MW Leistung in Arbeit. Diese Steigerung war indessen erst möglich, als es gelang,