

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 27 (1936)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Der Belastungsausgleich und seine statistische Regelmässigkeit in elektrischen Anlagen  
**Autor:** Kummer, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061496>

### **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:** 03.04.2026

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

Regel basiert vor allem auf der durch diese Ausführung erreichbaren Reduktion der Anschaffungskosten für Kabel. Dabei ist zu erwarten, dass in Deutschland alle Hochspannungs-Mehrleiterkabel über 10 kV verketteter Betriebsspannung ebenfalls mit Sektorleitern fabriziert werden, sobald das vorstehend beschriebene neue Fabrikationsverfahren Eingang gefunden haben wird.

Zusammengefasst ergeben sich für das vorgeformte Sektorkabel, gegenüber dem Kabel mit runden Leitern, folgende Vorteile:

1. günstigere Raumaussnutzung,
2. wesentliche Ersparnis an Isoliermaterial, Blei, Asphaltierung und Armierung,
3. kleinerer Durchmesser gegenüber Rundleiterkabeln,
4. grosse Biegsamkeit und vollständige Torsionsfreiheit, wegen der vorgeformten Leiter,
5. leichte Handhabung, weil leichter als Kabel mit runden Leitern,
6. günstigere Wärmeableitung und damit entsprechend höhere Belastungsmöglichkeit,
7. kleinere dielektrische Verluste der Kabel mit Gürtelisolierung, bedingt durch die viel kleineren Zwickel,
8. wesentliche Preisermässigung gegenüber dem Rundleiterkabel.

## Der Belastungsausgleich und seine statistische Regelmässigkeit in elektrischen Anlagen.

Von *W. Kummer*, Zürich.

621.311.153

*Die auch in den Häufigkeitskurven betriebsmässiger Spannungsänderungen sichtbare Regelmässigkeit des mit der Belastung veränderlichen Belastungsausgleichs in elektrischen Anlagen wird in bezug auf ihren statistischen Inhalt einer grundsätzlichen Betrachtung unterworfen.*

*L'auteur soumet à un examen critique, au point de vue statistique, la régularité empirique de la compensation de charge, variable selon la charge des installations électriques, compensation également visible dans les courbes de fréquence des variations de tension.*

Unsere im Bull. SEV 1936, S. 124 bis 127, veröffentlichte Untersuchung über die Form der Spannungsänderungen im Elektrizitätswerk und bei den Energieabnehmern führte uns auf die Häufigkeit von Belastungszuständen und damit auch auf die Erscheinung des Belastungsausgleichs und seiner statistischen Regelmässigkeit. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung, mit deren Hilfe diese Regelmässigkeit grundsätzlich berechenbar ist, erscheint indessen einigen Fachleuten der Elektropraxis für diese Aufgabe als ungeeignet. Eine neue Aeusserung in dieser Richtung finden wir soeben in dem 1935 erschienenen Werke «Die Elektrizitätstarife», von G. Siegel und H. Nissel<sup>1)</sup>. Auf S. 88 dieses, übrigens von uns sehr geschätzten Buches finden wir eine uns in ihrer verallgemeinernden Formulierung zum Widerspruch veranlassende Ablehnung der Verwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Diese Ablehnung wird nämlich besonders auch damit begründet, dass nach der Meinung der Autoren die Inanspruchnahme elektrischer Anlagen durch die einzelnen Abnehmer willkürlich sein müsste, um die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu rechtfertigen; weil aber während bestimmter Stunden eine durch Lebensgewohnheiten, betriebliche Umstände und tarifarische Massnahmen bedingte Häufung von Abnehmerleistungen eintrete, sei demgemäss die Anlagenbenutzung nicht mehr willkürlich, weshalb die Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsrechnung ausgeschlossen sei.

Dagegen muss nun geltend gemacht werden, dass die Wahrscheinlichkeitsrechnung, genau wie die ihr auf rein empirischem Gebiete völlig entsprechende, in viele Zweige der Technik seit langem mit Erfolg eingeführte, moderne Grosszahlforschung, die aus statistischen Zahlenreihen hervorgehenden Regelmässigkeiten streng zu formulieren weiss, gleich-

gültig, ob bei der Bildung der den Zahlen zugrunde liegenden Ereignisse Willkür im Spiele ist oder nicht. Dass insbesondere im Belastungsausgleich eine statistisch feststellbare Regelmässigkeit vorliegt, ist übrigens seit Jahrzehnten bekannt. Aus der Form der Häufigkeitskurven, die mit statistischen Zahlenreihen gebildet werden können, lässt sich aber, unabhängig vom Kriterium der Regelmässigkeit, feststellen, ob bei der Bildung der den Zahlen zugrunde liegenden Ereignisse Willkür im Spiele ist oder nicht, und zwar lässt die symmetrische Glockenform der Häufigkeitskurven auf Willkür schliessen, während bei der unsymmetrischen Form Willkür nicht massgebend sein kann. Die Evidenz der Willkür bei der unsymmetrischen Glockenform lehrt der Hinweis auf die Gaußsche «Fehlerkurve», dieses Paradigma einer symmetrischen Glockenkurve; liegt aber den in der Zahlenreihe berücksichtigten Ereignissen ein Zwang zugrunde, so wird die Häufigkeitskurve in die vom Zwang gewiesene, unsymmetrische Form verändert. Die unsymmetrische Form ist als Allgemeinform der Häufigkeitskurven zu betrachten; in ausgeglichener Gestalt wird sie durch Fig. 3 auf S. 126 des Bull. SEV 1936 veranschaulicht und als solche in allgemeiner Weise durch die ebenda mitgeteilte Binomialformel nach J. Bernoulli analytisch bestimmt. Wenn die in dieser Formel vorkommende Abnehmerzahl  $Z$  sehr gross wird und wenn zugleich die in der Formel weiter erscheinende relative Abnehmer-Benutzungsdauer  $t_a$  nahe der Zahl 0,5 liegt, geht die Gleichung nach J. Bernoulli in jene von K. F. Gauss über; d. h. aus dem Allgemeinform der unsymmetrischen Häufigkeitskurve folgt der Sonderfall der symmetrischen «Fehlerkurve». Da in elektrischen Anlagen Zahlenwerte  $t_a$  von etwa 0,5 kaum je vorkommen, indem die vorkommenden Werte  $t_a$  stets wesentlich kleiner sind, wird man auch kaum jemals symmetrische Häufigkeitskurven aus den Watt-

<sup>1)</sup> Besprochen im Bull. SEV 1935, S. 242.

meter-Registrierdiagrammen normaler elektrischer Anlagen feststellen können; diese werden eben niemals in absolut freier Willkür, sondern tatsächlich unter dem Einfluss von Lebensgewohnheiten, von betrieblichen Umständen und tarifarischen Massnahmen benutzt; nichtsdestoweniger findet der durch lange Erfahrung bekannte Belastungsausgleich statt, dessen statistische Regelmässigkeit von jeher auffiel; dass die durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung gebotene Behandlung die adaequate Berechnungsart sein muss, ist evident.

Wir können also feststellen, dass sich allgemein und grundsätzlich nichts Stichhaltiges gegen die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf

die Probleme des Belastungsausgleichs, insbesondere also gegen eine Vorausberechnung des Belastungsfaktors und des Verschiedenheitsfaktors einwenden lässt; so spielt auch die Frage, ob in der Benützung der Anlagen Willkür im Spiele sei oder nicht, gar keine Rolle. Gewiss sind verschiedene bisher unternommene Versuche solcher Vorausberechnung völlig misslungen; andererseits wurden aber, und zwar schon von verschiedenen Seiten, bezügliche Versuche unternommen, die sich für gewisse Typen von Anlagen zu eignen scheinen. Sobald genügend statistisch bearbeitetes Erfahrungsmaterial aus bestehenden Betrieben vorliegt, werden weitere Fortschritte nicht ausbleiben.

## Die Entwicklung der deutschen Elektrizitätswirtschaft in den Jahren 1933 und 1934.

31: 621.311(43)

Das Statistische Reichsamt hat soeben seine Erhebungen über die Entwicklung der deutschen Elektrizitätswirtschaft im Verlauf der Jahre 1933 und 1934 abgeschlossen und im Rahmen derselben auf den verschiedenen Gebieten der Elektrizitätswirtschaft Untersuchungen durchgeführt, die ein klares Bild über den Verlauf der Entwicklung in diesen beiden Jahren bieten. Es ergibt sich daraus, dass die Erzeugung elektrischer Energie seit dem Tiefstand im Jahre 1932 wieder eine stark ansteigende Entwicklung aufwies. Es lag 1933 die Erzeugung um 9 % über dem Stand 1932, im Jahre 1934 um 20 % über dem Stand 1933. Mit einer Gesamterzeugung von 30,7 Milliarden kWh, wovon  $17,4 \cdot 10^9$  kWh in öffentlichen Werken und  $13,3 \cdot 10^9$  kWh in Eigenanlagen, im Jahre 1934 wurde der Höchststand des Jahres 1929 bereits leicht überschritten. Im Jahre 1935 hat sich der Anstieg fortgesetzt. Nach der Monaterhebung bei 122 Werken, mit der reichlich die Hälfte der Erzeugung aller Werke erfasst wird, war die Erzeugung um 14 % höher als 1934; die Gesamterzeugung kann danach für das Jahr 1935 auf rund 35 Milliarden kWh geschätzt werden.

Der Aufschwung der Elektrizitätswirtschaft im Jahre 1933 wurde überwiegend von den Eigenanlagen getragen, deren Erzeugung in der Krise stärker als die der öffentlichen Werke zurückgegangen war. Ihre Erzeugung stieg von 1932 auf 1933 um 11 %, die der öffentlichen Werke dagegen nur um 8 %. Im Jahre 1934 haben beide Gruppen gegen das Jahr 1933 gleichmässig um 20 % zugenommen. Die öffentlichen Werke hatten somit im weiteren Verlauf des gesamten wirtschaftlichen Aufstieges eine stärkere Belebung ihrer Erzeugung als die Eigenanlagen. Die installierte Generatorenleistung sämtlicher Werke ist 1933 gegenüber 1932 noch leicht, und zwar bei den Eigenanlagen, zurückgegangen. Im Jahre 1934 ist sie dagegen um 524 000 kW auf rund 13,4 Millionen kW gestiegen. Dieser Zuwachs entfällt mit 155 000 kW auf die öffentlichen Werke und mit 369 000 kW auf die Eigenanlagen. Allerdings ist die Zunahme bei den Eigenanlagen zum grössten Teil statistisch-methodisch bedingt, da für diese Werke im Jahre 1934 die Erhebung erweitert wurde; zum Teil beruht sie jedoch auch darauf, dass stillgelegte Erzeugermaschinen wieder in Betrieb genommen und verschiedentlich neue Anlagen errichtet wurden. Als Erzeuger elektrischer Energie kamen im Jahre 1934 in den öffentlichen Werken 2058 Gleichstrommaschinen mit 221 000 kW, 54 einphasige Wechselstrommaschinen mit 182 000 kW, 32 zweiphasige Wechselstrommaschinen mit 17 000 kW und 2260 dreiphasige Wechselstrommaschinen mit 7 751 000 kW in Betracht, in den Eigenanlagen 6526 Gleichstrommaschinen mit 743 000 kW, 60 einphasige Wechselstrommaschinen mit 11 000 kW, 64 zweiphasige Wechselstrommaschinen mit 9000 kW und 4754 dreiphasige Wechselstrommaschinen mit 4 465 000 kW. Es verfügen so die 4404 verschiedenen Erzeuger in den öffentlichen Werken im Jahre 1934 über

8 171 000 kW, die 11 404 verschiedenen Erzeuger der Eigenanlagen über 5 282 000 kW. Die Ausnutzung der Kraftanlagen, die während der Krise stärker gesunken war, hat sich infolge des Anstiegs der Erzeugung gebessert. Für die öffentlichen Elektrizitätswerke ergaben sich im Jahre 1934 durchschnittlich 2133 Benutzungsstunden der installierten Leistung gegen 1678 im Jahre 1932, für die Eigenanlagen 2543 gegen 2056 im Jahre 1932. Der stark vermehrte Elektrizitätsbedarf hat auch zu einem Ansteigen der höchsten Belastung der Erzeuger geführt. Sie betrug im Jahr 1934 bei den öffentlichen Werken im Reichsdurchschnitt 61 % der installierten Leistung gegenüber 51 % in den Jahren 1933 und 1932.

Während in den öffentlichen Werken im Jahre 1932 die festen Brennstoffe 78 % (in den Eigenanlagen 74,8 %) der gesamten Kraftquellen ausmachten, 1933 79,8 % (74,3 %) und 1934 80,5 % (72,3 %), entfielen auf das Wasser 1932 21,2 % (11,7 %), 1933 19,5 % (11,3 %) und 1934 18,8 % (10,1 %); auf das Gas 1932 0 % (11 %), 1933 0,2 % (12,3 %) und 1934 0,2 % (15,7 %) und auf sonstige Kraftquellen 1932 0,8 % (2,5 %), 1933 0,5 % (2,1 %) und 1934 0,5 % (1,3 %). Die festen Brennstoffe setzten sich aus Steinkohle, Braunkohle und Mischung zusammen. Auf die öffentlichen Werke entfielen 1932 32,3 % Steinkohle (in den Eigenanlagen 42,3 %), 45,5 % (30,4 %) Braunkohle und 0,2 % (2,1 %) Mischung, 1933 31,4 % (42,2 %), bzw. 48,3 % (30,8 %), bzw. 0,1 % (1,3 %), 1934 31,0 % (40,6 %), bzw. 49,4 % (30,7 %), bzw. 0,1 % (1,0 %).

Die Tendenz zu immer stärkerer Zusammenfassung der Erzeugung bei den wenigen Grosskraftwerken mit über 100 000 kW Leistung hielt an. Es entfielen 1934 2,4 % der öffentlichen Erzeugung auf öffentliche Werke mit einer Leistungsfähigkeit bis zu 1000 kW,

4,9 %	d. öffentlichen Erzeugung auf öffentliche Werke mit einer Leistungsfähigkeit von	1 000 bis	5 000 kW
3,2 %	d. öffentlichen Erzeugung auf öffentliche Werke mit einer Leistungsfähigkeit von	5 000 bis	10 000 kW
23,3 %	d. öffentlichen Erzeugung auf öffentliche Werke mit einer Leistungsfähigkeit von	10 000 bis	50 000 kW
18,9 %	d. öffentlichen Erzeugung auf öffentliche Werke mit einer Leistungsfähigkeit von	50 000 bis	100 000 kW
47,3 %	d. öffentlichen Erzeugung auf öffentliche Werke mit einer Leistungsfähigkeit von	über 100 000	kW

Unter den Eigenanlagen, die eine durchschnittlich höhere Ausnutzung erzielen als die öffentlichen Werke, da diese mit Rücksicht auf unvorhergesehene Belastungen und die star-