

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

~~26~~

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Von
Prof. I. Herrmann

IV
Die Erzeugung und Verteilung
der elektrischen Energie

Mit 99 Figuren im Text und 16 Tafeln



657

3904762

Elektrotechnische Bibliothek

aus der Sammlung Götschen

Stand vom Frühjahr 1932

Jeder Band in Leinwand geb. RM. 1.80

Bei gleichzeitiger Abnahme gleicher oder inhaltlich zusammengehöriger
Bände treten folgende Gesamtpreise in Kraft: 10 Exemplare RM. 16.—;

25 Exemplare RM. 37.50; 50 Exemplare RM. 70.—

Auf diese Preise ab 16. Dezember 1931 bis auf weiteres ein Nachlaß von 10%

- Elektrotechnik. Einführung in die Starkstromtechnik**
von Prof. I. Herrmann.
- I. Die physikalischen Grundlagen. Mit 88 Fig. u. 16 Taf. Nr. 196
II. Die Gleichstromtechnik. Mit 121 Figuren u. 16 Tafeln. Nr. 197
III. Die Wechselstromtechnik. Mit 153 Figuren u. 16 Tafeln. Nr. 198
IV. Die Erzeugung u. Verteilung der elektrischen Energie.
Mit 100 Figuren und 16 Tafeln Nr. 657
- Luftlektrizität** von Dr. Karl Köhler. Mit 19 Abbild. . . . Nr. 649
- Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht** von Prof.
Dr. A. Nippoldt. Mit 18 Figuren und 7 Tafeln Nr. 175
- Radioaktivität** von Prof. Dr. P. Ludewig. Mit 37 Abb. Nr. 317
- Physikalische Tabellen** von Dr. A. Leick Nr. 650
- Technische Tabellen und Formeln** von Prof. Dr.-Ing.
W. Müller. Mit 105 Figuren Nr. 579
- Englisch für Techniker.** Ein Lese- und Übungsbuch
für Ingenieure von Albany Featherstonhaugh und Dipl.-
Ing. C. Volk. 2 Teile. Mit 44 Figuren Nr. 705, 706
- Die symbolische Behandlung der Wechselströme**
von Dipl.-Ing. Gerhard Hauffe. Mit 40 Fig. Nr. 991
- Schaltanlagen in elektrischen Betrieben** von Prof.
Dr. F. Nießhammer.
- I. Allgemeines. Schaltpläne. Einfache Schalttafeln.
Mit 46 Figuren Nr. 796
II. Schaltanlagen für hohe Spannungen und große Lei-
stungen. Schaltkästen. Schutzvorrichtungen. Mit 53 Fig. Nr. 797
- Hochspannungs-Erreileitungen** von Dr.-Ing. Kurt
Draeger. Nr. 1013
- Die elektrischen Schalttafeln** Nr. 1019
- Die Technischen Tabellen** Nr. 1023
- Elektrische Berechnungen** Nr. 711
- Einführung in die Elektrotechnik**
Dr.-Ing. Nr. 609, 940

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298062

Die Bände der „Sammlung
Göschen“ kosten jetzt in Lei-
nen gebunden RM 1.62.
Für Mengenbezüge wende
man sich an eine Buchhand-
lung oder an den Verlag.

WALTER DE GRUYTER & CO.
Berlin W 10 und Leipzig

Ströme und Spannungen in Starkstromnetzen von Diplom-Elektro-Ing. Josef Herzog und Prof. Feldmann. Mit 68 Abbild.	Nr. 456
Die zweckmäßigste Betriebskraft v. Ober-Ing. Fr. Barth. I. Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschiedene Kraft- maschinen. Mit 19 Figuren	Nr. 224
II. Gas-, Wasser- und Wind-Kraftanlagen. Mit 24 Abb.	Nr. 225
III. Elektromotoren. Betriebskostentabellen. Graph. Darstellungen. Wahl der Betriebskraft. Mit 13 Abb.	Nr. 474
Elektromotorische Betriebe (Grundlagen für die Be- rechnung) von Prof. Dr.-Ing. A. Schwaiger. Mit 25 Abb.	Nr. 827
Elektrische Bahnen von Prof. Dr.-Ing. A. Schwaiger. Mit 45 Abbild.	Nr. 958
Straßenbahnen von Dipl.-Ing. A. Boshart. Mit 72 Abb.	Nr. 559
Elektrokarren, Automobile. Personen- und Lastauto- mobile sowie Elektrokarren. Von Ing. R. Thebis. Mit 77 Abb.	Nr. 948
Die Elektrizität im Dienste der Kraftfahrzeuge von Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Mit 46 Figuren.	Nr. 815
Die Elektromotoren, ihre Arbeitsweise u. Verwendungs- möglichkeit von Prof. Dr. F. Niethammer. I. Gleichstrommotoren, Mehrphas. Synchron- u. Asyn- chronmotoren. Mit 56 Figuren	Nr. 798
II. Kommutatormotoren. Mech. Aufbau. Wirtschaftlich- keit u. a. Mit 62 Figuren	Nr. 799
Transformatoren von Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. Mit 66 Abbild. u. 12 Tafeln	Nr. 952
Gleichrichter von Dipl.-Ing. Josef Just. Mit 90 Abb.	Nr. 945
Die Gleichstrommaschine von Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. 2 Bände. Mit 129 Figuren u. 6 Tafeln	Nr. 257, 881
Aufgabensammlung über die Gleichstrommaschine mit Lösungen v. Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. Mit 38 Fig.	Nr. 912
Wechselstromerzeuger von Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. Mit 77 Figuren	Nr. 547
Wechselstrom-Kommutatormaschinen von Ing. Karl Baudisch. Mit 62 Fig. im Text und 20 Abb. auf 12 Tafeln	Nr. 992
Blitzschutz der Gebäude v. Baurat H. Kläber. Mit 39 Abb.	Nr. 982
Elektrische Förderanlagen von Prof. Dr.-Ing. A. Schwai- ger. Mit 30 Abb.	Nr. 678
Elektrische Öfen v. Prof. Dr. Osw. Meyer. Mit 83 Abb.	Nr. 704
Elektrizität im Hause von Prof. Dr. F. Niethammer. Mit 104 Figuren	Nr. 1006
Röntgenstrahlen (Physik, Technik u. Anwendungen) v. Dr. phil. nat. Rich. Herz. Mit 48 Textfig. u. 36 Abb. auf 16 Taf.	Nr. 950
Elektrizitätswirtschaft von Dr.-Ing. R. Fischer. Mit 54 Textfiguren und 8 Tafeln	Nr. 995
Die elektrischen Schweißverfahren von Hch. Krökel und Ing. Hans Niese. Mit 66 Figuren	Nr. 1020
Die elektrische Telegraphie mit Drahtleitung von Prof. I. Herrmann. I. Die Telegraphie mit Morsezeichen. Mit 124 Figuren	Nr. 172
II. Die Typendrucktelegraphen. Mit 76 Textfig. u. 18 Abb. auf 16 Tafeln	Nr. 975

Das Fernsprechwesen I: Grundlagen und Einzelapparate der Fernsprechtechnik von Dipl.-Ing. W. Winkelmann. Mit 65 Abbild.	Nr. 155
Das Fernsprechwesen. II: Fernsprechanlagen für Handbetrieb. Von Ober-Postinspekt. H. Schmidt. Mit 78 Fig.	Nr. 773
— III: Fernsprechanlagen für Selbstanschluß. Von Oberpostinspektor H. Schmidt. Mit 73 Fig.	Nr. 1043
Bildtelegraphie von Prof. Dr. A. Korn. Mit 41 Fig. und 8 Taf.	Nr. 873
Radiotechnik I. Allgem. Einführung von Prof. I. Herrmann. Mit 104 Abbild. im Text und 40 Abbild. auf 16 Tafeln . .	Nr. 888
— II. Wellentelephonie von Dr. Werner Bloch. Mit 80 Abb.	Nr. 946
— III. Die Empfänger von Dipl.-Ing. Hermann Saacke. Mit 82 Abbild.	Nr. 951
— IV. Stromquellen für Röhrenempfangsgeräte, galvanische Elemente, Akkumulatoren und Netzanschlußgeräte von Dr.-Ing. Richard Albrecht. Mit 61 Abbild.	Nr. 966
— V. Die Elektronenröhre von Dipl.-Ing. Otto Stürner. Mit 88 Figuren und 35 Abbild. auf 16 Tafeln	Nr. 974
— VI. Die elektrischen Wellen von Prof. Dr. F. Kiebitz. Mit 28 Figuren	Nr. 1010
— VII. Die Sender von Oberingen. G. Jahn. Mit 52 Abb. im Text und 35 Abb. auf 16 Tafeln	Nr. 1018
Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen von Oberbaurat a. D. S. Scheibner. 2 Bände. Mit 70 Abb. u. 1 Tafel.	Nr. 689, 690
Das elektrische Fernmeldewesen bei den Eisenbahnen von Geh. Baurat K. Fink. Mit 54 Abb.	Nr. 707
Die elektrischen Meßinstrumente. Die Wirkungsweise der gebräuchlichsten Meßinstrumente der Elektrotechnik von Prof. I. Herrmann. Mit 167 Figuren	Nr. 477
Die elektrische Meßtechnik I von Prof. I. Herrmann. Die elektrischen Meßmethoden im allgemeinen. Mit 85 Fig.	Nr. 885
Die elektrische Meßtechnik II von Prof. G. Brion. Die Messungen an elektrischen Maschinen, Transformatoren und Gleichrichtern. Mit 96 Abbildungen	Nr. 886
Physikalische Messungsmethoden von Professor Dr. Wilh. Bahrdt. Mit 54 Figuren	Nr. 301
Elektrizität und Magnetismus von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 35 Figuren	Nr. 78
Wärmestrahlung, Elektronik und Atomphysik von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 16 Figuren	Nr. 1017
Elektrische Schwingungen von Professor Dr. Herm. Rohmann. 2 Bände. Mit 133 Figuren	Nr. 751, 752
Die Akkumulatoren für Elektrizität v. Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Mit 56 Figuren	Nr. 620
Tragbare Akkumulatoren von Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Mit 61 Abb.	Nr. 919
Tarife für den Verkauf elektrischer Arbeit von Dipl.-Ing. Paul Munk. Mit 26 Abbild.	Nr. 969
Technisches Wörterbuch III: Die wichtigsten Ausdrücke der Elektro- und Radiotechnik. Von Obering. Erich Krebs. 1. Teil: Deutsch-Englisch	Nr. 1041
— IV. 2. Teil: Englisch-Deutsch	Nr. 1042
— VII. 3. Teil: Deutsch-Französisch	Nr. 1050
— VIII. 4. Teil: Französisch-Deutsch	Nr. 1051

Sammlung Göschen

Elektrotechnik

Einführung in die Starkstromtechnik

Von

I. Herrmann

Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart

IV

Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie

Kurze Beschreibung der Elektrizitätswerke, der Stromverteilungssysteme und der Leitungsnetze

Mit 99 Figuren im Text und 16 Tafeln
mit 42 Abbildungen

Dritte, neubearbeitete Auflage



W a l t e r d e G r u y t e r & C o .

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung · J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung · Georg Reimer · Karl J. Trübner · Veit & Comp.

Berlin 1932 Leipzig



~~196~~

I-301368

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht,
von der Verlagshandlung vorbehalten.

Archiv-Nr. 11 0657

BRK-B-563/2016

Druck von Walter de Gruyter & Co., Berlin W 10

Akc. Nr.

4444/51

Inhaltsverzeichnis.

Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie.

	Seite
Literaturverzeichnis	4
I. Die Stromerzeugungsanlagen.	
1. Die verschiedenen Arten der Stromerzeugungsanlagen	5
2. Die geschichtliche Entwicklung der Elektrizitätsversorgung	7
3. Die Größe der öffentlichen Elektrizitätswerke	13
4. Die wirtschaftliche Bedeutung der öffentlichen Elektrizitätswerke ..	16
5. Die Wasserkraftwerke	18
6. Die Dampfkraftwerke	23
7. Die Gas- und Ölmaschinenkraftwerke	28
8. Die Speicherung der Energie und die Spitzendeckung	28
9. Die allgemeinen Einrichtungen eines Kraftwerkes	32
II. Die Arten der Stromverteilung.	
10. Allgemeines	34
11. Die einfachen Parallelschaltungssysteme	35
12. Die Spannungsgrenzen bei den einfachen Parallelschaltungssystemen	37
13. Die indirekten Parallelschaltungssysteme	39
14. Die Nulleitersysteme	41
15. Der Vorteil der Nulleitersysteme	44
16. Die Leitungsquerschnitte bei den verschiedenen Parallelschaltungs- systemen	46
17. Die Reihenschaltungssysteme	49
18. Ein kurzer Vergleich der Verteilungssysteme	51
III. Die Schaltanlage.	
19. Allgemeines	52
20. Die Schalter	53
21. Die Sammelschienen	60
22. Die Meß- und Kontrollinstrumente	62
23. Der Überstromschutz	65
24. Die Überspannungen und der Überspannungsschutz	72
25. Der Erdschlußschutz	78
26. Die eigentliche Schaltanlage	80
27. Die Sicherheit der Bedienung	85
28. Die Schaltwarte	86
IV. Das Leitungsnetz.	
29. Die Anordnung eines städtischen Leitungsnetzes	88
30. Das Netz einer Überlandzentrale	89
31. Die Freileitungen	91
32. Die Isolatoren	94
33. Die Leitungsmaste	102
34. Die Kabel	103
35. Die Verlegung der Kabel	108
36. Lange Leitungen für Wechsel- und Drehstrom	110
Alphabetisches Register	113
Verzeichnis und kurze Beschreibung der Tafeln	116

Literaturverzeichnis.

- AEG-Mitteilungen. Monatshefte der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft Berlin.
- BBC-Nachrichten der Brown, Boveri u. Co. in Mannheim.
- Berdelle, I., Reg.-baumeister a. D. Berlin, Der elektrische Speicher in der Stromversorgung, Selbstverlag des Verfassers.
- Burger, O., Berechnung von Drehstrom-Kraftübertragungen. Berlin 1931, Springer. 2. Aufl.
- Deutschlands Elektrizitätswirtschaft. Dresden 1931, W. Limpert. Herausgegeben unter Mitwirkung von Direktionen deutscher Kraftwerke von I. W. van Heys.
- Dräger, Kurt, Hochspannungsfreileitungen. S. G. Nr. 1013. Elektrotechnische Zeitschrift. ETZ, Berlin, Springer.
- Fischer, R. Dr. Ing., Elektrizitätswirtschaft. S. G. Nr. 995.
- Fischer, K. Prof. Dr. Ing., Einführung in die Hochspannungstechnik. S. G. Nr. 609 u. 940.
- Heinzelmann, H., Die elektrischen Kabel. S. G. Nr. 1019.
- Herrmann, I., Elektrotechnik II: Die Gleichstromtechnik. S. G. Nr. 197. —, Elektrotechnik III: Die Wechselstromtechnik. S. G. Nr. 198. —, Die elektrischen Meßinstrumente. S. G. Nr. 477.
- Herzog-Feldmann, Die Berechnung el. Leitungsnetze in Theorie und Praxis. 4. Aufl. Berlin 1928, Springer.
- Holl-Treiber, Die Wasserturbinen. S. G. Nr. 541 und 542.
- Just, J., Die Gleichrichter. S. G. Nr. 945.
- Kesselring, Elektrische Schaltgeräte. Anlasser und Regler. S. G. Nr. 711.
- Klein, Dr. M., Kabeltechnik. Berlin 1928, Springer.
- Kyser, H., Die elektrische Kraftübertragung. 3 Bde. 3. Aufl. Berlin 1930, Springer.
- Munk, Paul, Tarife für den Verkauf elektrischer Arbeit. S. G. 969.
- Niethammer, F. Prof. Dr., Schaltanlagen in elektrischen Betrieben. S. G. Nr. 796 u. 797.
- Roth, A., Hochspannungstechnik. Berlin 1927, Springer.
- Rüdenberg, R., Relais und Schutzschaltungen in el. Kraftwerken und Netzen. Berlin 1929, Springer.
- , Elektrische Hochleistungsübertragung auf weite Entfernung. Berlin 1932, Springer.
- Rziha u. Seidener, Starkstromtechnik, Taschenbuch, 2 Bde. Berlin 1930/31. Wilh. Ernst u. Sohn.
- Sachsenwerk-Mitteilungen, Niedersedlitz (Sa.).
- Siemens-Zeitschrift. Monatliche Veröffentlichungen der Siemens u. Halske A.-G. und der Siemens-Schuckert-Werke A.-G.
- Schleicher, M., Die elektrische Fernüberwachung und Fernbedienung für Starkstromanlagen und Kraftwerke. Berlin 1932, Springer.
- Schönberg-Glunk, Landes-Elektrizitätswerke. München 1926, Oldenbourg.
- Schoof, Fr., Die Technik der elektrischen Installation. S. G. Nr. 1023.
- Strecker, Karl, Hilfsbuch für die Elektrotechnik, Starkstromausgabe. Berlin, Springer.
- VDE-Fachberichte des Verbandes Deutscher Elektrotechniker in Berlin.
- Waltjen, J., Obering. der SSW., Entwurf und Bau von Schaltanlagen für Drehstromkraftwerke. Berlin 1929, Springer.
- Weicker, Dr. Ing. W., Die Entwicklung des Stützenisolators. VDI-Verlag, Berlin NW 7.
- , Bd. 3 der Einzeldarstellungen der Elektrotechnik (Elektrot. Verein, Berlin).
- Zietemann, Prof., Die Dampfturbinen. S. G. Nr. 253, 715, 716.

Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie.

Die Bedeutung der Elektrotechnik für unsere Kultur liegt vor allem darin, daß sie es ermöglicht, Energie für irgendwelche Zwecke in der bequemen Form des elektrischen Stroms käuflich zu erwerben. Man bezieht den Strom vom Elektrizitätswerk, das die elektrische Energie erzeugt und sie an die einzelnen Abnehmer verteilt.

Das vorliegende vierte Bändchen der Elektrotechnik soll die Elektrizitätswerke und ihre Einrichtungen, die gebräuchlichen Arten der Stromverteilung und die zur Verteilung nötigen Leitungsnetze beschreiben.

I. Die Stromerzeugungsanlagen.

1. Die verschiedenen Arten der Stromerzeugungsanlagen.

Eine Maschinenanlage, die dem Zwecke dient, elektrische Energie zu erzeugen und abzugeben, nennt man allgemein eine Stromerzeugungsanlage oder ein elektrisches Kraftwerk. Wird von ihr aus die elektrische Energie einer größeren Zahl verschiedener Stromverbraucher an auseinanderliegenden Stellen zugeführt, so heißt man die Erzeugerstation eine elektrische Zentrale. Aus ihr wird ein Elektrizitätswerk, wenn die Erzeugung der elektrischen Energie vorwiegend zum Zwecke des Verkaufs an andere erfolgt.

Diese Elektrizitätswerke werden nach ihrem Versorgungsgebiet in Städtische Werke und in Überlandwerke eingeteilt. Wie schon der Name sagt, dienen die ersteren hauptsächlich der Versorgung einzelner Städte mit ihren Vororten, die letzteren sind Werke, welche die elektrische Energie über

ausgedehnte Landstrecken verteilen und insbesondere auch das platte Land in ihr weitverzweigtes Leitungsnetz einbeziehen.

Hauptaufgabe aller öffentlichen Elektrizitätswerke ist, dafür zu sorgen, daß die elektrische Energie jedem der angeschlossenen Abnehmer jederzeit zu beliebiger Verwendung und in der gewünschten Menge zur Verfügung steht, wie dies bei einem Gaswerk mit dem Gas oder bei einer Wasserversorgung mit dem Wasser der Fall ist.

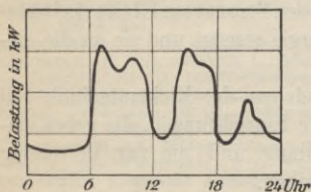


Fig. 1. Die Tagesbelastung eines Elektrizitätswerks.

Die Erfüllung dieser Forderung ist nicht einfach. Wie Fig. 1 zeigt, erfolgt die Stromentnahme aus dem Netz nicht gleichmäßig, sondern sie ist während der Zeit von 24 Stunden fortwährenden Veränderungen unterworfen. Tagsüber ist der Verlauf der Belastung im

wesentlichen durch den industriellen und gewerblichen Energiebedarf, abends und nachts durch den der Beleuchtung bestimmt. Außer diesen täglichen Schwankungen treten erhebliche Schwankungen im Verlaufe eines Jahres auf; erfahrungsgemäß tritt die größte Belastung eines Elektrizitätswerks ungefähr am 21. Dezember auf, da um diese Zeit am späten Nachmittag der Kraftbedarf mit einer bedeutenden Lichtbelastung zusammenfällt. Die Wege, welche man einschlägt, um den daraus erwachsenden Forderungen gerecht zu werden, sind in Kap. 8 dargestellt.

Die weitaus größte Zahl der Elektrizitätswerke erzeugt und verteilt die elektrische Energie bei konstanter Spannung. Dabei unterscheidet man Gleichstromwerke und Drehstromwerke. Die zu verwendenden Spannungen sind vom Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE.) für deutsche An-

lagen genormt. Aus dessen „Normen für Betriebsspannungen elektrischer Starkstromanlagen“¹⁾ kommen für die Elektrizitätswerke in Betracht:

bei Gleichstrom 110, 220, 440 Volt. Spannungen über 550 bis 3000 V sind für Bahnanlagen mit einpoliger Erdung bestimmt.

bei Drehstrom von 50 Hertz (Hz) 125, **220, 380**, 500, 1000, 3000, **6 000**, 10000, **15 000**, 20000, **30 000**, 45000, **60 000**, 80000, **100 000**, 150000, **200 000**, 300000 V. Von ihnen sollen möglichst nur die fett gedruckten Spannungen verwendet werden²⁾.

Die hohen Drehstromspannungen werden nur bei langen Fernleitungen angewendet. Zur Heranführung an die Verbraucher werden sie in Transformatoren- oder Umformer- oder Gleichrichter-Stationen in die niedrigen Spannungen (vor allem 220 und 380 V) umgewandelt.

Die Frequenz bei Wechsel- und Drehstrom ist in Deutschland in der Regel 50 Hz, nur für den Bahnbetrieb wird auch Einphasenstrom von $16\frac{2}{3}$ Hz verwendet.

2. Die geschichtliche Entwicklung der Elektrizitätsversorgung.

Das erste Elektrizitätswerk wurde am 1. Oktober 1882 von Edison zur Beleuchtung von New York eröffnet und hatte zunächst 1284 Glühlampen mit Strom zu versorgen. Berlin folgte im Jahre 1884 mit 200 kW (Kilowatt) und 2500 Glühlampen.

Anfangs benützten die Elektrizitätswerke ausschließlich Gleichstrom. Die Verwendung von Wechsel- und Drehstrom wurde nach verschiedenen kleineren Versuchen, die in Bayern und in der Schweiz angestellt worden sind, vor allem

¹⁾ Normblatt DIN VDE 2.

²⁾ Statt 100, 200 und 300 kV werden vielfach 110, 220 u. 380 kV angewendet, entsprechend den üblichen Niederspannungen von 110, 220 u. 380 V. [1 kV (kilovolt) = 1000 V.]

durch die berühmte wohlgelungene Übertragung von Lauffen a. N. nach Frankfurt a. M. im Jahre 1891 nahegelegt.

Die überbrückte Entfernung betrug 175 km, die angewandten Spannungen waren 16 000 und 30 000 V, die Stromart Drehstrom und die übertragene Leistung 200 kW. Der bei 30 000 V (30 kV) und Vollast erreichte Wirkungsgrad belief sich auf 75%. Die damals von der Maschinenfabrik Oerlikon (bei Zürich) in Lauffen aufgestellten Drehstromgeneratoren waren dort noch bis zum Jahre 1906 ohne Unterbrechung in Betrieb. Einer von ihnen ist jetzt im Deutschen Museum in München aufgestellt, wo auch ein Stück der alten Leitung Lauffen-Frankfurt zu sehen ist.

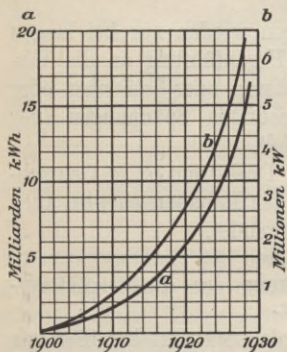


Fig. 2. Die Entwicklung der Stromerzeugung in den Elektrizitätswerken Deutschlands. a) jährliche Stromerzeugung in Milliarden kWh. b) installierte Leistung in Millionen kW.

Seit diesen hochbedeutsamen Versuchen ist der Drehstrom mit dem Gleichstrom erfolgreich in Wettbewerb getreten und kommt heute für die größeren Entfernungen, also vor allem für die Überlandzentralen ausschließlich in Betracht. Man verteilt die elektrische Energie von einem solchen Werk aus über weite Gebiete mit Entfernungen von Hunderten von Kilometern. Für sehr große Energien und sehr lange Übertragungen kommt in neuerer Zeit der hochgespannte Gleichstrom in Frage, worüber in

Kap. 17 einiges gesagt ist.

Die ganz außerordentliche Entwicklung der Elektrizitätsversorgung seit 1900 soll für Deutschland durch Fig. 2 angedeutet werden. Sie zeigt die Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung in Kilowattstunden (kWh) und der in den Kraftwerken eingebauten Leistung in kW bei den öffentlichen Werken Deutschlands. Die Unstetigkeiten des Verlaufs,

welche sich als Folge des Krieges und der Inflation einstellten, sind dabei vernachlässigt.

Die öffentliche Stromerzeugung ist von ungefähr $\frac{1}{4}$ Milliarden kWh im Jahre 1900 auf rund 16 Milliarden kWh — also auf ungefähr das 64fache — im Jahre 1928 gestiegen. Während 1900 die öffentliche Stromerzeugung je Einwohner rd. 4 kWh pro Jahr betrug, stieg sie auf rd. 250 kWh im Jahre 1930. Dieselbe Erscheinung zeigt die Entwicklung der in den Kraftwerken „installierten“, d. h. aufgestellten und deshalb zur Benutzung verfügbaren Leistungen. Ein Vergleich mit den Vereinigten Staaten von Nordamerika zeigt, daß wir in Deutschland noch eine weitere Steigerung zu erwarten haben.

Bei Vorstehendem sind jedoch die selbständigen Kraftwerke der Industrie, ihre „Eigenanlagen“, nicht berücksichtigt, denen in Deutschland ungefähr dieselbe Bedeutung zukommt, wie den öffentlichen Werken. Diese Eigenanlagen gehören meist der Eisenhütten- und der chemischen Industrie an und treten oft in strengen Wettbewerb mit den öffentlichen Werken. Meist sind sie infolge der Verwendung von Abgasen (z. B. Hochofengas) und der Möglichkeit, große Mengen Abdampf für Heizzwecke auszunutzen, imstande, elektrische Energie zu sehr niedrigem Preis zu liefern.

Die großen Werke haben nun nicht immer alle ihre Stromerzeuger in einer einzigen Anlage vereinigt, vielmehr sind diese entsprechend der allmählichen Entwicklung an verschiedenen Stellen des Versorgungsgebiets aufgestellt. Außerdem müssen dort, wo entfernte Wasserkräfte oder Kohlengruben ausgenutzt werden, die Kraftwerke durch lange Hochspannungsfernleitungen mit dem Versorgungsgebiet verbunden werden.

In neuerer Zeit geht man in weiterer Entwicklung dazu über, mehrere Großkraftwerke durch Fernleitungen miteinander elektrisch zu verbinden. Dieser Zusammenschluß wirkt sich in mehrfacher Hinsicht wirtschaftlich und betriebstechnisch günstig aus. Versagt aus irgend einem Grunde ein

Großkraftwerk oder ein Teil desselben, so kann infolge des Zusammenschlusses ein anderes Kraftwerk die Stromlieferung des gestörten mit übernehmen. Das fremde Werk dient in diesem Falle als Reserve. Ohne solchen Zusammenschluß wäre die Stromlieferung entweder zeitweise unterbunden oder man wäre gezwungen, Reservemaschinen aufzustellen, welche wegen ihrer niedrigen Benutzungsdauer sehr unwirtschaftlich arbeiten würden. Der Zusammenschluß ermöglicht somit eine bedeutende Ersparnis an Reserven.

Die Wasserkraftwerke können nicht immer dieselben Leistungen abgeben, sondern wechseln darin je nach der Stärke ihres Wasserlaufes. So führen z. B. die Alpenflüsse im Winter geringe Wassermengen, während sie im Sommer infolge der Schneeschmelze gewaltig anschwellen. Die dabei gewonnene Energie wäre nun gar nicht oder nur sehr schwer nutzbringend verwendbar, wenn man sie nicht durch den Zusammenschluß mit Dampfkraftwerken in deren Gebiet übertragen würde. Dadurch können die Kohlenvorräte sparsam bewirtschaftet werden. Andererseits können die von Wasserkraftwerken versorgten Gebiete zu Zeiten geringer Wasserführung oder bei Eintritt von Ereignissen höherer Gewalt (starke Vereisung, Hochwasser usw.) sich aus den Dampfkraftwerken versorgen. Ein eindrucksvolles Beispiel hierfür bietet die durch das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk (RWE), das Badenwerk und das Bayernwerk durchgeführte Verbindung zwischen den Alpen (Vermuntwerk bei Parthennen, Walchenseewerk), dem Mittelgebirge (Schwarzwald, Schluchsee- und Schwarzenbachwerk) und den Kohlengebieten des Rheinlandes (Goldenbergwerk) (Fig. 3).

So werden die Länder von langen Leitungen durchzogen, die man „Landessammelschienen“ oder „Energist Straßen“ nennt. Auf sie arbeiten die Großkraftwerke und speisen mit den höchsten Spannungen von 110, 220 und 380 kV die



Fig. 3. Hochspannungsnetz der RWE-Betriebe.

Unterwerke (Umspannwerke). Diese liefern die Energie mit niedrigerer Hochspannung (15, 30 und 60 kV) an die Überlandwerke ab. An die Landessammelschienen sind somit mittelbar oder unmittelbar fast alle Stromerzeugungs- und Stromverteilungsanlagen eines Landes angeschlossen. Neben der Ersparnis an teuren Reserven ist durch diese Maßnahme die Möglichkeit gegeben, die Gesamtbelastung planmäßig so auf die einzelnen Werke zu verteilen, daß der Betrieb möglichst wirtschaftlich wird. Dabei werden in diesen Großkraftnetzen alle Werke mit hohen Anlage-, aber geringen Betriebskosten zu dauernder Stromlieferung herangezogen (A. u. B in Fig. 4). Es sind dies besonders die Flußkraftwerke ohne Speichermöglichkeit (A) und die mit höchster Wärmeausnutzung arbeitenden modernen Dampfkraftwerke (B).

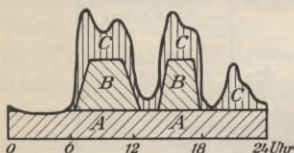


Fig. 4. Die Lastverteilung in einem Großkraftnetz. A: Laufkraftwerke.
B: Moderne Dampfkraftwerke.
C: Spitzenkraftwerke.

Dagegen dienen die Werke mit geringeren Anlagekosten, aber hohen Betriebskosten (Hochdruck- und Pumpspeicherwerke, ältere Dampfwerke, Dieselmotoren) zur Deckung des schwankenden Bedarfes (C).

Durch diese Maßnahme wird es möglich, die Grundlast billig zu erzeugen. Denn es handelt sich um dauernde Vollbelastung großer Maschinensätze mit gutem Wirkungsgrad. Die erhöhten Kosten der Spitzenbelastung fallen nicht merklich ins Gewicht, da deren Benutzungsdauer ja gering ist. Werke, die ohne den Anschluß an solche Sammelleitungen ganz unwirtschaftlich arbeiten würden, wie veraltete kleinere Dampfkraftwerke und die an den künstlichen Schiffahrtsstraßen gelegenen ganz unbeständigen Wasserkraftanlagen erhalten durch den geschilderten Zusammenschluß eine volkswirtschaftliche Daseinsberechtigung.

Die bei der Weltkraftkonferenz vom Jahre 1931 aufgetauchten Pläne zielen mit dem Projekt einer europäischen Sammelschiene auf eine planmäßige Bewirtschaftung ganzer Kontinente hin.

3. Die Größe der öffentlichen Elektrizitätswerke.

Überblickt man die Statistik der Elektrizitätswerke für Deutschland, wie sie vom Verband Deutscher Elektrotechniker und von der Vereinigung der Elektrizitätswerke aufgestellt wird, so findet man Elektrizitätswerke der verschiedensten Größe. Von der kleinen Mühle an, in der eine Dynamomaschine von einem 15 pferdigen Wasserrad angetrieben wird und die mit Hilfe einer kleinen Akkumulatorenbatterie den Strom für die Beleuchtung eines Schwarzwalddörfchens liefert, bis zu dem riesigen Goldenbergwerk in Knapsack bei Köln mit einer Gesamtleistung von 500000 kW sind alle Größen vertreten.

Im Jahre 1928 bestanden in Deutschland 139 Werke, von denen jedes eine Leistung von mehr als 10000 kW besaß. Sie allein lieferten 87⁰/₀ der gesamten deutschen öffentlichen Stromerzeugung von 16 Milliarden kWh. Daneben wurde in Eigenbetrieben etwa die gleiche Menge elektrischer Energie erzeugt. Vier öffentliche Elektrizitätswerke hatten 1928 eine Leistung von mehr als 100000 kW und erzeugten etwa $\frac{1}{4}$ des gesamten Stromes in Deutschland.

Das Goldenbergkraftwerk ist heute mit seinen 500000 kW das größte Dampfkraftwerk Europas. Es gehört zu dem RWE und ist ein Beispiel für die im vorigen Kapitel geschilderte Entwicklung der neuzeitlichen Elektrizitätsversorgung. Es wurde im Jahre 1914 unmittelbar neben Braunkohlengruben erbaut, wird mit der aus ihnen geförderten minderwertigen Rohbraunkohle betrieben und dient als Grundbelastungswerk für die zahlreichen früher entstandenen Kraftwerke des ausgedehnten RWE. Ein Teil der für hochwertigen

Brennstoff eingerichteten Werke wird nachts ganz still gelegt. Um das Goldenbergwerk und einen Teil dieser übrigen Werke als Grundbelastungswerke während der Tages- und Nachtzeit betreiben zu können, wurde vom RWE im Jahre 1929 das Pumpspeicherwerk Herdecke in Westfalen (Koepchen-Werk) mit einer Gesamtleistung von 140000 kW während 4,2 Std., also einer täglichen Energielieferung von rd. 580000 kWh, am Hengsteysee erstellt (vgl. Fig. 3 S. 11 u. Tafel III und IV). Im Jahre 1930 betrug die gesamte Maschinenleistung des RWE rd. 1,3 Millionen kW bei einer jährlichen Stromabgabe von 2,8 Milliarden kWh.

In der gleichen Weise werden auch die Berliner Elektrizitätswerke (Bewag) mit einer Gesamtbelastung von 720000 kW und einem Jahresverbrauch 1929 von 1,55 Milliarden kWh betrieben. Als Grundbelastungswerk diente früher das Großkraftwerk Zschornowitz zwischen Wittenberg und Bitterfeld, das der Elektrowerke AG. (Reichseigentum) gehört. Dieses Kraftwerk besitzt heute 8 Dampfturbogeneratoren mit je 16000 kVA und 2 mit je 100000 kVA Leistung, die aus den unmittelbar dabei gelegenen Braunkohlengruben von Golpa mit billigem Brennstoff versorgt werden. Die Verbindung mit Berlin ist durch eine 130 km lange 100 kV-Leitung hergestellt. Heute hat dieses Werk jedoch seinen Charakter als Grundlastwerk für die Reichshauptstadt verloren, da diese Aufgabe dem Ende 1926 in Betrieb genommenen Großkraftwerk Klingenberg (Tafel I) in Berlin zugeteilt wurde. Der Hauptgrund für diese Umstellung lag in der erhöhten Sicherheit der Stromversorgung durch ein an der Stadtperipherie gelegenes Werk gegenüber einer mit Fernleitungen durchgeführten Übertragung. Es besitzt 3 Dampfturbogruppen von je 88000 kVA.

Weiter dienen noch zur Befriedigung des Bedarfes der Reichshauptstadt das im Herbst 1930 fertiggestellte Kraftwerk „West“ mit einer installierten Leistung von 228000

kW, aufgelöst in 6 Hauptmaschinen von je 34000 kW und 2 Hausturbinen von je 12000 kW, und das Kraftwerk Charlottenburg, das rund 50000 kW Frischdampfturbinenleistung und eine ihm angegliederte Ruthsspeicheranlage von 40—50000 kW Leistung besitzt. Die älteren, kleineren Werke Berlins sind teils stillgelegt, teils unterstützen sie die Hauptkraftwerke zur Spitzendeckung.

Eine ähnliche Entwicklung kann man bei den Wasserkraftwerken verfolgen. Auch hier werden immer gewaltigere Anlagen mit immer größeren Turbinensätzen gebaut, die als Grundbelastungswerke für ein weitverzweigtes Abnehmernetz dienen. Einige Angaben über die großen deutschen Werke dieser Art sollen ein Bild von der rastlosen Entwicklung auch auf diesem Gebiete geben.

Das bekannteste Werk dieser Art ist das Walchensee-
werk, das mit einem Gefälle von 200 m bei einer Höchstleistung von 100000 kW jährlich 185 Millionen kWh erzeugt ¹⁾. Es besitzt den Charakter eines Speicher-Spitzenkraftwerkes und dient in erster Linie der Überlandversorgung und dem Vollbahnbetrieb Bayerns. Bemerkenswert sind außerdem die ihre Energie ebenfalls in das Netz des Bayernwerkes liefernden Werke an der Isar (Aufkirchen, Eitting, Pfrombach) und das an der Donau unterhalb Passau gelegene Kachletwerk.

Das Murg-Schwarzenbachwerk ist eine Hochdruckanlage im badischen Schwarzwald, das Spitzenwerk der Stromversorgung Badens. Dazu gehören die jetzt (1932) teilweise ausgebauten Anlagen des Schluchseewerkes. Es dient neben seiner eigentlichen Aufgabe noch als Ausgleichswerk für die Laufkraftwerke des Oberrheins, von denen besonders das Werk Ryburg-Schwörstadt zu nennen ist. Das Schluchseewerk nützt einerseits die Zuflüsse des Schluchsees aus, andererseits erhält es aus den unteren Kraftwerken in betriebsschwachen Zeiten das Wasser zurückgepumpt, um

¹⁾ Vgl. S. G. Nr. 198: Herrmann, Elektrotechnik III, Tafel I.

es zur Zeit der großen Belastungsspitzen den Turbinen wieder zuzuführen. Das gesamte Gefälle vom Schluchsee bis zum Rhein beträgt 600 m und ist in 3 Stufen unterteilt. Die oberste Stufe, das Kraftwerk Häusern, mit 200 m Gefälle und 140000 kVA Maximalleistung besteht aus vier Maschinensätzen. Jeder Satz besteht aus einer Francisturbine, einer Hochdruck-Zentrifugalpumpe und einem Drehstromgenerator von 32000 kVA Leistung.¹⁾

Das größte Niederdruckkraftwerk ist das oben schon erwähnte Großkraftwerk Ryburg-Schwörstadt am Oberrhein zwischen Säkingen und Basel. Es befindet sich zur Hälfte in schweizerischem Besitz. Seine Gesamtleistung beträgt 140000 kW, aufgeteilt in 4 Maschinensätze vertikaler Bauart von je 32000 kVA Leistung. Diese langsam laufenden Generatoren und deren Antriebsturbinen (Kaplanturbinen) sind ihren Abmessungen nach die größten bis jetzt in der Welt gebauten Maschinen.

4. Die wirtschaftliche Bedeutung der öffentlichen Elektrizitätswerke.

Die Elektrizitätswerke waren zuerst vor allem für Beleuchtungszwecke bestimmt. So waren im Jahre 1895 von rund 36000 in Deutschland angeschlossenen kW 31000 kW, d. h. 86% für Beleuchtung bestimmt. Schon 1900 war aber dieser Prozentsatz bei einem Gesamtanschluß von 252000 kW auf 62%, im Jahre 1905 bei einem Gesamtanschluß von 655000 kW auf 57% heruntergegangen. Am 1. April 1913 waren von den 3800000 angeschlossenen kW nur noch 35% für Lichtzwecke verwendet.

Die Bedeutung der öffentlichen Elektrizitätswerke für den Kraftbetrieb ist vor allem eine dreifache.

In erster Linie sind die Elektromotoren jedem anderen

¹⁾ Die Leistung wird bald in kVA, bald in kW angegeben, vgl. S. G. Nr. 198: Herrmann, Elektrot. III, S. 51.

Motor gegenüber ungemein einfach und anspruchslos in der Bedienung und in der Instandhaltung. Sie sind jederzeit betriebsbereit, können ohne Umstände und ohne Vorbereitung in Betrieb genommen werden und laufen fast geräuschlos. Sie vertragen ohne Schaden für kurze Zeit eine ganz wesentliche Überlastung, lassen sich leicht regulieren und in ihrer Drehrichtung umkehren. Zudem sind sie vollkommen geruchlos.

In zweiter Linie kommt der niedrige Anschaffungspreis und die überaus einfache Lösung der Platzfrage. Ein Elektromotor kann jedem Betrieb in seiner Aufstellung ohne Schwierigkeit angepaßt werden und läßt sich ohne große Fundamente in leichtester Weise montieren. Auch läßt sich ein einmal angeschaffter Motor ohne weiteres versetzen und anderweitig verwenden, eine Vielseitigkeit, die keine andere Motorgattung in ähnlicher Weise zeigt.

In dritter Linie steht der billige Betrieb, selbst bei verhältnismäßig hohen Tarifsätzen für den Bezug der kWh. Dieses letztere gilt allerdings in der Regel nur für kleine Motoren, wie sie für Kleingewerbetreibende, Handwerker und kleine Landwirte in Betracht kommen. Bei ihnen ist mit einer Benützung der Kraftmaschinen nur während 150 bis höchstens 400 Stunden im Jahre zu rechnen; und bei so kleinen Benützungszeiten kann kein anderer Motor ebenso billig arbeiten wie der Elektromotor.

Aus diesen drei Gründen ist die ganz außerordentliche Entwicklung der Kraftanschlüsse an die Elektrizitätswerke leicht zu verstehen.

Bezüglich der Beleuchtung herrschte ein scharfer Konkurrenzkampf zwischen den Gaswerken und den Elektrizitätswerken. Für die Konsumenten hatte das die angenehme Folge, daß die Lichtquellen für Gas und Elektrizität immer besser und billiger wurden, und für die Volkswirtschaft bestand das bedeutsame Ergebnis darin, daß der Verbrauch an dem aus

dem Ausland einzuführenden Petroleum immer mehr zurückging. Heute ist der Wettbewerb zwischen Gas- und elektrischer Beleuchtung durch die Einführung der elektrischen Glühlampen mit höherem Wirkungsgrad, der sogenannten Halbwattlampen, endgültig zugunsten der letzteren entschieden.

Eine ganz besondere Bedeutung für unser Kulturleben erhalten die Elektrizitätswerke dadurch, daß, wie schon erwähnt, durch sie der Verschleuderung der natürlichen Energiequellen vorgebeugt wird. Deren Ausnützung wird sogar immer wirtschaftlicher, je größer die Anlagen werden. Denn die Verluste einer Dampfanlage sind prozentual um so geringer, je größer diese ist. Beispielsweise wiesen die Berliner Elektrizitätswerke im Jahre 1919/20 bei einer Leistung von 213500 kW nur 18,5% Verluste auf, während von kleinen Anlagen mit 250 bis 500 kW feststeht, daß sie durchweg etwa 35% Verluste zu verzeichnen haben. Außerordentlich niedrig sind die Verluste in Wasserkraftanlagen, wo sie nur 2 bis 3% betragen.

Die Elektrizitätswerke gestatten auch die Ausnutzung von seither unbeachteten Energiequellen. Dahin gehören vor allem die großen Torfmoore in bestimmten Gegenden der norddeutschen Tiefebene, von denen man berechnet hat, daß sie imstande seien, den Stromverbrauch für ganz Norddeutschland für 250 Jahre zu decken. Im Auricher Wiesmoor und im Schweger Moor sind zwei große Werke im Betrieb.

5. Die Wasserkraftwerke (Tafel I und III).

Die Wasserkraftwerke haben den großen Vorteil, daß ihr Betriebsstoff, das Wasser, nichts kostet und daß die Ausgaben für die Wartung verhältnismäßig niedrig sind. Dagegen sind die Wasserbauten (Wehre, Staubecken, Ober- und Unterwasserkanal), insbesondere bei kleinem Gefälle und großen Wassermengen, sehr teuer, so daß der genannte Vorteil

durch Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals zum großen Teil wieder aufgehoben wird. Wirtschaftlich sind infolgedessen die Wasserkraftanlagen den Dampfkraftwerken nur dann überlegen, wenn einerseits durch das Vorhandensein großer Gefälle die Anlagekosten, auf das ausgebaute kW bezogen, niedrig werden und andererseits der Transport anderer Betriebsstoffe (besonders Kohle) in das mit Strom zu versorgende Gebiet teuer ist. Demzufolge trifft man in Gebirgsländern, die nicht über eigene Kohlenlager verfügen (Schweiz, Skandinavien) viele bedeutende Wasserkraftwerke.

Den Wasserkraften haften noch zwei weitere Nachteile an: einmal die großen Schwankungen, denen die verfügbare Wassermenge bei fast allen Flußläufen unterworfen ist, und dann die Notwendigkeit, die Werke dort zu erstellen, wo das Gefälle ausgenützt werden kann.

Die Beschränkung an den Ort ist seit der Entwicklung der elektrischen Fernübertragung mit Hochspannung bis zu 380 kV kein großer Nachteil mehr. Den zeitlichen Schwankungen des Wasserzuflusses kann man in verschiedener Weise beikommen. Man tut es einmal dadurch, daß man solche Stromverbraucher anschließt, die sich den Wasserschwankungen anpassen und dabei keinen Tropfen Wasser ungenützt talab fließen lassen. Dazu eignet sich vor allem die elektrochemische Industrie (Aluminium- und Karbidwerke in der Schweiz und Oberitalien, Luftsalpeterwerke an den Fjorden Norwegens). Solche Anlagen haben in der Regel noch den großen Vorteil, daß sie sich am Orte der Wasserkraft erstellen lassen und auf diese Weise die Fernleitungen entbehrlich machen.

Weiter kann man den Wasserzufluß so regeln, daß er den Energieabnehmern angepaßt wird. Durch Anlage mächtiger Staubecken wird das jeweils unbenützbare Wasser zurückgehalten und zur geeigneten Zeit zur Verfügung gestellt. Solche Staubecken sind in der Form von Talsperren sehr häufig schon aus anderen Gründen nötig, z. B. zur Beseitigung der

Hochwassergefahr, zur Wasserversorgung, zur Lieferung von Ersatzwasser an die Schiffsstraßen. Dabei ergibt sich dann ganz von selbst, gewissermaßen als Nebenprodukt, eine wohlgeordnete Ausnützung der dabei freiwerdenden Gefällsenergie.

Neuerdings hilft man sich auch dadurch, daß mittels der überschüssigen Wasserkraft Pumpen in Tätigkeit gesetzt werden, die Wasser in einen Hochbehälter drücken, um es zu Zeiten gesteigerten Bedarfes in Hochdruckturbinen ausnützen zu können. Es sind dies die Wasserkraftwerke mit künstlicher Speicherung.



Fig. 5. Das Schema der Francisturbine. S ist das Leitrad, R das Laufrad.

Als Wassermotoren zum Antrieb der Generatoren kommen ausschließlich Turbinen in Frage¹⁾. Ihre Wirkungsweise beruht darauf, daß das ankommende Wasser mit Hilfe einer zweckmäßig geformten Zuleitung (Leitrad, Düse) bei großer Geschwindigkeit auf ein drehbares Laufrad trifft und dadurch

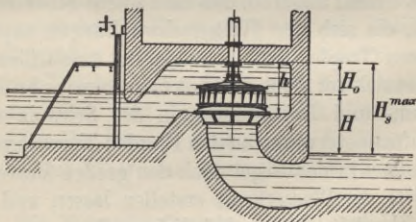


Fig. 6. Eine Francisturbine in ihrer Kammer (vergl. Abb. 51 bei Holl-Treiber II¹⁾).

seine Energie an die Welle dieses Laufrades abgibt. Der von ihr angetriebene Generator wandelt die ihm zugeführte mechanische Energie in elektrische um und gibt sie ins Netz ab.

¹⁾ Vgl. Sammlung Göschen Nr. 541/2: Holl-Treiber, Die Wasserturbinen.

Die gebräuchlichsten Turbinentypen sind heutzutage die Francis- oder Überdruckturbine mit ihrer Abart der Kaplan- oder Freistrahlturbine und die Pelton- oder Freistrahlturbine. Für niedere und mittlere Gefälle kommen in der Regel die Francis- (Fig. 5 und 6) und Kaplan- oder Freistrahlturbinen mit verstellbaren Leitrad- bzw. Laufradschaufeln zur Verwendung, die Kaplan- oder Freistrahlturbinen, bei denen auch die Laufradschaufeln verstellbar sind, hauptsächlich dort, wo der Wasserzufluß stark veränderlich ist, da sich ihr Wirkungsgrad auch bei Teillast nur wenig ändert. Für höhere Gefälle und geringere Wassermengen paßt die Pelton- oder Freistrahlturbine, auf deren Schaufeln das Wasser aus einer Düse in freiem Strahl auftrifft (Fig. 7 und 8). Die Regelung der Turbinen auf konstante Drehzahl bei veränderlicher Belastung erfolgt durch Verwendung von Fliehkraftreglern. Sie sorgen für eine der jeweiligen Belastung angepaßte Stellung der Leitrad- bzw. Düsenöffnungen.

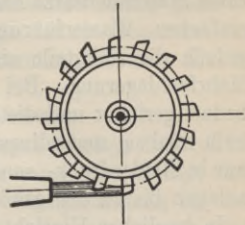


Fig. 7. Das Schema der Pelton-turbine.

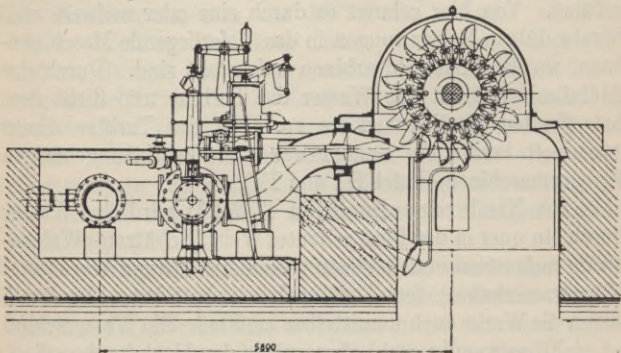


Fig. 8. Eine Pelton-turbine im Gehäuse mit Düse und Regler.

Die Generatoren für den Zusammenbau mit Turbinen werden als Schwungradtypen gebaut, um die durch Belastungsschwankungen verursachten Drehzahlschwankungen in zulässigen Grenzen zu halten.

Die Turbinen mit ihren Generatoren werden teils mit horizontaler, teils mit vertikaler Welle ausgeführt. Die horizontalen Maschinensätze haben die Vorteile einfachen Aufbaues, einfacher Wasserführung und besserer Übersichtlichkeit, jedoch die Nachteile eines größeren Platzbedarfes und der Mehrfachlagerung. Bei vertikaler Anordnung ist der Platzbedarf geringer und die Lagerung der Welle einfacher. Deshalb wird sie neuerdings vielfach vorgezogen, und zwar nicht nur in Niederdruck-, sondern auch in Mittel- und Hochdruckanlagen bis zu den größten Einheiten.

In baulicher Hinsicht unterscheiden sich die Wasserkraftwerke je nach der Größe des auszunutzenden Gefälles sehr wesentlich voneinander.

Die Hochdruckwerke haben meist einen oben am Berg hang gelegenen Ausgleichbehälter, das sogenannte Wasserschloß. Ihm wird das Wasser aus dem fast immer vorhandenen größeren oder kleineren Stausee durch einen Stollen zugeführt. Von hier gelangt es durch eine oder mehrere steil herabgeführte Rohrleitungen in das tieferliegende Maschinenhaus, wo die Freistrahlturbinen aufgestellt sind. Durch das Abflußrohr verläßt das Wasser die Turbine und fließt dem betreffenden Flußbett wieder zu. Mit der Turbine direkt gekuppelt laufen die Generatoren und die dazu gehörigen Erregermaschinen (Tafel III und IV).

In den Niederdruckwerken (Tafel I) wird das Wasser durch ein quer in den Fluß gebautes Wehr (Schützen-, Walzenwehr) aufgestaut und in einem besonderen offenen Werkkanal (Oberwasserkanal) dem Turbinenhaus zugeführt. Manchmal liegen die Werke auch unmittelbar am Fluß. Ein Wasserschloß ist nicht notwendig, wohl aber, wie in den Hochdruckwerken,

Grob- und Feinrechen, sowie die üblichen Absperrvorrichtungen (Schützen). Aus den Turbinen fließt das Wasser durch den Unterwasserkanal wieder ins Flußbett zurück. Die Generatoren wurden früher vielfach von den meist langsam laufenden Niederdruckturbinen mit Kegelrädern oder durch Riemen bzw. Seile angetrieben. Heute wird der direkte Antrieb angewendet, wobei die Generatoren häufig ganz erhebliche Durchmesser bekommen. So hat ein Generator von Ryburg-Schwörstadt einen Außendurchmesser von 13,5 m.

6. Die Dampfkraftwerke.

Die elektrische Energie wird in diesen Werken dadurch erzeugt, daß Kohle unter Kesseln verbrannt und Dampf zum Betrieb von Dampfmaschinen oder Dampfturbinen als den Antriebsmaschinen der elektrischen Generatoren erzeugt wird. Je nach der Art der Kohle werden diese Werke in Braunkohlen- oder in Steinkohlenkraftwerke eingeteilt.

Zur Verfeuerung minderwertiger Brennstoffe, d. h. solcher mit geringem Heizwert und hohem Wasser- und Aschegehalt, also vor allem der Braunkohle, werden die Dampfkraftwerke meist neben den Kohlengruben erstellt, da sich sonst wegen des Kohlentransportes der kWh-Preis zu sehr verteuern würde. Allerdings muß man damit, wie bei den Wasserkraftwerken, oft eine lange, teure und allen Witterungseinflüssen ausgesetzte Fernleitung in Kauf nehmen. Bei Steinkohle als hochwertigem Brennstoff (etwa 7000 kcal/kg und geringem Wasser- und Aschegehalt) baut man auch heute noch das Kraftwerk in die Nähe des Verbrauchsschwerpunktes, wie das Beispiel des Berliner Großkraftwerks Klingenberg der Bewag zeigt (Taf. I).

Die wichtigsten Teile eines Dampfkraftwerks sind 1. der Kohlenlagerplatz mit den Einrichtungen für Zufuhr und Ablagerung der Brennstoffe; er besitzt meist Anschluß an die Bahn oder an einen schiffbaren Kanal; 2. die Einrichtungen

zur Kohlenförderung vom Lagerplatz in die Kesselbunker; 3. das Kesselhaus; 4. das Maschinenhaus, in welchem die Generatoren und deren Antriebsmaschinen stehen; 5. die Kondensatoren mit den zugehörigen Pumpen für die Kühl- und Kesselspeise-Wasserversorgung und 6. das Schalthaus mit der Warte.

Die wichtigsten Vorgänge in einem Steinkohlenkraftwerk sollen an Hand der in Fig. 9 gezeichneten Kreisläufe der Energieträger kurz erläutert werden.

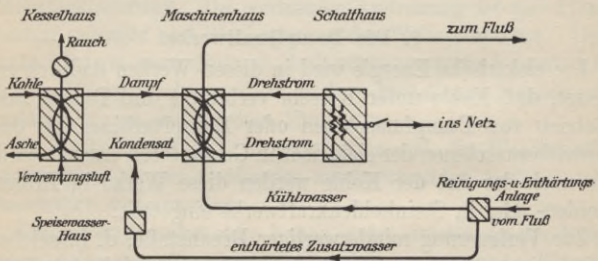


Fig. 9. Die Kreisläufe der Energieträger in einem Dampfkraftwerk.

Die vom Kohlenlagerplatz in die Kesselbunker geförderten Kohlen verbrennen unter Zuführung von Verbrennungsluft im Feuerraum und erzeugen in den über der Verbrennungskammer befindlichen Kesseln Dampf. Dieser wird getrocknet und überhitzt und gelangt in die Turbinen, in denen er Schaufelräder in Umdrehung versetzt und damit die auf der gleichen Achse sitzenden Generatoren antreibt.

Fig. 10 zeigt eine Dampfturbine im Schnitt. Auf der starken Welle sitzen im Innern eines großen Gehäuses 17 Schaufelräder. Die Schaufeln befinden sich an deren Radkranz und sind im Bild als Öffnungen in den Rädern kenntlich gemacht. Der Frischdampf tritt links durch feststehende, im Kreis herum angeordnete Düsen (Leitschaufeln) ein. Solche Leitschaufeln sitzen auch vor jedem folgenden Laufrad. Sie nehmen den Dampf, der aus einem Laufrad austritt, auf und leiten ihn so auf die Schaufeln des nächsten

Laufgrades, daß er auf sie richtig auftrifft und dabei seine Bewegungsenergie an ein Laufrad nach dem andern abgibt. Der Dampf dehnt sich dabei aus, die Schaufelöffnungen müssen deshalb von Rad zu Rad immer größer werden und schließlich strömt der Dampf vollkommen entspannt rechts nach abwärts in den Kondensator¹⁾.

Je größer nun das Druckgefälle zwischen dem in die Turbine eintretenden und dem sie verlassenden Dampf ist, umso mehr Energie kann ihm in der Turbine entzogen werden. Man läßt deshalb den Dampf in einen Behälter (Kondensator)

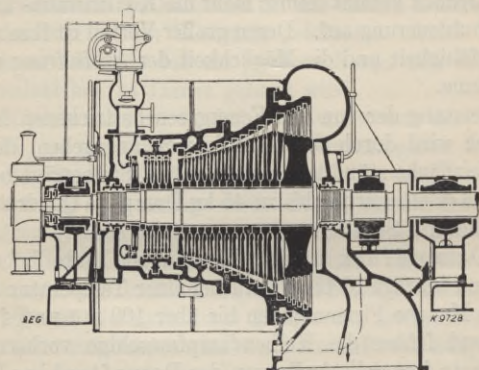


Fig. 10. Eingehäusige Turbine von 11000 kW. Drehzahl 1500 U/min., 20 atü.

strömen, wo er durch Kühlwasser wieder kondensiert wird, und vermindert mit einer Luftpumpe den Druck wesentlich unter Atmosphärendruck. Der kondensierte Dampf (das Kondensat) ist bei den Dampfturbinen im Gegensatz zu den Dampfmaschinen von Öl frei und wird mit Hilfe von Speisepumpen und unter Ersatz des infolge von Undichtheiten der Dampfrohre verloren gegangenen Wassers durch enthärtetes und durch Dampf vorgewärmtes Zusatzspeisewasser in die Kessel zurückgepumpt, um den Kreislauf von neuem zu be-

¹⁾ Ein gutes Bild einer 160000 kW BBC-Dampfturbine gibt Tafel III der Nr. 995 der S. G.: Fischer, Elektrizitätswirtschaft.

ginnen. Die mit der Turbine direkt gekuppelten Generatoren erzeugen den Strom, der im Schalt Hause auf die Spannung der Fernleitung transformiert wird und durch Kabel oder Freileitungen das Werk verläßt.

Die Kessel werden heute in den verschiedensten Ausführungen gebaut, sowohl was die Anordnung der Kesselheizfläche als auch die Ausführung der Brennstoffzufuhr betrifft. Die Feuerungen sind noch vielfach mit Wanderrosten versehen. Jedoch kommt immer mehr die Kohlenstaub- und die Unterschubfeuerung auf. Deren großer Vorteil ist ihre rasche Regulierfähigkeit und die Möglichkeit der Ausführung großer Feuerräume.

Die Leistung der von den Feuergasen bestrichenen Kesselheizfläche wird durch die Dampfmenge angegeben, die von 1 qm Heizfläche stündlich erzeugt wird. Sie beträgt bei den neueren Kesselbauarten bis zu 45 kg Dampf je Quadratmeter Heizfläche und Stunde.

Der Dampfdruck in den Kesseln ist heute höher als früher und beträgt 10 bis 40 atü bei einer Temperatur bis zu 400° C. Manche Firmen gehen bis über 100 atü und 470° C.

Während früher die Kolbendampfmaschine vorherrschte, ist sie heute fast vollständig von der Dampfturbine¹⁾ verdrängt. Jene findet sich nur noch in älteren, kleineren Anlagen. Die Dampfturbine hat gegenüber der Kolbenmaschine die großen Vorteile des geringeren Dampfverbrauches (etwa 4—5 kg/kWh), des geringeren Platzbedarfes, der einfacheren Bedienung, des gleichmäßigeren Ganges und des billigeren Preises. Dabei ist es möglich, aus der Turbine reinen, öllösen Dampf niedrigeren Druckes zu Heiz-, Koch- und ähnlichen Zwecken zu entnehmen (sie „anzuzapfen“).

Die Ausführung der großen Turbinen ist sehr verschieden. Meist werden sie mit getrenntem Hoch- und Niederdruckteil

¹⁾ Vgl. Sammlung Göschel, Nr. 274, 715/6: Zietemann, Die Dampfturbinen.

gebaut, die beide auf besondere Wellen und Generatoren arbeiten (vgl. Großkraftwerk Klingenberg, Beschreibung zu Tafel I). Dabei findet häufig, insbesondere bei höheren Drücken, eine Zwischenüberhitzung des Dampfes statt. Eine Besonderheit bildet die Doppelturbine der schwedischen Firma Ljungström. Sie hat zwei Läufer, die sich je meist mit 3000 Umdr./min gegeneinander drehen. Dabei fehlen die feststehenden Leitschaufeln, vielmehr übernimmt das eine Laufrad die Rolle des Leitrades für das andere Laufrad. Mit jedem Laufrad ist ein Generator gekuppelt. Diese Turbine hat sich so bewährt, daß sie jetzt auch von den deutschen Turbinenfabriken in Lizenz gebaut wird.

Der Kondensator, in den der Dampf aus der Turbine einströmt, ist ein von vielen Rohren durchzogener Behälter. Durch die Rohre wird Kühlwasser geleitet, das aus einem Fluß oder See entnommen wird. Durch die Berührung mit den kühlen Rohren kondensiert sich der Dampf und fällt als Wasser in den Kondensat-Sammelbehälter. Die erforderliche Kühlwassermenge ist ziemlich groß und beträgt für 1 kg Dampf rd. 50 kg. Ist ein natürlicher Ersatz des erwärmten Kühlwassers nicht möglich, so wird es auf kaminförmig ausgebildete Türme gepumpt und dort zerstäubt, so daß es sich beim Herunterrieseln an der von unten nach oben steigenden kälteren Luft abkühlt.

Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Betriebs dienen die Vorwärmer des Speisewassers (Economiser), kurze und einfache Rohrleitungen, Verwendung von künstlichem Zug und infolge davon gesteigerte Verdampfung (40 bis 50 kg je Stunde und je Quadratmeter wasserberührter Heizfläche).

Wie oben schon erwähnt, sind in den Dampfkraftwerken eine Reihe von Hilfsmaschinen notwendig, wie Kondensations-, Kühlwasser- und Speisewasserpumpen. Sie wurden früher durch Elektromotoren angetrieben. Der elektrische Antrieb versagt jedoch in dem Augenblick, wo die Zentrale gestört ist,

und es ist dann ohne äußere Hilfe nicht einfach, wieder anzufahren. Man treibt deshalb diese wichtigen Hilfsmaschinen jetzt meist mit Dampf und Elektromotoren zusammen an. Die Kohlenbrech- und -mahlanlagen, sowie die Förderbahnen und Hebezeuge werden jedoch stets elektrisch angetrieben. Torf als Brennstoff kann in verschiedener Weise nutzbar gemacht werden, entweder durch Verfeuern unter Dampfkesseln oder durch Vergasen. Mit Verfeuern von pulverförmigem Torf wurden in Schweden erfolgreiche Versuche angestellt. Bei Moskau arbeitet das Großkraftwerk Schatura (rd. 100 000 kW) ausschließlich mit Torf als Brennstoff, in Deutschland ist besonders das Torfkraftwerk Wiesmoor in Ostfriesland bekannt.

7. Die Gas- und Ölmaschinenkraftwerke.

Gasmaschinen kommen zum Antrieb elektrischer Generatoren als Großgasmaschinen vor allem in Verbindung mit Hüttenwerken vor, wo die Hochofengase als Betriebsmittel so gut wie unentgeltlich zur Verfügung stehen.

In gewöhnlichen Kraftwerken werden vielfach Dieselmotoren zum Antrieb der Generatoren verwendet. Sie dienen vor allem als Reserve- und Spitzenmaschinen für plötzlichen Energiebedarf, weil sie sehr rasch (in 3—4 Min.) angefahren werden können. Leider stehen einer umfangreichen Verwendung ihre großen Anlagekosten im Wege, sowie der Umstand, daß sie ihrer größeren Empfindlichkeit wegen sich nicht so gut für Dauerbetrieb eignen wie die Dampfturbinen.

In dem Hamburger Kraftwerk Neuhof arbeitet seit einigen Jahren ein Dieselaggregat mit 12 000 kW¹⁾ und im Werk Hennigsdorf bei Berlin 2 Dieselaggregate von je 9000 kW.

8. Die Speicherung der Energie und die Spitzendeckung.

Obwohl durch geeignete Tarifpolitik die Belastungskurve

¹⁾ Eine gute Abbildung gibt S. G. 995: Fischer, Elektrizitätswirtschaft, Tafel IV.

stark beeinflußt werden kann, wird sie sich doch niemals ganz den Wünschen der Kraftwerksleitung anpassen. Die gebrochene Linie *a* in Fig. 11 stelle die tägliche Belastungskurve eines Werks dar. Nachts wird das Werk weit unter seiner Leistungsfähigkeit in Anspruch genommen, tagsüber hat es hohe Belastungsspitzen zu decken. Da nun für die Kosten der Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie der Ausnutzungsgrad eine grundlegende und entscheidende Rolle

spielt, so wird die Leitung des Unternehmens danach streben, in den Wasserkraftwerken möglichst keinen Tropfen ungenützt abfließen zu lassen und die Dampfkraftwerke mit möglichst gleichmäßiger Ausnutzung der gesamten Maschinenanlage zu betreiben, da dies ihre Lebensdauer verlängert und den Gesamtwirkungsgrad erhöht.

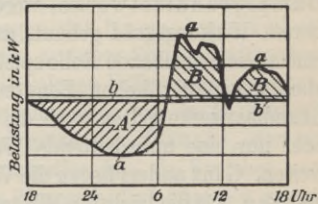


Fig. 11. Der Belastungsausgleich.

Daraus ergeben sich zwei Aufgaben: die gleichmäßige Maschinenbelastung und die wirtschaftliche Spitzendeckung. Die grundsätzliche Lösung liegt in der Verwendung zweier Maschinenarten, welche die betreffenden Werke als Grundlastwerke und als Spitzenkraftwerke kennzeichnen. In den Grundlastwerken befinden sich Maschinen, welche für eine mittlere Leistung des zu versorgenden Netzes — entsprechend der Linie *b* in Fig. 11 — bestimmt sind. Sie werden Tag und Nacht in Betrieb gehalten, gleichgültig, ob der Energiebedarf der Stromverbraucher kleiner oder größer als deren Gesamtleistung ist. Zu den Zeiten des geringeren als der Linie *b* entsprechenden Bedarfes wird die von den Generatoren erzeugte, von den Verbrauchern aber nicht abgenommene Überschussenergie den Spitzenkraftwerken zugeleitet und dort

auf chemischem, hydraulischem oder kalorischem Wege gespeichert. Diese Spitzenkraftwerke sind dann imstande, zu Zeiten gesteigerter Belastung ihre Überschußenergie, natürlich unter Abzug der Verluste, in hochwertige, „veredelte“ Energie umzusetzen. Das Spitzenwerk dient dabei außerdem noch als kurzzeitige Reserve.

In bezug auf Wirkungsgrad und Kapitaldienst unterscheiden sich Grundlast- und Spitzenwerk wesentlich voneinander. Dampfgrundlastwerke werden mit höchstem erreichbarem Wirkungsgrad gebaut, da bei ihnen die Kohlekosten eine ausschlaggebende Rolle spielen, die Kapitalkosten je kWh aber wegen der hohen Benutzungsdauer niedrig sind. Als Grundlastwerke gelten auch die Wasserkraftwerke, die keine oder nur eine unbedeutende Wasserspeichermöglichkeit aufweisen. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den Spitzenwerken. Da die höchsten Winterspitzen nur während weniger Monate und auch während der einzelnen Tage nur stundenweise auftreten, weisen diese Werke im allgemeinen eine niedrige Benutzungsdauer auf. Demzufolge ist hier der Kapitaldienst allein maßgebend. Spitzenkraftwerke sollen also mit geringstem Kapitalaufwand gebaut und möglichst an den Hauptbelastungspunkten des Netzes aufgestellt werden.

Die Lösung des Spitzen- und Speicherproblems ist nun auf verschiedene Weise möglich. Bei den Gleichstromwerken können diese Aufgabe die elektrischen Akkumulatorenbatterien übernehmen. Diese dienen auf der einen Seite zur regelmäßigen Spitzendeckung, auf der anderen als Reserve zum sofortigen Einspringen in Störungsfällen. So hat z. B. Berlin in 15 Unterstationen 55 Batterien, die zusammen 20 Minuten lang 186 000 kW leisten können. Beansprucht man die Batterien nur mit etwa dem dritten Teil dieser Leistung, so kann dieser über die Zeit von 2 Stunden abgegeben werden. So ist das Berliner Netz bei einem Ölschalterdefekt im Kraftwerk Klingenberg $1\frac{1}{4}$ Stunden lang sogleich aus

seinen Batterien mit 75 000 kW versorgt und damit vor einer empfindlichen Störung bewahrt worden. Der andere große Vorteil dieser Batterien besteht darin, daß sie in den Schwerpunkten des Verbrauchs aufgestellt werden können, also dort die Spitzendeckung übernehmen, wo der Bedarf eintritt. Das Leitungsnetz bleibt also von der Spitzenleistung befreit. Wegen dieser Vorteile ist die Aufstellung einer Akkumulatorenbatterie trotz ihres hohen Preises dann wirtschaftlich tragbar, wenn billige Abfallenergie bei Nacht ausgenützt werden kann. Ja man kann sagen, daß für eine kurze Vollastentladedauer die Batterien den anderen Spitzenkraftwerken überlegen sind. Sie kommen in solchen Fällen sogar gelegentlich in Wechsel- oder Drehstromwerken vor (z. B. Zürich).

In Wasserkraftwerken wird gerne der Stausee, der bei Hochdruckwerken immer anzutreffen ist, als Speicher verwendet. Je nachdem er den Energiebedarf über ein ganzes Jahr oder nur über einen Tag ausgleichen kann, spricht man von Jahres- oder von Tagesspeichern. Meistens fließt aus dem von kleineren Wasserläufen gespeisten Stausee das Wasser durch eine Rohrleitung den Turbinen zu. Es gibt jedoch eine ganze Reihe von Anlagen, wo dem Stausee durch dieselbe Rohrleitung Wasser wieder zugeführt wird. Die dazu nötige Energie wird entweder von Dampfkraftwerken oder von Wasserkraft-Laufwerken billig bezogen. Größere Anlagen dieser Art sind das Schwarzenbachwerk in Baden und das Kraftwerk Wäggital in der Schweiz.

Ja es gibt sogar neuerdings einige Pumpspeicheranlagen, deren Stausee überhaupt keinen oder wenigstens keinen nennenswerten äußeren Zufluß hat. Er wird vielmehr nur durch die Pumpen gefüllt und je nach Bedarf über die Turbinen wieder entleert. Eine solche Anlage läßt sich natürlich nur dann wirtschaftlich betreiben, wenn billiger Pumpstrom und ein geeignetes Becken auf größerer Höhe zur Verfügung steht, zumal der Gesamtwirkungsgrad dieser Speicherart

kaum über 60 % kommen dürfte. Ein solches Pumpspeicherwerk ist z. B. das Koepchenwerk des RWE bei Herdecke an der Ruhr (Tafel III u. IV) und dasjenige in Niederwartha bei Dresden zur sächsischen Energieversorgung.

In Dampfkraftwerken bietet sich eine weitere Möglichkeit zur Übernahme der Belastungsspitzen durch die sogenannten Ruthsspeicher. Es sind das große Behälter, in die der überschüssige Dampf aus den Kesseln, also in den Zeiten schwacher Belastung, durch Erhöhung des Druckes in Wasser umgesetzt wird und zu beliebiger Zeit durch Absenkung des Druckes wieder als Dampf entnommen werden kann. Dieser Speicherdampf wird sodann als Zusatzdampf den Turbinen zugeführt. Die größte Anlage mit Ruthsspeichern ist von den SSW für das Kraftwerk Charlottenburg 1931 fertiggestellt worden.

Die Verwendung der Dieselmachine zur Spitzendeckung wurde schon im vorigen Kapitel erörtert; eine Möglichkeit des Energieausgleichs mit anderen Maschinen besitzt diese Maschinenart nicht.

9. Die allgemeinen Einrichtungen eines Kraftwerkes.

Die wichtigsten Teile eines Kraftwerkes sind zweifellos das Maschinenhaus und die Schaltanlage, bei Dampfkraftwerken natürlich noch das Kesselhaus. Außer den bereits oben besprochenen Hauptaggregaten befinden sich im Maschinenhaus meistens noch eine Reihe von Maschinen und Apparaten, die für den Betrieb unbedingt erforderlich sind. So sind vor allem die Fliehkraftregler, die bei Dampf- und Wasserturbinen unentbehrlich sind, entweder direkt mit den Maschinen zusammengebaut (Dampfturbinen) oder unmittelbar neben denselben aufgestellt (Wasserturbinen). Diese Regler haben den Zweck, die Betriebsstoffzufuhr so zu beeinflussen, daß die Aggregate trotz schwankender Belastung immer mit gleichbleibender Geschwindigkeit laufen, was bei

Wechsel- und Drehstrom unbedingt notwendig, bei Gleichstrom aber wenigstens erwünscht ist. Die Regler müssen also die Dampfdüsen und bei Wasserturbinen die Düsennadeln bzw. die Leitschaufeln (bei Kaplan turbinen auch die Laufschaufeln) verstellen, ohne jedoch durch Überregulieren Pendelungen zu verursachen. Neben diesen automatischen Reglevorrichtungen sind im Maschinenhaus auch die von Hand bedienten Schieber oder wenigstens deren Handräder untergebracht.

Obwohl jedes Aggregat auf der eigenen Welle seine Erregermaschine trägt, ist meist noch ein Hilfsaggregat im Maschinenhaus aufgestellt, ferner ein oder mehrere Umformer zur Erzeugung von Gleichstrom für Hilfsbetriebe, z. B. für die Elektrohängebahn zur Kohlenzufuhr, für die Ladung der Stationsbatterie usw. Die Stationsbatterie selbst wird in einem besonderen Raum aufgestellt und hat die wichtigsten Apparate mit Strom zu versorgen, so vor allem die Relais, die Servomotoren für die Regler usw.

Im Maschinenhaus befindet sich ferner noch ein Laufkran, der für Montage- und Reparaturarbeiten nicht zu entbehren ist. An gut sichtbarer Stelle sind die Telefon- und Signalapparate untergebracht; durch sie erhält der Maschinenwärter seine Befehle von der Warte. Außerdem sind an dieser Stelle noch ein Wattmeter und ein elektrisches Thermometer zur Überwachung der Temperatur in den Lagern und im Ständer der Maschine angebracht. Bei Dampfkraftwerken finden wir auch im Kesselhaus eine ganze Anzahl von Apparaten, die zur einwandfreien Betriebsführung unentbehrlich sind. Meist hat jeder Kessel seine eigene Instrumententafel, auf der, wie Fig. 12 zeigt, die Instrumente für Kohlensäure (CO_2), Kohlenoxyd (CO), Dampfdruck, Dampftemperatur, Dampfmenge, Vakuum im Kondensator usw. gut sichtbar angeordnet sind. Meist ist im Kesselhaus auch noch ein Wattmeter für die Gesamtleistung des Werkes untergebracht, sowie ein von der



Fig. 12. Instrumententafel zur Kesselüberwachung von Bopp u. Reuther, Mannheim-Waldhof.

Warte aus bedientes Transparent mit den Inschriften „Last steigt“ und „Last fällt“. Hierdurch wird dem Kesselwärter die Möglichkeit gegeben, mit der Kesselfeuerung der verlangten Belastung nachzufahren, d. h. trotz wechselnder Last den Kesseldruck auf dem verlangten Wert zu halten.

Über die Einrichtung von Schaltanlagen vgl. Abschnitt III.

II. Die Arten der Stromverteilung.

10. Allgemeines.

Die Kunden eines Elektrizitätswerkes verlangen, daß ihnen die benötigte Energie jederzeit zur Verfügung gestellt wird. Daraus ergibt sich die Aufgabe, zwischen den Stromverbrau-

chern und dem Elektrizitätswerk eine elektrische Verbindung herzustellen. Sie erfolgt durch das Leitungsnetz.

Nun können die vielen Stromverbraucher entweder in Hintereinander-(Reihen- oder Serien-)schaltung (Fig. 13) oder in Nebeneinander-(Parallel-)schaltung an das Kraftwerk angeschlossen werden (Fig. 14). Die Reihenschaltung der Verbraucher wird sehr selten angewandt. Die Gründe sind leicht einzusehen. Erstens müssen dabei alle Verbrauchsapparate

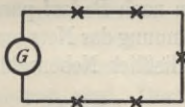


Fig. 13. Reihenschaltung
der Stromverbraucher.

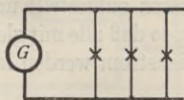


Fig. 14. Parallelschaltung
der Stromverbraucher.

für die gleiche Stromstärke gebaut sein. Zweitens muß der gleiche Strom bei allen Verbrauchsstellen durchgeführt werden und drittens muß sich bei Abschaltung eines Verbrauchers der Stromkreis selbsttätig wieder schließen. So kommt es, daß diese Reihenschaltung nur gelegentlich dort vorkommt, wo es sich um lauter gleichartige Stromverbraucher handelt, so z. B. in kleinem Umfang bei Glühlampen für Illuminationszwecke (Christbaum-, Schaufenster- und Reklamebeleuchtung) oder bei den Glühlampen in einem Straßenbahnwagen und dgl. Weitere Ausführungen bringt das Kap. 17.

Sonst liegen die Verbraucher immer in Parallelschaltung und erhalten die gleiche Spannung. Das Abschalten eines Verbrauchers erfolgt durch einfache Abtrennung vom Leitungsnetz. Die Parallelschaltungsnetze unterscheiden sich durch die Art des Stromes (Gleich-, Wechsel- und Drehstrom) und die Höhe der Spannung.

11. Die einfachen Parallelschaltungssysteme.

Edison hat im Jahre 1879 zum ersten Male eine Parallelschaltung der für eine Beleuchtung nötigen Glühlampen vor-

genommen. Dabei durchziehen zwei, drei oder mehr Leitungsdrähte das Versorgungsgebiet und das Elektrizitätswerk ist so eingerichtet, daß es gleichbleibende Spannung, aber je nach der Zahl der eingeschalteten Stromverbraucher mehr oder weniger Strom abgibt. Jeder Stromverbraucher erhält bei gleicher Spannung seinen besonderen Strom. Das Ein- und Ausschalten des einen stört die anderen Stromverbraucher nicht. Bei größerem Strombedarf sind in der Zentrale mehrere Generatoren aufgestellt und werden nach Bedarf parallel geschaltet, so daß alle mit gleicher Spannung das Netz versorgen. Bei Gleichstrom werden fast ausschließlich Nebenschlußgene-

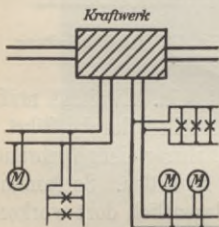


Fig. 15. Das Zweileitersystem.

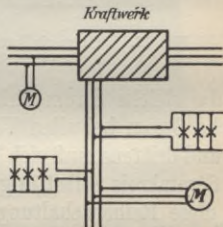


Fig. 16. Drehstromverteilung.

ratoren verwendet. Hauptstromgeneratoren sind ihrer Natur nach ausgeschlossen.

Bei Verwendung von Gleichstrom oder einphasigem Wechselstrom führen zu jedem Stromverbraucher zwei Leitungen (Fig. 15) und man spricht deswegen vom Zweileitersystem. Bei Drehstrom erhält man statt der zwei Leitungen deren drei; trotzdem nennt man das Drehstromverteilungssystem nicht Dreileitersystem, sondern bezeichnet mit diesem Wort eine besondere Art der Stromverteilung (Kap. 14). Stromverbraucher wie größere Drehstrommotoren werden an alle drei, die Lampen dagegen und kleine Motoren nur je zwischen zwei Leitungen gelegt (Fig. 16).

Die allgemeine Einrichtung eines Netzes nach der einfachen Parallelschaltung geht aus der Fig. 17 hervor. Von der Zentrale aus, angedeutet durch das schraffierte Rechteck, führen die stark gezeichneten Speiseleitungen den Strom an bestimmte Punkte im Versorgungsgebiet, die Speisepunkte.

Ihre Spannung wird von der Zentrale aus konstant gehalten und von ihnen aus führen die fein gezeichneten Verteilungsleitungen überallhin, wo Stromverbraucher angeschlossen sind. Die Verteilungsleitungen bilden ein geschlossenes System von Maschen mit Ausläufern nach den abseits gelegenen Stromverbrauchern.

Sie führen ohne Unterbrechung von einem Speisepunkt zum anderen, so daß ein Stromverbraucher in der Regel von verschiedenen Speisepunkten her Strom erhält. Von den Verteilungsleitungen zweigen die Hausleitungen mittels der sogenannten Hausanschlüsse ab.

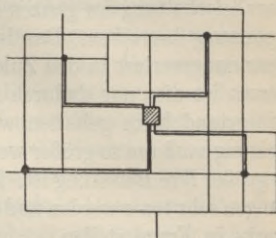


Fig. 17. Netz nach dem Parallelschaltungssystem.

12. Die Spannungsgrenzen bei den einfachen Parallelschaltungssystemen.

Die Spannung, welche beim einfachen Parallelschaltungssystem gewählt werden kann, ist von den Stromverbrauchern abhängig. Die niederkerzigen Glühlampen, wie sie in den Wohnungen verwendet werden, sind nur für Spannungen bis 220 V zu bauen. Über 250 V hinaufzugehen, verbietet sich auch mit Rücksicht auf die Sicherheit des Publikums.

Da bei einer gegebenen zu verteilenden Leistung die Stromstärke in den Leitungen und damit deren erforderliche Querschnitte um so kleiner sind, je höher die Spannung ist, so geht man aus wirtschaftlichen Gründen bis an diese zulässige

Grenze. Deshalb werden die meisten Netze mit 220 V betrieben.

Diese Spannung ist aber sehr niedrig. Wenn das Versorgungsgebiet eine große Leistung verlangt, so wird der Strom, den die Zentrale zu liefern hat, sehr groß. Nun muß bei der Parallelschaltung im ganzen Leitungsnetz überall die gleiche Spannung herrschen. Das ist nur dann der Fall, wenn der Spannungsverlust in den Zuleitungen gering ist. Bei starkem Strom ist dies nur dadurch zu erreichen, daß der Leitungswiderstand klein gehalten wird, d. h. der Querschnitt einer Leitung muß um so größer werden, je länger diese Leitung und je größer ihre Belastung ist. Die Folge ist, daß die langen Leitungen sehr teuer werden und die Rentabilität des Elektrizitätswerks in Frage stellen.

Man ist also bei einfacher Parallelschaltung an kleine Versorgungsgebiete gebunden, und zwar rechnet man bei 110 V mit einem größten Versorgungsradius von 500 bis 700 m, bei 220 V von 800 bis 1000 m. Selbstverständlich spielt im einzelnen die Größe der Belastung eine ausschlaggebende Rolle.

Hat man ein reines Zweileitersystem für Gleichstrom, das seither genügte, wegen Vergrößerung des Versorgungsgebiets zu erweitern, so bleibt gar nichts anderes übrig, als in das neue Versorgungsgebiet eine neue Zentrale zu verlegen, so daß das ganze Gebiet von zwei oder mehr unabhängigen Zentralanlagen versorgt wird.

Naturgemäß hat eine solche Dezentralisation ihre großen Schattenseiten und man sucht sie zu vermeiden. Dabei bietet sich als einfachste Lösung die: man nimmt zweierlei Spannungen. Die niedere wird als Gebrauchsspannung an die Stromverbraucher geliefert, mit der höheren Spannung wird die elektrische Energie vom großen Kraftwerk aus in besonderen Leitungen an bestimmte Punkte des Netzes geliefert. Dort wird dann die höhere Spannung in die niedere Gebrauchsspannung umgewandelt.

Diese Lösung, die zu den indirekten Parallelschaltungssystemen führt, ist am einfachsten bei Wechsel- und Drehstrom auszuführen, und zwar durch Anwendung der Transformatoren.

13. Die indirekten Parallelschaltungssysteme.

Bei Drehstrom und dem nur selten angewandten einphasigen Wechselstrom wird die Energie, z. B. zur Versorgung einer größeren Stadt, vom städtischen Elektrizitätswerk mit höherer Spannung (z. B. 15 000 V) zu den im Stadtgebiet verteilten Transformatorstationen geleitet. Dort wird die hohe Spannung in die niedere Gebrauchsspannung (z. B. 220 V) transformiert und mit ihr werden die einzelnen Abnehmer in Parallelschaltung versorgt. Größere Abnehmer, wie Fabriken, erhalten dabei meistens eigene Transformatorstationen.

Bei der Verteilung ist es vorteilhaft, nicht zu kleine Bezirke von einem Transformator zu speisen, da kleine Transformatoren an sich schon unwirtschaftlicher arbeiten als große und außerdem weniger gut ausgenützt sind, so daß sie verhältnismäßig große Leerlaufverluste aufweisen.

Bei sehr großen Leistungen muß die Gesamtlast auf mehrere Transformatoren in einer und derselben Station aus Gründen der Betriebssicherheit verteilt werden. Diese Transformatoren werden dann primär und sekundär parallel geschaltet. Dabei ist zu beachten, daß nur gleichartig gebaute Drehstromtransformatoren parallel arbeiten können. Vor allem müssen sie Phasengleichheit besitzen; es können also $\triangle\triangle$ geschaltete mit ebensolchen oder mit $\wedge\wedge$ geschalteten, keine von beiden aber mit $\triangle\wedge$ oder $\wedge\triangle$ geschalteten Transformatoren zusammenarbeiten. Außerdem ist für einen einwandfreien Parallelbetrieb eine möglichst angenäherte Gleichheit der Kurzschlußspannungen erforderlich. (S. G. Nr. 198, Elektrotechnik III, 5. Aufl. S. 66f.)

Fig. 18 zeigt das Schema eines solchen indirekten Parallel-

schaltungssystem für Drehstrom (ein Strich bedeutet 3 Leitungen). Man sieht, daß ein Hochspannungsnetz und eine größere Zahl von Niederspannungsnetzen vorhanden sind. Die letzteren werden in der Regel alle zu einem in sich zusammenhängenden Niederspannungsnetz verbunden. Beide Netze sind durch die Transformatoren miteinander verbunden. Die Anwendung des indirekten Parallelschaltungssystems für Drehstrom gab die Möglichkeit, das platte Land durch die Überlandwerke mit elektrischer Energie zu versorgen.

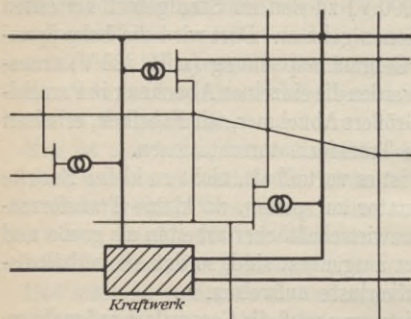


Fig. 18. Indirektes Parallelschaltungssystem für Drehstrom.

Mit Gleichstrom kann man aus zwei Gründen nicht das gleiche machen. Einmal ist die Umformung von Gleichstrom hoher Spannung in solchen von niedriger Spannung nur durch zwei miteinander gekuppelte Maschinen, ein sogenanntes

Motorgenerator-Aggregat, möglich, also durch bewegte Apparate, im Gegensatz zu den ruhenden Transformatoren. Sodann ist die Anwendung von hoher Spannung bei Gleichstrom aus verschiedenen Gründen nicht ebenso einfach wie bei Drehstrom. Man findet deshalb die Anwendung hochgespannten Gleichstroms sehr selten und dann nur in den Reihenschaltungssystemen (Kap. 17) oder auch neuerdings zur Fernübertragung großer Leistungen.

Dagegen ist eine andere Kombination sehr vielfach in Anwendung. Man erzeugt in einem großen Elektrizitätswerk hochgespannten Drehstrom, verteilt ihn durch ein Hoch-

spannungsnetz an Umformerstationen, die an passenden Stellen des Konsumgebiets eingerichtet sind, und wandelt ihn dort in Gleichstrom um, der dann den Stromverbrauchern in der üblichen Parallelschaltung zugeführt wird. Man nennt dies das Drehstrom-Gleichstrom-System. Es ist aus dem Grunde sehr verbreitet, weil man auf diese Weise ältere Gleichstromnetze an Hochspannungsfernleitungen anschließen kann.

Die Umformung geschieht entweder ebenfalls in umlaufenden Maschinen: Drehstrommotor gekuppelt mit Gleichstrom-generator oder Einankerumformer bzw. Kaskadenumformer¹⁾, oder, insbesondere bei den Spannungen von 600 oder 750 V, wie sie für Gleichstrombahnen verwendet werden, durch Quecksilberdampfgleichrichter²⁾. Ein Beispiel dafür ist die Berliner Stadt- und Ringbahn.

14. Die Nulleitersysteme.

Eine Verbesserung der einfachen Parallelschaltungssysteme läßt sich auch durch die Anwendung des sogenannten Nulleiters erzielen. Er wird sowohl bei Gleichstrom als auch bei Wechsel- und Drehstrom angewendet. Der dabei erzielte Vorteil besteht darin, daß die Erzeugung und Verteilung des Stroms mit der doppelten Gebrauchsspannung erfolgt, dem Abnehmer aber nur diese zugeführt wird. Durch diese Verdopplung der Spannung im Leitungsnetz wird das Niederspannungsversorgungsgebiet beträchtlich erweitert und eine erhebliche Ersparnis einerseits an Leitungsmaterial, andererseits an Umformer- bzw. Transformatorstationen erzielt.

Am einfachsten kann man sich ein Nulleitersystem auf folgende Weise entstanden denken: Man schaltet zwei Gleichstromgeneratoren von je 220 V hintereinander (Fig. 19) und

¹⁾ S. G. Nr. 198: Elektrot. III, 5. Auflage, S. 118 ff.

²⁾ S. G. Nr. 197: Elektrot. II, 5. Auflage, S. 100 ff. und S. G. Nr. 945: Just, Die Gleichrichter,

zweigt sowohl an den beiden Außenklemmen als auch an der gemeinsamen Mittelklemme je eine Leitung ab. Die letztere bildet den Mittelleiter, die beiden andern die Außenleiter; der eine davon ist der positive, der andere der negative Außenleiter. Ihnen beiden gegenüber hat der Mittelleiter die Spannung Null und heißt deshalb auch der Nulleiter. Man hat also je zwischen einem Außenleiter und dem Nulleiter 220 V, zwischen den beiden Außenleitern die doppelte Spannung von 440 V. Man kann auch sagen, der Nulleiter teilt die Gesamtspannung in zwei Hälften.

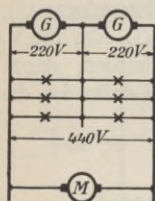


Fig. 19. Das Nullleitersystem bei Gleichstrom (Dreileitersystem).

Kleine Stromverbraucher, wie die Lampen und Haushaltgeräte, werden an die niedere Spannung von 220 V angelegt, also zwischen Nulleiter und einen der beiden Außenleiter. Größere Motoren und Heizgeräte werden zwischen die beiden Außenleiter gelegt und benutzen den Nulleiter überhaupt nicht. Wegen der drei Leitungen wird diese Schaltung auch eine Dreileiteranlage genannt. Der Ausdruck ist aber mißverständlich, weil eine Drehstromanlage auch drei Leitungen

nötig hat. Eine solche Nulleiteranlage für Gleichstrom wird als eine Anlage von 2×220 V (bzw. 2×110 V) bezeichnet.

Sind die Stromverbraucher auf die beiden Netzhälften gleich verteilt, so fließt im Nulleiter kein Strom. Natürlich ist das im allgemeinen nicht der Fall, so daß im Nulleiter meist ein Strom fließt, der aber sehr viel kleiner ist als der in den Außenleitern.

Statt zwei Generatoren von je 220 V hintereinander zu schalten, kann man auch einen Generator von 440 V aufstellen und die Spannung durch zwei kleine, sogenannte Ausgleichsmaschinen teilen (Fig. 20). Statt dessen kann man auch eine Akkumulatorenbatterie aufstellen und den Nulleiter an ihrer Mitte anschließen (Fig. 21).

Bei einphasigem Wechselstrom ergibt sich eine noch einfachere Möglichkeit. Man schließt den Nulleiter einfach an den Mittelpunkt der Niederspannungswicklung des Transformators an (Fig. 22).

Eine besonders interessante Spannungsteilung bei Gleichstrom ist aus Fig. 23 ersichtlich. Zwei um eine Polteilung versetzte Punkte der Wicklung (bei einer 2-poligen Maschine also zwei gegenüberliegende Punkte) werden an Schleifringe geführt.

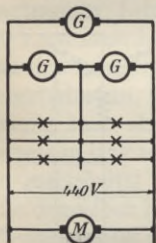


Fig. 20. Spannungsteilung durch Ausgleichsmaschinen.

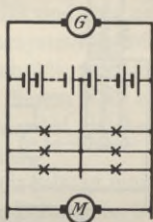


Fig. 21. Spannungsteilung durch Akkumulatoren.

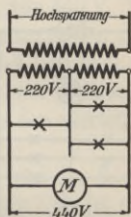


Fig. 22. Spannungsteilung bei einem Wechselstromtransformator.

An diese wird über Bürsten eine Eisendrossel angeschlossen, in deren Mittelpunkt in jedem Augenblick die Gesamtspannung halbiert wird. Deshalb kann an ihn der Nulleiter angeschlossen werden. Die Drossel führt bei gleicher Belastung beider Außenleiter keinen Gleichstrom, wohl aber Wechselstrom, weil sie ja an einer reinen Wechselspannung liegt.

Bei einem Einankerumformer läßt sich die Spannungsteilung in noch einfacherer Weise durchführen, wie aus Fig. 24 hervorgeht. Fast immer liegt vor ihm ein Transformator, der 3- oder meist 6-phasig an den Anker angeschlossen ist. Der Nulleiter wird dann einfach an den Verkettungspunkt des Transformators angeschlossen, wenn dieser, wie üblich, in Stern geschaltet ist.

Eine besondere Möglichkeit bietet der Drehstrom. Bei

Sternschaltung ist der Verkettungspunkt der gegebene Anschluß für einen Nulleiter (Fig. 25). Er teilt die Außenleiter-spannung nicht in zwei Hälften, vielmehr beträgt die Spannung zwischen ihm und einem Außenleiter den $\sqrt{3}$ ten Teil der Außenleiterspannung. Von diesem Drehstromverteilungs-system mit Nulleiter wird sehr viel Gebrauch gemacht. Es wird auch hier die Belastung möglichst gleichmäßig auf die drei Zweige verteilt. Drehstrommotoren werden an die drei

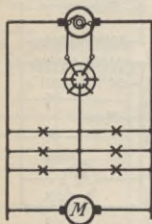


Fig. 23. Spannungsteilung nach Dolivo-Dobrowolsky.

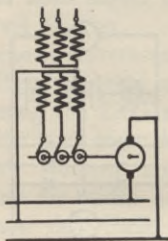


Fig. 24. Spannungsteilung bei einem Einankerumformer.

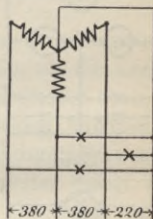


Fig. 25. Drehstromverteilungssystem mit Nulleiter.

Hauptleitungen angeschlossen; Glühlampen, Kochapparate u. dgl. aber zwischen Null- und Außenleiter.

Die übliche, vom VDE als Normalspannung bezeichnete Spannung ist $3 \times 220/380$ V, d. h. 220 V zwischen dem Nulleiter und je einem Außenleiter, 380 V zwischen je zwei Außenleitern. Da der Nulleiter nur einen kleinen Strom führt, so wird er schwächer als die Außenleiter gehalten. Er erhält in der Regel $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ des Querschnitts der Außenleiter.

15. Der Vorteil der Nulleitersysteme.

Die Spannung zwischen den Außenleitern ist doppelt so groß als beim einfachen Zweileitersystem. Infolgedessen ist bei gleicher übertragener Leistung der Strom in den Außen-

leitern nur halb so groß. Bei gleich großem Leitungsquerschnitt ist also auch der Spannungsverlust im Außenleiter nur halb so groß. Da die Betriebsspannung aber doppelt so groß ist, so ist der Spannungsverlust, bezogen auf diese doppelte Betriebsspannung, nur ein Viertel des vorigen Spannungsverlustes. Beträgt z. B. der Spannungsverlust bei 220 V ohne Nulleiter 4,4 V oder 2%, so beträgt er mit Nulleiter bei gleichem Querschnitt der Außenleiter und gleicher übertragener Leistung, aber der doppelten Spannung von 440 V nur noch 2,2 V, das sind aber nur $\frac{1}{2}\%$ von 440 V. Läßt man nun beim Nulleitersystem denselben prozentualen Spannungsverlust zu, nämlich 2%, so kann er 8,8 V betragen. Die Leitung kann also in diesem Fall bei gleichem Querschnitt viermal so lang sein, oder bei gleicher Länge den vierten Teil des Querschnitts besitzen.

Zu demselben Ergebnis gelangt man, wenn man den Stromwärmeverlust in der Leitung berücksichtigt. Er ist durch den Ausdruck $I^2 \cdot R$ gegeben. Wird durch Wahl der doppelten Spannung der Strom auf die Hälfte reduziert, so nimmt die Stromwärme den Wert des vierten Teiles an. Läßt man also bei der gleichen übertragenen Leistung denselben Stromwärmeverlust zu, so kann man den Widerstand des Drahtes vervierfachen, also entweder seine Länge vervierfachen, oder seinen Querschnitt viermal so klein machen.

Das Versorgungsgebiet kann somit bei einem Verteilungssystem mit Nulleiter von 2×110 V einen Radius von 800 bis 1200 m annehmen, also etwa den gleichen wie bei dem Zweileitersystem mit 220 V. Nimmt man 2×220 V, so vergrößert sich das Gebiet je nach der Belastung auf 1500 bis 2000 m Radius.

Die Berechnung muß aber noch ergänzt werden. Angenommen, durch eine Leitung von 220 Volt werde ein Gebiet versorgt, das eine maximale Leistung N kW benötigt. Die Berechnung ergibt dabei einen Strom I , der einen Querschnitt

F mm² benötigt. Dieses Netz werde bei derselben Belastung N mit Nulleiter und mit 440 Volt Außenleiterspannung betrieben. Infolge doppelter Spannung ist der Strom im Außenleiter nur noch $\frac{1}{2} I$ und der erforderliche Querschnitt beträgt bei denselben zugelassenen Übertragungsverlusten nur noch ein Viertel des früheren Querschnittes, also $\frac{1}{4} F$.

Der Nulleiter erhält $\frac{1}{4} \dots \frac{1}{2}$ des Außenleiter-Querschnittes, also im Vergleich zum Querschnitt F bei Zweileiteranlagen nur $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{16} F$. Während man nun bei Zweileiteranlagen $2 F = 100\%$ an Drahtquerschnitt benötigt, genügen beim Dreileitersystem

$$2 \cdot \frac{1}{4} F + 1 \cdot \frac{1}{16} F \text{ bzw. } 2 \cdot \frac{1}{4} F + 1 \cdot \frac{1}{8} F, \text{ d. h. also } 28\frac{1}{8} \\ \text{bzw. } 31\frac{1}{4}\%.$$

Bei derselben Leitungslänge, die ja durch die Lage der Stromabnehmer bedingt und infolgedessen bei beiden Systemen gleich ist, entsprechen obige Verhältnisse auch dem gesamten Aufwand an Leitungsmaterial.

Das Dreileitersystem ist deshalb sehr beliebt und in sehr vielen Elektrizitätswerken, insbesondere den städtischen Gleichstromnetzen, angewendet. Der Nulleiter wird stets geerdet. Werden die Außenleiter als Kabel verlegt, so wird er blank oder nur schwach isoliert neben ihnen in die Erde verlegt.

Bei der Spannung von 2×220 V ist die Erdung schon deshalb notwendig, damit die höchste Spannung über Erde im Interesse der Abnehmer 250 V nicht überschreitet. Außerdem gilt nur unter dieser Bedingung die Anlage als Niederspannungsanlage. Eine Sicherung darf im Nulleiter nicht angebracht werden.

16. Die Leitungsquerschnitte bei den verschiedenen Parallelschaltungssystemen.

Bei einphasigem Wechselstrom sind zwei Drähte zur Kraftübertragung nötig, genau wie bei Gleichstrom. Ist die

Phasenverschiebung gering, so ist bei derselben Spannung der Wechselstrom dem Gleichstrom ebenbürtig und für beide ist der gleiche Leitungsquerschnitt erforderlich. Bezeichnet man den Strom in beiden Fällen mit I_{gl} und den Widerstand einer Leitung mit R_{gl} , so beträgt der Stromwärmeverlust beidemal $2 I_{gl}^2 R_{gl}$ und der Spannungsverlust $2 I_{gl} R_{gl}$.

Bei Wechselstrom mit Phasenverschiebung wird für die gleiche Leistung der Strom größer. Bezeichnet man ihn mit I_w , so ist

$$(1) \quad I_w = \frac{I_{gl}}{\cos \varphi}.$$

Damit wird der Stromwärmeverlust und der Spannungsverlust entsprechend größer. Will man die Spannung am Ende der Leitung berechnen, so darf man bei Phasenverschiebung den Spannungsverlust $2 I_w R_w$ nicht einfach algebraisch von der Anfangsspannung abziehen, sondern man muß im Diagramm die Phasenverschiebung berücksichtigen, also das $I_w R_w$ in Richtung des phasenverschobenen Stroms auftragen (Fig. 26). Was von der Anfangsspannung in Zahlen abgezogen wird, ist also kleiner als $I_w R_w$ und sogar kleiner als $I_w R_w \cos \varphi$.

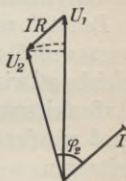


Fig. 26. Wechselstromdiagramm.

Bei Drehstrom ohne Nulleiter hat man drei Leitungen. Bezeichnet man den Widerstand einer Leitung mit R_{dr} und ihren Strom mit I_{dr} , so ist der Stromwärmeverlust in allen drei Leitungen $3 I_{dr}^2 R_{dr}$. Ist die übertragene Leistung und die Spannung zwischen je zwei Leitungen dieselbe wie bei Gleichstrom, so wird der Strom I_{dr} bei Drehstrom nur

$$(2) \quad I_{dr} = \frac{I_{gl}}{\sqrt{3}}.$$

Also wird die Stromwärme in den drei Leitungen bei Drehstrom zusammen

$$(3) \quad 3 I_{dr}^2 \cdot R_{dr} = I_{gl}^2 \cdot R_{dr},$$

gegenüber $2 I_{gl}^2 R_{gl}$ bei Gleichstrom. Läßt man beidemal den gleichen Leitungsverlust zu, so daß man die beiden Ausdrücke gleichsetzen kann, so sieht man, daß der Widerstand der Drehstromleitung doppelt so groß, ihr Querschnitt also halb so groß sein darf als der einer Gleichstromleitung. Da man nun bei Drehstrom drei Leitungen, bei Gleichstrom nur zwei Leitungen hat, so verschiebt sich das Verhältnis noch etwas und es zeigt sich, daß der Gesamtquerschnitt der drei Drehstromleitungen zu dem der zwei Gleichstromleitungen sich verhält wie 3 : 4, bei gleicher Spannung zwischen den Leitungen, gleicher übertragener Leistung und gleichem zugelassenen Gesamtstromwärmeverlust in der Leitung.

Benützt man Drehstrom mit Nulleiter und setzt voraus, daß die Spannung zwischen Außen- und Nulleiter die gleiche sei wie bei Gleich- oder Einphasenstrom, dann wird der Außenleiterstrom bei gleicher übertragener Leistung nur $\frac{1}{3}$ so groß wie der Gleichstrom, also der Verlust in den drei Außenleitungen

$$(4) \quad 3 I_{dr}^2 R_{dr} = 3 \left(\frac{I_{gl}}{3} \right)^2 \cdot R_{dr} = \frac{1}{3} I_{gl}^2 \cdot R_{dr}.$$

Soll dieser wieder ebenso groß sein wie der bei Gleichstrom, also $2 I_{gl}^2 \cdot R_{gl}$, so sieht man, daß eine Gleichstromleitung den sechsfachen Querschnitt haben muß wie eine Drehstromaußenleitung, oder: der Gesamtquerschnitt der drei Drehstromaußenleiter verhält sich zu dem der beiden Gleichstromleitungen wie 3 : 12 oder wie 1 : 4 oder 25 : 100. Nimmt man noch den Nulleiter mit der Hälfte eines Außenleiters oder mit dem sechsten Teil der Verhältniszahl 25, so ist die Kupfersparnis bei diesem System gegenüber dem Gleichstromzweileitersystem rund 71%.

Fast genau die gleiche Ersparnis gewährt das Nulleitersystem bei Gleichstrom und einphasigem Wechselstrom, wie im Kap. 16 nachgewiesen wurde,

Man hat also folgende Verhältnisse:

Stromart	Zahl der Leitungen	Gesamt-Leitungsquerschnitt in %
Gleich- und Einphasenstrom ohne Nulleiter	2	100
Drehstrom ohne Nulleiter	3	75
Gleichstrom mit Nulleiter	3	31
Drehstrom mit Nulleiter	4	29

Die Zusammenstellung zeigt deutlich, weshalb die Verwendung der beiden letzten Verteilungssysteme den anderen gegenüber weit überwiegt.

17. Die Reihenschaltungssysteme.

Während bei den Parallelschaltungssystemen die Spannung immer und überall gleich groß ist, werden die Reihenschaltungssysteme auf gleichbleibenden Strom eingerichtet. Ändert sich die Belastung, so ändert sich die Spannung. Die Generatoren im Elektrizitätswerk sind hintereinander geschaltet und werden auf gleichbleibende Stromstärke reguliert. Ein einziger Leitungsdraht durchzieht das Versorgungsgebiet von Motor zu Motor oder von Lampe zu Lampe. Werden Stromverbraucher neu eingeschaltet, so erhöht sich die Spannung der Zentrale; im umgekehrten Falle wird sie kleiner.

Weil alle Stromverbraucher vom gleichen Strom durchflossen sind, müssen sie gleichartig sein. Es können also nur entweder Motoren oder Bogenlampen oder Glühlampen in Frage kommen. So war früher besonders in Amerika das Reihenschaltungssystem für Bogenlampen beliebt. In Deutschland wird der Nordostseekanal heute noch nach diesem System mit Glühlampen beleuchtet. Auf dieser 100 km langen Strecke sind 250 Stück 25 kerzige Glühlampen für je 25 Volt in Reihe geschaltet. Sie werden mit einphasigem Wechselstrom versorgt, die Spannung des Generators ist 7500 Volt.

Von Thury ist ein besonderes System der Reihenschaltung für Gleichstrom ausgebildet worden. Als Verbraucher sind Hauptstrommotoren in Reihe geschaltet. Sie treiben entweder Generatoren (z. B. Drehstrom-) zur Versorgung nach dem Parallelschaltungssystem oder Arbeitsmaschinen an. Allerdings wurde dieses System bisher selten angewendet. Beispiele sind St. Maurice-Lausanne, Moûtiers-Lyon. Die Spannung war im letzteren Fall rund 125 kV. Neuerdings wendet sich ihm das Interesse wieder zu. Denn für die Übertragung auf sehr große Entfernung (1000 km und mehr) hat der hochgespannte Gleichstrom einige Vorzüge gegenüber dem Drehstrom, weil die Induktivität und die Kapazität für ihn keine Rolle spielen (Kap. 36). Außerdem hat man neue Möglichkeiten durch die Entwicklung der Quecksilberdampfgleichrichter gewonnen. Diese sind auf der einen Seite zur Umformung von Drehstrom in Gleichstrom für sehr hohe Leistungen gebaut worden. Auf der andern Seite ist es mit ihrer Hilfe möglich, umgekehrt auch Gleichstrom in Drehstrom umzuwandeln, und zwar dadurch, daß man zwischen Anode und Kathode ein Gitter einbaut, ähnlich wie bei den Hochvakuumröhren der Radiotechnik. Man ist dann durch einfache Beeinflussung dieses Gitters von außen in der Lage, den zugeführten Gleichstrom in Wechselstrom beliebiger Frequenz und beliebiger Phasenzahl umzuwandeln und nennt sie dann Wechselrichter (Rectinverter). So wurde für eine geplante Übertragung von 1,25 Millionen kW von Norwegen nach Deutschland vorgeschlagen¹⁾, den am Fjord erzeugten Drehstrom zunächst an Ort und Stelle durch Quecksilberdampfgleichrichter in Gleichstrom zu verwandeln. Diese werden dabei in der nötigen Anzahl hintereinandergeschaltet, so daß eine Übertragungsspannung von 2×200 kV entsteht. Die Übertragung selbst soll nach dem Dreileitersystem (Kap. 14) durch 2 Außenleiter und einen Nulleiter erfolgen, wobei der letztere

¹⁾ ETZ, 1931, S. 689 ff.; 1932, S. 453 ff.

geerdet ist. Über Land sollen Freileitungen errichtet werden, wobei der Nulleiter gleichzeitig das Blitzseil bildet (Kap. 33), durch die See sollen Einleiterhochspannungskabel verlegt werden (Kap. 34). Am Empfangsende bei Hamburg werden dann Wechselrichter in entsprechender Zahl hintereinandergeschaltet und erzeugen Drehstrom zur Verteilung in die vorhandenen deutschen Hochspannungsdrehstromnetze.

Bei einer solchen Übertragungsart nach Thury ist man für die Generatoren nicht an bestimmte Drehzahlen gebunden wie bei Drehstrom. In Wasserkraftwerken kann dann noch eine beträchtliche Leistung erzielt werden, auch wenn das Gefälle nur $\frac{1}{8}$ oder $\frac{1}{10}$ des maximalen Gefälles beträgt, was z. B. bei Werken zur Ausnützung von Ebbe und Flut von großem Nutzen sein kann.

18. Ein kurzer Vergleich der Verteilungssysteme.

Das einfache Parallelschaltungssystem mit Gleichstrom (das sogenannte Gleichstrom-Zweileitersystem) vereinigt einige bedeutende Vorzüge. Es ist äußerst einfach, läßt sich durch Verwendung von Akkumulatoren mit großer Wirtschaftlichkeit betreiben und fast sämtliche Arten von Stromverbrauchern sind für Gleichstrom technisch und wirtschaftlich gut auszuführen. Leider ist es aber auf 220 V und damit auf ein kleines Versorgungsgebiet beschränkt.

Eine Verbesserung stellt das Nulleiter- oder Dreileitersystem dar. Doch kommt man damit nur auf die doppelte Gebrauchsspannung, also im allgemeinen höchstens auf 440 V. Seine Ausbildung zum Fünfleitersystem, also zur vierfachen Gebrauchsspannung, hat sich wegen der Kompliziertheit der Schaltung nicht bewährt.

Man kommt deshalb bei großen Netzen zur Anwendung von Hochspannung, derart, daß diese in der Nähe der Verbraucher in Niederspannung umgewandelt wird. Welches System man im einzelnen anwendet, hängt von den jeweiligen Umständen

ab. In der Regel wird heute Drehstrom verwendet, der die Anwendung von ruhenden Transformatoren gestattet. Da der Drehstrom-Asynchronmotor ein billiger und überaus einfacher Elektromotor ist und die Lichtquellen ohne weiteres einem Drehstromsystem angegliedert werden können, so empfiehlt sich Drehstrom, insbesondere Drehstrom mit Nulleiter auch für die Niederspannungsseite ohne weiteres. Außerdem gestatten die Drehstrom-Kommutatormotoren jetzt auch eine weitgehende wirtschaftliche Regelung der Drehzahl. Dort, wo von früher her Gleichstrom verteilt wurde, wandelt man den hochgespannten Drehstrom in Unterstationen durch rotierende Umformer irgendwelcher Art oder durch Quecksilberdampf-Gleichrichter in Gleichstrom um. Vielfach werden auch die seitherigen Gleichstromnetze für Drehstrom von $3 \times 220/380$ V umgebaut.

Einphasiger Wechselstrom kommt heute nur in Kraftbetrieben vor, in denen man sich die Vorteile der Wechselstromkommutatormotoren zu Nutzen machen will, ferner im Bahnbetrieb; letzteres vor allem auch deshalb, weil dabei nur eine einzige isolierte Oberleitung nötig ist.

III. Die Schaltanlage¹⁾.

19. Allgemeines.

Die Schaltanlage bildet einen überaus wichtigen Teil eines Elektrizitätswerks. Von ihrer tadellosen Einrichtung und Bedienung hängt die Betriebssicherheit des Werkes ab. In den Kraftwerken stellt sie die Verbindung der Generatoren und Transformatoren mit den Verteilungsleitungen her, indem in ihr alle zur Regulierung, Schaltung, Kontrollierung, Messung und Sicherung notwendigen Apparate angeordnet werden. In den Umspannwerken verbindet die Schaltanlage die Hochspannungsleitungen untereinander und über die Transfor-

¹⁾ Vgl. Sammlung Göschen Nr. 796 u. 797: Prof. Dr. Niethammer, Schaltanlagen in elektrischen Betrieben.

matoren der Umspannwerke mit den Mittelspannungsleitungen und Niederspannungsnetzen, zu welchem Zwecke sie ebenfalls Schalt-, Meß- und Schutzapparate enthält.

Grundsätzlich ist in allen Schaltanlagen eine Zweiteilung durchgeführt. In den Schaltanlagen der zu Beginn der Elektrizitätsversorgung errichteten Werke bestand diese Teilung darin, daß die Hebel der Schaltapparate, die Handräder der Regler und die zur Messung erforderlichen Instrumente auf der Vorderseite einer Marmortafel (der Schalttafel) montiert waren, während die Apparate selbst und die Zuleitungen sich hinter der Tafel befanden. Über Wellen, Gestänge oder Ketten waren die Regler und Schalter mit den Bedienungsvorrichtungen verbunden. Der Vorzug dieser Anordnung liegt in ihrer großen Übersichtlichkeit und Sicherheit für den Wärter.

Die Zusammenballung großer Energiemengen in den modernen Großkraftwerken erhöht die Forderung nach Sicherheit und Übersichtlichkeit so sehr, daß eine viel weitergehende räumliche Trennung der beiden Teile durchgeführt wird. Die Schaltapparate, Regler, Meßwandler und Schutzapparate werden in dem Schalthaus untergebracht, die Messung von Strom, Spannung, Leistung und dergleichen, sowie die Bedienung der Apparate durch Fernsteuerung erfolgt von der Schaltwarte aus, die in einem besonderen Raum untergebracht ist.

20. Die Schalter¹⁾.

Die Schalter haben in einem Elektrizitätswerk alle möglichen Aufgaben zu erfüllen. Deshalb findet man in seiner Schaltanlage alle Arten von Schaltern, vom kleinsten Lichtdrehwähler bis zum großen Hochleistungsölschalter.

Die weitaus größte Zahl der Schalter sind Ausschalter zum Unterschied von den Umschaltern, die nur für besondere

¹⁾ Vgl. Sammlung Göschen Nr. 711: Kesselring, Elektrische Schaltgeräte.

Zwecke und im allgemeinen nur bei Niederspannung verwendet werden. Kann man z. B. ein Netz entweder von einem Generator oder von einer Batterie aus speisen, so ermöglicht ein Umschalter die Umschaltung mit einem einzigen Schaltgriff.

Das Ausschalten von Maschinen und Leitungen geschieht durchweg allpolig, damit sie nicht nur strom-, sondern auch spannungslos werden. So werden für Drehstrom stets dreipolige, für Gleichstrom stets zweipolige Schalter verwendet.

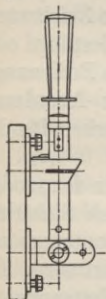


Fig. 27. Ein Hebelschalter mit Messerkontakt ohne Feder.



Fig. 28. Ein Hebelschalter mit Messerkontakt u. Abreißfeder.

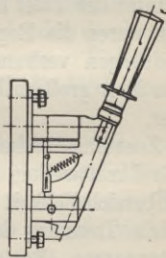


Fig. 29. Ein Hebelschalter mit Messerkontakt u. Funkenabreißer.

Das Kontaktstück, an dem die Stromunterbrechung erfolgt, ist verschiedenartig ausgeführt. Für kleine Leistungen bei kleiner Spannung (Licht, kleine Motoren, Signalhupen u. dgl.) verwendet man die Druckknopfschalter, Drehschalter oder Kippschalter. Für größere Leistungen sind bei Niederspannung die Hebelschalter allgemein üblich (Fig. 27). Sie sind fast immer mit Abreißfeder ausgeführt, so daß auch bei langsamer Bewegung der Handgriffe der Strom sehr rasch unterbrochen wird (Momentschaltung) (Fig. 28). Zur Schonung der Hauptkontakte werden Vorkontakte angebracht, die sich beim Einschalten zuerst berühren und beim

Ausschalten zuletzt trennen, so daß der sich bildende Lichtbogen niemals auf die Hauptkontakte trifft (Funkenabreißer)

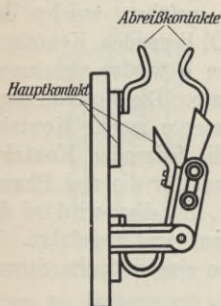


Fig. 30. Hebelschalter mit Bürstenkontakten u. Funkenabreißkontakten, geöffnet.

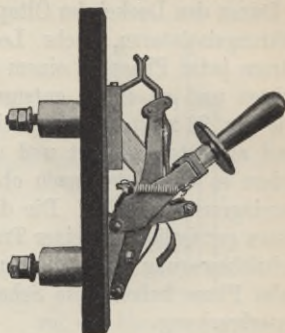


Fig. 31. Einpoliger Kniehebelschalter für 3000 A bei 500 V von V. u. H.

(Fig. 29). Statt der Messerkontakte werden bei den Hebelschaltern für hohe Stromstärken auch Bürstenkontakte mit Funkenabreißern angewendet (Fig. 30). Durch eine Kniehebelanordnung wird ein hoher Kontaktdruck gewährleistet (Fig. 31); (vgl. auch Taf. V u. VI).

Für Hochspannung haben sich vor allem die Ölschalter eingeführt. Bei ihnen liegen die Unterbrechungsstellen zur sicheren Löschung des Unterbrechungslichtbogens unter Öl. Diese Lichtbogen werden umso stärker, je größer die abzuschaltende Leistung ist. Durch die abkühlende Wirkung des Öles und durch die beim Abschaltvorgang auftretenden Ölströmungen erreicht man eine rasche Löschung des Lichtbogens.

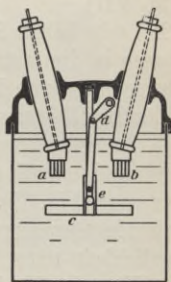


Fig. 32. Ölschalter mit Messerkontakten.

Die schematische Darstellung eines Ölschalters zeigt Fig. 32.

Durch den Deckel des Öltopfes sind, geschützt von Durchführungsisolatoren, sechs Leitungen geführt, welche den Strom jeder Phase zu einem unter Öl liegenden Kontakt a führen und an einem entsprechenden b wieder abnehmen. Die Fig. 32 zeigt diejenige einer Phase. Die Kontaktfinger sind abwärts gerichtet und das Messer c macht Kontakt, indem es von unten nach oben in die federnden Kontakte hereingeschoben wird. Die drei Messer für die drei Phasen sitzen gut isoliert auf einer Traverse e, und diese wird bei der Schaltbewegung durch die Kurbel d auf- und abgeführt. In jeder Phase haben diese Schalter also eine doppelte Stromunterbrechung.

Die Auf- und Abbewegung der Messer oder Bürsten geschieht durch eine seitlich in den Ölkasten oder Öltopf gesteckte Welle, die z. B. durch ein Handrad gedreht wird. Die Ölkasten sind vielfach zum Herunterlassen eingerichtet, so daß die Kontakte und das Öl nachgesehen werden können (Taf. VII).

Bei sehr hohen Spannungen werden die Kontakte der drei Phasen in drei getrennten Öltöpfen untergebracht, um jedes Überschlagen von Phase zu Phase zu vermeiden (Taf. VIII).

Zur Bewältigung ganz großer Abschaltleistungen gibt man den Unterbrechungsstellen der Ölschalter eine besondere Form und umhüllt diese Kontakte je für sich mit einer Löschkammer (Fig. 33). Die bei der Trennung der Kontakte entstehende Gasmenge gerät infolge gehemmter Ausdehnungsmöglichkeit unter hohem Druck und beschleunigt dadurch den Kontaktstift in seiner Abwärtsbewegung. Gleichzeitig wird das in der Löschkammer befindliche Öl durch die freiwerdende Bodenöffnung in den Öltopf hinausgepreßt und der Lichtbogen dadurch gelöscht.

Bei manchen Ölschaltern ist eine besondere Zusatzeinrich-

tung eingebaut, die dazu dienen soll, die beim Schalten von Leitungen entstehenden Wanderwellen zu schwächen. Die

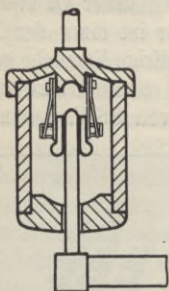


Fig. 33. Ölswitcher mit Löschkammer.

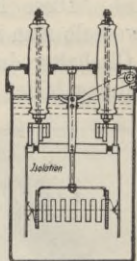


Fig. 34. Ölswitcher mit Vorwiderstand.

Schaltertraverse schließt zu diesem Zweck bei ihrer Bewegung den betreffenden Stromkreis zunächst über einen Vorwiderstand, der dann in der endgültigen Stellung kurzgeschlossen wird. Dadurch wird der Ein- und Ausschaltvorgang in zwei Abschnitten ausgeführt. Die Widerstände sind entweder im Ölswitcher unter den Traversen (Fig. 34) oder aber außerhalb angebracht. Die erste Anordnung hat jedoch schon große Ölswitcherexplosionen zur Folge gehabt. Wenn nämlich der Schalter nicht ganz einschaltet, so daß der genannte Widerstand durch den Dauerstrom, für den er nicht berechnet ist, zu warm wird, so wird das Öl erhitzt und zur

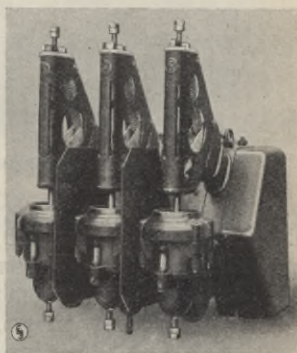


Fig. 35. Expansionsschalter der SSW.

Explosion gebracht. Auch Schalter ohne Vorkontakte haben schon heftige Explosionen verursacht, wenn z. B. durch ein Versagen des Antriebs der Lichtbogen unter Öl stehen geblieben ist. Diese Explosionsgefahr ist einer der Hauptgründe, weshalb man in letzter Zeit eifrig Versuche gemacht hat, die Ölschalter durch Schalter ohne Öl zu ersetzen.

Eine Lösung bildet (Fig. 35) der von SSW. gebaute Ex-

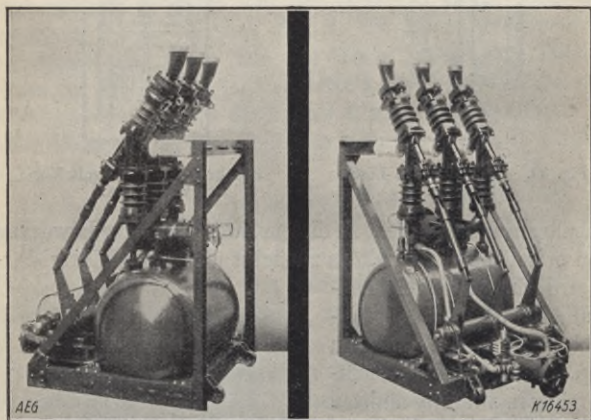


Fig. 36. Druckgasschalter der AEG.

pansionsschalter¹⁾. Er besitzt eine Kammer, ähnlich der Löschkammer, in welcher sich statt des Öls eine nicht brennbare Flüssigkeit z. B. Wasser befindet. Im Gegensatz zur Fig. 33 sitzt die Kammer unten und der Schaltstift wird nach oben ins Freie hinausgezogen. Der bei der Unterbrechung entstehende Lichtbogen bringt einen Teil der Flüssigkeit zum Verdampfen. Dieser Dampf expandiert und kühlt sich dabei ab. Dadurch wird auch dem Lichtbogen Wärme ent-

¹⁾ ETZ 1929, S. 1005, 1309 u. 1865.

zogen und er selbst ausgelöscht, wobei der aus der Kammeröffnung blasende Dampf die Löschwirkung unterstützt.

Eine weitere Lösung ist (Fig. 36) der von der AEG. gebaute Druckgasschalter¹⁾. Aus einem Vorratsbehälter wird der besonders ausgebildeten Kontaktkammer Druckluft oder Druckgas zugeführt und dadurch der Lichtbogen während einer halben Periode des Wechselstroms ausgeblasen.

Augenblicklich (1932) befindet sich die Entwicklung vom Ölschalter zum öllosen Schalter noch im Fluß und es ist mit Sicherheit zu erwarten, daß an vielen Stellen der erstere in Bälde das Feld zugunsten des öllosen, also nicht explosionsfähigen Schalters räumen wird.

Diejenigen Schalter, die nicht unter Last, sondern erst, nachdem der Stromkreis stromlos gemacht wurde, betätigt werden, nennt man Trennschalter. Sie werden z. B. benutzt, um einen Ölschalter von der Leitung abzutrennen und dadurch spannungslos zu machen, wenn an ihm eine Reparatur vorzunehmen ist. Außerdem werden mit ihnen die erforderlichen Umschaltungen vorgenommen, wenn z. B. Fernleitungen anders verbunden werden sollen. Ist die Umschaltung bei geöffneten Ölschaltern vollzogen, so wird der neue Zusammenschluß durch den Ölschalter vorgenommen.

Der Ausführung nach lassen sich die Trennschalter in drei Gruppen einteilen. Bei Spannungen bis etwa 30 kV verwendet man (Fig. 37) die Trennschalter mit vertikal schwingenden Trennmessern und einer einzigen Trennstelle in jeder Phase, für höhere Spannungen die Drehtrennschalter, welche ein horizontal schwingendes Schaltstück und doppelte Unter-

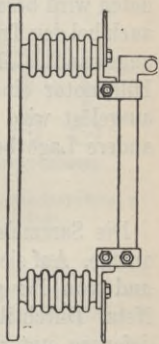


Fig. 37. Trennschalter mit vertikalschwingendem Trennmesser.

¹⁾ ETZ 1929, S. 1746, und 1930, S. 299.

brechung aufweisen. Die Trennschalter für die 110 u. 220 kV-Anlagen sind z. T. auch so gebaut, daß beim Einschalten ein Stützer (Stützisolator) an einen andern herangeschoben wird, wobei ein Kontakt geschlossen wird. Beim Ausschalten macht der Stützer den umgekehrten Weg.

Die Betätigung der Schalter geschieht entweder von Hand (Handgriff, Handrad, Kurbel) oder durch einen elektromagnetischen Antrieb oder auch wahlweise auf beide Arten. Die Betätigung durch einen ferngesteuerten Motor oder Magneten wird besonders bei den großen Ölschaltern und vielfach auch bei den Trennschaltern für hohe und höchste Spannungen angewandt. Dabei wird an vielen Ölschaltern durch einen Hilfsmotor eine Feder aufgezogen, die beim Schaltvorgang ausgelöst wird und die Schalttraverse augenblicklich in die andere Lage befördert (Schnellschalter).

21. Die Sammelschienen.

Die Sammelschienen bilden den Mittelpunkt einer Schaltanlage. Auf sie arbeiten alle Generatoren in Parallelschaltung und von ihr gehen die verschiedenen Speiseleitungen ins Netz. Durch ihre Beschädigung würde die gesamte Energielieferung unterbrochen. Sie müssen deshalb so ausgeführt werden, daß Schäden überhaupt nicht auftreten können. Dazu dient auf der einen Seite größte Einfachheit und Übersichtlichkeit in der Anordnung, auf der andern Seite Sicherheit gegen alle möglichen Überspannungen und Überströme. Man vermeidet auch alle Apparate wie Meßwandler, Schalter, Regler u. dgl. in diesem wichtigen Teil der Schaltanlage.

Die Sammelschienen selbst bestehen meist aus Rundkupfer. Bei hohen Spannungen ist zur Vermeidung der Glimmverluste ein genügend großer Durchmesser erforderlich, weshalb bei kleineren Strömen Kupferrohre verwendet werden. Bei sehr großen Strömen und niederen Spannungen erhalten die Schienen rechteckigen Querschnitt. Sie sind in der Regel auf

Stützisolatoren aus Porzellan oder Hartpapier befestigt, nur bei ganz hohen Spannungen sind sie an Hängeisolatorenketten aufgehängt (Tafel X u. XI). Ihr Abstand ist reichlich und hängt von der Spannung ab. Ihr Querschnitt wird so gewählt, daß auch bei stärkstem Strom eine Erwärmung nicht auftreten kann.

Bei Gleichstrom-Zweileiteranlagen hat man positive und negative Sammelschienen, bei Nullleiteranlagen solche für die beiden Außen- und für den Nulleiter. Bei einphasigem Wechselstrom sind zwei Schienen für die beiden Pole nötig, bei Drehstrom drei Schienen für die drei Phasen und gegebenenfalls eine vierte für den Nulleiter.

In einfachen Schaltbildern zeichnet man der Übersichtlichkeit halber nicht alle 2, 3 oder 4 Sammelschienen, sondern je nur eine einzige. Ebenso macht man es mit den abgehenden Leitungen. So ist in Fig. 38 jede Linie als eine dreifache (Drehstrom-)Leitung anzusehen und der einzigen gezeichneten Sammelschiene entsprechen in Wirklichkeit drei Sammelschienen.

Damit die Übersicht in der Schaltanlage erleichtert wird und Neuanschlüsse fehlerlos erfolgen können, werden die Leitungen der einzelnen Pole oder Phasen mit verschiedenen Farben angestrichen. Nach den Vorschriften des VDE (DIN VDE 705) soll der positive Pol bei Gleichstrom mit Rot, der negative mit Blau bezeichnet werden, bei Drehstrom die erste Phase (*R*) mit Gelb, die zweite (*S*) mit Grün, die dritte (*T*) mit Violett. Nulleiter werden schwarz, weiß oder hellgrau angestrichen und mit farbigen Querstrichen versehen, die beim geerdeten Nulleiter grüne, beim ungeerdeten rote Farbe besitzen sollen.

Zur Erhöhung der Sicherheit werden in größeren Haupt- und Unterwerken zwei Sammelschienensysteme angeordnet (Fig. 39). Die Schaltanlage wird dann so eingerichtet, daß jede Maschine und jede abgehende Leitung mit Hilfe von

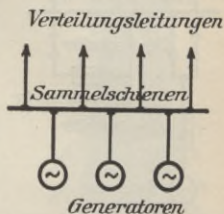


Fig. 38. Sammelschienenanlage.

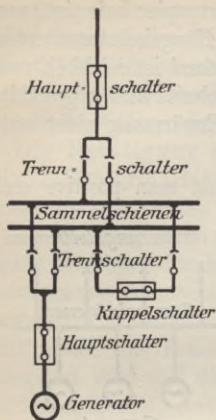


Fig. 39. Doppelsammelschienen mit Kuppelschalter.

Trennschaltern auf jedes der beiden Systeme geschaltet werden kann. Man kann dann bei einer Störung in dem einen System alle Leitungen auf das andere umschalten.

In manchen Betrieben werden beide Sammelschienensysteme benützt, so daß das Werk in zwei voneinander ganz unabhängige Teile getrennt ist. Das hat den Vorteil, daß eine Störung in einen Teil nicht auch in den andern herübergreift. Soll ohne Unterbrechung von einem System auf das andere umgeschaltet werden, so muß die Möglichkeit der Synchronisierung und Kupplung durch einen sogenannten Kuppelschalter vorgesehen werden (Fig. 39).

22. Die Meß- und Kontrollinstrumente¹⁾.

Der Hauptzweck der Meßinstrumente ist die Überwachung der Generatoren, Transformatoren und Leitungen. Für die ersteren sind Amperemeter, für die zwei bzw. bei Drehstrom drei Leitungen, außerdem Wattmeter, Voltmeter und Temperaturüberwachungsinstrumente für Lager, Eisen, Luftstrom usw. erforderlich. Der Erregerstrom wird durch ein Amperemeter beobachtet. Die abgehenden Leitungen erhalten mindestens ein Amperemeter. Zur Kontrolle der Frequenz dienen Frequenzmesser, die meist als Zungen-, seltener als Zeigerinstrumente ausgeführt sind. Phasenlampen und -voltmeter oder sonstige Meßeinrichtungen ermöglichen die Synchronisierung.

Die Gleichstrom-Volt- und -Amperemeter sind normalerweise Drehspulinstrumente, wenn nötig mit äußeren Vor- bzw.

¹⁾ Vgl. S. G. Nr. 477: Herrmann, Die elektrischen Meßinstrumente.

Nebenwiderständen. Für Wechsel- und Drehstrom werden fast durchweg Dreheisen- bzw. zur Leistungsmessung ferrodynamische oder Ferrarisinstrumente eingebaut. Das Gehäuse der Instrumente ist entweder rund oder hat Profilform, die weniger Platz benötigt und doch sehr übersichtlich ist.

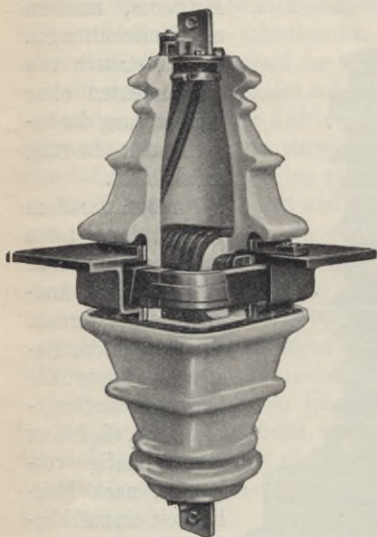


Fig. 40. Querloch-Durchführungsstromwandler, Prüfspannung 86 kV (S. u. H.).

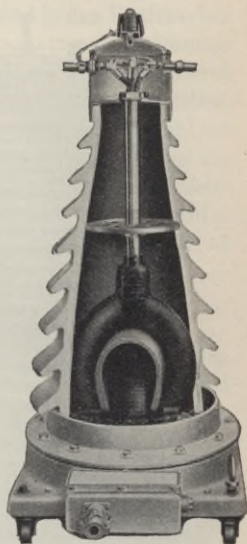


Fig. 41. Kreuzringstromwandler in einem Hochspannungsstützen-Isolator für 350 kV Prüfspannung (S. u. H.).

Dabei werden für Hochspannung fast nie, bei Niederspannung nur selten die Amperemeter und die Stromspulen der Wattmeter, Zähler und ähnlicher Apparate direkt in die Leitung eingeschaltet, sondern der Strom wird durch Stromwandler auf den üblichen Strombereich von 5 Amp übersetzt. Ebenso werden bei Hochspannung die Voltmeter und die Spannungs-

spulen der obengenannten wattmetrischen Instrumente durchweg an Spannungswandler angeschlossen. Der Vorteil der Meßwandler besteht in der Abhaltung jeder Hochspannung von den Instrumenten und dem damit erreichten Schutz der Bedienung, in der Vereinfachung der Meßinstrumente und des

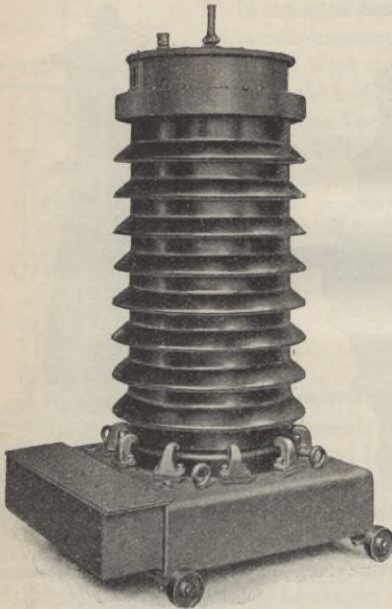


Fig. 42. Kaskaden-Spannungswandler für 100 kV (S. u. H.).

Betriebes, insofern als Umschaltungen und Austausch von Instrumenten ohne Abschaltung der betreffenden Leitung möglich ist.

An Meßwandlern sind in den letzten Jahren verschiedene neue Typen konstruiert worden, denen allen das Bestreben zugrunde lag, Meßwandlerexplosionen, die früher recht häufig vorkamen, nach Möglichkeit auszuschließen. So entstanden die Querloch-

stromwandler (Fig. 40), die statt

Öl oder Compoundmasse einen feuersicheren graphitierten Quarzsand als Füllmasse und als Hauptisolation zwischen Primär- und Sekundärseite Porzellan erhalten. Für die ganz hohen Spannungen sind die Kreuzringstromwandler (Fig. 41), die als besonders kurzschlußsicher angesprochen werden können, be-

stimmt. Unter den Spannungswandlern ist gegenüber den früheren Ausführungen insbesondere der wesentlich billigere Kaskadenwandler (Fig. 42) zu erwähnen, bei dem die ganze Spannung nicht auf einen einzigen Wandler wirkt, sondern auf mehrere hintereinander geschaltete Stufen verteilt ist.

Neben den zeigenden Instrumenten sind in den Kraftwerken eine große Zahl von schreibenden Registrierinstrumenten aufgestellt, die den Verlauf der betreffenden Meßgröße durch eine auf einem Papierstreifen aufgezeichnete Kurve darstellen. Schließlich sind noch die Zähler zu erwähnen, die sowohl zur Verrechnung als auch zur einwandfreien Betriebsführung unentbehrlich sind. Sie werden als Blind-, Wirk- und Scheinverbrauchsähler ausgeführt und erhalten bei Mehrfachtarifen zwei und mehr Zählwerke, die von einem Uhrwerk jeweils zu bestimmten Tageszeiten eingeschaltet werden.

23. Der Überstromschutz.

Die Maschinen, die Leitungen und die an die Leitungen angeschlossenen Stromverbraucher müssen bei auftretenden Kurzschlüssen oder großen Überlastungen vor übermäßiger Erwärmung geschützt werden, weil diese die Isolation zerstört. Am einfachsten geschieht dies dadurch, daß man beim Auftreten zu großer Ströme die Stromverbraucher selbsttätig vom Netz abtrennt.

Früher dienten diesem Zweck ausschließlich und heute noch vielfach die Schmelzsicherungen. Es sind dies Drähte oder Streifen aus Silber, Feinzink oder Blei (Fig. 43), deren Querschnitt so bemessen ist, daß sie bei Überschreiten einer bestimmten Stromstärke durchschmelzen. Sie werden in die Leitung eingebaut, und zwar entweder offen und mit Kabelschuhen versehen (Fig. 44) oder in einen sandgefüllten keramischen Isolierkörper eingebettet (Fig. 45) oder in eine Porzellanröhre eingezogen (Fig. 46). Sie bilden im Zuge der Leitung eine schwache Stelle, die den Strom unterbricht, ehe er

Schaden angerichtet hat. Nach dem Einsetzen einer neuen Sicherung ist die Stromzufuhr zu den inzwischen in Ordnung gebrachten Verbrauchern wieder möglich.

In den Hochspannungsnetzen mit ihren riesigen Leistungen, die bis zu mehreren 100 MVA betragen, sind die Schmelzsicherungen unbrauchbar. Auch sonst will man das lästige und teure Auswechseln der Schmelzsicherungen vermeiden. Man hat deshalb die selbsttätigen (automatischen) Schalter, die Überstromselbstschalter, auch Maximalschalter oder Maximalautomaten genannt, gebaut. Bei ihnen wird mit der Einschaltbewegung eine Feder gespannt, die den Schalter auszuschalten



Fig. 43. Schmelzdrähte bzw. -streifen mit Kabelschuhen.

sucht (in Fig. 47 die Feder rechts). Dieser wird aber normalerweise mit Hilfe einer Klinke in seiner Einschaltstellung festgehalten. Sobald jedoch der Strom über den zulässigen Wert ansteigt, wird diese Klinke z. B. durch die elektromagne-

sucht (in Fig. 47 die Feder rechts). Dieser wird aber normalerweise mit Hilfe einer Klinke in seiner Einschaltstellung festgehalten. Sobald jedoch der Strom über den zulässigen Wert ansteigt, wird diese Klinke z. B. durch die elektromagne-

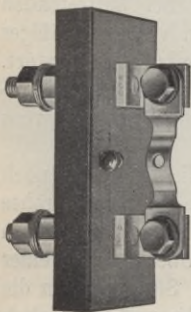


Fig. 44. Einpolige offene Streifensicherung für 350 A bei 250 V auf Schiefersockel (V. u. H.).

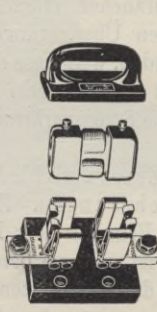


Fig. 45. Geschlossene einpolige Sicherungspatrone bis 400 A bei 500 V, die mit Hilfe des Handgriffs eingesetzt und herausgenommen wird (V. u. H.).

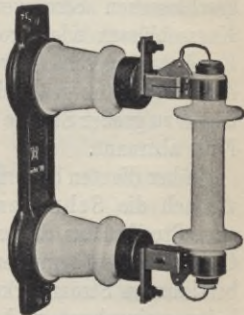


Fig. 46. Einpolige Hochspannungsröhrensicherung für 100 A bei 10 kV. Der Porzellangriff wird mit Zange gefaßt.

tische Wirkung des Überstromes angehoben (ausgelöst) und der Schalter durch die gespannte Feder geöffnet. Dies kann unmittelbar durch die vom Hauptstrom durchflossene Spule (das Überstrom- oder Maximalrelais) geschehen (Fig. 47) oder dadurch, daß zunächst ein zweites Relais eingeschaltet wird, das durch einen besonderen Hilfsstrom, meist Gleichstrom aus einer Batterie, betätigt wird und die Klinke zum Auslösen bringt (Fig. 48). Der Schalter kann

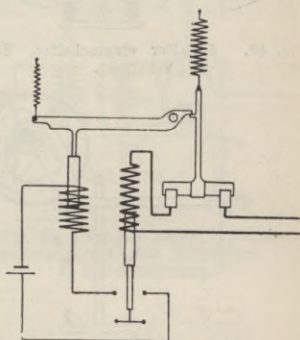
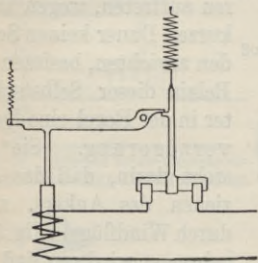


Fig. 47. Schema eines unmittelbar wirkenden Überstrom-Selbstschalters.

Fig. 48. Schema eines Überstrom-Selbstschalters mit Hilfsrelais.

hierauf wieder eingelegt werden, hält aber natürlich nur dann, wenn der Fehler beseitigt und der Überstrom verschwunden ist.

Wenn dabei der Auslösevorgang unabhängig vom Antriebsorgan erfolgt, so spricht man von Freiauslösung. Eine solche zeigen die Figuren 49 bis 51 von V. u. H. Zwischen dem Schalthebel links und dem Schaltmesser rechts unten eines Ölschalters ist eine lösbare Klinkenkupplung, das Schloß genannt (rechts oben), eingefügt. Ist der Schalter eingeschaltet, dann greifen die Klinke wie in Fig. 49 ineinander. Wird die Klinke *a* ein wenig nach links gedreht (etwa durch die Wirkung des Überstromrelais nach Fig. 54), so lösen sich sofort sämtliche Klinke aus und der Schalter wird durch die nicht gezeichnete kräftige Feder, die beim Einschalten gespannt wurde, ausgeschaltet. Diese Stellung zeigt Fig. 50. Bei dieser Auslösung bleibt der Schalthebel in der Ein-

schaltlage stehen Er muß in die Ausschaltstellung bewegt werden (Fig. 51), damit die Klinke des Schloßes wieder eingeklinkt werden. Nun kann der Schalter wieder eingeschaltet, also in die Stellung der Fig. 49 gebracht werden.

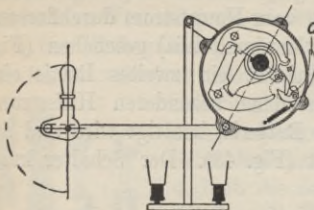


Fig. 49. Schalter eingeschaltet, Schloß verklinkt.

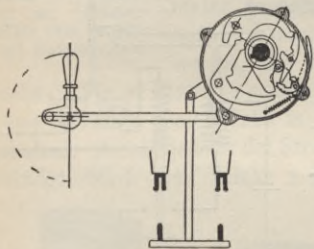


Fig. 50. Schalter ausgelöst, Schloß entklinkt.

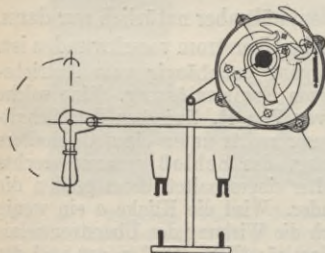


Fig. 51. Schalter ausgeschaltet, Schloß wieder verklinkt.

Fig. 49 bis 51. Freiauslösung von V. u. H.

Da ganz kurz dauernde Überströme, die z. B. beim Einschalten großer Motoren auftreten, wegen ihrer kurzen Dauer keinen Schaden anrichten, besitzen die Relais dieser Selbstschalter in der Regel eine Zeitverzögerung. Sie besteht darin, daß das Anziehen des Ankers, z. B. durch Windflügel (Fig. 52), gebremst wird, so daß die Unterbrechung erst dann eintritt, wenn der Überstrom eine gewisse Zeit lang besteht (Fig. 53). Die Dauer der Verzögerung kann an einer Skala eingestellt werden und man wählt als Auslösezeit etwa 2 bis 4 Sekunden.

Ebenso kann auch die Stromstärke, bei der die Auslösung des Schalters ansprechen soll, eingestellt werden. Sie hängt von der Kraft ab, welche die Klinke in ihrer Ruhe-

stellung festhält. In den Fig. 47, 48, 52 und 53 ist es die Feder links und in den Fig. 49 bis 51 die Feder an der Klinke *a*. Durch ihre Spannung kann also die Auslösestromstärke eingestellt werden. Zu diesem Zweck ist an dem Relais eine Skala an-

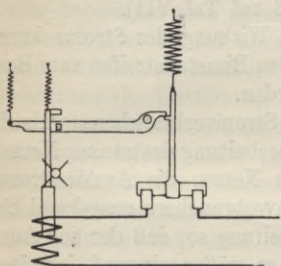


Fig. 52. Schema eines Überstrom-Selbstschalters mit Zeitverzögerung.

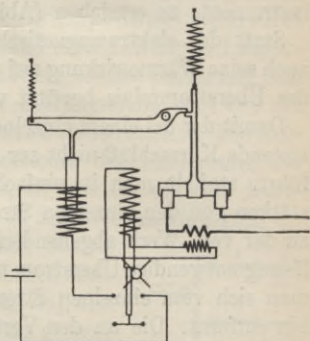


Fig. 53. Schema eines Überstrom-Selbstschalters mit Hilfsrelais und Zeitverzögerung.

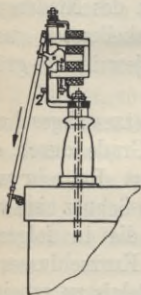


Fig. 54. Ein auf der Schaltereinführung sitzender Überstromauslöser.

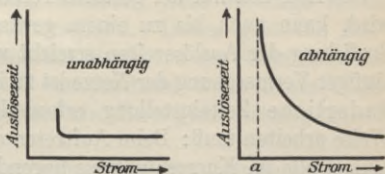


Fig. 55. Kennlinien für unabhängige und abhängige Auslösung.

gebracht. In der Fig. 54 sieht man bei 2 eine derartige Einrichtung.

Schließlich lassen sich auch Vorrichtungen anbringen, die die Auslösezeit abhängig von der Stromstärke machen, so daß der Schalter um so schneller auslöst, je größer

der Überstrom ist. Demzufolge unterscheidet man einen Überstromschutz mit unabhängiger und mit abhängiger Auslösecharakteristik (Fig. 55). Die letztere ist z. B. durch den Bau des Überstromrelais nach dem Prinzip der Induktionsinstrumente zu erreichen (Abb. 3 auf Taf. VII).

Statt der elektromagnetischen Wirkung des Stroms kann auch seine Wärmewirkung auf einen Bimetallstreifen zum Bau der Überstromrelais benützt werden.

Damit der bei einem einzelnen Stromverbraucher etwa auftretende Kurzschluß nicht zur Abschaltung des ganzen Netzes führt, staffelt man in einfachen Netzen die Auslösestromstärken von den einzelnen Stromverbrauchern ausgehend bis zu der vom Werk abgehenden Leitung so, daß der zur Auslösung notwendige Überstrom um so größer sein muß, je weiter man sich vom einzelnen Stromverbraucher gegen das Werk hin entfernt. Die an den Verteilungsstellen des Niederspannungsnetzes (Transformatorstationen, Kabelkasten usw.) verwendeten Sicherungen weisen demnach jeweils die größte Auslösestromstärke auf.

Das Ziel, daß nur der gestörte Teil des Netzes abgeschaltet wird, kann auch bis zu einem gewissen Grade durch eine Staffelung der Auslösezeiten erreicht werden. Bei sehr weitläufiger Vermaschung der Netze ist zu ihrem Schutz eine veränderliche Zeiteinstellung erforderlich, die in folgender Weise arbeiten muß: Beim Auftreten eines Kurzschlusses beginnen alle im Kurzschlußkreis liegenden Relais zu arbeiten; die Arbeitszeiten vom Ansprechen bis zur Auslösung müssen aber um so kleiner werden, je näher das Relais an der Kurzschlußstelle liegt. Diejenigen beiden Relais, zwischen denen der gestörte Leitungsabschnitt unmittelbar liegt, müssen also die kürzeste Auslösezeit erhalten und das gestörte Leitungsstück vom Netz abtrennen. Alle anderen Relais kehren dann, ohne ausgelöst zu haben, selbsttätig in ihre Betriebsstellung zurück.

In solchen selektiven, d. h. auswählenden Relais besteht das die Auslösezeit bestimmende Organ aus einem Ohmmeter, das den vom Einbauort des Relais bis zur Fehlerstelle vorhandenen Schein- oder Blindwiderstand der Leitung mißt. Daher bezeichnet man sie auch als Impedanz- oder Reaktanzrelais. Da der Widerstand einer Leitung je Längeneinheit ziemlich konstant ist, mißt ein solches Relais mit dem Widerstand die Entfernung der Störungsstelle vom Ort des Relais, weshalb man es auch Distanzrelais nennt. Die Auslösezeit ist infolgedessen proportional der Entfernung des Relaisortes von der Fehlerstelle, ist also für die dem Kurzschluß nächstliegenden Relais und Schalter am kürzesten.

Da jede Leitung einen solchen Schutz benötigt, kommt es vor, daß zwischen einer ankommenden Leitung (1 in Fig. 56) und einer abgehenden (2) nur die ganz geringe Impedanz der Sammelschiene liegt. Damit bei einem Kurzschluß in (a) mit 2 nicht auch 1 auslöst, so daß die gesunde Leitung

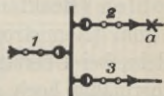


Fig. 56. Eine ankommende u. zwei abgehende Leitungen.

3 auch unterbrochen wäre, bekommt jedes derartige Relais ein sogenanntes Richtungsglied. Dieses gibt die Auslösung nur dann frei, wenn der Strom von der Sammelschiene wegfließt. Seinem Zweck entsprechend weist dieses Glied wattmetrische Bauart auf und wird Energierichtungsglied genannt.

Zum Schutz von Generatoren und Transformatoren, bei denen Kurzschlüsse meist als Folge von Wicklungsschäden auftreten, verwendet man den Differentialschutz. Dieser vergleicht die auf beiden Seiten ein- bzw. austretenden Ströme. Bei Zerstörung der Wicklung wird infolge des im Innern verbrauchten Fehlerstromes eine Stromdifferenz in dem Schutzsystem entstehen, auf Grund deren eine Auslösung erfolgt.

Bei den Transformatoren in Öl wendet man außerdem noch

den Buchholzschutz an. Bei diesem werden die Gase aufgefangen, die bei einem Defekt durch Zersetzung des Öles aufsteigen, und zur Schalterauslösung benutzt.

Da die Stärke der auftretenden Kurzschlußströme von dem im Zuge der Leitung vorhandenen ohmschen und induktiven Widerstande abhängt, so ist einleuchtend, daß die in der Nähe der Stromerzeuger befindlichen Verbraucher infolge des geringen Leitungswiderstandes außerordentlich große Ströme auszuhalten hätten, denen sie auch bei sofortiger Auslösung kaum gewachsen wären. Man vergrößert infolgedessen den Widerstand der zu ihnen führenden Leitung künstlich so, daß man induktive Widerstände in Form von eisenlosen Drosselspulen (Reaktanzspulen) in sie einschaltet. Bei normalem Strom (Nennstrom) ist der Spannungsabfall in ihnen sehr klein, bei Überstrom dagegen groß, so daß der Strom nicht übermäßig hoch ansteigt. Tafel X Abb. 1 zeigt eine solche Strombegrenzungsdrossel (Kurzschlußdrossel) von SSW. Solche Verhältnisse treten besonders in den Eigenbedarfsanlagen der Kraftwerke auf, da bei einem Kurzschluß die ganze Kraftwerksleistung auf die nahe Fehlerstelle arbeitet.

24. Die Überspannungen und der Überspannungsschutz.

Überspannungen sind Spannungssteigerungen, welche entweder infolge ihrer Höhe über die Betriebsspannung oder infolge ihres besonders steilen Anstiegs durch Zerstörung der Isolation den Betrieb und Bestand einer elektrischen Anlage gefährden können. Die Ursachen sind Vorgänge entweder im Netz (z. B. heftige Kurzschlüsse) oder in der Atmosphäre (z. B. Blitzschläge). Die unmittelbare Wirkung sind die Wanderwellen, deren Entstehung und Gefährlichkeit aus folgendem hervorgeht:

Wird dem Anfang einer Leitung ein bestimmter elektrischer Zustand (z. B. eine Spannung) plötzlich aufgezwungen, so pflanzt sich diese Veränderung nicht momentan bis zum Lei-

tungsende fort, sondern sie braucht dazu eine gewisse, allerdings sehr kurze Zeit. Der Spannungszustand wandert in Fig. 57 oben von A nach E mit einer Geschwindigkeit v , die bei Freileitungen der Lichtgeschwindigkeit, bei Kabeln ungefähr der Hälfte dieses Wertes gleichkommt. Ist nun die Leitung in E offen, so wird die Welle dort reflektiert und läuft mit doppelter Höhe wieder nach A zurück (Fig. 57 unten), worauf das Spiel von neuem beginnt. Die Spannung könnte dabei ständig wachsen, wenn die Widerstände der Strombahn keine dämpfende Wirkung auf diese Spannungserhöhungen ausüben würden.

Die Gefährlichkeit dieser Wanderwellen liegt meist weniger in ihrer Höhe, als vielmehr in der außerordentlich steilen Form ihrer Stirne. Bei einer sinusförmig verlaufenden Wechselspannung erstreckt sich der Anstieg von Null bis zum Höchstwert über eine Länge von 1500 km. Bei den Wanderwellen kann er sich auf wenige Meter zusammendrängen. Läuft eine solche Welle, die infolge ihrer außerordentlichen Steilheit auch Sprungwelle genannt wird, in die Wicklung einer Maschine oder eines Transformators, so ist es möglich, daß die ganze Spannung sich auf wenige nebeneinanderliegenden Windungen verteilt, deren Isolation einer solchen Spannung ohne besondere Maßregeln nicht gewachsen ist.

Solche Wanderwellen können nun bei jedem Schaltvorgang auftreten, also bei der normalen Betätigung eines gewöhnlichen Schalters oder bei Kurzschlüssen, Überschlägen, Durchschlägen u. dgl. Die meisten solchen Störungen haben ihre Ursache in einem Erdschluß, der darin besteht, daß bei Drehstrom ohne Nulleiter eine Phase in mehr oder weniger gutleitende Verbindung mit Erde gerät. Die Spannung dieser Phase gegen Erde kann im äußersten Fall zu Null werden, so

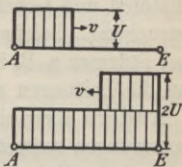


Fig. 57. Spannungswelle.

daß die der beiden gesunden Phasen gegen Erde auf das $\sqrt{3}$ fache hinaufschnellt. Wie in Kapitel 25 gezeigt ist, fließt dabei ein von der Gesamtkapazität des Leitungsnetzes abhängender Ladestrom über die Erdschlußstelle und entwickelt dabei in vielen Fällen einen Lichtbogen. Dieser erlischt und zündet wieder im Takt der Betriebsfrequenz und schickt so infolge dieser periodischen, starken Spannungsänderungen die gefürchteten Wanderwellen in das Netz. Das andauernde Aufprallen dieser Wellen bedeutet für Transformatoren und Generatoren eine außerordentlich starke Beanspruchung. Solche Erdschlüsse treten in Freileitungsnetzen bei Stürmen z. B. infolge des Anschlagens von Baumzweigen an die Leitungen auf.

Andere Ursachen, im Netz selbst, durch die solche Überspannungen auftreten, ergeben sich bei Auftreten von Resonanz, beim Unterbrechen eines stark induktiven Stromkreises (z. B. eines leerlaufenden großen Asynchronmotors u. dgl.), wo die vorhandene beträchtliche magnetische Energie $\frac{1}{2} LI^2$ in elektrische Energie $\frac{1}{2} CE^2$ umgewandelt werden muß. Infolge der geringen Kapazität treten dabei an der Unterbrechungsstelle hohe Spannungen auf, die wieder zu Wanderwellen führen. Auch die Unterbrechung einer der drei Phasen eines Drehstromnetzes kann zu Spannungserhöhungen führen.

Die atmosphärischen Überspannungen, die bei Freileitungen auftreten, können sich als direkte Blitzschläge ins Netz oder als Wanderwellen infolge schneller Ladungsänderungen bemerkbar machen. Die direkten Blitzschläge führen meist zu Zerstörungen von Isolatoren, Zersplitterung von Holzmasten, Abschmelzen von Leitungen, aber auch durch die auftretenden Erdschlüsse zur Ausbildung von Wanderwellen. Diese werden aber auch durch andere atmosphärische Vorgänge verursacht. Befindet sich eine stark geladene Gewitterwolke in der Nähe einer Leitung, so werden Ladungen auf dieser gebunden. Bei der Entladung der Wolke — ohne

daß dabei ein Einschlag in die Leitung erfolgt — werden die gebundenen Ladungen auch in der Leitung wieder frei und lösen sich in zwei nach entgegengesetzten Richtungen laufende Wanderwellen auf.

Zum Schutz gegen solche Überspannungen können zwei Wege beschritten werden. Entweder erhöht man die Isolation aller gefährdeten Anlageteile so, daß sie auch den Überspannungen standhalten, oder man bietet den Überspannungen einen Weg, auf dem sie sich auswirken können, ohne dem Betrieb zu schaden. Meist wendet man beide Mittel zugleich an.

Die Isolation einer Anlage, die früher nach der Höhe der Betriebsspannung festgesetzt wurde, wird heute für eine wesentlich höhere Spannung bemessen, d. h. die Anlage wird mit einem erhöhten Sicherheitsgrad ausgeführt. Die Eingangswindungen der Maschinen und Transformatoren, die den gefährlichen Sprungwellen in besonderem Maße ausgesetzt sind, werden mit verstärkter Isolation versehen und schon in der Fabrik mit künstlich erzeugten Sprungwellen auf ihre Festigkeit in dieser Hinsicht geprüft.

Das Entstehen von gefährlichen Wanderwellen wird gelegentlich noch durch Verwendung von Ölschaltern mit Widerstandsvorstufe (Fig. 34) zu unterdrücken versucht; die häufigen Ölschalterexplosionen bei dauernd eingeschaltetem Widerstand und die geringe Wirksamkeit haben jedoch diese Maßnahme bei den neuen Konstruktionen ganz verdrängt. Die abflachende Wirkung der Drosselspulen, welche früher vor die Transformatoren und Maschinen geschaltet wurden, wird auch in den Eingangswindungen erreicht, so daß man diese, wie oben erwähnt, nur spannungsfest auszuführen hat.

Die zweite Art des Schutzes beruht darauf, daß man in der Anlage eine gegen Überspannungen schwache Stelle vorsieht, über welche sie sich ohne Schaden ausgleichen können. Die gebräuchlichste Schutzart stellt die Funkenstrecke dar. Sie besteht im allgemeinen aus hörnerartig gebogenen Drähten

aus Hartkupfer, von denen der eine an die Leitung angeschlossen und der andere über einen Widerstand geerdet ist. Die kleinste Entfernung der Hörner wird so eingestellt, daß sie bei der 1,5 bis zweifachen Betriebsspannung durchgeschlagen wird (Fig. 58).

Springt ein Funke an der engsten Stelle über und bildet sich ein Lichtbogen, so steigt dieser von selbst nach oben, wird immer länger und erlischt schließlich (Fig. 59). Dieses Aufsteigen kommt in erster Linie davon her, daß die Strom-

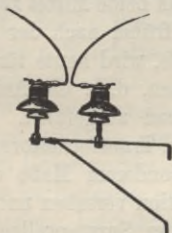


Fig. 58. Hörnersicherung.



Fig. 59. Der Lichtbogen zwischen den Hörnern.

schleife, welche durch den Stromweg: erstes Horn — Lichtbogen — zweites Horn gebildet wird, sich infolge ihrer elektrodynamischen Eigenschaften zu erweitern sucht. Die eingeschlossenen Kraftlinien haben gleiche Richtung, stoßen sich also ab, und drängen so den beweglichen Teil, den Lichtbogen, nach oben. Unterstützt wird diese elektrodynamische Wirkung durch den Auftrieb der durch den Lichtbogen erwärmten Luft. Er wird also aus beiden Gründen nach oben getrieben und, da er dabei immer länger wird, schließlich zerrissen. Wegen dieser Wirkung wendet man das Horn auch bei den Schmelzsicherungen an, wie die Abb. 3 auf Taf. V zeigt.

Da die Funkenstrecke durch den Funken jonisiert und daher leitend wird, vermag die normale Betriebsspannung nunmehr ebenfalls einen sehr starken Strom zur Erde fließen zu lassen.

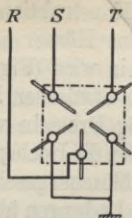


Fig. 60. Der Fünfhörnerschutz der SSW.

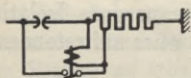


Fig. 61. Der Bendmannschutz.

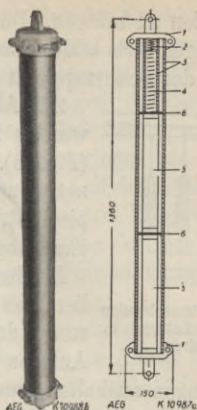


Fig. 62. Ocelitableiter der AEG in Ansicht u. Schnitt.

Um dies zu verhüten, wird durch einen — meist in einem Ölkasten untergebrachten — Dämpfungswiderstand der Strom so geschwächt, daß die an der Funkenstrecke auftretende Spannung den Lichtbogen nicht mehr aufrecht zu erhalten vermag. Bei Drehstromleitungen wird meist die sogenannte $\Delta \wedge$ -Schaltung der Hörner mit den Widerständen angewendet (Fig. 60).

Bei dem von Bendmann angegebenen Überspannungsableiter wird durch ein Relais die Funkenstrecke nach dem Ansprechen sofort überbrückt und gleich darauf wieder geöffnet (Fig. 61). Dadurch wird der Lichtbogen unterdrückt und die Erwärmung der in Öl gekühlten Widerstände herabgesetzt.

Statt der aus Draht bestehenden Dämpfungswiderstände verwendet man heute auch ein Material, z. B. Ocelit¹⁾, dessen Widerstand mit steigender Spannung abnimmt. Dadurch ist es möglich, Überspannungen leicht abzuleiten und den durch die Betriebsspannung nachfolgenden Strom sofort zum Ver-

¹⁾ AEG-Mitteilungen 1929, Heft 3.

schwänden zu bringen. Da bei dieser Konstruktion gar kein Lichtbogen sich bilden kann, sind keine Hörner notwendig, so daß der Schutzapparat ziemlich klein wird (Fig. 62).

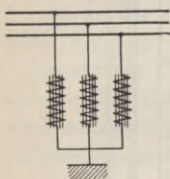


Fig. 63. Drosselspulen zwischen Leitung u. Erde.

Zur Ableitung von statischen Ladungen wurden früher häufig Drosseln verwendet (Fig. 63). Heute werden die Hochspannungsnetze durch Erdschlußlöcher geschützt (Kapitel 25), so daß diese Ladungen über sie zur Erde abgeleitet werden.

Bei den höchsten Betriebsspannungen verliert das Überspannungsproblem an Bedeutung, da die überaus gute Isolation der Anlagen auch die etwa auftretenden Überspannungen aushalten kann.

25. Der Erdschlußschutz.

In Amerika wird der Nullpunkt aller Drehstrom- und Einphasenstromsysteme in der Regel geerdet. Infolgedessen wird, wenn eine Leitung durch Drahtbruch, Isolatorzerstörung oder dgl. mit der Erde in Verbindung kommt, ein rich-

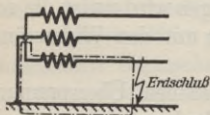


Fig. 64. Erdschluß bei geerdetem Nullpunkt.

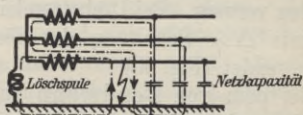


Fig. 65. Erdschluß mit Petersenspule.

tiger Kurzschluß die Folge sein, der durch den gewöhnlichen Überstromschutz (Kap. 23) erfaßt und abgeschaltet wird (Fig. 64).

Bei uns ist das nicht üblich. Deshalb entsteht in den genannten Fällen kein Kurzschluß, sondern nur ein Erdschluß. Auch dieser hat mitunter sehr unangenehme Folgen. Wie die

rechte Seite der Fig. 65 zeigt, fließen über die Erdschlußstelle Ströme, die über die Kapazität der anderen Leitungen gegen Erde einen Rückweg finden. Infolgedessen entsteht an der Stelle des Erdschlusses meist ein Lichtbogen, der den Leiter abschmelzen und dadurch den Erdschluß beseitigen kann. Auch kann der Lichtbogen durch Überspringen auf die gesunden Leiter einen Kurzschluß einleiten und den Überstromschutz zum Ansprechen bringen. Eine weitere Folge sind die durch das wechselweise Zünden und Löschen des Lichtbogens hervorgerufenen Wanderwellen (Kap. 24), die häufig zu Durchschlägen des Leitungssystems führen.

Man ist deshalb bestrebt, den bei Erdschlüssen entstehenden Lichtbogen zu unterdrücken und dadurch die Anlage noch solange in Betrieb zu erhalten, bis ohne Stromunterbrechung die notwendigen Umschaltungen vorgenommen worden sind. Den bekanntesten Erdschlußschutz bildet die nach ihrem Erfinder so benannte Petersen-Drossel (Tafel IX), deren Wirkung aus der linken Seite der Fig. 65 hervorgeht. Im Nullpunkt des Systems wird eine am Wicklungsende geerdete Drosselspule angeschlossen. Diese wird so dimensioniert, daß sie bei Erdschluß einer Leitung gerade denselben Strom führt, den die Kapazität der beiden anderen Leitungen benötigt. Der voreilende Kapazitätsstrom wird also durch den Induktivitätsstrom der Drossel geliefert, so daß er nicht durch die Erdschlußstelle fließt und der Lichtbogen nicht zustande kommt. Nur ein „Reststrom“ tritt auf, der die Verluste der Löschdrossel zu decken hat und überdies zur Stabilisierung des Systems erforderlich ist. Da er jedoch klein ist, genügt er nicht zur Erzeugung eines Lichtbogens. Die Drosselspule führt nur bei Erdschluß eines Leiters Strom. Ein mit ihr in Reihe geschaltetes Amperemeter oder Relais kann also zur Signalisierung eines Erdschlusses dienen. Eine Unbequemlichkeit dieser Löschdrossel besteht darin, daß sie dem jeweiligen Schaltzustand des Leitungssystems angepaßt sein muß,

d. h. beim Abschalten von Netzteilen muß ihre Induktivität vergrößert werden und umgekehrt.

Zur bloßen Erdschlußanzeige sind eine Reihe von zum Teil sehr einfachen Mitteln bekannt. Hierfür eignen sich z. B. drei in Stern geschaltete Voltmeter (wenn nötig mit Spannungswandlern), deren Sternpunkt geerdet ist (Fig. 66).

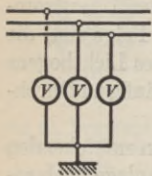


Fig. 66. Erdschluß-
anzeigende Volt-
meter.

Bei Erdschluß vermindert sich der Ausschlag des der erdgeschlossenen Phase zugeordneten Instrumentes um so mehr, je besser der Erdschluß ist. Alle diese Erdschlußanzeig- und -Schutzapparate kann man mit Signalen (Hupen, Sirenen, Fallklappen, Registrierinstrumenten, Zählwerken usw.) verbinden, so daß die Betriebsführung stets genau über solche Fehler unterrichtet wird.

26. Die eigentliche Schaltanlage.

Nach ihrem Verwendungszweck können die Schaltanlagen in Kraftwerkstationen und in Netzstationen eingeteilt werden.

Bei den Kraftwerkstationen wird die von den Generatoren erzeugte Energie mittels Kabeln zu den Transformatoren geleitet, wo sie auf die zur Fortleitung nötige Spannung gebracht wird. Meist erhält dabei jeder Generator seinen eigenen Transformator und in ihre Verbindungsleitung werden möglichst wenig Schaltapparate und Hilfseinrichtungen gelegt. Erst hinter den Transformatoren erfolgt die Verbindung mit den Kraftwerksammelschienen.

In den Netzstationen wird die ankommende Spannung ebenfalls einer Sammelschiene zugeführt, auf welche die Oberspannungswicklungen der einzelnen Transformatoren geschaltet werden können. Alle Unterspannungswicklungen der Transformatoren arbeiten dann ebenfalls wieder auf ein Einfach- oder meist Doppelsammelschienen-System, an das

die Fernleitungen angeschlossen werden. Diese führen zu den kleinen Transformatorstationen des Versorgungsgebiets.

Fig. 67 zeigt das grundsätzliche Schema einer Netzstation (Umspannwerk) in einphasiger Darstellung. Die ankommende 60 kV-Leitung ist an die Einfach-Sammelschienen gelegt. Durch Einlegen des Trennschalters und nachfolgendes Einschalten des Ölschalters wird ein Transformator (in Fig. 67 der obere) in Betrieb genommen. Unterspannungsseitig wird dieser Transformator durch Einlegen des richtigen Trennschalters auf eines der beiden Sammelschienen-Systeme von 15 kV geschaltet und hierauf durch den zugehörigen Öl-

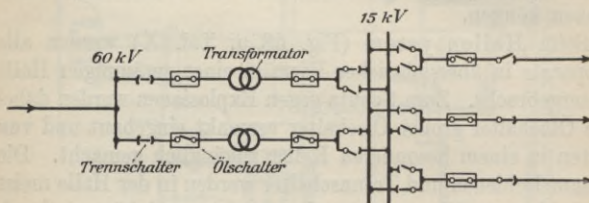


Fig. 67. Schema eines Umspannwerkes.

schalter in Betrieb genommen. Der Anschluß der Verteilungsleitungen erfolgt ebenfalls über Trenn- und Ölschalter.

Die Anordnung in den Kraftwerkstationen ist von der eben beschriebenen dadurch verschieden, daß (wie oben gesagt) jeder Generator unmittelbar auf einen Transformator arbeitet, so daß Sammelschienen nur für die hohe Fernleitungsspannung vorhanden sind.

Was nun die räumliche Anordnung der Apparate in der Schaltanlage betrifft, so sucht man, soweit es sich wirtschaftlich durchführen läßt, eine Anpassung an das Schaltungs-schema zu erreichen. Einfachheit, Übersichtlichkeit und dadurch erhöhte Betriebssicherheit sind der Zweck dieser Maßnahme.

Für größere Hochspannungsschaltanlagen lassen sich in

baulicher Hinsicht drei verschiedene Systeme unterscheiden: das Zellensystem, das Hallensystem und das Freiluftsystem. Natürlich kommen auch Kombinationen der verschiedenen Systeme vor.

Beim Zellenbau erhält jeder größere Apparat eine Zelle für sich, von den kleineren Apparaten finden mehrere in einer Zelle Platz (z. B. zusammengehörige Meßwandler). Die einzelnen Zellen sind durch feuerfeste, kräftige Wände voneinander und vom Bedienungsgang getrennt und erhalten womöglich leichte Türen gegen das Freie, damit eine Explosion, ein Ölbrand u. dgl. benachbarte Zellen nicht in Mitleidenschaft ziehen können.

Beim Hallensystem (Fig. 68 u. Taf. X) werden alle Apparate in übersichtlicher Form in einer geräumigen Halle untergebracht. Zum Schutz gegen Explosionen werden dabei die Ölbehälter großer Ölschalter versenkt eingebaut und von unten in einem besonderen Keller zugänglich gemacht. Die Sammelschienen und Trennschalter werden in der Halle meist hoch oben an Eisengerüsten festgemacht und können durch Laufstege erreicht werden.

Eine besonders für die höchsten Spannungen sehr beliebte Bauart stellen die Freiluftschaltanlagen dar, die bei günstigen Bodenpreisen wesentlich billiger sind als geschlossene Schalthäuser (Fig. 69 u. Taf. XI). Der Mehrpreis für die Freiluftausführung der Apparate, besonders der Isolation, wird dabei weitaus durch den Wegfall der teuren Bauten aufgehoben. So wurden für die neue Energiestraße Köln-Württemberg-Vorarlberg, die mit 220 kV und später sogar mit 380 kV betrieben wird, sowohl die Schaltanlagen der beiden Kraftwerke, wie auch die der dazwischenliegenden Umspannwerke als Freiluftstationen ausgeführt. Für die Hilfsbetriebe (Batterie, Umformer usw.) sowie für die Warte ist auch bei diesen Stationen ein geschlossener Bau notwendig. Dieser wird dann meist so errichtet, daß man von ihm aus die ganze

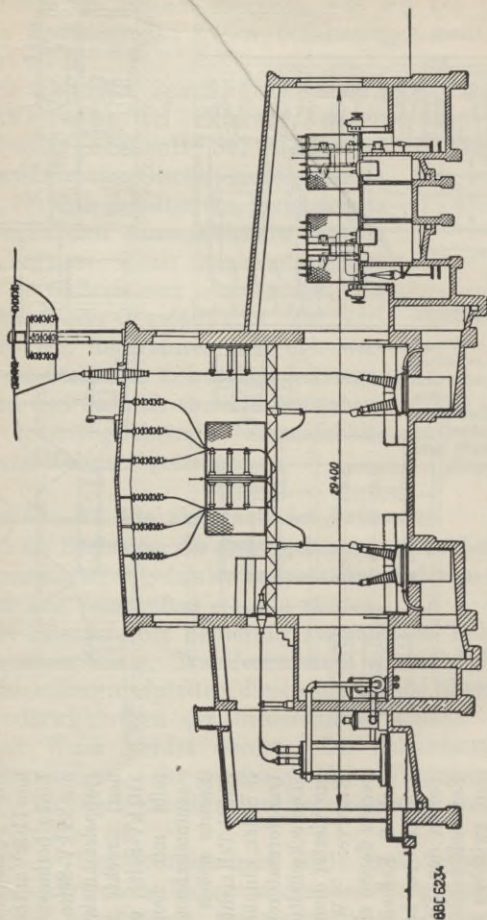


Fig. 68. Schnitt durch das Umspannwerk Wölfersheim des Überlandwerks Oberhessen für 100 kV. Hallenbau der BBC, vgl. auch Tafel X u. Fig. 3, S. 11.

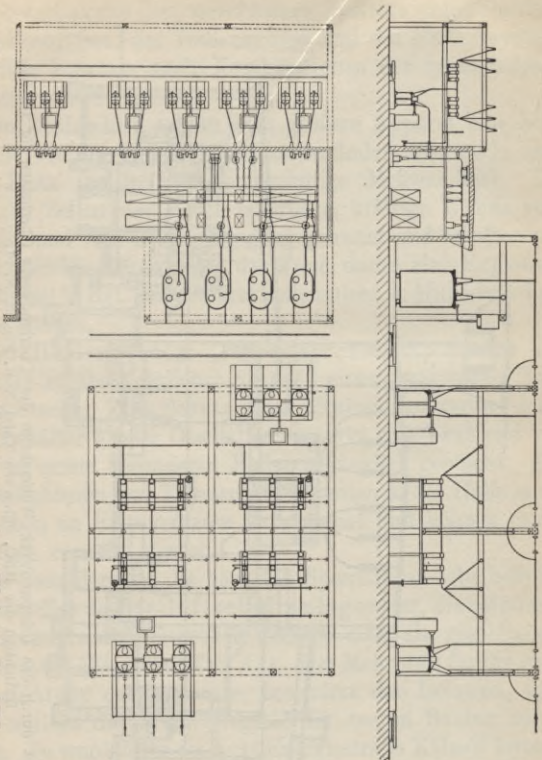


Fig. 69. Schnitt durch eine Freiluftstation (Wien-Nord). Ausgeführt von der AEG.

Die Anlage dient zur Umspannung von 110kV auf 35kV. Links befindet sich die 35 kV-Seite mit Doppelsammelschienen, rechts die 110 kV-Seite, ebenfalls mit Doppelsammelschienen.

Rechts neben dem 35 kV-Teil sieht man 3 Stück Einphasentransformatoren in Dreieckschaltung, ein vierter dient als Reserve. Weiter rechts davon ziehen sich 2 Reihen Öl-schalter zu beiden Seiten der 110 kV-Sammelschienen hin und zwischen ihnen (unter den Sammelschienen) 2 Reihen Trennschalter.

Freiluftanlage bequem übersieht, was mit den beiden anderen Bauweisen bei großen Schaltanlagen meist nicht erreicht wird.

Für niedrigere Spannungen bis etwa 30 kV werden bei kleineren Anlagen auch völlig gekapselte Schaltanlagen mit ausfahrbaren Ölschaltern angewendet (Fig. 70). Alle Schaltgeräte, Verbindungsleitungen und Sammelschienen werden auf engstem Raum aneinandergereiht und in Gußgehäusen eingekapselt, die mit Masse oder Öl gefüllt sind. Zur Vor- nahme von Reparaturen und dgl. werden die Ölschalter auf Rollen herausgefahren und dadurch von den feststehenden spannungsführenden Sammelschienen und Kabeln abgetrennt.

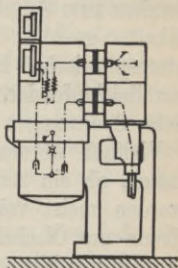


Fig. 70. Ausfahrbarer Ölschalter. Rechts die von unten kommende Leitung, darüber die Sammelschienen, links der Ölschalter u. darüber Strom- u. Spannungsmesser.

27. Die Sicherheit der Bedienung.

Um die Bedienung der Schaltanlagen auch bei hohen Spannungen möglichst gefahrlos zu gestalten, sind vom VDE entsprechende Vorschriften erlassen worden.

Alle leitenden, der Berührung zugänglichen Teile, wie Instrumentengehäuse, Transformatoren- und Schalterkasten, Trennschaltergrundplatten, dann vor allem die Eisenkerne und Sekundärwicklungen der Stromwandler müssen in zuverlässiger Weise geerdet werden. Die Sekundärstromkreise der Spannungswandler werden an kleine Funkenstrecken gelegt (in Porzellan-Einschraubstöpsel eingebaut), deren anderer Belag geerdet ist.

Weitere Vorsichtsmaßregeln sind: große Abstände der spannungsführenden Teile von den Bedienungsgängen, große Höhe der Schalträume, Einbau geerdeter Schutzgitter und Geländer vor den Zellen, geerdete Schaltstangen, Warnungs-

schilder und dgl. Ferner werden bei Arbeiten an den Freileitungen diese nicht nur durch Trennschalter abgeschaltet, sondern zum Schutz der Monteure durch besondere Erdungsschalter geerdet. In Freileitungen könnten nämlich durch atmosphärische Einflüsse und durch Induktionswirkung parallel laufender, im Betrieb befindlicher Leitungen gefährliche Spannungen auftreten.

Vielfach werden Signallampen angebracht, die erkennen lassen, ob ein Anlageteil spannungslos ist oder nicht. Sie werden meist von den Hilfskontakten der dazugehörigen Trenn- und Ölschalter betätigt. Mitunter werden auch Glimmlampen zur Kenntlichmachung des Spannungszustandes verwendet. Diese werden an eine Phase der betreffenden Leitung gehängt und von dem geringen kapazitiven Ladestrom zum Leuchten gebracht, der von der Leitung über die Glimmstrecke und das Gehäuse zur Erde fließt. Sie erlöschen, wenn die Leitung spannungslos wird.

28. Die Schaltwarte.

Der Teil der Schaltanlage, in dem ein Schaltwärter sich dauernd aufhält, wird die Schaltwarte oder auch kurz Warte genannt. Sie wird, wenn es leicht möglich ist, so angeordnet, daß von ihr aus der Blick auf die zu bedienende Anlage (z. B. Maschinenhalle oder Freiluftanlage) ungehindert ist. Sehr häufig geht das aber nicht. Dann wird die Schaltwarte in einem ruhigen, in der Regel von Oberlicht erhellten Raum untergebracht (Taf. XII).

In ihr werden diejenigen Apparate und Messinstrumente, welche zur sicheren Führung des Betriebes ständig beobachtet und betätigt werden müssen, an senkrecht stehenden Tafeln oder an Pulten so eingebaut, daß sie der Schaltwärter bequem überblicken und bedienen kann. Alle andern Apparate und Meßinstrumente werden hinter den Tafeln oder in Nebengelassen an besonderen Tafeln untergebracht.

Für den Wärter notwendig, aber auch ausreichend ist es, wenn er die Schalter und Regler für die Generatoren bzw. Transformatoren betätigen, die Schalter für die abgehenden und ankommenden Leitungen bedienen, die Meßinstrumente für die Generatoren, Transformatoren und Leitungen ablesen und die Signale beobachten kann. Die Zähler, die Registrierinstrumente, die Sicherheitseinrichtungen, die Schalter und Regulierwiderstände, sowie die Sammelschienen befinden sich abseits, unter Umständen weit ab und werden, soweit sie betätigt werden müssen, von der Ferne gesteuert.

In der Schaltwarte erhält jeder Generator und jede abgehende Leitung ein besonderes Feld der Schalttafel oder ein besonderes Pult, die Generatoren sehr häufig beides (Taf. XIII). Weitere Felder werden vorgesehen für die Synchronisierereinrichtung, die Erdschlußkontrolle, den Eigenbedarf, die Kesselüberwachung, die Temperaturkontrolle, die Schnellregler, Wasserstandsanzeiger und dgl. mehr. Die Tafeln und die Tischplatten der Pulte bestehen aus Marmor oder Metallblech und werden so aneinander gereiht, daß sie eine übersichtliche halbkreis- oder hufeisenförmige Anordnung bilden.

Hochspannung wird von der Warte grundsätzlich ferngehalten. Alle ihre Instrumente und Apparate sind an Meßwandler angeschlossen und führen nicht mehr als 110 V gegen Erde und einen Strom von höchstens 5 A. Die zu betätigenden Schalter (Drehschalter, Druckknöpfe, Kippschalter) sind klein und beeinflussen unmittelbar nur schwache Steuerströme, die von einer Batterie geliefert werden. Mit den Steuerströmen werden die eigentlichen Schalter und die Regler betätigt, wobei entweder Elektromagnete oder kleine Motoren zu Hilfe genommen werden. Ketten- oder Stangenzüge, mit denen die Schalter usw. von der Schalttafel oder dem Schaltpult aus betätigt werden, kommen in kleineren Werken natürlich auch vor.

Wichtig ist, daß der Schaltwärter jederzeit über die augen-

blickliche tatsächliche Stellung der Schalter unterrichtet ist. Zu diesem Zweck werden neben den Steuerschaltern kleine farbige Signallampen angebracht, die von den ferngesteuerten Schaltern aus über Hilfskontakte ein- und ausgeschaltet werden und dadurch deren Stellung melden. Größere Schaltanlagen erhalten neuerdings außerdem noch Leuchtschaltbilder, auf denen das gesamte jeweilige Schaltbild in Leuchtlinien wiedergegeben ist.

Mitunter werden diese Leuchtschaltbilder nicht bloß dazu benutzt, die Schalterstellung zu signalisieren, sondern die Schaltersignale werden mit Steuerschaltern zu sogenannten Steuer- und Quittungsschaltern verbunden. Der Griff des Quittungsschalters wird z. B. durch eine kleine Glühlampe von rückwärts erleuchtet, als „Quittung“ für die Ausführung des Steuerkommandos beginnt er zu flackern. Der Quittungsschalter muß nun in die richtige Lage gedreht werden, dann leuchtet der Griff wieder ruhig. Diese Anordnung steigert die Übersichtlichkeit und Sicherheit einer Schaltanlage ganz erheblich.

Soweit von der Warte aus nach dem Maschinen- und Kesselhaus oder nach der Freiluftanlage Befehle zu geben sind, wird durch Telephon- und Signalanlagen mit Rückmeldekontrolle für eine sichere Verbindung zwischen den beiden Stellen gesorgt. Der Schaltwärter kann nicht alle Regler und Ventile fernsteuern, muß vielmehr das Anlassen der Maschinen und andere seltenere Vorgänge durch den Maschinenwärter ausführen lassen.

IV. Das Leitungsnetz.

29. Die Anordnung eines städtischen Leitungsnetzes.

Vom Kraftwerk bzw. den Umformer- und Transformatorstationen gehen die sogenannten Speiseleitungen aus. Sie beginnen an den für die Verteilung bestimmten Sammelschienen und verlassen bei einem Kabelnetz unterirdisch, bei

Freileitungen durch hochgelegene Fensteröffnungen oder Isolatordurchführungen die Station und führen auf kürzestem Weg zu den Speisepunkten.

Speisepunkte sind solche Punkte des Verteilungsnetzes, die durch solche besonderen Speiseleitungen unmittelbar mit der Zentrale in Verbindung stehen und von denen aus die eigentlichen Verteilungsleitungen zu den Stromabnehmern führen. In Städten liegen sie in der Regel an oder in nächster Nähe von Straßenkreuzungen. Die Spannung dieser Speisepunkte wird vom Werk aus möglichst konstant gehalten.

Bei Freileitungen befinden sich diese Speisepunkte an einem kräftigen Mast, entweder offen auf dessen Spitze oder in einem geschlossenen Verschlag an seinem Fuß. Bei Kabelleitungen ist ein Speisepunkt entweder in einem Kabelkasten (Taf. XVI, Abb. 4) untergebracht, der unter dem Gehweg eingesetzt und durch einen Deckel verschlossen ist. Oder der Speisepunkt ist oberirdisch angeordnet und z. B. in eine Hauswand eingebaut (Taf. VI, Abb. 3) oder in dem Inneren einer Plakatsäule oder ähnlich untergebracht. Die abzweigenden Leitungen werden mit einer Sicherung versehen.

Die Wahl der Speisepunkte ergibt sich aus der Größe und Bedeutung einzelner Anschlüsse und aus der Betriebssicherheit. In den Städten liegen die Speisepunkte in der Regel in einer gegenseitigen Entfernung von 100 bis 200 m.

30. Das Netz einer Überlandzentrale.

Die Überlandzentralen waren früher für sich bestehende Kraftwerke. Heute sind sie alle miteinander verbunden und auch an die Landessammelschienen, von denen in Kap. 2 ausführlich die Rede war, angeschlossen. Dabei haben aber die meisten Überlandzentralen ihr besonderes Versorgungsgebiet behalten und stehen mit den andern Kraftwerken nur zum Austausch der elektrischen Energie und zur gegenseitigen Reserve in Verbindung.

Die Stromart der Überlandzentralen ist ausschließlich hochgespannter Drehstrom. Er wird in den allermeisten Fällen

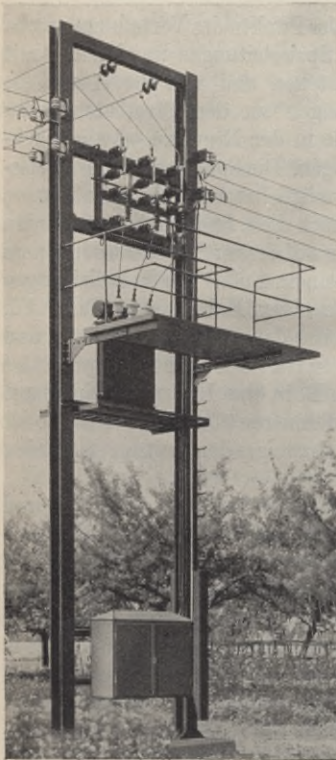


Fig. 71. Maststation des Sachsenwerkes
A. G. Niedersedlitz.

durch Freileitungen übertragen. Dabei durchziehen diese, zunächst strahlenförmig vom Werk ausgehend, das Land. In nächster Nähe der zu versorgenden Ortschaft wird ein Transformatorenhaus aufgestellt, dessen äußere Erscheinung dem Landschaftsbilde angepaßt ist. In dieses wird die Leitung eingeführt, sie wird dort durch Sicherungen und Selbstschalter vor Überstrom und Überspannung geschützt und endet an den Hochspannungsklemmen des Transformators. Von der Niederspannungsseite des Transformators zweigen die Speise- und Verteilungsleitungen in die zu versorgende Ortschaft ab. Kleinere Transformatoren werden auch auf den Masten der Freileitungen angebracht.

Fig. 71 zeigt eine solche Maststation. Die zu dem Eisengerüst herangeführte Hochspannung ist über Trennschalter und Schmelzsicherungen an den Transformator angeschlossen. Niederspannungsseitig sind Ka-

bel an der rechten Gerüstseite zu dem am Fuße aufgestellten Verteilungskasten herab- und wieder nach oben gezogen, von wo die Freileitungen nach rechts und links abgehen.

Bei ausgedehnten Netzen werden die einzelnen Strahlen der Fernleitung durch Ringleitungen unter sich verbunden. Dort, wo die Hochspannungsleitungen sich treffen und kreuzen, werden besondere Schalthäuser gebaut, die in der Regel gleichzeitig als Transformatorenhäuser dienen. Die Einrichtung wird dann so getroffen, daß mit Hilfe von Schaltern die Leitungszüge nach Bedarf verbunden oder getrennt werden können.

Für solche Leitungen, die an Wegen entlang laufen, Straßen oder Bahnen überspannen und Telegraphen- oder Telephonleitungen kreuzen, wird behördlicherseits entweder ein höherer Grad von Sicherheit vorgeschrieben, als er bei Leitungen über unbebautes und unbegangenes Gelände nötig wäre, oder man verlangt, daß besondere Vorkehrungen getroffen werden, um beim Bruch des Drahtes Vorübergehende vor seiner Spannung zu schützen (Schutznetz, hohe Aufhängung und kurze Mastentfernung, automatische Spannungsunterbrechung).

Bei Hochspannungsleitungen für mehr als 750 V werden die Träger und was dazu gehört durch den roten Blitzpfeil als solche kenntlich gemacht. Ihr Durchhang wird so bemessen, daß der tiefste Punkt der Leitung mindestens 6 m von der Erde sich befindet, bei befahrenen Wegübergängen mindestens 7 m von der Fahrbahn. Bei Eckpunkten sind besondere Fangbügel anzubringen, die beim Bruch des Isolators das Herabfallen des Drahtes verhindern sollen (Fig. 72).

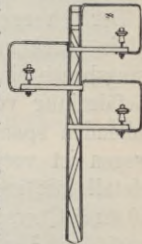


Fig. 72. Fangbügel an einem Gittermast.

31. Die Freileitungen ¹⁾.

Freileitungen nennt man die außerhalb von Gebäuden ober-

¹⁾ S. G. Nr. 1013: Draeger, Hochspannungsfreileitungen.

irdisch verlegten Leitungen. Sie bestehen, soweit sie der Berührung nicht zugänglich sind, im allgemeinen aus blanken Drähten oder Drahtseilen. Hochspannungsfreileitungen müssen nach den Vorschriften des VDE blank sein. Als normales Material gelten nur Kupfer und Aluminium bestimmter Beschaffenheit. Es werden aber aus Gründen der mechanischen Festigkeit auch noch Bronze und Eisen (Stahl) verwendet.

Der Querschnitt der Leitungen bestimmt sich in erster Linie durch mechanische Rücksichten, weil bei einem Leitungsbruch einerseits eine Betriebsstörung, andererseits eine Gefährdung von Menschen oder Tieren durch den herabfallenden spannungsführenden Draht erfolgen kann. Deswegen ist vorgeschrieben, daß eine Freileitung aus einem Metall mit mehr als 7,5 spezifischem Gewicht mindestens 10 mm^2 Querschnitt haben muß. Bei Querschnitten von 10 und 16 mm^2 kann für Kupfer massiver Draht, von 25 mm^2 ab müssen Seile genommen werden. Aluminium wird nur in Seilform verwendet, und zwar im Mindestquerschnitt von 25 mm^2 . Die Verwendung von Seilen statt massiver Leiter hat den Vorzug, daß Materialfehler wegen des geringeren Querschnitts der Einzelleiter seltener auftreten und sich überdies nicht in gefährlicher Weise auswirken können. Die Zahl und der Durchmesser der Einzeldrähte in den Seilen sind in den „Normen für Freileitungen“ festgelegt. Der Durchmesser der Einzeldrähte ist in keinem Fall größer als $2,8 \text{ mm}$.

Die Leitfähigkeit von Kupfer soll so sein, daß eine Leitung von 1 km Länge und 1 mm^2 Querschnitt bei 20° C keinen höheren Widerstand hat als $17,84 \text{ Ohm}$. Die Leitfähigkeit von Aluminium ist kleiner, so daß für 1 km Draht von $2,8 \text{ mm}$ Durchmesser, wie er für Seile verwendet wird, ein höchster Widerstand von $5,0 \text{ Ohm}$ gegenüber von $3,0 \text{ Ohm}$ für Kupfer zugelassen ist. Da Aluminium ein erheblich geringeres spezifisches Gewicht hat als Kupfer ($2,7$ gegen $8,9$), so beträgt das Gewicht einer Aluminiumleitung gleichen Leitwerts nur die Hälfte desjenigen einer Kupferleitung, ein Umstand, der zu der vielfachen Verwendung von Aluminium

beigetragen hat. Doch ist dabei zu bedenken, daß es von salzhaltiger Luft angegriffen wird und infolge seiner Brüchigkeit mit besonderer Vorsicht am Isolator befestigt werden muß.

Um diesem Übelstand abzuwehren, sind eine ganze Reihe von Aluminium-Legierungen erfunden worden, von denen das Aldrey (98,7% Al, 0,5% Magnesium, 0,5% Silicium und 0,3% Eisen) besonders geeignet erscheint und deshalb sehr verbreitet ist.

Die zulässige Zugspannung ist für massives Hartkupfer 12 kg/mm^2 , für Kupferseil 16 kg/mm^2 , für Aluminiumseil 9 kg/mm^2 . Verlangt man große Festigkeit, so wählt man Bronze- oder Stahlseile. Die Leitfähigkeit von Bronze ist dieselbe wie von Kupfer, seine Festigkeit ist aber doppelt so groß, so daß man eine Zugspannung von 25 kg/mm^2 zulassen kann. Verzinkte Stahlseile kommen vor allem bei sehr großen Spannweiten in Frage. Sie können mit $30\text{--}50 \text{ kg/mm}^2$ beansprucht werden. Allerdings ist die Leitfähigkeit nur $5,88\text{--}4,35$ gegenüber 56 bei Kupfer.

Für die neuen Höchstspannungsleitungen von 220 und 380 kV

Betriebsspannung werden keine Vollseile, sondern Hohlseile aus Kupfer verwendet.¹ Dies hat seinen Grund darin, daß zwar zur Vermeidung der bei hohen Spannungen an dünnen Leitern auftretenden Glimmverluste (Korona) der äußere

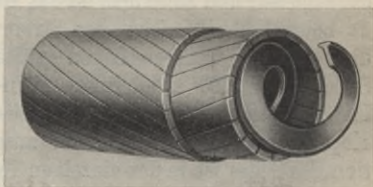


Fig. 73. Zweilagiges Kupfer-Hohlseil der AEG.

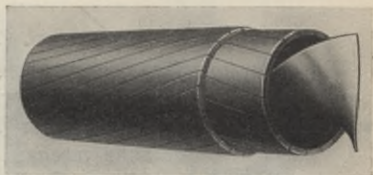


Fig. 74. Zweilagiges Kupfer-Hohlseil der SSW.

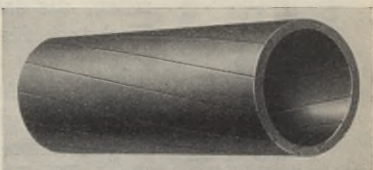


Fig. 75. Einlagiges Kupfer-Hohlseil aus Profildrähten der Hedderheimer Kupferwerke.

Leiterdurchmesser groß gewählt werden muß, daß aber der bei der hohen Spannung nur verhältnismäßig kleine Strom keinen großen Querschnitt erfordert. Das Hohlseil ist natürlich billiger und leichter als das Vollseil von gleichem Außendurchmesser und außerdem ist das Material besser ausgenützt, da beim Vollseil infolge der Stromverdrängung die Stromdichte in den äußeren Lagen größer ist als im Innern des Seiles. Die 220 kV-Leitung Köln-Bludenz ist mit einem Hohlseil von 42 mm Außendurchmesser und einem effektiven Kupferquerschnitt von 400 mm² ausgerüstet. Die Konstruktion des Seiles ist in den einzelnen Teilabschnitten der Strecke verschieden, da es von verschiedenen Firmen geliefert wurde und geht aus den Fig. 73 bis 75 hervor.

32. Die Isolatoren. (Taf. XIV).

Die Isolatoren für Hochspannungs-Freileitungen müssen eine hohe Durchschlagssicherheit sowie eine hohe Überschlagnspannung und neben unbedingter Wetterbeständigkeit eine hohe mechanische Festigkeit besitzen. Diesen Forderungen entspricht einwandfrei dichtgebranntes Hartporzellan, das daher der vorherrschende Werkstoff für Freileitungs-Isolatoren ist.

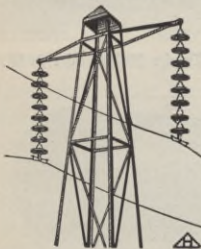


Fig. 76. Aufhängung der Leitungen an Kettenisolatoren.

Nach der Art ihrer Befestigung auf den Masten gliedern sich die Freileitungs-Isolatoren in Stützen-Isolatoren, Fig. 72, S. 91 und in Ketten-Isolatoren, Fig. 76. Die Stützen-Isolatoren, die im allgemeinen nur für

Spannungen bis 50 kV in Anwendung kommen, werden auf den Querarmen der Maste mittels eiserner Stützen starr befestigt, wobei die Leitung in der Halsrille (Inland) oder auch in der Scheitelrille (Ausland) mit Kupferdraht angebunden

wird. Die Ketten-Isolatoren, die für Spannungen über 50 kV ausschließlich und mit kleineren Abmessungen auch für Spannungen von 10—35 kV vielfach Verwendung finden, werden an den Querarmen der Maste frei beweglich aufgehängt, wobei die Leitung von einer am untersten Glied befestigten Seilklemme getragen wird. Als grundsätzlicher Unterschied ist weiter hervorzuheben, daß bei Stützenisolatoren für verschieden hohe Betriebsspannungen auch verschieden große Isolatoren eingebaut werden müssen, während die Isolatoren-

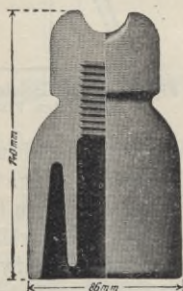


Fig. 77. Telegraphenisolator (Doppelglocke I der Reichspost).

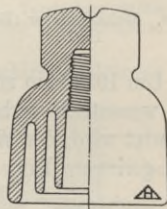


Fig. 78. Dreimantelglocke als Niederspannungsstarkstromisolator.

ketten aus einheitlichen Gliedern zusammengesetzt werden, deren Zahl sich nach der Höhe der Betriebsspannung richtet.

Stützen-Isolatoren. Die typische Grundform war lange Zeit die Telegraphenglocke (Fig. 77) mit zylindrischen, ineinander geschobenen Regenmänteln, bei der man mit der Zunahme der Spannungen den Durchmesser, die Wandstärken und die Mantelzahl vergrößerte (Fig. 78). Bei Regen wurde jedoch die Betriebssicherheit dieser Isolatoren durch Randentladungen sehr erheblich herabgesetzt. Einen für die ganze Entwicklung wegweisenden Fortschritt brachte der 1897 in

der Porzellanfabrik Hermsdorf/Thür.¹⁾ entstandene Delta-Isolator (Fig. 79), bei dem durch die schirmartige Ausbreitung der Mäntel die Regenüberschlagsspannung wesentlich erhöht

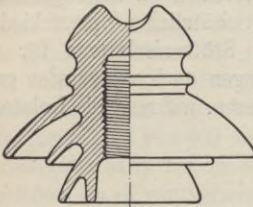


Fig. 79. Delta-Isolator (Hermsdorf 1907).

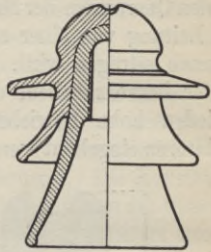


Fig. 80. Delta-Isolator der 1929 genormten Form.

wurde. Um 1922 kam zu dieser Bauart, die auch heute, wenn auch in wesentlich verbesserter Formgebung (Fig. 80) noch viel benutzt wird, der Weitschirm-Isolator hinzu (Fig. 81), der eine geringere Höhe, dafür aber eine noch größere Aus-

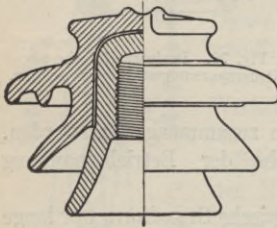


Fig. 81. Weitschirm-Isolator der 1929 genormten Form.

ladung der Mäntel aufweist. Zur Vermeidung von Fabrikationsfehlern werden diese beiden Bauarten für Spannungen über 25000 Volt, wie in Fig. 80 und 81 angedeutet, häufig mehrteilig hergestellt. In diesem Falle erfolgt die Vereinigung der für sich gebrannten Einzelteile in Deutschland fast stets durch Zusammen-

hanfen, so daß hier das früher übliche Zusammenglasieren oder Zusammenkitten kaum noch Bedeutung hat. Die in neuester Zeit entstandenen

¹⁾ Die Figuren dieses Kapitels u. der Tafel XIV sind von der Hescho (Hermsdorf-Schomburg)-Isolatoren-Gesellschaft in Hermsdorf in Thüringen zur Verfügung gestellt.

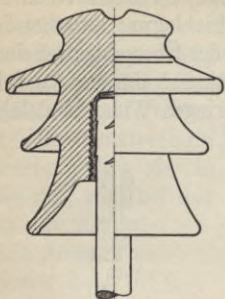


Fig. 82. Verstärkter Stützenisolator der Deltaform.

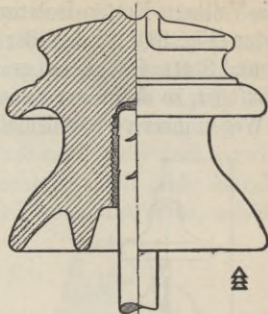


Fig. 83. Verstärkter Stützenisolator der Weitschirmform.

„verstärkten“ Delta- bzw. Weitschirm-Isolatoren (Fig. 82 und 83), die naturgemäß nur einteilig ausgeführt werden, besitzen eine sehr große Scherbenstärke zwischen der Bundrille und dem oberen Ende des Stützenloches, damit sie beim Auftreten von Spannungstößen, z. B. von Wanderwellen mit steiler Stirn, eher über- als durchschlagen. Die vorgenannten vier Bauarten (Taf. XIV) sind 1929 vom VDE für Betriebsspannungen bis 35 kV genormt bzw. neugenormt und als DIN VDE 8002—8005 in die Deutschen Industrie-Normen eingereiht worden. Als neuartige Bauform entstand in den letzten Jahren in Anlehnung

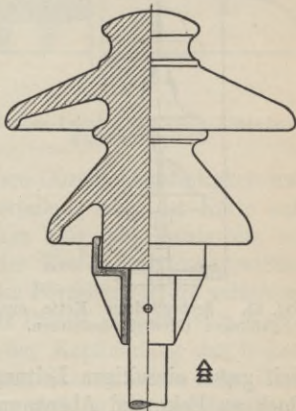


Fig. 84. Durchschlagsicherer Vollkern-Stützenisolator.

an die Vollkern-Ketten-Isolatoren (s. u.) der Massiv-Stützen-Isolator (Fig. 84), bei dem der Durchschlagweg zwischen Leitung und Stütze fast ebenso groß wie der Überschlagweg durch die Luft ist, so daß diese Bauart praktisch durchschlagsicher ist. Wegen ihrer verhältnismäßig geringen Widerstandsfähig-

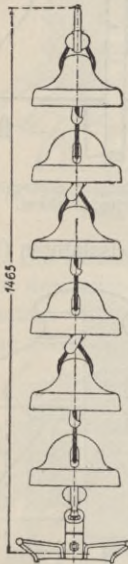


Fig. 85. Sechsgliedrige Kette aus Schlingen (Hewlett)-Isolatoren.

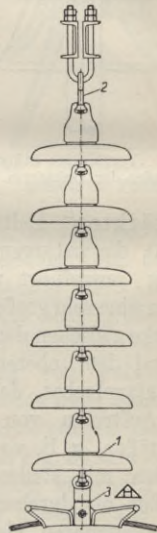


Fig. 86. Sechsgliedrige Kette aus Kappen-Isolatoren.

keit gegen einseitigen Leitungszug sind diese Isolatoren jedoch an Eck- und Abspannpunkten nur für Leitungen bis 25 mm^2 Kupferquerschnitt verwendbar.

Ketten-Isolatoren. Nach der Formgebung unterscheidet man Schlingen-, Kappen- und Doppelkappen (Vollkern)-Isolatoren. Die 1907 in Amerika entstandenen Schlin-

gen-Isolatoren (Fig. 85), nach ihrem Erfinder auch Hewlett-Isolatoren genannt, werden mit Hilfe von Seilschlingen, Bändern oder entsprechend gebogenen Rundstäben aus Kupfer oder verzinktem Eisen, die durch sich kreuzende Kanäle in den Porzellankörper geführt sind, zu Ketten vereinigt. Während Schlingen-Isolatoren im Auslande auch heute noch verwendet werden, werden sie in Deutschland nicht mehr eingebaut, einerseits, weil bei den hohen Erdschlußströmen, mit denen man in neuzeitlichen Anlagen zu rechnen hat, die Gefahr besteht, daß die Verbindungsarmaturen beim Auftreten eines Lichtbogen-Überschlages durchgeschmolzen werden, und andererseits, weil sie im Vergleich mit

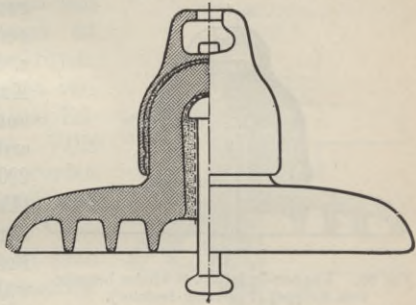


Fig. 87. Kappen-Isolator mit eingekittetem Klöppel.

Kappen-Isolatoren eine geringere Durchschlagsfestigkeit und eine ungünstigere Spannungsverteilung längs der Kette aufweisen. Die Kappen-Isolatoren (Fig. 86), heute die am weitesten verbreitete Bauart der Ketten-Isolatoren, werden mittels einer auf den Kopf des Porzellankörpers aufzementierten, in ihrem oberen Teil als Pfanne ausgebildeten Kappe aus Temperguß und eines in der Kopfhöhlung des Isolierkörpers befestigten Klöppels aus Schmiedeeisen oder Stahl in der Weise zu Ketten vereinigt, daß der Klöppel des oberen Isolators mit einer angestauchten Verdickung in die Kappenpfanne des nächsten eingeführt und durch einen Federsplint gegen Herausgleiten gesichert wird. Bei den ersten Isolatoren dieser Bauart war der Klöppel (Fig. 87), wie dies in Amerika

auch heute noch üblich ist, eingekittet. In Deutschland ist man dagegen im letzten Jahrzehnt zur völlig kittlosen Befestigung des Klöppels übergegangen, bei der an die Stelle der Haftfestigkeit zwischen Porzellankörper bzw. Klöppel und Kittschicht die unmittelbare Übertragung der aus dem Leitungsgewicht herrührenden Zugkraft durch den Kopf des Klöppels auf die ihn umgebende Wandung des Porzellankörpers tritt. Hierdurch wird die mechanische Festigkeit

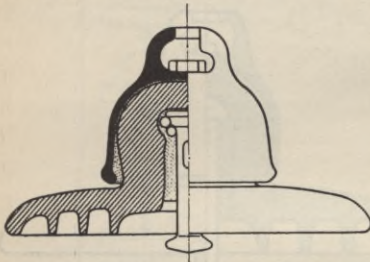


Fig. 88. Kappen-Isolator mit kittlos befestigtem Klöppel (Federring-Isolator).

ganz außerordentlich gesteigert; so besitzen z. B. die „kittlosen“ Kappen-Isolatoren der vom RWE erbauten ersten europäischen 220/380 kV-Leitung (Taf. XIV) eine garantierte mechanische Festigkeit von 18000kg, während ihre mittlere Vollbruchfestigkeit

22000 kg beträgt. Eine weitverbreitete Bauart von Kappen-Isolatoren mit kittlos befestigtem Klöppel ist der Federring-Isolator (Fig. 88).

Die Doppelkappen-(Vollkern-)Isolatoren, die keinerlei Innenarmierung, sondern nur je eine aufgebleite Kappe auf dem oberen und unteren Ende des massiven, praktisch durchschlagsicheren Isolierkörpers besitzen, nutzen die verhältnismäßig hohe Zugfestigkeit des Porzellans aus und unterscheiden sich dadurch grundsätzlich von den Schlingen- und Kappen-Isolatoren, bei denen das Porzellan vornehmlich auf Druck beansprucht wird. Die ursprünglich großen Bedenken gegen die Zugbeanspruchung des Porzellans sind schon seit Jahren durch die keramisch-fabrikatorischen Fortschritte der führenden Porzellanfabriken widerlegt worden, die es

ermöglichen, auch die außerordentlich dicken Scherben dieser Isolatoren frei von inneren Spannungen und Rissen durchzubrennen. Die am meisten verwendete Bauart ist der nach der Motor-Columbus-AG. in Baden (Schweiz) benannte Motor-Isolator (Fig. 89), der durch die langgestreckte, stabartige Ausbildung des durch zwei Schirme gegen Regen geschützten Isolierkörpers gekennzeichnet ist. Die größten Typen dieser Bauart weisen eine mittlere Bruchlast von 10000 kg auf. Die Entwicklung der Kappen- und Doppelkappen-Isolatoren ist heute so weit vorgeschritten, daß sie 1929 für sieben verschiedene Bauhöhen und Tellerdurchmesser vom VDE gleichfalls genormt worden sind (DIN VDE 8007 und 8008).

In diesen Normen ist auch je eine Type der sogenannten „Klein“-Ketten-Isolatoren enthalten (Taf. XIV), da man für Netze von 10—35 kV, für welche die Ketten-Isolatoren

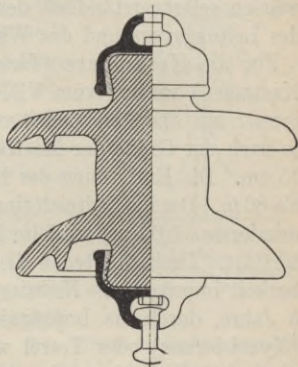


Fig. 89. Vollkern-(Motor-)Isolator.

mit den für höhere Spannungen gebräuchlichen Abmessungen zu teuer sind, unter Beibehaltung des konstruktiven Aufbaues kleinere Kappen- und Motor-Isolatoren durchgebildet hat, um auch für diese Spannungen die großen Vorzüge der Ketten-Isolatoren (u. a. bequeme Montage, leichte Auswechselbarkeit beschädigter Glieder, Möglichkeit, die Isolation durch Einfügen weiterer Einheiten zu verstärken, geringe Unterhaltungskosten) nutzbar zu machen.

Bei geradlinig verlaufender Leitung hängen die Isolatorketten senkrecht herab und haben nur das Gewicht der Leitung zu tragen. Sobald die Leitungen nicht mehr in gerader

Linie verlaufen, müssen die an den Ecken auftretenden Zugspannungen aufgenommen werden. Dazu dienen besonders kräftig gebaute Abspannmaste, an welchen mittels sehr stabil ausgeführter Abspannketten die Leitungen befestigt werden.

33. Die Leitungsmaste.

Als Träger für die Freileitungen verwendet man Holzmaste, eiserne Rohr- und eiserne Gittermaste und Betonmaste. Sie müssen selbstverständlich den mechanischen Anforderungen des Leitungszugs und des Winddrucks genügen.

Für die Holzmaste (Tannen, Kiefern, Fichten, Eichen, Kastanien) werden vom VDE die Zopfstärken (d. h. Durchmesser am obersten Ende) vorgeschrieben. Diese betragen je nach der Größe der Mastbeanspruchung zwischen 10 und 15 cm. Die Entfernung der Holzmaste soll nicht größer sein als 80 m. Der ins Erdreich eingelassene Fuß ($\frac{1}{6}$ der Länge und mindestens 1,60 m) wird im Laufe der Jahre durch Fäulnis zerstört. Deshalb werden die Holzmaste zur größeren Haltbarkeit imprägniert. Nichtimprägnierte Stangen halten etwa 5 Jahre, durch die Imprägnierung mit Quecksilbersublimat (Kyanisierung) oder Teeröl wird die Lebensdauer etwa vervierfacht. Vielfach werden auch zwei Betonfüße in das Erdreich eingelassen und der Holzmast oberhalb der Erdoberfläche zwischen dieselben gespannt.

Eiserne Maste bieten eine höhere Sicherheit als Holzmaste und sind auch weit haltbarer. Sie kommen sowohl als Gittermaste wie als Rohrmaste vor, letztere z. B. aus Mannesmannrohren mit zweimaliger Verjüngung. Trotz ihrer viel höheren Kosten werden insbesondere die Gittermaste bei wichtigen Fernleitungen, bei großen Spannweiten und bei Eck- und Verteilungspunkten verwendet.

Auch Eisenbetonmaste werden viel verwendet. Ihre Herstellung und Form ist sehr verschieden. Sie werden mit rechteckigem, polygonalem und rundem, vollem und hohlem

Querschnitt ausgeführt. Die Herstellung geschieht entweder in liegenden oder in stehenden Formen oder auch durch ein Schleuderverfahren.

Schließlich ist noch zu erwähnen, daß man eine ganze Leitung gegen atmosphärische Elektrizität dadurch wirksam zu schützen imstande ist, daß man über ihr in ihrer ganzen Länge ein geerdetes Eisen- oder Stahlseil (das Erdseil) ausspannt und dadurch das Erdpotential bis über die Hochspannungsleitung hinaufbringt (Fig. 90). Obwohl ein solches „Blitzschutzseil“ keinen Schutz gegen unmittelbare Blitzschläge bietet, trägt es doch sehr zur Milderung von Überspannungen und zur Dämpfung von Wanderwellen bei. Eine weitere Aufgabe des Schutzseiles bei Eisenmasten besteht darin, daß es durch die leitende Verbindung aller Masten die Ungleichheiten in der Erdung der einzelnen Masten ausgleicht und dadurch gefährliche Spannungsgefälle an den Masten verhütet. Aus diesen Gründen werden alle Hochspannungsleitungen über 30 kV mit dem Erdseil ausgerüstet.

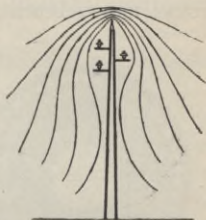


Fig. 90. Die Wirkung des geerdeten Drahtes über der Leitung auf die Verteilung der elektrischen Potentiale.

34. Die Kabel (Taf. XV).

Während in den Dörfern und kleineren Städten die Leitungen meist als Freileitungen ausgeführt werden, verwendet man in den größeren Städten in der Regel im Boden verlegte Kabel sowohl für die Verteilung der Niederspannung als auch für die Hochspannungs-Speiseleitungen bis hinauf zu Spannungen von 110 kV.

Die Metallseele der Kabel besteht meist aus Kupfer. Nur in ganz besonderen Fällen, wo man der Koronaverluste wegen eine Vergrößerung des Leiterdurchmessers anstrebt, wird Alu-

minium verwendet. Kleine Querschnitte bis 10 mm Durchmesser werden massiv ausgeführt, größere bestehen aus einer Litze von mindestens sieben dünnen verseilten Drähten. Die Normen des VDE haben die Drahtstärken festgelegt. In einem Gleichstromkabel befindet sich meist nur eine einzige Seele; denn hier wird in der Regel jede Leitung in einem besonderen Kabel geführt. Bei Wechsel- und Drehstromkabeln bis zu 55 kV sind sämtliche Leiter in einem und demselben Kabel untergebracht, und zwar entweder verseilt oder kon-

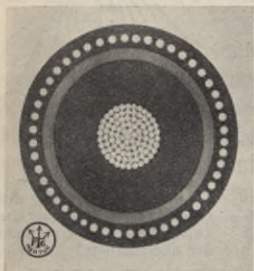


Fig. 91. Kabel für 100 kV mit schwach magnetischer Stahldrahtbewehrung (F. u. G.).

zentrisch. Bei Drehstrom gibt es also entweder dreifach verseilte oder zweifach konzentrische Kabel. Die ersteren werden bei weitem häufiger angewandt (Taf. XV). Von 60 kV aufwärts nimmt man auch bei Wechsel- und Drehstrom Einleiterkabel. Dabei wird das Kabel mit einer schwach magnetischen Stahldrahtbewehrung versehen, um die Eisenverluste möglichst klein zu halten (Fig. 91).

Die schützende Hülle besteht aus mehreren Teilen: zunächst dem Leiter kommt das Isoliermaterial: imprägnierte Jutfaser oder gut imprägniertes Papier (dieses bei Hochspannungskabeln fast ausschließlich) oder vulkanisierter Gummi in einer Mindestschicht von 1,75 bis 3,0 mm je nach der Dicke des Kabels. Bei Mehrleiterkabeln werden die isolierten Einzeladern verseilt, wobei die Zwischenräume (Zwickel) durch einen Beilauf aus Jute ausgefüllt werden. Darauf folgt nach entsprechender Imprägnierung eine gemeinschaftliche Isolation aus Papier, die Gürtelisolierung, die ebenso stark ist, wie die Leiterisolation.

Um von der isolierenden Hülle die Feuchtigkeit abzuhalten, wird über das isolierte Kabel ein nahtloser Bleimantel von 1,2 bis 3,6 mm Stärke gepreßt. Man hat dann in diesem Zustand das blanke Bleikabel (KB).

Der Bleimantel selbst wird durch gut imprägniertes Papier oder einen anderen säurefreien imprägnierten Faserstoff gegen chemische Einwirkungen in einer 1,5—3,0 mm starken Lage gesichert. Das Kabel heißt dann asphaltiertes Bleikabel (KA). Diese blanken und asphaltierten Bleikabel sind gegen mechanische Einflüsse wenig geschützt und dürfen deshalb nur so verlegt werden, daß sie solchen Beschädigungen nicht ausgesetzt sind, z. B. in Kanälen oder Röhren.

Um das asphaltierte Kabel vor Verletzungen zu bewahren, wird es noch mit einer Bewehrung (Armierung) aus Eisenbändern oder Eisen- bzw. Stahldrähten versehen. Im ersteren Fall werden zwei Eisenbänder von 0,8 bis 1,0 mm Stärke schraubenförmig um das Kabel so übereinander gewickelt, daß das obere die Stoßstellen des unteren Bandes bedeckt. Über die Bewehrung kommt gegen Rosten eine 2 mm starke Besspinnung eines gut säurefrei imprägnierten Faserstoffes. Man hat dann das armierte (bewehrte) asphaltierte Bleikabel (KE).

Als Besonderheit werden von einigen Firmen für Gebiete mit starken Erdbewegungen, also vor allem für Bergbaugebiete, sogenannte „Dehnungskabel“ hergestellt, die besser als die gewöhnlichen Kabel den starken mechanischen Beanspruchungen gewachsen sind. Dies wird dadurch erzielt, daß durch eine besondere Art der Verseilung die Kupferleiter nachgiebig gemacht werden, so daß die Kabel ohne Schädigung um etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ % gedehnt oder gestaucht werden können.

Statt des kreisrunden Querschnittes des Kabels wird auch (nach Sonnental) ein dreieckförmiger gewählt, durch den eine erhöhte Wärmeableitung erzielt wird, so daß ein solches

SO-Kabel etwas höher belastet werden kann als ein Kabel gewöhnlicher Bauart (Fig. 95).

In Hochspannungskabeln entstehen bei der Anordnung der Leiter nach Fig. 92 gefährlich hohe Feldstärken im Isoliermaterial.

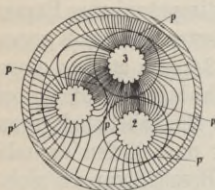


Fig. 92. Kraftlinienverlauf eines Dreileiterkabels mit Gürtelisolierung (vgl. S. G. 1019: Die elektrischen Kabel, Abb. 47, S. 89).

Deshalb werden von 30 kV an die einzelnen Adern über der Isolationsschicht je für sich mit einem geerdeten Stanniolbelag umgeben (Fig. 93). (Höchstädter-Kabel oder H-Kabel).

Dadurch werden, wie Fig. 94 zeigt, die zwischen den Leitern liegenden „Zwickel“ vollkommen aus dem elektrischen Felde ausgeschaltet und infolge radialen Kraftlinienverlaufes in den einzelnen Adern

wird die geschichtete Aderisolation gleichmäßig und in der Richtung ihrer größten elektrischen Festigkeit beansprucht. Infolge besserer Wärmeableitung können solche H-Kabel auch eine höhere Strombelastung aushalten als die gewöhn-

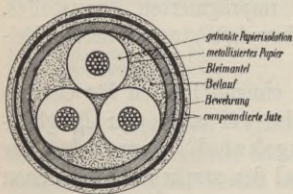


Fig. 93. Querschnitt eines Höchstädter-Kabels.

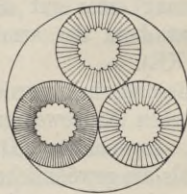


Fig. 94. Kraftlinienverlauf in einem Höchstädter-Kabel.

lichen Kabel. Eine Gürtelisolierung erhalten die H-Kabel nicht.

Statt mit der geerdeten Stanniolhülle kann man jede Ader auch mit einem Bleimantel versehen, so daß das Dreileiterkabel vier Bleimäntel, drei um die drei Einzeladern und einen gemeinsamen über den verseilten Adern besitzt.

Um die Kabel auch für die höchsten Spannungen bis zu 220 kV betriebssicher bauen zu können, müssen zwei Schwierigkeiten überwunden werden. Beide hängen damit zusammen, daß die Masse der angewandten Isolationsmittel inhomogen ist und insbesondere kleine Luftblasen enthält. Solche treten im Kabel infolge der Temperaturschwankungen während des Betriebes mit wechselnden Stromstärken auf. Man geht deshalb im allgemeinen mit der Spannungsbeanspruchung nicht über 4 bis 5 kV/mm und mit der Temperatur nicht über 50° bis 60° C hinaus. Zwei Wege hat man eingeschlagen, um weiter zu kommen.

Auf der einen Seite hat man das Ölkabel angewendet. Man hat die feste, aber bei höherer Temperatur flüssig werdende Tränkmasse ganz oder teilweise durch das von vornherein flüssige Öl ersetzt. Dabei wird beim Einleiterkabel die Kupferader als Hohlseil ausgeführt (Taf. XV, Abb. 5), beim Dreileiterkabel werden in den Zwickeln zwischen den isolierten Adern durch schraubenförmig gewickelte Drähte Kanäle freigelassen (Tafel XV, Abb. 4). Nach Verlegen des Kabels wird Öl mit einem Druck von 1 Atm. eingefüllt. Um den Druck zu erhalten und gleichzeitig die Ausdehnung des Öles bei Erwärmung zu ermöglichen, werden in passenden Abständen Ölgefäße angesetzt und mit den Hohlräumen des Kabels verbunden. Solche Kabel sind auf kurze Strecken bis zu 132 kV schon seit Jahren im Betrieb. Z. B. liegen im Großkraftwerk Franken in Nürnberg drei Einleiterkabel für 100 kV Drehstrom¹⁾.

Die andere Möglichkeit ist das Druckkabel. Man behält die übliche Masse-Isolierung, setzt sie aber unter Druck, indem man die Kabel in Mannesmannrohre einzieht, diese luftdicht abschließt und mit Luft oder Gas einen Druck von etwa 15 Atm. auf sie ausübt (Fig. 95). Die Strombelastbarkeit wächst dadurch auf das anderthalbfache und die Spannung

¹⁾ ETZ 1928, S. 1481.

kann auf mehr als das Doppelte gesteigert werden, so daß die übertragbare Leistung gegenüber den besten Massekabeln gleichen Aufbaues etwa verdreifacht wird ¹⁾.

Eine weitere Möglichkeit, Kabel für weite Übertragungen bei höchsten Spannungen zu bauen, bietet der Gleichstrom (Kap. 17). Bei ihm treten keine dielektrischen Verluste auf

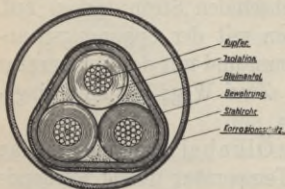


Fig. 95. Massedruckkabel (SO-Kabel in Stahlrohr).

und infolgedessen wird die Isolationsschicht weniger beansprucht. Daher kann ein Einleiterkabel für eine Kraftübertragung von $110 = 2 \times 55$ kV Gleichstrom, dessen Nulleiter geerdet ist, so daß zwischen Leiter und Bleimantel 55 kV bestehen, bei 12 kV/mm einen

halb so großen Durchmesser erhalten, als die Einleiterkabel für 3×110 kV Drehstrom, bei denen 64 kV_{eff} zwischen Leiter und Mantel bestehen. Dadurch werden die Kosten für eine Kabelübertragung außerordentlich herabgedrückt und es wird vielleicht mit hochgespanntem Gleichstrom möglich sein, weite Energieübertragungen über Kabel wirtschaftlich durchzuführen ²⁾.

35. Die Verlegung der Kabel.

Für die Verlegung in das Erdreich eignet sich nur das bewehrte asphaltierte Bleikabel (Erdkabel). Es wird in einem etwa 60 bis 80 cm tiefen und mindestens 35 cm breiten Graben in möglichst großer fortlaufender Länge eingelegt. Dabei können natürlich mehrere Kabel in einem Graben zusammen untergebracht werden. In den Städten wird dieser Graben in den Bürgersteig gelegt.

Beim Verlegen dürfen keine scharfen Biegungen oder gar

¹⁾ ETZ 1932, S. 145 ff.

²⁾ BBC-Nachrichten 1931, Heft 5, S. 169 ff.

Knicke gemacht werden. Damit das Kabel beim Wiederaufgraben nicht durch Pickenhiebe beschädigt werden kann, wird es durch eine Schicht Ziegelsteine abgedeckt, die man unter Zwischenlage einer 10 bis 15 cm starken Sandschicht auf das Kabel legt. Auch Formsteine aus Ziegeln, Beton und Ton werden zur Bedeckung der Kabel verwendet, wobei gelegentlich auch die untere Auflagefläche für die Kabel aus Formsteinen gebildet wird.

Zur Herstellung besonderer Kabelkanäle, in die man erst nachträglich die Kabel, blanke bzw. asphaltierte Bleikabel, einzieht, werden Rohr- und Paßstücke aus Eisen, Beton, Ton und Backsteinen verwendet. Dabei sind in passenden Entfernungen Einsteigschachte (Kabelbrunnen) angeordnet, von wo aus die Kabel eingezogen werden können. Zu dieser Verlegung eignen sich naturgemäß Kabel mit steifem Aufbau nicht.

Um die verlegten Kabel untereinander zu verbinden, hat man besondere Verbindungsteile oder Armaturen (Taf. XVI). Es sind das gußeiserne Kasten, in welche die Kabel eingeführt werden. In den Verbindungsmuffen werden die blankgemachten Adern miteinander verlötet und dann der ganze Kasten mit Isoliermasse ausgegossen. In derselben Weise sind die Abzweigmuffen eingerichtet. Wo eine ganze Reihe von Kabeln abzuzweigen ist, z. B. an den Speisepunkten eines Netzes, verwendet man die Kabelkasten. Damit in ihnen die Verbindungen frei liegen und stets zugänglich bleiben, werden diese Kasten nicht ausgegossen, sondern durch einen abnehmbaren Deckel mit guter Dichtung sicher gegen Feuchtigkeit geschützt. In der Regel werden auch Schmelzsicherungen in ihnen untergebracht (Taf. XVI).

Wo ein Kabel in eine Freileitung übergeht, wird die freigelegte Kabelgarnitur mit einem Endverschluß abgeschlossen. Dies ist bei niedrigen Spannungen ebenfalls ein gußeiserner Kasten, der nach Fertigstellung mit Isoliermasse ausgegossen wird (Tafel XVI).

Für Höchstspannungskabel werden die Endverschlüsse meist nicht mehr als Vergußkästen ausgeführt, vielmehr werden die einzelnen Adern, die schon im Dreileiterkabel entweder als Höchststädter-Kabel oder als einzelverbleite Kabel für sich isoliert sind, einfach auseinandergezogen und frei durch die Luft zu Einzelendverschlüssen geführt (Taf. XVI).

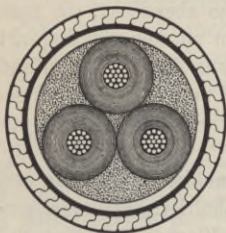


Fig. 96. Querschnitt des durch den Sund verlegten Seekabels für 50 kV (F. u. G.).

Die ins Wasser zu verlegenden Kabel (See- oder Wasserkabel) erhalten eine besonders gute Eisenarmierung aus Profildrähten (Fig. 96).

Alle Kabel werden schon in der Fabrik auf ihre Isolation genau geprüft. Dafür, wie auch für die zulässige Strombelastung hat der VDE genaue Vorschriften erlassen.

36. Lange Leitungen für Wechsel- und Drehstrom.

Bei den Leitungen für Wechselstrom spielen außer dem Ohmschen Widerstand noch die Induktivität und die Kapazität eine Rolle. Eine Leitung besteht immer aus Hin- und Rückleitung. Einerseits entsteht nun infolge des Stromdurchflusses zwischen beiden Leitungen ein magnetisches Feld, andererseits hat die Spannung, die zwischen den gegenüberliegenden Punkten der beiden Leitungen besteht, ein elektrisches Feld in dem Raum zwischen ihnen zur Folge.

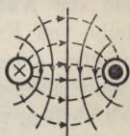


Fig. 97. Das magnetische u. elektrische Feld einer Leitung.

Bei Wechselstrom ändert nun der Strom seine Größe und Richtung fortwährend und mit ihm das magnetische Feld zwischen Hin- und Rückleitung. Dadurch wird in der Leitung die EMK der Selbstinduktion induziert (S. G. Nr. 196: Elektrotechnik I, 5. Aufl. S. 59 f.). Sie muß von der Spannung, welche die Strom-

quelle liefert, überwunden werden, wirkt also verkleinernd auf die zu übertragende Spannung ein und führt außerdem eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung herbei. Ersetzt man die längs der Leitung verteilte Induktivität durch eine Spule, so ist diese in den Zug der Leitung zu schalten.

Die Spannung ändert bei Wechselstrom ebenfalls fortgesetzt ihre Größe und Richtung, infolgedessen auch das elektrische Feld zwischen den Leitungen. Es fließen also

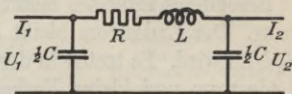


Fig. 98. Ersatzbild der Leitung mit verteilten R, L u. C.

fortgesetzt Lade- und Entladeströme auf die Oberflächen der gegenüberliegenden Drähte. Diese Ladeströme werden dem aus der Stromquelle fließenden Strom abgenommen, so daß der am Leitungsende ankommende Strom kleiner ist. Außerdem erzeugen die Ladeströme eine Phasenverschiebung des Gesamtstroms gegen die Spannung, weil sie selbst 90° gegen diese verschoben sind. Ersetzt man die Kapazität der Leitung durch eingeschaltete Kondensatoren, so sind diese quer über die Leitung zu schalten.

Mit Hilfe des Ersatzschaltbildes (Fig. 98) lassen sich die Verhältnisse überblicken. Die Induktivität der Spule entspricht derjenigen der ganzen Leitung, die Kapazität jedes der beiden Kondensatoren ist gleich der halben Leitungskapazität.

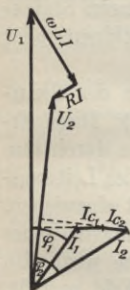


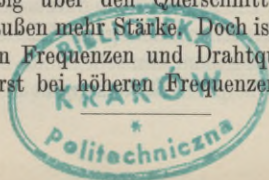
Fig. 99. Diagramm für Fig. 98.

Man erhält dann das Vektordiagramm der Fig. 99. Der Verbraucher verlangt am Leitungsende eine Spannung U_2 und einen Strom I_2 , der gegen die Spannung U_2 um den Winkel φ_2 verschoben ist. Um diesen Strom durch die Leitung bringen zu können, muß zwischen Anfang und Ende eine Spannung wirksam sein, welche dem ohmschen und induktiven Spannungsverlust gleichkommt. Daraus ergibt sich die Größe und


Phase von U_1 , wenn der Strom I_1 bekannt ist. Die Stromquelle am Leitungsanfang muß außer dem Strom I_2 noch die beiden Ladeströme I_{c_1} und I_{c_2} in die Kondensatoren C_1 und C_2 liefern, die senkrecht voreilend auf den sie erzeugenden Spannungen U_1 und U_2 stehen.

Besonderes Interesse bietet der Leerlauf einer solchen Leitung. Der Ladestrom bleibt bei Leerlauf bestehen, während I_2 Null wird. Es treten in der Leitung also nur die durch den Ladestrom und kleine Verlustströme bedingten Spannungsverluste auf. Es zeigt sich, daß in diesem Falle die Spannung am Anfang der Leitung kleiner ist als am Ende, so daß, besonders wenn die Induktivität der Leitung groß ist, am Ende der Leitung unliebsame Spannungserhöhungen auftreten können. Man nennt diese Erscheinung den Ferranti-Effekt. Zu seiner Verhütung müssen bei längeren Leitungen Stufentransformatoren, Induktionsregler, Zusatzmaschinen oder Synchronmotoren verwendet werden.

Endlich zeigt sich bei Wechselstromleitungen der Skin-Effekt oder die Hautwirkung (skin = Haut). Diese Erscheinung besteht darin, daß die Wechselströme durch ihre eigene Wirkung auf die Oberfläche (die Haut) des Leitungsdrahtes gedrängt werden. Der Grund ist leicht einzusehen. Auch im Innern eines Drahtes befindet sich ein magnetisches Feld. Ein Stromfaden auf der Drahtoberfläche wird also von dem außerhalb des Drahtes befindlichen Feld umfaßt, ein Stromfaden in der Achse von diesem und dem Feld im Draht selbst, also von einer größeren Zahl von Kraftlinien. Infolgedessen wird die EMK der Selbstinduktion in der Mitte des Drahtes größer als außen, der Strom hat also innen mehr Widerstandskräfte zu überwinden als außen, verteilt sich also nicht gleichmäßig über den Querschnitt, sondern besitzt innen weniger, außen mehr Stärke. Doch ist dieser Skin-Effekt bei den üblichen Frequenzen und Drahtquerschnitten nicht groß, er wird erst bei höheren Frequenzen deutlich.



Alphabetisches Register.

- A** = Ampere.
 Abreißfeder 54.
 Abspannisolator 102.
 Abzweigmuffen 109.
 AEG = Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft Berlin.
 Akkumulatoren zur Spannungsteilung 42.
 Akkumulatorenbatterie zum Belastungsausgleich 30 f.
 Aldrey 93.
 Aluminiumnormen 92.
 Anstrich, farbiger, der Leitungen 61.
 Apparatanlage s. Schaltanlage.
 Armaturen für Kabel 109.
 Armierung s. Bewehrung.
 Atmosphärische Einflüsse 72, 74.
 atü = Atmosphärenüberdruck.
 Ausgleichsmaschinen 42.
 Auslösung der Selbstschalter 67 ff.
 Ausschalter 54 f.
 Außenleiter 42.
 Automaten s. Selbstschalter.
- B**ahnanlagen 7.
 Bahnfrequenz 7.
 Batterie 30, 42.
 Bayernwerk 15.
 BBC = Brown, Boveri u. Cie., Mannheim.
 Belastungsausgleich 12, 28 ff.
 Beleuchtung, $\frac{3}{4}$ Gas- oder elektrische 17.
 Bemessung des Leitungsquerschnittes 92 f.
 Bendmannschutz 77.
 Berliner  Elektrizitätswerke 14 f., 18, 32.
 Betriebsspannungen (genormte) 7.
 Bewag = Berliner Elektrizitätswerke A. G.
- Bewehrung 104 f.
 Bleikabel 105.
 Bleimantel 105.
 Bleisicherungen 66.
 Blitzpfeil 91.
 Blitzschlag 72, 74.
 Blitzschutzsicherungen 74.
 Blitzseil 51, 103.
 Braunkohlenwerke 13, 14.
 Bronzeleitungen 93.
 Buchholzschutz 72.
 Bürstenkontakte 55.
- D**ampfkessel 24 f.
 Dampfkraftwerke 23 ff.
 Dampfturbinen 24 ff.
 Dämpfungswiderstand 77.
 Dehnungskabel 105.
 Deltaisolator 96.
 Deutsches Museum 8.
 Dieselmotoren 28.
 Differentialschutz 71.
 Distanzrelais 71.
 Dolivo-Dobrowolsky 44.
 Doppelkappenisolator 100 f.
 Doppelsammelschienen 63, 80.
 Drehstrom-Gleichstrom-System 41.
 Drehstrom mit Nulleiter 44.
 — transformatoren 39.
 — verteilungssystem 36 ff.
 Dreileitersystem 42, 53.
 Dreimantelisolatoren 95.
 Drosselspulen 72, 79.
 Druckgasschalter 58.
 Druckkabel 107.
 Durchhang 91.
- E**conomiser 27.
 Edison 7, 35.
 Eigenanlagen 9.
 Einleiterkabel 104.
 Einphasiger Wechselstrom 7, 36, 43, 49.
 Eisenbetonmast 102 f.
 Eiserne Maste 102.
 Elektrizitätsversorgung 8.
- Elektrizitätswerk 5 f.
 Elektrizitätswerke, Entwicklung der 7 ff.
 — erstes 7.
 — Größe der 13 ff.
 — öffentliche 6.
 — Zahl der 13.
 Elektromotor, Vorteil desselben 16 f.
 Endverschlüsse 109.
 Energiequellen 18.
 Energierichtungsglied 71.
 Energiestraßen 10.
 Erdkabel 108.
 Erdschluß 73, 78.
 — prüfer 80.
 — schutz 78 ff.
 Erdseil 51, 103.
 Erdung des Nulleiters 46.
 — in Schaltanlagen 85 f.
 Expansionsschalter 57.
- F**angbügel 91.
 Farbige Bezeichnung der Leitungen 61.
 Federringisolator 100.
 Fernleitungen 8, 11, 50.
 Ferrantiefekt 112.
 Francisturbine 21.
 Franken 107.
 Frankfurt-Lauffen 8.
 Freiauslösung 67.
 Freileitungen 90, 92 ff.
 Freiluftschaltanlagen 82.
 Freistrahlurbine 21.
 Frequenz, übliche 7.
 Funkenabreißer 55.
 Funkenstrecke 75 f.
- G**asmaschine 28.
 Gittermast 102.
 Gleichrichter 7.
 Gleichstrom, hochgespannter 50, 108.
 Glimmlampen 86.
 Goldenbergwerk 13.
 Golpa 14.
 Großkraftwerke 11 f.
 Grundlastwerk 12, 29 f.
 Gürtelisolations 104, 106.

- Hallenbau** 82.
 Hängeisolatoren 94, 98 ff.
 Hautwirkung 94, 112.
 Hebelschalter 54.
 Herdecke 14, 32.
 Hermsdorf 95 ff.
 Hewlettisolator 99.
 Hilfsrelais 67.
 H-Kabel 106 f.
 Hochdruckwasserkraftwerke 15, 22.
 Hochofengase 9, 28.
 Hochspannung 7, 11.
 Hochspannungen 10.
 Hochspannungsanlagen 10.
 Hochspannungsisolator 97 ff.
 Hochspannungskabel 106 ff.
 Höchststädter 106.
 Hohlseil 93.
 Holzmaste 102.
 Hörnersicherung 76.
 Hz = Hertz = Schwingungen i. d. Sek. 7.
Impedanzrelais 71.
 Indirekte Parallelschaltungssysteme 39.
 Induktivität 110 f.
 Isolatoren 94 ff.
Kabel 103 ff.
 Kabelendverschlüsse 109.
 Kabelkasten 109.
 Kabelverlegung 108 f.
 Kapazität 110 f.
 Kaplanturbine 21.
 Kappenisolator 99 ff.
 Kaskadenspannungswandler 64 f.
 kcal = Kilokalorie oder große Kalorie Teil I 115.
 Kennfarben der Leitungen 61.
 Kesselüberwachung 34.
 Kettensisolatoren 98 ff.
 Klingenberg 14, 23, 27.
 Koepchenwerk 14, 32.
 Kondensator 27.
 Kontrollinstrumente 62 ff.
 Konzentrisches Kabel 104.
 Kraftwerkseinrichtung 32 f.
 Kreuzringstromwandler 63.
 Kühlwasserbedarf 27.
Kupfernormen 92.
 Kuppelschalter 62.
 Kurzschlußdrossel 72.
 kV = Kilovolt.
 kW = Kilowatt Teil I 114.
 kWh = Kilowattstunde Teil I 114.
 Kyanisierung 102.
Landessammelschienen 10, 89.
 Lauffen-Frankfurt 8, 94.
 Laufkraftwerke 12, 15.
 Lausanne 50.
 Leitfähigkeit 92.
 Leitungsmaste 102 f.
 Leitungsnetz 88 ff.
 Leitungsquerschnitt 46 ff.
 Lichtbogenlöschung 55 ff., 75 f.
 Ljungströmturbine 27.
 Löschdrossel 79.
 Löschkammer 57.
Massivstützenisolator 98.
 Maste 102.
 Maststation 90.
 Masttransformatoren 90.
 Maximalautomaten 66 ff.
 Maximalrelais 67.
 Mehrfachkabel 104.
 Messerkontakte 55.
 Meßinstrumente 62 f.
 Meßtransformatoren 63 f.
 Mittelleiter 42.
 Motorisolator 101.
 Moûtiers 50.
 Murg-Schwarzenbachwerk 15, 31.
 New York 7.
 Niederdruckwasserkraftwerke 16, 22.
 Niederspannungsanlagen 37 f.
 Niederwartha 32.
 Normalspannungen 7.
 Nulleiter 41 ff.
 — bei Drehstrom 44.
Ocelit 77.
 Öffentliches Elektrizitätswerk 6.
 Ölisolatoren 94.
 Ölkabel 107.
Ölmotorenkraftwerke 28.
 Ölschalter 55 ff.
 Oerlikon 8.
Parallelschaltungssysteme 35 ff.
 Pelton-turbine 21.
 Periodenzahl 7.
 Petersendrossel 79.
 Porzellan 94.
 Postisolator 95.
 Pultanordnung 87.
 Pumpspeicheranlage 20, 31.
Querlochstromwandler 63.
Reaktanzrelais 71.
 — spule 72.
 Rectinverter 50.
 Registrierinstrumente 65.
 Reguliereinrichtungen 87.
 Reichspostmodell 95.
 Reihenschaltungssysteme 35, 49 f.
 Reservebatterie 30.
 Rheinisch - Westfälisches Elektrizitätswerk 11.
 Richtungsglied 71.
 Rohrmast 102.
 Röhrensicherung 66.
 Ruthsspeicher 15, 32.
 RWE = Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk 10 f., 13.
 Ryburg-Schwörstadt 15 f., 23.
 Saint-Maurice 50.
 Sammelschienen 60 ff., 80.
 Schaltanlage 80 ff.
 Schalter 52 ff.
 Schalthaus 52.
 Schaltpult 87.
 Schaltraum 86 f.
 Schalttafel 87.
 Schalthagensystem 85.
 Schaltwerk 53, 86 ff.
 Schlingenisolator 99.
 Schloß eines Schalters 67.
 Schluchsewerk 15.
 Schmelzsicherungen 65 ff., 109.
 Schomburg 96.
 Seekabel 110.
 Selbstschalter 66 f.
 Selektivschutz 71.

- Serienschaltungssysteme 35, 49 ff.
 Sicherheit für die Bedienung 85.
 Sicherungen 66 f.
 — im Netz 109.
 — im Nulleiter 46.
 S. u. H. = Siemens u. Halske Berlin.
 Signallampen 86, 88.
 Skineffekt 112.
 Sonnental 105.
 SO-Kabel 106, 108.
 Spannungen, gebräuchliche 7.
 Spannungsabfall in den Leitungen 111.
 Spannungsgrenzen der Verteilungssysteme 37.
 Spannungsteilung 42 f.
 Spannungsverlust beim Dreileitersystem 48.
 Spannungswandler 64.
 Speicherung 20, 28 ff.
 Speiseleitungen 37, 88.
 Speisepunkte 37, 89.
 Spitzenbelastung 6, 12.
 Spitzenkraftwerke 12, 15, 29 f.
 Sprungwelle 73, 75.
 SSW = Siemens Schukertwerke Berlin.
 Städt. Werk 5.
 Staubecken s. Stausee.
 Stausee 19, 22, 31.
 Steinkohlenkraftwerk 24.
 Stern-Dreieckschaltung von Hörnerblitzableitern 77.
 Streifensicherung 66.
 Stromarten 7.
 Strombegrenzungsdrossel 72.
 Stromerzeugung in Deutschland 8.
 Stromerzeugungsanlage 5.
 Stromverteilung 34 ff.
 Stromwandler 63 f.
 Stützenisolatoren 95 ff.
 Tagesbelastung 6.
 Talsperren 19.
 Tastbürsten 55.
 Telegraphenisolator 95.
 Thury 50.
 Torfkraftwerke 18, 28.
 Trennschalter 59 f.
 Turbinen s. Wasser- bzw. Dampfturbinen.
 Überlandwerk 5, 12; 89 f.
 Überspannungsschutz 72 ff.
 Überstromrelais 67.
 Überstromschalter 66 ff.
 Überstromschutz 65 ff.
 Überstromsicherungen 65.
 U = Umdrehungen.
 Umformer 7.
 Umschalter 53 f.
 Umspannwerk 12.
 Unterstationen 38 f.
 Unterwerk 12.
 V = Volt.
 VDE = Verband Deutscher Elektrotechniker.
 Verbindungsmuffen für Kabel 109.
 Vergleich der Verteilungssysteme 51.
 Verkettungspunkt 44.
 Verlegung der Kabel 108 f.
 Verseiltes Mehrfachkabel 104.
 Verteilungsleitungen 37.
 Verteilungssysteme 34 ff.
 V. u. H. = Voigt u. Haeffner, Frankfurt-M.
 Vollkernisolator 100.
 Vorwärmer 27.
 Wäggital 31.
 Walchenseewerk 15.
 Wanderwellen 72 f., 79.
 Wärmekraftanlagen 6 f.
 Warte 86 ff.
 Wasserkraftanlagen 10, 15, 18 ff.
 Wassermotoren 20.
 Wasserschloß 22.
 Wasserturbinen 20 ff.
 Wechselrichter 50.
 Weitschirmisolator 96.
 Zähler 65.
 Zeitrelais 70.
 Zellenbausystem 82.
 Zentralanlage 5.
 Zopfstärke 102.
 Zschornewitz 14.
 Zugfestigkeit 93.
 Zusammenschluß der Elektrizitätswerke 9.
 Zweileitersystem 36.

Verzeichnis und kurze Beschreibung der Abbildungen auf den Tafeln.

Tafel I (S. 18 ff.).

Das Shannonwerk ist von den Siemens-Schuckert-Werken (SSW) bei Ardnacrusha am Shannon, an der Westküste von Irland, errichtet worden. Es nützt ein Gefälle von 28,5 m aus. Der erste 1930 fertiggestellte Ausbau umfaßt 3 Turbogeneratoren von je 30 000 kW bei 10,5 kV und 150 U/min. Im weiteren Ausbau können noch einmal 3 ebensogroße Maschinensätze aufgestellt werden, so daß die Gesamtleistung 180 000 kW beträgt. Die Fernübertragung erfolgt bei 110, 38 und 10 kV.

Tafel II (S. 23 ff.).

Das Großdampfkraftwerk Klingenberg der Berliner Elektrizitätswerke AG. enthält 3 Maschinensätze von je 88 000 kW. Jeder Satz enthält 2 Drehstromgeneratoren von je 44 000 kVA. Der eine Generator wird von einer Hoch- und einer Mitteldruck-Turbine angetrieben, die auf einer gemeinsamen Achse sitzen. Der andere Generator ist ebenso mit 2 Niederdruckturbinen gekuppelt. Die Drehzahl ist 1500 in der Minute, der Dampfdruck 32,5 atü, die Dampftemperatur 400° C. Jeder Generator von 44 000 kVA ist unmittelbar mit einem Transformator verbunden, der von 6 auf 30 kV hinauftransformiert. Der Dampf wird in 16 Kesseln mit Kohlenstaubeuerung erzeugt.

Tafel III (S. 28 ff.).

Ansicht des Koepchenwerkes, des Pumpspeicherkraftwerkes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerks (RWE) bei Herdecke in Westfalen. Seine Leistung beträgt 140 000 kW bei einem Gefälle von 160 m und einer Wassermenge von 105 cbm/s. Das obere Becken faßt 1,6 Millionen cbm Wasser. 4 Rohre von je 3,2 bis 2,5 m Durchmesser führen nach dem Maschinenhaus herab, das 160 m

lang und 20 m breit ist und 4 Maschinensätze enthält. Bei Vollast können die 4 Generatoren während 4,2 Stunden etwa 580 000 kWh wertvollster Spitzenenergie liefern (vgl. auch Tafel IV).

Tafel IV (S. 31).

Blick in die Maschinenhalle des Koepchenwerkes der Tafel III. 3 von den 4 Maschinensätzen des Werkes bestehen aus Turbine, Generator und Pumpe von je 35 000 kW, der 4. Satz mit der gleichen Leistung hat keine Pumpe. Die Pumpen haben eine sekundliche Fördermenge von je 14,6 cbm, so daß sie das Speicherbecken in 10 Stunden füllen können. Im Vordergrund des Bildes steht eine der 3 Pumpen mit ihrer Leistung von 35 000 PS, zurzeit (1932) die größte Pumpe der Welt.

Tafel V (S. 53 ff.).

Abb. 1. Dreipoliger Hebelschalter für 100 A bei 500 V. Der Schalter besitzt einfache Unterbrechung und durch besondere Druckfedern verstärkte Kontakte.

Abb. 2. Einpoliger Hebelschalter für 350 A bei 1000 V. Im allgemeinen erfolgt die Montage hinter der Schaltwand. Nur der Handgriff, der durch eine halbe Kurbelbewegung nach abwärts oder aufwärts betätigt wird, sitzt auf der Vorderseite.

Abb. 3. Hörnersicherung mit Feinzinkschmelzstreifen für Stromstärken bis zu 6000 A und Spannungen bis 100 V Drehstrom. Die vorzügliche Hörnerblaswirkung ermöglicht ein schnelles und sicheres Erlöschen der Lichtbogen auch bei schweren Kurzschlüssen.

Abb. 4. Dreipoliger Ölschalter hängender Anordnung mit direktem Hebelantrieb ohne Topfsenkvorrichtung, für 200 A bei 3000 V.

In zwei Phasen sind Überstromrelais auf den einen Isolator aufgesetzt.

Tafel VI (S. 53 ff.; S. 89).

Abb. 1. Selbstschalter für 60 A, 380 V mit elektromagnetischem Überstromauslöserrelais in 2 Polen, eine Poltrennwand abgenommen.

Abb. 2. Selbstschalter für 60 A, 500 V, mit thermischem Auslöserrelais in 2 Polen und mit magnetischer Blasing (Blaskasten am linken Pol abgenommen).

Abb. 3. Schaltschrank für 4 dreipolige Stromkreise mit eingebauten, geschlossenen Griffsicherungen.

Tafel VII (S. 55 ff.; S. 65 ff.).

Abb. 1. Dreipoliger Hochleistungsölschalter (Type AH) der BBC für 600 A und 30 kV. Die gleiche Type wird für Stromstärken bis zu 2500 A und Abschaltleistungen bei 30 kV bis zu 340 000 kVA gebaut. Bei dem Schalter für eine Stromstärke von 1500 A hat der Kübel eine Höhe von 0,85 m und einen Durchmesser von 0,65 m.

Abb. 2. Der Schalter der Abb. 1 mit herabgelassenem Öltopf.

Abb. 3. Relais H 2 von BBC ist ein unabhängiges sekundäres Relais, das an einen Stromwandler angeschlossen wird und eine Strom- und Zeitskala besitzt, mit deren Hilfe man die Auslösestromstärke und die Zeitdauer bis zur Auslösung einstellen kann.

Abb. 4. Relais A von BBC ist ein abhängiges sekundäres Relais, dessen Bewegung durch eine Aluminiumscheibe nach Art der Induktionszähler hervorgerufen wird, wobei die Auslösezeit von der Stromstärke abhängig wird.

Abb. 5. Die Solenoidkontakte der BBC haben den Zweck, die Gefahr der Kontaktabhebung, die bei hohen Kurzschlußströmen vorhanden ist, zu vermeiden. Sie bestehen aus Windungen, die so vom Strom durchflossen werden, daß sie sich anziehen, wodurch die Ab-

hebekraft überwunden wird. BBC berichtet, daß mit diesen Kontakten Ströme bis zu 100 000 A mit der gleichen Sicherheit aus- und eingeschaltet werden können, die man bei schwächeren Strömen gewöhnt ist.

Tafel VIII (S. 56).

Freiluft-Ölschalter für 220 kV und 600 A der Brown, Boveri & Cie AG. in Mannheim.

Jede Phase hat einen besonderen Topf und darin 10 Unterbrechungsstellen.

Die Höhe des Schalters vom Erdboden bis zur Spitze der Isolatoren beträgt 9,35 m. Der Topf allein hat eine Höhe von 5,24 m und einen äußeren Durchmesser von 2,80 m.

Tafel IX (S. 72; S. 79).

Abb. 1. Kurzschlußdrossel der SSW für 11 kV, 300 A und 5 Prozent Reaktanz. Sie dient zum Schutz gegen die Auswirkung von Überströmen.

Abb. 2. Petersen-Erdschluß-Drossel der AEG für 60 kV in eine Schaltkammer eingebaut. Sie dient zur Löschung von Erdschlußlichtbogen und zur Begrenzung des Erdschlußstroms.

Tafel X (S. 82).

Blick in die Hochspannungshalle (100 kV) des Umspannwerkes Ludwigshafen der Pfalzwerke AG. Ausgeführt von Brown, Boveri & Cie AG. in Mannheim.

Tafel XI (S. 82 ff.).

Ansicht des 100 kV - Doppelsammlerschienensystems der Freiluftstation Wien-Nord (AEG). Ganz links steht ein Freiluft-Ölschalter ähnlich wie der auf Taf. VIII. Rechts von ihm sieht man die Trennschalter (Drehschalter) in zwei Reihen unter den oben hängenden Sammelschienen angeordnet. Rechts davon sitzen die Ölschalter für die ganz rechts befindlichen 35/100 kV Transformatoren.

Tafel XII (S. 86).

Die Schaltwarte oder der Kommandoraum im Großkraftwerk Klingenberg (Taf. II) der Berliner Städtischen Elektrizitätswerke AG. (Bewag) umfaßt nicht nur die elektrischen Meßinstrumente und Betätigungsgeräte für die Maschinen und Abzweige, sondern auch eine Anzahl der Meßinstrumente für den dampftechnischen Teil des Kraftwerks (AEG).

Tafel XIII (S. 87).

Ein Teil der Schaltwarte des Großkraftwerks Klingenberg zeigt Generatorenfelder (in Tafel XII rechts): an der hinteren senkrechten Wand die Meßinstrumente, davor die Schaltpulte mit dem Schaltbild und den Hebeln, Druckknöpfen und Handrädern zur Betätigung der Fernsteuerung der 44 000 kW-Turbogeneratoren (6 kV) und Transformatoren (30 kV) (AEG).

Tafel XIV (S. 94 ff.).

Abb. 1—4. Genormte Stützenisolatoren für 20 kV Betriebsspannung nach DIN VDE 8002 bis 8005.

Abb. 1. Normaler Deltaisolator.

Abb. 2. Normaler Weitschirmisolator.

Abb. 3. Verstärkter Deltaisolator.

Abb. 4. Verstärkter Weitschirmisolator.

Abb. 5—7. Genormte Kappenisolatoren nach DIN VDE 8007.

Abb. 5. Kappenisolator der Größe K 1 (110 mm Baulänge, 170 mm Teller-Dmr., 3 t Mindestbruchlast).

Abb. 6. Kappenisolator der Größe K 4 (185 mm Baulänge, 280 mm Teller-Dmr., 8,5 t Mindestbruchlast).

Abb. 7. Kappenisolator der Größe K 7 (230 mm Baulänge, 350 mm Teller-Dmr., 18 t Mindestbruchlast).

Abb. 8 und 9. Genormte Vollkern-(Motor-)isolatoren nach DIN VDE 8008.

Abb. 8. Vollkernisolator der Größe MK 1 (205 mm Baulänge, 170/115 mm Teller-Dmr., 3 t Mindest-Bruchlast).

Abb. 9. Vollkernisolator der Größe MK 5 (300 mm Baulänge, 280/280 mm Teller-Dmr., 7 t Mindest-Bruchlast).

Abb. 10. Zehngliedrige Hängekette aus Hescho-Federring-Isolatoren der Größe K 7 für die 220/380 kV-Leitung des RWE.

Tafel XV (S. 103 ff.).

Abb. 1. Landkabel mit Gürtelisolierung für 25 kV (Außendurchmesser 80 mm).

Abb. 2. H-Kabel mit Wasserkabelbewehrung für 50 kV (Außendurchmesser 102 mm).

Abb. 3. H-Kabel für 100 kV mit schwach magnetischer Stahldrahtbewehrung (Außendurchmesser 96 mm).

Abb. 4. Dreileiter-Ölkabel für 33 kV mit Kanälen in den Zwickeln zwischen den H-isolierten Adern (Außendurchmesser 90 mm).

Abb. 5. Einleiter-Ölkabel mit hohler Kupferader für 66 kV.

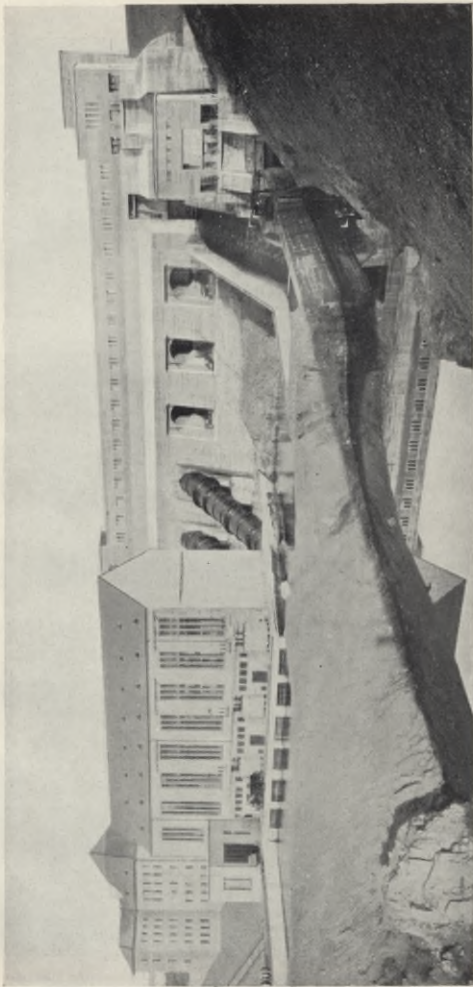
Tafel XVI (S. 109).

Abb. 1. Verbindungsmuffe mit Bleiinnenmuffe für 10 kV mit Klemmen und Trennstegen nach DIN der F. & G.

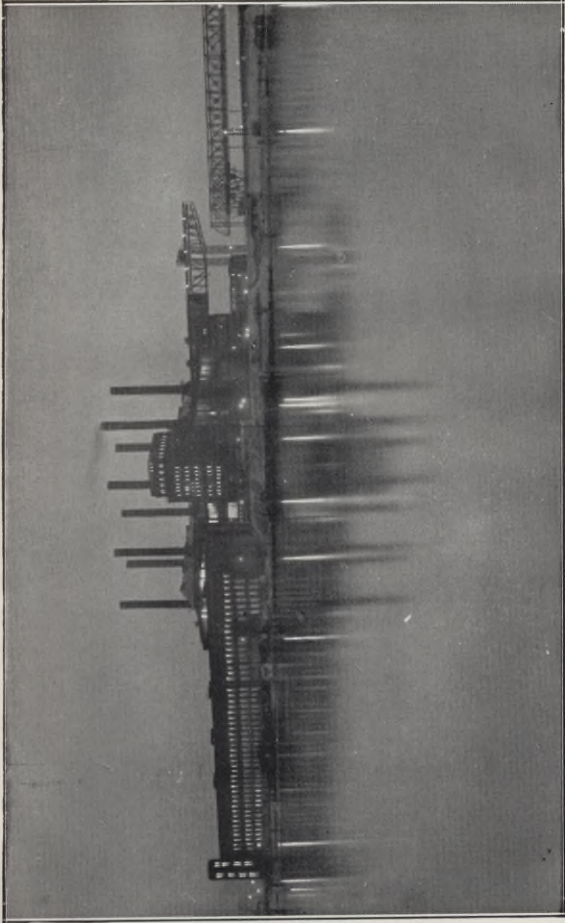
Abb. 2. Flachendverschluss für 10 kV mit Kappenschraubhülsen nach DIN VDE 7690 der F. & G.

Abb. 3. Ein Endverschluß wie Abb. 2 und ein anderer ohne Gehäuse der SSW.

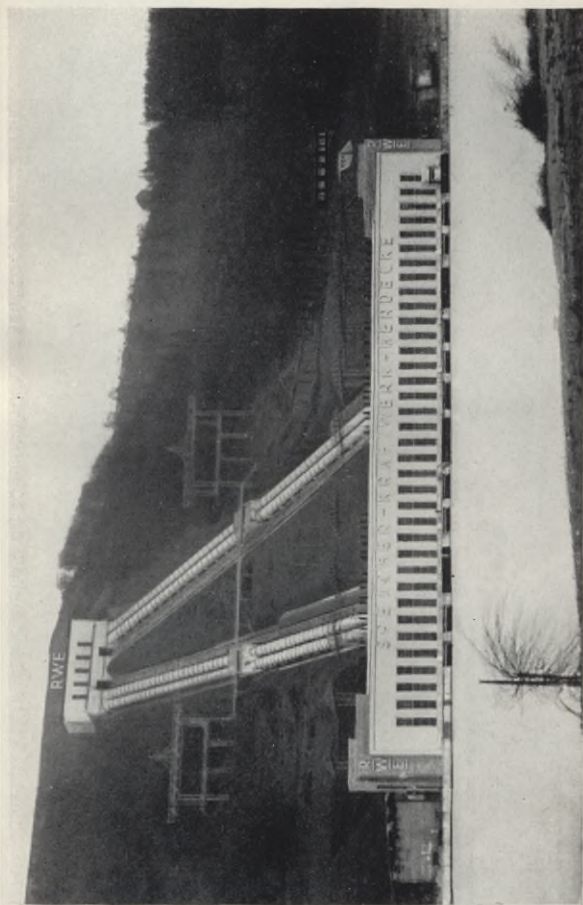
Abb. 4. Kabelkasten mit 4 Abzweigen für Drehstrom-Nulleiter-Verteilung. Die Abzweige werden durch Griffsicherungen in jeder Phase angeschlossen (F. & G.).



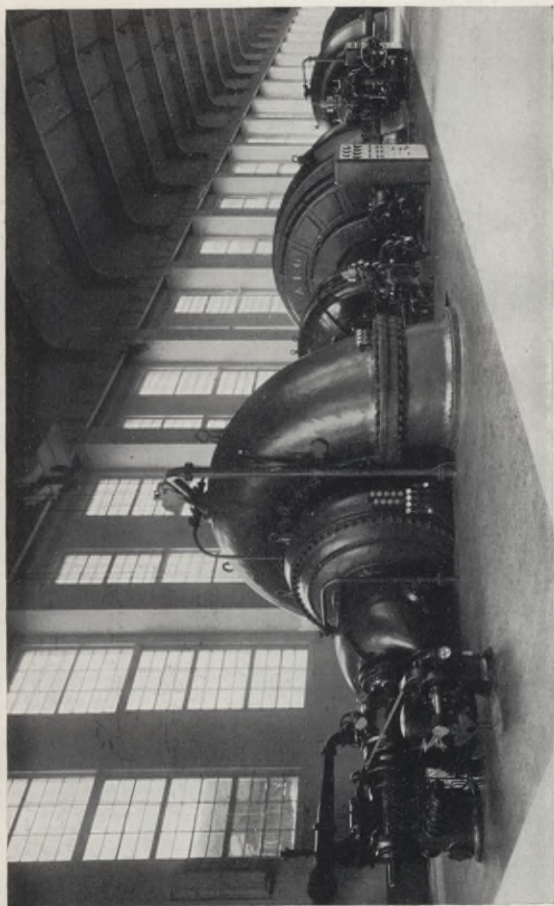
Das Wasserkraftwerk am Shannon, an der Westküste von Irland (SSW-Berlin). Erster Ausbau mit 3 Turbogeneratoren von je 30 000 kW bei 10,5 kV u. 150 U/min. Gefälle: 28,5 m.



Das Dampfkraftwerk Klingenberg der Berliner Elektrizitätswerke A. G. (Bewag) in Rummelsburg bei Berlin (AEG).



Das Koeppen-(Pumpspeicher-)werk des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerks A. G. bei Herdecke in Westfalen.



Maschinenhalle des Koeppenwerkes der Tafel III.

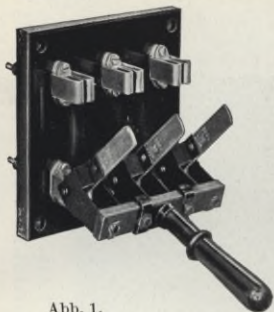


Abb. 1.

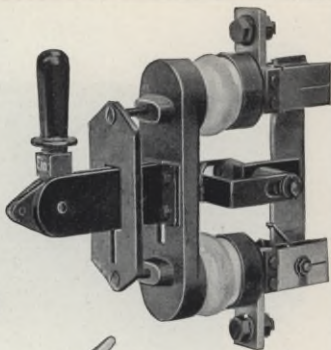


Abb. 2.

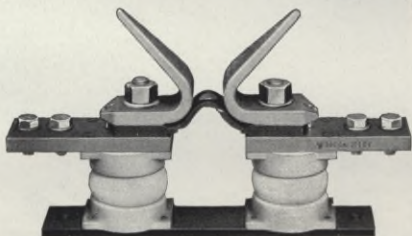


Abb. 3.

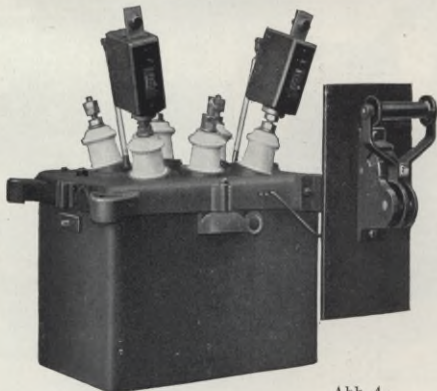


Abb. 4.

3 Schalter u. 1 Sicherung von Voigt u. Haeffner A. G., Frankfurt-Main.

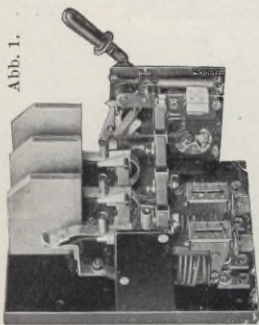


Abb. 1.

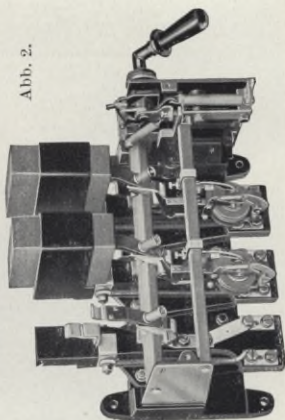


Abb. 2.

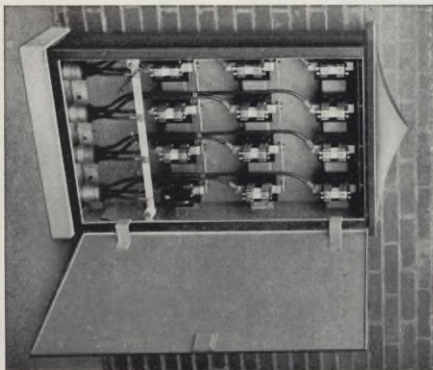
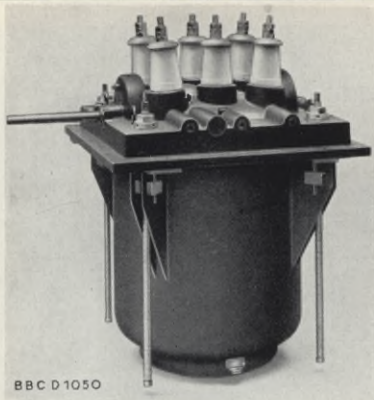
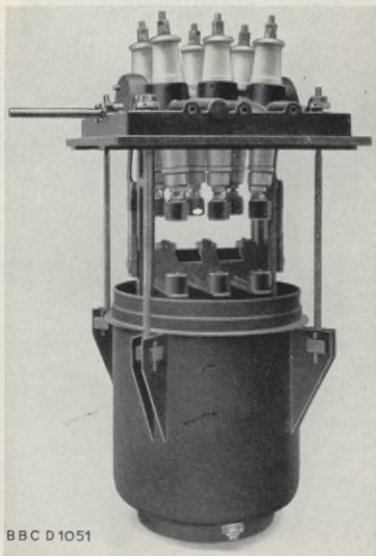


Abb. 3.
Schalter u. Schaltschrank von Voigt u. Häffner A. G. in Frankfurt-Main.



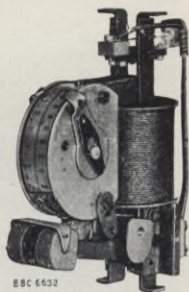
BBC D 1050

Abb. 1



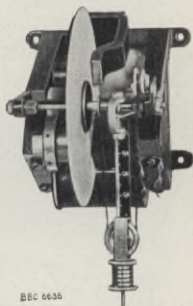
BBC D 1051

Abb. 2.



BBC 6632

Abb. 3.



BBC 6636

Abb. 4.

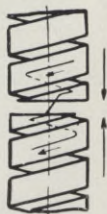
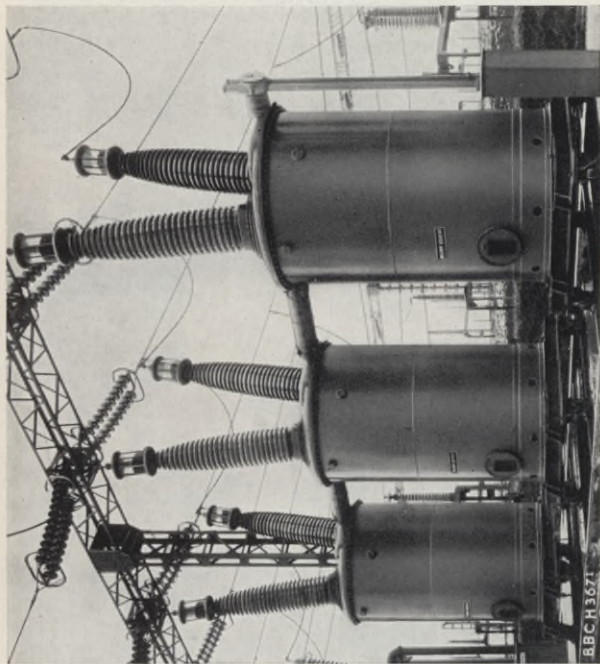


Abb. 5.



Freiluft-Ölschalter für Drehstrom von 220 kV und 600 A der Brown-Boveri u. Cie A. G. in Mannheim.

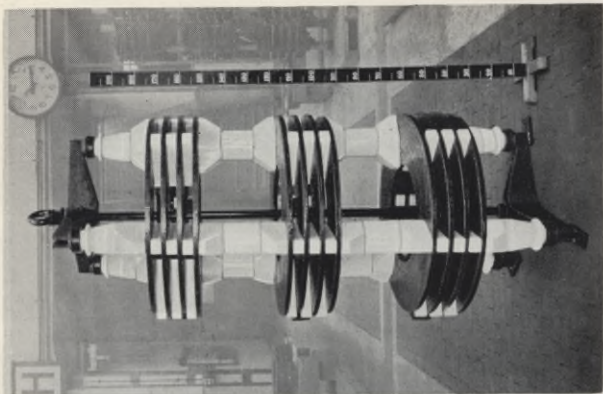


Abb. 1. Kurzschlußdrossel der SSW.

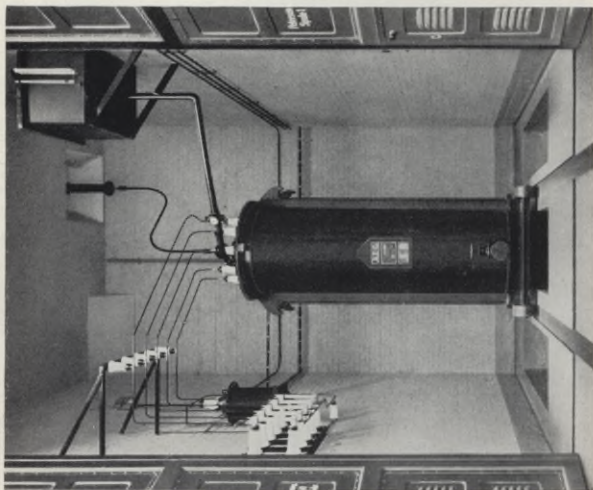
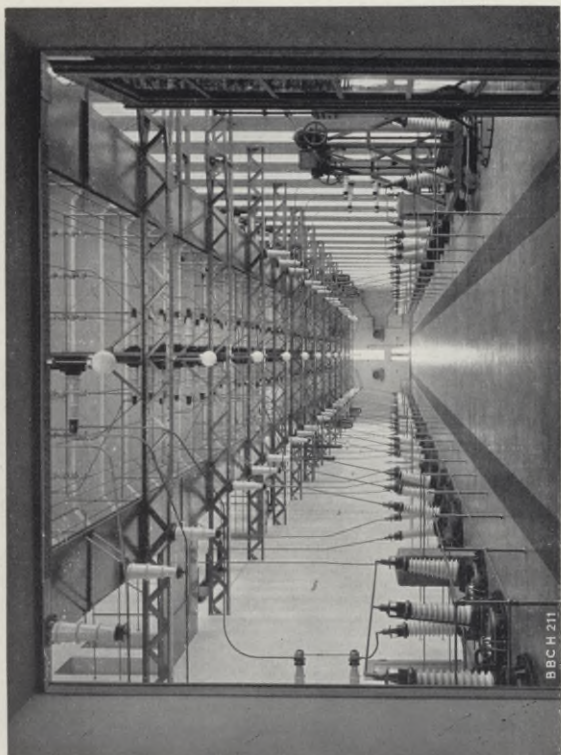
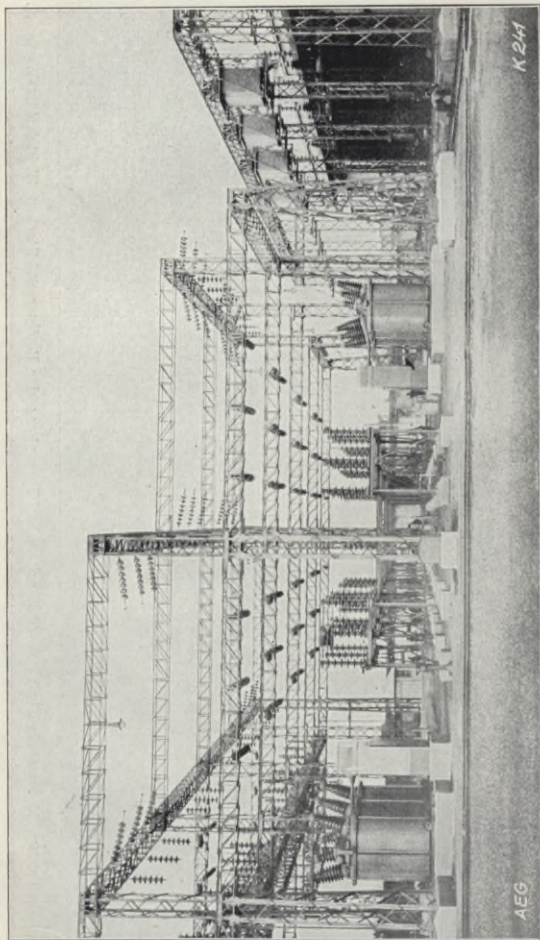


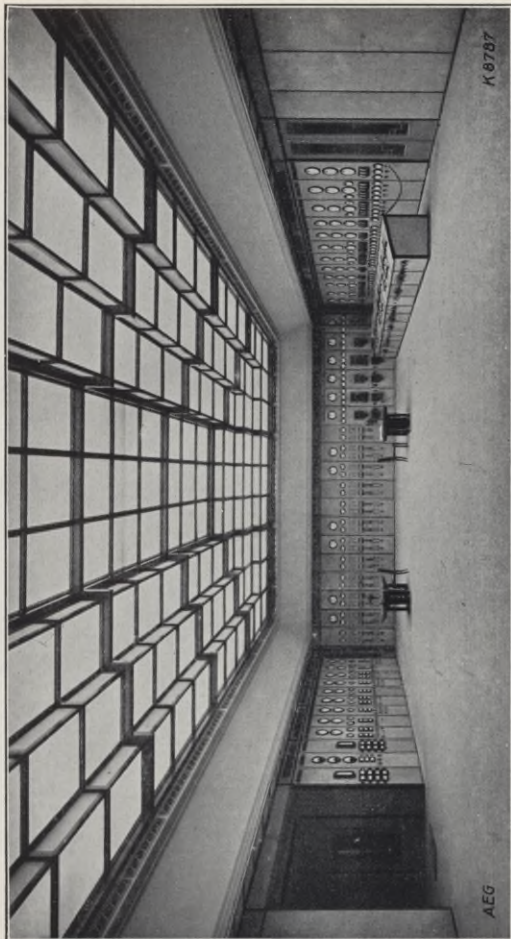
Abb. 2. Petersen-Erdschluß-Drossel der AEG.



Die Halle der Hochspannungsanlage (100 kV) des Umspannwerks Ludwigshafen der Pfalzwerke A. G. (BBC-Mannheim).



Das 100 kV-Doppelsammelsystem des Freiluft-Umspannwerks Wien-Nord (AEG-Berlin).



Die Schaltwarte (Kommandoraum) des Großkraftwerks Klingenberg der Berliner Städtischen Elektrizitäts-Werke A. G. (Bewag).



Ein Querschnitt aus den Generatorenfeldern des Großkraftwerks Klingenberg (Taf. XII rechts): an der hinteren senkrechten Tafel die Meßinstrumente, davor die Schaltpulte mit Schaltbildern, Hebeln, Druckknöpfen u. Handrädern zur Fernsteuerung der 44 000 kW-Turbogeneratoren (6 kV) u. Transformatoren (30 kV) (AEG-Berlin).



Abb. 1.



Abb. 2.



Abb. 3.



Abb. 4.

Genormte Stützen-Isolatoren.



Abb. 5.



Abb. 6.



Abb. 7.

Genormte Kappen-Isolatoren



Abb. 8.



Abb. 9.

Genormte Vollkern- (Motor-) Isolatoren

Abb. 10.



Genormte Hochspannungs-Isolatoren (Hescho, Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren Gesellschaft, Hermsdorf/Thür.)

Abb. 1. Landkabel mit Gürtelisolierung für 25 kV (Außendurchmesser 80 mm).

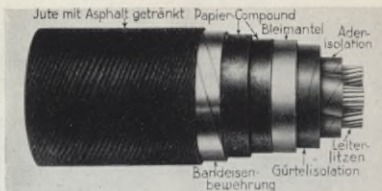


Abb. 2. H-Kabel mit Wasserkabelbewehrung für 50 kV (Außendurchmesser 102 mm).

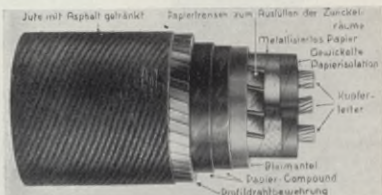


Abb. 3. H-Kabel für 100 kV mit schwach magnetischer Stahldrahtbewehrung (Außendurchmesser 96 mm).



Abb. 4. Dreileiter-Ölkabel für 33 kV mit Kanälen in den Zwischenräumen zwischen den H-isolierten Adern (Außendurchmesser 90 mm).

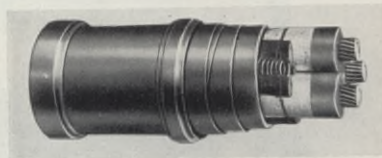
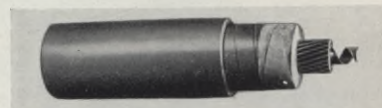


Abb. 5. Einleiter-Ölkabel mit hohler Kupferader für 66 kV.



Hochspannungskabel der Felten u. Guilleaume-Karlswerk A. G. in Köln-Mülheim.

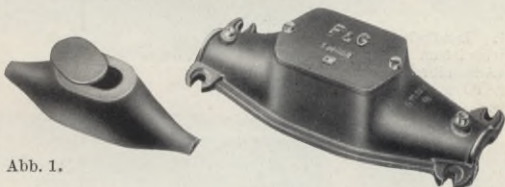


Abb. 1.



Abb. 2.

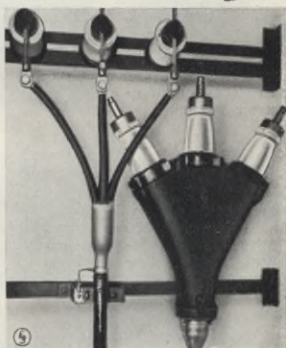


Abb. 3.

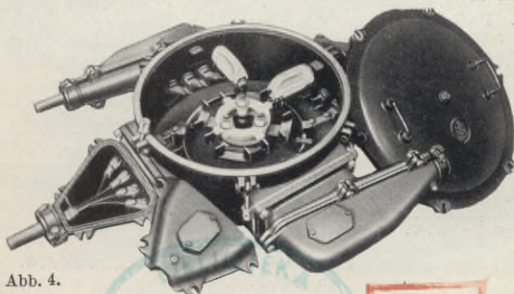


Abb. 4.

Kabelarmaturen von F. u. G. und SSW.

5. 61

Politechniczna

Wichtige Literatur für den Elektrotechniker

in Auswahl

WALTER DE GRUYTER & CO. / BERLIN W 10

ELEKTRIZITÄTSLEHRE

Elektrizität und Magnetismus. Von Professor Dr. Gustav Jäger. Sechste, verbesserte Auflage. Mit 44 Figuren. 151 Seiten. 1930. (Sammlung Göschen Bd. 78) Geb. RM. 1.80

Die Darstellung umfaßt Elektrostatik, Magnetismus und Elektromagnetismus und geht im wesentlichen darauf aus, die klassischen Grundvorstellungen zu befestigen und zu den neueren Auffassungen (Maxwell, Elektronik) überzuleiten.

Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht. Von Prof. Dr. A. Nippoldt. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 7 Tafeln und 18 Figuren. 135 Seiten. 1921. (Samml. Göschen Bd. 175) Geb. RM. 1.80

Der Band berücksichtigt den neuesten Stand der Forschungen über den Magnetismus der Sonne, die auf ihr vorhandenen magnetischen Felder und deren Wirkungen auf das Weltall, über den die Erde umgebenden unsichtbaren Ring aus elektrischen Teilchen u. a.

Luftelektrizität. Von Dr. Karl Kähler. Mit 19 Abbildungen. 134 Seiten. 1921. (Samml. Göschen Bd. 649) Geb. RM. 1.80

Der Verfasser gibt die Ergebnisse wieder über das natürliche elektrische Feld der Erde, das elektrische Leitungsvermögen der Atmosphäre, die elektrischen Ströme in der Luft und die radioaktiven Vorgänge in der Atmosphäre. Schließlich werden die elektrischen Wirkungen des Sonnenlichts und der Ursprung der Luftelektrizität behandelt.

Radioaktivität. Von Professor Dr. P. Ludewig. Mit 37 Abbildungen. 133 Seiten. 1921. (Samml. Göschen Bd. 317) . . . Geb. RM. 1.80

Einführung in das periodische System der Elemente, Atomzerfall und Radioaktivität, Radioelemente und physikalische Eigenschaften und Wirkungen der radioaktiven Strahlen, in die Grundlagen der radioaktiven Messungen und Anwendung der radioaktiven Strahlen in der Medizin.

Schall und Wärme. Von Professor Dr. Gustav Jäger. Sechste, umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 7 Figuren. 133 Seiten. 1930. (Samml. Göschen Bd. 77) Geb. RM. 1.80

Optik. Von Professor Dr. Gust. Jäger. Sechste, umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 44 Figuren. 148 Seiten. 1930. (Samml. Göschen Bd. 374) Geb. RM. 1.80

Grundlagen der praktischen Optik. Analyse und Synthese optischer Systeme. Von Dr. M. Berek, Honorarprofessor in der philosophischen Fakultät der Universität Marburg, wissenschaftl. Mitarbeiter in den Optischen Werken E. Leitz, Wetzlar. Mit 63 Figuren im Text und auf einer Tafel. Groß-Oktav. VII, 152 Seiten. 1930. RM. 13.—, geb. RM. 14.50

Röntgenstrahlen. (Physik, Technik und Anwendungen.) Von Dr. phil. nat. Rich. Herz. Mit 48 Figuren und 16 Tafeln. 136 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 950) Geb. RM. 1.80

Inhalt: Physik der Röntgenstrahlen. Röntgentechnik (Röhrentechnik, Hochspannungserzeugung, Zubehör, Meßtechnik). Medizinische Anwendungen, Technische Anwendungen.

Wärmestrahlung, Elektronik und Atomphysik. Von Professor Dr. Gust. Jäger. Vierte, umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 16 Figuren. 1930. (Samml. Göschen Bd. 1017) Geb. RM. 1.80

Atomphysik. Von Dr. Hans Leßheim in Breslau. I. Band. Mit 36 Abb. 134 Seiten. 1929. (Samml. Göschen Bd. 1009) . . . Geb. RM. 1.80

Atomtheorie. Von Dr. phil. Arthur Haas, Professor für Physik an der Universität in Wien. Mit 64 Figuren im Text und auf 4 Tafeln. Zweite, völlig umgearbeitete und wesentlich vermehrte Auflage. Groß-Oktav. VIII, 258 Seiten. 1929 RM. 10.—, geb. RM. 11.50

Inhalt: Elektronen, Atome und Lichtquanten. Die Grundlagen der Atommechanik. Die Spektren der Atome. Die Röntgenstrahlen. Die Atomkerne. Die Molekeln. Wechselwirkung zwischen Licht und Materie.

Die Welt der Atome. Zehn gemeinverständliche Vorträge. Von Arthur Haas, Dr. phil., a. o. Professor für Physik an der Universität Wien. Mit 37 Figuren im Text und auf 3 Tafeln. Oktav. XII, 130 Seiten. 1926 RM. 4.80, geb. RM. 6.—

Inhalt: Materie und Elektrizität. Die Bausteine der Atome. Die Quanten des Lichtes. Spektren und Energiestufen. Das Wasserstoffatom. Die Grundstoffe. Das Atom als Planetensystem. Die Molekeln. Die Radioaktivität. Die Umwandlungen der Grundstoffe.

Physikalische Messungsmethoden. Von Professor Dr. Wilh. Bahrdt. Mit 54 Figuren. 147 Seiten. 1921. (Samml. Göschen Bd. 301) Geb. RM. 1.80

Das Buch des bekannten Lehrbuchherausgebers und Erfinders sinnreicher Apparate ist eine Fundgrube interessanter Versuchsanordnungen und Meßmethoden. Es bietet reiche Anregungen für Schülerübungen.

Physikalische Tabellen. Von Dr. A. Leick. Zweite, Neubearb. Auflage. 96 Seiten. (Samml. Göschen Bd. 650) Geb. RM. 1.80

Eine kurze tabellarische Zusammenstellung ausgewählter mathematischer, astronomischer, geophysikalischer, physikalischer Zahlenwerte, die vornehmlich Lehrern und Studierenden zu rascher Orientierung dient.

Technische Tabellen und Formeln. Von Dr.-Ing. W. Müller. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 106 Figuren. 148 Seiten. 1921. (Sammlung Göschen Bd. 579) Geb. RM. 1.80

Eine für die Praxis wertvolle Zusammenstellung von Daten, Normalprofilen, Tabellen und Formeln aus dem Gebiet der Wärme, Festigkeitslehre, Maschinenkunde und Elektrotechnik.

Englisch für Techniker. Ein Lese- und Übungsbuch für Ingenieure und zum Gebrauch an Techn. Lehranstalten. Unter Mitarbeit von Albany Featherstonhaugh, herausgegeben von Dipl.-Ing. C. Volk. (Sammlung Göschen Bd. 705 u. 706.)

I. Maschinenteile, Kraftmaschinen, Kessel und Pumpen. Mit 25 Fig. Zweite, verbesserte Auflage. 132 Seiten. 1931 . . Geb. RM. 1.80

II. Elektrotechnik. Mit 19 Fig. 115 Seiten. 1923 . . Geb. RM. 1.80

Das Buch ist in erster Linie für den Selbstunterricht und für technische Lehranstalten bestimmt, doch dürfte es auch in keinem größeren technischen Büro fehlen.

Technisches Wörterbuch. Von Erich Krebs, OBERINGENIEUR IN KÖNIGSBERG.

- III. Die wichtigsten Ausdrücke der Elektro- und Radiotechnik. Deutsch-Englisch. Zweite Auflage. 157 Seiten. 1931. (Samml. Göschen Bd. 1041) Geb. RM. 1.80
- IV. — Englisch-Deutsch. Zweite Auflage. 179 Seiten. 1931. (Samml. Göschen Bd. 1042) Geb. RM. 1.80
- VII. — Deutsch-Französisch. Zweite Auflage. 1932. (Samml. Göschen Bd. 1050) Geb. RM. 1.80
- VIII. — Französisch-Deutsch. Zweite Auflage. 1932. (Samml. Göschen Bd. 1051) Geb. RM. 1.80

ALLGEMEINE ELEKTROTECHNIK

Elektrotechnik. Einführung in die Starkstromtechnik. Von Prof. I. Herrmann. (Samml. Göschen Bd. 196—198, 657.)

- I. Die physikalischen Grundlagen. Fünfte, neubearb. Auflage. Mit 88 Figuren und 16 Tafeln. 125 Seiten. 1928 RM. 1.80
- II. Die Gleichstromtechnik. Fünfte, neubearb. Auflage. Mit 121 Fig. und 16 Tafeln. 135 Seiten. 1928 RM. 1.80
- III. Die Wechselstromtechnik. Fünfte Auflage. Mit 153 Figuren und 16 Tafeln. 184 Seiten. 1929 RM. 1.80
- IV. Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie. Zweite Auflage. Mit 100 Figuren und 16 Tafeln. 138 Seiten. 1923. RM. 1.80

Die vorliegenden Bände behandeln in leichtverständlicher und übersichtlicher Weise die Starkstromelektrotechnik und bieten in engem Rahmen auf streng wissenschaftlicher Grundlage das auf dem Gebiet der Starkstromtechnik Wissenswerte. Die auf den Tafeln abgebildeten Maschinen, Motoren, Umformer, Transformatoren und Apparate entsprechen den neuesten Ausführungsformen.

Allgemeine Grundlagen der Elektrotechnik. Bearbeitet von Dr. C. Michalke, OBERINGENIEUR DER SIEMENS-SCHUCKERTWERKE. Mit 153 Abbildungen. XII, 167 Seiten. 1925. (Siemens-Handbücher Bd. I.) Geb. RM. 5.—

Das Werk behandelt in leichtfaßlicher Form die Grundlagen der Elektrotechnik und bildet gleichzeitig den Ausgangspunkt für die weiteren Bände der Sammlung.

Einführung in die Elektrotechnik. Hochschulvorlesungen von Dr. C. Heinke, Geh. Reg.-Rat, o. Professor der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule München. Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 560 Abbildungen. Oktav. 490 Seiten. 1924 Geb. RM. 18.—

Aus dem Inhalt: Die elektrotechnisch wichtigen Grunderscheinungen und elektromagnetischen Begriffe, Energiewandlungen mit Erzeugung elektrischer Spannungen. Die technische Erzeugung elektrischer Arbeit. Die technische Verwertung elektrischer Arbeit. Elektrische Meßgeräte.

Lehrbuch der Elektrotechnik. Von Professor E. Stöckhardt, Diplom-Ingenieur und Studienrat. Dritte, umgearbeitete Auflage. Mit mehreren hundert Abbildungen. Oktav. VIII, 327 Seiten. 1925. Geb. RM. 13.—

Einer Erläuterung der allgemeinen theoretischen Grundlagen folgt eine zusammenfassende Übersicht über Leitungen und Zubehör, Beleuchtung, Magnetismus, Gleichstromerzeuger, Sammler, Wechselstrom, Atomlehre, Quecksilberdampfgleichrichter, drahtlose Telegraphie und Telephonie.

Einführung in die Hochspannungstechnik. Von Dr.-Ing. K. Fischer. (Samml. Göschen Bd. 609, 940.)

- I. Die Vorgänge in Isolierkörpern und isolierten Leitungen. Dritte Auflage. Mit 77 Figuren. 199 Seiten. 1921 Geb. RM. 1.80
- II. Schalt- und Sicherheitsapparate in Hochspannungsanlagen. Mit 61 Figuren. 94 Seiten. 1926 Geb. RM. 1.80

Die Darstellungsweise ermöglicht auch Nichtelektrotechnikern ein Einleben in die Grundprobleme dieses für die industrielle Entwicklung der Gegenwart so unendlich wichtigen Zweiges unserer Technik.

Elektrische Schwingungen. Von Professor Dr. Herm. Rohmann. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 65 Abbildungen. 132 Seiten. 1926. (Samml. Göschen Bd. 751) Geb. RM. 1.80

Die symbolische Behandlung der Wechselströme. Von Dipl.-Ing. Gerhard Hauße. Mit 40 Figuren. 102 Seiten. 1928. (Samml. Göschen Bd. 991.) Geb. RM. 1.80

Inhalt: Mathematische Grundlagen, Übertragung der komplexen Rechnung auf elektrotechnische Probleme, die Widerstandsoperatoren, die symbolische Behandlung von Schaltungen und die Leistung in der symbolischen Rechnung.

DIE ELEKTRISCHEN MASCHINEN UND APPARATE

Elektrische Stromerzeugungsmaschinen und Motoren. Kurzer Abriss ihres Aufbaues und ihrer Wirkungsweise. Leichtfaßlich dargestellt von Richard Vater, Geh. Bergrat, o. Professor an der Technischen Hochschule Berlin. Herausgegeben von Dr. Fritz Schmidt, Privatdozent an der Technischen Hochschule Berlin. Mit 116 Abbildungen im Text. Groß-Oktav. VIII, 128 Seiten. 1920 . . . RM. 3.—, geb. RM. 3.60

Eine gute Einführung in die technischen Grundlagen und die Wirkungsweise der Generatoren, Motoren und Transformatoren, unter Vermeidung mathematischer Ableitungen.

Die Gleichstrommaschine. Von Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. (Samml. Göschen Bd. 257 u. 881.)

I. Theorie, Konstruktion und Berechnung. Mit 6 Tafeln und 60 Figuren. 128 Seiten. 1923 . . . Geb. RM. 1.80

II. Arbeitsweise und Prüfung. Mit 69 Figuren. 120 Seiten. 1924. Geb. RM. 1.80

Die Bände wollen dem Anfänger und Studierenden der Elektrotechnik ein kurzgefaßter, leichtverständlicher Leitfad sein, und dem Nichtelektrotechniker, der sich für Gleichstrommaschinen interessiert, die Möglichkeit zum Selbststudium bieten.

Aufgabensammlung über die Gleichstrommaschine mit Lösungen. Von Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. Mit 38 Figuren. 108 Seiten. 1925. (Samml. Göschen Bd. 912) . . . Geb. RM. 1.80

In 45 Aufgaben werden die in den ersten beiden Teilen entwickelten Formeln und Schaulinien zur Anwendung gebracht. Zur Erleichterung des Verständnisses ist jeder Gruppe von Aufgaben eine kurze Zusammenstellung der verwandten Regeln und Formeln vorangestellt.

Wechselstromerzeuger. Von Prof. Dipl.-Ing. Franz Sallinger. Mit 77 Fig. 127 Seiten. 1922. (Samml. Göschen Bd. 547) . . . Geb. RM. 1.80

Der Verfasser behandelt den allgemeinen Aufbau und die Wicklungen, die Berechnung der Einzelspannungen des Maschinendiagramms und die experimentelle Prüfung, woran sich die Erklärung der wichtigsten Erscheinungen beim Parallelbetrieb anschließt. Den Schluß bildet die Darstellung des Berechnungsganges einer synchronen Maschine.

Transformatoren. Von Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. Mit 66 Abb. und 12 Tafeln. 112 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 952) Geb. RM. 1.80

Ein zusammenfassender Bericht über Theorie, Aufbau und Prüfung des Transformators.

Gleichrichter. Von Dipl.-Ing. Josef Just. Mit 90 Abbildungen. 136 Seiten. 1926. (Samml. Göschen Bd. 945) . . . Geb. RM. 1.80

Die verschiedenen Arten von Gleichrichtern werden an Hand der Abbildungen beschrieben und ihre Verwendungsmöglichkeiten erörtert.

Die Elektromotoren, ihre Arbeitsweise und Verwendungsmöglichkeit. Von Prof. Dr. F. Niethammer. Zweite Auflage. (Samml. Göschen Bd. 798, 799.)

I. Gleichstrommotoren. Mehrphasige Synchron- und Asynchronmotoren. Mit 56 Figuren. 99 Seiten. 1925 . . . Geb. RM. 1.80

Wechselstrom-Kommutatormaschinen. Von Ing. Karl Baudisch. Mit 62 Textfiguren und 20 Tafelabbildungen. 104 Seiten, 1928. (Samml. Göschel Bd. 992) Geb. RM. 1.80

Der Band behandelt sowohl die Einphasen- als auch die Drehstrom-Kommutatormotoren und die generatorischen Arbeiten dieser Maschinen, wobei Wert auf die Verwendung von Betriebskurven gelegt wurde, wie sie mittleren Verhältnissen entsprechen.

Die Kommutatormaschinen für einphasigen und mehrphasigen Wechselstrom. Von Dr.-Ing. e. h. M. Schenkel, Oberingenieur der Siemens-Schuckertwerke. Mit 124 Abbildungen. Oktav. VII, 259 Seiten. 1924. RM. 10.50, geb. RM. 12.—

Der Verfasser, der seit Jahrzehnten an der Entwicklung der Kommutatormaschinen praktisch mitarbeitet, hat unter Berücksichtigung der modernsten Maschinentypen alles verstreute Material in diesem Lehrbuch zusammengefaßt.

Elektrische Schaltgeräte, Anlasser und Regler. Von Dr.-Ing. Fritz Kesselring. I. Theoretische Grundlagen zur Berechnung der Schaltgeräte. Mit 80 Figuren. 142 Seiten. (Samml. Göschel Bd. 711) Geb. RM. 1.80

Das Buch dürfte für den Studierenden eine willkommene Ergänzung seines Studiums darstellen, indem es ihm einen Einblick in das Gebiet der Schaltapparate gewährt und ihn lehrt, die Theorie richtig auf praktische Beispiele anzuwenden.

Elektrisches Schaltzeug. Bearbeitet von Ernst Schupp, Oberingenieur der Siemens-Schuckertwerke. Mit 314 Abbildungen. XII, 179 Seiten. 1927. (Siemens-Handbücher Bd. VIII) Geb. RM. 5.40

„Der Zweck des Buches, dem Fachmann die Auswahl des gebrauchten Schaltzeuges zu erleichtern und ihn über die Behandlung zu unterrichten, wird in vorbildlicher Weise erreicht. Die Darstellung ist klar, sie spricht unmittelbar aus reicher Praxis. Die Ausstattung ist glänzend.“

Schweizerische Technische Zeitschrift.

DIE ELEKTRISCHEN BETRIEBE UND BAHNEN

Das Kraftwerk Fortuna II. Monographie eines Dampfkraftwerkes in systematischer Darstellung. Von Albert Schreiber, Direktor des Rheinischen Elektrizitätswerkes im Braunkohlenrevier, Köln. Mit 141 Abbildungen im Text und auf 7 Tafeln. XVI, 175 Seiten. 1925. (Siemens-Handbücher Bd. V) Geb. RM. 6.50

Das nach dem Vorwort sowohl für Techniker als auch für Studierende bestimmte Buch beschränkt sich in der Hauptsache auf die Beschreibung der ganzen Anlage, wobei eine kurze geschichtliche Darstellung und Begründung für die in den wichtigsten Fragen, wie Wahl des Bauplatzes, Gesamtanordnung, Wasserbeschaffung, Einheitsgröße für Kessel und Dampfturbinen usw. getroffenen Entscheidungen vorausgeschickt wird.

Elektromotorische Betriebe. (Grundlagen für die Berechnung.) Von Prof. Dr.-Ing. A. Schwaiger. Mit 25 Abbildungen. 117 Seiten. 1922. (Samml. Göschel Bd. 827) Geb. RM. 1.80

Der Verfasser behandelt das Thema von der technischen und wirtschaftlichen Seite aus, geht näher auf die Grundlagen für Schaffung von Betriebsdiagrammen ein und zeigt an Beispielen deren Konstruktion.

Die zweckmäßigste Betriebskraft. Von Obering. F. Barth. Dritte, verbesserte Auflage. (Samml. Göschel Bd. 224, 225, 474.)

I. Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschiedene Kraftmaschinen. Mit 19 Abbildungen. 108 Seiten. 1922 Geb. RM. 1.80

II. Gas-, Wasser- und Wind-Kraftanlagen. Mit 24 Abbildungen. 116 Seiten. 1922 Geb. RM. 1.80

III. Elektromotoren. Betriebskosten-Tabellen. Graphische Darstellung.
Wahl der Betriebskraft. Mit 13 Abb. 116 S. 1922. Geb. RM. 1.80

Die Bände bilden für Betriebsleiter, Besitzer und Erbauer von Kraftanlagen einen unparteiischen Ratgeber, für Studierende ein Lehrbuch zum Selbststudium und für Ingenieure eine vergleichende Gegenüberstellung der verschiedenen Kraftmaschinen.

Elektrische Bahnen. Von Prof. Dr. A. Schwaiger. Mit 45 Abbildungen.
116 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 958) . . . Geb. RM. 1.80

Das Buch orientiert über den Werdegang der elektrischen Bahnen, gibt sodann Auskunft über Stromart und Spannung sowie die Bestandteile einer elektrischen Bahn, um dann einige ausgeführte Vollbahnen zu beschreiben.

Elektrische Bahnen. Bearbeitet von Regierungsbaumeister a. D. O. Höring, Prokurist der Siemens-Schuckertwerke A.-G. Mit 502 Abb., 9 Zahlentafeln, einer Karte und 8 Tiefdruckbeilagen. Groß-Oktav. XV, 515 S. 1929. (Siemens-Handbücher, hrsg. von der Siemens & Halske A.-G. und der Siemens-Schuckertwerke A.-G., Bd. XV) Geb. RM. 15.—

Straßenbahnen. Von Dipl.-Ing. Aug. Boshart. Mit 72 Abbildungen.
132 Seiten. (Samml. Göschen Bd. 559) Geb. RM. 1.80

Einer kurzen geschichtlichen Einleitung folgen ausführliche Abschnitte über Betriebsarten, Anlage, Oberbau usw. Den Betriebsmitteln und Anlagen ist ein größerer Abschnitt gewidmet.

Die Wassereisenbahn, ein Schlepssystem auf Kanälen und Flüssen ohne Inanspruchnahme der Ufer. Von Richard Koss, Ober- und Geheimer Baurat i. R., früherer Direktor der Union Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin und der Leipziger Werkzeugmaschinenfabrik. Mit 50 Abbildungen im Text. Groß-Oktav. IV, 117 Seiten. 1927 . . . Geb. RM. 12.—

Der Verfasser beschreibt seine Erfindung, die Wassereisenbahn, und die damit auf dem Dortmund-Ems-Kanal unternommenen Versuche.

Automobile. Personen- und Lastautomobile sowie Elektrokarren. Von Ingenieur R. Thebis. Mit 77 Abbildungen. 107 Seiten. 1926. (Samml. Göschen Bd. 948) Geb. RM. 1.80

Elektrische Förderanlagen. Von Prof. Dr.-Ing. A. Schwaiger. Mit 30 Abb.
113 Seiten. 1921. (Samml. Göschen Bd. 678) . . . Geb. RM. 1.80

Aus dem Inhalt: Berechnung der Fahrwiderstände, Schaltung der Motoren, die verschiedenen Fördersysteme, Energiebedarf, Bremsen und Steuerungen, Betriebskosten.

Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen. Von S. Scheibner. (Samml. Göschen Bd. 689, 690.)

I. Die elektrischen Stellwerke. Zweite, umgearbeitete Auflage. Mit 39 Abbildungen. 122 Seiten. 1923 Geb. RM. 1.80

II. Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen. Mit 35 Abbildungen und 1 Tafel. 95 Seiten. 1913 Geb. RM. 1.80

Aus der ausführlichen Darstellung werden Studierende und Ingenieure, Bahnmeister und Eisenbahnbeamte einen klaren Überblick über den derzeitigen Stand der elektrischen Stellwerke gewinnen.

Die elektrischen Schweißverfahren. Von Hch. Krökel und Ingenieur Hans Niese. Mit 66 Figuren. 136 Seiten. 1930. (Samml. Göschen Bd. 1020) Geb. RM. 1.80

DIE ELEKTRISCHEN ANLAGEN UND LEITUNGEN

Der Leistungsfaktor. Bearbeitet von Dipl.-Ing. G. Scharowsky. Mit 159 Bildern. Oktav. XI, 197 Seiten. 1930. (Siemens-Handbücher Bd. VII) Geb. RM. 7.50

Ströme und Spannungen in Starkstromnetzen als Grundlagen elektrischer Leitungsberechnungen. Von Dipl.-Elektroing. Jos. Herzog und Professor Clarence Feldmann. Zweite Auflage. Mit 68 Abbildungen. 108 Seiten. 1923. (Samml. Göschen Bd. 456) Geb. RM. 1,80

Es werden behandelt: offene, einfache und mehrfach geschlossene Leitungen; die Netzumgestaltung; mit Widerstand und Spannung zusammenhängende Fragen und die Auflösung linearer Gleichungen.

Hochspannungs-Freileitungen. Von Dr.-Ing. Kurt Draeger. Mit 84 Abb. 173 Seiten. 1930. (Samml. Göschen Bd. 1013) . . . Geb. RM. 1,80

Die elektrischen Kabel. Von Obergeringieur H. Heinzelmann. Mit 71 Abb. 133 Seiten. 1930. (Samml. Göschen Bd. 1019) . . . Geb. RM. 1,80

Schaltanlagen in elektrischen Betrieben. Von Prof. Dr. F. Niethammer. (Samml. Göschen Bd. 796, 797.)

I. Allgemeines. Schaltpläne. Einfache Schalttafeln. Zweite Auflage. Mit 46 Figuren. 67 Seiten. 1925 RM. Geb. 1,80

II. Schaltanlagen für hohe Spannungen und große Leistungen. Schaltkästen. Schutzvorrichtungen. Zweite Auflage. Mit 53 Figuren. 96 Seiten. 1927 Geb. RM. 1,80

Der erste Teil enthält Schaltpläne und allgemeine Richtlinien für den Schaltanlagenbau sowie einfache Schalttafel Ausführungen, der zweite größere Anlagen, Hochspannungsanlagen und eine Besprechung der Schutzvorrichtungen.

Elektrische Öfen. Von Prof. Dr. Ing. Osw. Meyer. Mit 83 Abbildungen. 133 Seiten. 1922. (Samml. Göschen Bd. 704) . . . Geb. RM. 1,80

Außer den physikalischen Grundlagen werden die Grundformen der elektrischen Öfen und ihre Anwendung in Industrie und Haushalt behandelt.

Luftsälpeter. Seine Gewinnung durch den elektrischen Flammenbogen. Von Professor Dr. G. Brion. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 51 Figuren. 127 Seiten. 1921. (Samml. Göschen Bd. 616) . . . Geb. RM. 1,80

Elektrizität im Hause. Von Prof. Dr. F. Niethammer. Mit 104 Figuren. 140 Seiten. 1929. (Samml. Göschen Bd. 1006) . . . Geb. RM. 1,80

Der Verfasser bespricht in möglichst allgemeinverständlich und doch technisch einwandfreier Weise das große Gebiet der elektrischen Haushaltungsgeräte, wie Beleuchtung, Wärmeapparate zum Kochen und Heizen, Kältemaschinen usw.

Elektrizität im Bergbau. Bearbeitet von Obergeringieur J. Bäumer, Obergeringieur C. Hahn, Ingenieur H. Kreisler, Obergeringieur A. Passauer, Professor Dr. W. Philippi, Obergeringieur K. Schade, Obergeringieur L. Steiner und der Literarischen Abteilung der Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk. Mit 335 Abbildungen und 3 Tafeln. XII, 390 Seiten. 1926. (Siemens-Handbücher Bd. XIII) Geb. RM. 11,50

„Das Handbuch, an dem erprobte Ingenieure mitgearbeitet haben, ist ein Nachschlagewerk und eine Informationsquelle ersten Ranges, und für seinen wissenschaftlichen Wert bürgt der Name des Bearbeiters, Professor Dr. Philippi, der auch einige wesentliche Abschnitte des Werkes verfaßt hat.“ Bergfreiheit.

Elektrizität in der Landwirtschaft. Bearbeitet von C. Buschkiel †. Mit 185 Abbildungen. XII, 171 Seiten. 1927. (Siemens-Handbücher Bd. XII) Geb. RM. 5,40

Über dieses Buch, „das seine Aufgabe glänzend gelöst hat“, sagt die „Elektroindustrie“ folgendes: „Für eine schnelle Orientierung über die heute schon weit gediehene Anwendung der Elektrizität in der Landwirtschaft kann die von vielen guten Reproduktionen begleitete Arbeit bestens empfohlen werden.“

Die Akkumulatoren für Elektrizität. Von Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 56 Figuren. 122 Seiten. 1922. (Samml. Göschen Bd. 620) Geb. RM. 1,80

Der Verfasser gibt eine Übersicht über Begriff, Wirkung, Leistungsfähigkeit, Konstruktion und Verwendung der Akkumulatoren. Dem Edisonschen Leichtakkumulator ist ein besonderer Abschnitt gewidmet.

Tragbare Akkumulatoren. Bau, Wirkungsweise, Behandlung, Anwendung und Ladeeinrichtungen. Von Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Mit 61 Abbildungen. 135 Seiten. 1926. (Samml. Göschen Bd. 919.) Geb. RM. 1.80

Elektrische Installation für Licht und Kraft. (Siemens-Handbuch.) Bearbeitet von Dipl.-Ing. P. Stern, Oberingenieur der Siemens-Schuckertwerke. Herausgegeben vom Literarischen Büro der Siemens-Schuckertwerke. Mit 365 Abbildungen und 50 Zahlentafeln. Oktav. XVI, 224 Seiten. 1922 Geb. RM. 4.—

Der Band unterrichtet über Glühlichtbeleuchtung und ihre Verwendung, über Elektromotoren und über Installationen in Wohn- und Geschäftshäusern, gewerblichen und landwirtschaftlichen Betrieben.

Die Technik der elektrischen Installation. Von Oberingenieur Friedrich Schoof. Mit 144 Abbildungen auf 25 Tafeln. 1930. (Samml. Göschen Bd. 1023) Geb. RM. 1.80

Elektrizitätswirtschaft. Von Dr.-Ing. R. Fischer. Mit 54 Figuren und 8 Tafeln. 148 Seiten. 1928. (Samml. Göschen Bd. 995) Geb. RM. 1.80

Der Band unterrichtet über die technisch-wirtschaftlichen Grundlagen und die Organisation der Elektrizitätswirtschaft, bringt Zahlenmaterial über Stromerzeugung, -verteilung und -verwertung und behandelt Tariffragen.

Tarife für den Verkauf elektrischer Arbeit. Von Dip.-Ing. Paul Munk. Mit 28 Abbildungen. 97 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 969) Geb. RM. 1.80

Der für Studierende und Großstromverbraucher bestimmte Band behandelt Gesteungskosten, die verschiedenen Tarife, Kohlenklauseln, Stromlieferungsverträge, Zählermessungen und Tarifpolitik.

DIE ELEKTRISCHE MESSTECHNIK

Elektrische Messungen. Von Werner Skirl, Oberingenieur. Mit 431 Bildern. XIV, 455 S. 1928. (Siemens-Handbücher Bd. VI) Geb. RM. 11.—

Das vorliegende Buch ist für alle bestimmt, die mit elektrischen Messungen zu tun haben: dem weitesten Kreise der Ingenieure und Techniker soll in möglichst leichtverständlicher Form alles Wissenswerte gegeben werden. Der Inhalt des Buches ist nach den Anforderungen der Praxis gegliedert.

Die elektrischen Meßinstrumente. Von Professor I. Herrmann. Mit 167 Fig. 159 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 477) . . . Geb. RM. 1.80

Beschrieben werden Weicheisen- und Drehspulenzinstrumente, Nadelgalvanometer, Elektrodynamometer, Induktionsinstrumente, elektrostatische Instrumente, Hitzdrahtinstrumente, elektrolytische, Zeiger- und registrierende Instrumente, Elektrizitätszähler u. dgl.

Die elektrische Meßtechnik I: Die elektrischen Meßmethoden im allgemeinen. Von Professor I. Herrmann. Mit 85 Figuren im Text und 16 Tafeln. 124 Seiten. Zweite, neubearbeitete Auflage. 1931. (Samml. Göschen Bd. 885) Geb. RM. 1.80

Aus dem Inhalt: Messungen mit Zeigerinstrumenten. Messungen mit Spiegelinstrumenten. Die Nullmethoden. Die Vergleichsmessungen nach Ausschlagmethoden. Hilfsmittel.

Die elektrische Meßtechnik II: Die Messungen an elektrischen Maschinen, Transformatoren und Gleichrichtern. Von Prof. Dr. G. Brion. Mit 96 Abb. 121 Seiten. 1929. (Samml. Göschen Bd. 886) Geb. RM. 1.80

Empfindliche Galvanometer für Gleich- und Wechselstrom. Von Dr. Otto Werner. Mit 23 Abbildungen und 17 Tabellen. Groß-Oktav. VIII, 208 Seiten. 1928 RM. 13.—, geb. RM. 14.—

Der Verfasser erörtert Aufbau, Arbeitsweise und Empfindlichkeitsarten der Galvanometerkonstruktionen sowohl für Gleich- als auch für Wechselstrom und gibt Gesichtspunkte für die Galvanometerauswahl und kritische Vergleiche der Galvanometertypen.

TELEGRAPHIE UND TELEPHONIE

Elektrische Telegraphie mit Drahtleitung. Von Prof. I. Herrmann. (Samml. Göschen Bd. 172, 975.)

- I. Die Telegraphie mit Morsezeichen. Mit 124 Figuren. 134 Seiten.
1926 Geb. RM. 1.80
- II. Die Typendrucktelegraphen. Mit 76 Figuren. 16 Tafeln. 125 Seiten.
1927 Geb. RM. 1.80

Die mit zahlreichen Figuren und Abbildungen ausgestatteten Bände sind nicht nur für den Ingenieur und Telegraphenbeamten, sondern auch für den Nichtfachmann ein gutes Hilfsmittel.

Das Fernsprechen. I. Grundlagen und Einzelapparate der Fernsprechtechnik. Von Dipl.-Ing. W. Winkelmann. Zweite Auflage. Mit 65 Abb. 123 Seiten. 1925. (Samml. Göschen Bd. 155) . . . Geb. RM. 1.80

II. Fernsprechanlagen für Handbetrieb von Ober-Postinspektor H. Schmidt. Mit 78 Figuren. 123 Seiten. 1930. (Samml. Göschen Bd. 773.)
Geb. RM. 1.80

III. Fernsprechanlagen für Selbstanschluß. Von Ober-Postinspektor H. Schmidt. Mit 73 Figuren. 139 Seiten. 1931. (Samml. Göschen Bd. 1043.) Geb. RM. 1.80

Im 1. Band behandelt der Verfasser die Einzelteile der Fernsprechanlagen, wichtige Sicherungen gegen zu starke Ströme, Blitzschläge usw. Im 2. Teil werden die verschiedenen Ausführungsweisen der Fernsprechanlagen besprochen. Der 3. Teil behandelt die Selbstanschlußanlagen.

Das elektrische Fernmeldewesen bei den Eisenbahnen. Von Geh. Baurat K. Fink. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 54 Abbildungen. 135 Seiten. 1926. (Samml. Göschen Bd. 707) Geb. RM. 1.80

Der Band behandelt Bahntelegraphen, Zugmeldungen und Läutesignale, Erdleitungen, Fernsprecher sowie Läutewerke, Kassensicherungen, Gleiskontakte, Fahrgeschwindigkeitsüberwacher usw.

Bildtelegraphie. Von Professor Dr. Artur Korn. Mit 41 Figuren und 8 Tafeln. 146 Seiten. 1923. (Samml. Göschen Bd. 873) Geb. RM. 1.80

Inhalt: Die Kopiertelegraphen. — Die Fernschreiber. — Die teleautographische Übertragung von Photographien. — Die Phototelegraphie. — Die Methode der Zwischenklischees. — Drahtlose Bildtelegraphie. — Das Problem des elektrischen Fernsehens.

RADIOTECHNIK

Radiotechnik. I. Allgemeine Einführung. Von Professor I. Herrmann. Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 75 Figuren und 16 Tafeln. 144 S. 1929. (Samml. Göschen Bd. 888) Geb. RM. 1.80

Der Verfasser gibt in drei Abschnitten: „Die elektrischen Schwingungen und elektromagnetischen Wellen“, „Die Glühkathodenröhre“ und „Der drahtlose Verkehr“ einen Gesamtüberblick über das Gebiet.

II. Wellentheorie. Von Dr. Werner Bloch. Mit 80 Abbildungen. 124 S. 1926. (Samml. Göschen Bd. 946) Geb. RM. 1.80

Nach den physikalisch-technischen Problemen der Wellentelephonie wird die freie Wellentelephonie, insbesondere der Rundfunk, und dann die leitungsgerichtete Hochfrequenztelephonie ohne mathematisches Beiwerk behandelt.

III. Die Empfänger, unter besonderer Berücksichtigung der Rundfunkempfangsschaltungen. Von Dipl.-Ing. Hermann Saacke. Mit 82 Abb. 114 Seiten. 1926. (Samml. Göschen Bd. 951) . . . Geb. RM. 1.80

Der Band teilt alles Wesentliche mit über Detektor, Röhre, Zubehör, Rundfunkempfangsschaltungen sowie Telegraphieempfang.

IV. Stromquellen für Röhrenempfangsgeräte, Galvanische Elemente, Akkumulatoren und Netzanschlußgeräte. Von Dr.-Ing. Richard Albrecht. Mit 61 Abb. 108 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 966) Geb. RM. 1.80

Aus dem Inhalt: Galvanische Elemente, Akkumulatoren, Ladeeinrichtungen für Heizakkumulatoren und Anodenbatterien, Netzanschlußgeräte für Gleich- und Wechselstrom.

V. Die Elektronen-Röhre. Von Dipl.-Ing. Otto Stürner. Mit 88 Figuren und 35 Abbildungen auf 16 Tafeln. 124 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 974) Geb. RM. 1.80

Eine Darstellung und Erläuterung der Vakuumphysik, der Grundgesetze in der Hoch- und Niederfrequenztechnik, der fabrikmäßige Werdegang der Empfangsröhren sowie verschiedene Röhrenformen.

VI. Die elektrischen Wellen. Von Prof. Dr. F. Kiebitz. Mit 28 Figuren. 125 Seiten. 1929. (Samml. Göschen Bd. 1010) . . . Geb. RM. 1.80

VII. Die Sender. Von Oberingenieur Georg Jahn. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und auf Tafeln. 1930. (Samml. Göschen Bd. 1018) Geb. RM. 1.80

FÜR DEN ELEKTROTECHNIKER WERTVOLLE WERKE AUS ANDEREN GEBIETEN

Geschichte der Mathematik. Von Oberstud.-Dir. Prof. Dr. H. Wieleitner. 2 Bände. (Samml. Göschen Bd. 226, 875.)

I. Von den ältesten Zeiten bis zur Wende des 17. Jahrhunderts. 136 Seiten. 1922 Geb. RM. 1.80

II. Von 1700 bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts. 154 Seiten. 1923. Geb. RM. 1.80

„Zum erstenmal ist hier in deutscher Sprache eine zusammenhängende Darstellung dieses wichtigen Zeitabschnitts der Geschichte der Mathematik versucht worden. Trotz des engen Raumes ist sie durchaus lesbar und keineswegs eine bloße Aufzählung.“
Deutsches Philologen-Blatt.

Geschichte der Mathematik. I. Teil: Von den ältesten Zeiten bis Cartesius.

Von Professor Dr. S. Günther in München. Mit 56 Figuren. VIII, 428 Seiten. Neudruck 1927. (Samml. Schubert Bd. 18) Geb. RM. 17.40

II. Teil: Von Cartesius bis zur Wende des 18. Jahrhunderts. Von Oberstudiendirektor Dr. H. Wieleitner in München. 1. Hälfte: Arithmetik, Algebra, Analysis. Mit 6 Fig. VIII, 251 Seiten. 1911. (Samml. Schubert Bd. 63) Geb. RM. 8.40. 2. Hälfte: Geometrie und Trigonometrie. Mit 13 Fig. VI, 222 Seiten. 1921. (Samml. Schubert Bd. 64) Geb. RM. 3.50

„Es zeigt sich auch in diesem Buche wieder die große Meisterschaft des Verfassers in der zielbewußten Auswahl und klaren, anregenden Darstellung eines großen Stoffes, die auch seine anderen größeren Kompendien auszeichnet.“

Monatshefte für Mathematik und Physik.

Geschichte der Elementar-Mathematik in systematischer Darstellung. Von Professor Dr. Johannes Tropfke, Direktor der Kirschner-Oberrealschule zu Berlin. Lex.-Oktav.

Band 1: Rechnen. VII, 222 S. 3. Aufl., 1930. RM. 12.—, geb. RM. 13.20.

Band 2: Allgemeine Arithmetik. IV, 221 Seiten. 2. Aufl. 1921. RM. 8.50, geb. RM. 9.50. Band 3: Proportionen, Gleichungen. IV, 151 Seiten.

2. Aufl. 1922. RM. 6.—, geb. RM. 7.—. Band 4: Ebene Geometrie. IV, 240 Seiten. 2. Aufl. 1922. RM. 9.—, geb. RM. 10.—. Band 5: I. Ebene

Trigonometrie. II. Sphärik und sphärische Trigonometrie. IV, 185 Seiten. 2. Aufl. 1923. RM. 7.50, geb. RM. 8.50. Band 6: Analysis, Analytische

Geometrie. IV, 169 Seiten. 2. Aufl. 1924. RM. 7.—, geb. RM. 8.—. Band 7: Stereometrie, Verzeichnisse. V, 128 Seiten. 2. Aufl. 1924,

RM. 6.50, geb. RM. 7.50.

„Dem Verfasser gebührt unser Dank für sein die neuesten Ergebnisse historischer Forschungen berücksichtigendes, durch Vollständigkeit und Klarheit sich auszeichnendes Werk. Es verdient seinen Platz im Bücherschrank eines jeden Mathematikers.“
Naturwissenschaften.

Logarithmische Rechentafeln für Chemiker, Pharmazeuten, Mediziner und Physiker. Begründet von Dr. F. W. Küster. Für den Gebrauch im Unterrichtslaboratorium und in der Praxis berechnet sowie mit Erläuterungen versehen. Bearbeitet von Dr. A. Thiel, o. ö. Professor. 35. bis 40., verbesserte und vermehrte Auflage. Oktav. 148 Seiten und 1 Tafel. 1929 Geb. RM. 7.50

Lehrbuch der Mathematik für Studierende der Naturwissenschaften und der Technik. Eine Einführung in die Differential- und Integralrechnung und in die analytische Geometrie. Von Dr. Georg Scheffers, Geh. Regierungsrat, Prof. an der Techn. Hochschule Charlottenburg. Mit 438 Figuren. Sechste, verbesserte Auflage. Lexikon-Oktav. VIII, 743 Seiten. 1925 RM. 30.—, geb. RM. 33.—

Dieses vor allem für Studierende der Naturwissenschaften und der Technik geschriebene Lehrbuch ist in erster Linie für den Selbstunterricht bestimmt und geht daher von dem denkbar geringsten Maß von Vorkenntnissen aus: der Leser braucht nur im Buchstabenrechnen, in der Auflösung von Gleichungen ersten Grades mit einer Unbekannten und in der niederen Geometrie bewandert zu sein

Lehrbuch der darstellenden Geometrie. Von Dr. Karl Rohn, Geh. Rat, weiland Professor an der Universität Leipzig, und Dr. Erwin Papperitz, Geh. Rat, Professor an der Bergakademie in Freiberg i. Sa. Drei Bände, Groß-Oktav.

- I. Orthogonalprojektion. Vielfache Perspektivität ebener Figuren, Kurven, Zylinder, Kugel, Rotations- und Schraubenflächen. Vierte, erweiterte Auflage. XX, 502 Seiten. Mit 351 Figuren. 1913. Anastatischer Nachdruck. 1921 . . . RM. 16.50, geb. RM. 18.—
- II. Axonometrie, Perspektive, Beleuchtung. Vierte, umgearbeitete Auflage. VI, 194 Seiten mit 118 Fig. 1916. RM. 6.20, geb. RM. 7.20
- III. Kegelschnitte, Flächen zweiten Grades, Regel-, abwickelbare und andere Flächen. Flächenkrümmung. Vierte, umgearbeitete Auflage. X, 334 Seiten. Mit 157 Figuren. Anastatischer Nachdruck. 1923 RM. 10.80, geb. RM. 12.—

Darstellende Geometrie. Von Theodor Schmid, o. ö. Professor an der Technischen Hochschule in Wien. I. Teil: Eckige Körper, Kugel, Zylinder, Kegel, Plankurven und Raumkurven mit den zugehörigen Torsen im Normalrißverfahren und in orthogonaler Axonometrie. Dritte Auflage. Mit 170 Figuren. 283 Seiten. 1922. (Samml. Schubert Bd. 65) Geb. RM. 6.—

II. Teil: Schiefe und zentrale Projektion. Dreh-, Rohr-, Schrauben- und Regelflächen. Geländedarstellung, Kartenprojektion, Nomographie. Zweite Auflage. Mit 163 Figuren. 340 Seiten. 1923. (Samml. Schubert Bd. 66) Geb. RM. 7.50

„Unter den zahlreichen guten Lehrbüchern der darstellenden Geometrie steht das vorliegende mit in erster Reihe. Ausgezeichnete Figuren, klare Darstellung, reicher Inhalt sind seine besonderen Kennzeichen.“

Unterrichtsblätter f. Mathem. u. Naturw.

Darstellende Geometrie. Von Prof. Dr. Robert Haußner. 3 Bände. (Samml. Göschen Bd. 142—144.)

- I. Elemente; Ebenflächige Gebilde. Vierte, verbesserte Aufl. Mit 110 Fig. 207 S. 1929. Geb. RM. 1.80
- II. Perspektive ebener Gebilde; Kegelschnitte. Dritte, verbesserte Aufl. Mit 88 Fig. 168 S. 1929. Geb. RM. 1.80
- III. Zylinder, Kegel, Kugel, Rotations- und Schraubenflächen, Schattenkonstruktionen, Axonometrie. Von Dr. Robert Haußner, o. ö. Prof.

der Mathematik an der Universität Jena, und Dr. Wolfgang Haack, Privatdozent für Mathematik an der Techn. Hochschule Danzig-Langfuhr. Mit 65 Figuren im Text. 144 Seiten. 1931. Geb. RM. 1.80

Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik. Von Professor Dr. M. Pirani. Zweite, verbesserte Auflage, besorgt durch Dr. J. Runge. Mit 71 Abbildungen. 149 Seiten. 1931. (Samml. Göschen Bd. 728.) Geb. RM. 1.80

Von der einfachen Darstellung von Größen mit unbekanntem Zusammenhang in Form von Kurven oder Skalen ausgehend, geht der Verfasser zur Darstellung von Größen bekannter Abhängigkeit (Funktionsskalen, insbesondere logarithmische projektive Teilung) über und bespricht dann die Aufstellung von Rechentafeln namentlich mit der Methode der fluchtrechten Punkte oder mit Hilfe mehrerer gekreuzter Linien.

Wahrscheinlichkeitsrechnung. Von Professor Dr. O. Knopf. 2 Bände. (Samml. Göschen Bd. 508, 871.)

I. 112 Seiten. 1923 Geb. RM. 1.80

II. Mit 10 Figuren. 112 Seiten. 1923 Geb. RM. 1.80

Gewöhnliche Differentialgleichungen. Von Professor Dr. G. Hoheisel. Zweite, verbesserte Auflage. 159 Seiten. 1930. (Samml. Göschen Bd. 920) Geb. RM. 1.80

Der Band beginnt mit einer elementar gehaltenen Einführung in die Theorie der gewöhnlichen Differentialgleichungen, geht aber in den späteren Teilen über die Anfangsgründe hinaus. Bei der Auswahl des Stoffes wurden Gegenstände, welche Anwendungen zulassen, bevorzugt.

Gewöhnliche Differentialgleichungen. Von Dr. J. Horn, o. Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt. Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. Mit 4 Figuren. VIII, 197 Seiten. 1927. (Göschens Lehrbücherei Bd. 10) RM. 9.—, geb. RM. 10.50

Inhalt: Elementare Integrationsmethoden, Existenzbeweise, Methode der schrittweisen Annäherung, numerische und graphische Näherungsmethoden, lineare Differentialgleichungen, elementare Integrationsmethoden und weitere Untersuchungen im reellen Gebiet, Existenzbeweise im komplexen Gebiet, Abhängigkeit der Lösungen von Parametern und Anfangswerten, Singularitäten nichtlinearer Differentialgleichungen.

Einführung in die theoretische Physik. Von Dr. Clemens Schaefer, Professor an der Universität Breslau.

I. Band. Mechanik materieller Punkte, Mechanik starrer Körper, Mechanik der Kontinua (Elastizität und Hydromechanik). Mit 272 Figuren im Text. Dritte, verbesserte und vermehrte Auflage. Groß-Oktav. XII, 991 Seiten. 1929. RM. 45.—, geb. RM. 48.—

II. Band. Theorie der Wärme. Molekular-kinetische Theorie der Materie. Mit 88 Fig. im Text. Zweite, verbesserte und vermehrte Aufl. 1929. Groß-Oktav. X, 660 Seiten . RM. 28.—, geb. RM. 30.—

III. Band. 1932. In Vorbereitung.

„Das vorliegende Werk füllt eine merkbare Lücke in der bisher vorliegenden Literatur über theoretische Physik aus. Was es von seinen Vorgängern unterscheidet, ist einmal die Verwendung aller modernen Methoden und zum zweiten die klare und ausführliche Darstellungsweise, welche auch das Studium schwieriger Kapitel zu einem Genuß macht.“ *Annalen der Physik.*

Einführung in die theoretische Physik, mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme. Von Dr. phil. Arthur Haas, a. o. Professor an der Universität Wien.

I. Band. Fünfte und sechste, völlig umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 67 Abbildungen im Text. Groß-Oktav. X, 396 Seiten. 1930 RM. 15.—, geb. RM. 16.50

II. Band. Fünfte und sechste, völlig umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 85 Abbildungen im Text und auf sechs Tafeln. Groß-Oktav. VIII, 448 Seiten. 1930 . . . RM. 17.—, geb. RM. 18.50

„Der Vorzug des Buches liegt zweifellos in dem Umstande, daß es dem Verfasser gelingt, den Leser unter Vermeidung jedes überflüssigen Wissensballastes bis an die Probleme der modernen theoretisch-physikalischen Forschung heranzuführen. Es gibt gewiß kein anderes Buch ähnlichen Umfanges, das den Studierenden gleichzeitig mit den Elementen der theoretischen Physik und mit den wichtigsten modernen Forschungsergebnissen, wie Röntgenspektroskopie, Kristallanalyse, Isotopenbestimmung usw., vertraut macht.“

Monatshefte für Mathem. u. Physik.

Lehrbuch der Physik. Nach Vorlesungen an der Technischen Hochschule zu München. Von H. Ebert, weil. Professor an der Technischen Hochschule München.

I. Band. Mechanik. Wärmelehre. Mit 168 Abbildungen. Zweite Auflage. Groß-Oktav. XX, 661 Seiten. 1917. Anastatischer Neudruck. 1920 Geb. RM. 21.50

II. Band, I. Teil. Die elektrischen Energieformen. Fertiggestellt und herausgegeben von Professor C. Heinke. Mit 341 Abbildungen im Text. Groß-Oktav. XX, 687 Seiten. 1920 . . RM. 22.—, geb. RM. 24.—

II. Band, II. Teil. Die strahlende Energie. Fertiggestellt und herausgegeben von Professor C. Heinke. Mit 196 Abbildungen im Text. Groß-Oktav. XII, 416 Seiten. 1923 RM. 15.—, geb. RM. 16.50

Das Lehrbuch ist nach Umfang und Stoffbehandlung für diejenigen Physikstudierenden bestimmt, denen die Anwendung bei der Lösung technischer Probleme Endzweck des Studiums ist.

Das Naturbild der neuen Physik. Von Professor Dr. A. Haas. Mit 8 Figuren im Text. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Groß-Oktav. V, 129 Seiten. 1932 RM. 5.—, geb. RM. 6.—

Vektoranalysis in ihren Grundzügen und wichtigen physikalischen Anwendungen. Von Professor Dr. Arthur Haas. Mit 37 Abbildungen im Text. Zweite, verbesserte Auflage. Groß-Oktav. VI, 147 Seiten. 1929 RM. 5.—, geb. RM. 6.—

Vektoranalysis. Von Professor Dr. S. Valentiner. Vierte, umgearbeitete Auflage. Mit 13 Figuren. 136 Seiten. 1929. (Samml. Göschen Bd. 354.) Geb. RM. 1.80

Experimentalphysik. Von Professor Robert Lang. (Samml. Göschen Bd. 611, 612, 613, 614) Geb. je RM. 1.80

I. Dritte Auflage. Mit 125 Figuren. 146 Seiten. 1926.

II. Zweite Auflage. Mit 69 Figuren. 96 Seiten. 1920.

III. Mit 55 Figuren. 98 Seiten. 1919.

IV. Mit 90 Figuren. 110 Seiten. 1925.

Physikalische Formelsammlung. Von Professor G. Mahler und Professor K. Mahler. Fünfte, umgearbeitete Auflage. Mit 71 Figuren. 162 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 136) Geb. RM. 1.80

Vorlesungen über Thermodynamik. Von Dr. Max Planck, Professor der theoretischen Physik an der Universität Berlin. Mit 5 Figuren im Text. Neunte Auflage. Groß-Oktav. X, 288 Seiten. 1930. Geb. RM. 11.50

Das vorliegende Buch geht von einigen allgemeinen Erfahrungstatsachen aus, namentlich von den beiden Hauptsätzen der Wärmelehre, und entwickelt hieraus die wichtigsten physikalischen und chemischen Sätze. Zunächst werden die Grundtatsachen und Begriffserklärungen für Temperatur, Molgewicht und Wärmemenge erläutert, dann die beiden Hauptsätze der Wärmetheorie aufgestellt und bewiesen, endlich die Anwendungen auf die besonderen Gleichgewichtszustände ausführlich besprochen.

Wilhelm von Siemens. Ein Lebensbild. Gedenkblätter zum 75 jährigen Bestehen des Hauses Siemens & Halske. Von August Rothh. Mit 5 Taf. in Lichtdruck. Oktav. V, 224 Seiten. 1922. RM. 2.60, geb. RM. 4.

Sammlung elektrochemischer Rechenaufgaben. Von Prof. Dr.-Ing. Gustav F. Hüttig. 102 Seiten. 1924. (Samml. Göschen Bd. 892) . RM. 1.80

Aus dem Inhalt: Übersicht über die wichtigsten Begriffe, Einheiten und Gleichungen, Rechenbeispiele, Auflösungen.

Kredit- und Bankwesen. Von Professor Dr. W. Lexis und Professor K. Muhs. Zweite Auflage. 148 Seiten. 1924. (Samml. Göschen Bd. 733) Geb. RM. 1.80

Bank- und Börsenrecht. Eine Sammlung von Gesetzen und Geschäftsbedingungen. Herausgegeben und eingeleitet von Dr. Arthur Nußbaum, Professor an der Universität Berlin. Taschenformat. XII, 622 Seiten. 1927. (Guttentagsche Sammlung Deutscher Reichsgesetze. Bd. 169.) Geb. RM. 11.—

Die vorliegende Sammlung der verstreuten bank- und börsenrechtlichen Vorschriften fehlte bisher in der kaufmännischen und juristischen Bankpraxis ebenso wie im handelsrechtlichen und betriebswirtschaftlichen Unterricht. Ihr Erscheinen wird daher vielseitig begrüßt werden. Die Sammlung berücksichtigt, wie selbstverständlich, nicht nur die Gesetze und Verordnungen, sondern auch die dem freien Verkehr entstammenden Rechtsbildungen.

Finanzierung der Unternehmungen. Von Professor Dr. Friedrich Leitner. 108 Seiten. 1927. (Samml. Göschen Bd. 963) . . . Geb. RM. 1.80

„Die Darstellung beschränkt sich auf das Grundsätzliche der Finanzierungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der neuzeitlichen Verhältnisse. In dem Abschnitt über die Geldmittelbeschaffung bei den Unternehmungsformen werden englische und nordamerikanische Methoden vergleichsweise herangezogen.“

Badische Wirtschaftszeitung.

Wirtschaftslehre der Unternehmung. Von Professor Dr. Fr. Leitner. Fünfte Auflage der „Privatwirtschaftslehre der Unternehmung“. Groß-Oktav. VIII, 375 Seiten. 1926 RM. 12.—, geb. RM. 13.50

„Der Verfasser gibt in überaus klarer und übersichtlicher Weise eine gute Einführung in die Privatwirtschaftslehre der kaufmännischen Unternehmungen. Wir können die Anschaffung durchaus empfehlen.“

Badische Wirtschaftszeitung.

Neue Wege wirtschaftlicher Betriebsführung. Von Dr. Alexander Hellwig, Diplom-Kaufmann, und Frank Mäckbach, Diplom-Ingenieur. Oktav. 150 Seiten. 1928 Geb. RM. 6.—

Die Verfasser haben gemeinsam in 70 Groß- und Mittelbetrieben der verschiedensten Wirtschaftszweige eingehende Studien und Betriebsuntersuchungen angestellt und kommen auf Grund des hierbei gewonnenen Materials zu einer umfassenden Darstellung der organischen Betriebs- und Wirtschaftsführung.

Allgemeine Betriebswirtschaftslehre der Unternehmung. Von Professor Dr. Konrad Mellerowicz. 179 Seiten. 1929. (Sammlung Göschen Bd. 1008) Geb. RM. 1.80

1. Begriff und Gliederung der Betriebswirtschaftslehre. 2. Betriebliche Wirtschafts- und Konzentrationsformen. 3. Die betrieblichen Produktionsfaktoren. 4. Die betriebliche Wertung. 5. Absatz. 6. Ertrag.

Die Industriebelastungsgesetze vom 30. August 1924 nebst den Durchführungbestimmungen zum Gesetz über die Industriebelastung. Erläutert von Dr. jur. rer. pol. Heinrich Hoepker, Oberregierungsrat. Taschenformat. XV, 200 Seiten. 1925. (Guttentagsche Sammlung Deutscher Reichsgesetze Bd. 159) Geb. RM. 4.—

„Die Anmerkungen sind erschöpfend und führen den Leser mit Geschick in die schwierige und neue Materie ein. Rechtsanwälte sowie Kaufleute, für welche die Industriebelastung in Frage kommt, werden das mit einem guten Sachregister ausgestattete Werk mit gleichem Nutzen gebrauchen!“

Industrie- und Handels-Zeitung.

Urheber- und Erfinderrecht, Warenzeichen- und Wettbewerbsrecht (Gewerblicher Rechtsschutz). Von Dr. jur. Alexander Elster in Berlin. Oktav. Zweite, neubearbeitete und stark erweiterte Aufl. 1928. (Lehrbücher und Grundrisse der Rechtswissenschaft Bd. VIII) RM. 18.—, geb. RM. 19.50
„Man merkt aus jedem Satz, welch reicher Schatz eigener praktischer Erfahrungen dem Verfasser zu Gebote steht.“ *Markenschutz und Wettbewerb.*

Das deutsche Erfinderrecht. (Patent- und Musterschutzrecht.) Von Dr. jur. Alexander Elster in Berlin. 118 Seiten. 1924. (Sammlung Götschen Bd. 891) Geb. RM. 1.80
„Die Aufgabe, einen Überblick über das deutsche Erfinderrecht zu geben, ist im Rahmen der kurzen Erörterungen mit viel Geschick gelöst. Deshalb wird das Büchlein auch bei allen Gruppen der am Patentrecht Interessierten seine Freunde finden.“ *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht.*

Gesetz, betreffend das Urheberrecht an Mustern und Modellen, und Gesetz, betreffend den Schutz von Gebrauchsmustern nebst den zu beiden Gesetzen ergangenen Ausführungsverordnungen und abgeschlossenen internationalen Verträgen. Textausgabe mit Einleitung, Anmerkungen und Sachregister von Regierungsrat Johannes Neuberg, Mitglied des Patentamts. Taschenformat. 192 Seiten. 1911. (Gutten-tagsche Sammlung Deutscher Reichsgesetze Bd. 102) Geb. RM. 2.40
„Durch die sorgfältige Berücksichtigung der Auslegungsmaterialien, der Literatur und Rechtsprechung ist eine auch für die geschäftliche Praxis sehr brauchbare Bearbeitung mit kurzen, aber inhaltsreichen Bemerkungen entstanden.“ *Mitteilungen der Handelskammer Breslau.*

Patentgesetz, nebst Ausführungsbestimmungen, völkerrechtlichen Verträgen und Patentanwaltsgesetz, unter eingehender Berücksichtigung der Rechtsprechung des Reichsgerichts und der Praxis des Reichspatentamts. Von R. Lutter, Geh. Regierungsrat im Reichspatentamt. Neunte Auflage. Taschenformat. XV, 467 Seiten. 1928. (Gutten-tagsche Sammlung Deutscher Reichsgesetze Bd. 22) Geb. RM. 10.—
„Der jetzige Verfasser hat einen völlig neuen Kommentar geschaffen, der an wissenschaftlicher Durcharbeitung und Gründlichkeit die vorangegangenen Auflagen weit überragt. Die jetzt vorliegende Auflage zeichnet sich durch Reichhaltigkeit, Genauigkeit und Klarheit aus.“

Das Patentgesetz. Kommentar unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen und weiter beantragten Abänderungen des Gesetzes. Von Eduard Pietzcker, Reichsgerichtsrat I. R. Erster Halbband §§ 1—12. Groß-Oktav. 432 Seiten. 1929 RM. 26.—, geb. RM. 28.— (Gewerbe- und Industrie-Kommentar Bd. V.)

Das vorliegende Werk sucht den Inhalt der Rechtsbestände scharf herauszuarbeiten, gegen Nachbargebiete abzugrenzen und vor allem die Tatbestände, die von den Rechtsregeln erfaßt werden sollen, klarzustellen. Gerade für das Patentrecht ist dies letztere von besonderer Wichtigkeit, da Recht und Technik überall ineinandergreifen. Dazu ist die gesamte Rechtsprechung des Reichsgerichts aus den letzten 25 Jahren vollständig verarbeitet worden.

Warenzeichenrecht. Kommentar von Dr. Alfred Hagens, Senatspräsident am Reichsgericht. Groß-Oktav. VIII, 408 Seiten. 1927. (Gewerbe- und Industrie-Kommentar [G.I.K.], Bd. III) . RM. 22.—, geb. RM. 24.—
„Der Kommentar hat alle Aussicht, ein führender, wo nicht der führende Kommentar für das Warenzeichenrecht zu werden.“
Senatspräsident Dr. Degen im Archiv für Rechtspflege.

Gesetz zum Schutz der Warenbezeichnungen. Erläutert von Dr. Arnold Seligsohn, Justizrat, Rechtsanwalt und Notar in Berlin. Dritte Auflage, bearbeitet in Gemeinschaft mit Justizrat Martin Seligsohn in Berlin. Groß-Oktav. IV, 416 Seiten. 1925 . . . RM. 15.—, geb. RM. 16.50
„Der Kommentar zeigt volle theoretische und praktische Beherrschung des Stoffes, klare Darstellungsgabe, sorgsame Behandlung und treffsicheres Urteil.“
Badische Rechtspraxis.

Das deutsche Warenzeichenrecht. Von Freund und Magnus. Sechste, neu bearbeitete Auflage, erläutert von Dr. Friedrich Jüngel, Geh. Regierungsrat, und Dr. Julius Magnus, Justizrat. Taschenformat. Teil I: Die internationalen Verträge. Mit 4 Taf. VI, 247 S. 1924. Geb. RM. 9.— Teil II: In Bearbeitung. (Guttentagsche Sammlung Deutscher Reichsgesetze Bd. 87 a/b.)

„Das ganze Werk mit seiner Fülle von Gesetzen, Verordnungen, Verträgen, Bekanntmachungen bildet eine Quellensammlung für das internationale deutsche Zeichenrecht, ohne die man fortan nicht mehr auskommen kann.“

Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht.

Gesetz gegen den unlauteren Wettbewerb. Von Justizrat Dr. h. c. A. Pinner und Dr. A. Elster. Achte, sehr vermehrte und umgestaltete Auflage von Dr. Alexander Elster. Taschenformat. 254 Seiten. 1927. (Guttentagsche Sammlung Deutscher Reichsgesetze Bd. 37) . Geb. RM. 5.—

„Das Buch ist mehr als eine bloße „Textausgabe mit Anmerkungen“, nämlich ein richtiger Kommentar und wird in der Praxis ausgezeichnete Dienste tun.“

*Senatspräsident am Reichsgericht Dr. Lobe, Leipzig,
i. d. Juristischen Wochenschrift.*

Staub's Kommentar zum Handelsgesetzbuch. Zwölfte und dreizehnte Auflage. Bearbeitet von Heinrich Koenige, Senatspräsident am Reichsgericht in Leipzig, Dr. h. c. Albert Pinner, Justizrat in Berlin, Dr. Felix Bondi, Geh. Justizrat in Dresden. Vier Bände und Registerband. Groß-Oktav. Zusammen 3970 Seiten. 1926/27.

RM. 157.—, in Halbleder RM. 183.60

„Der Staub'sche Kommentar ist das klassische Hilfswerk zum deutschen Handelsgesetzbuch und für die Beurteilung der zahlreichen schwierigen Fragen dieses Gesetzes maßgebend geworden; er stellt ein unentbehrlicher Mittel zur Erfassung und zur Anwendung des Gesetzes dar.“

Frankfurter Zeitung.

Handelsgesetzbuch (ohne Seerecht). Mit den ergänzenden Vorschriften des Bürgerlichen Gesetzbuches und einem Anhang, enthaltend das Einführungsgesetz, das Depotgesetz, die Bestimmungen über Börsentermin- und Differenzgeschäfte u. a. Nebst Erläuterungen. Im Anschluß an die Textausgabe von F. Litthauer. Von Dr. Albert Mosse, weil. Geh. Justizrat, Oberlandesgerichtsrat a. D. und ord. Honorarprofessor. Neubearbeitet von Dr. Ernst Heymann, Geh. Justizrat, ord. Professor an der Universität Berlin. Siebzehnte Auflage. Unter Mitwirkung von Dr. Karl August Crisolti in Berlin. Oktav. VIII, 693 Seiten. 1926. (Guttentagsche Sammlung Deutscher Reichsgesetze Bd. 4) Geb. RM. 14.—

„Der Mosse-Heymann gehört zur deutschen Handelspflege. Das abgegriffene und oft mißbrauchte Wort: ‚Es gibt kaum einen deutschen Juristen, auf dessen Schreibtisch er fehlt‘, wird an ihm zur Wahrheit. Wie nach Litthauers Tode Mosse, so ist jetzt nach dem Tode Mosses Heymann in die Bresche getreten und hat das Werk — ein wahrlich hohes Lob gerade bei diesem Buch — auf der Höhe seiner Vorgänger gehalten.“

Juristische Wochenschrift.

Bürgerliches Gesetzbuch nebst Einführungsgesetz vom 18. August 1896 mit Berücksichtigung der bis zum 1. Januar 1928 ergangenen Abänderungen. Textausgabe mit ausführlichem Sachregister. Sechzehnte Auflage. (61. bis 66. Tausend.) Taschenformat. 758 Seiten. 1928. (Guttentagsche Sammlung von Textausgaben ohne Anmerkungen mit Sachregister.)

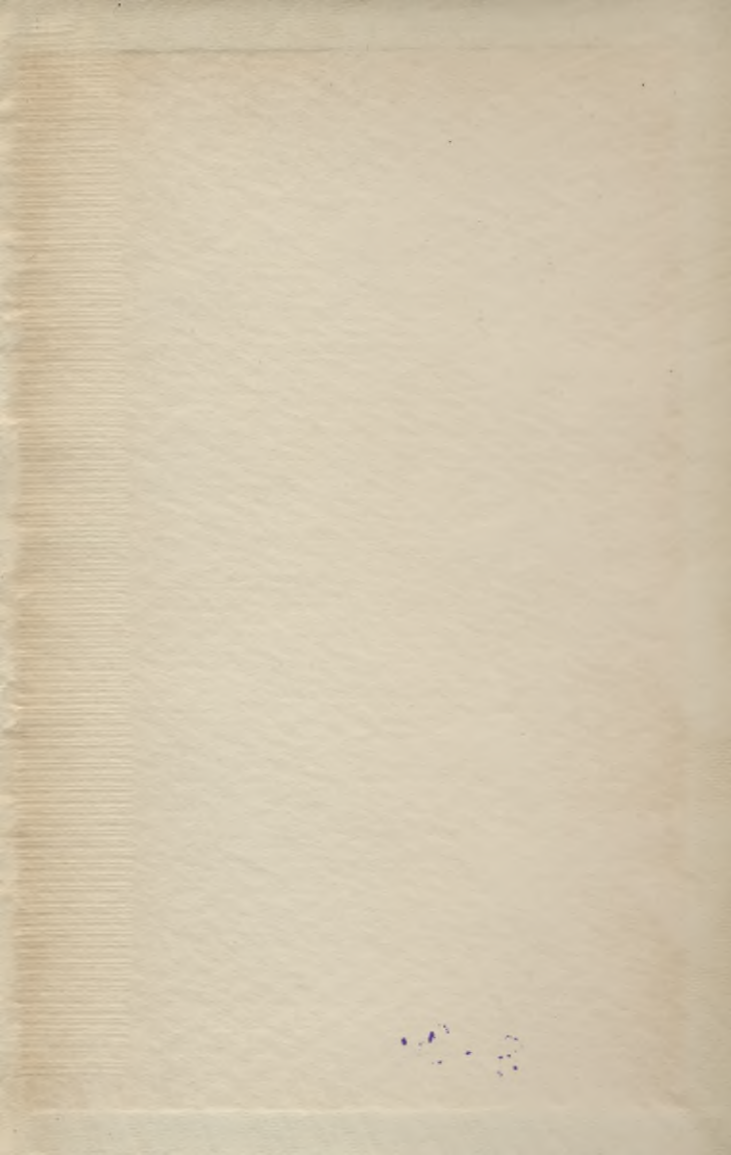
In Leinen geb. RM. 5.—

Die vorliegende Ausgabe zeichnet sich durch Vollständigkeit und besondere Ausführlichkeit des Sachregisters aus.

**VERLAG VON WALTER DE GRUYTER & CO.
IN BERLIN W 10 UND LEIPZIG**

2,00

S-96



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301368



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298062