Sammlung Göschen

Die Akkumulatoren für Elektrizität

Von

Dr.-Ing. Richard Albrecht

Mit 56 Figuren

620

Sammlung Göschen

Unser heutiges Wissen in kurzen, klaren, allgemeinverständlichen Einzeldarstellungen

Vereinigung wissenschaftlicher Verleger
Walter de Gruyter & Co.
vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung / J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung / Georg Reimer / Karl J. Trübner / Veit & Comp.
Berlin W. 10 und Leipzig

Zweck und Ziel der „Sammlung Göschen" ist, in Einzeldarstellungen eine klare, leichtverständliche und übersichtliche Einführung in sämtliche Gebiete der Wissenschaft und Technik zu geben; in engem Rahmen, auf streng wissenschaftlicher Grundlage und unter Berücksichtigung des neuesten Standes der Forschung bearbeitet, soll jedes Bändchen zuverlässige Belehrung bieten. Jedes einzelne Gebiet ist in sich geschlossen dargestellt, aber dennoch stehen alle Bändchen in innerem Zusammenhange miteinander, so daß das Ganze, wenn es vollendet vorliegt, eine einheitliche, systematische Darstellung unseres gesamten Wissens bilden dürfte.

Ausführliche Verzeichnisse der bisher erschienenen Bände umsonst und postfrei

Elektrotechnische Bibliothek

aus der Sammlung Göschen

Elektrotechnik. Einführung in die Starkstromtechnik von Prof. J. Herrmann.
I. Die physikalischen Grundlagen. Mit 95 Figuren und 16 Tafeln . . . . . Nr. 196
II. Die Gleichstromtechnik. Mit 118 Figuren u. 16 Tafeln. Nr. 197
III. Die Wechselstromtechnik. Mit 154 Figuren u. 16 Tafeln. Nr. 198
IV. Die Erzeugung u. Verteilung der elektrischen Energie. Mit 96 Figuren und 16 Tafeln . . . . . Nr. 657

Die Baustoffe des Maschinenbaues und der Elektrotechnik von Prof. Ing. Hermann Wilda. Mit 13 Figuren. Nr. 476

Luftelektrizität von Dr. Karl Kähler. Mit 18 Figuren . . Nr. 649

Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht von Prof. Dr. A. Nippoldt. Mit 16 Figuren und 7 Tafeln . . . . . Nr. 175

Radioaktivität von Prof. Dr. P. Ludewig. Mit 21 Figuren. Nr. 317

Physikalische Tabellen von Dr. A. Leick . . . . . Nr. 650

Technische Tabellen u. Formeln v. Dr.-Ing. W. Müller. Mit 106 Figuren . . . . . Nr. 579

Technisches Wörterbuch, enthaltend die wichtigsten Ausdrücke des Maschinenbaues, Schiffbaues u. der Elektrotechnik von Ing. Erich Krebs.
Deutsch-Französisch . . . . . Nr. 453
Französisch-Deutsch . . . . . Nr. 454

Englisch für Techniker. Ein Lese- und Übungsbuch für Ingenieure u. zum Gebrauch an Techn. Lehranstalten. Unter Mitarbeit von Albany Featherstonhaugh, herausgegeben von Ing. Carl Volk. I. Teil. Mit 25 Figuren . . Nr. 705

Elektrische Schaltapparate von Prof. Dr.-Ing. Erich Beckman. Mit 54 Figuren und 107 Abbildungen auf 20 Tafeln . . . . . Nr. 711

Elektrische Schaltanlagen von Prof. Dr. F. Niethammer.
I. Allgemeines. Schaltpläne. Einfache Schalttafeln. Mit 46 Figuren . . . . . Nr. 796
II. Schaltanlagen für hohe Spannungen. Schaltkästen. Schutzvorrichtungen. Mit 53 Figuren . . . . . Nr. 797

Einführung in die Hochspannungstechnik v. Dr.-Ing. K. Fischer. I. Mit 77 Figuren . . . . . Nr. 609

Ströme und Spannungen in Starkstromnetzen von Diplom-Elektro-Ing. Josef Herzog und Prof. Feldmann. Mit 68 Figuren . . . . . Nr. 456

Die zweckmäßigste Betriebskraft von Ober-Ing. Friedrich Barth.
I. Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschiedene Kraftmaschinen. Mit 27 Figuren . . . . . Nr. 224
II. Gas-, Wasser- und Wind-Kraftanlagen. Mit 31 Figuren. Nr. 225
III. Elektromotoren. Betriebskostentabellen. Graph. Darstellungen. Wahl der Betriebskraft. Mit 27 Figuren . . . . . Nr. 474

Straßenbahnen von Dipl.-Ing. A. Boshart. Mit 72 Figuren. Nr. 559

Die Elektrizität im Dienste der Kraftfahrzeuge von Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Mit 46 Figuren. Nr. 815

Die Elektromotoren, ihre Arbeitsweise u. Verwendungsmöglichkeit von Prof. Dr. F. Niethammer.
I. Gleichstrommotoren, Mehrphas. Synchron- u. Asynchronmotoren. Mit 55 Figuren . . . . . Nr. 798
II. Kommutatormotoren. Mech. Aufbau. Wirtschaftlichkeit u. a. Mit 48 Figuren . . . . . Nr. 799

Elektrische Förderanlagen von Dr.-Ing A. Schwelger. Mit 30 Figuren . . . . . Nr. 678

Elektrische Öfen v. Prof. Dr. Osw. Meyer. Mit 68 Figuren. Nr. 704

Das Fernsprechwesen von Dipl.-Ing. W. Winkelmann. 2 Bände. Mit 114 Figuren . . . . . Nr. 155, 773

Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen von Oberbaurat a. D. S. Scheibner. 2 Bände. Mit 72 Figuren. Nr. 689, 690

Das elektrische Fernmeldewesen bei den Eisenbahnen von Geh. Baurat K. Fink. Mit 50 Figuren . . Nr. 707

Die elektrischen Meßinstrumente. Darstellung der Wirkungsweise der gebräuchlichsten Meßinstrumente der Elektrotechnik und kurze Beschreibung ihres Aufbaues von Prof. J. Hermann. Mit 195 Figuren . . . . . Nr. 477

Physikalische Messungsmethoden von Professor Dr. Wilh. Bahrdt. Mit 49 Figuren . . . . . Nr. 301

Elektrizität und Magnetismus von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 33 Figuren . . . . . Nr. 78

Elektromagnet. Lichttheorie und Elektronik von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 21 Figuren . . . . . Nr. 374

Elektrische Schwingungen von Privatdozent Dr. Herm. Rohmann. 2 Bände. Mit 114 Figuren . . . . . Nr. 751, 752

Elektrochemie von Dr. Heinrich Danneel.
I. Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 16 Figuren . . . . . Nr. 252
II. Experiment. Elektrochemie. Meßmethoden, Leitfähigkeit, Lösungen. Mit 26 Figuren . . . . . Nr. 253

Die Akkumulatoren für Elektrizität v. Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Mit 52 Figuren . . . . . Nr. 620

Luftsalpeter. Seine Gewinnung durch den elektrischen Flammenbogen von Prof. Dr. G. Brion. Mit 50 Figuren . Nr. 616

Weitere Bände sind in Vorbereitung

Sammlung Göschen

Die Akkumulatoren für Elektrizität

Von

Dr.-Ing. **Richard Albrecht**
Geheimem Regierungsrat und Oberregierungsrat
in Berlin-Zehlendorf

Mit 56 Figuren

Zweite, neubearbeitete Auflage

Durchgesehener Neudruck

Berlin und Leipzig
Vereinigung wissenschaftlicher Verleger
Walter de Gruyter & Co.
vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung - J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung - Georg Reimer - Karl J. Trübner - Veit & Comp.

1922

Literatur.

Bermbach, Die Akkumulatoren, ihre Theorie, Herstellung, Behandlung und Verwendung. Verlag von Otto Wigand, Leipzig.

Dolezalek, Die Theorie des Bleiakkumulators. Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S.

Elbs, Die Akkumulatoren. Eine gemeinfaßliche Darstellung ihrer Wirkungsweise, Leistung und Behandlung. Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.

Grünwald, Die Herstellung und Verwendung der Akkumulatoren in Theorie und Praxis. Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S.

Heim, Die Akkumulatoren für stationäre elektrische Anlagen. Verlag von Oskar Leiner, Leipzig.

Hoppe, Die Akkumulatoren für Elektrizität. Verlag von Julius Springer, Berlin.

Kammerhoff, Der Edisonakkumulator. Verlag von Julius Springer, Berlin.

Kretzschmar, Die Krankheiten des stationären elektrischen Blei-Akkumulators. Verlag von R. Oldenbourg, München und Berlin.

Lucas, Die Akkumulatoren und galvanischen Elemente, Theorie, Konstruktion und Anwendung. Verlag von Max Jänecke, Leipzig.

Schoop, Handbuch der elektrischen Akkumulatoren. Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart.

Sieg, Die Akkumulatoren. Verlag von S. Hirzel, Leipzig.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

141 184

Plattendruck der Vereinigung wissenschaftlicher Verleger
Walter de Gruyter & Co. Berlin W. 10

D 323/14

Inhalt.

Seite

Begriff des Akkumulators 5
Chemische Vorgänge bei der Entladung und Ladung 8
Die Wirkungsweise und Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren
Verlauf der Klemmenspannung bei der Entladung und Ladung 12
Kapazität 17
Einfluß der Entladestromstärke auf die Kapazität 17
Einfluß der Plattendicke auf die Kapazität 18
Einfluß der Porosität der wirksamen Masse auf die Kapazität 20
Abhängigkeit der Kapazität von der Säuredichte 20
Einfluß der Temperatur auf die Kapazität 21
Sonstige Einflüsse auf die Kapazität 21
Kapazität der einzelnen Elektroden 22
Leistungsfähigkeit 23
Wirkungsgrad 24
Erholung und Selbstentladung 26
Die Konstruktion der Akkumulatorenplatten
Die geschichtliche Entwicklung des Bleiakkumulators .. 31
Verhalten der Platten im Betriebe 39
Anwendungsgebiete der einzelnen Plattenarten
Kennzeichnung der einzelnen Plattenarten 40
Anwendung der Großoberflächenplatten 41
Anwendung der Gitterplatten 42
Anwendung der Rahmenplatten 42
Neuere Konstruktionen von Akkumulatorenplatten
Akkumulatorenplatten der Akkumulatoren-Fabrik Aktiengesellschaft, Berlin 43
Akkumulatorenplatten von Gottfried Hagen in Kalk bei Köln 47
Einbau der Akkumulatorenplatten in die Gefäße
Einbau für ortsfeste Akkumulatoren 51
Einbau für Traktions- und tragbare Akkumulatoren .. 58

Seite

Aufstellung und Wartung ortsfester Batterien
Holzgestelle ... 70
Verbindung der Elemente durch Bleileisten ... 72
Laufböden und Laufbühnen ... 73
Akkumulatorenräume ... 75
Behandlung der Akkumulatoren im Betriebe
Füllung und Inbetriebsetzung ... 77
Behandlung der Batterien im regelmäßigen Betriebe 78
Verwendung der Akkumulatoren
Elektrische Anlagen mit ortsfesten Batterien
Vorteile der Batterien bei elektrischen Anlagen ... 80
Pufferbatterien ... 82
Kapazitätsbatterien ... 85
Batterien zur Fortbewegung von Fahrzeugen (Traktionsbatterien) ... 93
Batterien zur Beleuchtung von Fahrzeugen ... 96
Akkumulatoren für Galvanoplastik, Telegraphie, Telephonie ... 98
Tragbare Akkumulatoren ... 99
Der Edisonakkumulator
Die Vorgeschichte des alkalischen Akkumulators ... 104
Der neue Edisonakkumulator mit taschenförmigen positiven und negativen Elektroden ... 108
Der Edisonakkumulator mit röhrenförmigen positiven und taschenförmigen negativen Elektroden
Konstruktion und Einbau der Platten ... 110
Chemische Vorgänge bei der Entladung und Ladung 113
Leistungsfähigkeit ... 114
Vergleich des Edisonakkumulators mit dem Bleiakkumulator ... 116
Register ... 121

Begriff des Akkumulators.

Die unmittelbare Aufspeicherung von Elektrizität ist für praktische Verwendungszwecke bis jetzt nicht gelungen. Die Elektrizität wird daher in Vorrichtungen aufgespeichert, welche die ihnen zugeführte elektrische Energie in chemische Energie umwandeln. Die auf diese Weise aufgespeicherte chemische Energie kann dann zu beliebiger Zeit in elektrische Energie wieder zurückgeführt und als solche entnommen werden. Die Vorrichtungen dieser Art werden Akkumulatoren, Speicher oder Sammler genannt.

Nun gehen in einem jeden galvanischen Element chemische Umsetzungen vor sich, die in Form eines elektrischen Stromes nutzbar gemacht werden können. Tatsächlich kann ein galvanisches Element auch zum Aufspeichern von Elektrizität verwendet werden, wenn es sich nach seiner Erschöpfung durch Zuführung von Elektrizität wieder in denselben Zustand bringen läßt, in dem es sich vor Beginn der Stromlieferung befand.

Man nennt derartige galvanische Elemente, zu denen u. a. das Daniellsche Element gehört, umkehrbare.

Das Daniellsche Element besteht bekanntlich aus einer Kupferelektrode, die in Kupfervitriollösung, und aus einer Zinkelektrode, die in verdünnte Schwefelsäure (oder Zinksulfatlösung) taucht (Fig. 1). Beide Lösungen sind durch eine poröse Scheidewand *S* voneinander getrennt, die den elektrischen Strom hindurchläßt. Werden bei diesem Element die beiden Elektroden durch einen Leitungsdraht ver-

bunden, wie die linke Fig. 1 zeigt, so fließt ein elektrischer Strom durch den Draht vom Kupfer zum Zink, von da durch die Flüssigkeiten und die poröse Scheidewand zum Kupfer zurück. Zu gleicher Zeit geht Zink in die Lösung, indem es sich mit dem Schwefelsäurerest zu Zinkvitriol verbindet. Der freigewordene Wasserstoff bildet mit dem Kupfervitriol Schwefelsäure und metallisches Kupfer, das an der Kupferelektrode niedergeschlagen wird. Dieser chemische

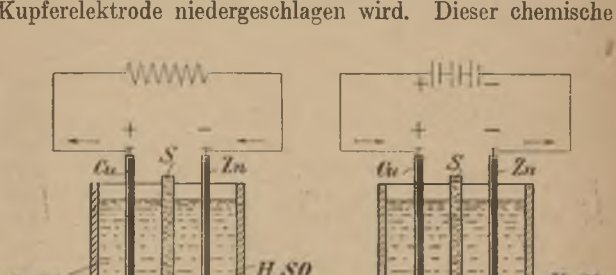

Fig. 1.

Vorgang hält so lange an, wie Zink und Kupfervitriol noch vorhanden sind, ebensolange fließt auch der elektrische Strom durch die Leitung. Es werden also Zink und Kupfervitriol auf Kosten des elektrischen Stromes verbraucht, Zinkvitriol und Kupfer gewonnen. Um daher nach Erschöpfung des Elementes weiter elektrischen Strom zu erhalten, ist es erforderlich, die Zinkelektrode und das Kupfervitriol wieder zu ersetzen. Dieses kann nun auch dadurch geschehen, daß ein elektrischer Strom in einer Richtung eingeleitet wird, die der früheren Stromrichtung entgegenge-

setzt ist. Läßt man also den Strom einer Elektrizitätsquelle in die Kupferelektrode eintreten, durch die Flüssigkeiten zur Zinkelektrode gehen und dort austreten, wie die rechte Fig. 1 zeigt, so löst sich Kupfer an der Kupferelektrode auf und Zink schlägt sich an der Zinkelektrode nieder.

Das Element ist also wieder in seinen früheren Zustand zurückgebracht worden und kann daher zum Aufspeichern von Elektrizität benutzt werden.

Dem Daniellschen Element haften indessen verschiedene Mängel an, so daß es für eine Verwendung als Akkumulator in der Praxis nicht geeignet ist, u. a. ist der innere Widerstand dieses Elementes zu groß, auch schlagen die bei der Stromlieferung sich lösenden Metallteile bei Einführung des elektrischen Stromes sich nicht wieder an den Stellen nieder, an denen sie sich gelöst hatten.

Den Anforderungen an praktische Verwendbarkeit entspricht bis jetzt am meisten der Bleiakkumulator, der auch bisher die weitaus größte Anwendung gefunden hat. Dieser Akkumulator besitzt zwei verschiedene Arten von Bleiplatten. Die positiven Platten enthalten Bleisuperoxyd und die negativen schwammiges Blei. Beide Plattenarten sind in verdünnte Schwefelsäure getaucht. Die positiven Platten sind an der braunen und die negativen an der grauen Farbe erkenntlich.

Bei der praktischen Ausführung baut man häufig mehrere positive und negative Platten in ein Gefäß ein, um eine größere Strommenge aufspeichern zu können. Es folgt immer einer negativen Platte eine positive, dann wieder eine negative usf. Die positiven Platten werden hierbei miteinander leitend verbunden, ebenso die negativen, während die Platten von entgegengesetzter Polarität voneinander isoliert sein müssen.

Chemische Vorgänge bei der Entladung und Ladung [1]).

Verbindet man bei einem Bleiakkumulator die Elektroden mit den Enden eines Widerstandes, z. B. einer Glühlampe, durch Leitungsdrähte, so fließt ein elektrischer Strom von der Bleisuperoxydelektrode durch den Widerstand zur Bleischwammelektrode und im Innern des Elementes durch die Schwefelsäure von dieser Elektrode zur positiven zurück. Dieser Vorgang wird als Entladung des Akkumulators bezeichnet. Zu derselben Zeit findet auch eine Veränderung an den Elektroden und dem Elektrolyt statt. An der positiven Elektrode wird H_2 und an der negativen SO_4 abgeschieden. Der Wasserstoff an der positiven Elektrode reduziert nun das Bleisuperoxyd zu Bleioxyd unter Bildung von Wasser. Das Bleioxyd setzt sich dann mit Schwefelsäure in Bleisulfat und Wasser um. An der negativen Elektrode verbindet sich das dort abgeschiedene SO_4 mit dem Bleischwamm der Platte zu Bleisulfat.

Die Entladung erfolgt demgemäß nach den Gleichungen:

an der positiven Platte:

$$PbO_2 + 2\,H = PbO + H_2O$$
$$PbO + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O,$$

an der negativen Platte:

$$Pb + SO_4 = PbSO_4.$$

---

[1]) Zum Studium der Elektrochemie wird auf Bd. 252 der Sammlung Göschen über „Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chemischen Grundlagen" verwiesen.

Der chemische Vorgang dauert also so lange, bis sowohl das Bleisuperoxyd an der positiven Elektrode, wie der Bleischwamm an der negativen Elektrode in Bleisulfat verwandelt worden sind. Die Schwefelsäure ist gegen Ende der Entladung dünner als zu Beginn derselben, wie aus den Gleichungen zu ersehen ist. Die Stromlieferung des Akkumulators ist in diesem Zustande beendet. Werden nun in entsprechender Weise wie bei dem Daniellschen Element die beiden Elektroden mit einer Elektrizitätsquelle derart verbunden, daß der elektrische Strom in die positive Elektrode eintritt, durch die Schwefelsäure fließt und aus der negativen Elektrode wieder austritt, dann läuft der Strom in umgekehrter Richtung wie bei der Entladung. Es findet die Ladung des Akkumulators statt. Jetzt wird an der positiven Elektrode SO_4 und an der negativen H_2 abgeschieden. Der Schwefelsäurerest SO_4 bildet mit Hilfe von Wasser mit dem Bleisulfat der positiven Elektrode Bleisuperoxyd und Schwefelsäure. Der an der negativen Elektrode ausgeschiedene Wasserstoff aber reduziert das Bleisulfat zu Blei unter Bildung von Schwefelsäure.

Die Vorgänge bei der Ladung zeigen die folgenden Gleichungen:

an der positiven Platte:

$$PbSO_4 + SO_4 + 2\,H_2O = PbO_2 + 2\,H_2SO_4.$$

an der negativen Platte:

$$PbSO_4 + 2\,H = Pb + H_2SO_4.$$

Am Ende der Ladung befindet sich der Akkumulator wieder in dem gleichen Zustande wie vor Beginn der Entladung. An der positiven Elektrode ist wieder Bleisuperoxyd, an der negativen schwammiges Blei entstanden, und

die Schwefelsäure ist wieder dichter geworden. Dem Akkumulator kann nunmehr elektrischer Strom wieder entnommen werden.

Die obigen Gleichungen lassen sich zusammenfassen in die Gleichung:

$$PbO_2 + Pb + 2\,H_2SO_4 = 2\,PbSO_4 + 2H_2O.$$

Wird der Akkumulator nach Rückbildung des Bleisuperoxyds und Bleischwamms noch weiter geladen, dann verbindet sich an der positiven Elektrode der Schwefelsäurerest SO_4 mit dem Wasser zu Schwefelsäure, und Sauerstoff wird frei. Dies geschieht nach der Gleichung:

$$SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O.$$

An der negativen Elektrode entsteht freier Wasserstoff (2H). Es wird also bei fortgesetzter Ladung kein elektrischer Strom mehr aufgespeichert, sondern nur Knallgas gebildet.

Mit Hilfe dieser Gleichungen lassen sich nun die Gewichtsmengen der wirksamen Stoffe berechnen, die für eine bestimmte Leistung des Akkumulators theoretisch erforderlich sind.

Es scheidet nämlich ein elektrischer Strom von 1 Amp. in einer Stunde 3,86 g metallisches Blei aus einer Bleiverbindung ab. Es ist daher umgekehrt dieselbe Gewichtsmenge Bleischwamm an der negativen Platte erforderlich, um eine Amperestunde zu liefern. An der positiven Platte werden demnach verbraucht $\frac{206{,}5 + 32}{206{,}5} \cdot 3{,}86 = 4{,}46$ g Bleisuperoxyd für eine Amperestunde, bei einem Atomgewicht 206,5 des Bleies und 16 des Sauerstoffes. Der Bleischwamm der negativen sowie das Bleisuperoxyd der positiven Platte haben sich hierbei in Bleisulfat umgewandelt.

Um den Verbrauch an Schwefelsäure bei der Entladung zu ermitteln, ist zu berücksichtigen, daß nach den Gleichungen auf Seite 8 zwei Moleküle Schwefelsäure an beiden Platten verbraucht werden, wenn zwei Atome Wasserstoff abgeschieden werden. Es kommen daher auf 1g Wasserstoff 98 g Schwefelsäure, da das Molekulargewicht der letzteren 98 ist. Nun werden durch eine Amperestunde 0,0373 g Wasserstoff entwickelt, somit sind für eine Amperestunde $0{,}0373 \cdot 98 = 3{,}66$ g Schwefelsäure erforderlich.

Setzt man die so erhaltenen Gewichtsmengen in die linke Seite der Hauptgleichung ein, dann erhält man: $4{,}46\text{ g} + 3{,}86\text{ g} + 3{,}66\text{ g} = 12$ g wirksamer Stoffe, die für eine Amperestunde nötig sind. Bei Annahme einer Entladespannung von rund zwei Volt sind demnach 6 g wirksamer Stoffe für eine Wattstunde aufzuwenden, woraus folgt, daß 1 kg dieser Stoffe höchstens 167 Wattstunden zu leisten vermag.

Diese Leistung ist aber beim Bleiakkumulator praktisch auch nicht annähernd erreichbar. Es ist nämlich nicht möglich, die aktiven Stoffe vollkommen auszunutzen sowie konzentrierte Schwefelsäure zu verwenden, wie aus den folgenden Abschnitten noch zu sehen sein wird. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß der Akkumulator nicht bloß aus wirksamen Stoffen bestehen kann. Zu seinem Aufbau sind vielmehr noch notwendig besondere Träger für die aktiven Massen in Gestalt von Gittern oder Rahmen, ferner ein Gefäß mit Deckel, Stütz- und Isoliervorrichtungen für die Platten, Verbindungsleitungen u. a. m. Alle diese Teile müssen dabei so stark bemessen sein, daß auch eine ausreichende mechanische Widerstandsfähigkeit des Akkumulators vorhanden ist. Die leichtesten bis jetzt hergestellten betriebsfähigen Bleiakkumulatoren leisten nur etwa 30 bis 40 Wattstunden, bezogen auf 1 kg ihres Gewichtes.

Die Wirkungsweise und Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren.

Verlauf der Klemmenspannung bei der Entladung und Ladung.

Der Akkumulator hat im Ruhezustande, in dem ein elektrischer Strom weder zugeführt noch entnommen wird, eine Klemmenspannung von etwa 2 Volt bei der in der Praxis angewendeten Säuredichte. Wird der Akkumulator nun entladen, so sinkt die Klemmenspannung in kurzer Zeit um einen bestimmten Betrag, und zwar um so tiefer, je höher die Entladestromstärke ist. Ist der Entladestrom sehr gering, dann weicht die Entladespannung nur wenig von der Ruhespannung ab, während bei größeren Stromdichten die Spannung auf 1,98 bis 1,95 Volt oder gar noch tiefer sinkt. Wird der Akkumulator mit gleichbleibender Stromstärke weiter entladen, dann findet ein weiteres Sinken der Klemmenspannung während des größten Abschnittes der Entladedauer nur allmählich statt. Gegen das Ende der Entladung sinkt jedoch die Entladespannung immer schneller bis auf Null herab. Die Fig. 2 zeigt beispielsweise die Entladekurven einer Akkumulatorenzelle mit einer positiven und zwei negativen Platten von je 1 qdm Größe nach Beobachtungen des Verfassers. Die Stromstärken schwankten bei den Entladungen zwischen 0,25 und 2 Amp. Die Kurven zeigen auch, daß die Klemmenspannungen mit zunehmender Entladestromstärke geringer werden.

Die Entladungen sind, wie aus Fig. 2 ferner zu ersehen ist, nicht zu Ende geführt, sondern wurden unterbrochen, nachdem die Klemmenspannung jedesmal um 8 % gegenüber der Spannung bald nach Beginn der Entladung gesun-

ken war. Die Klemmenspannungen betrugen daher am Schlusse der Entladungen 1,83 bis 1,85 Volt, d. s. Werte, die auch bei Betriebsentladungen im allgemeinen nicht unterschritten zu werden pflegen.

Eine völlige Ausnutzung des Akkumulators ist nämlich praktisch nicht möglich, weil einmal häufige Entladungen über die bezeichneten Grenzwerte hinaus eine frühzeitige Zerstörung der Platten herbeiführen würden, und außerdem die Betriebe eine möglichst gleichbleibende Klemmenspannung der Stromquellen verlangen.

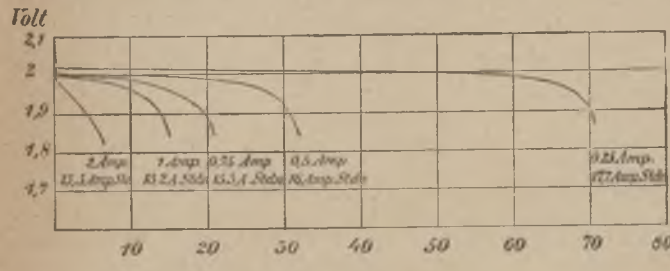

Fig. 2.

Wird der Entladestrom unterbrochen, nachdem der Akkumulator bis zur praktisch zulässigen Grenze entladen worden ist, dann steigt die Klemmenspannung wieder auf etwa 2 Volt. Beim Einschalten des Ladestromes steigt die Klemmenspanung zunächst rasch auf etwa 2,05 bis 2,1 Volt und nimmt dann während des größten Teiles der Ladung allmählich weiter zu bis auf etwa 2,2 Volt. Gegen das Ende der Ladung findet dann ein rascheres Ansteigen der Klemmenspannung statt. Während dieser Periode entwickelt der Akkumulator Gas, zuerst nur wenig, dann aber immer mehr. Bei einer Spannung von etwa 2,5 Volt ist die Gasentwicklung bereits lebhaft. Die Ladespannung steigt von jetzt ab

wieder langsamer und erreicht je nach der Höhe des Ladestromes einen Endwert von mehr als 2,5 bis 2,7 Volt und darüber.

Wird der Ladestrom ausgeschaltet, so sinkt die Spannung zunächst schnell, dann allmählich, bis sie den Wert der Ruhespannung von etwa 2 Volt wieder erreicht hat. Fig. 3 zeigt den Verlauf der Ladespannung bei der vorhin erwähnten Zelle unter Anwendung eines Ladestromes von 1 Amp. Die Klemmenspannungen sind auch bei der Ladung abhängig von der Stromstärke, und zwar sind sie um so höher, je stärker der Ladestrom ist.

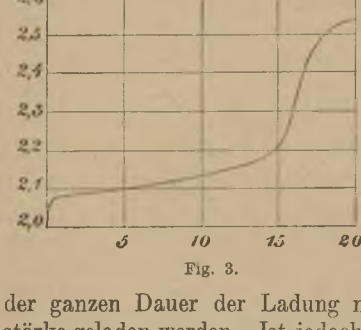

Fig. 3.

Steht eine längere Ladezeit für den Akkumulator zur Verfügung, so daß eine geringere Ladestromstärke anwendbar ist, dann kann einfach während der ganzen Dauer der Ladung mit der gleichen Stromstärke geladen werden. Ist jedoch die Ladezeit auf wenige Stunden beschränkt, dann muß mit entsprechend höherer Stromstärke geladen werden. In solchen Fällen ist es üblich, vom Beginn der Gasentwicklung ab mit geringerer Stromstärke zu Ende zu laden, da hierdurch die Elektrodenplatten besser geschont werden und auch eine vollkommenere Ladung mit einer bestimmten Elektrizitätsmenge möglich ist.

Die Akkumulatorenfabriken pflegen die für den betreffenden Akkumulator höchstzulässige Lade- und Entladestromstärke anzugeben. Eine Verminderung dieser Stromstärke ist statthaft.

Im folgenden soll nun eine Erklärung für die eigenartige Gestalt der Spannungskurven bei der Entladung und Ladung des Akkumulators gegeben werden.

Bereits auf Seite 12 war darauf hingewiesen worden, daß die elektromotorische Kraft des Akkumulators von der Säuredichte abhängig ist. Bei der in der Praxis gebräuchlichen Säuredichte beträgt die elektromotorische Kraft etwa 2 Volt. Bezeichnen wir diese mit E, die Klemmenspannung des Akkumulators bei der Ladung mit K_l, bei der Entladung mit K_e, die Stromstärke mit J_l bzw. J_e und den inneren Widerstand der Zelle mit W_l bzw. W_e, dann ist nach dem Ohmschen Gesetz die Klemmenspannung bei der Ladung

$$K_l = E + J_l \cdot W_l$$

und bei der Entladung

$$K_e = E - J_e \cdot W_e.$$

Aus diesen Gleichungen geht zunächst hervor, daß die Klemmenspannung bei der Ladung größer als bei der Entladung sein muß.

Nun ist aber der innere Widerstand des Akkumulators sehr gering; er beträgt selbst bei kleinen Zellen nur einige Hundertstel Ohm. Die Unterschiede zwischen der Lade- und Entladespannung sind daher nicht allein dem inneren Widerstand zuzuschreiben, sondern auch der Änderung der elektromotorischen Kraft des Akkumulators. Diese ist aber, wie wir gesehen haben, von der Säuredichte abhängig. Nun wird bei der Entladung die Schwefelsäure dünner, wie die Gleichungen auf Seite 8 zeigen. Es erklärt sich das rasche Abfallen der elektromotorischen Kraft und somit auch der Klemmenspannung zu Beginn der Entladung daher aus der Abnahme der Säuredichte in unmittelbarer Nähe der Elektroden. Da auch bei weiterer Stromentnahme die Säure-

dichte fortgesetzt abnimmt, und vor allem die Säure in die tieferen Schichten der aktiven Masse nicht in genügendem Maße eindringen kann, so muß die Spannung bei weiterer Entladung immer mehr sinken. Schließlich tritt eine so hohe Verarmung der aktiven Masse an Säure ein, daß die elektromotorische Kraft rasch sinkt. Aus demselben Grunde erklärt sich auch der schnellere Abfall der Klemmenspannung bei Anwendung höherer Entladestromstärken schon während des ersten Teiles der Entladung.

Bei der Ladung wird umgekehrt aus dem Bleisulfat der Elektroden Schwefelsäure gebildet, wie die Gleichungen auf Seite 9 dartun. Hieraus erklärt sich das erst rasche und dann allmähliche Ansteigen der Klemmenspannung. Von dem Zeitpunkte ab, an welchem der größte Teil des aktiven Materials in Bleisuperoxyd bzw. Blei umgewandelt ist, kann nur ein Teil des Ladestromes zur weiteren chemischen Umbildung der wirksamen Masse herangezogen werden. Infolgedessen wird ein anderer Teil des Ladestromes zur Zersetzung des Wassers in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff verwendet. Daher erfolgt die zuerst langsam beginnende, später immer heftiger werdende Gasentwicklung. Da das in der Säure befindliche Bleisulfat während dieser Zeit durch den elektrischen Strom beseitigt wird, so wird die elektromotorische Kraft rascher erhöht; infolgedessen steigt auch die Spannungskurve während der Gasentwicklung.

Hiernach ist es einigermaßen schwierig zu bestimmen, wann die Ladung beendet werden soll. Wird die Ladung zu lange ausgedehnt, dann wird unnötig viel elektrische Energie verbraucht, weil durch den Ladestrom im wesentlichen nur Gas entwickelt wird. Ein übermäßig langes Laden, namentlich mit hoher Stromstärke, kann auch die Platten schädigen, insbesondere werden durch die aufsteigenden Gase Teile der wirksamen Masse von den positiven Platten

leicht losgerissen. Wird jedoch die Ladung zu früh unterbrochen, so kann dem Akkumulator natürlich auch nicht die genügende Strommenge entnommen werden. Außerdem ist ein häufiges zu geringes Laden den Platten nachteiliger als ein zu starkes Überladen, da in ersterem Falle die Platten sich leicht mit einem weißen Überzug überziehen, der aus kristallinischem Bleisulfat besteht, und der durch den normalen Ladestrom nicht in Bleischwamm bzw. Bleisuperoxyd zurückgeführt werden kann. Durch diese Erscheinung, die als „Sulfatisierung" bezeichnet zu werden pflegt, wird die Aufnahmefähigkeit des Akkumulators stark beeinträchtigt. Es ist daher zweckmäßiger, eher zu viel als zu wenig zu laden.

Im allgemeinen ist die Ladung zu beenden, wenn an den positiven und negativen Platten lebhafte Gasentwicklung beobachtet wird und die Klemmenspannung aufgehört hat, weiter zu steigen. Da ferner die Dichte der Säure bei der Entladung sinkt und bei der Ladung wieder steigt, so läßt sich auch durch Beobachten der Säuredichte der Ladezustand einigermaßen beurteilen. Kennt man die dem Akkumulator bei der Entladung entnommene Elektrizitätsmenge, dann gibt auch die zum Laden aufzuwendende Menge einen Anhalt, wann die Ladung zu beenden ist.

Kapazität.

Unter der Kapazität eines Akkumulators versteht man diejenige Elektrizitätsmenge in Amperestunden, welche dem Akkumulator entnommen werden kann.

Einfluß der Entladestromstärke auf die Kapazität.

Die aus dem Gewicht der wirksamen Stoffe errechnete Kapazität (siehe Seite 11) wird praktisch um so weniger erreicht, je größer die Entladestromstärke ist. Die Ab-

nahme der Kapazität mit zunehmender Entladestromstärke findet nach den Ausführungen im vorigen Kapitel darin ihren Grund, daß die Säure weniger in die tieferen Schichten der aktiven Masse eindringen, und diese daher immer unvollkommener an dem elektrochemischen Prozeß teilnehmen kann.

Multipliziert man beispielsweise bei den in Fig. 2 dargestellten Entladekurven die bei den einzelnen Entladungen angewendeten Stromstärken mit der Entladedauer in Stunden, so erhält man die Kapazitäten bei den verschiedenen Entladestromstärken. Die Kurven zeigen z. B., daß eine Entladung mit 1 Amp. 15,2 Std., mit 0,5 Amp. 32 Std. und mit 0,25 Amp. 70,8 Std. dauerte. Die Kapazität betrug also bei einer Entladestärke von 1 Amp. 15,2 Amp.-Std., bei einer Entladestromstärke von 0,5 Amp. $0{,}5 \cdot 32 = 16$ Amp.-Std., bei einer Entladestromstärke von 0,25 Amp. $0{,}25 \cdot 70{,}8 = 17{,}7$ Amp.-Std.

Einfluß der Plattendicke auf die Kapazität.

Von großem Einfluß auf die Kapazität des Akkumulators ist ferner die Dicke der Elektrodenplatten. Es ist einleuchtend, daß bei dünnen Platten die Säure leichter an sämtliche Teile des aktiven Materials gelangen kann als bei dicken Platten. Daher besitzen Akkumulatoren mit einer größeren Anzahl dünner Platten bei gleichem Gewicht der aktiven Masse eine größere Kapazität als Akkumulatoren mit wenigen dicken Platten.

Man wird also in allen den Fällen, in welchen der Akkumulator ein möglichst geringes Gewicht haben soll, wie z. B. für elektrische Kraftfahrzeuge, dünne Platten den dicken vorziehen. Freilich sind die dünnen Platten nicht so haltbar wie die dicken.

Wird jedoch der Akkumulator mit sehr schwachen Strömen entladen, so ist es möglich, bei Aufwendung gleicher Ge-

wichtsmengen an wirksamer Masse mit dickeren Platten nicht nur dieselbe Kapazität zu erreichen wie mit dünneren Platten, sondern die Leistung letzterer sogar noch zu übertreffen, weil alsdann auch bei den dicken Platten die Säure Zeit hat, bis in die innersten Teile des aktiven Materials einzudringen.

Z. B. ergaben Versuche des Verfassers mit 12 und 8 mm dicken positiven Masseplatten, daß diese bei Entladungen mit den bezeichneten Stromdichten folgende Gewichtsmengen an Bleisuperoxyd für eine Amperestunde Kapazität enthielten:

Stromdichte in Ampere	Gewicht des Bleisuperoxyds in Gramm	
	bei der 12 mm	bei der 8 mm-Platte
0,1	9,3	10,5
0,5	21,8	19.6
0,75	27,6	24
1	32,6	26,8

Diese Zahlenwerte sind noch durch die beiden Kurven *a* und *b* der Fig. 4 veranschaulicht worden. Hiernach ergab bei Anwendung einer Stromdichte von etwa 0,4 Ampere die Gewichtseinheit der wirksamen Masse beider Platten die gleiche Kapazität, während bei größeren Stromdichten die dicken (Kurve *a*) und bei geringeren Stromdichten die dünnen Platten (Kurve *b*) einen größeren Aufwand an wirksamer Masse erforderten. Das theoretisch erforderliche Gewicht an Bleisuperoxyd, nämlich 4,46 g für eine Amperestunde (s. S. 10), ist in Fig. 4 außerdem noch eingetragen (strichpunktierte Linie). Die Figur läßt deutlich erkennen, wie mit abnehmender Entladestromstärke das aktive

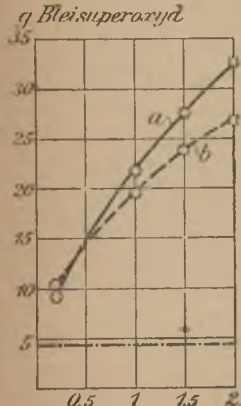

Fig. 4.

Material beider Platten immer besser ausgenutzt wird, und zwar zuletzt am meisten das der 12 mm starken Platte.

Bei langsamen Entladungen sind daher die dickeren Platten den dünneren vorzuziehen.

Einfluß der Porosität der wirksamen Masse auf die Kapazität.

Die aktive Masse kann ferner um so besser ausgenutzt werden, je poröser sie ist, weil alsdann die Schwefelsäure während der Entladung leichter in die Poren der Masse gelangen kann. Infolgedessen läßt sich durch Erhöhung der Porosität der wirksamen Masse die Kapazität des Akkumulators steigern, und dies um so mehr, je größer die angewendete Entladestromstärke ist; denn bei Entladungen mit geringeren Stromstärken wird das aktive Material, wie wir vorhin gesehen haben, schon sowieso besser ausgenutzt.

Die Porosität läßt sich z. B. dadurch erhöhen, daß beim Anrühren der Paste dieser eine größere Menge Schwefelsäure zugesetzt wird, wodurch die Paste dünnflüssiger und somit spezifisch leichter wird. Es findet also eine Kapazitätssteigerung bei gleichzeitiger Verminderung des Massegewichtes statt [1]).

Abhängigkeit der Kapazität von der Säuredichte.

Die Kapazität ist auch von der Säuredichte abhängig. Die Versuche haben ergeben, daß bei einem spez. Gewicht von etwa 1,25 die Kapazität den Höchstwert ergibt, weil die Leitfähigkeit der Säure bei dieser Dichte am größten ist. In der Praxis wird aber meist eine geringere Säuredichte angewendet, da durch zu starke Säure die Bildung von kristallinischem Bleisulfat begünstigt wird (s. Seite 17).

[1]) Siehe Heim, Elektrotechnische Zeitschrift 1915, S. 281 u. 282.

Wird der verdünnten Schwefelsäure gelatinöse Kieselsäure (Wasserglas) zugesetzt, dann erhält man einen sog. Trockenakkumulator. Durch einen derartigen Zusatz wird aber die Leitfähigkeit des Elektrolyten außerordentlich vermindert. Dementsprechend verschlechtert sich auch die Kapazität des Akkumulators. Aus diesem Grunde werden Akkumulatoren mit gelatinierter Säure nur für kleine Elemente von geringerer Bedeutung angewendet. In neuerer Zeit ist man aber auch bei diesen Kleinakkumulatoren bestrebt, reine verdünnte Schwefelsäure zu verwenden und das Verschütten der Füllflüssigkeit durch geeignete Deckelverschlüsse zu vermeiden.

Einfluß der Temperatur auf die Kapazität.

Die Leitfähigkeit der Säure ist aber nicht nur von der Säuredichte, sondern auch von der Temperatur abhängig. Infolgedessen ist auch die Kapazität abhängig von der Temperatur, und zwar nimmt die Kapazität mit steigender Temperatur zu. Diese Erscheinung ist indessen praktisch ohne besondere Bedeutung, da durch künstliches Erwärmen des Akkumulators die Lebensdauer der Platten vermindert wird.

Sonstige Einflüsse auf die Kapazität.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß die Kapazität eines Akkumulators unter sonst gleichen Voraussetzungen natürlich auch von der Konstruktion und Herstellung der Elektrodenplatten, sowie von der Reinheit der verwendeten Materialien abhängig ist.

Es sind von verschiedenen Seiten empirische Formeln zur Berechnung der Kapazität aufgestellt worden, die aber für sämtliche Entladestromstärken und Plattenarten zugleich nicht anwendbar sind.

Kapazität der einzelnen Elektroden.

Die Kapazität eines Akkumulators wird beeinflußt sowohl durch die Kapazität der positiven wie der negativen Platten.

Man ist nun imstande, die Spannungsänderungen der einzelnen Elektroden getrennt zu messen. Dies geschieht dadurch, daß man in die Säure des Akkumulators noch eine Hilfselektrode eintaucht und die Spannungen zwischen den positiven Platten und dieser Hilfselektrode, ebenso zwi-

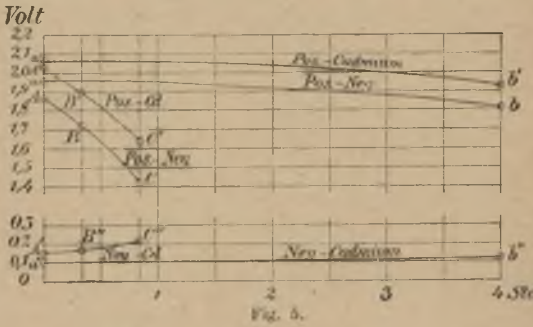

Fig. 5.

schen den negativen Platten und dieser getrennt mißt. Selbstverständlich darf die Hilfselektrode die Elektrodenplatten dabei nicht berühren. Soll die Einzelspannung der positiven Platten gemessen werden, dann werden die Klemmen des Spannungsmessers an diese und die Hilfselektrode angelegt, beim Untersuchen der Einzelspannung der negativen Platten wird der Spannungsmesser zwischen diese Platten und die Hilfselektrode angeklemmt. Für die praktischen Messungen eignet sich am besten ein Kadmiumblech. Auch eine kleine geladene positive oder negative Akkumulatorplatte kann als Meßelektrode genommen werden. Die

Differenz der beiden Meßergebnisse mit der Hilfselektrode muß dann die Klemmenspannung des Akkumulators sein.

Fig. 5 zeigt z. B. die Spannungskurven der positiven und negativen Elektrode gegen eine Kadmiumelektrode, sowie die Kurven der Klemmenspannungen des Akkumulators bei zwei verschiedenen Entladungen.

Beträgt beispielsweise die Spannung zwischen der positiven Elektrode und der Kadmiumelektrode 2,02 Volt, zwischen der negativen Elektrode und dieser 0,15 Volt, dann beträgt die Spannung zwischen der positiven und negativen Elektrode, d. h. die Klemmenspannung des Akkumulators 1,87 Volt. Demgemäß muß auf der Zeichnung die Strecke AA' gleich dem Abstande des Punktes A'' von der Abszissenachse sein. Dasselbe gilt auch von den Strecken BB', CC', aa', bb' und den entsprechenden Punkten B'', C'', a'' und b''.

Aus diesen Spannungskurven ist zu ersehen, daß der Spannungsabfall des Elementes hauptsächlich durch die positiven Platten herbeigeführt worden ist.

Leistungsfähigkeit.

Aus den vorstehenden Schilderungen der Wirkungsweise des Akkumulators geht hervor, daß die Kapazität einer Zelle durch Vergrößern der Platten oder Vermehren ihrer Anzahl erhöht werden kann, während die Klemmenspannung einer Zelle unabhängig von ihrer Größe ist. Die Spannung einer einzelnen Zelle sinkt während der Entladung von etwa 2 Volt bis etwa 1,8 Volt herab. Falls daher eine höhere Betriebsspannung erforderlich ist, muß eine entsprechend größere Anzahl von Zellen genommen werden.

Die zu ermittelnde Größe einer Akkumulatorenbatterie möge an Hand zweier Beispiele gezeigt werden.

Beispiel 1: Eine Glühlampe von 6 Kerzen und einer Spannung von 8 Volt soll mit einer Ladung der Batterie 20 Stunden lang brennen können. Nimmt man eine Metallfadenlampe, die 1 Watt für 1 Kerze verbraucht, so benötigt sie im ganzen 6 Watt. Mithin ergibt sich eine Entladestromstärke von $\frac{6 \text{ Watt}}{8 \text{ Volt}} = 0{,}75$ Ampere. Der Akkumulator muß demnach eine Kapazität von $0{,}75 \cdot 20 = 15$ Amperestunden bei 0,75 Ampere Entladestromstärke haben. Es sind für eine Spannung von 8 Volt 4 Zellen erforderlich.

Beispiel 2: Ein Elektromotor von $^1/_{10}$ Pferdestärke und einer Spannung von 12 Volt soll mit einer Ladung der Batterie 10 Stunden lang betrieben werden können. Nun entspricht eine Pferdestärke einer elektrischen Leistung von 736 Watt. Nimmt man einen Wirkungsgrad des Elektromotors von 50% an, so muß die Batterie $\frac{1}{10} \cdot \frac{736}{0{,}5} = 147{,}2$ Watt 10 Stunden lang liefern können. Die zu leistende elektrische Arbeit ist daher 1472 Wattstunden und die benötigte Kapazität $\frac{1472}{12} = 123$ Amperestunden bei 10 stündiger Entladung mit 12,3 Ampere Entladestromstärke. Die Batterie muß aus $\frac{12}{2} = 6$ Zellen bestehen.

Wirkungsgrad.

Es ist bei einem Akkumulator nicht möglich, dieselbe Strommenge in Amperestunden, die für die Ladung aufgewendet worden ist, bei der Entladung zurückzuerhalten. Noch ungünstiger gestaltet sich das Verhältnis der bei der Entladung erhaltenen elektrischen Arbeit in Wattstunden zu der für die Ladung aufgewendeten Arbeit.

Man unterscheidet daher beim Akkumulator einen Wirkungsgrad in Amperestunden und einen Wirkungsgrad in Wattstunden [1]).

Bezeichnet man den ersteren mit η^A, die Stromstärke bei der Ladung mit J_l, bei der Entladung mit J_e, die Ladezeit mit t_l und die Entladezeit mit t_e, dann ergibt sich unter der Voraussetzung eines konstanten Lade- und Entladestromes für den Wirkungsgrad in Amperestunden

$$\eta_A = \frac{J_e \cdot t_e}{J_l \cdot t_l}$$

Ist die Stromstärke bei der Ladung und Entladung die gleiche, dann ist $\eta_A = \frac{t_e}{t_l}$. In diesem Falle bedeutet also der Wirkungsgrad in Amperestunden das Verhältnis der Entladedauer zur Ladedauer.

Der Wirkungsgrad in Wattstunden ist:

$$\eta_W = \frac{K_e \cdot J_e \cdot t_e}{K_l \cdot J_l \cdot t_l} = \eta_A \cdot \frac{K_e}{K_l},$$

wenn K_e und K_l die mittleren Klemmenspannungen bei der Entladung bzw. Ladung bedeuten.

Bei gleicher Lade- und Entladestromstärke ist

$$\eta_W = \frac{K_e \cdot t_e}{K_l \cdot t_l}.$$

Der Wirkungsgrad des Akkumulators in Amperestunden ist stets kleiner als 1, weil gegen Ende der Ladung ein Teil des Ladestromes zur Gasentwicklung verbraucht wird. Der Wirkungsgrad wird höher, wenn die Ladung von Beginn der Gasentwicklung ab mit geringerer Stromstärke zu Ende geführt wird. Wenn auch bei Untersuchungen im Laboratorium ein Wirkungsgrad in Amperestunden bis zu 0,96

[1]) Der Wirkungsgrad in Wattstunden wird mitunter auch als „Nutzeffekt" bezeichnet.

(96 %) erreicht werden kann, so wird doch in der Praxis bei Akkumulatorenbatterien mit größerer Elementenzahl im allgemeinen mit einem Wirkungsgrade von nicht mehr als 0,90 (90 %) gerechnet.

Der Wirkungsgrad in Wattstunden ist, wie aus den vorstehenden Ausführungen ersichtlich ist, sowohl von dem Wirkungsgrad in Amperestunden, als auch von dem Verhältnis der Klemmenspannungen bei der Entladung und Ladung abhängig.

Da nun aber die Entladespannung um so höher und die Ladespannung um so niedriger wird, je geringer die Stromstärke bei der Entladung bzw. Ladung ist, so folgt hieraus, daß mit Verminderung der Entlade- und Ladestromstärke ein höherer Wirkungsgrad in Wattstunden zu erreichen ist.

Der höchst erreichbare Wirkungsgrad dürfte wohl 0,82 (82 %) sein. In der Praxis wird in der Regel nur 0,75 (75%) angenommen; doch hat der Verfasser bei einer größeren ortsfesten Akkumulatorenbatterie einen Wirkungsgrad in Wattstunden von 0,79 (79 %) bei dreistündiger Entladezeit feststellen können.

Bei Anwendung von gelatinösem Elektrolyt wird natürlich ebenso wie die Kapazität auch der Wirkungsgrad sehr verschlechtert.

Erholung und Selbstentladung.

Wir haben in einem früheren Kapitel (s. S. 12 ff.) den Verlauf der Klemmenspannung verfolgt, wenn der Akkumulator geladen und entladen wird. In demselben Kapitel wurde darauf hingewiesen, daß die Klemmenspannung des Akkumulators im Zustand der Ruhe etwa 2 Volt bei der üblichen Säuredichte beträgt.

Wird nun nach beendeter Ladung nicht sogleich mit der Entladung begonnen, sondern der Akkumulator in den Ruhe-

zustand versetzt, dann fällt sofort mit dem Ausschalten des elektrischen Stromes die Klemmenspannung auf etwa 2,2 bis 2,3 Volt und alsdann allmählich auf 2 Volt herab. Umgekehrt findet zunächst ein rasches und dann allmähliches Anwachsen der Klemmenspannung bis auf 2 Volt statt, wenn bei einem entladenen Akkumulator der Strom ausgeschaltet und der Akkumulator dem Ruhezustande überlassen wird. Diese Erscheinung beruht darin, daß den im Zustande der Entladung an Säure verarmten Platten nach Unterbrechung des Stromes durch Diffusion sofort Säure zugeführt wird; die Spannung steigt infolgedessen. Man spricht von einer Erholung des Akkumulators. Das zuerst schnelle und dann langsamere Ansteigen der Klemmenspannung beruht demgemäß darauf, daß die Konzentrationsänderungen der Säure in der aktiven Masse unmittelbar nach dem Ausschalten des Stromes einen rascheren Verlauf nehmen als später.

Eine Erholung beim Ausschalten des elektrischen Stromes zeigt sich, wenn auch in geringerem Maße, naturgemäß auch dann, wenn der Strom vor Beendigung der Ladung oder Entladung unterbrochen wird.

Da die Erholung dem Umstande zuzuschreiben ist, daß den an Säure verarmten Platten wieder Säure zugeführt wird, so folgt hieraus, daß durch das Ausschalten des Stromes bei der Entladung die Kapazität des Akkumulators vergrößert werden kann.

Nun wird aber bei einem im Ruhezustande befindlichen Akkumulator eine andere Erscheinung beobachtet, die im Gegensatz zu der Erholung auf eine Verminderung der Kapazität hinwirkt. Es findet nämlich bei einem geladenen Akkumulator auch dann eine Entladung statt, wenn er längere Zeit unbenutzt stehen bleibt, der Stromkreis also gar nicht geschlossen ist. Der Akkumulator entladet sich nämlich von selbst, weshalb diese Erscheinung als Selbstent-

ladung bezeichnet wird. Ein deutliches äußeres Zeichen dieser Selbstentladung ist die Tatsache, daß die Säuredichte des im Ruhezustande gelassenen Akkumulators allmählich abnimmt, ebenso wie es bei einem normal entladenen Akkumulator der Fall ist, allerdings in geringerem Maße.

Die Beobachtungen haben ergeben, daß diese Selbstentladung sowohl bei der positiven wie negativen Elektrode eintreten kann.

Bei der positiven Elektrode besteht das aktive Material bekanntlich aus Bleisuperoxyd. Da dieses aber keine genügende mechanische Festigkeit und auch eine geringe elektrische Leitfähigkeit besitzt, so muß als Träger der wirksamen Masse ein Gerüst aus metallischem Blei genommen werden. Nun bildet aber das Bleisuperoxyd mit seinem Bleiträger ein galvanisches Element, das eine Entladung der positiven Elektrode zur Folge hat; eine Erscheinung, die als Lokalaktion bezeichnet zu werden pflegt. Diese ist um so größer, je größer die Berührungsfläche zwischen der aktiven Masse und dem Träger ist.

Fig. 6 zeigt das Ergebnis von Versuchen, die unter Leitung des Verfassers an positiven Platten ausgeführt worden sind. Hierbei sind Akkumulatoren mit zwei verschiedenen Plattenarten, nämlich positiven Großoberflächen- und Masseplatten [1]), unter sonst gleichen Verhältnissen einmal mit ununterbrochenem Entladestrom und dann mit häufiger Unterbrechung des Stromes entladen worden. Die Entladekurven zeigen, daß bei den Akkumulatoren mit positiven Großoberflächenplatten eine merkliche Zunahme der Kapazität infolge der Ruhepausen nicht eingetreten ist, während bei den Akkumulatoren mit positiven Masseplatten die Entladungen mit Unterbrechungen eine Zunahme der Kapazität

[1]) Die nähere Beschreibung dieser Platten findet sich im nächsten Kapitel

bis 33 % herbeigeführt hatten. Bei diesen Untersuchungen wurden jedesmal negative Elektroden genommen, deren Kapazität größer war als die der positiven, so daß also die Kapazität des ganzen Elementes bedingt ist durch die Kapazität der positiven Elektrode.

Diese Zunahme der Kapazität ist der Erholung des Akkumulators zuzuschreiben, und zwar war die Zunahme um

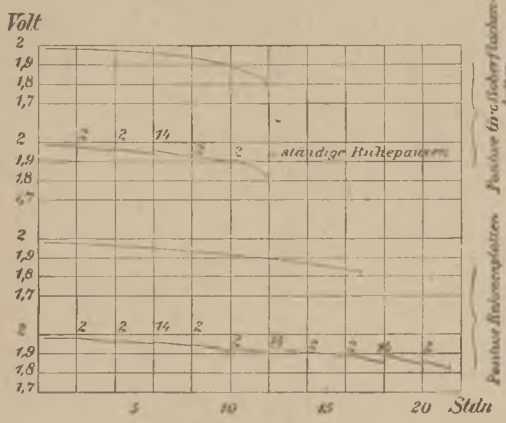

Fig. 6.

so größer, je höher die Entladestromstärke angewandt wurde. Dies ist auch erklärlich, weil bei den Entladungen mit größeren Stromstärken das aktive Material am meisten an Säure verarmt ist, so daß während der Ruhepausen in größerem Maße neue Säure zu den an Schwefelsäure verarmten Masseteilchen gelangen kann. Aus demselben Grunde erklärt sich die größere Zunahme der Klemmenspannung gegen Ende der Entladungen.

Der Zunahme an Kapazität bei den unterbrochenen Ent-

ladungen mit positiven Masseplatten entsprach auch der größere Abfall der Säuredichte.

Bei den Akkumulatoren mit positiven Großoberflächenplatten war aber eine Zunahme der Kapazität nicht zu spüren, obgleich auch diese Platten noch unverbrauchtes aktives Material besitzen müssen, da ja mit abnehmender Entladestromstärke die Kapazität weiter zunimmt. Diese Erscheinung muß daher der Selbstentladung der positiven Großoberflächenplatten durch Lokalaktion zugeschrieben werden. Bei diesen Platten ist eben die Selbstentladung infolge der großen Berührungsfläche zwischen der aktiven Schicht und dem Bleikern sehr groß. Bei den Masseplatten hingegen, die nur eine geringe Berührungsfläche zwischen der Masse und ihrem Träger haben, konnte die Selbstentladung der Erholung nur wenig entgegenwirken.

An der Bleischwammelektrode kann sich ein kurz geschlossenes Element bilden, wenn die Schwefelsäure als Verunreinigung ein Metall enthält, das elektronegativer als Blei ist und sich auf der negativen Elektrode niederschlägt. Besonders schädlich ist Platin, weniger Kupfer. Bei Verunreinigungen der Säure durch solche Metalle gasen die negativen Platten auch nach Unterbrechung des Ladestromes weiter (Nachkochmetalle). Eisen führt eine Selbstentladung beider Plattenarten herbei.

Selbstentladungen können auch im Akkumulator hervorgerufen werden, wenn die Schwefelsäure im Element unten dichter als oben ist, da durch die verschiedenen Säuredichten Spannungsunterschiede in den einzelnen Platten entstehen. Dies tritt besonders bei hohen Zellen, die häufig mit destilliertem Wasser nachgefüllt werden, ein.

Aus alledem folgt, daß ein Akkumulator, der längere Zeit nicht benutzt wird, doch in gewissen Zeitabständen regelmäßig geladen werden muß, um ein Sulfatisieren der Platten

zu vermeiden. Im allgemeinen wird es sich empfehlen, Akkumulatoren mit positiven Großoberflächenplatten alle Monate einmal aufzuladen, während Akkumulatoren mit Masseplatten nach erfolgter Aufladung ein halbes Jahr oder noch länger unbenutzt stehen bleiben können.

Die Konstruktion der Akkumulatorenplatten.

Die geschichtliche Entwicklung des Bleiakkumulators.

Der Gedanke, elektrische Energie in galvanischen Elementen aufzuspeichern, ist bereits um das Jahr 1800 von Ritter verwirklicht worden. Diese Elemente waren aber für die Praxis noch unbrauchbar, ebenso wie der Akkumulator von Sinsteden, der im Jahre 1854 als erster Elektroden aus Blei anwendete und diese in verdünnte Schwefelsäure tauchte.

Der erste, der den Weg zu dem jetzt verbreiteten Bleiakkumulator wies, ist jedoch Gaston Planté. Dieser Forscher hatte mit seinen Untersuchungen über die umkehrbaren galvanischen Elemente bereits im Jahre 1859 begonnen, trat aber erst 1879 mit einer einigermaßen brauchbaren Konstruktion eines Bleiakkumulators in die Öffentlichkeit und gab gleichzeitig eine Methode an zur Erzeugung der aktiven Schichten an den Bleiplatten. Planté gab auch eine Erklärung über die inneren Vorgänge bei der Ladung und Entladung, die mit unseren jetzigen Anschauungen einigermaßen übereinstimmt.

Planté rollte zwei Bleiplatten, die er durch Kautschukbänder voneinander trennte, spiralförmig zusammen und

setzte sie in ein mit verdünnter Schwefelsäure angefülltes Glasgefäß. Dieses Element wurde nun durch andere galvanische Elemente geladen, und zwar derart, daß die Richtung des Ladestromes jedesmal geändert und die Zeitdauer der einzelnen Ladungen immer vergrößert wurde. Nach jeder Ladung wurde das Element wieder entladen. Hatte die Zelle die höchste Leistungsfähigkeit erreicht, so wurde sie nur in einer Richtung geladen und entladen. Die Ladung wurde dann bei eintretender Gasentwicklung beendet; es hatte sich nunmehr an der einen Bleiplatte eine Schicht von Bleisuperoxyd und an der anderen eine Schicht von schwammigem Blei gebildet. Die Erzeugung der wirksamen Schichten auf die geschilderte Weise wird Formation genannt.

Der Planté-Akkumulator erwies sich zu praktischer Verwendung im großen Umfange aber doch nicht als geeignet, da die Formation der Bleiplatten über ein Jahr lang ausgedehnt werden mußte, um wirksame Schichten von genügender Stärke auf ihnen zu erzeugen, und die hierbei aufzuwendenden Stromkosten außerordentlich hoch waren. Auch war der Akkumulator im Verhältnis zu seiner Kapazität viel zu schwer.

Einen bedeutsamen Schritt zur weiteren Vervollkommnung des Akkumulators tat nun Camille Faure dadurch, daß er die Elektrodenplatten mit sauerstoffhaltigen Bleiverbindungen, wie Mennige oder Bleioxyd, bedeckte, die beim Laden in kurzer Zeit in Bleisuperoxyd bzw. schwammiges Blei übergeführt wurden. Die Platten wurden dann mit Filzstreifen bedeckt, um die Bleiverbindungen an den Elektroden festzuhalten und die Elektroden voneinander zu trennen. Für die Praxis erwies sich der Faure-Akkumulator, der in Deutschland durch das Patent 19 026 vom Jahre 1881 geschützt wurde, aber immer noch als unbrauchbar, da durch die Filzstreifen der innere Widerstand des Elementes unzu-

lässig erhöht wurde und trotz alledem die Filzstreifen einen dauernd festen Zusammenhang zwischen der wirksamen Masse und den Elektroden nicht herbeiführen konnten.

Der dem Faure-Akkumulator unzweifelhaft zukommende Vorzug der schnellen Formation gab die Veranlassung zur Konstruktion der Gitterplatten, und zwar wird Volckmar als der erste angesehen, der die Bleiverbindungen innerhalb einer gitterförmigen Platte anordnete. Das auf ein solches Gitter als Träger des aktiven Materials gerichtete deutsche Patent lautet bereits vom Jahre 1881. Dieses Gitter besteht aus sich kreuzenden Horizontal- und Vertikalstäbchen von sechseckigem Querschnitt, die mit Hilfe einer Metallform gegossen werden können (Fig. 7). In die Öffnungen des Gitters werden nun die mit Schwefelsäure, Glyzerinschwefelsäure und anderen Flüssigkeiten zu einem steifen Brei angerührten Bleioxyde hineingestrichen, worauf die auf diese Weise gepasteten Platten getrocknet und alsdann formiert werden. Die aktive Masse wird hierbei innerhalb des Gitters festgehalten. Das Gitter gewährt außerdem den Vorteil, daß durch dieses der elektrische Strom den einzelnen Massefeldern leicht zugeführt werden kann.

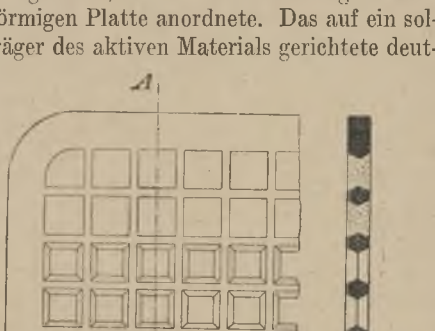

Fig. 7.

In Fig. 7 sind die beiden obersten Gitterreihen mit Füllmasse versehen dargestellt.

Die beim Faure-Akkumulator vorgesehenen porösen Scheidewände zwischen den Platten werden also bei den Gitterplatten entbehrlich. Damit war ein den praktischen Anforderungen entsprechender Akkumulator geschaffen, und zwar wird das Gitter von Volckmar auch jetzt noch sowohl für positive wie negative Platten verwendet.

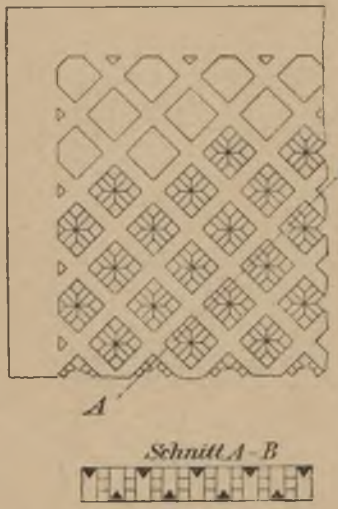

Fig. 8.

Die aus Fig. 7 ersichtliche konische Erweiterung der Gitterstäbe nach innen hat naturgemäß zur Folge, daß die einzelnen Masseblöckchen innen den kleinsten Querschnitt haben. Daher besteht die Gefahr, daß die Füllmasse, sei es infolge von Erschütterungen des Akkumulators, oder von Volumenveränderungen, denen die aktive Masse während der Ladungen und Entladungen unterworfen ist, in der Mitte reißt und die einzelnen Hälften zu beiden Seiten der Platte aus dem Gitter fallen.

Die Zahl der Gitter, die nach Volckmar zum Festhalten der Füllmasse konstruiert worden sind, ist außerordentlich groß. Viele von ihnen haben sich jedoch nach kurzer Dauer

als wertlos gezeigt oder sind erst gar nicht zu praktischer Verwendung gelangt.

Von denjenigen Gittern, die eine große Verbreitung erlangt hatten, sei das von Correns 1888 konstruierte hervorgehoben. Es besteht aus zwei Gittern, die gegeneinander versetzt angeordnet sind (Fig. 8). Das Eigentümliche des Correns-Gitters ist nun, daß es sich nicht, wie das Volckmar-Gitter, von außen nach innen erweitert, sondern verjüngt. Die Füllmasse wird daher im Correns-Gitter besser festgehalten als im Volckmar-Gitter. Allerdings wird vom Correns-Gitter ein größerer Teil der Oberfläche bedeckt, da hier die Gitterstäbe an der Plattenoberfläche am breitesten sind. Die versetzte Anordnung der Gitter hat weiter zur Folge, daß die Masse nicht aus einzelnen Blöcken, sondern aus einem einzigen zusammenhängenden Stück besteht.

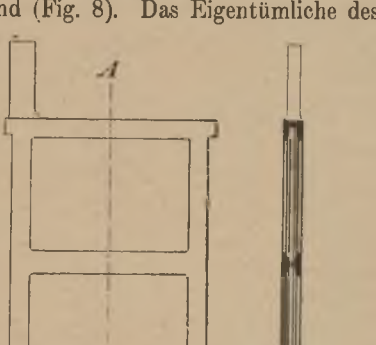

Fig. 9.

Der Gedanke, das Gewicht des Gitters möglichst zu verringern, führte zur Konstruktion der Rahmenplatte, auch Masseplatte genannt, die zuerst von Boese geschaffen wurde (Fig. 9). Diese Platte besteht aus einem einfachen viereckigen Rahmen aus Hartblei (Blei mit Zusatz von Antimon) von U-förmigem Querschnitt, innerhalb dessen der zusammenhängende Masseblock angeordnet ist. Da-

mit nun die Masse genügenden Halt in dem Rahmen hat, wurden den Bleioxyden bestimmte Zusätze beigemischt, die der Masse nach ihrer Formierung bei hinreichender Porosität eine gewisse Festigkeit gaben. Zu dem Zwecke wurden beispielsweise die Bleioxyde mit Lösungen von Teerdestillationsrückständen in Alkohol, Petroleumäther oder Benzol zu Platten geformt und diese nach dem Verdunsten des Lösungsmittels in verdünnte Schwefelsäure getaucht. Auf diese Weise konnten Platten bis 1 qdm Größe mit nur einem einzigen Masseblock hergestellt werden. Bei größeren Platten wurde der Rahmen in zwei oder vier Felder unterteilt. Die Fig. 9 zeigt beispielsweise eine Masseplatte mit zwei Feldern.

Diese Platten haben sich für tragbare Akkumulatoren, die mit geringen Stromstärken oder mit Unterbrechungen (s. S. 28) entladen werden, sehr gut bewährt. Sie werden namentlich für die positive Elektrode noch jetzt viel verwendet; nur werden die Massefelder neuerdings kleiner gemacht, so daß der Rahmen in eine größere Zahl von Feldern unterteilt ist. Für stärkere Lade- und Entladeströme sind die Masseplatten nicht geeignet, da die Stromzuführung zu dem aktiven Material durch den Rahmen zu gering ist.

Die erwähnten Träger für die aktive Masse sind sämtlich auf Gießformen hergestellt. Bei dem Akkumulator von de Khotinsky hingegen bestehen die Träger aus einzelnen hydraulisch gepreßten Bändern, die dann mit langen Bleistreifen zusammengelötet werden.

Einen von den vorstehenden Konstruktionen wesentlich abweichenden Akkumulator stellte de Kabath her. Er legte gerade und gewellte Bleistreifen abwechselnd aufeinander und schob diese in Bleischeiden, die an den schmalen Längsseiten offen und an den Breitseiten mit Löchern versehen waren. Die Streifen wurden dann mit der Scheide verlötet. Wegen der Durchlöcherung der Breitseiten konnte die

Säure an die Bleistreifen gelangen. De Kabath vergrößerte also die Leistung des Planté-Akkumulators nicht durch Anwendung von Füllmasse, sondern durch Erzeugung einer möglichst großen Oberfläche.

Eine Vereinigung des Plantéschen und Faureschen Systems schuf Tudor. Er verwendete Platten mit einem massiven Bleikern und parallelen Rippen zu beiden Seiten (Fig. 10). Auf diese Weise erreichte er eine große Oberfläche an den Platten. Die Tudor-Platte wurde später nur als positive Elektrode verwendet. Die Platten wurden zunächst nach dem Verfahren von Planté so lange formiert, bis die auf den Rippen gebildete Bleisuperoxydschicht etwa ¼ bis ⅓ der verlangten Kapazität besaß. Um jedoch die Kapazität noch weiter zu erhöhen, wurden dann die leeren Räume zwischen den Rippen noch mit Mennige angefüllt und die Platten danach kurze Zeit weiter formiert, so daß auch die Paste in Bleisuperoxyd verwandelt wurde. Fig. 10 zeigt im Querschnitt die zwischen den Längsrippen befindliche Masse.

Fig. 10.

Die Formation der Tudor-Platte dauerte zwar immer noch wesentlich länger als die der Gitter- und Rahmenplatten. Dafür ist aber das aktive Material viel inniger mit dem Träger verbunden als bei den letzteren, weil bei der Tudor-

platte die beiden Bleisuperoxydschichten fest aneinanderhaften und die unterste Schicht aus der Oberfläche des Trägers selbst gebildet ist. Der Hauptvorzug der Tudor-Platte gegenüber allen Gitter- und Rahmenplatten ist aber der folgende. Während bei den nach dem Faureschen Verfahren pastierten Gitterplatten die Kapazität immer geringer wird, wenn das Bleisuperoxyd während des Betriebes mehr und mehr aus dem Träger herausgespült wird, ist die positive Tudor-Platte selbst dann noch vollkommen gebrauchsfähig, wenn das zwischen den Rippen befindliche Bleisuperoxyd herausgeschwemmt ist, da sich an der Tudor-Platte durch die fortgesetzten Ladungen und Entladungen während des Betriebes die Bleisuperoxydschicht aus den zahlreichen Rippen weiter ergänzt hat. Die auf diese Weise erzeugte Superoxydschicht wird dann noch durch diejenigen Teile der zwischen den Rippen eingetragenen Paste verstärkt, die nicht herausgespült werden konnten, da sie mit der unteren aktiven Schicht inzwischen fest verwachsen waren. Die Tudor-Platte ist also nach einer solchen Betriebsdauer eine reine Planté-Platte geworden, während sie beim Inbetriebsetzen dem Planté- und Faure-Typus angehört. Ein weiterer Vorzug der Großoberflächenplatte gegenüber der pastierten Platte besteht darin, daß sie eben infolge ihrer größeren Oberfläche mit stärkeren Lade- und Entladeströmen beansprucht werden kann als diese.

Später ist es dann gelungen, an der Oberfläche der Tudor-Platte eine Superoxydschicht auch unter Fortfall der Paste zwischen den Rippen in kurzer Zeit durch Formation zu erzeugen. Eine beschleunigte Formation wird nämlich mit Hilfe von Essigsäure, Chlorsäure, Salzsäure, Überchlorsäure u. a. und deren Salzen erreicht. Bei einer solchen Formation dürfen aber nicht einmal Spuren des Formiersalzes in der Bleisuperoxydschicht zurückbleiben, da sonst auch während

des Betriebes die Formation mit unerwünschter Schnelligkeit fortschreitet und die Platten frühzeitig zerstört werden. Nach jahrelangen Versuchen ist es gelungen, positive Großoberflächenplatten ohne jede Füllmasse durch ein einwandfreies, abgekürztes Formierungsverfahren zu erzeugen.

Die Oberflächengestalt kann natürlich auf mannigfache Weise erzeugt werden. Ebenso wie die pastierten Platten werden auch die Großoberflächenplatten vorzugsweise gegossen.

Als Beispiel einer hydraulisch gepreßten Großoberflächenplatte möge die Fulmen-Platte genannt werden, die in ihrem Querschnitt der Tudor-Platte ähnlich ist.

Negative Großoberflächenplatten haben sich bisher nicht bewährt.

Verhalten der Platten im Betriebe.

Die negativen Platten haben die Eigenschaft, daß die Porosität des Bleischwammes während des Betriebes immer mehr abnimmt. Die aktive Masse schrumpft daher allmählich zusammen und wird immer härter. Man sagt, die Masse verbleit. Die Kapazität der negativen Elektrode läßt infolgedessen erheblich nach, da die Säure naturgemäß weniger leicht in das Innere des aktiven Materials gelangen kann. Auch lockert sich die Masse von dem Gitter, wodurch der Kontakt zwischen der Masse und dem Träger verschlechtert und die Kapazität noch weiter verringert wird.

Aus alledem geht hervor, daß negative Platten mit geschrumpfter Masse verbraucht sein können, auch wenn die Masse noch vollkommen in den Gittern enthalten ist.

Dem Sintern des Bleischwammes kann aber dadurch, daß man der aktiven Masse chemisch indifferente Körper, beispielsweise fein verteilte Kohle (Ruß), beimengt, entgegen-

gewirkt werden. Dadurch wird die Masse poröser und ihr Volumen vergrößert.

Die Lebensdauer der negativen Platten kann auch dadurch erhöht werden, daß man durch einen Überschuß an Masse diesen Platten eine höhere Kapazität gibt als den positiven Platten. Dieses Mittel ist deshalb zu empfehlen, weil die Kapazität der positiven Platten während der ersten Betriebszeit noch zunimmt, was bei den negativen Platten nicht der Fall ist.

Bei den positiven Platten sind Quellkörper nicht erforderlich. Das Volumen dieser Platten vergrößert sich nämlich im Betriebe von selbst, da fortgesetzt neues Bleisuperoxyd gebildet wird. Diese Erscheinung tritt namentlich bei den Großoberflächenplatten auf, ist aber unbedenklich, wenn den Elektrodenplatten sowie ihren einzelnen Teilen Gelegenheit gegeben ist, sich frei auszudehnen. Bei mangelhafter Konstruktion oder schlechtem Einbau der Platten in die Gefäße kann aber die Volumenveränderung leicht ein Krümmen oder Werfen der positiven Platten zur Folge haben. Dies kann sogar in so erheblichem Maße eintreten, daß u. U. eine Berührung mit den benachbarten negativen Platten und somit ein Kurzschluß im Element erfolgt. Durch einen derartigen Kurzschluß können sämtliche Platten in kurzer Zeit zerstört werden, wenn er nicht rechtzeitig beseitigt wird. Auch kann der Fall eintreten, daß infolge des Wachsens der positiven Platten die Gefäße verbogen oder gar gesprengt werden.

Anwendungsgebiete der einzelnen Plattenarten.

Kennzeichnung der einzelnen Plattenarten.

Wir haben bei der Entwicklung des Bleiakkumulators gesehen, daß sich drei verschiedene Arten von Platten heraus-

gebildet haben, nämlich Großoberflächen-, Gitter- und Rahmenplatten. Von diesen enthalten sowohl die Gitter- wie die Rahmenplatten Füllmasse; unter Masseplatten pflegt man aber im allgemeinen nur die Rahmenplatten zu verstehen.

Die Großoberflächenplatten werden, wie wir ferner sahen, ausschließlich für die positive Elektrode verwendet, die Gitter- und Rahmenplatten aber sowohl für die positive wie negative Elektrode. Es müssen also bei Akkumulatoren mit positiven Großoberflächenplatten für die negative Elektrode Platten mit Füllmasse genommen werden. Besteht aber die positive Elektrode aus Gitterplatten, so wird meist diese Plattenart auch für die negative Elektrode genommen.

Da jede Plattenart ihre besonderen Vorzüge und Nachteile hat, so hängt die Verwendbarkeit der einzelnen Plattenarten natürlich von den Anforderungen der verschiedenen Betriebe ab. Hierfür lassen sich feste Grundsätze freilich nicht aufstellen.

Anwendung der Großoberflächenplatten.

Im allgemeinen wird die positive Großoberflächenplatte für alle diejenigen Betriebe angewendet, bei denen eine längere Lebensdauer der Platten selbst bei täglicher Beanspruchung sowie eine große Widerstandsfähigkeit gegen hohe Stromstöße verlangt werden, oder bei denen nur kurze Lade- und Entladezeiten zur Verfügung stehen, während es weniger darauf ankommt, an Platz und Gewicht zu sparen. Die Großoberflächenplatte ist also besonders angebracht für ortsfeste Akkumulatorenanlagen. Aber auch zum Fortbewegen schwerer Fahrzeuge, z. B. Triebwagen für Eisenbahnen, sowie zur Eisenbahnwagenbeleuchtung wird meist die Großoberflächenplatte den anderen Plattenarten vorzuziehen sein. Hierbei verwendet man, um nicht gar zu viel Gewicht

mitzuschleppen, leichtere Konstruktionen als bei ortsfesten Batterien. Bei all den genannten Betrieben macht sich die Selbstentladung der Großoberflächenplatte kaum störend bemerkbar, da die Entladungen meist nur von kürzerer Daue sind, jedenfalls über mehrere Tage hinaus sich in der Regel nicht erstrecken.

Anwendung der Gitterplatten.

Die Gitterplatte herrscht vor in Betrieben, die einen möglichst leichten Akkumulator verlangen, der dabei auch möglichst wenig Raum in Anspruch nehmen darf, und in denen zugleich hohe Beanspruchungen verlangt werden. Beispielsweise werden zum Antrieb von elektrischen Kraftfahrzeugen Akkumulatorenbatterien mit Gitterplatten genommen. Natürlich ist auch hierbei eine möglichst lange Lebensdauer der Platten erwünscht, die aber bei den Gitterplatten nicht in dem Maße erreicht wird wie bei Großoberflächenplatten. Die Anforderungen an geringes Gewicht und geringen Platzbedarf sind aber hier so dringend, daß eine kürzere Lebensdauer in Kauf genommen werden muß.

Außerdem empfiehlt es sich, für tragbare Akkumulatoren überall da Gitterplatten zu nehmen, wo die Entladung in kürzerer Zeit als etwa 5 bis 6 Stunden erfolgen muß und für die Ladung eine Zeit von etwa 10 Stunden nicht zur Verfügung steht. Die Selbstentladung der Gitterplatten ist übrigens geringer als die der Großoberflächenplatten, aber höher als die der Rahmenplatten.

Anwendung der Rahmenplatten.

Die Rahmenplatte (Masseplatte) wird jetzt nur noch für tragbare Akkumulatoren, z. B. für Handlampen, Notbeleuchtung, als Ersatz für Primärelemente usw. angewendet, und zwar dann, wenn mindestens 10 Stunden zur

Ladezeit verfügbar sind. Der besondere Vorteil der Masseplatte, nämlich die Zunahme ihrer Kapazität bei langsamer Entladungen und bei Entladungen mit Unterbrechungen kommt bei den erwähnten Anwendungsgebieten ganz besonders zur Geltung. Häufig vereinigt man in diesen tragbaren Akkumulatoren positive Masse- mit negativen Gitterplatten.

Eine besondere Art der Masseplatten, die sog. Kastenplatte, ist im nächsten Kapitel näher beschrieben (s. S. 46).

Neuere Konstruktionen von Akkumulatorenplatten.

Akkumulatorenplatten der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin.

Die positive Großoberflächenplatte dieser Firma ist durch Verbesserung und weitere Fortbildung der alten Tudor-Platte entstanden. Diese letztere bestand, wie wir gesehen haben, aus einem massiven Bleikern mit horizontalen Rippen, zwischen denen die Füllmasse eingetragen war. War nun während des Betriebes die Füllmasse aus den Rippen herausgespült worden, dann bildeten die Rippen allein die wirksame Oberfläche. Nun wird aber mit der Zeit neues Bleisuperoxyd aus dem metallischen Blei der Rippen erzeugt, während das an der äußeren Oberfläche anhaftende Bleisuperoxyd sich allmählich ablöst und sich als unwirksame Masse am Boden der Gefäße ansammelt. Es ist also einleuchtend, daß die Lebensdauer der Rippenplatten von der Menge des die Rippen enthaltenden Bleies abhängig ist. Der massive Bleikern hingegen kann zur Bildung von aktivem Material nicht herangezogen werden und dient nur zum mechanischen Zusammenhalten der Rippen sowie zur Stromführung für diese. Da es nun aber vor allem darauf ankommt, für ein bestimmtes Plattengewicht eine möglichst große,

wirksame Oberfläche zu schaffen, so mußte der bei dem elektrochemischen Prozeß unwirksame Bleikern beseitigt werden. Nachdem ferner die Gießtechnik so weit vorgeschritten war, daß es gelang, Bleiplatten ohne Kern zu gießen, schuf die Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft die in den Fig. 11 und 12 dargestellte Großoberflächenplatte.

An Stelle des Bleikerns werden nun die Längsrippen *a*, *b* durch Querrippen *c*, *d*, die in größeren Abständen angeordnet sind, zusammengehalten. Zur weiteren Versteifung der Platte ist diese mit einigen kräftigeren Längsrippen durchzogen, die zum einen Teil die gleiche Höhe haben wie die feinen Längsrippen, zum andern Teil etwas von der Oberfläche zurückstehen, wie es der Querschnitt der Fig. 11 zeigt.

Die geschilderte Großoberflächenplatte hat eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Volckmarschen Gitter insofern, als beide Platten aus Längs- und Querrippen bestehen, die sich untereinander kreuzen. Die Platte der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft unterscheidet sich aber von dem letzteren Gitter grundsätzlich dadurch, daß bei ihr irgendwelche Füllmasse nicht eingetragen wird, das Gitter von Volckmar aber gerade zum Festhalten und zur Aufnahme der Füllmasse bestimmt ist. Von einer sog. großen Oberfläche kann daher auch bei dem Volckmarschen Gitter nicht die Rede sein, während die in Fig. 11 und 12 dargestellte Platte eine Oberfläche besitzt, die den achtfachen Betrag der glatten Fläche aufweist. Die Beanspruchung in bezug auf Flächeneinheit ist also bei dieser Platte nur gering, selbst wenn man annimmt, daß die inneren Teile der Großoberfläche nicht in dem gleichen Maße zur Stromarbeit herangezogen worden wie die äußeren.

An die oberen Ecken der Platten sind noch Ansätze angegossen, die als „Fahnen“ bezeichnet werden und zum Aufhängen der Platten beim Einbau in die Gefäße dienen. Die

eine von diesen Fahnen trägt einen senkrechten Fortsatz, um die Verbindung mit den benachbarten Platten durch eine gemeinsame Bleileiste zu ermöglichen. Außerdem ist die Platte an dieser Seite oben zwecks besserer Stromzuführung und Haltbarkeit noch besonders verstärkt.

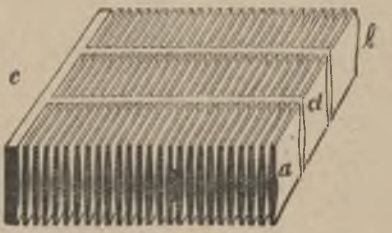

Fig. 11.

Die beschriebene positive Großoberflächenplatte wird hauptsächlich für ortsfeste Akkumulatorenanlagen angewendet.

Fig. 12.

Die Großoberflächenplatten werden in der Regel als negativ formierte Platten geliefert, so daß an ihrer Oberfläche nicht eine aktive Schicht von Bleisuperoxyd, sondern von Bleischwamm gebildet ist. Die Farbe dieser Platten ist demgemäß nicht braun, sondern grau. Die Umwandlung der Bleischwammschicht in eine Bleisuperoxydschicht erfolgt dann bei der ersten Ladung der Batterie, die längere Zeit in Anspruch nimmt als die späteren Ladungen im regelmäßigen

Betriebe. Dieses Verfahren kann deshalb angewendet werden, weil eine längere erstmalige Ladung bei Inbetriebsetzung der Batterie auch bei fertig formierten Platten notwendig ist.

Die zugehörige negative Elektrode ist eine Masseplatte, deren Träger kastenartig ausgebildet ist (Fig. 13 und 14).

Fig. 13.

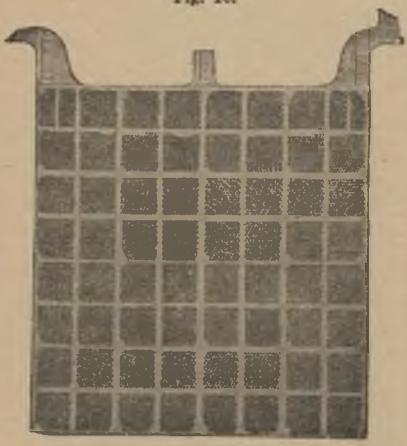

Fig. 14.

Die aktive Masse ist mit chemisch indifferenten Körpern vermischt, die ein Aufquellen der Masse im Betriebe bewirken (s. S. 39). Infolgedessen durfte ein offenes Gitter als Träger der Masse nicht genommen werden, da hierbei die Masse aus dem Gitter wächst, herausfällt und sich auf dem Boden der Gefäße nutzlos ansammelt. Die Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft wendet nun eine sog. Kastenplatte an. Diese besteht aus zwei rahmenartigen Gebilden, die außen durch je ein dünnes, durchlöchertes Bleiblech abgedeckt sind. Das Bleiblech wird in die Gießform für den Rahmen so eingelegt, daß es mit dem gegossenen Rahmen ein zusammenhängendes Stück bildet. Außerdem werden

Massepastillen geformt, die kleiner sind als die freien Öffnungen des Rahmens. Diese Massepastillen werden dann in die eine Rahmenhälfte hineingelegt, danach wird die andere Rahmenhälfte nebst dem Bleiblech aufgelegt, und zum Schluß werden beide Teile durch Nieten oder Löten miteinander verbunden. Die Platte ist nunmehr fertig zum Versand, da sie in unformiertem Zustande die Fabrik verläßt.

Die negative Platte besitzt bereits am Ende der ersten Ladung die erforderliche Kapazität.

Ebenso wie die zugehörige positive Großoberflächenplatte ist natürlich auch die negative Kastenplatte mit Fahnen zum Aufhängen der Platte sowie mit einem Ansatz für die Bleileiste versehen.

Die Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft verwendet neuerdings auch bei Batterien für elektrische Kraftwagen eine negative Kastenplatte, die jedoch dünner ist als diejenige für ortsfeste Batterien.

Akkumulatorenplatten von Gottfried Hagen in Kalk bei Köln.

Gottfried Hagen verwendet für ortsfeste Batterien zwei verschiedene Plattenarten, nämlich die ältere Type HD und eine neuere Type HGO.

Die positive Elektrode der älteren Type ist eine mit aktiver Masse beschickte Großoberflächenplatte. Die Oberfläche dieser Platte wird durch ein Gitter gebildet, das aus einer großen Anzahl von Vertikalstäben besteht, die durch Horizontalstäbe von geringerer Anzahl zusammengehalten werden. Beide Arten von Gitterstäben haben sechseckigen Querschnitt dergestalt, daß die Stäbe in der Mitte der Platte am dicksten und an den beiden Außenflächen am dünnsten sind. Fig. 15 zeigt ein Stück einer Großoberflächenplatte in Ansicht mit Füllmasse, sowie im Längs- und

Querschnitt ohne Füllmasse. Die Platte hat also eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Volckmarschen Gitter; nur sind die Vertikalstäbe erheblich enger aneinander gerückt. Bei einer Dicke des Gitters von etwa 7 mm wird eine 4½fache Oberflächenentwicklung erzielt. Dabei sind di Horizontalrippen 10 mm und die Vertikalrippen 1,7 mm voneinande ntfernt. Von der alten Tudorplatte unterscheidet sich die positive Platte von Gottfried Hagen vor allem dadurch, daß die engen

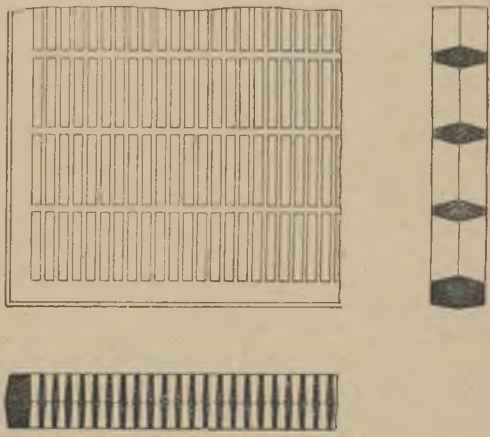

Fig. 15.

Rippen nicht durch einen massiven Bleikern, sondern durch Querrippen zusammengehalten werden.

Die negative Elektrode für ortsfeste Batterien ist eine mit Masse gefüllte Gitterplatte (Fig. 16). Das Gitter ist aus Vertikal- und Horizontalrippen gebildet. Die ersteren haben einen sechseckigen Querschnitt, ähnlich den Rippen bei der positiven Großoberflächenplatte. Die Rippen sind

also ebenfalls in der Mitte am dicksten und verjüngen sich nach den Außenflächen hin. Auch der Querschnitt der Horizontalrippen erweitert sich nach innen und erreicht in der Mitte die größte Stärke. Die Rippen sind aber nach der anderen Seite hin nicht weitergeführt und hören in der Mitte auf; die Horizontalrippen erreichen dabei immer abwechselnd die eine oder andere Oberfläche der Platte.

Bei dem auf diese Weise gebildeten Gitter wird daher die aktive Masse durch die Vertikalrippen in voneinander vollständig unabhängige Streifen zerlegt, während dadurch, daß die Horizontalrippen nur halb ausgebildet sind, die Masseteilchen in einem jeden Streifen ein zusammenhängendes Stück bilden. Das beschriebene Gitter steht also hinsichtlich der Zerteilung der Masse zwischen den Gittern von Volckmar und Correns; denn bei dem Volckmarschen Gitter wurde die Masse in lauter einzelne und voneinander unabhängige Masseblöckchen zerlegt, während bei dem Gitter von Correns die ganze Masse ein zusammenhängendes Stück bildet.

Fig. 16.

Die negative Platte von Gottfried Hagen ist 4 mm stark. Die Querrippen haben einen Abstand von 16 mm, die Längs-

rippen einen von 8 mm. Da nun bei der mit Masse gefüllten Platte auf jeder Seite nur die eine Hälfte der Querrippen sichtbar ist, so sind auf der Außenfläche immer Felder von 16 mm Höhe und 8 mm Breite sichtbar.

Der aktiven Masse der negativen Platte sind Stoffe zugesetzt, die ein Auflockern der Bleisalze zur Folge haben und daher dem Sintern der aktiven Masse entgegenwirken.

Die beschriebenen HD-Platten erreichen die garantierte Kapazität erst nach einer größeren Zahl von Entladungen, während die HGO-Platten gleich nach der ersten Ladung ihre volle Leistung besitzen.

Die positive HGO-Platte ist eine reine Großoberflächenplatte ohne jede Füllmasse, deren Konstruktion derjenigen der positiven HD-Platte (Fig. 15) entspricht. Das Gitter der positiven HGO-Platte ist jedoch kräftiger ausgebildet. Die wagerechten Rippen haben einen Abstand von nur 8 mm und die senkrechten Rippen einen von 1,3 mm bei einer Dicke der Platte von 10 mm.

Die zugehörige negative Platte hat gleichfalls ein Gitter wie das der negativen HD-Platte (Fig. 16), jedoch von 5 mm Dicke.

Für Automobilbatterien gibt Gottfried Hagen den positiven und negativen Platten das gleiche Gitter. Dieses ist nur 2,5 mm dick, gleicht aber sonst im wesentlichen dem für die negativen Platten der ortsfesten Batterien angewendeten Gitter, wie es in Fig. 16 dargestellt ist. Auch der Abstand der Gitterstäbe voneinander ist derselbe wie bei der zuletzt beschriebenen negativen Gitterplatte. Die aktive Masse der negativen Platte ist dabei gleichfalls mit Treibmitteln versetzt.

Einbau der Akkumulatorenplatten in die Gefäße.

Einbau für ortsfeste Akkumulatoren.

Bei ortsfesten Akkumulatorenanlagen werden die Akkumulatorenplatten bis zu einer gewissen Zellengröße in Gefäße aus Glas eingebaut. Glas ist von allen säurebeständigen Materialien das billigste und ermöglicht wegen seiner Durchsichtigkeit eine bequeme Beobachtung der Platten nebst ihren Isolier- und Haltevorrichtungen. Da bei ortsfesten Batterien keine Erschütterungen vorkommen, so treten Gefäßbrüche bei sorgfältiger Aufstellung der Glasgefäße selten ein. Größere Zellengefäße werden aus Holzkästen hergestellt, die säurebeständig gestrichen und innen mit Bleiblech ausgeschlagen sind.

Die Platten werden in die Gefäße derart eingebaut, daß immer einer negativen Platte eine positive folgt, dieser wiederum eine negative usf., wobei die Endplatten stets negative sind. Das letztere geschieht deshalb, weil nur einseitig arbeitende positive Platten sich leicht werfen. Auf diese Weise enthält jedes Element von den negativen Platten immer eine mehr als von den positiven.

Die positiven Platten sind untereinander durch eine gemeinsame Bleileiste verbunden, ebenso die negativen Platten.

Beim Einbau der Platten ist vor allem darauf zu achten, daß sie sorgfältig gegeneinander isoliert sind, und daß Masseteilchen, die während des Betriebes aus den Platten etwa herausfallen oder herausgespült werden, keine Möglichkeit haben, sich zwischen den Platten abzulagern, da sonst durch die herausgefallenen Masseteilchen leicht eine leitende Verbindung zwischen den benachbarten Platten hergestellt werden kann. Ein solcher „Kurzschluß" im Innern des Elementes hat zur Folge, daß bei der Ladung der Akkumulatoren-

batterie ein Teil des Ladestromes durch die leitenden Masseteilchen geht, welche die benachbarten Platten überbrücken. Die mit einem solchen Kurzschluß behafteten Elemente werden daher nicht so vollständig geladen wie die noch guten Elemente. Bei der Entladung der Batterie aber werden die Elemente mit Kurzschluß schneller entladen als die übrigen, weil die den Kurzschluß herbeiführenden Masseteilchen den elektrischen Strom zwischen den benachbarten positiven und negativen Platten leiten. Die Spannung dieser Zellen sinkt infolgedessen weit unter den zulässigen Betrag herab. Um daher die Bildung von Kurzschlüssen im Element zu vermeiden, werden die Platten nicht innerhalb des Gefäßes aufgestellt, sondern mittels der an ihnen angebrachten Fahnen aufgehängt. Beim Einbau der Platten in Glasgefäße werden sie am besten auf den Rand der Gefäße gehängt und beim Einbau in Holzkästen mit ausgeschlagenem Bleiblech auf besondere Glasscheiben, sog. Stützscheiben. Die Unterstützungsstellen sind in dem letzteren Falle so hoch anzuordnen, daß sie sich oberhalb des Säurespiegels befinden. Bei Glasgefäßen ergibt sich diese Forderung bereits von selbst. Außerdem müssen die Platten so hoch hängen, daß der am Boden der Gefäße angesammelte Masseschlamm niemals bis an die Unterkante der Platten heranreichen kann, da sonst ebenfalls Kurzschluß herbeigeführt wird. Beim Einbau der Platten muß auch der Volumenvergrößerung der positiven Platten im späteren Betriebe Rechnung getragen werden. Daher sind diese Platten so frei aufzuhängen, daß sie nach den Seiten und nach unten Spielraum zum Wachsen haben.

In früheren Jahren ist viel gegen diese jetzt selbstverständlich erscheinenden Bedingungen gefehlt worden, wie auch die vorhandene Literatur über den Bleiakkumulator an älteren Konstruktionen zeigt.

Den von der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin angewendeten Einbau in Glasgefäße veranschaulicht Fig. 17.

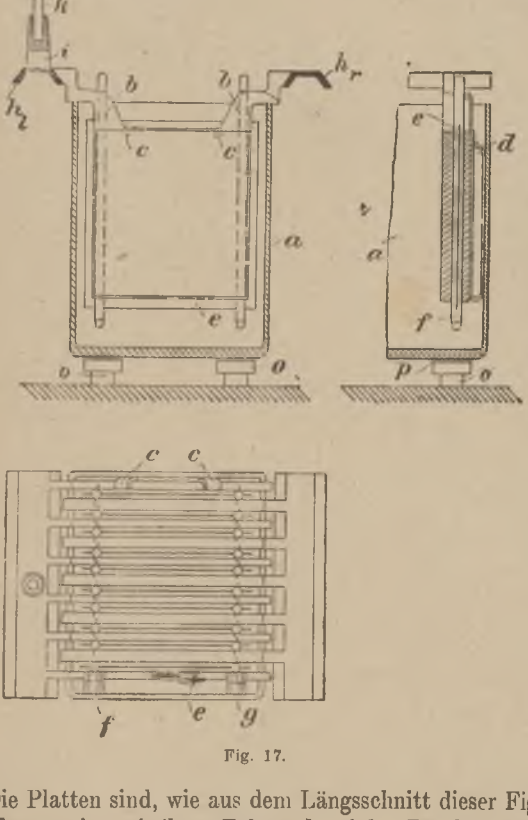

Fig. 17.

Die Platten sind, wie aus dem Längsschnitt dieser Figur zu erkennen ist, mit ihren Fahnen *b* auf den Rand des Glas-

gefäßes *a* gehängt, und zwar abwechselnd immer eine positive und negative Platte nebeneinander. An den Enden befindet sich stets eine negative Platte, die aber beide nur halb so stark sind wie die übrigen negativen, da sie nur mit einer Fläche arbeiten. Die Platten müssen natürlich genau senkrecht hängen. Da aber die Glasgefäße oben weiter als unten sind, so werden zwischen die Oberkante der zuerst eingebauten Endplatte und die Gefäßwand in die Ecken der Fahnen Gummistücke *c* geklemmt. Die andere Endplatte wird gegen die Gefäßwand durch Bleibügel *d* abgestützt, die auf die Fahnen gehängt werden. Durch diese Bleibügel wird eine gewisse Nachgiebigkeit in Richtung senkrecht zur Plattenebene herbeigeführt.

Die Isolation und Abstützung der Platten gegeneinander geschah früher durch Glasrohre. Seit einer Reihe von Jahren ist jedoch der Einbau der Glasrohre bei ortsfesten Batterien verlassen worden. Es werden statt dessen Holzbrettchen *e* von etwa 1,5 mm Dicke zwischen die Platten eingefügt und durch geschlitzte runde Holzstäbe *f* in der Mitte zwischen den Platten gehalten. Die Stäbe *f* haben oben eine kleine Durchbohrung, in die ein Hartgummistift *g* gesteckt wird. Mit diesem werden sie an den Plattenfahnen aufgehängt (Fig. 17).

Die Brettchen werden durch Auskochen mit Natronlauge oder Schwefelsäure und sorgfältiges Auswaschen mit Wasser von den auf die Platten schädlich einwirkenden Bestandteilen des Holzes befreit. Sie ragen an allen Seiten über die Platte hinaus und verhindern daher den für die Elemente so gefährlichen Kurzschluß, da aus den Platten etwa herausfallende wirksame Masse keine leitende Verbindung zwischen den benachbarten Platten herstellen kann, und selbst bei etwa eintretender Krümmung der Platten durch die dazwischen befindlichen Brettchen eine Berührung der Platten

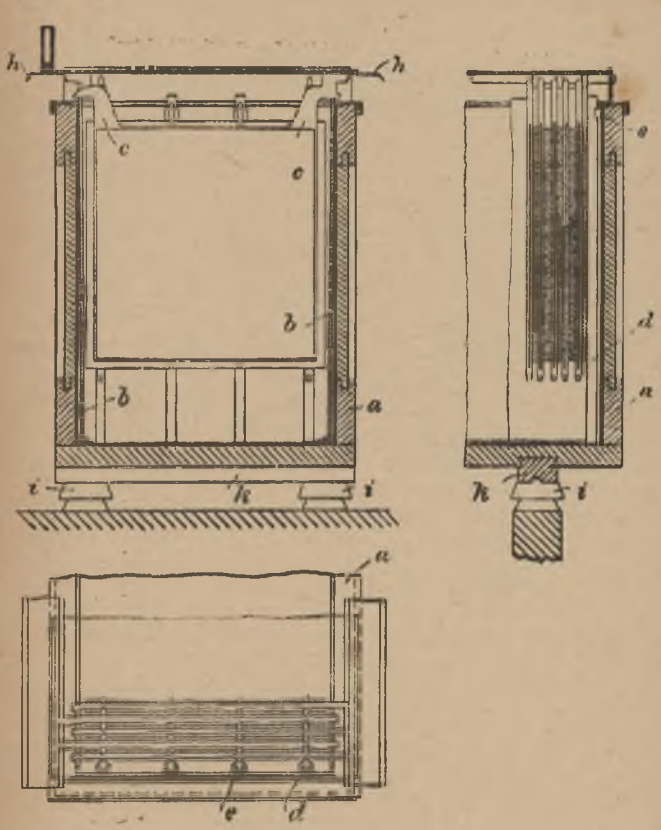

Fig. 18.

verhindert wird. Die in den Brettchen enthaltenen Stoffe üben zugleich auf die Lebensdauer der negativen Platten einen günstigen Einfluß aus.

Die positiven Platten sind an die rechte Bleileiste h^r, und die negativen an die linke Bleileiste h^l angeschlossen. Diese trägt in der Mitte einen Polschuh i zur Aufnahme des Leitungsdrahtes k.

Mitunter werden die Glasgefäße noch mit Glasscheiben abgedeckt. Dies hat den Zweck, die Säureteilchen zurückzuhalten die von den gegen Ende der Ladung entwickelten Gasen mitgerissen werden. Die Säureteilchen schlagen sich dann an der unteren Seite der Deckscheiben nieder und tropfen in das Gefäß zurück. Auf diese Weise wird einmal an Nachfüllflüssigkeit gespart, und außerdem die zerstörende Wirkung, welche die Säuredämpfe auf die Wände und die Decke des Raumes, sowie auf die Leitungen und sonstigen Gegenstände im Raume ausüben, verringert. Auch werden die den Akkumulatorenraum während des Ladens betretenden Personen weniger durch die Säuredünste belästigt. Die aus Rohglas bestehenden Deckscheiben werden auf die Plattenfahnen zwischen die Holzstäbe gelegt. Die Glasgefäße ruhen mittels Isolatoren o auf den Tragbalken des Gestells. Um die Gefäße vollkommen wagerecht aufstellen zu können, werden etwaige Ungleichheiten durch Bleischeiben p von verschiedener Dicke ausgeglichen, die auf die Isolatoren gelegt werden.

Der von der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin angewendete Einbau in mit Blei ausgeschlagene Holzkasten ist in Fig. 18 veranschaulicht. Die Holzkasten a werden derart mit dem Bleiblech ausgekleidet, daß die Blechtafeln an den beiden Längskanten des Bodens überlappt werden. Auf die so gebildete doppelte Naht werden die Stützscheiben b gestellt. Der doppelte Rand des Bleiausschlages ist noch an mehreren Stellen ausgeschnitten und aufgerollt. Die Platten sind nun mit ihren Fahnen c auf die Stützscheiben gehängt. Die Endplatten berühren aber nicht wie bei dem Einbau in Glasgefäße unmittelbar die

Kastenwände, sondern sind von ihnen durch Glasrohre *d* isoliert, um eine leitende Verbindung zwischen dem negativen Plattensatz und dem Bleiausschlag zu verhüten. Da auch die Kasten sich nach oben konisch erweitern, sind etwas unterhalb des Kastenrandes Gummipuffer *e* zwischen Kasten *a* und Glasrohr *d* eingefügt. Fig. 19 zeigt die Abstützung und Isolierung der Endplatten gegen das Innere der Kastenwand in größerem Maßstabe. Die Endplatten erhalten zur Führung der Glasrohre entsprechende Rippen *r*.

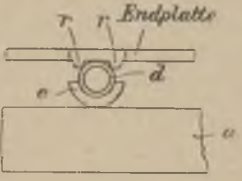

Fig. 19.

Die Platten sind untereinander in gleicher Weise wie beim Einbau in Glasgefäße durch Holzbrettchen und Holzstäbe isoliert. Werden die Holzkasten nicht voll ausgebaut, dann werden die Endplatten auf der anderen Seite durch Bleibügel gegen die Kastenwände abgestützt, allerdings unter Vermittlung von Glasrohren. Bei voll ausgebauten Holzkasten werden hingegen beide Endplatten nach Fig. 18 und 19 eingebaut.

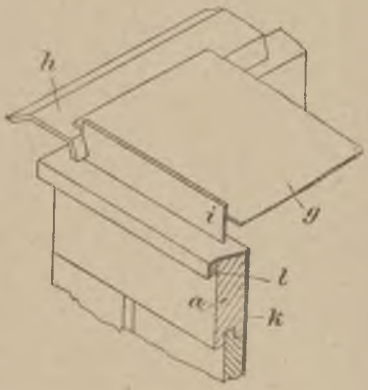

Fig. 20.

Auch die Holzkasten *a* werden häufig mit Glasscheiben *g* abgedeckt, die auf die Bleileisten *h* gelegt werden. Hierbei werden die Zellen noch durch einen aufrechtstehenden Glas-

streifen *i* auf der der Bedienungsseite gegenüberliegenden Seite abgeschlossen. Diese Seitenscheiben stehen auf dem oberen Kastenrande und werden in Einschnitten, die an den Bleileisten angebracht sind, gehalten (Fig. 20).

Das Bleiblech *k* wird über den oberen Kastenrand hinweggeführt und nach unten über eine schmale Holzleiste *l* umgebördelt, um die sich niederschlagende Säure von den Holzwänden des Kastens fernzuhalten.

Die Isolatoren *i* (Fig. 18) greifen mit Zapfen in entsprechende Löcher der Kastenleisten *k*. Zum Ausrichten der Kasten dienen Bleischeiben von verschiedener Stärke, die unter die Isolatoren gelegt werden.

Die Säure muß am Ende der Ladung das spez. Gewicht 1,2 haben.

Die näheren Angaben über Leistungen, Abmessungen und Gewichte der von der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin gelieferten ortsfesten Batterien sind aus nachstehenden Tabellen ersichtlich.

Einbau für Traktions- und tragbare Akkumulatoren.

Für tragbare Akkumulatoren werden mit Bleiblech ausgeschlagene Holzkasten im allgemeinen nicht genommen, da sie zu schwer sind; statt dessen werden Gefäße aus Hartgummi, Zelluloid oder Glas angewendet. Glasgefäße sind natürlich überall da, wo der Akkumulator Erschütterungen ausgesetzt ist, ausgeschlossen. Für solche Fälle aber, in denen der Akkumulator nur zum Laden von seinem Platze entfernt wird und sonst ungefährdet stehen bleiben kann, z. B. für medizinische Zwecke, Laboratorien, als Ersatz für Primärelemente usw., ist der Einbau in Glasgefäße unbedenklich. Diese haben dann vor den Zelluloid- und Hartgummigefäßen den Vorteil, daß das Innere des Gefäßes am besten

Akkumulatoren für 3- bis 10stündige Entladung in Glasgefäßen.

Type	Garantierte Kapazität in Ampere-Stunden	Höchstzulässige Stromstärke in Ampere bei Ladung	Höchstzulässige Stromstärke in Ampere bei Entladung	Außenmaße d. Gefäße i. mm lang, breit, hoch (mit Isol.)	Gewicht ohne Säure, mit Säure kg
J 1	27	9	9	80	8,5
	30		6	215	13,2
	33		4,5	295	
	36		3,5		
J 2	54	18	18	130	14
	60		12	215	21,7
	66		9	295	
	73		7,5		
J 3	81	27	27	180	18,5
	90		18	215	29,1
	99		13,5	295	
	109		11		
J 4	108	36	36	215	24
	120		24	230	37
	133		17,5	295	
	145		14,5		
J 5	135	45	45	215	28
	150		30	230	40,4
	166		22	295	
	181		18		
J 6	162	54	54	215	32
	180		36	165	49,1
	199		26,5	530	
	218		22		
J 8	216	72	72	215	42
	240		48	200	61,5
	265		35,5	530	
	290		29		
J 10	270	90	90	215	50
	300		60	240	73
	331		44	530	
	363		36,5		

u. s. f. bis Type J 28.

Akkumulatoren für 3- bis 10stündige Entladung in mit Blei ausgeschlagenen Holzkasten.

Type	Garantierte Kapazität in Ampere-Stunden	Höchstzulässige Stromstärke in Ampere bei Ladung	Höchstzulässige Stromstärke in Ampere bei Entladung	Außenmaße d. Gefäße i. mm lang, breit, hoch (mit Isol.)	Gewicht ohne Säure, mit Säure kg
J 24	648	216	216	455	137
	720		144	325	200
	795		106	635	
	870		87		
J 28	756	252	252	455	157
	840		168	360	227
	928		124	635	
	1015		102		
J 32	864	288	288	455	177
	960		192	395	254
	1060		141	635	
	1160		116		
J 36	972	324	324	455	196
	1080		216	435	281
	1193		159	635	
	1305		131		
J 40	1080	360	360	465	214
	1200		240	480	306
	1325		177	635	
	1450		145		
J 44	1188	396	396	465	234
	1320		264	515	333
	1458		194	635	
	1595		160		
J 48	1296	432	432	465	253
	1440		288	555	362
	1590		212	640	
	1741		174		
J 52	1404	468	468	465	272
	1560		312	590	388
	1723		230	640	
	1886		189		

u. s. f. bis Type J 564 mit einer Kapazität von 15228 Amp. Stdn. bei 5076 Amp. Lade- und Entladestrom. Die Typen J 24 und J 28 werden auch in Glasgefäßen geliefert.

beobachtet werden kann. Bei Anwendung von Glasgefäßen kann man daher am leichtesten prüfen, ob die Gasentwicklung beim Laden in normaler Weise auftritt, ob die Platten sich nicht gekrümmt haben oder etwa Masseteilchen aus

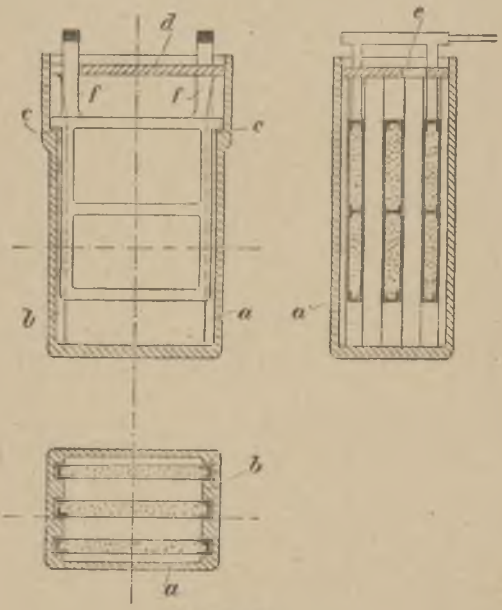

Fig. 21.

ihnen herausgefallen sind, ob genügend Säure in dem Gefäße ist u. a. m. Auch sind Glasgefäße billiger als Gefäße aus Zelluloid oder Hartgummi.

Sehr beliebt ist für tragbare Akkumulatoren der Einbau der Platten in Rippenglasgefäße.

Die Glasgefäße *a* sind hierbei mit festen Rippen *b* versehen, die mit ihnen aus einem Stück bestehen (Fig. 21). Außerdem besitzen die Glasgefäße zwischen diesen Rippen gleich ein Auflager *c* zum Aufhängen der Platten. Infolge dieser Einrichtung sind besondere Mittel zum Aufhängen der Platten oder zu ihrer Isolierung gegeneinander entbehrlich. Die Platten sind dann in den durch die Rippen gebildeten Nuten geführt. Die Rippen dienen auch noch als Auflager für den Deckel *d* des Gefäßes. In Fig. 21 sind in ein solches Rippenglasgefäß Rahmenplatten eingebaut gezeichnet, die je zwei Massefelder besitzen. Die Platten haben zu beiden Seiten nur wenig Spielraum gegen die Gefäßwände, während bei dem Einbau für ortsfeste Akkumulatoren, wie ihn die Fig. 17 und 18 zeigen, reichlich Spielraum vorgesehen ist. Der enge Einbau der Platten nach Fig. 21 ist aber bei Verwendung von Rahmenplatten unbedenklich, da die positiven Platten dieser Art, deren Masseblöcke von einem Hartbleirahmen festgehalten werden, nur eine geringe Volumenvergrößerung erfahren.

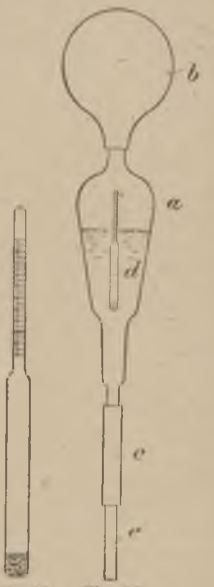

Fig. 22. Fig. 23.

Der Deckel *d* ist mit einer Öffnung *e* versehen, die aus dem Längsschnitt erkennbar ist. Diese Öffnung dient zum Nachfüllen von Säure oder destilliertem Wasser sowie zum Einführen eines Säuremessers (Aräometers). Zu dem Zwecke ist die Öffnung nicht in der Mitte des Deckels angebracht, sondern etwas seitlich, so daß der Säuremesser zwischen die Platten eingeführt werden kann.

Der Säuremesser besteht aus einem Hohlkörper von Glas, der unten mit festgekitteten Bleikörnchen gefüllt ist. Infolgedessen schwebt er in senkrechter Stellung in der zu untersuchenden Flüssigkeit. An einer Skala am oberen Ende des Glases kann das spez. Gewicht der Flüssigkeit abgelesen werden (Fig. 22).

Bei dem in Fig. 21 dargestellten Einbau ist es möglich, den Deckel abzuheben und an die Platten zu gelangen. Beim Tragen des Akkumulators kann aber leicht durch die Füllöffnung *e* und die zum Durchführen der Plattenfahnen *f* dienenden Löcher des Deckels Säure überschwippen. Daher wird meistens die Füllöffnung *e* durch einen Gummipfropfen verschlossen, der aber mit Rücksicht auf die von dem Akkumulator entwickelten Gase nicht vollständig abdichten darf. Der Gummipfropfen hat infolgedessen in der Mitte ein Loch zur Aufnahme eines Glasröhrchens, dessen Erweiterung oben einige feine Öffnungen aufweist (Fig. 25). Bei Erschütterungen, denen der Akkumulator ausgesetzt ist, können durch diese feinen Öffnungen nur geringe Spuren von Säure austreten; dabei genügen diese Öffnungen zum Entweichen der beim Entladen sich entwickelnden Gase. Beim Laden des Akkumulators müssen hingegen die Gummipfropfen mit den Glasröhrchen wegen der hierbei auftretenden starken Gasentwicklung entfernt werden.

Zum Abdichten der Plattenfahnen gegen den Deckel (Fig. 21) pflegt man die ganze obere Fläche des Deckels mit einer Teermasse zu vergießen.

Wenn es bei tragbaren Akkumulatoren nicht möglich ist, einen Säuremesser nach Art der Fig. 22 zwischen die Platten einzufügen, so kann das spez. Gewicht der Säure mit dem in Fig. 23 dargestellten Hebersäuremesser untersucht werden. Dieser besteht aus einem Glasgehäuse *a*, an dessen oberes Ende ein Gummiball *b* und an dessen unteres Ende ein

Gummischlauch *c* angeschlossen ist. In dem Glasgehäuse *a* befindet sich der eigentliche Säuremesser *d*. Führt man das untere Ende des Gummischlauches oder besser noch ein in dieses gestecktes Glasrohr *e* in das Innere des Akkumulators ein, nachdem man zuvor auf den Ball gedrückt hat, dann wird die Flüssigkeit aus dem Akkumulator in das Glasgehäuse angesaugt und der Säuremesser kann in diesem frei schwimmen.

Der Hebersäuremesser kann auch zum Nachfüllen von Schwefelsäure oder destilliertem Wasser sowie überhaupt zur Regelung des Säurestandes benutzt werden.

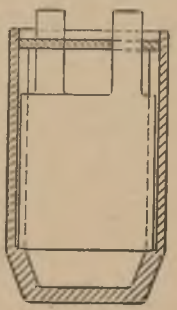

Fig. 24.

Bei dem in Fig. 21 dargestellten Einbau der Platten in Rippenglasgefäße sind die Platten mit ihren am oberen Ende angegossenen Nasen aufgehängt. Es kommen aber auch Rippenglasgefäße in Anwendung, bei denen die Platten mit den beiden unteren Ecken über dem Boden des Gefäßes aufruhen (Fig. 24). Bei einem solchen „stehenden Einbau" der Platten ist die Bildung von Kurzschlüssen durch Masseteilchen, die etwa zwischen die Auflagerstellen der Platten geraten könnten, nicht zu befürchten, da die Masseteilchen von den glatten, etwas abgeschrägten Auflagern sogleich wieder durch die Säure fortgespült werden.

Die Rippenglasgefäße der letzteren Art sind leichter als diejenigen mit „hängendem Einbau" der Platten und beanspruchen auch weniger Platz als diese, wie ein Vergleich der Fig. 21 und 24 sofort zeigt.

Gefäße aus Zelluloid werden wohl am häufigsten für tragbare Akkumulatoren angewendet. Dieses Material ist widerstandsfähig gegen Erschütterungen und dabei doch so durch-

sichtig, daß mit einiger Sicherheit das Innere der Zellen beobachtet werden kann. Im späteren Betriebe wird die Durchsichtigkeit des Zelluloids freilich geringer, so daß es in dieser Hinsicht dem Glas nicht ebenbürtig ist. Eine gewisse Beobachtung der Zelle, namentlich des Säurestandes ist jedoch immer möglich, was bei Verwendung von Hartgummigefäßen natürlich ausgeschlossen ist. Zelluloid hat außerdem für die Akkumulatorenfabriken den Vorteil, daß aus diesem Material sofort Gefäße von jeder gewünschten Abmessung hergestellt werden können, da die Gefäßteile in jeder Größe aus Zelluloidplatten geschnitten, gebogen und vollkommen fest zusammengeklebt werden können. Zur Anfertigung von Rippengläsern oder Hartgummizellen sind hingegen besondere Formen notwendig.

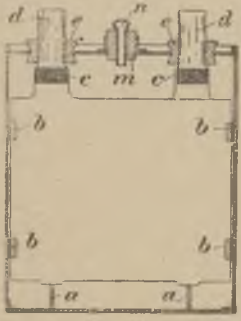

Fig. 25.

Die Akkumulatorenplatten können in den Zelluloidgefäßen ebenso wie beim Einbau in Glasgefäße sowohl aufgehängt wie aufgestützt werden. Fig. 25 zeigt beispielsweise eine Ausführung mit sog. stehendem Einbau. Die Platten ruhen auf schmalen Zelluloidstreifen *a*, die auf den Boden des Gefäßes geklebt sind und die beiden gegenüberliegenden Seitenwände vorn und hinten miteinander verbinden. Die Isolierung der Platten untereinander wird durch kleine Zelluloidklötzchen *b* bewirkt. Auch bei diesem Einbau ist eine besondere Gefahr der Kurzschlußbildung durch aus den Platten herausfallende Masseteilchen nicht vorhanden, da an diejenigen Stellen, an welchen sich die Klötzchen befinden, infolge des notwendigen Verstärkungsrandes der Platten aktive Masse kaum gelangen kann und auch Masseteilchen, die etwa

auf die Streifen *a* zwischen die Platten fallen könnten, infolge der geringen Stärke dieser Streifen sofort von diesen herunterfallen und sich auf dem Boden des Gefäßes ablagern würden.

Mitunter werden auch die Klötzchen *b* fortgelassen; dafür werden gewellte und durchlöcherte dünne Hartgummibleche zwischen die Platten gesteckt.

Die Platten gleicher Polarität sind je durch eine Bleileiste *c* untereinander verbunden. Die Bleileisten befinden sich hier unterhalb des Gefäßdeckels und tragen je einen Polschuh *d*, der durch starke Gummiringe *e* gegen den Deckel abgedichtet ist. Durch diese Abdichtung werden zugleich die Platten oben festgehalten. Die dargestellte Anordnung der Bleileisten ist allerdings keine besondere Eigentümlichkeit des Einbaues in Zelluloidgefäße, denn sie ist bei anderen Gefäßen ebensogut möglich. Sie hat den Vorteil, daß nur ein positiver und ein negativer Pol aus dem Inneren der Zelle herausragt, der je mit den Leitungsdrähten verbunden werden kann. Der Gummipfropfen *m* mit dem Glasröhrchen *n* ist bereits auf S. 62 beschrieben.

Ein Nachteil des Zelluloids ist seine Feuergefährlichkeit. Bei Batterien mit geringer Zellenzahl ist aber die Gefahr eines durch Kurzschluß verursachten Brandes so gut wie ausgeschlossen.

Für Batterien mit Spannungen, wie sie z. B. der Antrieb elektrischer Kraftwagen erfordert, können jedoch Zelluloidgefäße keinesfalls mehr angewendet werden. Das hierbei für die Gefäße allein in Betracht kommende Material ist das Hartgummi.

Fig. 26 zeigt in einem Schaubilde den von der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin angewendeten Bau einer Automobilzelle. Die vorderen Wände des Hartgummigefäßes sind zum Teil weggebrochen, um da-

Innere der Zelle erkennen zu lassen. Die Platten stehen auf zwei am Boden des Gefäßes angeordneten Prismen. Dabei sind die Platten an denjenigen Stellen, an welchen sie aufruhen, verstärkt. Der positive und negative Plattensatz ist je durch eine Bleileiste verbunden, die einen Polschuh trägt. Die beiden Polschuhe sind durch den Deckel geführt und gegen diesen durch einen starken Weichgummiring abgedichtet. Die Polschuhe besitzen an ihrem oberen Ende eine Verschraubung für die Verbindungsleitungen zwischen den benachbarten Elementen. Diese Verbindungen bestehen aus biegsamen verbleiten Kupferstreifen.

Fig. 26.

Die Platten sind gegeneinander durch Holzbrettchen isoliert, wie sie die Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin auch für ortsfeste Akkumulatorenbatterien anwendet (s. S. 54). Da aber in den Zellen für Automobilbatterien die Platten mit erheblich engeren Zwischenräumen eingebaut werden als in den Zellen für ortsfeste Batterien, so sind zur Aufrechterhaltung eines bestimmten Abstandes zwischen den Platten die Holzbrettchen auf beiden Seiten gleich mit senkrechten Rippen versehen. In Fig. 26 ist die letzte negative Platte stufenweise und das dahinter befindliche Holzbrettchen schräg abgebrochen dargestellt, so daß ein Teil der ersten positiven Platte noch zu sehen ist.

Der Deckel besteht gleichfalls aus Hartgummi und liegt lose auf dem Gefäß, um nach Lösen der Verbindungen und Abnehmen des Deckels die Platten jedes einzelnen Elementes aus dem Gefäß heben zu können. In der Mitte des Deckels befindet sich noch eine Öffnung zum Einfüllen der Säure, die durch einen durchlöcherten Gummistopfen verschlossen werden kann.

Die Firma Gottfried Hagen in Kalk bei Köln steckt die negativen Platten der Automobilzellen in eine Tasche von Hartgummi, die mit dicht aneinanderliegenden Öffnungen von 0,8 mm Durchmesser versehen ist. Der Abstand zwischen den Platten ist 3 mm; er wird durch gewellte und durchlöcherte Hartgummiplatten gesichert.

Die folgende Tabelle enthält nähere Angaben über Leistungen, Abmessungen und Gewichte der von der Firma Gottfried Hagen für Traktionsbatterien gelieferten Type NW.

Type NW	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Entladestrom in Amp. 3 std.	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96
5 std.	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
Kapazität in Ampstd. 3 std.	90	108	126	144	162	180	198	216	234	252	270	288
5 std.	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
Ladestrom in Amp.	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
Maße in mm												
Breite	70	82	94	105	117	128	140	152	164	175	187	199
Länge	147	147	147	147	148	148	148	148	148	148	148	148
Höhe einschl. Polen	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Gewicht der Zelle in kg												
ohne Säure . .	5.7	6.6	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
mit Saure . . .	7.5	8.8	10.1	11.4	12.7	14	15.3	16.6	18	19.3	20.6	22

Zum Schluß möge noch eine Akkumulatorenzelle kleinster Art beschrieben werden, deren äußere Form den für die kleinen, dreizelligen Primärbatterien bestimmten, normalen Taschenlampenhülsen angepaßt ist.

Diese kleinen Zellen werden meist mit dünnen Gitterplatten ausgerüstet, wobei die freien Räume zwischen und über den Platten mit Glaswolle ausgefüllt werden, die mit der Schwefelsäure durchtränkt wird. Hierdurch soll ein Verschütten von Säure auch bei schräger Lage der Zellen verhütet werden.

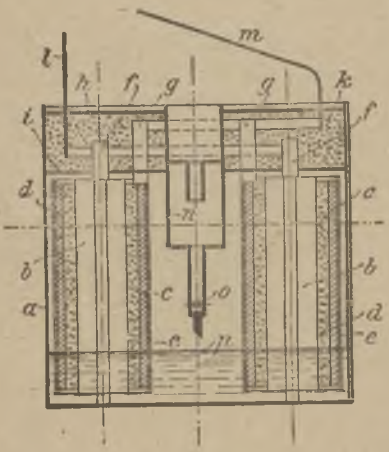

Fig. 27.

Eine besondere Ausführung solcher Kleinakkumulatoren zeigt Fig. 27 in einem Längsschnitt. Die Elektroden sind hier im Gegensatz zu der sonst üblichen Plattenform rund ausgebildet, und zwar enthält die Zelle zwei Elektrodenpaare, die sich zu beiden Seiten der in der Mitte der Zelle angebrachten Füllvorrichtung befinden.

Auf dem Boden des aus Zelluloid hergestellten Gefäßes *a* stehen die beiden stabförmigen, mit Längsrippen versehenen positiven Elektroden *b*. Sie sind von den zylindrisch gebogenen negativen Elektroden *c* umgeben, die aus einem Gitter

mit eingestrichener Füllmasse bestehen. Die Hohlräume zwischen den Rippen der positiven Elektroden sind ebenfalls mit Bleioxyden ausgefüllt. In den ringförmigen Räumen *d* zwischen den beiden Elektroden befindet sich Glaswolle. Außerdem sind die negativen Elektroden noch mit einer Umhüllung *e* versehen. Die beiden Polschuhe *f* der positiven Elektroden sind durch einen Bleistab miteinander verbunden, ebenso die beiden Polschuhe *g* der negativen Elektroden. Die Polverbindungen befinden sich innerhalb des Doppeldeckels *h*, *i*, dessen freier Raum mit einer Asphaltmasse *k* vergossen ist. An die überstehenden Enden der Verbindungen sind die bei Primärbatterien üblichen Kontaktstreifen *l*, *m* angelötet.

Die Entlüftungs- und Füllvorrichtung besteht aus einem kleinen Zelluloidgefäß *n* mit einer Zwischenwand und einem Boden, an die je ein dünnes Zelluloidröhrchen angeklebt ist. Das untere dieser Röhrchen hat eine seitliche Öffnung *o*, die in das Innere der Zelle führt. Das Zelluloidgefäß *n* ist noch mit einem nicht dargestellten Stopfen zu verschließen, der beim Laden der Zelle abgenommen werden muß.

Die Schwefelsäure wird in diese Füllvorrichtung zweckmäßig aus einem Tropffläschchen eingefüllt, und zwar nur bis zur Marke *p*. Durch wiederholtes Drücken auf die Flachseiten der Zelle mittels Daumens und Zeigefingers wird dann die Säure in das Zelleninnere gesaugt. Ein Verschütten der Füllflüssigkeit findet selbst beim Umstülpen der Zelle nicht statt; trotzdem können die beim Entladen sich entwickelnden schwachen Gase durch die Öffnungen der Füllvorrichtung entweichen.

Eine Zelle wiegt einschließlich Säure 165 g; sie besitzt eine Kapazität von 1,26 Amperestunden bei 0,3 Ampere Entladestrom und einer Endspannung von 1,8 Volt. Bei einer mittleren Klemmenspannung von 1,93 Volt leistet mithin

eine Zelle 2,43 Wattstunden. Mit 1 kg Zellengewicht ist somit eine Leistung von etwa 15 Wattstunden zu erzielen.

Ein Vergleich eines solchen Kleinakkumulators mit einer normalen Primärbatterie von drei Zellen zeigt, daß letztere verhältnismäßig leistungsfähiger ist. Eine solche Primärbatterie wiegt bei gleichen äußeren Abmessungen nur 117 g. Sie besitzt eine Anfangsspannung von etwa 4 Volt bei 0,3 Ampere Stromverbrauch und eine Entladezeit von fünf Stunden bei einer mittleren Klemmenspannung von 2,5 Volt und einer Endspannung von 1,5 Volt. Dies ergibt eine Leistung von $2{,}5 . 0{,}3 . 5 = 3{,}75$ Wattstunden für die dreizellige Batterie und 32 Wattstunden für 1 kg Batteriegewicht. Allerdings brennt die vom Akkumulator gespeiste Glühlampe auch wesentlich gleichmäßiger als bei Benutzung einer Primärbatterie, da die Spannung im ersteren Falle nur um 10 % während der Entladezeit sinkt, während die Spannung der Primärbatterie am Schluß der Entladung nicht einmal halb so hoch ist wie beim Beginn derselben.

Aufstellung und Wartung ortsfester Batterien.

Holzgestelle.

Die Glasgefäße und Holzkasten ortsfester Akkumulatorenbatterien werden auf Gestelle aus Pitchpine-, Kiefern- oder Lärchenholz gestellt, die gegen die Einwirkungen der Schwefelsäure am widerstandsfähigsten sind. Die Gestelle werden durch Anstrich mit heißem Leinöl imprägniert. Es ist möglichst astfreies, harzreiches Holz zu verwenden. Das Holz muß auch trocken sein, damit sich die Balken nicht

später verziehen und die Elemente in eine schräge Lage geraten.

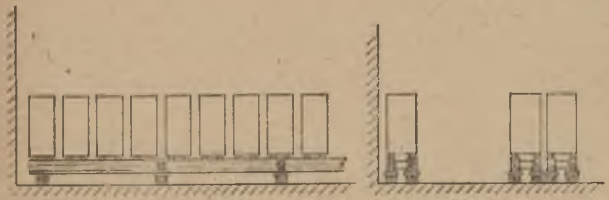

Fig. 28.

Die Bauart der verwendeten Holzgestelle hängt natürlich in erster Linie von den verfügbaren Räumen ab. Die beste Übersichtlichkeit und Zugänglichkeit der Elemente gewähren Bodengestelle (Fig. 28). Die Elemente ruhen hierbei auf zwei Längsbalken, die in bestimmten Abständen durch kurze Querbalken miteinander verbunden sind. Die Längsbalken sind bei Batterien mit einer Spannung unter 220 Volt gegen den Fußboden durch Glasplatten isoliert, die auf imprägnierte Holzklötze gelegt sind.

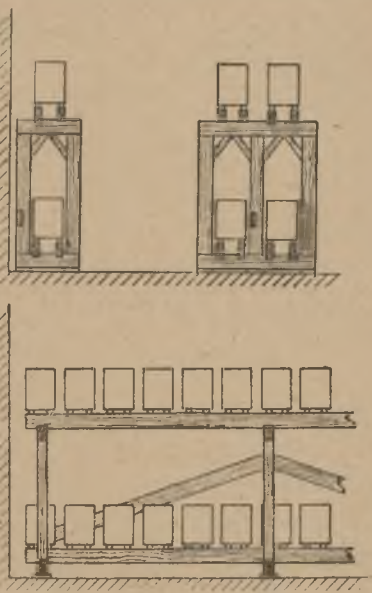

Fig. 29

Bei einer Spannung von 220 Volt und darüber werden statt der glatten Glasplatten Glasuntersätze mit Abtropfkante genommen.

Bodengestelle sind freilich nur anwendbar, wenn genügend Raum zu ihrer Aufstellung vorhanden ist. Ist dies nicht der Fall, dann müssen Etagengestelle genommen werden. Fig. 29 zeigt im Querschnitt und Längsschnitt ein einfaches und ein Doppel-Etagengestell.

Die Etagengestelle sind gegen den Fußboden durch quadratische Glasplatten isoliert

Verbindung der Elemente durch Bleileisten.

Die Elemente werden untereinander durch Bleileisten verbunden. Diese Bleileisten dienen einmal dazu, die Platten der gleichen Polarität in einem und demselben Element miteinander zu verbinden und außerdem die Verbindung mit den Platten der entgegengesetzten Polarität des benachbarten Elementes herzustellen. Es wird also der positive Plattensatz des einen Elementes *B* mit dem negativen Plattensatz des benachbarten Elementes *C* und der negative Plattensatz des Elementes *B* mit dem positiven Plattensatz des anderen benachbarten Elementes *A* verbunden (Fig. 30 und 31). Die Bleileisten dienen ferner zum Anschluß der Kupferleitungen an die Elemente. Zu diesem Zwecke werden die Leitungen in Polschuhe eingelötet, die in der Regel mit den Bleileisten aus einem Stück gegossen sind.

Fig. 30.

Die Verbindung der Plattensätze geschieht entweder

durch Seitenleisten (Fig. 30) oder durch Mittelleisten (Fig. 31). Die Seitenleisten werden, da sie die volle Stromstärke zu leiten haben, nur für Elemente in Glasgefäßen von geringer Leistung angewendet. Die Platten hängen hierbei in Richtung senkrecht zur Längsachse des Holzgestelles. Diese Einbauart hat den Vorteil, daß die Platten und ihre Zwischenräume gut beobachtet werden können. Abgesehen von diesen kleineren Elementen werden die Plattensätze durch Mittelleisten miteinander verbunden (siehe auch Fig. 17 und 18). Die Platten befinden sich dann in Ebenen, die zur Längsachse des Gestells parallel sind. Die Stromverteilung ist hierbei wesentlich günstiger als bei Anwendung von Seitenleisten.

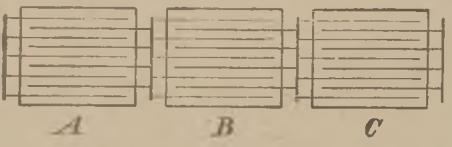

Fig. 31.

Die Leisten mit Polschuhen müssen einen nach der Mitte hin anwachsenden Strom leiten und besitzen daher entweder einen stärkeren Querschnitt als die gewöhnlichen Mittelleisten ohne Polschuhe, oder sie sind durch Einlagen von Kupferdrähten oder -schienen verstärkt.

Die Platten werden in der Regel beim Aufstellen der Batterie mit den Bleileisten verlötet.

Laufböden und Laufbühnen.

Bei Hochspannungsanlagen werden in die Bedienungsgänge der Batterien isolierte Laufböden (Fig. 32) gelegt, damit der Wärter beim Berühren der Akkumulatoren vor elektrischen Schlägen bewahrt wird. Die Böden bestehen aus Querbalken in Abständen von etwa 1 m, die durch eine Anzahl von Längslatten miteinander verbunden sind. Die

Querbalken ruhen je auf zwei Isolatoren. Zum Schutze gegen Säureeinwirkungen werden die Laufböden mit heißem Leinöl imprägniert.

Batterien, deren Gefäße so hoch sind, daß eine bequeme Wartung nicht mehr möglich ist, erhalten Laufbühnen

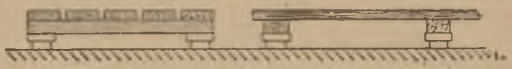

Fig. 32.

(Fig. 33), die in den Bedienungsgängen aufgestellt werden. Bei Hochspannungsanlagen werden die Laufbühnen außerdem in derselben Weise wie die isolierten Laufböden gegen den Fußboden isoliert.

Die Laufbühnen sind folgendermaßen zusammengesetzt: In bestimmten Abständen voneinander sind Böcke *a* aufgestellt, die durch Längsbalken *b* miteinander verbunden

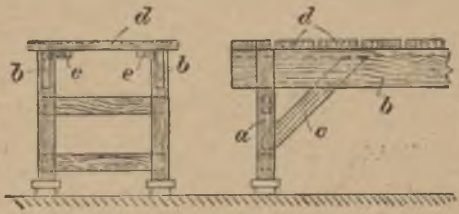

Fig. 33.

sind. Die Böcke werden mit diesen Balken noch durch die Hölzer *c* verstrebt. Die Laufbeläge sind aus den querliegenden Laufbrettern *d* und Längsleisten *e* zusammengesetzt und ruhen lose auf den Längsbalken *b*. Die Leisten *e* sichern dadurch, daß sie an den Balken *b* anliegen, die Laufbeläge in ihrer Lage. Sie können daher leicht abgehoben und entfernt werden, wenn der Fußboden gereinigt werden soll.

Zum Besteigen der Laufbühnen sind an ihren Enden entweder Tritte befestigt, oder es werden besondere Tritte lose an die Enden der Bühnen gestellt.

Akkumulatorenräume.

Die wichtigsten Anforderungen, die von der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin an einen Akkumulatorenraum gestellt werden, sind folgende:

Die Räume dürfen für andere Zwecke nicht benutzt werden. Sie müssen hell und trocken sein und gut gelüftet werden können. Die Räume müssen derart gelegen sein, daß Dämpfe, schädliche Gase oder Staub aus benachbarten Fabrikräumen nicht in den Akkumulatorenraum gelangen können. Die Räume dürfen starken Erschütterungen nicht ausgesetzt sein. Rohrleitungen, eiserne Träger usw. sind möglichst fernzuhalten, und wo nicht zu vermeiden, mit säurebeständigem Emaillelack zu streichen.

Zur künstlichen Beleuchtung eines Akkumulatorenraumes darf nur elektrisches Glühlicht genommen werden.

Eine schwache Heizung ist nur in Räumen mit außergewöhnlich niedriger Temperatur erforderlich. Heizung mit offenem Feuer ist unzulässig.

Mit Rücksicht auf das hohe Gewicht der Batterie muß der Fußboden fest sein, bei Aufstellung in höheren Geschossen muß natürlich die Decke ausreichende Tragfähigkeit besitzen. In Kellern wird vorzugsweise festgestampfter Erdboden mit einer Rollschicht aus hartgebrannten Ziegeln oder Zementbelag angewendet. In Stockwerken wird je nach der Deckenkonstruktion Holz-, Zement- oder Betonfußboden genommen. Holz- und Zementfußböden sind außerdem gegen die zersetzende Wirkung der Schwefelsäure zu schützen. Dies geschieht entweder durch Steinkohlenteeranstrich, auf

den dann Quarzsand gestreut wird, oder noch besser durch einen Belag von bestem, reinem Trinidadasphalt, der in der Regel auf Zementbeton aufgetragen wird. Noch vorteilhafter ist es, an den Stützpunkten der Holzgestelle säurebeständige Mettlacher Platten in die Asphaltschicht einzulegen, um ein Einsinken der Gestelle mit Sicherheit zu vermeiden. Eine vollständige Pflasterung des Fußbodens mit Mettlacher Platten ist natürlich sehr zweckentsprechend, aber auch teuer; daher werden diese mitunter durch sog. Eisenklinkerplatten ersetzt.

Die Wände und Decken dürfen aus Mauerwerk oder Holz bestehen. An Decken ist Zementputz zu vermeiden, da er sich häufig lockert und in die Elemente fallen kann. Wände, Decken und Eisenteile werden am besten mit säurebeständigem Emaillelack gestrichen. Nicht verputzte Wände erhalten vor dem Anstrich mit Emaillelack als Grundierung einen Kalkanstrich. Wände mit Zementputz hingegen können, wenn sie trocken sind, ohne vorherige Grundierung mit Emaillelack gestrichen werden. Kupferleitungen wurden bisher mit säurebeständigem Lack gestrichen; es genügt aber, die blanken Leitungen mit Öl oder dgl. in gewissen Zeitabständen einzufetten.

Durch Öffnen von Fenstern und Türen sind namentlich gegen Ende der Ladung die Akkumulatorenräume gut zu lüften, um ein schädliches Einwirken der Säuredämpfe auf die Holzteile der Batterie, Decke, Fußboden, Wände, Eisenteile und Leitungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Am besten ist die Erzeugung von Zugluft durch Öffnen von Fenstern und Türen auf entgegengesetzten Seiten des Raumes.

Behandlung der Akkumulatoren im Betriebe.

Füllung und Inbetriebsetzung.

Die erstmalige Füllung der Batterie mit Schwefelsäure erfolgt erst dann, wenn nicht nur die Batterie mit allen Leitungen und allem Zubehör vollständig aufgestellt ist, sondern auch die gesamte elektrische Anlage und die Kraftanlage betriebsfertig hergestellt sind. Es muß nämlich sogleich nach beendeter Füllung mit der Ladung der Batterie begonnen werden, da sonst die Platten leicht sulfatisieren, wenn die Elemente längere Zeit im ungeladenen Zustande gefüllt stehenbleiben.

Vor der Füllung ist die Schwefelsäure auf ihre Reinheit zu untersuchen. Die Säure muß frei sein von Chlor und Salpetersäure, die zerstörend auf die positiven Platten wirken. Auch darf die Schwefelsäure kein Platin, Eisen, Kupfer und andere Metalle enthalten, die eine Selbstentladung der Platten herbeiführen (s. S. 30).

Die Füllung geschieht bei kleinen Batterien am besten mit Glaskrügen. Die Säure wird aus den gelieferten Säureballonen in einen Bottich gegossen, der von der Akkumulatorenfabrik in der Regel einer jeden Batterie mitgegeben wird, und aus dem Bottich mittels der Glaskrüge geschöpft. Größere Batterien können entweder aus den Säureballonen unmittelbar gefüllt werden, oder es kann die Säure mit einem langen Gummischlauch durch Heberwirkung aus den Ballonen abgezogen werden. Bei Batterien, die in mehreren Stockwerken übereinander aufgestellt sind, kann die Füllung zweckmäßig auch mit Hilfe einer Pumpe, die natürlich säurewiderstandsfähig sein muß, bewerkstelligt werden. Diese Art der Füllung ist namentlich dann zu empfehlen, wenn das Heraufschaffen der Säureballone besondere Umstände oder Schwierigkeiten verursacht.

Die erste Ladung der Batterie dauert wesentlich länger als die späteren normalen Ladungen. Die Akkumulatorenfabriken geben besondere Vorschriften über die erste Ladung vor der Inbetriebsetzung.

Bevor eine Batterie dem Betriebe übergeben wird, pflegt eine Probeentladung, sog. Kapazitätsprobe, stattzufinden, die den Nachweis erbringen soll, daß die Batterie auch die garantierte Leistung besitzt.

Behandlung der Batterien im regelmäßigen Betriebe.

Im regelmäßigen Betriebe ist darauf zu achten, daß sämtliche Elemente einer Batterie in gleichem Lade- und Entladezustande sich befinden. Von Zeit zu Zeit ist zweckmäßig gegen Ende einer Entladung die Spannung sämtlicher Zellen einzeln zu messen. Bei geringer Stromentnahme oder in Fällen, in denen die Batterie mehrere Tage oder Wochen lang nicht entladen wird, gewährt die Beobachtung der Spannung allein kein Urteil über den Entladezustand der Zellen. In solchen Fällen ist mit der Ladung zu beginnen, wenn das spez. Gewicht der Säure um einen bestimmten Betrag, meist 0,03 bis 0,05, gesunken ist.

Von Wichtigkeit ist auch die Beobachtung der Batterie gegen Ende der Ladung, und zwar insbesondere daraufhin, ob in allen Elementen zu gleicher Zeit die Gasentwicklung beginnt und alle auch später gleichmäßig gasen.

Die Wartung der Batterie erstreckt sich ferner auf die Beobachtung des Säurestandes und der Säuredichte in den einzelnen Zellen. Es ist darauf zu achten, daß die Platten stets von Säure bedeckt sind. Da Säure verdunstet und bei der Gasentwicklung mitgerissen wird, so sind Elemente mit zu niedrigem Säurestande nachzufüllen, und zwar entweder mit destilliertem Wasser oder mit reiner Schwefelsäure, je nachdem das spez. Gewicht der Säure über oder unter

dem normalen Betrage sich befindet. Ungleiche spez. Gewichte der Säure in den einzelnen Elementen sind daher auszugleichen.

Die Batterie darf übrigens mit geringeren, aber nicht mit höheren als den von der liefernden Firma vorgeschriebenen Stromstärken geladen und entladen werden. Es empfiehlt sich, gegen Ende der Ladung die Stromstärke zu erniedrigen, um eine allzu starke Gasentwicklung zu vermeiden. Die La-

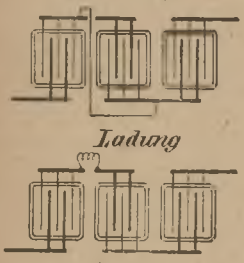

Fig. 34.

Fig. 35.

dung ist beendet, wenn die positiven und negativen Platten in sämtlichen Elementen lebhaft Gas entwickeln und die Klemmenspannung den der Ladestromstärke entsprechenden Höchstwert erreicht hat.

Bleibt ein Element bei wiederholter Ladung der Batterie in der Gasentwicklung zurück, so muß es bei der Entladung ausgeschaltet und bei der Ladung wieder eingeschaltet werden. Zu diesem Zwecke muß die eine Bleileiste eines solchen Elementes durchschnitten werden. Bei der Entladung der Batterie wird dann das Element überbrückt, so daß es an der Entladung nicht teilnimmt, und bei der Ladung so einge-

schaltet, daß es in demselben Maße wie alle übrigen Elemente der Batterie geladen wird. Fig. 34 zeigt bei einer Verbindung der Platten durch Seitenleisten die Überbrückung des mittleren Elementes während der Entladung und das Wiederherstellen der Verbindung durch einen Leitungsdraht während der Ladung. Fig. 35 veranschaulicht die entsprechenden Maßnahmen bei Elementen, die durch Mittelleisten miteinander verlötet sind. Dieses Verfahren wird so oft wiederholt, bis in dem zurückgebliebenen Element und in den übrigen Zellen der Batterie die Gasentwicklung zu gleicher Zeit beginnt.

Das Zurückbleiben einzelner Zellen ist häufig auf einen Kurzschluß im Inneren des Elementes zurückzuführen. In solchen Fällen ist vor allem die Ursache des Zurückbleibens zu beseitigen, also der Kurzschluß zu entfernen. Da ein mit Kurzschluß behaftetes Element sich schneller entladet als die übrigen Zellen, so hat dessen Säure auch ein geringeres spez. Gewicht. Das Gewicht darf aber dann nicht etwa durch Nachfüllen von Säure erhöht werden, sondern die Zelle ist, wie beschrieben, besonders nachzuladen. Ist dann der Zustand erreicht, in dem das Element wieder normal Gas entwickelt, dann wird auch seine Säure wieder dasselbe Gewicht haben wie in den übrigen Elementen der Batterie.

Verwendung der Akkumulatoren.

Elektrische Anlagen mit ortsfesten Batterien.

Vorteile der Batterien bei elektrischen Anlagen.

Die größte Bedeutung haben die Akkumulatoren in elektrischen Anlagen, in denen sie die Kraft- und Dynamomaschinen unterstützen. In der Regel unterliegt der Stromverbrauch eines Elektrizitätswerkes oder überhaupt einer

elektrischen Anlage nicht nur während des Verlaufs eines Tages, sondern auch während der einzelnen Monate des Jahres erheblichen Schwankungen. Bei Elektrizitätswerken, die vorwiegend der Beleuchtung dienen, weist beispielsweise der Stromverbrauch zwischen 6 und 7 Uhr abends den höchsten Wert auf und wird in den Mittagsstunden sowie in der Zeit nach Mitternacht am geringsten; auch wird im Sommer erheblich weniger Strom verbraucht als im Winter. Bei einer Anlage ohne Akkumulatorenbatterie müssen die Maschinen so groß sein, daß sie imstande sind, die höchste Belastung, die nur verhältnismäßig kurze Zeit dauert, zu übernehmen. Infolgedessen würde die gesamte Maschinenanlage die meiste Zeit hindurch nur wenig beansprucht sein. Ist jedoch eine Akkumulatorenbatterie vorhanden, so kann sie zu Zeiten hohen Stromverbrauchs die Dynamomaschine unterstützen, so daß nicht nur diese, sondern die gesamte Kraftanlage kleiner gewählt werden kann. Während der Zeit, in welcher wenig Strom im Netz verbraucht wird, führt dann die Dynamomaschine ihre überschüssige Leistung den Akkumulatoren zu, d. h. sie werden geladen. Die Maschinen sind auf diese Weise während der ganzen Betriebszeit gleichmäßig belastet. Bei geringem Kraftbedarf kann u. U. die Maschinenanlage ganz stillgelegt werden, da dann die Akkumulatoren den Betrieb allein übernehmen. Die Übernahme der Stromlieferung durch die Batterie ist auch bei plötzlichen Störungen in der Maschinenanlage von großem Nutzen.

Aber nicht nur in Elektrizitätswerken, sondern auch in Fabriken, die eine eigene elektrische Beleuchtungsanlage haben, ist eine Akkumulatorenbatterie unentbehrlich, wenn nach Schluß des Betriebes Geschäfts- oder Wohnräume beleuchtet werden sollen.

Mitunter ist es auch von Vorteil, eine Akkumulatorenbatterie aufzustellen, wenn die Anlage an ein Elektrizitäts-

werk angeschlossen ist. In manchen Orten verlangen die Elektrizitätswerke für die Stunden des höchsten Lichtbedarfs, die sog. Sperrstunden, einen höheren Tarif. Die Batterie kann daher während der übrigen Stunden aus dem Leitungsnetze bei einem billigen Tarif geladen werden und übernimmt in den Sperrstunden die Stromlieferung.

Die Anwendung einer Akkumulatorenbatterie neben der Maschinenanlage gewährt noch den Vorteil, daß Spannungsschwankungen, die durch Ein- und Ausschalten von Lampen und insbesondere von Elektromotoren verursacht werden, durch die Batterie ausgeglichen werden. Die eingeschalteten Lampen brennen daher ruhiger bei einer elektrischen Anlage mit Akkumulatoren, als bei einer reinen Maschinenanlage.

Bei den geschilderten elektrischen Anlagen, die vorwiegend für Beleuchtung dienen, ist es der Hauptzweck der Batterie, zu gewissen Zeiten, teilweise oder auch ganz die Stromlieferung zu übernehmen, und die vorteilhafte Eigenschaft des Spannungsausgleiches ist hierbei eine schätzenswerte Beigabe. Solche Batterien heißen Kapazitätsbatterien.

Nun werden aber auch Batterien in Elektrizitätswerken aufgestellt, die vorwiegend oder gar ausschließlich dazu bestimmt sind, Belastungsschwankungen im Netz auszugleichen. Man nennt diese Batterien daher Pufferbatterien; sie werden namentlich bei elektrischen Bahnanlagen verwendet.

Die Kapazitätsbatterien sowohl wie die Pufferbatterien werden zu den Generatoren mit gleichen Polen parallel geschaltet.

Pufferbatterien.

Für Pufferbatterien, die nur zum Ausgleich der Netzschwankungen dienen und demgemäß zur Entladung nicht herangezogen werden, pflegt man der Zellenzahl eine Einzel-

spannung von etwa 2,06 Volt zugrunde zu legen, bei der die Pufferwirkung am günstigsten ist. Bei einer Netzspannung von 500 Volt werden beispielsweise $\frac{500}{2{,}06} = 242$ Zellen genommen. Es ist schwierig, die Zellengröße genau zu berechnen, da die Berechnung von mannigfachen Faktoren, nämlich Höhe und Dauer der Stromstöße, Charakteristik der Dynamomaschine, innerem Widerstand der Akkumulatoren u.a. abhängig ist.

Die Pufferwirkung der Batterie kann noch durch Hinzufügen einer Batteriezusatzmaschine erhöht werden. In Deutschland wird die Bauart Pirani[1]) bevorzugt. Wie Fig. 36 zeigt, ist diese Pirani-Maschine *P* mit der Batterie dauernd in Reihe geschaltet und wird durch einen aus dem Netze gespeisten Elektromotor *M* angetrieben. *D* ist die Bahndynamo, *B* die Batterie.

Die Spannung der Pirani-Maschine muß nun je nach der Netzbelastung ihre Richtung ändern, um sich für die Entladung zur Batteriespannung und für die Ladung zur Netzspannung hinzufügen zu können. Die Zusatzmaschine wird daher mit Hilfe einer besonderen, je nach der Belastung die Polarität wechselnden Erregermaschine *E* mit Doppelschluß-Feldwicklung erregt. Die Nebenschlußwicklung *n* liegt an der Batterie, mithin an einer mit der Belastung der Batterie schwankenden Spannung; die Hauptstromwicklung wird entweder vom gesamten Netzstrom oder, wie in Fig. 36 gezeigt, von einem dem Netzstrom entsprechenden Teilstrom durchflossen. Die Hauptstromwicklung beeinflußt dabei die Erregermaschine im Sinne der Batterieentladung und ist der Nebenschlußwicklung, die im Sinne der Ladung erregt, ent-

[1]) Näheres siehe: „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen", 1908, Heft 9.

gegengeschaltet. Je nach der Größe des Verbrauchs im Netz überwiegt entweder die Wirkung der einen oder die der anderen Wicklung, so daß die Batterie entweder entladen oder geladen wird.

Wird im Netz kein Strom verbraucht, so arbeitet die Erregermaschine als reine Nebenschlußmaschine, die Batterie wird geladen. Bei Strombedarf im Netze fließt auch Strom durch die Hauptstromwicklung der Erregermaschine und

Fig. 36.

schwächt ihr Feld. Es fällt also die Spannung der Erreger- und auch der Pirani-Maschine. Die Batterie empfängt also nur einen Teil des von den Hauptmaschinen erzeugten Stromes, und zwar etwa soviel weniger, wie jetzt im Netz verbraucht wird. Beim weiteren Anwachsen des Strombedarfs heben sich dann die Wirkungen der beiden Wicklungen auf, die Batterie wird weder geladen, noch entladen.

Wird der Netzstrom noch größer, dann überwiegt die Wirkung der Hauptstromwicklung, die Zusatzmaschine entladet die Batterie, und zwar um so mehr, je größer der Netzstrom ist.

Ändert der Netzstrom seine Richtung, was bei Bahnen mit Stromrückgewinnung der Fall ist, dann erregt die Haupt-

stromwicklung h die Maschine E in demselben Sinne wie die Nebenschlußwicklung n, also im Sinne einer verstärkten Batterieladung.

Kapazitätsbatterien.

Bei Kapazitätsbatterien muß dem Umstand Rechnung getragen werden, daß die Entladespannung des Akkumulators nicht gleichbleibt. Wir sahen auf S. 12, daß bald nach dem Einschalten des Entladestromes die Klemmenspannung je nach der Stärke des Stromes mehr oder weniger unter 2 Volt sinkt. Nimmt man z. B. eine Anfangsspannung von 1,97 Volt an, dann sind bei einer Netzspannung von 110 Volt $\frac{110}{1,97} = 56$ Elemente erforderlich. Da aber die Entladung bei einer Spannung eines Akkumulators von 1,83 Volt unterbrochen zu werden pflegt, so werden für eine 110Volt-Anlag $\frac{110}{1,83} = 60$ Elemente notwendig.

Bei einer Kapazitätsbatterie ist also für die Anzahl der Zellen die niedrigste Entladespannung des Akkumulators maßgebend.

Der Betrieb gestaltet sich derart, daß zunächst 56 Elemente eingeschaltet werden, wenn die Batterie zuvor geladen worden ist. Die 57. Zelle wird dann zugeschaltet, wenn die Spannung einer Zelle unter 1,97 Volt und die der ganzen Batterie unter 110Volt zu sinken beginnt, usw., bis alle 60 Elemente eingeschaltet sind. Wenn auch jetzt die Gesamtspannung unter 110 Volt sinkt, dann muß die Entladung unterbrochen und mit der Ladung der Batterie begonnen werden. Die Zellen 57 bis 60 werden Schaltzellen, die Zellen 1 bis 56 im Gegensatz hierzu Stammzellen genannt. Da häufig sofort nach beendeter Ladung die Batterie entladen wird und die Spannung einer Zelle dann noch 2,2 Volt beträgt, so sind

zunächst, wenn auch nur für kurze Zeit, sogar nur $\frac{110}{2{,}2} = 50$ Zellen einzuschalten. Daher pflegt man bei einer Spannung von 110 Volt bis zu 60 — 50 = 10 Schaltzellen zu nehmen.

Zum Abschalten dieser Zellen dient der Zellenschalter, dessen Wirkungsweise aus Fig. 37 zu erkennen ist.

Der Zellenschalter besitzt Kontaktstücke k, die auf einer isolierenden Unterlage befestigt sind. Die Kontaktstücke sind durch Leitungen l mit den Bleileisten b der Schaltzellen verbunden, und zwar dadurch, daß die Leitungen in die auf den Bleileisten befindlichen Polschuhe p eingelötet werden. Über den Kontaktstücken schleift ein Hebel h, dessen Drehpunkt mit dem einen Pole der Netzleitung verbunden ist, während ihr anderer Pol zu der ersten Stammzelle hinführt. Bei der in Fig. 37 gezeichneten Stellung des Hebels sind im ganzen 56 Zellen eingeschaltet.

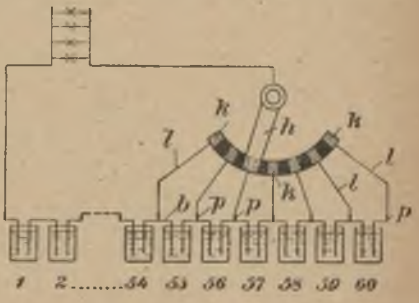

Fig. 37.

Die Kontaktstücke können statt kreisförmig auch geradlinig angeordnet sein. In diesem Falle ist der drehbare Kontakthebel natürlich durch einen schlittenförmig bewegten Kontakt zu ersetzen.

Der schematisch in Fig. 37 dargestellte Zellenschalter ist allerdings in dieser einfachen Form noch unbrauchbar. Die Kontaktstücke müssen nämlich so dicht nebeneinander liegen, daß beim Bewegen des Kontakthebels das eine Kontakt-

stück nicht eher verlassen wird, als bis das nächste berührt worden ist, da sonst der ganze Stromkreis kurze Zeit unterbrochen wird. Während der Zeit aber, in welcher der Kontakthebel zwei Kontakte zugleich berührt, wird diejenige Schaltzelle, welche zwischen diesen beiden Kontaktstücken liegt, kurzgeschlossen. Um dies zu vermeiden, wird der Kontakthebel aus zwei Stücken *m* und *n* hergestellt, die voneinander isoliert und durch einen Widerstand *w* miteinander verbunden sind, wie es Fig. 38 an einem schlittenförmig bewegten Kontakt zeigt. In der Figur sind die letzten beiden Schaltzellen abgeschaltet.

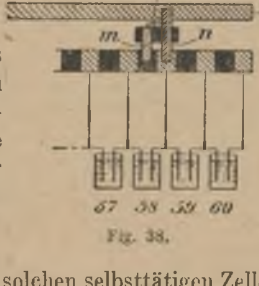

Fig. 38.

Die Bewegung des Schlittens kann auch selbsttätig dadurch erfolgen, daß ein Kontaktspannungsmesser ein Getriebe bewegt, das bei Erhöhung der Netzspannung eine Zelle abschaltet und bei Erniedrigung der Spannung eine Zelle zuschaltet. Die Anwendung eines solchen selbsttätigen Zellenschalters ist namentlich dann von Vorteil, wenn nicht andauernd ein Wärter zur Bedienung des Schaltbrettes zur Verfügung steht.

Wir sahen, daß mit Rücksicht auf die sinkende Entladespannung des Akkumulators von 60 Zellen 8 Schaltzellen vorzusehen sind.

Soll nun eine Batterie während der Abgabe von elektrischem Strom auch zugleich geladen werden können, dann ist eine erheblich größere Zahl von Schaltzellen erforderlich. Am Ende der Ladung beträgt nämlich die Spannung einer Zelle etwa 2,75 Volt. Bei einer Netzspannung von 110 Volt dürfen daher nur $\frac{110}{2{,}75} = 40$ Zellen eingeschaltet sein. Da

aber, wie wir vorhin gesehen haben, insgesamt 60 Zellen bei einer Netzspannung von 110 Volt notwendig sind, so müssen 60 — 40 = 20 Schaltzellen vorgesehen werden. Ganz allgemein muß also immer der dritte Teil sämtlicher Zellen abschaltbar sein.

Die Nebenschluß-Dynamomaschine [1]) — eine solche kommt beim Laden von Batterien in der Regel in Anwendung — muß imstande sein, 60 Zellen in einer Reihe laden zu können. Die Spannung der Dynamo muß daher auf $60 \cdot 2.8 = 168$ Volt erhöhbar sein, also um reichlich 50 % gegenüber der Netzspannung.

Eine sehr gebräuchliche Schaltung einer Akkumulatorenbatterie mit einer Nebenschluß-Dynamomaschine ist in Fig. 39 veranschaulicht. Die Batterie *A* mit den Stammzellen *n o* und den Schaltzellen *o m* ist parallel zur Dynamomaschine *D* auf das Lichtnetz *L* geschaltet. Die Schaltzellen der Batterie sind mit zwei Zellenschaltern, einem oberen für Entladung und einem unteren für Ladung dienenden, verbunden, die beide meist zu einem Gerät, dem Doppelzellenschalter, vereinigt sind. In der Figur steht der Umschalter *U* auf dem Kontakt *g*. Bei dieser Stellung des Umschalters wird die Batterie entladen, und zwar entsenden bei eingeschalteter Dynamomaschine beide gemeinsam den elektrischen Strom in das Leitungsnetz.

Soll nun die Batterie geladen werden, dann wird der Umschalter *U* auf den Kontakt *h* gestellt. Während der Umschaltung darf der Strom aber nicht unterbrochen werden. Vorher muß der Ladehebel *c d* des Doppelzellenschalters auf den Kontakt *i* gestellt werden, da sonst die zwischen den Kontakten *c* und *a* liegenden Zellen durch den Weg *c a b g U h d* kurzgeschlossen werden. Befindet sich der Umschal-

[1]) Näheres siehe Bd. 197 der Sammlung Göschen, Elektrotechnik II: Die Gleichstromtechnik von Prof. J. Herrmann.

ter *U* auf dem Kontakt *h*, dann wird der Hebel *c d* auf den äußersten Kontakt *k* gestellt. Sämtliche Zellen der Batterie werden nunmehr geladen. Die vollgeladenen Zellen werden dann in Richtung *m n* nach und nach abgeschaltet dadurch, daß der Ladehebel *c d* des Doppelzellenschalters von rechts

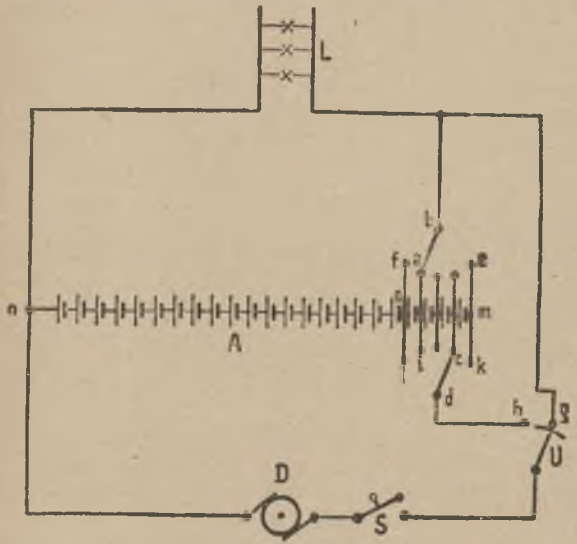

Fig. 39.

nach links, also von *k* nach *l*, gedreht wird. Der Entladehebel *a b* muß ebenfalls von rechts nach links, also von *e* nach *f*, gedreht werden, um allmählich Zellen abzuschalten. Dies ist deshalb erforderlich, weil die Ladespannung der einzelnen Zellen mit der Zeit steigt, die Netzspannung aber immer die gleiche bleiben muß.

Aus dem Schaltungsschema ist noch zu ersehen, daß bei

der Ladung der Batterie denjenigen Zellen, welche zwischen den Hebeln *a b* und *c d* des Doppelzellenschalters liegen, ein stärkerer Ladestrom zugeführt wird, als den übrigen Zellen, wenn während des Ladens im Leitungsnetz Strom verbraucht wird. Die geschilderten Schaltzellen erhalten nämlich einen Ladestrom, der um den Betrag des Netzstromes größer ist als der Ladestrom für die übrige Batterie. Bei einer klein be-

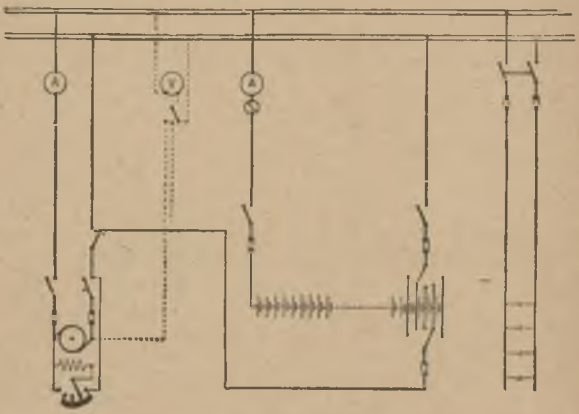

Fig. 40.

messenen Batterie darf daher während der Ladung nur eine beschränkte Anzahl von Lampen brennen.

S bezeichnet einen selbsttätigen Schwachstromausschalter, der dazu dient, die Leitung zwischen der Dynamomaschine und Batterie zu unterbrechen, wenn der Maschinenstrom unter einen bestimmten Betrag sinkt. Der Schalter *S* verhindert daher, daß die Spannung der Batterie diejenige der Dynamomaschine übersteigt und die Maschine als Motor von der Batterie angetrieben wird [1].

[1]) Näheres siehe Bd. 197 der Sammlung Göschen, S. 99 u. 100.

In dem in Fig. 39 dargestellten Schaltungsschema sind der besseren Übersicht halber die sonstigen Hilfsgeräte fortgelassen. Zu einer vollständigen Schaltung sind noch erforderlich je ein Strommesser für Dynamo und Batterie, ein Spannungsmesser mit zugehörigem Umschalter, um die Maschinen-, Batterie- und Netzspannung messen zu können, ferner je ein doppelpoliger Ausschalter für die Maschine und die Hauptnetzleitungen, zwei Batterieausschalter, sämtliche Schalter mit zugehörigen Sicherungen, endlich ein Strom-

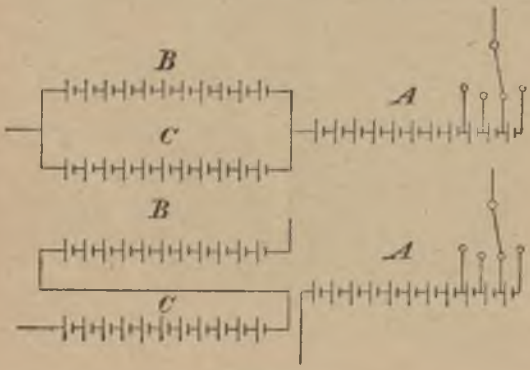

Fig. 41.

richtungsanzeiger für die Batterie. Fig. 40 zeigt dieselbe Schaltung wie Fig. 39 mit allen Hilfsgeräten.

Bei Dynamomaschinen, deren Spannung sich auf die zum Laden der Batterie erforderliche Spannung nicht erhöhen läßt, kann die zusätzliche Spannung durch eine besondere kleinere Dynamomaschine erzeugt werden, die Zusatzmaschine genannt wird. Die Spannung dieser Maschine braucht nur halb so hoch zu sein wie die der Hauptmaschine. Als Zusatzmaschine wird eine Nebenschlußdynamomaschine

genommen, sofern man nicht vorzieht, die Zusatzmaschine vom Lichtnetz zu erregen.

Kann bei einer Dynamomaschine, deren Spannung nicht erhöhbar ist, eine Zusatzmaschine nicht angewendet werden, dann muß die Batterie beim Laden geteilt werden.

Bei der Micka-Schaltung wird die Batterie in drei gleiche Teile *A*, *B*, *C* geteilt (Fig. 41). Die Ladung erfolgt in zwei Zeitabschnitten. Zuerst wird bei der in der oberen Figur

Fig. 42.

dargestellten Schaltung geladen, so daß die Teile *B* und *C* parallel geschaltet und diese beiden Teile hinter *A* geschaltet sind. Ist hierbei der Teil *A* vollgeladen, dann wird dieser abgeschaltet und die beiden Teile *B* und *C* werden in Hintereinanderschaltung zu Ende geladen (s. untere Figur).

Die Ladung der drei Teile *A*, *B*, *C* in je zwei Gruppen *A B*, *A C* und *B C* erfordert drei Zeitabschnitte und ist daher nicht so vorteilhaft.

Die Teilung der Batterie in drei Teile hat vor der Teilung in zwei Hälften, die parallel zueinander geladen werden, den

Vorzug, daß weniger Ladeenergie vernichtet zu werden braucht, da bei der Dreiteilung immer 40 Zellen von einer 110 Volt-Anlage geladen werden können, bei der Schaltung der Batterie in zwei Hälften aber nur 30 Zellen.

Bei der Entladung müssen natürlich in jedem Falle sämtliche 60 Elemente hintereinandergeschaltet sein, um eine Gesamtspannung von 110 Volt zu erreichen.

Im allgemeinen sind Schaltungen nach Fig. 39 und 40, bei denen die Elemente sowohl bei der Ladung wie bei der Entladung immer hintereinandergeschaltet bleiben, vorzuziehen, da hierbei ein durch Vernichtung von Spannung verursachter Energieverlust vermieden ist und auch ein Umschalten während des Ladens nicht erforderlich ist. Die Schaltungen mit einer beim Laden geteilten Batterie sind zugleich deshalb beschrieben worden, um zu zeigen, auf welche Weise man sich helfen kann, wenn eine nicht genügende Ladespannung zur Verfügung steht.

Fig. 42 zeigt eine fertig aufgestellte Batterie, deren Platten in Holzkasten mit ausgeschlagenem Bleiblech eingebaut sind

Batterien zur Fortbewegung von Fahrzeugen (Traktionsbatterien).

Unter Traktionsbatterien werden Akkumulatorenbatterien verstanden, die zum Fortbewegen von Fahrzeugen aller Art dienen.

Mit Akkumulatoren betriebene Eisenbahnwagen, sog. Akkumulatoren-Triebwagen, sind gerade in den letzten Jahren zahlreich gebaut worden, u. a. für die Reichseisenbahnverwaltung, und haben sich sowohl in wirtschaftlicher Beziehung als auch hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit durchaus bewährt. Diese Triebwagen eignen sich besonders für den Vorortsverkehr von Mittelstädten, als Zubringer für

Stationen, an denen die durchgehenden Schnellzüge halten, als Ersatz für Dampfzüge in verkehrsarmen Gegenden usw. Bei den in letzter Zeit gebauten Triebwagen werden die Akkumulatoren nicht mehr wie früher unter aufklappbaren Sitzbänken untergebracht, sondern in besonderen Vorbauten des Wagens. Infolge dieser Einrichtung werden Beschädigungen des Wagens sowie Belästigungen der Fahrgäste durch Säuredämpfe sicher vermieden. Man ist sogar dazu übergegangen, ganze Triebwagenzüge durch Akkumulatoren anzutreiben.

Auch elektrische Rangierlokomotiven und Grubenlokomotiven werden in den Fällen, in welchen eine besondere Oberleitung nicht angelegt werden kann, durch Akkumulatoren betrieben und gewähren den Vorteil, daß sie an jede Stelle der Gleisanlage ohne weiteres gelangen können.

Im elektrischen Straßenbahnbetriebe werden Akkumulatoren weniger verwendet, da bei dem meist lebhaften Verkehr dieser Bahnen der Oberleitungsbetrieb vorteilhafter ist.

Zum Antriebe gleisloser Fahrzeuge haben sich die Akkumulatoren gerade in der letzten Zeit neue Gebiete erobert.

Elektrisch betriebene Kraftdroschken (Elektromobile) kommen in größeren Städten immer mehr in Anwendung. Sie haben vor den mit Verbrennungsmotoren betriebenen Wagen den Vorteil, daß sie geräuschloser laufen und die Luft der Großstädte nicht durch austretende Gase verunreinigen. Ihr Hauptnachteil besteht darin, daß sie nicht mehr als etwa 80 km mit einer Ladung fahren können. Für Fernfahrten sind daher Kraftdroschken mit Akkumulatoren ausgeschlossen. Ihre geringere Geschwindigkeit, die 30 km in der Stunde nicht übersteigt, ist innerhalb der Städte vollkommen ausreichend.

Die zur Verwendung gelangenden Akkumulatoren sind auf Seite 66 bereits beschrieben. In der Regel werden 40 Elemente in einen Wagen eingebaut. Da nämlich die Spannung eines Elementes am Ende der Ladung bis auf 2,8 Volt steigt, so können etwa 40 Elemente mit einer Spannung von 110 Volt geladen werden. Die Zellen sind zwecks leichterer Handhabung in einen oder mehrere Holztröge eingebaut, die mit Klemmen sowie Handgriffen oder Haken versehen sind.

Ferner sind mit Akkumulatoren betriebene Lastwagen und Vorspannwagen bereits in großem Umfange eingeführt worden. Die Batterien zum Antrieb dieser schweren Wagen für Nutzlasten bis 5 t bestehen aus 80 Elementen.

Daß ein wirtschaftlicher Betrieb mit Elektromobilen möglich ist, beweisen auch die Postwagen und Postdreiräder, die in größerer Zahl für Berlin und andere Städte angeschafft worden sind.

In neuerer Zeit sind auch elektrische vierrädrige lenkbare Plattformkarren eingeführt worden, die in Speichern und Werkstätten, auf Bahnsteigen der Eisenbahnen usw. zur Beförderung von Gütern und Rohstoffen allerlei Art dienen. Die Akkumulatoren sind häufig in ein Rahmengestell unterhalb der Plattform eingebaut, während der Führerstand sich hinter der Plattform befindet. Mit einer Ladung können 25 km zurückgelegt werden.

Die städtischen Gemeinden haben gleichfalls elektrische Fahrzeuge eingeführt, beispielsweise verkehren in Berlin Löschzüge, Krankenwagen, ja sogar Spülwagen mit elektrischem Antrieb, die den an sie gestellten Erwartungen durchaus entsprechen.

Mit elektrischen Omnibussen wurden in Berlin bereits im Jahre 1897 die ersten Versuchsfahrten unternommen. Diese Gefährte sind aber durch die mit Verbrennungsmotoren angetriebenen Omnibusse infolge der Verbesserungen, die

diese Antriebsart in der letzten Zeit erfahren hat, größtenteils verdrängt worden.

Akkumulatoren-Boote sind naturgemäß auf bestimmte Entfernungen beschränkt. Es ist zu erwarten, daß man künftig für Binnengewässer in höherem Maße als bisher Boote mit Akkumulatoren betreiben wird. Ein äußerst wichtiges Anwendungsgebiet haben die Akkumulatoren, namentlich während des Krieges, auf U-Booten gefunden, da sie bei den Unterwasserfahrten als ausschließliche Energiequelle in Betracht kommen. Bei diesen Batterien müssen die beim Laden sich entwickelnden Gase durch Ventilatoren abgesaugt werden, um Explosionsgefahren und Verschlechterung der Luft durch die Gase zu verhüten [1]).

Batterien zur Beleuchtung von Fahrzeugen.

Die elektrische Beleuchtung der Eisenbahnwagen hat vor der Gasbeleuchtung den Hauptvorteil größerer Feuersicherheit. Drei verschiedene Systeme werden hierbei angewendet:

1. Die Lokomotive oder der Gepäckwagen erhält eine Dynamomaschine und außerdem jeder Wagen eine Akkumulatorenbatterie. Die Wagen sind hierbei untereinander und mit der Lokomotive durch elektrische Leitungen verbunden. Dieses System hat den Nachteil, daß es die Aufmerksamkeit des Lokomotivführers während der Fahrt in Anspruch nimmt.

2. Jeder Wagen besitzt eine für sich abgeschlossene, vollständige elektrische Beleuchtungsanlage, bestehend aus Dynamomaschine, Akkumulatorenbatterie und Schaltvorrich-

[1]) Siehe New York Times vom 16. und 17. Januar 1916, in der über eine durch eine Edison-Batterie verursachte Gasexplosion auf einem amerikanischen U-Boot berichtet wird.

tungen. Die Dynamomaschine wird bei diesem System von einer Achse des Eisenbahnwagens angetrieben.

3. Jeder Wagen hat nur Akkumulatoren, die entweder im Wagen oder in besonderen Ladestationen geladen werden. Diese Beleuchtungsart wird schon seit Jahren für unsere Bahnpostwagen angewendet. Die Elemente werden hierbei in Holzkästen eingebaut, die mit Anschlußklemmen und Traggriffen versehen sind. Die Batterien werden, wenn sie erschöpft sind, gegen geladene ausgewechselt.

Die besten Aussichten verspricht das zweite System, da jeder Wagen seine eigene, von keinem sonstigen Betriebe abhängige Beleuchtungsanlage besitzt. Die Schwierigkeiten beim Antrieb der Dynamomaschine von der Radachse bestehen hauptsächlich darin, trotz der ungleichen Umlaufszahl der Radachse die Spannung der Dynamomaschine gleichbleibend zu halten. Diese Aufgabe ist u. a. von Rosenberg [1]) gelöst worden, dessen Dynamomaschine auch noch beim Wechsel in der Fahrtrichtung stets Strom in gleicher Richtung gibt.

In den letzten Jahren ist man auch dazu übergegangen, die mit Verbrennungsmotoren betriebenen Kraftwagen elektrisch zu beleuchten, indem eine kleine Dynamomaschine von dem Verbrennungsmotor angetrieben wird. Um auch beim Stillstand des Wagens beleuchten zu können, wird außerdem eine kleine Akkumulatorenbatterie eingebaut, die von der Dynamomaschine geladen wird. Die Dynamo wird selbsttätig abgeschaltet, wenn der Wagen zum Stehen gebracht werden soll, und beim Anfahren wieder selbsttätig eingeschaltet. Dies geschieht durch einen elektromagnetischen Ein- und Ausschalter. Ferner müssen besondere Einrichtungen getroffen sein, um die Spannung der Dynamo-

[1]) Siehe Elektrotechnische Zeitschrift 1905, S. 393 ff.

maschine, solange sie während der Fahrt eingeschaltet ist, trotz der ungleichen Umlaufszahl der Motorwelle gleichbleibend zu erhalten.

Mitunter wird eine elektrische Beleuchtungsanlage dieser Art noch mit einem Elektromotor vereinigt, durch den der Verbrennungsmotor angedreht wird, so daß das lästige Andrehen mit der Handkurbel vermieden wird. Der Elektromotor erhält seinen Strom gleichfalls von der Batterie. Es ist zu erwarten, daß derartige elektrische Beleuchtungs- und Anlaßvorrichtungen für Kraftfahrzeuge infolge der Bequemlichkeit, die sie gewähren, noch eine große Zukunft haben werden [1]).

Ähnliche elektrische Beleuchtungsanlagen werden jetzt auch in Motorfischkutter, Jachten und andere Motorboote eingebaut. Die Dynamo wird hierbei von dem Bootsmotor angetrieben und ladet die Batterie, während letztere bei abgeschaltetem Motor den elektrischen Strom für die Bootsbeleuchtung liefert.

Fahrzeuge, die durch Akkumulatoren angetrieben werden, erhalten selbstverständlich von der Antriebsbatterie zugleich ihre Beleuchtung.

Akkumulatoren für Galvanoplastik, Telegraphie, Telephonie.

Für galvanoplastische Anlagen werden elektrische Ströme mit niedriger Spannung gebraucht. Es genügen für Kupferbäder eine, für Nickelbäder zwei Akkumulatorenzellen, die von einem besonderen Niederspannungsdynamo geladen werden. Bei Anwendung von Akkumulatoren wird eine gleichmäßige Stromlieferung erzielt. Eine

[1]) Näheres siehe „Helios, rach- und Exportzeitschrift für Elektrotechnik" 1916, Heft 11 und 12; 1917, Heft 5 und 6.

gleichmäßige Stromstärke ist aber bei galvanoplastischen Arbeiten zur Erreichung eines gleichmäßig starken Niederschlages erforderlich. Für diese Betriebe können die normalen Typen der ortsfesten Akkumulatoren genommen werden.

In Telegraphen- und Sicherungsanlagen haben die Akkumulatoren die Meidinger- und Trockenelemente zum Teil verdrängt. Hervorzuheben sind die Akkumulatorenbatterien für die großen Telegraphen- und Telephonämter mit zentralem Strombetrieb.

Auch im Laboratorium wird der Akkumulator für Versuche der verschiedensten Art gebraucht.

Tragbare Akkumulatoren.

Das Verwendungsgebiet der tragbaren, sog. transportablen Akkumulatoren ist ein äußerst mannigfaches. Die Zellen werden entweder einzeln, in der Regel aber zu 2 bis 6 Stück in einen Holzkasten eingebaut, der mit Anschlußklemmen und zur bequemen Handhabung des Kastens mit Handgriffen versehen ist. In Fig. 43 ist z. B. eine Batterie von drei Zellen der Akkumulatorenfabrik A. G. Berlin Abt. Varta in einem Holzkasten dargestellt. Batterien dieser Art dienen zur elektrischen Beleuchtung und zum Anlassen von Kraftfahrzeugen (siehe S. 98). Tragbare Batterien werden außerdem verwendet zur Beleuchtung von Kutschwagen, Booten, zu kleinen Beleuchtungseinrichtungen für Schlafzimmer, ferner zum Betriebe mechanischer Musikwerke, für ärztliche Zwecke usw.

Zündbatterien von zwei Elementen für Kraftwagen mit Verbrennungsmotoren, Motorfahrräder und Motoboote werden meist mit Gefäßen aus Zelluloid, seltener aus Hart-

gummi geliefert. Bei der gebräuchlichsten Ausführung mit Zelluloidgefäßen werden die beiden Zellen zusammengeklebt, so daß sie ein ganzes Stück bilden, ohne daß ein besonderer Kasten für die Aufnahme der Zellen notwendig ist (s. Fig. 44).

Zum Ableuchten von explosions- und feuergefährlichen Räumen, z. B. in Bergwerken, Gasanstalten usw., werden elektrische Sicherheitslampen (Grubenlampen) mit Akkumulatoren verwendet, die zum Teil nach Art der gebräuchlichen Wetterlampen mit starkem Stahlblechgehäuse ausgeführt sind.

Fig. 43.

Die kleinen Taschenlampen werden vorzugsweise mit primären Trockenelementen ausgerüstet. Für Taschenlampen, an deren Lichtstärke und Brenndauer höhere Anforderungen gestellt werden, ebenso für größere Handlampen finden jedoch vielfach kleine Akkumulatorenbatterien Verwendung.

Für Theaternotbeleuchtung sind ebenfalls Akkumulatoren mit Erfolg eingeführt worden. Die Firma Schwabe & Co., Berlin benutzt hierfür zwei Systeme. Bei dem einen System hat jede Sicherheitslampe ihre eigene Stromquelle und wird während der ganzen Vorstellung von

dem Akkumulator gespeist. Hierbei müssen die Zellen zum Aufladen von ihrem Platz entfernt werden und können zugleich einer Prüfung unterzogen werden. Bei dem anderen System werden die zur Notbeleuchtung bestimmten Lampen während der Vorstellung durch die Starkstromanlage des Hauses gespeist. Beim Versagen dieser Anlage wird selbsttätig eine Reserve-Notbeleuchtung eingeschaltet. Es ist nämlich neben jeder von der Hauptstromleitung gespeisten Sicherheitslampe noch eine niedervoltige Reserve-Notbeleuchtungslampe vorgesehen, die an einen besonderen Akkumulator angeschlossen ist.

Fig. 44.

Bei dem zweiten System wird also der Akkumulator nur im Notfalle beansprucht. Dafür hat das erste System den Vorzug vollkommenster Unabhängigkeit von der Hauptlichtanlage.

Die Akkumulatorenfabriken pflegen den gelieferten Akkumulatoren Bedienungs- und Ladevorschriften beizugeben.

Dient der Akkumulator zur Beleuchtung, dann läßt sich an dem Dunkelbrennen der Glühlampe schon mit einiger Sicherheit der Entladezustand erkennen. Auf alle Fälle kann mit Hilfe eines kleinen Spannungsmessers in Uhrform (Fig. 45) die Entladespannung gemessen werden, indem die Spitzen *a* und *b* des Meßgerätes mit den Batteriepolen berührt werden. Die Spannungsmessung ergibt jedoch nur dann brauchbare Werte, wenn der Akkumulator während der Messung arbeitet. Die Spannung des Akkumulators im Ruhezustande steigt nämlich auch dann wieder auf etwa 2 Volt, wenn er entladen worden ist (s. S. 13). Die Glühlampe muß also während der Spannungsmessung brennen. Bei anderen Verwendungsarten der Batterien ist es mitunter schwierig, die Arbeitsspannung zu messen, z. B. bei Zündbatterien nach beendeter Fahrt. In diesem Falle bedient man sich zweckmäßig eines sog. Moment-Zellenprüfers, der in seiner äußeren Form dem erwähnten Spannungsmesser ähnelt. In dem Gehäuse dieses Meßgerätes befindet sich jedoch noch ein Widerstand, durch den es auf die gebräuchliche Entladestromstärke eingestellt werden kann. Dieser Widerstand läßt sich auch ausschalten, so daß das Meßgerät zugleich als gewöhnlicher Spannungsmesser benutzt werden kann.

Fig. 45.

Die Akkumulatoren werden am besten von einem Gleichstromnetz geladen. Die Pole der Stromquelle können, falls sie nicht bekannt sind, mit Polreagenzpapier ermittelt werden. Zu dem Zwecke feuchtet man dieses Papier an, legt es auf ein sauberes Brett und drückt die beiden blank gemachten Enden der Leitungsdrähte in einem Abstand von etwa

10 mm auf das Papier. Hierbei ist natürlich darauf zu achten, daß die Drahtenden sich nicht berühren, da sonst Kurzschluß entsteht. Das Papier färbt sich nach kurzer Zeit an negativen Pol rot. Dieser negative Pol der Lichtleitung wird dann mit der negativen Klemme des Akkumulators verbunden. Die weiteren Verbindungen und Geräte sind aus dem Schaltungsschema in Fig. 46 ersichtlich, das ohne weiteres verständlich ist. Es bedeuten $s\,s$ = Sicherungen, R =

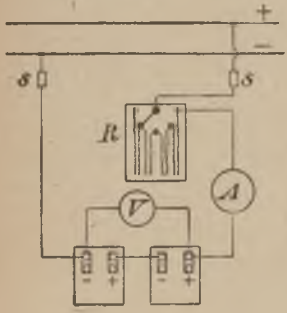

Fig. 46.

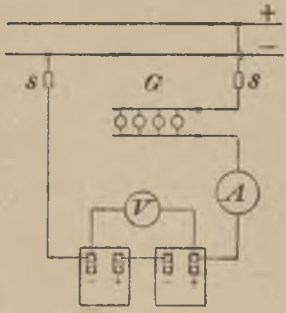

Fig. 47.

Regulierwiderstand. A = Strommesser, V = Spannungsmesser.

Aus einer Leitung von 110 Volt Spannung können, wie wir früher gesehen haben, 40 Zellen hintereinander geladen werden. Beim Laden von Batterien mit geringerer Zellenzahl wird der Ladestrom daher nicht genügend ausgenutzt.

Bei der in Fig. 46 gezeichneten Schaltung wurde die Ladestromstärke durch einen Regulierwiderstand geregelt. Kleine Batterien mit wenigen Zellen werden am besten unter Anwendung eines Glühlampenwiderstandes (G in Fig. 47) geladen. Ein solcher Widerstand besteht aus Lampenfassungen, die untereinander nach dem Schema in Fig. 47

verbunden und auf einer Holz- oder Marmortafel befestigt sind. In diese Fassungen werden gewöhnliche Kohlenfadenlampen eingeschraubt. Da eine Glühlampe von 16 Kerzen bei einer Spannung von 110 Volt etwa 0,5 Ampere durchläßt, so sind beispielsweise für eine Ladestromstärke von 2 Ampere vier derartige Lampen parallel zu schalten. Die Glühlampen brennen dann nicht mit einer Spannung von 110 Volt, sondern mit einer Spannung, die um den Betrag der Ladespannung der Akkumulatoren verringert ist. Beim Laden von zwei Zellen z. B. werden die Glühlampen zu Beginn der Ladung eine Spannung von etwa $110 - 2 \times 2 = 106$ Volt und gegen Ende der Ladung von $110 - 2 \times 2{,}7 = 104{,}6$ Volt haben. Die Glühlampen brennen also dunkler als sonst. Dies ist auch ein Zeichen, daß die Batterie zum Laden richtig an das Netz angeschlossen worden ist. Da nun der Stromdurchgang einer Glühlampe mit sinkender Spannung geringer wird, so wird die Stärke des Ladestromes mit zunehmender Ladespannung abnehmen, was häufig sogar erwünscht ist. Bei zwei Zellen oder einigen mehr ist die Abnahme der Stromstärke gegen Ende der Ladung unerheblich. Soll jedoch mit unverminderter Stromstärke zu Ende geladen werden, dann müssen während des Verlaufs der Ladung eine oder mehrere Glühlampen hinzugeschaltet werden. Die Stromstärke läßt sich noch durch Ein- und Ausschalten von Glühlampen mit verschiedener Kerzenstärke besser regeln.

Bei Anwendung eines Glühlampenwiderstandes ist der Strommesser *A* auch entbehrlich.

Der Edison-Akkumulator.

Die Vorgeschichte des alkalischen Akkumulators.

Dem Bleiakkumulator haften trotz der Verbesserungen, die er bisher erfahren hat, immer noch große Mängel an.

Er ist im Verhältnis zu der von ihm aufgespeicherten Elektrizitätsmenge reichlich schwer, da ja das Blei von allen Stoffen, die für eine praktische Verwendbarkeit im großen in Betracht kommen könnten, das höchste spez. Gewicht, nämlich 11,4 hat. Dabei beansprucht der Bleiakkumulator viel Raum. Ferner ist die Lebensdauer der Bleisuperoxyd- und Bleischwammplatten immer noch eine beschränkte, und die Haltbarkeit dieser Platten wird bei starken Beanspruchungen und unsachgemäßer Behandlung noch mehr verringert. Auch hat die beim Bleiakkumulator angewendete Schwefelsäure mancherlei Nachteile im Gefolge. Durch verschüttete Säure und durch Säureteilchen, die von den beim Laden entwickelten Gasen mitgerissen werden, können die Räume, in denen der Akkumulator untergebracht ist, leicht beschädigt und Personen belästigt werden.

Es liegt daher nahe, daß es an Versuchen nicht gefehlt hat, den Bleiakkumulator durch einen anderen Akkumulator zu ersetzen.

Von den zahlreichen Konstruktionen und Vorschlägen nach dieser Richtung hin mögen die folgenden hervorgehoben werden.

Im Jahre 1885 wurde von Dun ein Akkumulator zum Patent angemeldet, für welchen als Elektrolyt Kali- oder Natronlauge vorgesehen war. Die negative Elektrode bestand aus einem in der Lauge unlöslichen Leiter, wie Kupfer, Silber, Eisen, Platin, Antimon usw., und die positive Elektrode aus Metalloxyden, wie Kupferoxyd, Silberoxyd, Mangansuperoxyd, Nickeloxydul bzw. -oxyd usw.

Dieser Akkumulator wurde durch das Patent 38 383 geschützt. Dun schlug auch bereits vor, die Metallplatten mit Überzügen von Nickel, Silber oder anderem Metall zu versehen, die auf galvanischem Wege oder auf andere Weise hergestellt sein können.

Später konstruierten Waddell und Entz einen Akkumulator mit den Elektroden Kupfer und Zink in Kalilauge.

Der Gedanke, einen Akkumulator zu schaffen, dessen Elektrolyt während der Ladung und Entladung unverändert bleibt, wurde zuerst von dem Schweden Jungner klar ausgesprochen. Dieser ließ sich durch das Patent 110 210 bei einem Akkumulator ganz allgemein Elektroden schützen, deren wirksame Masse aus solchen Metallen bzw. deren Sauerstoffverbindungen besteht, welche die als Elektrolyt benutzte Kali- oder Natronlauge weder in ihrer Zusammensetzung noch in ihrer Konzentration ändern. Der Elektrolyt spielt daher nach Jungner nur die Rolle eines Leiters zwischen den Elektroden, und es braucht nur eine verhältnismäßig geringe Menge des Elektrolyt in die Zelle gefüllt zu werden, da er ja nicht zersetzt wird. Der Elektrolyt scheidet also bei der Elektrolyse nur die Bestandteile des in ihm befindlichen Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff ab und nimmt sie wieder auf; es findet demnach ein Wandern des Sauerstoffes von der einen Elektrode zur anderen statt.

Eine weitere Kombination eines alkalischen Akkumulators mit unveränderlichem Elektrolyt — im Gegensatz zum Bleiakkumulator mit Schwefelsäure als Elektrolyt, dessen Konzentration sich bei der Ladung und Entladung ändert — schuf Michalowski. Sein Akkumulator bestand aus Nickeloxyd und Zink in Kali- oder Natronlauge. Die elektromotorische Kraft dieses Elementes betrug 1,85 Volt.

Durch das Patent 157 290 vom Jahre 1901 wurde dann Edison ein Akkumulator mit unveränderlichem alkalischen Elektrolyt geschützt, dessen positive Elektrode aus Nickelsauerstoffverbindungen und dessen negative Elektrode im geladenen Zustande aus metallischem Eisen oder niederen, d. h. noch oxydierbaren Sauerstoffverbindungen des Eisens oder einem Gemenge beider besteht. Edison empfahl gleich-

zeitig die Anwendung von Nickelhydroxydverbindungen für die Nickelelektrode.

Dieser Akkumulator ist inzwischen so weit verbessert worden, daß er in verschiedenen Typen auf den Markt gebracht werden konnte.

Fig. 48.

Bei der ersten Ausführung des Edison-Akkumulators wurde das aktive Material für die positiven und negativen Platten in sog. Taschen eingefüllt; dies sind rechteckige Behälter aus vernickeltem und feingelochtem Stahlblech von 0,075 mm Dicke. Diese Taschen wurden nach der Füllung in die Gitteröffnungen vernickelter Stahlblechplatten (Gitterrahmen, Fig. 48) von 0,4 mm Dicke durch hydraulischen Druck eingepreßt. Fig. 49 zeigt oben den Querschnitt und unten den Längsschnitt eines Teiles des Gitterrahmens mit eingepreßter Tasche in vergrößertem Maßstabe. Die Taschen sind also in der Höhenrichtung gewellt.

Fig. 49.

In jede Zelle wurden doppelt soviel positive wie negative Platten eingesetzt. Die Platten verschiedener Polarität hatten nur einen Abstand von 1 mm, der durch Hartgummistäbe von quadratischem Querschnitt gesichert wurde.

Das aktive Material der positiven Elektrode bestand aus Nickelhydroxyd, dem etwa 20 % flockigen Graphits beigemengt wurden, um die Leitfähigkeit zu erhöhen. Für die negative Elektrode wurde ein Gemenge von fein verteiltem Eisen und Eisenoxyd angewendet, dem zur Erhöhung der Leitfähigkeit etwa 10 % Quecksilberoxyd beigemischt waren. Hierdurch wurde zugleich die Zelle gegen Stromstöße widerstandsfähig gemacht. Als Elektrolyt diente 21 %ige chemisch reine Kalilauge.

Die Lade- und Entladezeit dieser Zellen dauerte $3^3/_4$ bis 4 Stunden; die Ladestromstärke war etwa 45 % höher als die Entladestromstärke.

Der neue Edison-Akkumulator mit taschenförmigen positiven und negativen Elektroden.

Der Edison-Akkumulator wird jetzt in zwei verschiedenen Ausführungen hergestellt, von denen die eine für vierstündige Lade- und Entladezeit und die andere für siebenstündige Lade- und fünfstündige Entladezeit bestimmt ist. Die Zellen der erstgenannten Type unterscheiden sich von der älteren Ausführung dadurch, daß die mit der wirksamen Masse gefüllten rechteckigen Taschen nicht mehr senkrecht in eine mit Gitteröffnungen versehene Stahlblechplatte, wie in Fig. 48 gezeigt, sondern wagerecht in einen vernickelten Stahlblechrahmen ohne Gitteröffnungen eingesetzt sind. Die Taschen werden also nunmehr unmittelbar aneinandergereiht und durch die

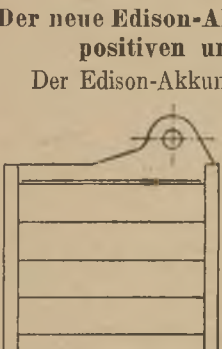

Fig. 50.

beiden senkrechten Rahmenleisten gehalten. Fig. 50 zeigt eine derartige Platte mit acht übereinanderliegenden Taschen.

Im übrigen stimmt dieser Akkumulator, für den die Typenbezeichnung *F* gewählt worden ist, mit der älteren Ausführung überein. Es ist also die Zusammensetzung der aktiven Masse für die einzelnen Plattenarten dieselbe geblieben. Auch stimmt die äußere Form der positiven Platten jedes Typs mit derjenigen der negativen Platten überein.

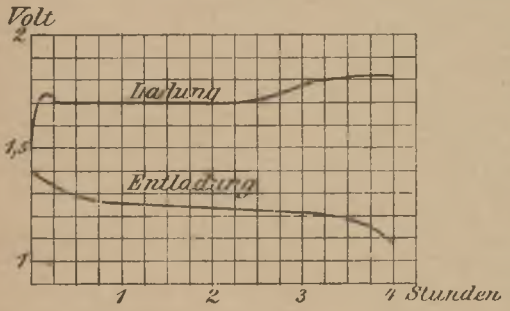

Fig. 51.

Ferner enthält wiederum eine Zelle doppelt soviel positive wie negative Platten. Da auch die normalen Lade- und Entladezeiten gleichgeblieben sind, so muß ebenfalls die Ladestromstärke um 45 % höher sein als die Entladestromstärke.

Fig. 51 zeigt den Verlauf der Klemmenspannungen bei der Ladung und Entladung. Die mittlere Entladespannung ist 1,2 Volt und die mittlere Ladespannung 1,67 Volt bei normaler Beanspruchung.

Hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit werden die *F*-Typen von dem für siebenstündige Lade- und fünfstündige Entladezeit bestimmten Akkumulator, der im nächsten Abschnitt noch erläutert werden soll, übertroffen, da die Höchstleistung

der *F*-Type nur 23,5 Wattstunden für 1 kg Zellengewicht beträgt.

Der Edison-Akkumulator mit röhrenförmigen positiven und taschenförmigen negativen Elektroden.

Konstruktion und Einbau der Platten.

Der seit dem Jahre 1910 eingeführte Edison-Akkumulator mit röhrenförmigen positiven und taschenförmigen negativen Platten unterscheidet sich von den beiden beschriebenen Edison-Akkumulatoren hauptsächlich durch die Konstruktion und Anzahl der positiven Platten. Während bei den erwähnten beiden Ausführungen das aktive Material sowohl für die positive wie negative Elektrode in flache Taschen gefüllt wurde, geschieht dies bei dem zuletzt genannten Akkumulator nur noch für die negativen Platten, die auch ihre ursprüngliche äußere Form beibehalten haben. Auch ist die Zusammensetzung der aktiven Masse für die negativen Platten die gleiche geblieben.

Fig. 52.

Die neue positive Elektrode wird hingegen aus röhrenförmigen Behältern zusammengesetzt, die das aktive Material enthalten und senkrecht in einen vernickelten Rahmen aus Eisenblech eingesetzt werden.

Diese röhrenförmigen Behälter (Fig. 52) werden aus dünnen vernickelten und feingelochten Stahlblechstreifen gebogen und an den Kanten durch Falze zusammengehalten. Die Naht verläuft dabei in einer Schraubenlinie, wodurch eine große Festigkeit gegen inneren Druck erreicht wird.

Die Röhrchen werden in größerer Zahl auf Füllmaschinen abwechselnd mit einer Lage Nickelhydroxyd von bestimmter

Körnung und einer Lage Nickelflitter gefüllt. Diese Nickelflitter sind sehr kleine und dünne Plättchen aus metallischem Nickel, die zur Erhöhung der Leitfähigkeit der aus Nickelhydroxydteilchen bestehenden wirksamen Masse dienen. Die gefüllten Röhrchen werden dann an den Enden geschlossen. Zur weiteren Erhöhung der Festigkeit gegen innen den Druck wird über jedes fertige Röhrchen eine Anzahl kleiner nahtloser Stahlringe gezogen. Die Verstärkungsringe der benachbarten Elektrodenröhren sind gegeneinander versetzt, damit die Röhren möglichst dicht aneinandergesetzt werden können.

Fig. 53.

Fig. 53 zeigt eine positive Platte der Type *A*, bei der zwei Reihen von je 15 Röhrchen übereinander angeordnet sind. Die positive Platte der Type *B* besteht nur aus einer Reihe von 15 Röhrchen.

Der Akkumulator mit positiven röhrenförmigen Elektroden enthält wie der Bleiakkumulator von den positiven Platten eine weniger als von den negativen Platten, so daß in jedem Falle die Endplatten negative sind.

Jede Platte weist oben einen Lappen mit einem runden Loch auf (Fig. 53), durch das die Platten gleicher Polarität auf einen vernickelten Eisenbolzen abwechselnd mit vernickelten eisernen Distanzscheiben aufgereiht werden. Die Platten werden durch Muttern an den Enden der Bolzen zusammengehalten. Gleichzeitig wird durch diese Verschraubung ein in der Mitte eines jeden Plattensatzes aufgesetzter

Polbolzen mit diesem verbunden. Fig. 54 zeigt den ganzen Plattensatz einer Edisonzelle der Type *A* 12 mit 12 positiven und 13 negativen Platten, aus der zugleich die äußere Gestalt der negativen Platte zu sehen ist. Die Hartgummirahmen an den beiden Breitseiten und die Hartgummiprismen am Boden isolieren den Plattensatz gegen das Stahlgefäß. Die benachbarten Platten sind gegeneinander durch Hartgummistäbe isoliert.

Fig. 54.

Beim Einbau des Plattensatzes in das Gefäß werden die Polbolzen gegen den Deckel durch Hartgummistopfbüchsen mit Weichgummieinlage isoliert und zugleich abgedichtet. Auf diese Weise wird eine vollständige Isolierung der beiden Plattensätze gegeneinander sowie gegen das Gefäß erreicht.

Fig. 55 zeigt einen Längsschnitt durch eine fertig eingebaute Zelle, der die erwähnten Isolierungen erkennen läßt. Auf der Mitte des Deckels sitzt ein Ventil, durch das die entwickelten Gase entweichen können. Das Ventil dient zugleich zum Nachfüllen der Zelle. Boden und Deckel der Zelle

sind mit den Gefäßwänden verschweißt. Zur Erhöhung der Festigkeit des Gefäßes sind in seine Wände wellenförmige Vertiefungen eingewalzt (in Fig. 55 nicht dargestellt).

Beim Einbau der Edison-Zellen in hölzerne Transportkasten dürfen die Zellen nicht dicht aneinander stehen, sondern es müssen Lufträume zwischen den Zellen freibleiben, weil bei metallischer Berührung der Zellenwände ein Stromübergang stattfinden würde, der ein elektrolytisches Zerfressen der Gefäße sowie eine Selbstentladung der Platten verursachen würde.

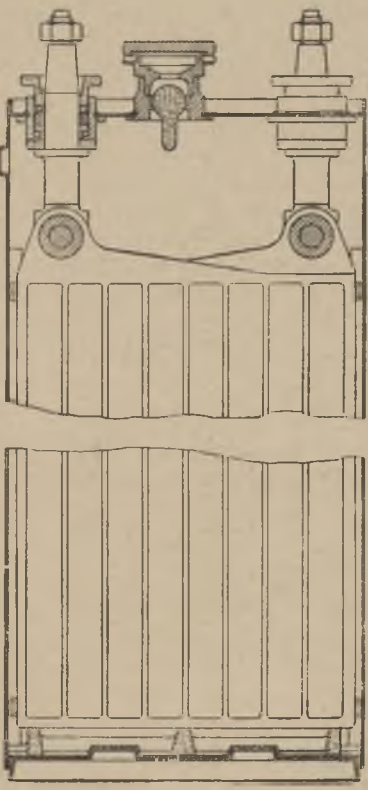

Fig. 55.

Chemische Vorgänge bei der Entladung und Ladung.

Die Füllflüssigkeit ist chemisch reine, mit einem Zusatz von Lithiumhydroxyd versehene Kalilauge vom spezifischen Gewicht 1,2. Der

Elektrolyt nimmt, wie wir schon bei Besprechung des Akkumulators von Jungner (S. 106) gesehen haben, an den stromerzeugenden Vorgängen nicht teil, sondern dient nur als Leiter des elektrischen Stromes zwischen den Elektroden; er bleibt daher auch praktisch unverändert.

Bei der Ladung wird die aus einer Eisensauerstoffverbindung bestehende wirksame Masse der negativen Elektrode zu metallischem Eisen reduziert, das dann eine sehr fein verteilte Form hat. Das aktive Material der positiven Elektrode, das Nickelhydroxydul, geht in eine höhere Oxydationsstufe über. Bei der Entladung entsteht hingegen aus dem Eisen der negativen Elektrode Eisenhydroxydul, während das Nickeloxyd der positiven Elektrode Sauerstoff abgibt und in Nickelhydroxydul wieder zurückgeführt wird.

Leistungsfähigkeit.

Der Akkumulator mit positiven röhrenförmigen Elektroden ist bei normaler Beanspruchung für eine Entladezeit

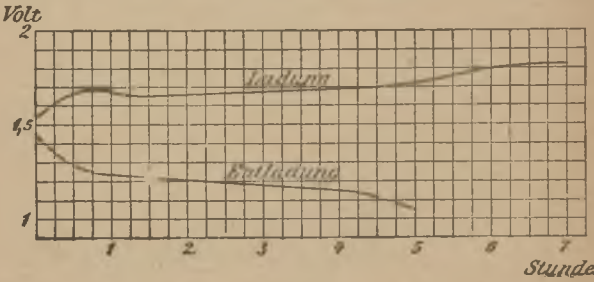

Fig. 56.

von fünf Stunden und eine Ladezeit von sieben Stunden bestimmt. Die Klemmenspannungen bei der Entladung und

Ladung mit derselben gleichbleibenden Stromstärke sind aus den Kurven der Fig. 56 zu ersehen. Die höchste Ladespannung ist hiernach 1,82 Volt. Die Zelle ist vollgeladen, wenn nach Erreichung dieser Spannung noch etwa 30 Minuten weiter geladen wird. Die mittlere Ladespannung ist etwa 1,67 Volt. Durch Überladen der Batterie kann ihre Kapazität noch um 10 % erhöht werden, wodurch der Wirkungsgrad freilich verringert wird.

Die Entladung ist normal zu unterbrechen, wenn die Klemmenspannung bei normaler Entladestromstärke auf 1 Volt gesunken ist. Die mittlere Entladespannung ist 1,2 Volt.

Die nachstehende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der Leistungen und Gewichte der Typen T, B und A für eine Ladezeit von sieben Stunden und eine Entladezeit von fünf Stunden bei gleichen Lade- und Entladeströmen.

Type	Kapazität in Amperestunden	Kapazität in Wattstunden	Lade- und Entladestrom, normal in Ampere	Bei der Ladung aufzuwenden an Amperestunden	Bei der Ladung aufzuwenden an Wattstunden	Gewicht einer Zelle mit Lauge in kg	Leistung in Wattstunden für 1 kg Zellengewicht
T_1	1,25	1,5	0,25	1,75	2,92	0,25	6
T_2	2,5	3	0,5	3,5	5,84	0,28	10,7
T_3	3,75	4,5	0,75	5,25	8,76	0,3	15
T_9	11,25	13,5	2,25	15,75	26,3	0,77	17,5
T_{18}	22,5	27	4,5	31,5	52,6	1,2	22,5
B_5	37	44,4	7,5	52,5	88	2,2	20,2
B_7	56	67,2	11,25	78,75	131	2,85	23,6
B_4	75	90	15	105	175	3,52	25,6
B_5	93	111,6	18,75	131,25	219	4,25	26,3
B_6	112	134,4	22,5	157,5	263	5,1	26,8
A_3	112	134,4	22,5	157,5	263	4,85	27,7
A_4	150	180	30	210	350	6,22	29
A_5	185	222	37,5	262,5	438	7,2	30,8
A_6	225	270	45	315	526	8,9	30,4
A_7	300	360	60	420	700	12,3	29,3
A_{10}	375	450	75	525	876	15,3	29,4
A_{12}	450	540	90	630	1052	18,3	29,5

Die höchste Leistung im Verhältnis zu ihrem Gewicht hat hiernach die Type A_5, nämlich 30,8 Wattstunden, bezogen

auf 1 kg Zellengewicht. Der Wirkungsgrad in Amperestunden ist nach dieser Tabelle, da die normalen Lade- und Entladestromstärken einer Zelle dieselben sind, gleich dem Verhältnis der Entladedauer zur Ladedauer, also $\frac{5}{7} = 0{,}715$.

Der Wirkungsgrad in Wattstunden ist gleich dem Wirkungsgrad in Amperestunden, multipliziert mit dem Verhältnis der mittleren Entladespannung zur mittleren Ladespannung, also $\frac{5}{7} \cdot \frac{1{,}2}{1{,}67} = 0{,}51$. Es kann also etwa nur die Hälfte der zur Ladung der Edisonzellen aufgewendeten Energiemengen zurückgewonnen werden.

Wird der Akkumulator nicht sofort nach beendeter Ladung entladen, dann wird der Wirkungsgrad noch weiter verringert, da sich die Edisonzellen auch im Ruhezustande von selbst entladen. Die Selbstentladung wird noch erhöht, wenn die benachbarten Zellen, wie wir oben gesehen haben, sich metallisch berühren oder die Gehäuse nicht genügend rein und trocken gehalten werden. Es ist daher darauf zu achten, daß beim Füllen der Zellen Kalilauge oder destilliertes Wasser nicht vergossen und etwa übergelaufene Flüssigkeit sofort entfernt wird.

Vergleich des Edison-Akkumulators mit dem Bleiakkumulator.

Beim Vergleich des Edison-Akkumulators mit dem Bleiakkumulator ist zunächst zu berücksichtigen, daß die Klemmenspannung des ersteren wesentlich geringer ist als die des Bleiakkumulators.

Während die mittlere Entladespannung der Edisonzelle bei Belastung mit normaler Stromstärke 1,2 Volt beträgt und die Zelle bis zu einer Spannung von 1 Volt entladen zu

werden pflegt, ist beim Bleiakkumulator eine entsprechende mittlere Klemmenspannung von etwa 1,92 Volt vorhanden, wenn er in fünf Stunden entladen wird, und die Entladung wird bei einer Spannung von 1,83 Volt beendet. Demgemäß sind beispielsweise für eine mit 110 Volt betriebene elektrische Anlage bei Verwendung von Bleizellen $\frac{110}{1,83} = 60$ Stück und bei Verwendung von Edisonzellen $\frac{110}{1} = 110$ Stück erforderlich.

Handelt es sich um Batterien, bei denen eine bestimmte Klemmenspannung nicht eingehalten zu werden braucht, z. B. für elektrische Kraftfahrzeuge, dann besitzt eine aus 40 Bleizellen bestehende Batterie eine mittlere Klemmenspannung von $40 \cdot 1.92 = 77$ Volt. Es müßten daher, um die gleiche Spannung zu erhalten, $\frac{77}{1,2} = 64$ Edisonzellen eingebaut werden.

Es pflegen nun als besondere Vorteile des Edisonakkumulators sein leichteres Gewicht und geringerer Platzbedarf gegenüber dem Bleiakkumulator hervorgehoben zu werden. Die für ortsfeste Anlagen konstruierte Bleizelle mit ihren verhältnismäßig starken Platten, den schweren, mit Bleiblech ausgeschlagenen Holzkasten und großem Säureinhalt ist freilich erheblich schwerer als die Edison-Zelle. Beispielsweise besitzt die Type J 48 (s. Tabelle auf S. 59) eine Kapazität von 1440 Amperestunden bei fünfstündiger Entladung. Rechnet man mit einer mittleren Entladespannung von 1,92 Volt, dann leistet eine Zelle dieser Art $1440 \cdot 1,92 = 2765$ Wattstunden. Ihr Gewicht mit Säure ist 362 kg. Mithin leistet 1 kg dieser ortsfesten Bleizelle nur $\frac{2765}{362} = 7,6$ Wattstunden.

Bei ortsfesten Anlagen hat das Gewicht aber nur eine untergeordnete Bedeutung. Hingegen ist eine möglichst große Gewichtsersparnis anzustreben, wenn die Batterie zum Antrieb von Fahrzeugen, z. B. Kraftwagen und Booten, dienen soll. Aus diesem Grunde werden auch die hierfür zur Verwendung kommenden Bleiakkumulatoren, wie wir gesehen haben, wesentlich leichter gebaut als die für ortsfeste Anlagen bestimmten Akkumulatoren. Z. B. wiegt eine Zelle der Type NW 8 (s. Tabelle S. 67) der Firma Gottfried Hagen in Kalk bei Köln einschließlich Säure 11,4 kg. Diese Zelle besitzt eine Kapazität von 160 Amperestunden bei fünfstündiger Entladung. Bei einer mittleren Entladespannung von 1,92 Volt ergibt dies eine Leistung von 307 Wattstunden. 1 kg dieser Zelle leistet somit 27 Wattstunden. Eine Zelle der Type NW 16 von doppelter Leistung wiegt nur 22 kg, was eine Leistung von 28 Wattstunden, bezogen auf 1 kg des Zellengewichts, ergibt. Nach einer Preisliste der Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft, Berlin über Automobilbatterien hat eine Zelle der Type Ky 225/4 Nr. 4 mit einer Kapazität von 160 Amperestunden bei fünfstündiger Entladung ein Gewicht von 10,5 kg einschließlich Säure und Verbindungen und eine Zelle von der doppelten Leistung ein Gewicht von 20,4 kg. Dies ergibt eine Leistung von 29,2 Wattstunden für die kleinere und 30 Wattstunden für die größere Zelle, bezogen auf 1 kg des Zellengewichtes. Es sind dies Leistungen, die somit an die Höchstleistungen der Edison-Zellen (s. Tabelle S. 115) heranreichen.

Tragbare Bleiakkumulatoren mit Masseplatten in Zelluloidgefäßen erzielen ebenfalls hohe Leistungen, wenn mit geringen Stromstärken oder mit häufigen Unterbrechungen entladen wird, da die Masseplatten nur eine geringe Selbstentladung haben. Beispielsweise sind in einer Preisliste der Akkumulatorenfabrik A. G. Berlin, Abt. Varta für die Type M_3, die mit Säure 12,3 kg wiegt, eine Kapazität von

96 Amperestunden bei 10stündiger Entladung und eine Kapazität von 220 Amperestunden bei einer Entladung mit 0,5 Ampere angegeben, ferner für die Type M_6 mit einem Gewicht von 21,9 kg einschließlich Säure die Kapazitäten 192 bzw. 475 Amperestunden. Legt man eine mittlere Entladespannung von 1,93 Volt zugrunde, die keineswegs zu hoch gegriffen sein wird, dann besitzt die Type M_3 Leistungen von 185 bzw. 425 Wattstunden und die Type M_6 Leistungen von 371 bzw. 916 Wattstunden. Dies ergibt Leistungen von 15 bzw. 34,5 Wattstunden für 1 kg der Type M_3 und 16,9 bzw. 41,8 Wattstunden für 1 kg der Type M_6.

Bei derartig langsamen Entladungen werden also mit dem Bleiakkumulator Leistungen erzielt, die mit dem Edison-Akkumulator bisher nicht erreicht werden konnten, weil bei letzterem die Kapazität durch die Entladestromstärke nur wenig beeinflußt wird.

An Raum nehmen die erwähnten Bleiakkumulatoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die tragbaren Bleiakkumulatoren verhältnismäßig noch weniger ein als die Edison-Akkumulatoren der entsprechenden Leistung, weil letztere infolge der geringeren Entladespannung eine höhere Zellenzahl erfordern.

Hinsichtlich des Wirkungsgrades ist der Bleiakkumulator dem Edison-Akkumulator entschieden überlegen. Während der letztere bei normaler Lade- und Entladestromstärke nur einen Wirkungsgrad in Wattstunden von 51 % aufweist (s. S. 116), wird für den Bleiakkumulator bei dreistündiger Entladung und einer Ladestromstärke, die ebenso hoch wie der Entladestrom ist, ein Wirkungsgrad von 75 % von den Akkumulatorenfabriken garantiert. Der Wirkungsgrad des Bleiakkumulators wird noch höher, wenn geringere Lade- und Entladestromstärken angewendet werden.

Ein wichtiger Punkt ist natürlich auch die Kostenfrage. Der Preis der Edison-Zellen ist wegen der Verwendung von

Nickel wesentlich höher als der entsprechender Bleizellen. Doch ist bei Beurteilung der Kostenfrage auch die Lebensdauer der Batterien zu berücksichtigen. Gewiß halten die dünnen Gitterplatten, namentlich die positiven Platten, die zu den Bleibatterien für elektrische Kraftwagen verwendet werden, nur einige hundert Entladungen aus. Trotzdem werden in Deutschland zum Antrieb dieser Fahrzeuge Bleibatterien den Edison-Batterien vorgezogen, und zwar nicht allein wegen der geringeren Anschaffungskosten, des geringeren Raumbedarfs und höheren Wirkungsgrades des Bleiakkumulators, sondern auch deshalb, weil die Akkumulatorenfabriken gegen eine bestimmte Vergütung die Instandhaltung der Bleibatterien zu übernehmen bereit sind, so daß der Batteriebesitzer feste Beträge für die Betriebskosten im voraus einzusetzen in der Lage ist.

Handelt es sich um tragbare Akkumulatoren, die nur langsam oder mit großen Unterbrechungen entladen werden, so daß sie womöglich nach Ablauf mehrerer Wochen oder Monate erst wieder einmal geladen zu werden brauchen, so wird bei sorgfältiger Behandlung auch der Bleiakkumulator eine längere Lebensdauer haben können. Doch ist es ein Vorzug der Edison-Zellen, daß sie gegen schlechte Wartung unempfindlicher sind als die Bleizellen, deren Platten durch zu starke oder tiefe Entladungen und ungenügendes Laden infolge Sulfatbildung leicht zerstört werden können.

Auch ist der Edison-Akkumulator wegen seines festeren Aufbaues widerstandsfähiger gegen Stöße und Erschütterungen als der Bleiakkumulator, der aus leicht zerstörbaren Stoffen, wie Blei, Zelluloid, Hartgummi, zusammengesetzt ist. Der Edison-Akkumulator kann daher als tragbarer Akkumulator mitunter vorteilhaft verwendet werden.

Für ortsfeste Batterien ist er wegen der Unwirtschaftlichkeit seines Betriebes inzwischen aufgegeben worden

Register

Akkumulatoren-Fabrik A.-G. Berlin 43. 53. 65. 75.
Akkumulatorenräume 75.
Akkumulatorentriebwagen 93.
Aktives Material 33. 108.
Alkalische Akkumulatoren 104.
Anlaßvorrichtungen für Kraftfahrzeuge 98.
Aräometer 61.
Aufstellung der Batterien 70.

Behandlung der Akkumulatoren 77.
Beleuchtung von Eisenbahnwagen 96.
Beleuchtung von Kraftfahrzeugen 98.
Bleiakkumulator 7. 116.
Bleileisten 56. 72.
Bleioxyd 32.
Bleischwamm 8.
Bleisulfat 8.
Bleisuperoxyd 7. 8.
Bodengestelle 71.
Boese 35.

Chemische Vorgänge bei der Entladung und Ladung 8.
Chlor 77.
Correns 35.

Daniellsches Element 5.
Dicke der Platten 18.
Doppelzellenschalter 88.
Dun 105.

Edisonakkumulator 104.
Einbau der Akkumulatoren 51.
Eisenbahnwagenbeleuchtung 96.
Eisenoxyd 108.
Elektrizitätsmenge 17.
Elektrolyt 8. 105.
Elektromobile 94.
Elektromotorische Kraft 15.
Entladekurve 12. 109. 114.
Entladestromstärke 17.
Entz 106.
Erholung 27.
Etagengestelle 72.

Faure 32.
Formation 32.
Füllmasse 47.
Füllung der Batterien 77
Fulmen-Platte 39.

Galvanoplastik 98.
Gasentwicklung 14.
Gelatinöse Kieselsäure 21.
Geschichtliche Entwicklung des Bleiakkumulators 31.
Gitterplatte 33. 42.
Glasgefäße 51. 58.
Glaswolle 68.
Glühlampenwiderstand 103.
Großoberflächenplatte 41. 43. 47.

Hagen, Gottfried 47. 67
Handlampen 100.
Hartgummigefäße 58.
Hebersäuremesser 62.
Hilfselektrode 22.
Holzbrettchen 54.
Holzgestelle 70.
Holzkasten 99.
Holzkasten mit Bleiblechausschlag 51.

Imprägnierung der Holzgestelle 70.
Isolierung der Gefäße 56
— der Holzgestelle 71.
— der Laufböden 73.
— der Laufbühnen 74.
— der Platten 54. 61. 64 66. 69. 112.
Jungner 106.

Kabath, de 36.
Kadmiumelektrode 22.
Kalilauge 108. 113.
Kapazität 17.
Kapazitätsbatterien 85
Kapazitätsprobe 78.
Kastenplatte 46.
Khotinsky, de 36.
Kleinakkumulatoren 68.
Klemmenspannung 12. 109.
Knallgas 10.
Konstruktion der Akkumulatorenplatten 31.
Kraftfahrzeuge 94. 118.
Krümmen der Platten 40.
Kurzschluß im Element 40. 80.

Ladekurve 14. 109. 115
Laden von Akkumulatoren 102.
Ladestromstärke 15.
Laufböden 73.
Laufbühnen 74.
Leistungen von Akkumulatoren 23. 114.
Leitfähigkeit der Säure 20. 21.
Lokalaktion 28.

Masseplatte 35.
Mennige 32.
Michalowski 106.
Micka-Schaltung 92.
Mittelleisten 73.

Nachkochmetalle 30.

Nebenschlußdynamo 88.
Negative Platten 7. 106
Nickelhydroxyd 107.

Oberflächenentwicklung 44. 48.
Ortsfeste Akkumulatoren 51.

Pirani 83.
Planté 31.
Plattenfahnen 44.
Polschuhe 56.
Porosität der Masse 20.
Positive Platten 7. 106.
Pufferbatterien 82.

Rahmenplatte 35.
Regulierwiderstand 103.
Rippenglasgefäße 60.
Ritter 31.
Röhrenförmige Elektroden 110.
Rosenberg 97.

Salpetersäure 77.
Säuredichte 20.
Säuremesser 62.
Säurestand 63. 78.
Schaltung der Akkumulatoren 88.
Schaltzellen 85.
Schwachstromausschalter 90.
Schwefelsäure 7. 77.
Seitenleisten 73.
Selbstentladung 27. 113.
Sinsteden 31.
Sintern des Bleischwammes 39.
Spannungsmesser 102.
Stammzellen 85.
Stromstärke 12.
Stützscheiben 56.
Sulfatisierung 17.

Taschenförmige Elektroden 108. 110.
Taschenlampen 100.
Temperatur, Einfluß auf die Kapazität 21.
Theaternotbeleuchtung 100.
Tragbare Akkumulatoren 99.
Traktionsbatterien 93.
Trockenakkumulator 21.
Tudor 37.

Umkehrbare Elemente 5
Umschalter 91.

Verunreinigung der Säure 30.
Verwendung der Akkumulatoren 80.
Volckmar 33.

Wachsen der Platten 40
Waddell 106.
Wasserglas 21.
Widerstand, innerer 15.
Widerstände zum Laden 103.
Wirksame Stoffe 10.
Wirkungsgrad 24.

Zellenschalter 86.
Zelluloidgefäße 63.
Zündbatterien 99.
Zusatzmaschine 91.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GLIWICE

AFA
ACCUMULATOREN
ACCUMULATOR-VERSCHIEBELOKOMOTIVE
FÜR LICHT- u. KRAFTBETRIEBE
TRIEBWAGEN / LOKOMOTIVEN
DROSCHKEN / LAST-WAGEN- u. KARREN
BOOTE / ZUGBELEUCHTUNG
AUTO-ANLASSER / TELEGRAPHEN-
u. SIGNALANLAGEN / KLEINBELEUCHTUNG
ACCUMULATOREN-FABRIK
AKTIENGESELLSCHAFT
ZENTRALBÜRO: BERLIN SW 11/C FABRIK: HAGEN i. Westf.

Edison Nickel-Eisen-Akkumulatoren

für

Elektrische Kraftwagen, Lokomotiven, Kräne, Boote, Straßenbahnwagen, Grubenlokomotiven, Autobeleuchtung, Zündung, Villenbeleuchtung, Telegrafie, Telefonie, Signalanlagen aller Art etc.

Lange Lebensdauer. Anspruchslose und einfache Wartung. Geringe Unterhaltungskosten. Seit mehr als 10 Jahren bestens bewährt. Preislisten und Angebote kostenlos.

Deutsche Edison-Akkumulatoren-Company

G. m. b. H.

Berlin SW. 11, Askanischer Platz 3

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

Preis geheftet M. 9.–, steif kartoniert M. 11.50

Das Werk will in möglichst einfacher Form die **inneren Vorgänge** der verschiedenen elektrischen Stromerzeugungsmaschinen und Motoren und ihre Behandlung für die verschiedenen Gebrauchszwecke darstellen und dem Besitzer und Benützer derartiger Maschinen, dem die innere Bauart aller dieser ihm fertig gelieferten Teile in der Regel gleichgültig ist, sagen, was er von den einzelnen Arten von Maschinen erwarten kann und darf.

Vereinigung wissenschaftlicher Verleger

Walter de Gruyter & Co.

Berlin W. 10 und Leipzig

€ 12
49,92

BG Politechniki Śląskiej
nr inw.: 102 - 141184
Dyr.1 141184