**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens
**Band:** 26 (1935)
**Heft:** 3

**Artikel:** Der neue Aufbau der Elektrizitätswirtschaft Grossbritanniens
**Autor:** Gauchat, Charles L.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1058434

**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:** 10.12.2025

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zurich 4
Stauffacherquai 36/40

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXVIe Année | N° 3 | Vendredi, 1er Février 1935

## Der neue Aufbau der Elektrizitätswirtschaft Grossbritanniens.

Von *Charles L. Gauchat*, Zürich.

621.311(42)

*Ende 1933 fand der Bau des planmässig entworfenen nationalen Hochspannungsnetzes («Grid System») in Grossbritannien einen vorläufigen Abschluss. Seine Gesamtlänge beträgt damit über 6500 km; im Laufe von fünf Jahren wurden 26 000 Gittermasten und nahezu 300 Schalt- und Unterstationen erstellt. Die bemerkenswert rasche Ausführung dieses Netzes und die Aufstellung eines einheitlichen Planes für die Grossversorgung an elektrischer Energie des Landes bedeutet eine neue Phase in der englischen Elektrizitätswirtschaft, deren Entwicklung bisher durch das Fehlen eines geeigneten Elektrizitätsgesetzes stark gehemmt war. — Die Schaffung des nationalen Leitungsnetzes ermöglicht durch den Zusammenschluss der Kraftwerke eine rationelle Energieerzeugung und dadurch eine systematische Senkung der Gestehungskosten elektrischer Energie. Durch gleichzeitig erhöhte Disponibilität wurde besonders die Elektrifizierung grosser, spärlich besiedelter Ueberlandgebiete ohne Industrie («rural districts») gefördert.*

*Im folgenden wird gezeigt, welche Faktoren zur Schaffung des «Grid System» beitrugen, welches dessen wirtschaftliche Bedeutung ist, wie dessen Tarifsystem arbeitet, und auf welchen technischen Grundlagen es aufgebaut ist. Ferner wird ein charakteristisches Beispiel einer «rural electrification» beschrieben.*

*Vers la fin de 1933, la première étape de la construction du réseau national à haute tension («Grid System») en Grande-Bretagne touchait à sa fin. La longueur totale des lignes de ce réseau établi selon un plan bien déterminé dépasse 6500 km; dans l'espace de cinq ans, 26 000 pylônes et près de 300 stations de couplage et sous-stations ont été dressés. L'exécution remarquablement rapide de ce réseau et l'établissement d'un plan unique pour la distribution en gros d'énergie électrique dans tout le pays inaugurent une phase nouvelle de l'économie électrique anglaise, dont le développement avait jusqu'alors été fortement retenu par le manque d'une loi sur l'électricité adéquate.*

*Le réseau national a facilité, par le couplage des usines, la rationalisation de la production d'énergie et, partant, permis d'abaisser systématiquement les prix de revient de l'énergie. La disponibilité considérablement augmentée a contribué à pousser l'électrification de grandes contrées peu peuplées et sans aucune industrie («rural districts»).*

*L'article ci-dessous fait ressortir les facteurs qui ont contribué à la création du «Grid System», sa portée économique, son système tarifaire, ainsi que les bases techniques sur lesquelles il repose. Un exemple caractéristique d'électrification rurale termine cet exposé.*

### I. Vorgeschichte des «Grid System».

Wie fast in ganz Europa, begann die Entwicklung der Elektrizitätsindustrie in Grossbritannien um 1880 und hielt bis 1900 mit derjenigen anderer Nationen Schritt. Die damaligen Verordnungen für die Verteilung elektrischer Energie waren jedoch einer intensiveren Entwicklung, wie sie überall nach der Jahrhundertwende einsetzte, hinderlich. In allen grösseren Zentren entstanden aus der Initiative von Privaten, von vereinzelten gemischtwirtschaftlichen Gruppen und besonders von Gemeinwesen [1]) selbständige Unternehmen zur Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie. Ohne gegenseitige Fühlungnahme suchten diese naturgemäss nur die Befriedigung nächstliegender Lokalinteressen. Dies führte zur Bildung einer Grosszahl unabhängiger, kleiner Produktionszentren verschiedenartigster Systeme; Spannung und Frequenz sowie Verteilnetze und Tarifsysteme waren völlig uneinheitlich.

Die gleichmässig verteilten Kohlenfundstätten mit guten Transportmöglichkeiten zu Land und Wasser sowie das fast völlige Fehlen von Wasserkräften, die eine Zentralisierung der Produktion und das Aufgreifen des Energietransportproblems bedingt hätten, trugen zur Aufrechterhaltung dieser Situation bei, die technisch und ökonomisch völlige Zersplitterung der Unternehmungen bedeutete, die Energiebelieferung auf einzelne dichtbevölkerte Gebiete beschränkte und weniger einträgliche Gebiete, besonders solche mit spärlicher Besiedelung und ohne Industrie («rural districts»), ganz ausschaltete.

Als man neben der öffentlichen Beleuchtung die Bedeutung der vielseitigen anderen Verwendungsmöglichkeiten der Elektrizität erkannte, erwiesen sich die vorhandenen, individuellen Produktionsanlagen als ungenügend. Erweiterung und Zusam-

[1]) Diese geniessen gesetzliches Vorrecht auf kommunale Eigenversorgung innerhalb ihres Gebietes; für Zusammenschluss zwecks gemeinsamer Versorgung war bis vor wenigen Jahren sogar ein Parlamentsbeschluss nötig.

menschluss zwischen den einzelnen Erzeugergruppen boten besondere Schwierigkeiten zufolge der grossen technischen Verschiedenheit der Anlagen und ausserdem, weil keine eigene Gesetzgebung für elektrische Uebertragungsleitungen vorhanden war und Expropriationen durch den im englischen Volk besonders stark verwurzelten Eigentumsbegriff erschwert wurden. Unumgängliche Verbindungen waren daher meist als unterirdische Kabelleitungen auszuführen, und es ist jener Zeit zu verdanken, dass auch heute in England die Leitungsführung in Kabeln populärer ist als in allen anderen Ländern. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen kam jedoch eine Kraftübertragung auf grössere Entfernung durch Kabel nicht in Frage.

Als dann im Weltkrieg die grosse Nachfrage nach elektrischer Energie die Unzulänglichkeit der existierenden Energieversorgung gezeigt hatte, stand die Regierung vor der Notwendigkeit eines Eingriffes, um eine rationelle Entwicklung zu ermöglichen.

Das 1917 eingesetzte «Coal Conservation Committee» untersuchte die Lage und schlug als erstes vor, die bestehende Elektrizitätsverteilung (über 600 Bezirke mit Monopolstellung) sollte in 16 «Distrikten» konzentriert und unter einheitliche Kontrolle gestellt werden. Das Resultat der Vorschläge war das Gesetz von 1919. Die damit erfolgte Einsetzung einer obersten Aufsichtsbehörde über die gesamte Elektrizitätswirtschaft, der «*Electricity Commissioners*», erwies sich mangels genügender Vollmachten als nicht ausreichende Massnahme, um eine grosszügigere Entwicklung einzuleiten. Die durch Einzelwirtschaft bedingten hohen Gestehungskosten sowie das Fehlen jeglicher Normalisierung der Energieverteilung verunmöglichte jeden Aufschwung und die englische Elektrizitätsindustrie geriet in deutlichen Rückstand gegenüber der anderer Nationen. Die Konkurrenz der Gasgesellschaften, die mehr als hundertjährige Betriebserfahrung besassen und denen sehr vollkommene, mit billiger Kohle beschickte und zumeist amortisierte Anlagen zur Verfügung standen, blieb in allen grösseren Städten unvermindert bestehen [2]).

Eine Expertenkommission zum Studium dieser Verhältnisse und zur Formulierung praktischer Vorschläge zu deren Verbesserung schuf die Grundlagen für eine umfassende Reorganisation der englischen Elektrizitätswirtschaft, die im «*Electricity Supply Act of 1926*» niedergelegt sind und durch das Parlament Gesetzeskraft erhielten. Durch dieses Gesetz wurde die Durchführung der erforderlichen baulichen und organisatorischen Aufgaben sowie die Leitung der gesamten Erzeugung elektrischer Energie in Grossbritannien einer besonderen Organisation unterstellt, dem «*Central Electricity Board*». Diese vom Transportminister gewählte, aus 8 Mitgliedern bestehende Körperschaft wurde mit weitgehenden Vollmachten zum Eingriff in die bestehenden Elektrizitätsunternehmungen versehen. Den «Electricity Commissioners» fällt, wie zuvor, die Oberaufsicht über die gesamte Elektrizitätswirtschaft zu; sie haben in technischen und wirtschaftlichen Fragen zu entscheiden, die Energietarife zu beaufsichtigen und besonders die Projekte für den neuen Aufbau der Energieerzeugung auszuarbeiten.

Die Grundzüge der vom «Central Electricity Board» (CEB) zu erfüllenden Aufgabe sind folgende:

1. Konzentration der Energieproduktion in relativ wenigen, nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgewählten Kraftwerken («selected stations»).

2. Verbindung dieser Werke unter sich und mit den Netzen der konzessionierten Verteilgesellschaften [3]) durch ein ausgedehntes System von Hochspannungsleitungen («Grid-System»).

3. Festlegung der für den Betrieb der «selected stations» massgebenden Normen und Ausarbeitung eines einheitlichen Planes zur Erreichung grösstmöglicher Wirtschaftlichkeit in der Grossenergiebelieferung des ganzen Landes.

4. Durchführung der durch die Verbundwirtschaft erforderlichen Vereinheitlichung der Frequenz.

Durch das neue Elektrizitätsgesetz erfolgte die Bildung zweier scharf getrennter Gruppen: einer ersten ausschliesslich zur Erzeugung und Grossversorgung (Central Electricity Board) und einer zweiten ausschliesslich zur Verteilung von elektrischer Energie (konzessionierte Verteilgesellschaften).

## II. Wirtschaftliche Bedeutung der einheitlichen Energieerzeugung.

Der besonderen geographischen und geologischen Beschaffenheit Grossbritanniens entsprechend, erfolgt die Erzeugung elektrischer Energie fast ausschliesslich auf thermischem Wege. Der geringe Anteil der vorwiegend auf Schottland beschränkten hydroelektrischen Produktion, die trotz inzwischen erfolgten Baues neuer Werke und Projektierung eines grossen Flutkraftwerks am Severn Fluss [4]), untergeordnete Bedeutung beibehalten wird, ist aus Tabelle I ersichtlich.

Im Interesse einer wirtschaftlichen Ausnützung der nationalen Kohlenschätze erfolgt eine Kontrolle der thermischen Anlagen auf spezifischen Brennstoffverbrauch. Die seit Bestehen der «Electricity Commissioners» durchgeführte Statistik ergibt für das Jahr 1932 die in Tabelle II zusammengestellten Werte. Die grossen Differenzen in den darin aufgeführten Werten legen die Notwendigkeit einer Reorganisation klar und begründen,

[2]) Heute dauert dieser Konkurrenzkampf zwischen Gas und Elektrizität namentlich in den kleineren Städten noch an, wird aber immer mehr zugunsten der Elektrizität entschieden.

[3]) Diese üben das Recht zur Verteilung elektrischer Energie innerhalb des ihnen zugewiesenen Versorgungsgebietes aus. 1933 waren es deren 650, wovon 265 Privatunternehmungen und 385 Unternehmen der öffentlichen Hand.

[4]) Bull. SEV, 1933, Nr. 20, S. 496.

gleichzeitig mit den Forderungen nach gesteigerter Disponibilität der elektrischen Energie sowie einer rationellen, planmässigen Betriebsführung, das im neuen Elektrizitätsgesetz vorgezeichnete Programm.

*Anteil der verschiedenen Primärenergien an der Gesamterzeugung elektrischer Energie im Jahre 1932.*

Tabelle I.

| Erzeugung in | Zahl der Werke | Anteil an der Gesamterzeugung % |
|---|---|---|
| Kohlenkraftwerken . . . . . | 281 | 95,50 |
| Wasserkraftwerken . . . . . | 38 | 2,59 |
| Abwärme- und Abgasanlagen . . | 10 | 0,84 |
| Dieselmaschinen . . . . . | 153 | 0,59 |
| Müllverwertungsanlagen . . . . | 11 | 0,41 |
| Leuchtgaskraftwerken . . . . . | 28 | 0,07 |
| | 521 | 100,00 |

*Energieerzeugung und mittlerer Brennstoffverbrauch der Dampfkraftwerke im Jahre 1932.*

Tabelle II.

| Jahreserzeugung der Kraftwerke $10^6$ kWh | Anzahl Werke | Gesamte Jahreserzeug. | | Mittlerer Brennstoffverbrauch kg/kWh |
|---|---|---|---|---|
| | | $10^6$ kWh | % | |
| bis 0,05 | 61 | 1,5 | 0,01 | 7,80 |
| 0,05 bis 0,1 | 25 | 1,9 | 0,01 | 4,70 |
| 0,1 „ 0,25 | 53 | 8,8 | 0,06 | 3,79 |
| 0,25 „ 0,5 | 40 | 14,0 | 0,10 | 3,40 |
| 0,5 „ 1,0 | 47 | 33,5 | 0,25 | 3,38 |
| 1 „ 2,5 | 54 | 85,5 | 0,63 | 1,95 |
| 2,5 „ 5 | 31 | 114,7 | 0,84 | 1,56 |
| 5 „ 10 | 23 | 167,7 | 1,23 | 1,26 |
| 10 „ 25 | 56 | 900,1 | 6,59 | 1,08 |
| 25 „ 50 | 51 | 1 758,7 | 12,88 | 0,87 |
| 50 „ 100 | 43 | 3 105,1 | 22,74 | 0,83 |
| 100 „ 200 | 24 | 3 330,4 | 24,39 | 0,72 |
| 200 u. darüber | 13 | 4 133,7 | 30,27 | 0,68 |
| insgesamt | 521 | 13 655,6 | 100,00 | 0,79 |

(ETZ 1934, Nr. 14, S. 345.)

Die Konzentration der Energieproduktion in grossen, modernen und durch das nationale Landesnetz unter sich verbundenen Kraftwerken und die progressive Stillsetzung unwirtschaftlich produzierender Anlagen bedeutet eine grosse Umwälzung in der Elektrizitätswirtschaft Grossbritanniens. Das CEB ist berechtigt, Kraftwerke der öffentlichen Versorgung, die nicht «selected stations» sind, durch die Electricity Commissioners stillzusetzen. Dies kann erfolgen auf Grund eines vom CEB erbrachten Nachweises, dass es die betreffende Energielieferung für eine Mindestdauer von sieben Jahren übernehmen kann und die bisherigen Gestehungskosten in jener Anlage, ohne Einrechnung von Kapitalzinsen, wesentlich höher sind als nach erfolgtem Anschluss an das «Grid».

Die einschneidende Wirkung der Elektrizitätsreform erhellt daraus, dass im Gründungsjahr des «Central Electricity Board» die Zahl der öffentlicher Versorgung dienenden Kraftwerke ungefähr 500 betrug, wovon nur 119, die sich zufolge ihrer Lage und besonders wirtschaftlichen Betriebsführung auszeichneten, von der Electricity Commission als «selected stations» ausgewählt und in den neuen Organisationsplan eingeführt wurden. Die Gesamtzahl der Werke einschliesslich der in wichtigen Punkten des Landesnetzes neu zu erstellenden soll sich nach Vollendung des Reorganisationsprogrammes auf 135 belaufen.

Zur Durchführung dieses Programmes wurde Grossbritannien in zehn verschiedene Distrikte aufgeteilt und die von den «Electricity Commissioners» für jeden Distrikt vorbereiteten Projekte dem CEB zur Ausführung übergeben. Die Verbindung der «selected stations» unter sich erfolgt durch ein System von 132 kV-«Primärleitungen», dem eigentlichen Landesnetz, von dem besonders zur Erschliessung neuer Gebiete, 33- und 66 kV-«Sekundärleitungen» abzweigen. Bis auf einen Distrikt, Nord-Schottland, sind die grundlegenden Arbeiten mit dem Bau des Leitungsnetzes und der Unterstationen bereits ausgeführt; die Vereinheitlichung der Frequenz, die eine besonders grosse Vorarbeit für das CEB bedeutet, ist in mehreren Distrikten beendet. Der normale Betrieb wurde vom CEB zuerst, anfangs 1933, in den Distrikten Zentral-Schottland und Mittel-Ost-England aufgenommen.

Jeder Distrikt, dessen Betrieb unter Aufsicht eines «district office» des CEB liegt, arbeitet im Prinzip selbständig und normalerweise ohne elektrische Verbindung mit dem benachbarten. Ebenso werden die Tarife für die Energieabgabe an die konzessionierten Verteilgesellschaften von jedem Distrikt separat festgelegt, da sie, obwohl im allgemeinen Aufbau identisch, durch die Verschiedenheit der jeweiligen Erzeugungs- und Grossverteilungskosten gewissen Abstufungen unterliegen. Der Betrieb und der weitere Ausbau der «selected stations» liegt vollständig unter Kontrolle des CEB; die einzelnen Elektrizitätsunternehmungen, die also in der *Erzeugung* der Energie an die Anweisungen des CEB gebunden sind, das die in allen «selected stations» zu Gestehungskosten erworbene Energie an diese zurückverkauft, geniessen nur noch uneingeschränkte Freiheit in der *Verteilung* der Energie.

Die wichtigsten Faktoren, welche die grossen, für den Bau des «Grid System» verwendeten Summen rechtfertigen, sollen kurz erwähnt werden:

In erster Linie wird eine systematische Reduktion des spezifischen Brennstoffverbrauches erzielt mit der progressiven Eliminierung einer Grosszahl von kleineren Werken schlechter Ausnützung und hoher Gestehungskosten und ausserdem mit der durch den Zusammenschluss ermöglichten zweckmässigsten Lastverteilung. Grundlast und Spitzenlast können jetzt von den dazu geeignetsten Werken getragen werden und die Benützungsdauer der am wirtschaftlichsten produzierenden Werke wird er-

höht [5]). Die zu erwartende Brennstoffersparnis illustrieren folgende Ziffern: Der mittlere spezifische Brennstoffverbrauch betrug 1932 in denjenigen Kraftwerken, die gemäss der neuen Verfügung endgültig geschlossen werden sollen, 1,06 kg/kWh; der entsprechende Wert aus den «selected stations» mit einer jährlichen Energieproduktion von über 100 Millionen kWh war 0,68 kg/kWh, deren minimaler Einzelwert betrug sogar nur 0,52 kg/kWh. Mit Berücksichtigung weiterer technischer Fortschritte in der Betriebsführung thermischer Kraftwerke innerhalb der nächsten Jahre kann angenommen werden, dass durch die Konzentration der Produktion in den wirtschaftlichsten Kraftwerken im Mittel angenähert der heutige Minimalwert erreicht wird. Die entsprechende Brennstoffersparnis würde sich bei der Energieerzeugung des Jahres 1933 (13 554 Millionen kWh) auf nahezu 3,5 Millionen Tonnen Kohle belaufen.

*Erzeugung und Abgabe elektrischer Energie in Grossbritannien im statistischen Jahr 1931/1932.*

Tabelle III.

| | | | Total für 1931/32 | Zunahme gegenüber | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Vorjahr % | vor 5 Jahren % |
| 1 | Installierte Maschinenleistung in Kraftwerken . . . | $10^6$ kW | 7,2 | + 3,6 | + 54 |
| 2 | Installierte Maschinenleistung für 50 Per./s . . . . | $10^6$ kW | 5,6 | + 9,0 | + 83 |
| 3 | Gemessene Maximalleistung . . . . . | $10^6$ kW | 3,95 | + 3,9 | + 46 |
| 4 | Reservefaktor (1 : 3) . . . . . | | 1,82 | (1930/31) 1,83 | (1926) 1,73 |
| 5 | Total erzeugte Energie . . . . . | $10^9$ kWh | 11,5 | + 5,3 | + 65 |
| 6 | Mittlere jährliche Benützungsdauer der Maximalleistung . . . . . | h | 2910 | (1930/31) 2890 | (1926) 2600 |
| 7 | Spezifischer Brennstoffverbrauch . . . . . | kg/kWh | 0,81 | — 4,3 | — 24 |
| 8 | Energieabgabe für Motoren und Traktion . . . . . | $10^9$ kWh | 6,25 | + 1,3 | + 44 |
| 9 | Energieabgabe für Beleuchtung und Haushalt . . . | $10^9$ kWh | 3,07 | + 12 | +113 |
| 10 | Energieabgabe pro Kopf der Bevölkerung . . . . . | kWh | 212 | + 4 | + 59 |
| 11 | Durchschnittspreis pro kWh (Motoren und Traktion) | d *) | 0,79 | — 2,7 | — 30 |
| 12 | „ „ „ (Beleuchtung u. Haushalt) | d | 2,54 | — 4,9 | — 28 |
| 13 | „ „ „ (gesamt) . . . . . | d | 1,36 | — 1,5 | — 23 |

*) 1 d entspricht $6^2/_3$ Rp. beim Kurse von 16 Fr./£ Sterling (1 £ = 20 s zu 12 d).
(Aus Elektr. Verwertung, 1934, Nr. 4.)

Ein zweiter wirtschaftlicher Faktor ist der verringerte Anspruch auf Reservehaltung der an das nationale «Grid» angeschlossenen Kraftwerke. Die installierte Maschinenleistung öffentlicher Kraftwerke betrug im statistischen Jahr 1931/32 (Tabelle III, Pos. 1) $7{,}2 \cdot 10^6$ kW, die Summe der Belastungsspitzen an den Sammelschienen dieser Werke erreichte jedoch nur $3{,}95 \cdot 10^6$ kW; somit war eine Leistungsreserve von 82 % und unter Berücksichtigung der zeitlichen Verschiedenheit der Einzelspitzen von nahezu 100 % vorhanden. Nach Anschluss der «selected stations» an das «Grid» wird zweifellos eine weit geringere totale Reserveleistung, etwa 15%, über der maximalen Belastungsspitze ausreichen, d. h. der entsprechende Differenz-Betrag an Anlagekosten kann gespart werden.

Dieser Vorteil kann sich natürlich heute noch nicht voll auswirken, da der Uebergang von der individuellen, planlosen Energieerzeugung zur zentralisierten, systematischen nur langsam erfolgt. Besonders, da die Reorganisation der Energieerzeugung den Bau mehrerer Grosskraftwerke erfordert, übertrifft noch während einiger Jahre der Zuwachs an installierter Maschinenleistung [6]) den Zuwachs an Leistungsbedarf. Erst im Hinblick auf eine stetig steigende Energieerzeugung und eine dem Zusammenschluss entsprechende Ausnützung der verfügbaren Maschinenleistung gewinnt der Vorteil einer Reduktion der Reserveleistung aktuelles Interesse. Die «Electricity Commissioners» schätzten die Energieproduktion des Jahres 1940 auf ca. 25 Milliarden kWh, also das Doppelte der Produktion von 1932. Die dabei erreichbare wesentliche Senkung der Gestehungskosten wird in den Energietarifen des CEB heute schon berücksichtigt, eine Massnahme, welche die aus Tabelle III, Pos. 5 ersichtliche Zunahme der Energieproduktion [7]), die im folgenden Jahre 7½ % und im statistischen Jahre 1933/34 13% gegenüber der Pro-

[5]) Dem Zusammenschluss der Werke kommt jedoch nicht die gleiche Bedeutung zu wie der Kupplung organisch verschiedener Anlagen, z. B. thermischer und hydroelektrischer Werke oder der für die Schweiz klassischen Verbindung von Laufwerken mit Akkumulierwerken. Die Aufgabe des «Grid System» darf demnach nicht in der Fortleitung billiger Energie auf grosse Distanzen gesucht werden (beispielsweise einem Energieaustausch zwischen Nord- und Südengland), da die besonderen Verhältnisse Grossbritanniens gestatten, die Energieerzeugung in die Nähe der grossen Lastzentren zu verlegen. Indem die Gridleitungen als «Ausgleichschiene» einem Energieaustausch vor allem innerhalb der einzelnen Distrikte des CEB dienen, sind sie auch nur für mittelgrosse Uebertragungsleistung gebaut (50 000 kVA).

[6]) In 5 verschiedenen Werken wurden im Jahre 1932/33 installiert: 2 Gruppen von 75 000 kW, 4 Gruppen von 60 000 kW, 3 Gruppen von 50 000 kW und 2 von 30 000 kW.

[7]) Bemerkenswert ist, dass die Zunahme der Energieproduktion im wesentlichen durch Mehrverbrauch für Licht und Haushalt erreicht wurde (Fig. 6). Entsprechend günstig ist das Ergebnis der Energielieferungsindustrie, deren mittlere Dividende 1932 7 % betrug.

duktion des Vorjahres betrug, rechtfertigt. Diese Steigerung ist um so bemerkenswerter, als manche industrielle Grossabnehmer ihren Energiekonsum einschränken mussten.

Die durch das «Grid» ermöglichte Ersparnis an Produktionsanlagen gegenüber denen, die bei unabhängiger Energieerzeugung während der nächsten Dekade nötig sein würden, soll die gesamte, für den Bau des «Grid» ausgegebene Summe übersteigen (Ende 1933 rund 27 Millionen Pfund Sterling = 432 Millionen Franken beim Kurs von 16 Fr./Lstr.).

Der direkte Einfluss des «Grid-System» auf die Detailpreise [8]) elektrischer Energie beschränkt sich auf dasjenige Preiselement, das durch die Produktionskosten gegeben ist. Indem das CEB die Organisation der Energieerzeugung übernimmt, erfolgt aber eine weitere, indirekte Beeinflussung dadurch, dass die Unternehmungen, die bisher der Erzeugung *und* Verteilung oblagen, nun ihre ganze Aktivität der Energieverteilung und den im Vordergrund des Interesses stehenden kommerziellen Problemen des Energieabsatzes widmen können.

Der Steigerung des Energieabsatzes stehen viele Möglichkeiten offen. Eine grosse Absatzmöglichkeit stellt der Umbau bestehender mechanischer Antriebe in elektrische dar. Die heute in Industrien Grossbritanniens installierte mechanische Leistung wird auf über $5 \cdot 10^6$ kW geschätzt. Die Umstellung von nur 50 % dieser mechanischen Antriebe in elektrische stellt unter der Annahme einer Benützungsdauer von 3600 h einen zusätzlichen Jahresabsatz von 9 Milliarden kWh dar, rund 65 % der Totalproduktion des Jahres 1933. Bei der Beurteilung dieser — theoretischen — Ziffer ist jedoch zu beachten, dass die Verwendung nicht elektrischer Energie in vielen Fällen organisch mit dem Produktionsprozess verknüpft ist. — Eine weitere Steigerung des Absatzes ist möglich durch Uebernahme der Energielieferungen der in privaten, namentlich industriellen Betrieben installierten Werke durch das CEB. 1932 betrug die totale, in Privathand befindliche und in Tabelle III nicht inbegriffene installierte Leistung über $3 \cdot 10^6$ kW. — Eine Zunahme des Energieabsatzes für Bahnelektrifizierung, besonders von Vorortbahnen, ist zu erwarten. Ein weites Tätigkeitsfeld steht der Popularisierung elektrischer Energie für Licht und Haushalt offen. Die Relativzahl der Gebäude ohne elektrischen Anschluss wird im Jahre 1931 noch auf 70 % geschätzt, was einerseits auf die Konkurrenz der Gasgesellschaften, anderseits auf die mangelnde Verteilung elektrischer Energie in «rural districts» zurückzuführen ist. Es werden nun jährlich ca. 500 000 Gebäude an die öffentliche Energieversorgung neu angeschlossen.

[8]) Die Detail-Kosten elektrischer Energie setzen sich im Durchschnitt wie folgt zusammen: Auf Erzeugung entfallen 31,5 %, auf Verteilung 32,5 %, auf den Kapitaldienst 36 %, wovon 40 % auf das Kapital investiert in Erzeugung und 60 % auf Uebertragung und Verteilung entfallen.

Die Schaffung des «Grid» leitete einen allgemeinen Propagandafeldzug zur Verwendung von Elektrizität auf allen Gebieten ein. Die durch das methodisch entworfene Landesnetz gesteigerte Disponibilität elektrischer Energie ermöglicht, viele grössere, spärlich besiedelte Ueberlandgebiete mit Energie zu versorgen, in denen die Verteilung in Einzelwerken erzeugter Energie wirtschaftlich unmöglich war. Von den reinen Verteilgesellschaften, die keine eigenen Werke zu besitzen brauchen, kann heute Energie vom «Grid» zu einem derart vorteilhaften Preise bezogen werden, wie es eben nur eine rationelle Erzeugung in Grosskraftwerken ermöglicht. Man erwartet, dass das «Grid» hier als Ausgleich wirke und eine Standortverschiebung gewisser Industrien aus den dichtbewohnten Zentren in ländliche Gebiete anregen werde.

## III. Das Tarifsystem des Central Electricity Board.

Die Aufstellung eines einheitlichen Tarifsystems für die Energieabgabe an die Grossabnehmer erfolgte nach dem Prinzip, anfängliche Verluste im Hinblick auf die später bei einer vollen Ausnützung des «Grid» ansteigenden Einnahmen zu Lasten des CEB in Kauf zu nehmen. Der Tarif ist demnach so berechnet, dass über einen gewissen Zeitraum (von den «Electricity Commissioners» für einige Distrikte des CEB auf 10 Jahre festgesetzt) die Einnahmen genügend gross sein müssen, um die Betriebskosten des CEB, einschliesslich des Zinsendienstes und der Tilgungsfondsquoten, zu decken. Das CEB ist ausserdem berechtigt, während beschränkter Zeit die Zinsen zu kapitalisieren und die Kapitalrückzahlung zu suspendieren. Dies ermöglicht, spätere Gewinne heute schon der Elektrizitätsversorgungsindustrie in Form eines niedrigen Tarifes zuzuführen. Bemerkenswert ist ferner, dass das CEB keine Gewinne abwerfen darf; es soll sich nur selbst erhalten.

Die «selected station» verkauft dem CEB die gesamte, von diesem bestimmte Energiemenge zu Gestehungskosten und erhält geliefert, was sie für das der Unternehmung angeschlossene Verteilnetz braucht. Der dem CEB zu bezahlende Preis ist, nach ihrer Wahl, entweder der vom CEB durch den «Grid-Tarif» für jenen Distrikt festgelegte oder (für Energie bis zum Gesamtwert der in diesem Werk erzeugten) der eigene Erzeugungspreis zuzüglich einem Zuschlag für die Ausgaben des CEB in dem betreffenden Distrikt; der Zuschlag entspricht den Bereithaltungskosten angemessener Ersatzgruppen. Da die Verbundwirtschaft eine gesteigerte Benützungsdauer der Anlagen ermöglicht, wird dieser Preis im Normalfalle geringer ausfallen, als die Gestehungskosten bei vom «Grid» unabhängiger Erzeugung.

Durch diese Wahl sind die Eigentümer der «selected stations» an einer möglichst wirtschaftlichen Ausnützung ihrer Anlagen interessiert. Als besondere Schutzbestimmung legt das Gesetz von

1926 ausserdem fest, dass diese keinesfalls mehr für ihren Bedarf zu bezahlen haben, als die Gestehungskosten, die sich ergeben hätten, wenn das CEB nicht existiert hätte.

Der «Grid-Tarif» besteht aus zwei Teilen, einer Leistungsgebühr und einer Arbeitsgebühr; dazu kann noch eine einmalige Anschlussgebühr kommen.

Die jährliche *Leistungsgebühr* wird für jede Anschlußstelle pro kW der abgegebenen Höchstlast angesetzt; als solche gilt der Leistungsmittelwert über eine halbe Stunde in den Monaten Januar, Februar, November und Dezember des Rechnungsjahres. Diese Rechnungsart bietet für die Abnehmer den grossen Vorteil einer Mittelwertbildung aus der Integration der Momentanbelastungen über eine halbe Stunde; grosse Belastungsstösse fallen somit weniger ins Gewicht.

Diese Leistungsgebühr pro kW und Jahr ist mit geringen Abweichungen in allen Distrikten gleich gross und ist in 4 Stufen gegliedert: Die «Grundstufe» (basic demand) ist die für das Jahr 1932 ermittelte Maximalleistung, mindestens aber 2000 kW. Die Grösse der drei folgenden, je gleich grossen Stufen, der «Zuschußstufen» (Standard increment of demand), hängt von der Grösse der Grundstufe nach folgender Skala ab:

| Grundstufe kW | Zuschußstufe kW |
|---|---|
| bis 3 000 | 3 000 |
| 3 000 „ 4 000 | 2 900 |
| 4 000 „ 5 000 | 2 800 |
| ⋮ ⋮ | ⋮ |
| 20 000 „ 21 000 | 1 200 |
| 21 000 „ 22 000 | 1 100 |
| 22 000 und mehr | 1 000 |

Grossabnehmer erreichen somit bei relativ geringer Bedarfssteigerung die niedrigste Leistungsquote.

Die *Arbeitsgebühr* ist der Preis pro kWh und ist von der Grösse der Lieferung unabhängig.

Als Beispiel sei der Tarif des CEB für Mittel-Ost-England angeführt:

*Tarif des C E B für Mittel-Ost-England.*

*A. Anschlussgebühren:* Eine Anschlußstelle an das Grid ist frei; für allfällige weitere Anschlußstellen wird eventuell eine Gebühr von Fall zu Fall festgesetzt.

*B. Leistungsgebühren pro Jahr:*

| | | |
|---|---|---|
| Pro kW Maximalleistung innerhalb der Grundstufe | | £ 3.10.0 |
| » » » » | » 1. Zuschußstufe | £ 3. 5.0 |
| » » » » | » 2. » | £ 3. 0.0 |
| » » » oberhalb | » 2. » | £ 2.15.0 |

*Leistungsfaktor:* Ist der Leistungsfaktor kleiner als 0,85 nacheilend während der für die Maximalleistung massgebenden halben Stunde, so wird die Leistungsgebühr für das Rechnungsjahr um 4 s 6 d erhöht für jeden Zehntel, um den der Leistungsfaktor unter 0,85 liegt (Zwischenwerte treten proportional in Rechnung).

*Aenderung* der angegebenen Leistungsgebühren erfolgt bei Schwankung der Bereithaltungskosten pro kW in den in Frage kommenden Kraftwerken und Netzen.

*C. Arbeitsgebühr:*

0,186 d/kWh (ca. 1¼ Rp./kWh).

*Aenderung* dieser Arbeitsgebühr erfolgt bei Abweichung von einem angenommenen mittleren Preis pro Wärmeeinheit des verwendeten Brennstoffes (Kohlenklausel).

Bei einer jährlichen Benützungsdauer der ermittelten Maximalleistung einer an das «Grid» angeschlossenen Anlage von 2000 Stunden ergibt sich somit ein Leistungspreis von 69 % (Grundstufe) und ein Arbeitspreis von 31 % des totalen Preises von 0,61 d/kWh (ca. 4 Rp./kWh).

Die Beschränkung der Verrechnung der Leistungsgebühren auf Grund des während der vier Wintermonate bezogenen Maximalbedarfs erlaubt den Bezug sehr billiger Sommerenergie für spezielle Zwecke. Um die Entwicklung neuer Unternehmungen zu fördern, wird bei Energieverteilung in bisher nicht elektrifizierten Gebieten, mit entsprechend stark anwachsendem Leistungsbedarf während der ersten Entwicklungsperiode («development stage»), während zwei Jahren an Stelle des Maximalbedarfes während der vier Wintermonate das Mittel aus den zwölf monatlichen Leistungsmaxima zur Berechnung des jährlichen Leistungspreises verwendet.

## IV. Die technischen Grundlagen des «Grid System».

Im folgenden sind die wichtigsten technischen Daten des «Grid» zusammengefasst:

Fig. 1.
132-kV-«Primärleitungen» des Central Electricity Board.

1. Die «*Primärleitungen*» (Leitungslänge 4800 km) werden mit 132 kV betrieben, die *Sekundärleitungen* (Leitungslänge 1700 km) mit 33 kV und in geringem Ausmass mit 66 kV; das Stromsystem ist Drehstrom, 50 Per./s.

Fig. 1 zeigt das Netz der Primärleitungen. Die Sekundärleitungen (Fig. 5) zur Versorgung der abgelegeneren Bezirke zweigen als Stichleitungen vom Primärnetz ab und sind in Fig. 1 weggelassen. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich ebenfalls nur auf das Primärnetz.

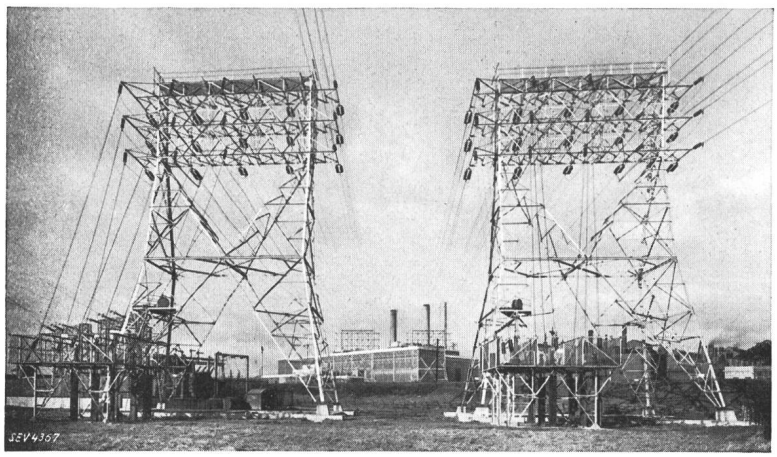

Fig. 2.
Kraftwerk Dunston mit Spezialmasten zu je 5 132-kV-«Grid»-Primärleitungen. (Photo CEB.)

2. Die Primärleitungen (Fig. 2, 3, 4) sind allgemein für eine zu übertragende Leistung von 50 000 kVA, bei einer zulässigen Spannungsabweichung von ca. ± 5 % vom Nennwert gebaut. Die Konstanthaltung der Spannung erfolgt in den Unterstationen des «Grid» durch z. T. automatische, unter Last regelbare, 14stufige Transformator-Anzapfschalter auf der 132 kV-Seite. Als *Leitermaterial* wurde unter Berücksichtigung der relativ geringen zu übertragenden Leistung und des bei der gewählten Spannung erforderlichen minimalen Leitungsdurchmessers (Coronaverluste) Stahlaluminium verwendet, unter Annahme einer minimalen Lebensdauer von 25 Jahren.

Stahlseele: 7 Drähte von 2,8 mm Durchmesser.
Aluminium: 30 » » 2,8 » »
Kupferäquivalent: 113 mm².
Erdseil:
Stahlseele: 7 Drähte von 2,8 mm Durchmesser.
Aluminium: 12 » » 2,8 » »

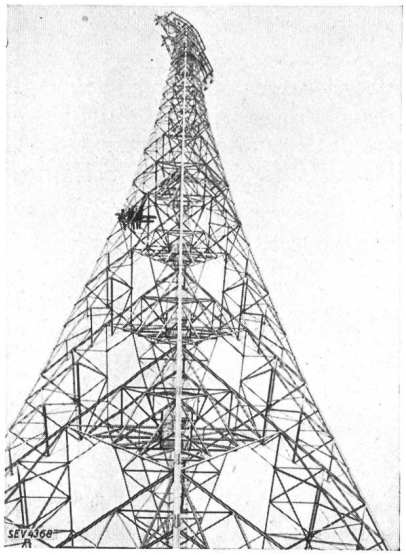

Fig. 3 a.
Ueberkreuzung der Themse durch zwei Primärleitungen. Masthöhe 160 m. Spannweite 1000 m. (Photo CEB.)

Das Erdseil ist als relativ guter Leiter ausgeführt, da es nicht nur zur elektrostatischen Leitungsabschirmung, sondern auch als guter Rückleiter für Fehlströme dienen soll.

3. Im ganzen Netz wird *starre Nullpunktserdung* angewandt.

4. Die verwendeten *Hängeisolatorketten* sind aus 9 (bei Abspannmasten 2×10) Elementen zusammengesetzt, für 1800 kg Normallast und für 5fache Ueberschlagssicherheit (nass) bestimmt und mit Schutzring und Funkenhorn versehen. Die zum Teil sehr ungünstigen atmosphärischen Verhältnisse (Nebel und Rauch) erforderten stellenweise die Verwendung spezieller «anti-fog» Grossoberflächen-Isolatoren [9]).

5. Die *Masten* sind durchwegs in feuerverzinkter Eisenkonstruktion ausgeführt. Die Höhe eines normalen Dreileitermastes beträgt 20 m, die des Sechsleitermastes 24 m; die Basis misst 4,5 · 4,5 m bzw. 5,5 · 5,5 m. Bei ungebrochenen Leitern soll für Mast und Fundierung ein Sicherheitsfaktor von 2,5 bestehen, unter Annahme eines Winddruckes von 39 kg/m² auf die projizierte Oberfläche der mit einer Eisschicht von 12,5 mm radialer Dicke behängten Leiter und eines Winddruckes von 122 kg/m² auf die 1½fache projizierte Fläche einer Mastenseite. Bei gebrochenen Leitern (für normalen Linienmast 1 gebrochener Leiter angenommen) soll die Sicherheit noch 1,5 betragen. Als Neuheit wurde stellenweise die in Amerika bekannte Kugelfundierung ausgeführt («concrete-ball foundation»), wobei die unteren Enden der zylindrischen Fundierungen der Mastschenkel zu Kugeln ausgeweitet sind. — Die normale

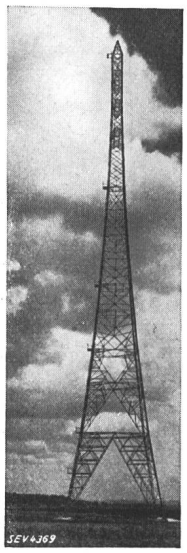

Fig. 3 b.
Ueberkreuzung des Severn-Flusses durch Primärleitung. Masthöhe 100 m. Spannweite 550 m. (Photo CEB.)

[9]) Die erforderliche Revisionsperiode konnte dadurch im Umkreis einiger Kilometer der Stadt Glasgow von angeblich 2 Wochen auf 2 Monate vergrössert werden.

Spannweite beträgt 275 m; der minimale Abstand beträgt bei 50° C Leitertemperatur: zwischen den Leitern 3,75 m, eines Leiters vom Boden 6,7 m, von Gebäuden 3,6 m.

6. *Schutzsysteme.* Da starke Gewitter in Grossbritannien relativ selten auftreten, wurde bisher auf konsequente Verwendung von besonderem Ueberspannungsschutz verzichtet. An exponierter Stelle wurden neuerdings mit Erfolg Ueberspannungsschutzapparate eingebaut, die durch Einschaltung von Impedanz mit gleichzeitiger kapazitiver Wirkung in den Stromkreis die Abflachung der Wellenfront bewirken. Da das «Grid» zum erstenmal die Technik der Hochspannungs-Fernübertragung in Grossbritannien einführt, müssen zuerst noch Erfahrungen mit ausgedehnten Hochspannungsnetzen gesammelt werden. — Der Ueberstromschutz wird bei Kabelanlagen (grössere Strecken von 33 kV- und 66 kV-Leitungen [10]) verlaufen in Kabeln; ebenso ist versuchsweise eine 132 kV-Strecke als ölgefülltes Kabel in Betrieb) mit Vorliebe durch das «pilot wire system» [11]) durchgeführt, bei dem im Prinzip die Ströme am Anfang und am Ende eines Leitungsstückes verglichen werden. Die dabei erforderlichen Hilfsleitungen machen diesen Streckenschutz bei den langen Leitungen des Primärnetzes zu kostspielig, so dass dort meistens Impedanzrelais, neben den üblichen Ueberstromrelais, Verwendung finden. Kurzschlüsse werden mit selektiver Verzögerung, Erdschlüsse sofort abgeschaltet.

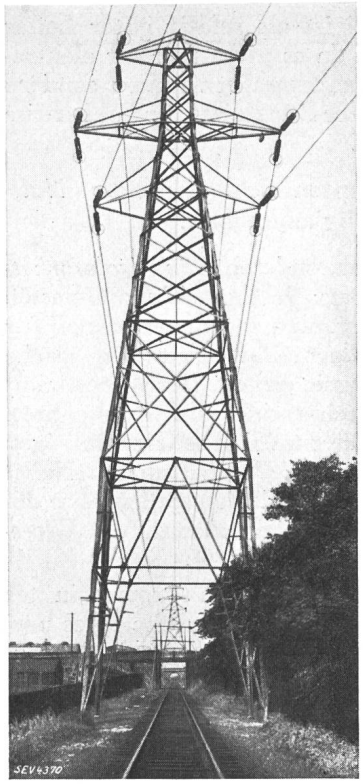


Fig. 4.
«Grid»-Primärleitung längs Bahntracé.
(Photo CEB.)

7. Die Primär- und Sekundärleitungen des «Grid» sind heute über 273 *Schalt- und Transformatorstationen* (Fig. 7, 8) mit den «selected stations» und den einzelnen Energieverteilunternehmen verbunden, wovon der gesamte 132 kV- und Grossteil der 66- und 33-kV-Anlagen als Freiluftanlagen ausgeführt sind. Normalerweise erfolgt eine Energieabgabe vom «Grid» nur von den «selected stations» und von den Sekundärleitungen aus; neuerdings werden jedoch versuchsweise auch direkte Anzapfungen der Primärleitungen vorgenommen. So wurde eine über Sicherungen angeschlossene Transformatorstation 132/11 kV von nur 300 kVA aufgestellt.

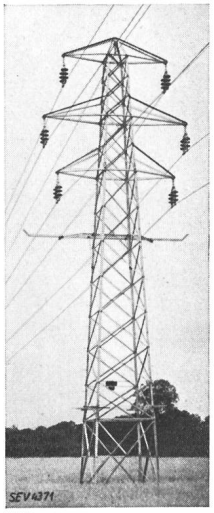


Fig. 5 a.
Strassenüberkreuzungsmast mit Doppelaufhängung und «Erdungstraverse».
(Photo Henley.)

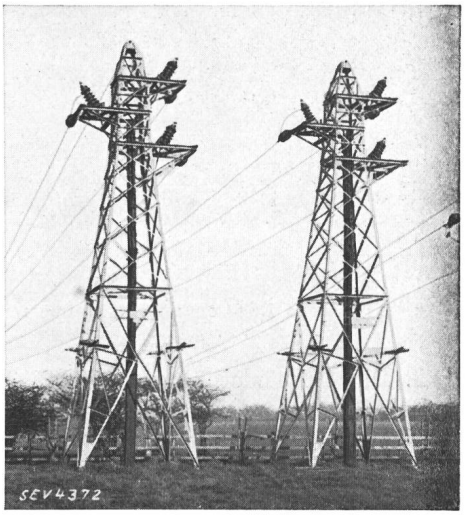


Fig. 5 b.
33 kV «Grid»-Sekundärleitungen.
Kabel-Endmasten.
(Photo CEB.)

Die unterspannungsseitigen Schaltgeräte sind durchwegs nach dem in England klassisch gewordenen Typus der eisengepanzerten Ausführung («ironclad») gebaut, bei dem Schalter, Trenner, Sammelschiene und Wandler in eine vollständig abgeschlossene, teilweise mit Compound aufgefüllte Eisenkonstruktion zusammengefügt sind. Dem damit erreichten Vorteil absoluter Berührungssicher-

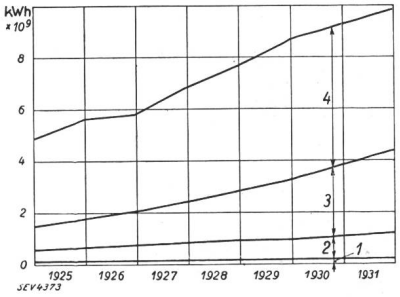


Fig. 6.
Energieabgabe in den Jahren 1925 bis 1931.
1 für öffentliche Beleuchtung.
2 für Bahnbetrieb.
3 für Beleuchtung u. Haushalt.
4 für Motoren.

[10]) Ein 66 kV-Kabel wurde in Stahlrohrkonstruktion, mit komprimiertem Stickstoff gefüllt, ausgeführt, siehe Bull. SEV 1933, Nr. 17, S. 271.

[11]) Siehe Bull. SEV 1934, Nr. 13, S. 338.

heit und des Wegfalls jeglicher Baukonstruktion steht für kontinentale Begriffe ein Mangel an Uebersichtlichkeit gegenüber, der sich namentlich bei Störungen durch die Schwierigkeit der Abtrennung defekter Teile bemerkbar machen muss. Diesen Nachteil umgeht die Konstruktion ausfahrbarer

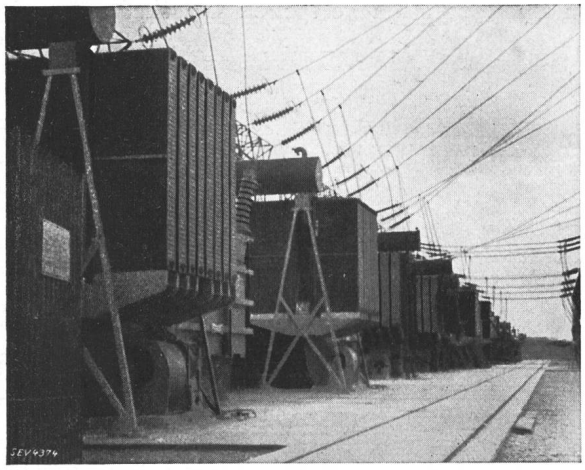

Fig. 7.
«Grid»-Unterstation Barking. Transformatoren mit künstlicher, automatisch nach Ueberschreiten von Halblast in Betrieb tretender Luftkühlung. (Photo CEB.)

Schalteinheiten, die den sofortigen Ersatz durch eine Reserveeinheit ermöglicht (Fig. 9). Eine Neuheit stellt die Anwendung des «ironclad»-Prinzips bei einer 132-kV-Schaltanlage dar; eine solche befindet sich seit 1932 in Betrieb.

8. Alle *Transformatoren* sind in Stern-Dreieck geschaltet; der Nullpunkt wird starr geerdet. Ausführung als dreiphasige Einheit erfolgt normalerweise aus transporttechnischen Gründen nur bis 30 000 kVA (in Einzelfällen wurden jedoch schon 70 000 kVA-Einheiten aufgestellt). Für grössere Leistungen werden drei Einphasentransformatoren zusammengeschaltet. Natürliche Luftkühlung wird bei kleinen Einheiten angewandt und bei grossen bis zur Halblast; darüber erfolgt automatisch künstliche Luftkühlung (Fig. 7). Alle 132 kV-Transformatoren sind mit Anzapfschalter für ± 10 % Spannungsänderung, in 14 Stufen unter Last regelbar, ausgerüstet.

9. Die *Vereinheitlichung der Frequenz* bedeutet bei der grossen Verschiedenheit der Anlagen eine grosse, aber unvermeidliche Vorbelastung für das «Grid-System»; bis Ende 1933 wurden dafür ca. 12 Millionen Pfund Sterling ausgegeben; diese Kosten werden durch eine Spezialabgabe pro verkaufte kWh getragen. Laut Statistik der «Electricity Commissioners» wurden im Jahre 1926 von 565 öffentlichen und privaten Unternehmungen folgende Stromsysteme verwendet:

| Stromsysteme: | | Frequenzen | |
|---|---|---|---|
| Wechselstromverteilung | 28,2 % | 50 Per./s | 77,0 % |
| Gleichstromverteilung | 33,8 % | 25 » | 14,8 % |
| Gemischt | 38,0 % | 40 » | 5,4 % |
| | | Andere Frequenzen | 2,8 % |

Die Normalfrequenz wurde, wie schon bemerkt, auf 50 Per./s festgesetzt. Das genaue Einhalten dieses Wertes in den massgebenden «selected stations» erfolgt durch Vergleich einer durch Synchronmotor angetriebenen elektrischen Uhr mit einer von Greenwich kontrollierten Hauptuhr; Abweichungen sind aus der Winkelverschiebung zwischen den zwei auf demselben Zifferblatt laufenden Sekundenzeigern der beiden Uhren ersichtlich. Die Stabilisierung der Frequenz erlaubt somit den Anschluss exakter und billiger elektrischer Uhren in allen an das «Grid» angeschlossenen Verteilnetzen.

10. Die *technische Leitung des Grid* erfolgt von den Kommandoräumen der einzelnen Distrikte aus, wobei sich das CEB zur Verbindung mit den zahlreichen Kraftwerken und Unterstationen von der Postverwaltung gemieteter Telephonleitungen bedient; in Einzelfällen wird auch leitungsgerichtete Hochfrequenzübertragung benützt. Die Uebermittlung mehrerer Signale über das Zweidrahtsystem erfolgt mit verschiedenen Frequenzen, wobei in der Uebertragung gewisse Vorrechtstellungen innegehalten werden, nämlich:

1. Schaltermeldung.
2. Telephon.
3. Transformatoranzapfstellung.
4. Maschinentelegraph.
5. Zähler- und Belastungs-Messungen.

Beispielsweise wird eine im Uebertragen begriffene Zählermessung durch eine Schaltermeldung

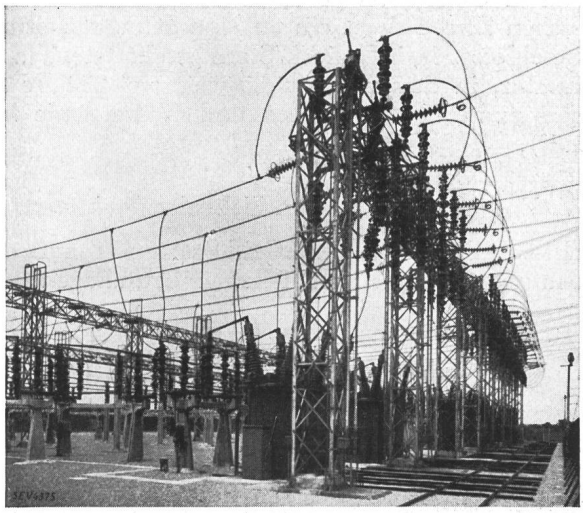

Fig. 8.
«Grid»-Schaltstation Norton-on-Tees. Abgehende Primärleitungen.
(Photo CEB.)

sofort unterbrochen und erst weitergeleitet, nachdem die entsprechende Schaltermeldung quittiert ist.

Zur Ueberwachung sind beispielsweise [12]) drei Kontrolltafeln vorhanden:

*a)* Blindschema des ganzen Distrikt-Netzes mit Angabe aller Schalterstellungen oberspannungsseitig; Fernmessung der einzelnen Transformatorbelastungen, der Gesamtbelastung

[12]) Kommandoraum Glasgow des schottischen Grid-Distrikts.

der Werke und der Energieabgabe; Angabe der in Betrieb befindlichen Generatoren; Anzeigetafel des Maschinentelegraphen (zur Uebertragung rascher Meldungen); Anzeige der Transformatoranzapfstellungen durch Lichtzeichen.

*b)* Miniaturkontrolltafel, vom Ueberwachungsbeamten bedient, die das ganze Netz sowie die Schaltanlagen der einzelnen Werke wiedergibt und auf der die eingegangenen Schaltermeldungen quittiert werden müssen. Alle Schalter und Trenner dieser Miniaturtafel sind mit farbigen Einsteckmarken versehen, deren Farbe anzeigt, ob der betreffende Schalter oder Trenner in Betrieb, ausser Betrieb, aber betriebsbereit, oder aus gewissen Gründen (Leitungsrevision usw.) nicht eingelegt werden darf. Ebenso werden vorgenommene Erdungen durch Einsteckmarken gekennzeichnet.

*c)* Grosse Gesamtkontrolltafel mit automatischer Stellungsanzeige sämtlicher Schalter sowie der von der Miniaturtafel aus zu betätigenden Stellungsanzeige der Trenner.

Anfängliche Betriebsschwierigkeiten ergaben sich durch Auftreten übermässig starker Oberwellen, die durch den vielfach üblichen Anschluss statischer Kondensatoren über Transformatoren verstärkt wurden. Die Abhilfe bestand darin, dass immer eine verhältnismässig grosse Anzahl Generatoren in Betrieb belassen wurde und spezielle Oberwellenschlucker für die besonders stark ausgeprägte 5. Harmonische zur Aufstellung gelangten. Dies sind z. T. Motorgeneratoren, bestehend aus 2-poligem Synchronmotor für 50 Per./s und in Serie geschaltetem 10-poligem Synchrongenerator für 250 Per./s, der mit drehbarem Stator versehen ist, so dass ausser der durch die Erregung regelbaren Amplitude auch die Phasenlage des erzeugten 250periodigen Stromes verändert, d. h. zur vorhandenen 5. Oberwelle in Opposition gebracht werden kann. Dem gleichen Zweck dient ein an eine Sekundärleitung angeschlossener, in Dreieck/Stern geschalteter Transformator, in dessen Sekundärkreis auf 250 Per./s abgestimmte Kondensatoren und Widerstände liegen [13]).

## V. Energieverteilung in Ueberlandgebieten.

Die Einführung des «Grid-System» schuf die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen zur Bildung von Unternehmen für die in letzter Zeit in England sehr populär gewordene «rural electrification». Als typisches Beispiel einer derartigen Organisation zeigt Fig. 10 das Versorgungsgebiet der «Mid-Lincolnshire Electric Supply Co. Ltd.». Diese Gesellschaft bezieht an sechs verschiedenen Stellen Energie vom «Grid»; die Mehrzahl der an den Speisepunkten gelegenen Ortschaften werden jedoch unabhängig von dieser Gesellschaft versorgt, so dass nur die Verteilung in den umliegenden Dörfern und in Skegness, einem Badeort von 10 000 Einwohnern, bis 1931 noch ohne öffentliche Elektrizitätsversorgung, in Betracht kommt. Dieses Versorgungsgebiet hat eine Bevölkerungsdichte von nur 47 Einwohnern pro Quadratkilometer. Die Verteilanlagen müssen daher mit möglichst geringen Kosten erstellt werden (Fig. 11, 12).

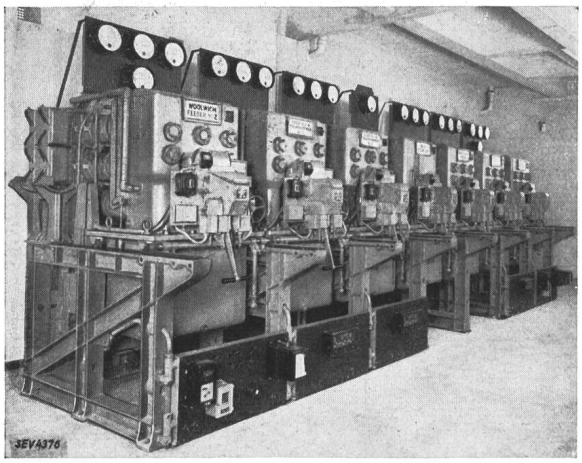


Fig. 9.
Eisengekapselte Schaltaggregate («Iron clad») mit ausfahrbaren Schalteinheiten. 22 kV-Doppelsammelschiene und Trenner unter Oel. (English Electric, Stafford.)

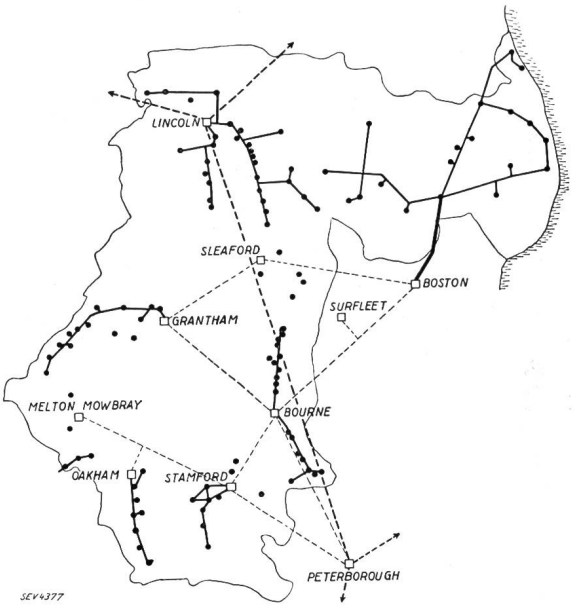


Fig. 10.
**«Rural electrification».**
Versorgungsgebiet der «Mid-Lincolnshire Electric Supply Co. Ltd.», mit 11-kV-Netzen und «Grid»-Primär- und Sekundärleitungen.

—— 11-kV-Leitung } der Mid-Lincolnshire Electric Supply Co.
—— 33-kV-Leitung }
- - - «Grid»-33-kV-Sekundärleitung.
• • • «Grid»-132-kV-Primärleitung.
□ «Grid»-Unterstationen.
• Bestehende, bzw. innerhalb 2 Jahren (nach Konzession!) zu erstellende 11-kV-Unterstationen.

### *A. Technische Einzelheiten.*

Die Speisung der Verteilnetze erfolgt bei 11 000 V. Die Messung der dem Grid entnommenen Energie geschieht durch zwei in Serie geschaltete, dem CEB, bzw. der Unternehmung gehörende Dreiphasenzähler, die Messung der abgegebenen Maximalleistung durch Maximumzeiger mit halbstündiger Registrierdauer (siehe Kap. III). Grosse Spannweiten mit einfachen Holzmasten (Mittel 120 m, max. 150 m) wurden erreicht durch Verwendung sehr robuster Masten und grosser Kupferquer-

[13]) v. Stritzl, ETZ 1933, Heft 19.

schnitte [14]). Mit Erfolg hat sich auch die Verwendung von Kupferseilen mit Stahlseele zwecks Reduktion des Durchhanges eingeführt; kurze Stichleitungen mit kleiner Belastung werden oft in galvanisiertem Eisendraht ausgeführt. Der verwendete

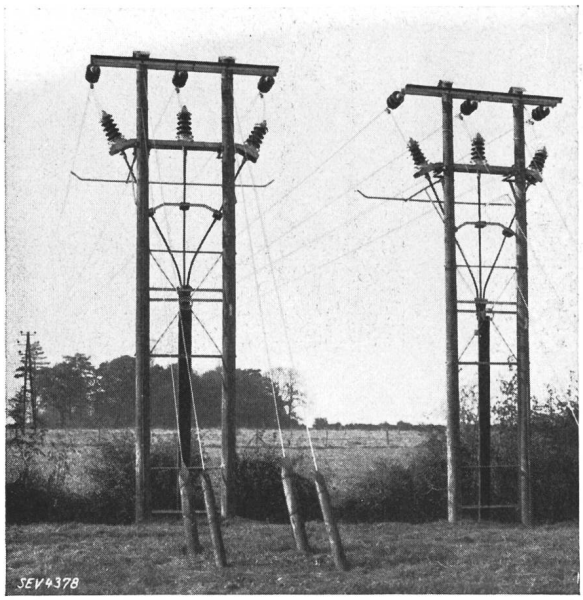


Fig. 11.
«Rural Electrification». Kabelendmasten 33 kV.
(Photo Henley.)

Isolatorträger erlaubt die Ausnützung der vollen Mastenhöhe; die patentierte Formgebung («anti-bird») der Traverse (Fig. 13) soll die Berührung der Leitung durch Vögel, die sich auf den üblicherweise horizontalen Traversen niederlassen, verhin-

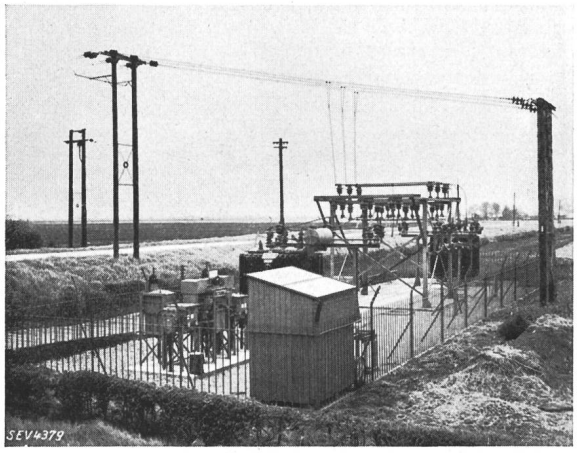


Fig. 12.
«Rural Electrification». Unterstation Midville der «Mid-Lincolnshire Electric Supply Co. Ltd.» mit 33-kV-Freiluft- und 11-kV-«Ironclad»-Anlage für 3 abgehende Leitungen.

dern. Die mit Metallgewinde ausgelegten Isolatoren werden auf die Stützen aufgeschraubt; die Metallteile jedes Mastes sind geerdet. Ueberkreuzung von Sekundärstrassen erfolgt mit Doppelisolator und Auffangtraverse. Bei Kreuzung von Schwachstromleitungen werden diese oft in Kabel gelegt; die Kreuzung wichtiger Leitungen, Hauptstrassen und Bahnen erfolgt in der Regel als Kabelunterführung.

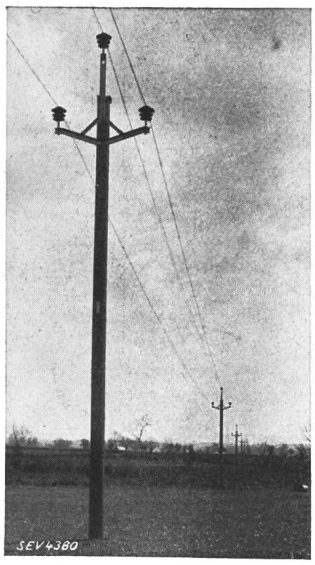


Fig. 13.
«Rural Electrification». Leitungsmast mit «anti-bird»-Trägern. (Henley.)

*Unterstationen* kleiner Leistung sind als Masttransformatoren (Fig. 14, 15, 16), über Sicherungen angeschlossen, ausgeführt; grössere finden auf einer betonierten Plattform, ebenfalls im Freien, Aufstellung; Transformator und Oelschalter mit Sicherungen sind zu einer kompakten Einheit zusammengebaut (Fig. 17). Der Anschluss erfolgt durch Kabel, was die Aufstellung der Unterstation im Belastungsschwerpunkt erlaubt, unter Vermeidung von Gebäudeüberkreuzungen durch Hochspannungsleitungen. Die Verteilung erfolgt von Kabelverteilschränken aus; jeder abgehende Leitungs-

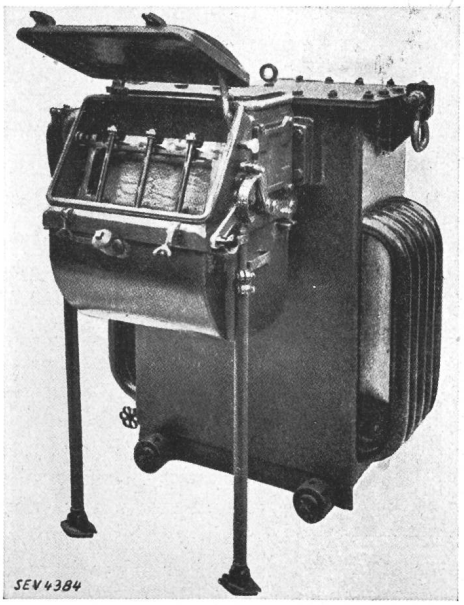


Fig. 17.
Transformator, mit Schalter und Sicherungen zusammengebaut. Der Schalterdeckel kann nur bei ausgeschaltetem Schalter geöffnet werden; die Sicherungen können von Hand ersetzt werden, da das Schalterinnere durch Isolierplatte abgedeckt ist.
(Brush, Ltd. Longborough.)

zweig besteht aus einer vertikalen Schalteinheit, welche Sicherungen mit Ueberbrückungsvorrichtung für Amperemeter und Anschluss für Nulleiter und eventuelle Hilfsleitungen enthält. Die Verteilungs-

[14]) Kupferpreis ca. 10½ *d* pro kg; grosse Querschnitte sind ausserdem durch die vorgeschriebene Spannungstoleranz von ± 6 % von der Nennspannung bedingt. Verwendete Querschnitte: minimal 26 mm², normal 48 mm², maximal 65 mm².

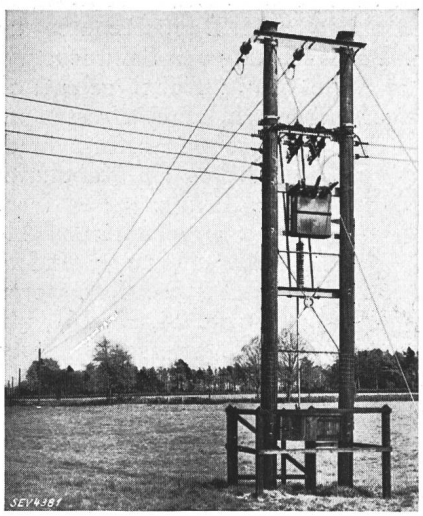

Fig. 14.

Normal-Maststation mit «pull-down»-Sicherungsschalter (geschlossen).

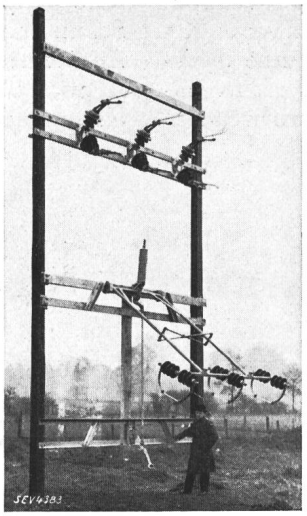

Fig. 15.

**«Rural electrification».**

33-kV-Typ eines «pull-down»-Sicherungsschalters, in jeder Stellung ausbalanciert. («Switchgear & Equipment» Ltd., London.)

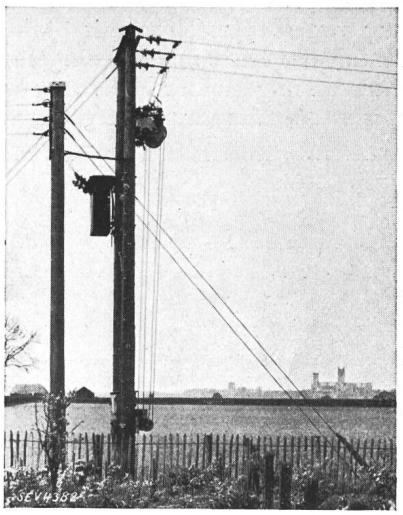

Fig. 16.

Maststation mit Sicherungsschalter, der mit Drahtzügen heruntergeholt werden kann.

spannung ist auf 400/230 Volt normalisiert. Die Abgabe erfolgt bei 230 Volt; nur grössere Motoren werden mit 400 V betrieben.

Zum Messen des Energieverbrauches wird, als Konsequenz des verwendeten Tarifsystems, in der Regel nur ein Zähler verwendet; bei grösseren Motoren werden zwei Einphasenzähler in Aronschaltung, zwecks Bestimmung des mittleren Leistungsfaktors, mit einem Dreiphasenkontrollzähler sowie einem Maximalleistungszeiger verwendet.

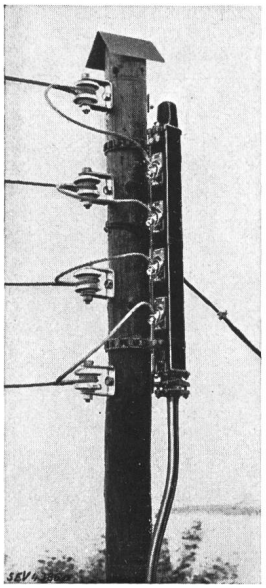

Fig. 18.

Uebergang Feileitung-Kabel 400/230 V. (Henley.)

## B. *Tarifsysteme.*

Da der Aufbau der Tarife der «Mid-Lincolnshire Electric Supply Co. Ltd.» für Grossbritannien charakteristisch ist und die Verkaufspreise ungefähr den in Gebieten ähnlicher Struktur üblichen entsprechen, verdienen sie einige Erläuterung.

Der Konsument hat die Wahl zwischen zwei Tarifen:

*a) Kilowattstundentarif* («Flat-rate Tariff»):

Abgabe von Beleuchtungsenergie zu 8 Pence pro kWh [15]).

Abgabe von Koch- und Heizenergie zu 1½ Pence pro kWh. Minimum 12 Schilling pro Winterquartal, 6 Schilling pro Sommerquartal, + 2 s 6 d vierteljährliche Zählergebühr.

Diese Tarifart wird von Abonnenten mit relativ geringem Konsum bevorzugt, erreicht jedoch nicht die Popularität des

[15]) Gesetzlich festgelegtes Maximum: 9 d.

*b) Grundgebührentarifes* («Two-part Tariff»): Dieser Tarif sieht von einer Differenzierung des Verkaufspreises nach den einzelnen Verwendungszwecken ab und erfasst den Gesamtverbrauch von Energie als Ganzes. Die Aufteilung in eine Grundgebühr und eine Arbeitsgebühr entspricht der Zweiteilung des C E B-Tarifes in eine Leistungs- und eine Arbeitsgebühr; die nahe Anpassung der Verkaufstaktik an die Verkaufsbedingungen des C E B folgt aus der Aehnlichkeit des Anteiles der festen Kosten am Gesamtpreis [16]). Da sich beim Grundgebührentarif der Durchschnittspreis pro kWh mit zunehmendem Verbrauch reduziert, bietet der Tarif dem Konsumenten um so grössere Vorteile, je freier er die verschiedenen Möglichkeiten der Elektrizitätsverwendung ausnützt, und die Verwendung von elektrischer Energie zu Heiz- und Kochzwecken ist in einem Gebiet, das vor zwei Jahren noch ohne Energieversorgung war, trotz der starken Konkurrenz des Gases in den grösseren Ortschaften überraschend schnell populär geworden.

Die *Grundgebühr* richtet sich nach der Grösse der bewohnten Bodenfläche (Messung der äusseren Grundfläche des Hauses, multipliziert mit der Zahl der Stockwerke):

Bis 93 m²: £ 3.10.0
» 186 » £ 6.10.0
» 279 » £ 9. 0.0 (ca. 50 Rp./m² beim Kurs von 16 Fr./£.)

In der Grundgebühr ist die Zählergebühr inbegriffen.

In Ortschaften mit weniger als 1000 Einwohnern erhöht sich der jährliche Grundpreis um 10 s. Bei Geschäftshäusern richtet sich der Grundpreis nach der installierten Leistung: £ 14.0.0 für das erste installierte kW, £ 10.0.0 für jedes weitere installierte kW.

*Arbeitsgebühr:* Pro kWh, für alle Zwecke: 1 Penny. Bei Geschäftshäusern wird während der zwei Winterquartale der doppelte Preis verlangt.

Der Vorteil eines einzigen Zählers und der einfachen Verrechnung des Arbeitspreises ist anerkannt; dazu gesellt sich als weitere Vereinfachung die quartalsweise Zählerablesung. Der Durchschnittsabnehmer erreicht bei diesem Tarif einen Jahreskonsum von 500 kWh, bei vollelektrischem Haushalt natürlich entsprechend mehr; der mittlere Preis pro kWh stellt sich dabei auf ca. 3 d und reduziert sich bisweilen bei sehr intensivem Verbrauch (der Tarif schliesst kleine

[16]) In beiden Fällen beträgt der durchschnittliche Anteil der festen Kosten ca. 70 % der Gesamtkosten.

Motoren für den Haushalt bis 1 PS ein) bis auf 1½ d/kWh. Bemerkenswert ist, dass der gleiche Arbeitspreis einheitlich über die 24 Stunden gilt und während der Spitzenzeit keine Erhöhung erfolgt. Die englische Sitte, die Abendstunden am offenen Feuer zuzubringen, verringert die Gefahr einer Steigerung des Leistungsbedarfes während der Spitzenzeit durch Heizenergie. Immerhin kamen neuerdings Doppeltarifzähler für Heisswasserspeicher zur Anwendung mit ½ d/kWh zwischen 21 Uhr und 10 Uhr, bzw. 1,5 d während der übrigen Zeit.

Eine weitere Massnahme zur Popularisierung des Elektrizitätsverbrauchs besteht in der Veranstaltung von Demonstrationsvorträgen und in der leihweisen Abgabe von Koch- und Heizapparaten an die Konsumenten gegen vierteljährliche Miete, die einer Verzinsung des Kapitals von ca. 12 % entspricht, wovon ein entsprechender Betrag an Abschreibung geht. Ferner finanziert die Gesellschaft elektrische Hausinstallationen gegen eine Dauer-Mietgebühr von ½ d pro installierte Lampe und Woche, oder gegen Raten-Abzahlung über 2 bis 3 Jahre.

*c)* Die Abgabe von *Motorenergie* erfolgt ebenfalls nach einem Grundgebührentarif: Motoren bis 10 PS: 7 s 6 d pro installiertes PS und Monat, 25 kWh pro PS und Monat gratis, Restverbrauch 1,5 d/kWh (Durchschnittspreis ca. 2 d/kWh); als Variante gilt ein Regelverbrauchstarif mit Belastung der festen Kosten auf eine abgestufte Anzahl kWh.

*d)* Um in gewissen Betrieben die Konkurrenz der *Schweröl-motoren* wirksam zu bekämpfen, erfolgt die Abgabe sehr billiger Energie bisweilen unter der Garantie, dass während der Spitzenzeiten, 16 Uhr bis 20 Uhr, in den Monaten November bis Februar (vgl. Kap. III), keine Motorenenergie konsumiert wird, so dass die betreffende Energielieferung mit Sicherheit auf die vom C E B gemessene Leistungsspitze keinen Einfluss hat. Dies wird durch einen Zeitschalter erreicht, der die Anlagen zwischen 16 Uhr und 20 Uhr abtrennt. Die Abgabe erfolgt dann lediglich zu einem Arbeitspreis, dem sich in gewissen Fällen ein Grundpreis hinzugesellt durch die Bedingung, dass der Quotient aus totalem Jahreskonsum und Maximalleistung grösser als 2000 h sein soll.

Die mit der Schaffung des «Grid-System» begonnenen Fortschritte in der Elektrifizierung landwirtschaftlicher Gebiete sind über ganz Grossbritannien sichtbar. Auch der konservativste Farmer beginnt sich mit elektrischem Licht, elektrischer Küche, fahrbaren Motoren, elektrischen Brutapparaten (von denen Modelle für 70 000 Kücken existieren), elektrischer Bodenbeheizung mit billiger Nachtenergie vertraut zu machen; ferner wird auf dem Gebiete der Molkereitechnik inkl. elektrischer Pasteurisierung der Milch Pionierarbeit geleistet.

Um die Elektrifikation von «rural districts» zu fördern, wurden unter Kontrolle der «Electricity Commissioners» grossangelegte Versuchsgebiete zur Erprobung planmässiger Werbung und Verbreitung der verschiedenen Elektrogeräte geschaffen; in diesen Demonstrationsgebieten werden auch die Eignung verschiedener Energietarife und die erreichten wirtschaftlichen Resultate genau überwacht und ausgewertet.

**Weitere Literatur:**

Wright and Marshall: The Construction of the «Grid» Transmission System in Great Britain. J. Inst. Electr. Eng. Vol. 67, No. 390, June, 1929.

W. A. Coates: The British Grid System. Metropolitan-Vickers Electrical Co. Ltd., Manchester.

W. S. Kennedy: The new Electricity Act. Ernest Benn Ltd., London.

Thirteenth Annual Report of the Electricity Commissioners 1932/33. His Majesty's Stationery Office, London.

Central Electricity Board: Fifth and Sixth Annual Report. Whitehead Morris Ltd., London.

v. Stritzl: Das englische Landesleitungsnetz. ETZ 1933, Heft 19, sowie ETZ 1934, Heft 14, S. 345.

# Méthode appliquée par le Service Electrique de la Ville de Lucerne pour l'établissement et l'encaissement de ses factures d'énergie.

Par *A. Ritzmann*, Lucerne.

657 : 621.311

*Les Services Electriques de la Ville de Lucerne utilisent exclusivement la machine à calculer pour l'établissement de leurs factures d'énergie électrique. Ces machines sont munies de dispositifs pour additions et soustractions, de totalisateurs pour les kWh vendus et les montants à encaisser ainsi que d'un dispositif permettant de répéter plusieurs fois automatiquement le montant de la facture. Un coupon, établi en même temps que la facture, sert de pièce à l'appui pour la comptabilité. La facture, munie d'un formulaire de chèque postal et d'un coupon pour la comptabilité, est reportée automatiquement sur une feuille spéciale tenant lieu de statistique et qui est destinée aux Services Electriques eux-mêmes. Les factures sont remises aux abonnés non-acquittées, avec le formulaire de chèque postal dûment rempli. L'emploi d'un adressographe est absolument indispensable, étant donné que l'adresse de l'abonné n'est pas seulement indiquée sur la facture, mais aussi sur le formulaire de chèque postal et sur la fiche destinée à la comptabilité munie des coupons qui sont utilisés en cas de sommation de paiement.*

*Die Vervollkommnungen auf dem Gebiete der schreibenden Rechenmaschinen mit Additions- und Subtraktionszählwerk, teilbaren Registerzählwerken und mit Vorrichtung zum vollautomatischen Wiederholen des Totalbetrages finden volle Auswertung im Stromabrechnungsverfahren des Elektrizitätswerkes der Stadt Luzern, wobei ein gleichzeitig mit der Rechnung erstellter Anhang dem Werk als Sollkontoblatt dient. — Mit der Rechnung und mit dem ihr angefügten Posteinzahlungsschein und Sollkontoblatt wird, im Durchschreibeverfahren, gleichzeitig auch das Journal mit Wert- und Mengestatistik fertig erstellt. Die Rechnung mit dem vollständig ausgefüllten Posteinzahlungsschein wird dem Abonnenten unquittiert zugestellt. Mit der hierzu unerlässlichen Adressieranlage wird die Adresse nicht bloss auf der Rechnung und auf dem Posteinzahlungsschein, sondern auch auf dem im Werk verbleibenden Sollkontocoupon aufgedrückt, und zwar auf diesem mehrfach, um bei Verzug für die Zahlungsaufforderungen abgetrennt zu werden.*

De nos jours, l'encaissement à domicile des factures d'électricité et de gaz par des encaisseurs est encore très répandu, surtout en raison du fait que le système de règlement par les seuls soins de l'abonné fait craindre un grand travail de comptabilité et des retards dans les paiements. Cependant le système d'encaissement direct par les Services Industriels est très coûteux, même si cet encaissement s'effectue lors de la lecture des compteurs, qu'il s'agisse de factures établies sur place au moment de la lecture ou de factures relatives à la consommation du mois précédent. On se fera une