

F. B. Neumann

Die
Akkumulatoren

Eine gemeinfassliche Darlegung ihrer Wirkungsweise,
Leistung und Behandlung

Von

Dr. Karl Elbs

a. o. Professor an der Universität Freiburg i. B.

Mit 3 Figuren im Texte



Leipzig

Verlag von Johann Ambrosius Barth (Arthur Meiner)

1893

0
1104

Q 11074

ku

Die Akkumulatoren.

Die Akkumulatoren

Eine gemeinfassliche Darlegung ihrer Wirkungsweise,
Leistung und Behandlung

Von

Dr. Karl Elbs

a. o. Professor an der Universität Freiburg i. B.

Mit 3 Figuren im Texte



0 1104 kel



Leipzig

Verlag von Johann Ambrosius Barth (Arthur Meiner)

1893

1935.790



Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej



100100212837

347310 L | \wedge

2010/5052/N

Vorwort.

Bis vor wenigen Jahren fanden die Akkumulatoren fast nur in der Elektrotechnik Anwendung; jetzt verdrängen sie allmählich auch in den Laboratorien, in den Schulen und in der ärztlichen Praxis die galvanischen Elemente. In Folge dessen macht sich in weiteren Kreisen das Bedürfnis geltend, mit der Einrichtung, Verwendung und Behandlung kleiner Akkumulatorbatterien sich vertraut zu machen. Diesen Zweck soll das vorliegende Schriftchen in möglichster Kürze und Einfachheit erfüllen.

Freiburg i/B., im Frühjahr 1893.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
1. Kapitel. Die Wirkungsweise der Akkumulatoren . . .	1
Die chemischen Umsetzungen im DANIELL'schen Elemente. Die Umkehrbarkeit dieser Vorgänge. Die chemischen Umsetzungen im Bleiakкумуляtor bei der Entladung und ihre Umkehrung bei der Ladung.	
2. Kapitel. Die Einrichtung der Akkumulatoren . . .	7
Die PLANTÉ-Akkumulatoren. Die Akkumulatoren der Electrical Power Storage Company und der Berliner Akkumulatorenwerke. Die TUDOR-Akkumulatoren. Material und Grösse der Gefässe.	
3. Kapitel. Die Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren .	10
Die elektromotorische Kraft. Der innere Widerstand. Die Änderungen der elektromotorischen Kraft und des Widerstandes während der Entladung und Ladung. Die Kapazität. Die Gewichtsmengen der in Reaktion tretenden Substanzen. Der Nutzeffekt in Ampère-Stunden und in Volt-Ampère-Stunden. Abhängigkeit des Nutzeffektes von der Stromstärke bei der Entladung und Ladung. Die günstigste Stromstärke bei der Ladung und Entladung. Feststellung der Leistungsfähigkeit einer gegebenen Akkumulatorenbatterie. Konstanz des Stromes. Selbstentladung der Akkumulatoren und ihre Ursachen.	
4. Kapitel. Die Behandlung der Akkumulatoren . . .	22
Füllung der Zellen. Herstellung einer Schwefelsäure von geeigneter Verdünnung und Reinheit.	
Ladung der Akkumulatoren. Bezug des Ladestromes von BUNSEN'schen Elementen — von einer grösseren Akkumulatorenbatterie — von einer Thermosäule — von einer Dynamo. Abnahme der Leistungsfähigkeit ungeladener ruhender Akkumulatoren und die Ursachen dieser Erscheinung. Verbiegung der Platten.	

Entladung der Akkumulatoren. Entladungsstromstärke, Zulässige Grenze der Entladung. Feststellung dieses Punktes durch Berechnung — durch Bestimmung des spezifischen Gewichtes der verdünnten Schwefelsäure — durch Messung der Spannung oder der Stromstärke.

Anhang. Die wichtigsten Einheiten des elektrotechnischen Masssystems 33

Masseinheit der Stromstärke — der elektromotorischen Kraft — des Widerstandes — des Stromeffektes.

Erstes Kapitel.

Die Wirkungsweise der Akkumulatoren.

Wenn wir ein galvanisches Element benutzen, so gehen darin chemische Umsetzungen vor sich; diese chemischen Vorgänge sind die Quelle der Arbeitskraft, welche wir in Form des elektrischen Stromes gewinnen. Verwenden wir beispielsweise ein DANIELL'sches Element, bei welchem Zink in verdünnter Schwefelsäure und Kupfer in Kupfervitriollösung eingetaucht steht, wie es schematisch die Fig. 1 zeigt, so fließt die positive Elektrizität durch den Schliessungsdraht *l* vom Kupfer zum Zink, in der Flüssigkeit vom Zink durch die poröse Wand *s* und die Kupfervitriollösung zum Kupfer.

Das Zink verbindet sich mit dem Schwefelsäurerest zu Zinkvitriol, der sich löst; der verfügbar gewordene Wasserstoff wandert als Träger der positiven Elektrizität (als Wasserstoffjonen, nicht in Form von gasförmigen Wasserstoffmolekeln) zum Kupfer, gibt dort seine elektrische Ladung ab, wird jedoch nicht als gasförmiger

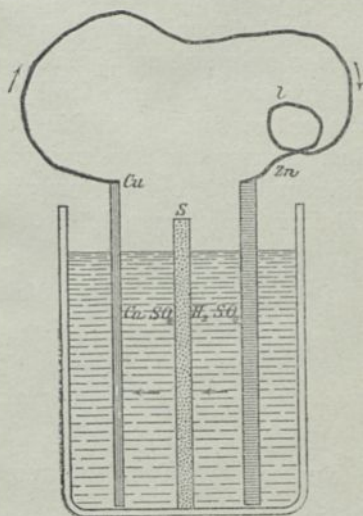
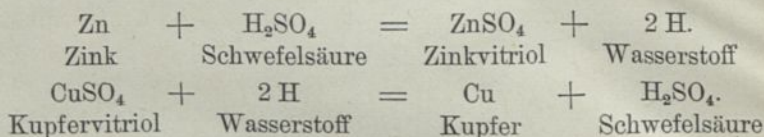


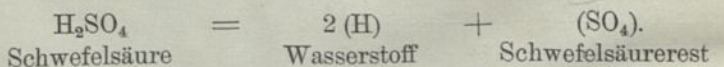
Fig. 1.

Wasserstoff frei, sondern setzt sich mit dem Kupfervitriol um zu Schwefelsäure und metallischem Kupfer, welches auf dem Kupferblech sich niederschlägt.

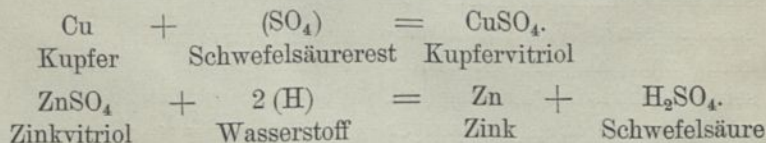
Die chemischen Vorgänge verlaufen also im Sinne bestehender Gleichungen:



So lange noch Zink und Kupfervitriol vorhanden ist, dauert dieser Umsatz und seine Folge, der elektrische Strom; die Zinkplatte wird fortlaufend in Zinkvitriol verwandelt und aufgelöst, gleichzeitig eine entsprechende Menge Kupfer aus der Kupfervitriollösung abgeschieden und auf das Kupferblech abgelagert. Die Gesamtmenge der Schwefelsäure bleibt die nämliche, da die bei der Auflösung des Zinks verbrauchte und die bei der Zersetzung des Kupfervitriols erzeugte Säure genau gleichwertig ist. Wir verbrauchen also Zink und Kupfervitriol, erhalten Zinkvitriol und Kupfer und gewinnen bei dieser Umwandlung einen elektrischen Strom. Diese Vorgänge sind umkehrbar. (Leiten wir einen elektrischen Strom derart in den gebrauchten Daniell, dass die positive Elektrizität beim Kupfer eintritt, durch die Flüssigkeit zum Zink geht und dort wieder austritt, so verbindet sich der Schwefelsäurerest mit dem Kupfer zu Kupfervitriol, der Wasserstoff wandert zum Zink und fällt aus der umgebenden Zinkvitriol Zink aus unter Bildung von Schwefelsäure.



Jonen der Schwefelsäure, welche durch den Strom an der Zink- bzw. Kupferplatte zur Abscheidung gelangen.



Wenn wir die Zufuhr von Elektrizität lange genug fortsetzen, so bringen wir das Element wieder in den nämlichen Zustand, worin es sich befand, bevor es uns einen Strom geliefert hatte. Dieses Spiel können wir beliebig oft wiederholen. Statt von Zeit zu Zeit eine neue Zinkplatte einzusetzen und frischen Kupfervitriol zuzugeben, können wir auch gelegentlich einen Strom so durch das Element leiten, dass das aufgelöste Zink wieder abgeschieden und das ausgefällte Kupfer wieder gelöst wird. Mit anderen Worten, das DANIELL'sche Element kann als Akkumulator gebraucht werden; denn Akkumulatoren sind nichts anderes, als galvanische Elemente von solcher Art, dass die darin ablaufenden Prozesse umkehrbar sind. Ein Akkumulator speichert Elektrizität, die man ihm zugeführt hat, in Form von chemischen Verbindungen auf, welche im Stande sind, unter Erzeugung von Elektrizität wieder in die ursprünglichen Substanzen überzugehen. Solche Substanzen sind im obigen Beispiele Zink und Kupfervitriol; ein bestimmtes Gewicht Zink und Kupfervitriol entspricht einer bestimmten Elektrizitätsmenge, einem elektrischen Strom von bestimmter Stärke und Dauer; haben wir diesen dem Elemente zu einer Zeit entnommen unter Bildung von Zinkvitriol und Kupfer, so können wir zu anderer Zeit dem Elemente wieder die nämliche Elektrizitätsmenge zuführen, damit den ursprünglichen Vorrat an Zink und Kupfervitriol wieder herstellen, also im Elemente, die diesem Vorrat entsprechende Elektrizitätsmenge aufspeichern. Zink und Kupfervitriol sind im DANIELL'schen Elemente so zu sagen die Dauerform einer gewissen Menge von Elektrizität.

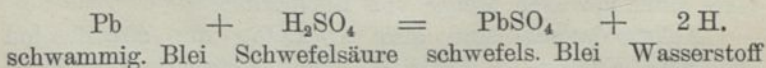
Akkumulatoren sind also Apparate, um abwechselnd chemische Energie in elektrische und elektrische Energie in aufbewahrbare chemische Energie umzuwandeln. Das DANIELL'sche Element ist aus verschiedenen Gründen für diesen Zweck unvorteilhaft und unpraktisch.

Alle bis jetzt hergestellten brauchbaren Akkumulatoren beruhen auf einem andern chemischen Prozesse, nämlich auf den Reaktionen zwischen Blei und Bleiverbindungen in Gegenwart von verdünnter Schwefelsäure. Als metallische Leiter dienen Bleiplatten; die einen sind bedeckt mit einer Schicht

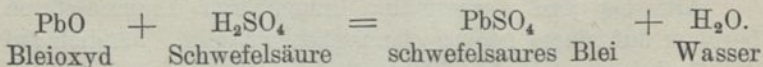
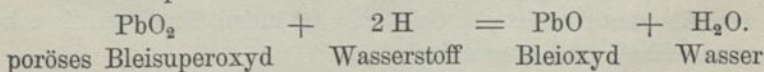
von porösem, schwammigem Blei, die andern mit porösem Bleisuperoxyd; beiderlei Platten stehen ohne trennende poröse Wand in der nämlichen Flüssigkeit, in verdünnter Schwefelsäure. Die verschiedenen Arten von Akkumulatoren unterscheiden sich lediglich durch die Art, wie die wirksamen Schichten von Bleischwamm und Bleisuperoxyd erzeugt und wie sie auf dem metallischen Bleikern befestigt werden. Der chemische Vorgang, welcher den Entladungsstrom des Akkumulators erzeugt, ist im wesentlichen folgender:

An der negativen Polplatte verwandelt sich das schwammige Blei durch den Angriff der verdünnten Schwefelsäure in schwefelsaures Blei; der dabei verfügbar werdende Wasserstoff wandert als Träger positiver Elektrizität zur positiven Platte, gibt dort seine Ladung ab und würde als freier Wasserstoff in Gasform erscheinen, wenn er nicht durch das an der positiven Platte vorhandene Bleisuperoxyd der Oxydation zu Wasser anheimfiele. Das Superoxyd verwandelt sich dabei in Bleioxyd, welches durch die Schwefelsäure in schwefelsaures Blei übergeht. In der Flüssigkeit strömt also die positive Elektrizität von der Bleischwammplatte zur Bleisuperoxydplatte und von dieser im Schliessungsdrahte zur Bleischwammplatte. Die chemische Umsetzung und damit auch der Strom dauert an, bis Bleischwamm und Bleisuperoxyd in schwefelsaures Blei verwandelt sind; an beiden Platten wird hierbei Schwefelsäure verbraucht. Die folgenden Gleichungen veranschaulichen die Vorgänge bei der Entladung:

An der negativen Platte:

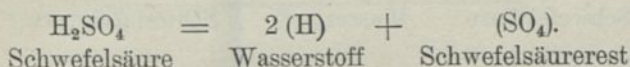


An der positiven Platte:

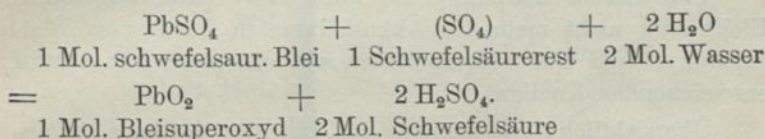


Diese Prozesse sind umkehrbar; wenn wir dem entladenen Akkumulator einen umgekehrt gerichteten Strom, einen Lade-

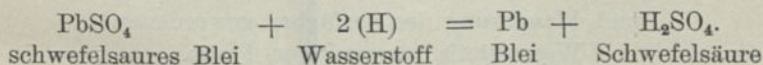
strom, zuführen, so machen wir die gesamten chemischen Veränderungen rückgängig. Als Elektrolyt dient die verdünnte Schwefelsäure im Sinne der Gleichung:



Der an der positiven Platte eintretende Strom scheidet dort den Schwefelsäurerest (SO_4) ab, welcher, im freien Zustande nicht existenzfähig, sich mit dem schwefelsauren Blei unter Mithilfe von Wasser zu Bleisuperoxyd und freier Schwefelsäure umsetzt:

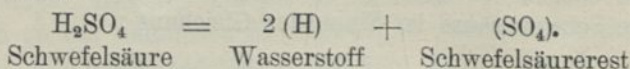


An der negativen Platte scheidet der austretende Strom die dem Reste (SO_4) entsprechende Menge Wasserstoff $2(\text{H})$ aus, welcher nicht gasförmig entweicht, sondern das schwefelsaure Blei unter Bildung von Schwefelsäure zu Blei reduziert, das sich in porösem Zustande als Bleischwamm auf der Platte ablagert:

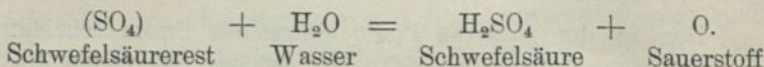


Hat der Ladestrom lange genug gewirkt, so ist der Akkumulator wieder völlig im ursprünglichen leistungsfähigen Zustande; die positive Platte ist wieder mit Bleisuperoxyd, die negative mit Bleischwamm überzogen und der während der Entladung an Blei gebundene Anteil der Schwefelsäure ist wieder frei gemacht. Wenn wir nach Erreichung dieses Zustandes den Ladestrom nicht unterbrechen, so treten nun diejenigen Produkte auf, welche wir bei der Elektrolyse verdünnter Schwefelsäure zwischen unangreifbaren Elektroden, etwa Platinblechen, zu erhalten gewöhnt sind: freier Wasserstoff und freier Sauerstoff in dem Verhältnisse, wie sie im Wasser verbunden vorhanden sind, also Knallgas; an der Eintrittsstelle des (positiven) Stromes, an der Anode, erscheint der Sauerstoff als Umsetzungsprodukt des hier auftretenden (SO_4)-Restes mit dem

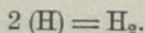
Lösungswasser, an der Austrittsstelle, an der Kathode, der Wasserstoff:



An der Anode:



An der Kathode:

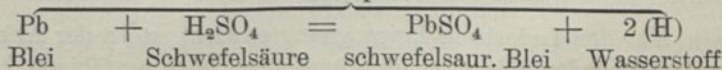


Von diesem Zeitpunkte ab wird also weiter zugeführte Elektrizität nicht mehr im Akkumulator in Form von Bleisuperoxyd und Blei aufgespeichert, sondern sie liefert nutzlos entweichendes Knallgas.

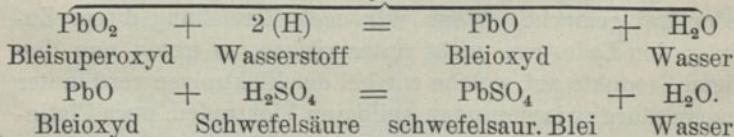
Übersichtlich zusammengestellt sind also die im Akkumulator zwischen dem flüssigen Leiter, der verdünnten Schwefelsäure, und der aktiven Masse, den porösen Schichten auf der positiven und negativen Platte, stattfindenden Vorgänge folgende:

a) Bei der Entladung:

An der negativen Platte Angriff der verdünnten Schwefelsäure auf den Bleischwamm und Wanderung des verfügbar gewordenen Wasserstoffs zur positiven Platte.



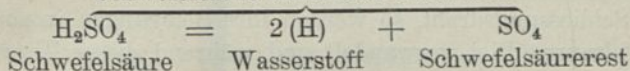
An der positiven Platte Oxydation des Wasserstoffs zu Wasser durch das Bleisuperoxyd und Verwandlung des entstandenen Bleioxydes in schwefelsaures Blei.



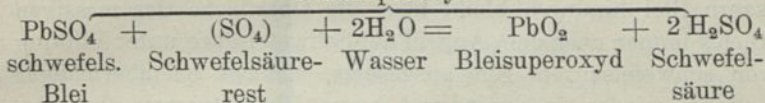
Am Schlusse der Entladung sind also positive und negative Platte gleicher Weise mit porösem schwefelsaurem Blei bedeckt, der Strom hört folglich auf, und ein Teil des Vorrates von freier Schwefelsäure ist an Blei gebunden.

b) Bei der Ladung:

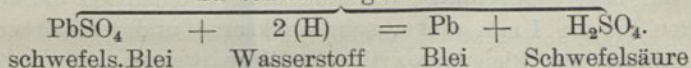
Elektrolyse der verdünnten
Schwefelsäure durch den Ladestrom



An der positiven Platte, wo der Ladestrom eintritt, Oxydation des schwefelsauren Bleies zu Bleisuperoxyd



An der negativen Platte, wo der Ladestrom austritt, Reduktion des schwefelsauren Bleies zu schwammigem Blei



Am Schlusse der Ladung ist die negative Platte mit Bleischwamm, die positive mit Bleisuperoxyd bedeckt, gerade wie zu Beginn der Entladung, und die an Blei gebundene Schwefelsäure ist wieder frei geworden.

Zweites Kapitel.

Einrichtung der Akkumulatoren.

Wie schon erwähnt, unterscheiden sich die verschiedenen Arten der jetzt gebräuchlichen Akkumulatoren nur durch die Art, wie die aktive Masse — das schwammige Blei und das poröse Bleisuperoxyd — auf den Platten erzeugt und festgehalten wird. Der Erfinder der Akkumulatoren, GASTON PLANTÉ gewann dadurch einen wirksamen Überzug der Bleiplatten, dass er sie in verdünnter Schwefelsäure abwechselnd als Elektroden benutzte und nachher leitend unter sich verband.

In verdünnter Schwefelsäure überziehen sich nämlich Bleiplatten mit einer sehr dünnen Haut von schwefelsaurem Blei,

welches beim Durchgang eines Stromes an der Anode zu Bleisuperoxyd oxydiert, an der Kathode zu schwammigem Blei reduziert wird; verbindet man hierauf die beiden Platten durch einen Schliessungsdraht, so werden ihre Belegungen in poröses schwefelsaures Blei verwandelt und während dieser Verwandlung fliesst ein Strom durch den Schliessungsdraht von der Bleisuperoxydelektrode zur Bleischwammelektrode, also in umgekehrter Richtung, wie anfänglich. Durch das poröse schwefelsaure Blei hindurch bleibt aber die Oberfläche des massiven Bleies immer noch dem Angriff der Schwefelsäure unter Bildung von schwefelsaurem Blei ausgesetzt, welches bei abermaliger Ladung wieder in Superoxyd bzw. Bleischwamm übergeht. Wird diese abwechselnde Ladung und Entladung, die sogen. Formierung monatelang fortgesetzt, so summiert sich die jedesmal nur sehr geringfügige Wirkung und es entstehen auf den Platten bis zu 1 mm dicke, sehr wirksame und festhaftende Belegungen aus Bleisuperoxyd und Bleischwamm.

Den langwierigen und kostspieligen Prozess der Formierung kann man dadurch umgehen, dass man feinverteiltes metallisches Blei oder Oxyde des Bleies oder schwefelsaures Blei für sich oder unter Zusatz von Stoffen, welche ein Erhärten der breiigen oder pulverigen Massen bewirken, zwischen die Maschen verschiedenartig geformter Gitter einstreicht oder einwalzt. Diese Gitter bestehen aus Blei oder Legierungen des Bleies, die von Schwefelsäure kaum angegriffen werden, also an den chemischen Vorgängen im Akkumulator sich nicht beteiligen. Unter diesen Umständen kann sich die Formierung auf eine einzige Ladung und Entladung beschränken, wodurch der ganze Gehalt an Bleiverbindungen in aktive Masse übergeführt wird. Eine derartige Einrichtung zeigen die Akkumulatoren der Electrical Power Storage Company und die der Berliner Akkumulatorenwerke in Charlottenburg. Vom rein theoretischen Standpunkte ist es vollkommen gleichgültig, ob die Füllmasse der Gitter aus Blei oder Oxyden des Bleies oder schwefelsaurem Blei oder aus Gemischen dieser Körper besteht, ob die positiven Gitter eine andere Füllung als die negativen erhalten oder die gleiche; denn nach einmaliger Benutzung schon bildet eben im geladenen Zustande Bleisuperoxyd die

Belegung der positiven Platten, Bleischwamm die der negativen; ausschliesslich Gründe technischer Zweckmässigkeit sind für die Verwendung bestimmter Füllmassen für die verschiedenen Fabriken massgebend.

Ein Mittelding zwischen den ursprünglichen PLANTÉ-Akkumulatoren und den soeben besprochenen Gitterakkumulatoren stellen die TUDOR-Akkumulatoren dar, wie sie von den Akkumulatorenwerken in Hagen i. W. fabriziert werden. Die Platten sind hier wagerecht gerieft und nach PLANTÉ formiert; zugleich sind aber die Riefen mit eingestrichener aktiver Masse ausgefüllt. Während des Gebrauches fällt allerdings die in den Nuten nur lose haftende Masse allmählich heraus; allein dies bringt keinen Schaden, weil ja gleichzeitig durch die fortwährenden Ladungen und Entladungen der arbeitenden Akkumulatoren die nach dem PLANTÉ'schen Formierungsprozesse sich bildende wirksame Masse in gleichem Massstabe zunimmt, wie die Nutenfällung verloren geht.

In den Akkumulatorzellen steht immer eine positive, braune Bleisuperoxydplatte zwischen zwei negativen, weissen Bleischwammplatten; die Anzahl der negativen Platten einer Zelle übersteigt also stets die der positiven um eine. Alle positiven und ebenso alle negativen Platten einer Zelle sind untereinander metallisch verbunden; der eine aus der Zelle hervorragende Bleistreif bildet den positiven, der andere den negativen Pol.

Damit kein Kurzschluss zwischen den benachbarten entgegengesetzten Platten durch abfallende Füllmasse eintreten kann, stehen die Platten nicht auf dem Boden der Gefässe, sondern sie ruhen auf Glasprismen oder Glasstreifen, oder noch besser, sie sind so aufgehängt, dass ihre unteren Enden noch einige Centimeter vom Boden entfernt bleiben.

Die kleinen leicht transportablen Typen, wovon hier hauptsächlich die Rede ist, sind gewöhnlich durch Porzellandeckel lose verschlossen oder auch ganz zugekittet und nur mit einer verschliessbaren Öffnung zum Einfüllen der verdünnten Schwefelsäure und zum Austritt von Gasen versehen.

Glasgefässe sind Gefässen aus Hartgummi oder Ölpappe vorzuziehen, da sie die Vorgänge in den Zellen und den Zu-

stand der Platten zu beobachten gestatten, was bei den anderen ihrer Undurchsichtigkeit wegen ausgeschlossen ist. Durch Einsetzen in geeignete Holzbehälter sind die Gläser vor Bruch leicht zu schützen.

Um die Zellen bei einer bestimmten Leistungsfähigkeit möglichst klein und leicht machen zu können, werden häufig Gefäße verwendet, in welchen für die verdünnte Schwefelsäure nur wenig Raum übrig bleibt. Da aber die Schwefelsäure keineswegs nur als flüssiger Leiter dient, sondern an den chemischen Umsetzungen im Akkumulator wesentlich beteiligt ist, so darf man hier unter eine gewisse Grenze nicht herunter gehen; für je 1 A. St (Ampère Stunde) Kapazität 25 Ccm, also beispielsweise für eine Zelle von 20 A. St 500 Ccm verdünnte Schwefelsäure von 1,15 spez. Gewichte dürfte für kleinere Akkumulatoren die geringste zulässige Menge sein.

Die zahlreichen Einrichtungen, welche man an den aus gewöhnlichen galvanischen Elementen zusammengestellten Batterien anbringt, um die Spannung und Stärke des Stromes zu regeln, seine Richtung und Verteilung zu ändern, die Tragbarkeit des ganzen Apparates zu erleichtern, findet man natürlich auch an Akkumulatorbatterien, welche ähnlichen Zwecken dienen. Hier aber sind alle diese Einrichtungen dauerhafter und leichter gebrauchsfähig zu erhalten, weil hier das häufige Entleeren und Neueinfüllen von sauren Flüssigkeiten, das lästige Auskrystallisieren von Salzen und die Entwicklung von Gasen, welche die Metallteile angreifen, wegfällt.

Drittes Kapitel.

Die Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren.

Das Element (Blei, Schwefelsäure, Bleisuperoxyd) hat eine elektromotorische Kraft von 2 Volt; *) es übertrifft hierin alle gebräuchlichen galvanischen Elemente; die elektromotorische Kraft eines DANIELL'schen Elementes beträgt 1,07 V, die eines

*) Siehe: Anhang. Die wichtigsten elektrotechnischen Masseinheiten.

BUNSEN'schen oder GROVE'schen etwa 1,8 V. Da die elektromotorische Kraft nur von den im Elemente stattfindenden chemischen Prozessen abhängt, so ist sie unabhängig von der Grösse des Apparates. Dagegen ist ein anderer Faktor der Leistungsfähigkeit von der Plattengrösse abhängig, nämlich der innere Widerstand. Auch in diesem Punkte zeichnen sich die Akkumulatoren vorteilhaft aus, da ihr innerer Widerstand verhältnismässig sehr klein ist, weil die verdünnte Schwefelsäure gut leitet, die Platten in geringer Entfernung sich gegenüber stehen und poröse Scheidewände — Thonzellen — fehlen. Der innere Widerstand kleiner Akkumulatoren beträgt 0,03 bis 0,1 Ω *) der eines Daniell gewöhnlicher Grösse etwa 2 Ω , eines grossen Bunsen ungefähr 0,3 Ω . Übrigens ändern sich elektromotorische Kraft und innerer Widerstand eines Akkumulators innerhalb bestimmter enger Grenzen in gesetzmässiger Weise. Eine soeben vollständig geladene Zelle zeigt eine Spannung von etwa 2,4 V; wird der Strom geschlossen, so sinkt die Spannung in wenigen Minuten auf rund 2 V und bleibt nun lange nahezu konstant, indem sie anfänglich sehr langsam, später etwas rascher auf etwa 1,8 V zurückgeht. Bleibt von diesem Zeitpunkte an der Strom noch fernerhin geschlossen, so zeigt sich ein plötzlicher Spannungsabfall, der Akkumulator verhält sich nunmehr wie ein inkonstantes Element.

Die Erklärung dieses Verhaltens ist sehr einfach. Die hohe Spannung von 2,4 V. entspricht dem Zustande sofort nach der Ladung, wo die Platten noch mit Gasen, die positiven mit Sauerstoff, die negativen mit Wasserstoff, beladen sind; schliesst man den Strom, so werden die Gase rasch verbraucht; die Ionen der Schwefelsäure, (2 H) und (SO_4) verwandeln den Wasserstoff der negativen Platten in Schwefelsäure, den Sauerstoff der positiven in Wasser; in dem Masse, als das geschieht, sinkt die elektromotorische Kraft auf 2 V. 2 V ist die Normalspannung, welche dem Elemente (Blei, Schwefelsäure, Bleisuperoxyd) zukommt; die geringe Abnahme, im Ganzen etwa 10%, während der ganzen Dauer der Entladung rührt davon her, dass der wirksamen Masse, Bleischwamm und Bleisuperoxyd,

*) Siehe: Anhang. Die wichtigsten elektrotechnischen Masseinheiten.

sich fortwährend mehr schwefelsaures Blei beimengt, wodurch der Ablauf der chemischen Umsetzungen eine stets zunehmende Verzögerung erleidet. Der plötzliche Spannungsabfall zeigt sich, sobald die wirksame Masse, vornehmlich das Bleisuperoxyd, keine ausreichend zusammenhängende Masse mehr bildet, sondern stellenweise nur noch schwefelsaures Blei vorhanden ist, womit die Depolarisation unterbrochen, das Element inkonstant wird. In konstanten galvanischen Elementen tritt unter ähnlichen Verhältnissen der nämliche plötzliche Spannungsabfall ein, beispielsweise, wenn in einem Daniell der Kupfervitriol, in einem Bunsen die Salpetersäure (oder Chromsäure) zu Ende geht. Beim praktischen Gebrauche dürfen die Akkumulatoren nur soweit entladen werden, bis die Spannung der einzelnen Zellen auf ungefähr 1,8 V gesunken ist; dann sind sie von Neuem zu laden.

Beim Laden steigt die elektromotorische Gegenkraft binnen weniger Minuten von 1,8 V auf 2,1 V, bleibt lange Zeit dabei stehen und wächst darauf zuerst langsam, dann schnell bis auf 2,4 V. Die normale elektromotorische Gegenkraft (Polarisationsspannung) beträgt 2,1 V und entspricht der Umwandlung von schwefelsaurem Blei durch die vom Ladestrome ausgeschiedenen Ionen der Schwefelsäure einerseits in schwammiges Blei, andererseits in Bleisuperoxyd; ist diese Reaktion grösstenteils durchgeführt, also wenig schwefelsaures Blei gemischt mit viel Blei bezw. Bleisuperoxyd in den Belegungen vorhanden, so beginnt allmählich an vereinzelt Stellen Wasserstoff und Sauerstoff und damit die entsprechende höhere Polarisationsspannung aufzutreten; die elektromotorische Gegenkraft nimmt von jetzt ab rasch zu und erreicht 2,4 V, wenn die Gasentwicklung in vollem Gange, der Akkumulator also vollkommen geladen ist.

Der innere Widerstand eines Akkumulators nimmt während der Entladung erst sehr langsam, dann rascher zu, umgekehrt bei der Ladung erst rasch, dann langsam ab. Es steigt nämlich der Leitungswiderstand einer verdünnten Schwefelsäure von 1,15 spezifischem Gewichte bei weiterer Verdünnung und zwar nicht proportional der Verdünnung, sondern rascher. Nun wird nach den Darlegungen des vorigen Kapitels bei der Entladung

Schwefelsäure verbraucht, bei der Ladung dagegen freigemacht, wodurch die genannten Widerstandsänderungen sich erklären. Je geringer im Interesse einer geringen Raumbeanspruchung und eines geringen Gewichtes die Flüssigkeitsmenge einer Akkumulatorzelle im Vergleich zu ihrer wirksamen Masse ist, um so grösser sind die Konzentrationsänderungen der Schwefelsäure und somit auch die Änderungen des inneren Widerstandes während der Ladung und Entladung.

Von der Grösse des Akkumulators oder, genauer ausgedrückt, von dem Gewichte seiner wirksamen Substanz hängt die Menge der Elektrizität ab, welche man darin aufspeichern kann; diese Elektrizitätsmenge, gemessen in A St (Ampère-Stunden), nennt man die Kapazität des Akkumulators. Beispielsweise versteht man unter einem Akkumulator von 20 A St einen solchen, welcher 20 Stunden lang einen Strom von 1 A, oder 10 Stunden einen Strom von 2 A oder 5 Stunden einen von 4 A liefern kann, bis er wieder geladen werden muss oder umgekehrt, welchem ein Strom von 1 A 20 Stunden lang, oder einer von 2 A 10 Stunden lang zugeführt werden muss, bis er geladen ist. Die im ersten Kapitel aufgestellten Umsetzungsgleichungen gestatten eine annähernd richtige Veranschaulichung, um welche Substanzmengen es sich hierbei handelt. 3,87 gr. ist das elektrochemische Äquivalent des Bleies in A. St., d. h. ein Strom von 1 A scheidet in Stunde 3,87 gr. metallisches Blei aus einer Bleiverbindung ab oder führt bei umgekehrter Richtung 3,87 gr. metallisches Blei in eine Bleiverbindung über. Für 1 A. St werden also

verbraucht: Bleischwamm (an der negativen Platte) 3,87 gr.
 Bleisuperoxyd (an der positiven Platte) 4,47 gr.
 Schwefelsäure (an beiden Platten zusammen) 3,67 gr.
 entsprechend einer verdünnten Schwefelsäure
 von 1,15 spez. Gew. = 20% Gehalt, wie sie
 thatsächlich als Füllung im Akkumulator vor-
 handen ist 18,35 gr.

u. erzeugt: schwefels. Blei (auf beiden Platten zusammen) 11,33 gr.

Diese Umsetzungen verlaufen nicht völlig quantitativ, sondern sind von geringfügigen Nebenreaktionen begleitet; dazu

kommt, dass ein allerdings unbedeutender Teil des dem Akkumulator zugeführten Stromes bei Überwindung des inneren Widerstandes sich in Wärme umwandelt, die nicht nutzbar ist. Man kann also selbstverständlich keineswegs alle einem Akkumulator zugeführte Elektrizität wieder gewinnen, weder ihrer Menge noch ihrem Energiewerte nach und die Frage nach dem Nutzeffekte eines Akkumulators ist daher von grosser Bedeutung. Es ist zu unterscheiden zwischen dem Wirkungsgrade in A. St (Ampère-Stunden) und dem in V. A. St (Volt-Ampère-Stunden) oder kürzer W. St (Watt-Stunden).

Von 100 A. St, die man bei der Ladung einem Akkumulator zugeführt hat, erhält man 90—96 A. St bei der Entladung wieder zurück. Der Nutzeffekt in A. St beträgt also 90% — 96%, ist folglich so günstig, dass man die Verluste beim Rechnen mit runden Zahlen vernachlässigen kann.

Geringer, nur etwa 76% — 88% ist der Nutzeffekt in V. A. St. Dies rührt daher, dass die elektromotorische Gegenkraft des Akkumulators bei der Ladung merklich höher ist (2,25 V. im Mittel), als seine elektromotorische Kraft bei der Entladung (1,95 V im Mittel); 1 A. St bei der Ladung besitzt folglich einen höheren Energiewert als 1 A. St bei der Entladung und zudem müssen von diesen höherwertigen A. St zur Ladung mehr aufgewendet werden, als man an geringerwertigen A. St bei der Entladung wieder erhält.

Zur weiteren Erläuterung dieser Verhältnisse ein Beispiel. Ein Akkumulator von 20 A. St Fassungsvermögen wurde geladen bis zum Eintritt deutlicher Gasentwicklung und gleich darauf entladen bis zum Beginne des starken Spannungsabfalles; Stromstärke und Spannung wurden in Zwischenräumen von $\frac{1}{2}$ Stunde gemessen, gebucht und aus den erhaltenen Werten das Mittel genommen.

I. Ladung. Dauer: 9,2 Stunden.

Mittlere Stromstärke: 2,4 A.

Mittlere Spannung: 2,16 V.

II. Entladung. Dauer: 4,6 Stunden.

Mittlere Stromstärke: 4,5 A.

Mittlere Spannung: 1,98 V.

Zur Ladung waren demnach erforderlich $9,2 \cdot 2,4 = 22,08$ A. St.

Bei der Entladung wurde erhalten $4,6 \cdot 4,5 = 20,70$ A. St.

Der Wirkungsgrad in A. St beträgt folglich $\frac{20,70}{22,08} = 93,7\%$.

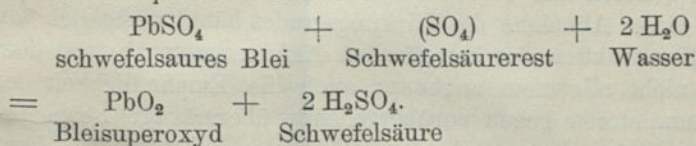
Ferner erforderte die Ladung $9,2 \cdot 2,4 \cdot 2,16 = 47,69$ V. A. St (Watt-Stunden).

Die Entladung lieferte $4,6 \cdot 4,5 \cdot 1,98 = 40,99$ V. A. St.

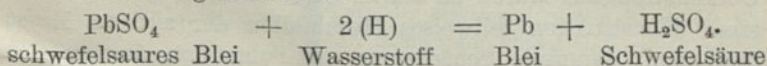
Dies entspricht einem Wirkungsgrad in V. A. St von $\frac{40,99}{47,69} = 85,9\%$.

Der Nutzeffekt der Akkumulatoren ist in hohem Grade abhängig von der Stromstärke, mit welcher sie geladen oder entladen werden; denn die durch den Strom bedingten chemischen Umsetzungen erfolgen nicht augenblicklich, sondern bedürfen einer gewissen, wenn auch sehr kurzen Zeit. Eine bestimmte Plattenoberfläche kann in einer gewissen Zeit nur eine gewisse Menge der an ihr zur Abscheidung kommenden Ionen verarbeiten; wird diese Menge überschritten, so geht der Überschuss andere, für die beabsichtigte Wirkung nutzlose Reaktionen ein. Beispielsweise setzt der Ladestrom an der positiven Platte (SO_4)-Ionen, an der negativen (H)-Ionen in Freiheit; diese verwandeln das an beiderlei Platten vorhandene schwefelsaure Blei in Bleisuperoxyd bzw. Blei:

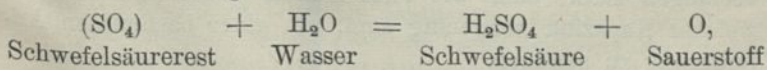
An der positiven Platte:



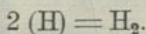
An der negativen Platte:



Ist die Menge der gleichzeitig ankommenden Ionen aber zu gross, so finden nicht alle sofort Gelegenheit, mit der aktiven Masse sich umzusetzen; es entweicht an der positiven Platte Sauerstoff, entstanden durch Umsetzung der Schwefelsäurereste mit dem Wasser der verdünnten Schwefelsäure, womit die Zellen gefüllt sind:



an der negativen Platte unmittelbar gebildeter gasförmiger Wasserstoff:



Der auf diese Nebenreaktion verwendete Anteil des Ladestromes geht für den Zweck der Ladung verloren.

Bei den am meisten gebräuchlichen Akkumulatortypen schwankt die günstigste Ladezeit zwischen 5—10 Stunden, die günstigste Entladungszeit zwischen 3—8 Stunden; mit anderen Worten, der Ladestrom soll in A zweckmässig $\frac{1}{5} - \frac{1}{10}$, der Entladestrom $\frac{1}{3} - \frac{1}{8}$ der Kapazität in A . St betragen. Ohne den Akkumulator zu schädigen, aber unter Einbusse an Nutzeffekt darf man übrigens vorübergehend auch stärkere Ströme entnehmen. Für eine Zelle von 20 A. St Fassungsvermögen empfiehlt sich hiernach ein Ladestrom von 2—4 A. Bei der Entladung kann die Zelle 5 Stunden lang einen Strom von 4 A oder 4 Stunden lang einen Strom von 5 A liefern; darüber hinaus nimmt schon der Wirkungsgrad ab, und einen Strom von 7 A erhält man nicht $\frac{20}{7} = 2$ Stunden 51 Minuten lang, sondern nur erheblich kürzere Zeit hindurch. Der Betrag dieser Abnahme des Wirkungsgrades hängt wesentlich von der Konstruktion des betreffenden Akkumulators ab und lässt sich nicht allgemein angeben; auch die Empfindlichkeit der Akkumulatoren gegen vorübergehende übermässige Beanspruchung ist bei den verschiedenen Sorten sehr verschieden. Eine Überanstrengung durch zu starke Stromentnahme, welche bei einer Konstruktion teilweises Herabfallen der aktiven Masse und damit dauernde Schädigung zur Folge hat, äussert sich bei einer anderen nur durch geringen Nutzeffekt, während im Übrigen der Akkumulator nach erneuter Ladung sich wieder normal verhält.

Diese Angaben reichen hin, um sich Rechenschaft darüber zu geben, was man von einer gegebenen Akkumulatorbatterie verlangen kann, oder wie viele Akkumulatorzellen und von welcher Kapazität notwendig sind, um einer bestimmten Anforderung zu genügen.

Man sei z. B. im Besitze folgender Einrichtung: 8 Akkumulatorzellen von je 8 A. St Fassungsvermögen, je vier zu einer Batterie in der Art vereinigt, dass man mittels eines Umschalters je vier Zellen nacheinander oder

nebeneinander verbinden kann*); der innere Widerstand einer Zelle betrage im Mittel $0,05 \Omega$ und ebensoviel der Leitungswiderstand einer Umschaltvorrichtung; dann gibt die folgende Tabelle eine Übersicht der bequem herstellbaren Schaltungsweisen, der entsprechenden Spannungen und zulässigen Maximalstromstärken bei der Entladung:

Schaltung	Spannung	Gesamt- widerstand der Stromquelle	Zulässige Maximal- stromstärke bei der Entladung
1. Die Zellen der beiden Batterien nebeneinander, ebenso die Batterien unter sich nebeneinander .	2 V	$0,10 \Omega$	20 A
2. Die Zellen nebeneinander, die Batterien nacheinander	4 V	$0,12 \Omega$	10 A
3. Die Zellen in beiden Batterien nacheinander, die Batterien nebeneinander	8 V	$0,20 \Omega$	5 A
4. Die Zellen nacheinander, ebenso die Batterien	16 V	$0,50 \Omega$	2,7 A

Gemäss dem OHM'schen Gesetze ist die Stromstärke gleich der Summe der im Stromkreise wirkenden elektromotorischen Kräfte (wobei natürlich elektromotorische Gegenkräfte negativ zu nehmen sind) dividiert durch die Summe der Widerstände:

$$\text{Stromstärke (in A)} = \frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte (in V)}}{\text{Summe der Widerstände (in } \Omega)}$$

*) Man nennt eine Reihe von Zellen nacheinander verbunden oder auf Spannung geschaltet, wenn jeweils der positive Pol der einen mit dem negativen der nächstfolgenden verbunden ist; dabei addieren sich die elektromotorischen Kräfte und die inneren Widerstände; nebeneinander verbunden oder parallel geschaltet heisst eine Reihe von Zellen, wenn alle positiven Pole und ebenso alle negativen mit einander verbunden sind; dabei bleibt die Spannung die eines einzelnen Elementes, der innere Widerstand dagegen ist gleich dem eines Elementes, geteilt durch die Anzahl der Elemente. Die oben genannte Akkumulatorbatterie besitzt also, wenn ihre vier Zellen nacheinander geschaltet sind, eine Spannung von $4 \cdot 2 = 8 \text{ V}$, einen inneren Widerstand von $4 \cdot 0,05 = 0,2 \Omega$, wenn nebeneinander geschaltet, eine Spannung von 2V, einen inneren Widerstand von $\frac{0,05}{4} = 0,0125 \Omega$. Näheres über Schaltungsweisen findet man in jedem Lehrbuche der Physik.

Man ersieht daraus, dass die Schaltungen mit hoher Spannung nur da Verwendung finden dürfen, wo grosse elektromotorische Gegenkräfte oder grosse Widerstände oder beides zugleich im Schliessungskreise vorhanden sind; andernfalls würde die Stromstärke die zulässige Grenze überschreiten, Es handle sich beispielsweise um die Entwicklung von Knallgas durch Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure in einem der gebräuchlichen Voltmeter; die elektromotorische Gegenkraft (Polarisation) beträgt hierbei etwa 2,2 V; der innere Widerstand des Voltmeters sei 0,6 Ω , der Widerstand der Drahtleitungen 0,5 Ω . Für die Schaltung 3. ergibt sich: Stromstärke

$$= \frac{8 - 2,2}{0,2 + 0,6 + 0,5} = \frac{5,8 \text{ V}}{1,3 \Omega} = 4,5 \text{ A}, \text{ entsprechend einer Ausbeute von } 4,5 \cdot 10,5 = 47,2 \text{ Ccm Knallgas in der Minute.}$$

Die Schaltung 4. wäre unzulässig (Stromstärke = $\frac{16 - 2,2}{0,5 + 0,6 + 0,5} = \frac{13,8 \text{ V}}{1,6 \Omega} = 8,7 \text{ A}$), die Schaltung 2. wäre viel unwirksamer (Stromstärke = $\frac{4 - 2,2}{0,12 + 0,6 + 0,5} = \frac{1,8 \text{ V}}{1,22 \Omega} = 1,5 \text{ A}$). Um mit grossen BUNSEN-Elementen annähernd gleiche Leistung zu erzielen, müsste man 12 Stück, zu je

$$6 \text{ Doppelementen verbunden, anwenden: Stromstärke} = \frac{6 \cdot 1,8 - 2,2}{6 \cdot \frac{0,3}{2} + 0,6 + 0,5} = \frac{8,6 \text{ V}}{2,0 \Omega} = 4,3 \text{ A.}$$

Ein weiteres Beispiel: Man bedürfe täglich einige Stunden lang einer Betriebskraft von $\frac{1}{10}$ Pferdestärke; zur Lieferung soll eine Akkumulatorbatterie aufgestellt werden, deren Ladung jeden Tag gelegentlich von einer Dynamo aus besorgt werden kann; es sei ein geeigneter Elektromotor vorhanden, der eine Spannung von 20 V verlangt und mit 50% Nutzeffekt arbeitet. Eine Pferdekraft ist äquivalent einem Strom von 736 V.A.: wenn der Motor bei einem Nutzeffekt von 50% $\frac{1}{10}$ Pferdekraft leisten soll, so muss ihm ein Strom von $\frac{2}{10} \cdot 736 \text{ V.A.} = 147,2 \text{ Watt}$ zugeführt werden.

Die Spannung — 20 V — ist durch die Konstruktion des Motors gegeben, die Stromstärke muss folglich $\frac{147,2}{20} = 7,4 \text{ A}$ betragen. Diesen Anforderungen genügt eine Batterie aus 10 bis 11 nacheinander geschalteten Zellen (Spannung 20—22 V) von 30 A. St Kapazität, welche den Motor $\frac{30}{7,4} = 4$ Stunden in Betrieb halten kann.

In einem anderen Falle sei die Aufgabe gestellt, einen Platindraht von 0,3 qmm Querschnitt und 0,5 m Länge je nach Bedürfnis rotglühend oder weissglühend zu machen; zur Verfügung stehe eine Batterie von zwei nacheinander geschalteten Akkumulatoren von je 20 A. St Kapazität und ein Drahtwiderstand.

Ein Platindraht von 0,3 qmm Querschnitt leistet bei 1 m Länge und bei 0° einen Widerstand von 0,28 Ω ; bei Rotglut steigt sein Widerstand auf 0,76 Ω , bei Weissglut auf 0,89 Ω ; für eine Länge von 0,5 m ermässigen sich diese Widerstände auf die Hälfte, also 0,38 Ω bzw. 0,45 Ω . Um einen Platindraht von 0,3 qmm Querschnitt auf Rotglut zu erhitzen, ist eine Stromstärke von ungefähr 3,7 A, auf Weissglut eine von etwa 4,5 A nötig. Die elektromotorische Kraft unserer Batterie beträgt 4 V, der innere Widerstand, sowie der Leitungswiderstand in den Zuleitungsdrähten und dem Galvanometer belaufe sich auf 0,25 Ω . Unter diesen Umständen muss noch ein Widerstandsballast eingeschaltet werden, weil andernfalls in Folge zu grosser Stromstärke der Draht abschmelzen würde; denn wir erhalten ungefähr $\frac{4}{0,45 + 0,15} = 5,7$ A.

Um die erforderliche Stromstärke 3,7 A bzw. 4,5 A zu gewinnen, muss die Summe der Widerstände

(da Stromstärke = $\frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte}}{\text{Summe der Widerstände}}$, also Summe der Widerstände = $\frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte}}{\text{Stromstärke}}$)

= $\frac{4}{3,7} = 1,08$ Ω bzw. $\frac{4}{4,5} = 0,89$ Ω sein. Die ohnedies im Stromkreise vorhandenen Widerstände betragen $0,38 + 0,25 = 0,63$ Ω bzw. $0,45 + 0,25 = 0,70$ Ω ; es ist also ein Drahtwiderstand einzuschalten $1,08 - 0,63 = 0,45$ Ω bzw. $0,89 - 0,70 = 0,19$ Ω . Dann erzeugt die Batterie die gewünschte Stromstärke, welche den Platindraht auf Rotglut ($\frac{4}{0,36 + 0,25 + 0,45} = 3,7$ A)

oder Weissglut ($\frac{4}{0,45 + 0,25 + 0,19} = 4,5$ A) erhitzt. Die Batterie ist im Stande, den Draht $\frac{20}{3,7} = 5,4$ Stunden lang auf Rotglut oder $\frac{20}{4,5} = 4,4$ Stunden lang auf Weissglut zu erhalten, ehe wieder eine Neuladung notwendig wird.

Während der Entladung nimmt den früheren Auseinandersetzungen zufolge die elektromotorische Kraft des Akkumulators ab, der innere Widerstand zu; beide Änderungen wirken in gleichem Sinne und bedingen eine Abnahme der Stromstärke. Streng genommen sind also auch die Akkumulatoren keine konstanten Elemente; doch übertreffen sie an Konstanz nicht bloß die Chromsäuretauchelemente, sondern auch die BUNSEN'schen Elemente, abgesehen davon, dass sie an Bequemlichkeit und Zuverlässigkeit weit überlegen sind. Eine feinere Regelung der Stromstärke während des Verlaufes der Entladung durch veränderliche Drahtwiderstände ist für die meisten Zwecke unnötig, namentlich wenn man vermeidet, die Akkumulatoren

sofort nach der Ladung zu benützen, wo in Folge der an den Platten noch haftenden Gase Sauerstoff und Wasserstoff die elektromotorische Kraft 2,4 V beträgt. Nach einigen Stunden Ruhe verschwindet diese Gaspolarisation von selbst; rasch kann man sie dadurch entfernen, dass man die Akkumulatoren 3—5 Minuten lang durch einen Drahtwiderstand von einigen Ω schliesst. In beiden Fällen besitzt dann jede Zelle die Normalspannung von etwa 2 V, welche lange Zeit fast unverändert erhalten bleibt und erst gegen Ende der Entladung auf 1,8 V sinkt. Bei übermässiger Stromentnahme ist die Spannung von vornherein etwas geringer.

Die Zunahme des inneren Widerstandes, welche hauptsächlich von dem Verbräuche an Schwefelsäure während der Entladung herrührt, macht sich um so fühlbarer, je geringer der Flüssigkeitsvorrat in den Zellen ist. Akkumulatoren mit verhältnismässig grossen Gefässen liefern also konstantere Ströme, als solche mit kleinen. Übrigens wird dieser Unterschied nur bei sehr geringem Widerstande des äusseren Stromkreises merklich, da der innere Widerstand der Akkumulatoren unter allem Umständen nur klein ist und gewöhnlich kaum in Betracht kommt. In keinem Falle sollen jedoch weniger als 25 Ccm. verdünnte Schwefelsäure auf je 1 A St Kapazität vorhanden sein.

Eine Zelle von 20 A. St Fassungsvermögen habe z. B. eine Füllung von 500 Ccm Schwefelsäure vom spez. Gewichte 1,15; solche Schwefelsäure ist 20-prozentig, in den 500 Ccm sind also $1,15 \cdot 500 \cdot 0,2 \text{ gr} = 115 \text{ gr}$ reine Schwefelsäure vorhanden. Für je 1 A. St werden bei der Entladung 3,67 gr Schwefelsäure, also für unsere Zelle $20 \cdot 3,67 = 73,4 \text{ gr}$ verbraucht, der Rest, rund 42 gr, bleibt in annähernd der nämlichen Wassermenge, wie ursprünglich, gelöst. Die Flüssigkeit besteht somit gegen Schluss der Entladung nur noch aus 8,5-prozentiger Schwefelsäure, deren Leitfähigkeit kaum halb so gross ist, als die einer 20-prozentigen Säure, der Widerstand hat sich somit während des Gebrauchs der Zelle mehr als verdoppelt. Enthielte das Gefäss nur 400 Ccm Lösung, entsprechend 92 gr reiner Schwefelsäure, so wäre schliesslich die Füllung nur noch 4,8 prozentig, der Widerstand würde auf mehr als das dreifache des anfänglichen steigen. Bei 300 Ccm Füllung würde der Gehalt an Schwefelsäure, 69,5 gr, nicht einmal zur Durchführung des chemischen Prozesses bei der Entladung ausreichen.

Geladene Akkumulatoren entladen sich allmählich von selbst, wenn sie nicht gebraucht werden. Dieser Vorgang voll-

zieht sich aber sehr langsam und gut eingerichtete, rein gehaltene Akkumulatoren besitzen noch nach Monaten so erhebliche Reste von Ladung, dass man damit arbeiten kann. Eine Beantwortung verlangt noch die Frage, weshalb die verdünnte Schwefelsäure das schwammige Blei der negativen Platten, wenn der Akkumulator ruht, fast gar nicht angreift, während sie es rasch in schwefelsaures Blei verwandelt, sobald der Strom geschlossen ist.

Im Ruhezustande findet ein oberflächlicher Angriff unter Bildung von schwefelsaurem Blei statt; der dabei frei werdende Wasserstoff

$$\text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4 + \text{H}_2$$

Blei Schwefelsäure schwefelsaures Blei Wasserstoff

haftet aber an dem entstandenen Bleisulfat und bildet eine schützende Hülle, welche eine weitere Einwirkung auf das darunter liegende Blei verhindert. Ist dagegen der Strom geschlossen, so wird an den negativen Platten gar kein (gasförmiger) Wasserstoff frei, da er in Gestalt von Ionen als Träger der positiven Elektrizität zu den Bleisuperoxydplatten wandert und dort zu Wasser oxydiert wird; es kann sich also unter diesen Umständen keine schützende Wasserstoffhülle bilden und die Umwandlung des schwammigen Bleies in Bleisulfat setzt sich ungestört fort, bis der Strom unterbrochen und damit wieder gasförmiger Wasserstoff an den negativen Platten verfügbar wird.

Sehr einfach kann man sich davon überzeugen, dass nur die Wasserstoffhülle dem Bleischwamm Schutz gegen den Angriff der Schwefelsäure gewährt, wenn man eine negative Akkumulatorplatte unter der Flüssigkeit mit einem Platindraht berührt. Sogleich findet an dem Platindraht eine lebhafte Wasserstoffentwicklung statt und die nächste Umgebung der Berührungsstelle verwandelt sich in Bleisulfat; es fließt nämlich jetzt ein elektrischer Strom von dem Bleischwamm durch die Schwefelsäure zum Platindrahte und von hier durch die Berührungsstelle zurück zum Blei; die Wasserstoffionen dienen als Träger der durch den Strom in Bewegung gesetzten Elektrizität, kommen am Platin zur Abscheidung und das Blei bleibt ohne schützende Hülle.

Der Schutz des Bleischwammes durch die Wasserstoffhülle ist jedoch kein vollkommener aus zwei Gründen. Einmal ist der Wasserstoff spurenweise in der verdünnten Schwefelsäure löslich, verbreitet sich somit allmählich in der Flüssigkeit, gelangt an die positiven Platten und wird dort oxydiert; ferner hat die Luft zu den Zellen Zutritt, der Luftsauerstoff löst sich fortwährend in geringem Betrage in der Flüssigkeit auf und oxydiert gleichfalls den Wasserstoff zu Wasser. In dem Masse, wie durch diese beiden vereinigten wirkenden Ursachen der schützende Wasserstoff aufgezehrt wird, bildet er sich wieder von neuem und so kommt es, dass im Laufe von Monaten die Akkumulatoren sich allmählich von selbst entladen, indem vor allem an den negativen Platten der Bleischwamm in poröses schwefelsaures Blei übergeht, aber auch, nur in geringerem Grade, an den positiven Platten des Bleisuperoxyd in die nämliche Verbindung sich verwandelt.

Viertes Kapitel.

Die Behandlung der Akkumulatoren.

Als Füllung der Zellen dient reine verdünnte Schwefelsäure vom spezifischen Gewichte 1,15. Man erhält solche Säure, wenn man 1000 Raumteile destilliertes Wasser mit 136 Raumteilen chemisch reiner konzentrierter Schwefelsäure mischt; das Gemenge darf unter keinen Umständen eingefüllt werden, bevor es völlig erkaltet ist. Auf die Dichte der Säure kommt es nicht genau an; solche von spez. Gewichte 1,14 oder 1,16 schädigt den Apparat weder in seiner Dauerhaftigkeit noch in seiner Leistungsfähigkeit; dagegen muss die Säure unbedingt rein sein. Nun ist allerdings die chemisch reine konzentrierte Schwefelsäure des Handels von den gewöhnlichen Verunreinigungen der rohen Säure frei, aber sie enthält mitunter Spuren von Kupfer-, Gold- und Platinverbindungen, welche vom Abdampfen in Platingefäßen herrühren. Diese Beimengungen veranlassen eine Abscheidung der entsprechenden Metalle auf den negativen Platten

und die Folge davon ist die nämliche, wie die Berührung der Platten mit einem Platindrahte; es entwickelt sich an der Oberfläche der fremden Metalle Wasserstoff und das mit keiner schützenden Wasserstoffhülle bekleidete poröse Blei der nächsten Umgebung unterliegt dem Angriffe der Schwefelsäure. Ist die Verunreinigung sehr geringfügig, so äussert sie sich nur dadurch, dass der Akkumulator seine Ladung schlecht hält und in aussergewöhnlich kurzer Zeit sich von selbst entladet; ist sie dagegen einigermaßen beträchtlich, was man schon daran erkennt, dass die negativen Platten statt hell silbergrau, dunkelgrau oder schmutzigräu aussehen, so ist der Akkumulator unbrauchbar, da er überhaupt nicht richtig geladen werden kann, weil von vornherein eine massenhafte Wasserstoffentwicklung an den negativen Platten eintritt. Sichere Abhilfe ist nur zu schaffen durch Auswechslung der verdorbenen negativen Platten gegen frische.

Um diesen Übelständen auszuweichen muss man entweder eine unzweifelhaft reine Schwefelsäure verwenden, wie sie von den meisten Geschäften, welche Akkumulatoren verkaufen, auf Wunsch geliefert wird, oder aber man muss die Schwefelsäure reinigen. Dies geschieht am besten dadurch, dass man nach dem Verdünnen in die erkaltete Säure einige Minuten lang Schwefelwasserstoffgas einleitet, tüchtig durchschüttelt und nach ein- bis zweitägigem Stehen von dem allenfalls ausgefallten Niederschlage abfiltriert. Zur Vertreibung des Schwefelwasserstoffs dampft man kurze Zeit in einer Porzellanschale ein, lässt erkalten und füllt destilliertes Wasser nach, bis der frühere Rauminhalt, also die ursprüngliche Verdünnung wieder erreicht ist. Übrigens braucht man mit der gänzlichen Vertreibung des Schwefelwasserstoffs nicht ängstlich zu sein, da noch vorhandene Reste davon beim Betriebe der Akkumulatoren binnen kurzer Zeit zerstört werden.

Sind einmal die Zellen richtig gefüllt, so hat man nie wieder weitere Mühe damit, als dass man durch gelegentlichen Zusatz von destilliertem Wasser das verdunstete ersetzt, bis der Flüssigkeitsspiegel wieder die richtige Höhe hat.

Zu bemerken ist noch, dass Bleisuperoxyd und Bleischwamm einen etwas grösseren Raum einnehmen, als die entsprechende

Menge porösen schwefelsauren Bleies; demnach dehnen sich die Platten bei der Ladung ein wenig aus und die Flüssigkeit steigt, bei der Entladung ziehen sie sich wieder zusammen und die Flüssigkeit sinkt.

Um die Zuleitungen gut im Stande zu erhalten und Nebenschlüsse zu vermeiden, müssen die Aussenwände der Gefässe stets trocken gehalten und allenfalls übergespitzte oder verschüttete Säure sogleich weggewischt werden.

Durch Tränken der Holzbehälter, worin die Akkumulatoren stehen, mit flüssigem Vaseline verhindert man, dass sich in solchen Fällen das Holz mit der Säure vollsaugt und leitend wird.

Man hat auch Akkumulatoren gebaut, in welchen die verdünnte Schwefelsäure durch im Einzelnen nicht näher bekannt gegebene Zusätze in eine gelatinöse Masse verwandelt ist. Dadurch wird freilich dem Verschütten von Säure vorgebeugt und der Apparat lässt sich bequemer transportieren, aber bei gleichem Gewichte besitzt er auch eine geringere Kapazität sowie einen grösseren inneren Widerstand, also aus beiden Gründen eine geringere Leistungsfähigkeit, und die bisherigen Erfahrungen erscheinen noch nicht ausreichend zur Entscheidung, ob die Vorteile dieser Neuerung ihre Nachteile überwiegen.

Ladung der Akkumulatoren. Wenn es sich um die Ladung kleiner, leicht transportabler Akkumulatorbatterien handelt, so erweist es sich in vielen Fällen als zweckmässig, diese Arbeit von sachkundiger Hand ausführen zu lassen, wozu in fast allen grösseren Orten sich zu billigem Preise Gelegenheit findet. Für den Fall, dass man die Ladung selbst besorgen will oder muss, finden sich im Folgenden die nötigen Anhaltspunkte. Aus dem früher Gesagten geht hervor, dass sich zum Laden eine Stromstärke empfiehlt, bei welcher die Ladung 5 bis 10 Stunden dauert; also beispielsweise für eine Batterie von 8 Zellen zu je 8 A. St ein Strom von 6—11 A, wenn alle Zellen nebeneinander, von 0,8—1,6 A, wenn alle Zellen nacheinander geschaltet sind. Es ist also unbedingt erforderlich, die Stärke des Ladestromes durch ein Galvanometer zu messen. Derartige Messinstrumente mit bequemer Einrichtung

und empirischer Graduirung in A oder $\frac{1}{10}$ A, $\frac{1}{1000}$ A (Milliampère) findet man jetzt überall im Handel und jedes grössere Lehrbuch der Physik giebt über ihre Anwendung Auskunft. Das Ende der Ladung kennzeichnet sich durch Gasentwicklung an den Platten; sind die Gefässe der Akkumulatoren undurchsichtig, so dient als Merkmal das singende Geräusch, welches die an der Flüssigkeitsoberfläche platzenden Gasblasen verursachen. Bei Akkumulatoren, die verkittet und nur mit einer zugestöpselten Öffnung versehen sind, muss selbstverständlich der Stöpsel während des Ladens gelüftet werden. Für ungedeckte Akkumulatoren ist zu beachten, dass die heftig aufsteigenden Gasbläschen einen mehrere Centimeter über die Flüssigkeitsoberfläche sich erhebenden feinen Sprühregen von Säuretröpfchen erzeugen, welcher alle Kupferdrahtleitungen und Klemmschrauben, die in sein Bereich kommen, rasch zerstört. Man vermeidet diesen Übelstand fast ganz, wenn man auf die verdünnte Schwefelsäure eine Schicht von Vaselineöl giesst, durch welche die Blasen nur langsam und ohne Säure mitzureisen entweichen. Mit dem Eintritt kräftiger Gasentwicklung unterbricht man den Ladestrom; doch ist ein Überladen für die Akkumulatoren unschädlich, ja sogar vorteilhaft dann, wenn man sie vorher übermässig beansprucht oder lange nicht mehr gebraucht hat.

Nur als Nothbehelf wird man Akkumulatoren mit galvanischen Elementen laden; es kommen für diesen Zweck nur BUNSEN'sche Elemente in Betracht. Im allgemeinen sind die Elemente nacheinander, die Akkumulatorzellen nebeneinander zu schalten; eine einzelne Zelle erfordert mindestens 2 auf Spannung verbundene BUNSEN-Elemente aus früher erörterten Gründen. Der positive Pol (Kohlenpol) ist natürlich mit dem positiven, der negative Pol (Zinkpol) mit dem negativen Pol des Akkumulators zu verbinden.

Um beispielsweise zwei Akkumulatorzellen von je 20 A St Fassungsvermögen mit drei grossen BUNSEN-Elementen (je 1,8 V, 0,3 Ω) zu laden, braucht man etwa 14 Stunden Zeit. Denn den beiden parallel geschalteten Zellen muss man $2 \cdot 20 = 40$ A. St zuführen; der Ladestrom beträgt, wenn man den geringen inneren Widerstand der Zellen samt dem Widerstand der Zuleitungsdrähte mit 0,2 Ω in Rechnung bringt $\frac{(3 \cdot 1,8 - 2,2)}{(3 \cdot 0,3 + 0,2)} = \frac{3,2}{1,1} \text{ V}$

= 2,9 A, die Dauer der Ladung folglich $\frac{40}{2,9} = 13,8$ Stunden. Bei nacheinander geschalteten Zellen, wobei zwar nur 20 A. St zuzuführen wären, aber bei einer mittleren elektromotorischen Gegenkraft von 4,4 V, würde die Ladung gegen 25 Stunden Zeit beanspruchen (Stärke des Ladestromes $\frac{3 \cdot 1,8 - 4,4}{3 \cdot 0,3 + 0,3} = \frac{1 \text{ V}}{1,2 \Omega} = 0,83 \text{ A}$; Dauer $\frac{20}{0,83} = 24,1$ Stunde.)

Sehr günstig ist es, wenn man Gelegenheit hat, eine kleine Akkumulatorbatterie von einer grossen aus zu laden. Man kann dabei nach Belieben die Zellen nebeneinander oder nacheinander verbinden und hat nur die eine Mühe, durch Einschaltung in einen geeigneten Nebenschluss oder durch Vorschaltung von Drahtwiderständen dafür zu sorgen, dass der Ladestrom die geeignete Stärke besitzt.

Bleiben wir bei dem obigen Beispiel, so lassen sich die beiden Zellen von 20 A. St bei Nebeneinanderschaltung mit einem Strom von 4—8 A oder bei Nacheinanderschaltung mit einem von 2—4 A in 5—10 Stunden laden.

Für Laboratorien und Unterrichtsanstalten, denen weder ein elektrischer Strom aus einer Centralstation noch eine Dynamomaschine zur Verfügung steht, dürfte sich als zweckmässigster Apparat zur Erzeugung des Ladestromes für eine kleine Akkumulatorbatterie eine GÜLCHER'sche Thermosäule von 66 Elementen empfehlen. Eine solche Thermosäule hat eine elektromotorische Kraft von etwa 4 V., einen inneren Widerstand von etwa 0,7 Ω , liefert selbst bei mässigen Schwankungen des Gasdruckes einen fast vollkommen konstanten Strom von beliebiger Dauer, ist durch Anzünden der Gasflammen jederzeit mühelos in Betrieb zu setzen, bedarf keines Gasdruckregulators und keiner Wartung und verbraucht in der Stunde 170—180 Liter, also für etwa 3 Pfennig Gas. Schaltet man die Akkumulatorzellen nebeneinander und verbindet den positiven Pol der Thermosäule mit dem positiven, den negativen mit dem negativen Pol einer beliebigen Akkumulatorbatterie, nachdem zuvor die Thermosäule 5—10 Minuten angeheizt ist, so erhält man einen Ladestrom von 2—2,4 A. Die auf Seite 16 angeführte Batterie von 8 Zellen zu 8 A St wird folglich in $\frac{64}{2,2} = 30$ Stunden geladen. Berücksichtigt man aber den Um-

stand, dass man beim Arbeiten mit dem Entladungsstrom die stets bereite Thermosäule und die Akkumulatoren in nämlichen Stromkreise vereint wirken lassen kann, wodurch in den meisten Fällen die Akkumulatoren nur auf einen kleinen Bruchteil ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht zu werden brauchen, so reichen fast immer die ohnedies eintretenden Arbeitspausen aus, um jeweils die Akkumulatoren wieder vollkommen zu laden, zumal man ohne jede Gefahr für die Apparate die Thermosäule über Nacht brennen und das Ladegeschäft besorgen lassen kann.

Man verfüge z. B. über eine GÜLCHER'sche Thermosäule, sowie über die (S. 16) erwähnten beiden Akkumulatorbatterien und brauche einen Strom von 2 A bei 8 V 3 Stunden lang. Entweder kann man diesen erhalten von vier nacheinander geschalteten Akkumulatorzellen, welche hierbei $4 \cdot 2 \cdot 3 = 24$ A. St abgeben; zu ihrer völligen Wiederladung durch die Thermosäule sind dann $\frac{24}{2,2} = 11$ Stunden rund erforderlich.

Oder aber, man verbindet in beiden Batterien die Zellen nebeneinander und schaltet die Batterien selbst unter sich und mit der Thermosäule zusammen auf Spannung; man hat auch auf diese Art 8 V zur Verfügung; die gesamten Akkumulatorzellen geben ab $2 \cdot 2 \cdot 3 = 12$ A. St und können in $\frac{12}{2,2} = 5\frac{1}{2}$ Stunden wieder vollständig geladen werden.

Gleichstrommaschinen dienen allgemein zur Ladung grosser Akkumulatorbatterien, kommen aber auch mitunter für kleine Batterien, wie sie hier in Rede stehen, in Betracht. Zur Lieferung des Ladestromes eignet sich eine Hauptschlussdynamo wenig, eine Nebenschlussdynamo dagegen sehr gut, wie sich mit Hilfe der nachstehenden schematischen Zeichnungen leicht nachweisen lässt.

In beiden Figuren bedeutet:

M den Elektromagneten mit seinen Polschuhen *PP*.

BB die Bürsten, welche den Ankerstrom von dem Kollektor *K* abnehmen und ihn dem Stromkreise zuführen, wo er in der Richtung der Pfeile fliesst.

A die Akkumulatorbatterie.

Bei der Hauptschlussdynamo (Fig. 2) umkreist der Strom von der positiven Bürste aus die Magnetschenkel, fliesst weiterhin durch die Akkulatoren und zwar am positiven Pol ein, am

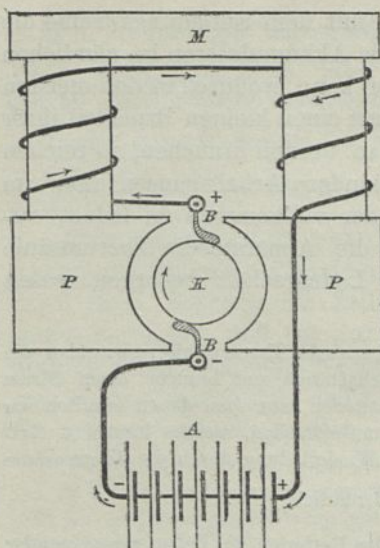


Fig. 2.

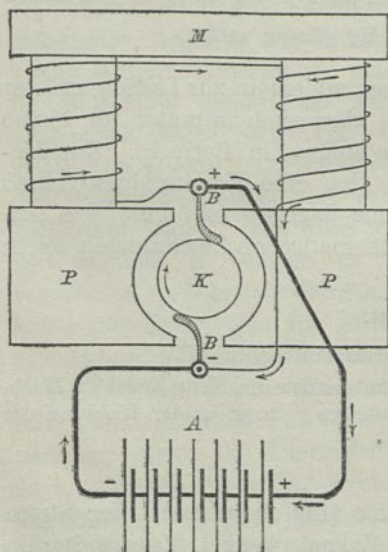


Fig. 3.

negativen aus und kehrt von da zur negativen Bürste zurück. Falls sich aus irgend einem Grunde auch nur ganz vorübergehend die Umdrehungsgeschwindigkeit der Maschine soweit verringert, dass ihre elektromotorische Kraft unter die der zu ladenden Batterie sinkt, so kehrt der Strom seine Richtung um; statt in die Akkumulatoren fließt der positive Strom nun aus ihnen in die Maschine. Dadurch wird der Elektromagnet ummagnetisiert und wenn auch sogleich die Dynamo ihre normale Geschwindigkeit wieder annimmt, so bleibt doch der Magnet unmagnetisiert, der Maschinenstrom behält folglich die verkehrte Richtung bei und entladet die Batterie statt sie zu laden; überdies kann dadurch Dynamo und Batterie schweren Schaden nehmen.

Ein solches Vorkommnis ist bei der Nebenschlussdynamo (Fig. 3) ausgeschlossen, da hier der Strom, welcher den Elektromagneten umkreist, immer die nämliche Richtung beibehält, einerlei, ob der Maschinenstrom oder der Batterie-strom überwiegt. An der positiven Bürste verzweigt sich der Maschinenstrom; ein Teil um-

fließt die Magnetschenkel und kehrt zur negativen Bürste zurück; der andere Teil geht zur Batterie, tritt am positiven Pol ein, am negativen aus und kehrt von da gleichfalls zur negativen Bürste zurück. Tritt eine vorübergehende Störung in der Maschine ein, so kann zwar währenddessen die Batterie Strom abgeben statt zu empfangen; sobald aber das Hindernis beseitigt ist, nimmt die Ladung wieder ihren Fortgang, da der Elektromagnet nicht ummagnetisiert worden ist und folglich der Maschinenstrom seine ursprüngliche Richtung beibehalten hat.

Beim Laden einer Akkumulatorbatterie von Leitungen aus, die von einer Dynamo mit Strom versorgt werden, muss man vor allem die richtigen Pole suchen, wenn dies nicht unzweifelhaft feststeht. Man kann für diesen Zweck sich einer der verschiedenen Sorten von Polreagenzpapier bedienen, welche man im Handel findet; auch ein Stück mit Jodkaliumlösung befeuchtetes Filtrirpapier lässt sich als solches gebrauchen; drückt man die beiden Drahtenden so, dass sie sich nicht berühren, auf das Papier, dann entsteht in der Umgebung des positiven Poles ein brauner Fleck von ausgeschiedenem Jod. Dieses Drahtende ist also mit dem positiven Pol der Batterie, das andere mit dem negativen zu verbinden. Durch geeignete Stromverzweigung oder durch vorgeschalteten Drahtwiderstand muss man den Ladestrom auf die zweckmäßige Stärke abschwächen.

Es schadet den Akkumulatoren nichts, wenn sie bei Gelegenheit wieder geladen werden, ohne vorher ausgebraucht worden zu sein; der Teil von Ladung, welchen sie noch besitzen, geht hierbei nicht verloren, sondern die Neuladung ist entsprechend rascher zu Ende.

Akkumulatoren sollen jeweils nach Ablauf von 3 bis 4 Monaten frisch geladen werden, auch wenn sie in der Zwischenzeit nicht gebraucht worden sind; andernfalls erleiden sie Schaden durch Erhöhung ihres inneren Widerstandes und durch Abnahme ihrer Kapazität. Beides ist bedingt durch physikalische Veränderungen des schwefelsauren Bleies, für welche den Chemikern viele Analogien bei anderen schwer löslichen Substanzen bekannt sind. Die meisten schwerlöslichen Niederschläge sind in frisch vorbereitetem Zustande sehr fein verteilt,

nicht krystallin und der Einwirkung von Reagentien leicht zugänglich; im Laufe der Zeit verwandeln sie sich unter der Flüssigkeit, worin sie entstanden sind, in gröbere, deutlich krystalline, schwer angreifbare Pulver. In dieser Weise verhält sich auch das schwefelsaure Blei auf den Akkumulatorplatten; aus dem ursprünglich fein verteilten, strukturlosen und leicht angreifbaren wird ein gröberer, krystalliner, widerstandsfähiger Körper, der durch den Ladestrom nicht sogleich zu Blei reduziert und zu Bleisuperoxyd oxydiert werden kann. Daher rührt die Abnahme der Kapazität, welche erst nach wiederholtem Entladen und Wiederladen durch allmähliche Aufarbeitung des krystallin gewordenen schwefelsauren Bleies wieder die frühere Höhe erreicht. Ferner backen schwerlösliche, krystallin gewordene Niederschläge sehr häufig unter der Flüssigkeit zusammen, vor allem in den obersten Schichten. Dies wird dadurch verursacht, dass die Löslichkeit mit den Temperaturschwankungen sich fortwährend, wenn auch noch so wenig ändert. Nimmt in Folge von Temperaturerhöhung die Löslichkeit zu, so lösen sich vorwiegend die kleinsten Partikel und die hervorstehenden Spitzen; sinkt die Temperatur dann wieder, so wachsen hauptsächlich die schon vorhandenen Krystalle und schliessen sich fester ineinander; wiederholt sich das Spiel genügend oft, so entsteht schliesslich eine dicht zusammenhängende, für Flüssigkeiten fast undurchdringliche Kruste. Das in der verdünnten Schwefelsäure nicht unlösliche, sondern nur sehr schwerlösliche schwefelsaure Blei besitzt dieses Verhalten und daher rührt es, dass der innere Widerstand eines lange Zeit nicht in Gebrauch gewesenen Akkumulators ungewöhnlich gross wird, weil eben die gut leitende verdünnte Schwefelsäure an den meisten Stellen durch eine undurchlässige Schicht von dem gleichfalls gut leitenden porösen Inneren der Platte getrennt ist. Bei längerem Gebrauche verschwindet dieser Übelstand wieder durch allmähliche Umwandlung der Kruste in poröse, wirksame Masse.

Wie schon erwähnt, nimmt der Rauminhalt der Platten beim Laden etwas zu, beim Entladen ab; es kommt infolgedessen, namentlich bei übermässig starker Beanspruchung vor, dass die Platten sich verbiegen und in Gefahr kommen, sich

gegenseitig zu berühren. Man verhindert dies nötigenfalls durch dazwischen geschobene Glasstäbe.

Bezüglich der Entladung der Akkumulatoren wurde bereits auseinandergesetzt, dass die günstigste Stromstärke hierfür in A etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{8}$ der Kapazität in A. St beträgt, dass aber ohne dauernden Nachteil, nur mit verringertem Nutzeffekte, auch noch stärkere Ströme vorübergehend entnommen werden können. Grundsätzlich soll man nicht mit Akkumulatoren arbeiten, ohne irgend ein Galvanometer in den Stromkreis einzuschalten, wenn anders man die Batterie und die vom Batteriestrom betriebenen Apparate vor Schaden behüten will.

Selbstverständlich ist es zweckmässig, die einzelnen Zellen einer Batterie gleichmässig zu beanspruchen, damit alle gleichzeitig entladen werden.

Falls man z. B. als Stromquelle die (S. 16) besprochene Doppelbatterie verwendet und einen Strom von 2 V Spannung braucht, so wird man die Schaltung 1 wählen, auch wenn man nur mit ganz schwachem Strome arbeitet, und nicht einer einzelnen Zelle den Strom entnehmen, was ja an und für sich einfacher erscheint.

Unter allen Umständen muss man sich davor hüten, dass die Schliessungsdrähte einer Akkumulatorbatterie in unmittelbare leitende Berührung kommen; denn bei Eintritt eines solchen Kurzschlusses entladen sich die Zellen so rasch und heftig, dass die Platten sich werfen, die aktive Masse abbröckelt und die Batterie dauernd beschädigt oder ganz unbrauchbar wird.

Hat man bei Benutzung der Akkumulatoren den Strom gemessen und kennt die Schaltungsweise der Zellen und die Zeitdauer, so kann man sich stets annähernd ausrechnen, ob eine Neuladung der Batterie notwendig ist oder nicht.

Angenommen, man habe aus der Doppelbatterie (S. 16) mit der Schaltung 1 einen Strom von 2 A 4 Stunden lang bezogen, also $2 \cdot 4 = 8$ A. St verbraucht; da alle Zellen parallel geschaltet sind, somit wie ein grosses Element wirken, entfällt auf jedes $\frac{1}{8}$ der Stromlieferung, also 1 A. St; eine Neuladung ist nicht notwendig, denn jede Zelle enthält noch $7\frac{1}{8}$ A. St.

Hat man dagegen mit der Schaltung 3 gleichfalls bei einer Stromstärke von 2 A 4 Stunden gearbeitet, so vertheilt sich die Lieferung von 8 A. St auf je 2 Elemente, da die Schaltung einer Batterie von 4 Doppel-elementen entspricht; die einzelne Zelle hat 4 A. St geleistet und ist halb entladen.

Ist schliesslich wiederum mit 2 A. Stromstärke und 4 Stunden Dauer die Schaltung 4 in Anwendung gekommen, so hat jede einzelne Zelle, da ja alle auf Spannung verbunden sind, $2 \cdot 4 = 8$ A. St. abgegeben, die ganze Batterie ist ausgebraucht und muss frisch geladen werden.

Oft fehlen jedoch die Daten zur Berechnung, wie viel Ladung eine Batterie noch enthält und es ist von Wert, Mittel zur Beantwortung dieser Frage zu kennen; denn keineswegs geht es immer an, einfach die Akkumulatoren so lange zu benützen, bis eben die Abnahme ihrer Leistungen anzeigt, dass sie frisch geladen werden müssen.

Für offene Akkumulatoren ist die aräometrische Bestimmung des spezifischen Gewichtes der verdünnten Schwefelsäure ein gutes Kennzeichen des Ladungszustandes. Denn bekanntlich wird bei der Entladung freie Schwefelsäure gebunden; wenn man also einmal bei einer bestimmten Zelle festgestellt hat, welche Änderungen des spez. Gewichtes der Füllung einem bestimmten Stande der Entladung entsprechen, so genügt zur Beurteilung jeweils eine rasch auszuführende spezifische Gewichtsbestimmung der Säure. Nun sind aber gerade die kleineren Akkumulatortypen meistens mehr oder weniger fest verschlossen, man kann kein Aräometer in der Füllung schwimmen lassen und bleibt darum auf andere Wege angewiesen.

Besitzt man einen Spannungsmesser (Voltmeter), so gibt die Bestimmung der elektromotorischen Kraft einer Zelle Auskunft über ihren Ladungszustand; sobald die Spannung auf 1,8 V gesunken ist, muss von Neuem geladen werden.

Den nämlichen Zweck kann man jedoch auch mittels eines Galvanometers (Ampèremeters) erreichen; man braucht nur durch Einschaltung eines geeigneten Widerstandes, dessen Grösse nicht näher bekannt zu sein braucht, sobald man nur immer den nämlichen verwendet, die Stromstärke auf eine schickliche Grösse einzustellen und zu messen. Hat man einmal diese Messungen bei einer bestimmten Zelle oder Batterie durchgeführt und die Ergebnisse gebucht, so gibt die Wiederholung einer Messung jeweils die gewünschte Auskunft. Denn mit dem Fortschritte der Entladung sinkt die Spannung und steigt der innere Widerstand, die unter den nämlichen sonstigen

Bedingungen gelieferte Stromstärke nimmt also aus beiden Gründen ab.

So beträgt beispielsweise bei einer bestimmten Zelle von 8 A. St Kapazität die Spannung während der Entladung längere Zeit hindurch 2 V bei einem inneren Widerstande von $0,04 \Omega$, sinkt dann langsam auf 1,9 V unter Zunahme des Widerstandes auf $0,05 \Omega$, später rascher auf 1,8 V bei $0,06 \Omega$ und von da ab ist der Punkt des plötzlichen Spannungsabfalles, der unbedingt eine Neuladung verlangt, nicht mehr weit entfernt. Diese Änderungen kommen in der Stromstärke so deutlich zum Ausdruck, dass auch ein mässig genaues Galvanometer darüber sichere Auskunft gibt. Die Stromstärken sind bei einem Widerstande im äusseren Stromkreise von rund 1 Ω im ersten länger dauernden Abschnitte der Entladung $\frac{2}{0,04+1} = 1,92$ A,

dann $\frac{1,9}{0,05+1} = 1,81$ A; schliesslich $\frac{1,8}{0,06+1} = 1,70$ A.

Bei Zellen, welche im Verhältnis zu ihrer Kapazität eine geringe Menge Säure fassen, sind die Änderungen der Spannung zwar gleich, die Änderungen des inneren Widerstandes aber viel beträchtlicher, als wenn reichlich Schwefelsäure vorhanden ist; die Abnahme der Stromstärke wird also bei solchen noch viel auffälliger.

Anhang.

Die wichtigsten Einheiten des elektrotechnischen Masssystemes.

In den vorhergehenden Kapiteln sind eine Reihe von Bezeichnungen und Abkürzungen fortwährend verwendet, deren Bedeutung hier noch eine kurze Erläuterung findet.

Die Einheit der Stromstärke heisst Ampère (Amper) = A.

Ein Strom von 1 A liefert im Knallgasvoltmeter in der Minute 10,5 Ccm Knallgas, gemessen bei 0° C und 760 mm Barometerstand; der nämliche Strom scheidet an der negativen Elektrode eines Kupfervoltmeters 0,01968 gr Kupfer oder eines Silbervoltmeters 0,06708 gr Silber in der Minute ab.

Die Einheit der elektromotorischen Kraft (Spannung) heisst Volt = V.

Ein DANIELL'sches Element besitzt durchschnittlich eine elektromotorische Kraft von 1,07 V, ein BUNSEN'sches Element 1,8 V, eine Akkumulatorzelle 2,0 V.

Die Einheit des Widerstandes heisst Ohm = Ω .

Der Widerstand eines Quecksilberfadens von 1,06 m Länge und 1 qmm Querschnitt beträgt bei 0° 1 Ω ; ungefähr den nämlichen Widerstand leistet ein Kupferdraht von 1 qmm Querschnitt bei einer Länge von 66 m.

Das OHM'sche Gesetz

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Summe der elektromotorischen Kräfte}}{\text{Summe der Widerstände}}$$

stellt folgende Beziehung zwischen diesen drei Einheiten her:

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ V}}{1 \Omega};$$

in Worten: die elektromotorische Kraft von 1 V erzeugt in einem Stromkreise von 1 Ω Widerstand einen Strom von der Stärke 1 A; oder: die Anzahl der A ist gleich der Anzahl der V, geteilt durch die Anzahl der Ω . Je grösser die elektromotorische Kraft in einem Stromkreise, desto grösser unter sonst gleichen Umständen die Stromstärke; je grösser die Widerstände in einem Stromkreise, desto kleiner unter sonst gleichen Umständen die Stromstärke.

Als Mass für die Elektrizitätsmenge verwendet man oft das Produkt aus der Anzahl der A in die Zeiteinheit (meist 1 Stunde); 1 Ampère-Stunde = A. St ist also diejenige Elektrizitätsmenge, welche bei einer Stromstärke von 1 A im Laufe von 1 Stunde einen beliebigen Querschnitt der Strombahn durchfliesst; eine Stromquelle, welche diese Elektrizitätsmenge zu liefern vermag, hat eine Kapazität von 1 A. St.

Das Mass für die Arbeit eines Stromes ist das Produkt aus der Anzahl der A in die Anzahl der V und in die Anzahl der Zeiteinheiten (meist 1 Sekunde oder 1 Stunde). Die geleisteten Arbeiten stehen im Verhältnisse dieser Produkte; sind die Produkte gleich, so ist es auch die Arbeitsleistung. Eine Akkumulatorbatterie hat z. B. die nämliche Arbeit geleistet, einerlei ob sie einen Strom von 50 A bei 2 V 1 Stunde lang oder ebensolang einen Strom

von 5 A bei 20 V oder von 10 A bei 10 V geliefert hat, oder auch 50 A bei 4 V $\frac{1}{2}$ Stunde lang, 5 A bei 2 V 10 Stunden lang, denn das Produkt aus Stromstärke, Spannung und Zeit ist in allen aufgezählten Fällen = 100.

Ein Strom, welcher bei 1 V Spannung die Stärke von 1 A besitzt, leistet in der Sekunde die Arbeit $1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$; dieses Produkt $1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ heisst 1 Watt = (V. A). Da man die in einer Sekunde zur Wirkung kommende Arbeit einer beliebigen Maschine den Effekt dieser Maschine nennt, so ist 1 Watt die Einheit des Stromeffektes. Die gebräuchliche Einheit für mechanischen Effekt ist 1 Pferdekraft (HP) = 75 Meterkilogramm in 1 sec. Der Effekt 1 Watt entspricht $\frac{1}{736}$ Pferdekraft.

Eine Akkumulatorbatterie, die einen Strom von 3 A bei 16 V liefert, hat einen Effekt von $3 \cdot 16 = 48 \text{ Watt} = \frac{48}{736} = 0,065 \text{ HP}$.



Im gleichen Verlage sind erschienen:

ELBS, Prof. Dr. K., **Die synthetischen Darstellungsmethoden der Kohlenstoffverbindungen.** 2 Bände (294 u. 474 Seiten). gr. 8^o. 1889—91. M. 17.—

Übersichtliche Zusammenstellung und eingehende Beschreibung aller bis jetzt bekannten organ. Synthesen, mit besonderer Hervorhebung der praktisch geeignetsten Methoden. — Äusserst nützlich Nachschlagbuch für jeden mit organ. Chemie Beschäftigten. Für die Anlage des Werkes war die praktische Brauchbarkeit massgebend, der Verfasser hat sich daher nicht auf die Anführung der Litteratur nach Band u. Seitenzahl beschränkt, sondern alle Veröffentlichungen nach ihrem wissenschaftlichen wie praktischen Wert besprochen, bezw. im Auszug mitgeteilt und dadurch einen sicheren Wegweiser durch das Labyrinth der synthetischen Methoden der Kohlenstoff-Chemie und deren so schwer übersehbaren Litteratur geschaffen.

DRECHSEL, Prof. Dr. E., **Leitfaden in das Studium der chemischen Reaktionen und zur qualitativen Analyse.** 2. umgearb. Aufl. 1888. Mit Spektraltafel. geb. M. 3.—

Eine der wissenschaftlich wie praktisch wertvollsten unter den zahlreichen Einleitungen in die Chemie, und zum akademischen Unterricht besonders geeignet . . . „Ausstattung musterhaft“ (Chemikerzeitung).

KOHLMANN, B. und F. FRERICHS, **Rechentafeln zur quantitativen chem. Analyse.** 212 Seiten gr. 8^o. 1882 brosch. M. 3.—, geb. M. 4.—

Ersparen alles Rechnen bei der Analyse, da von jeder von Milligramm zu Milligramm steigenden Menge einer chemischen Verbindung das Gewicht der Bestandteile direkt abgelesen werden kann. — Stats'sche Atomzahlen.

SHENSTONE, **Anleitung zum Glasblasen, für Physiker und Chemiker.** Deutsch bearbeitet von Dr. H. Ebert. 86 Seiten. Mit 44 Holzschnitten. 1887. M. 2.—

Das einzige Buch über diesen wichtigen Zweig der physikalischen Technik; nach übereinstimmendem Urteil der Kritik von grosser praktischer Brauchbarkeit.

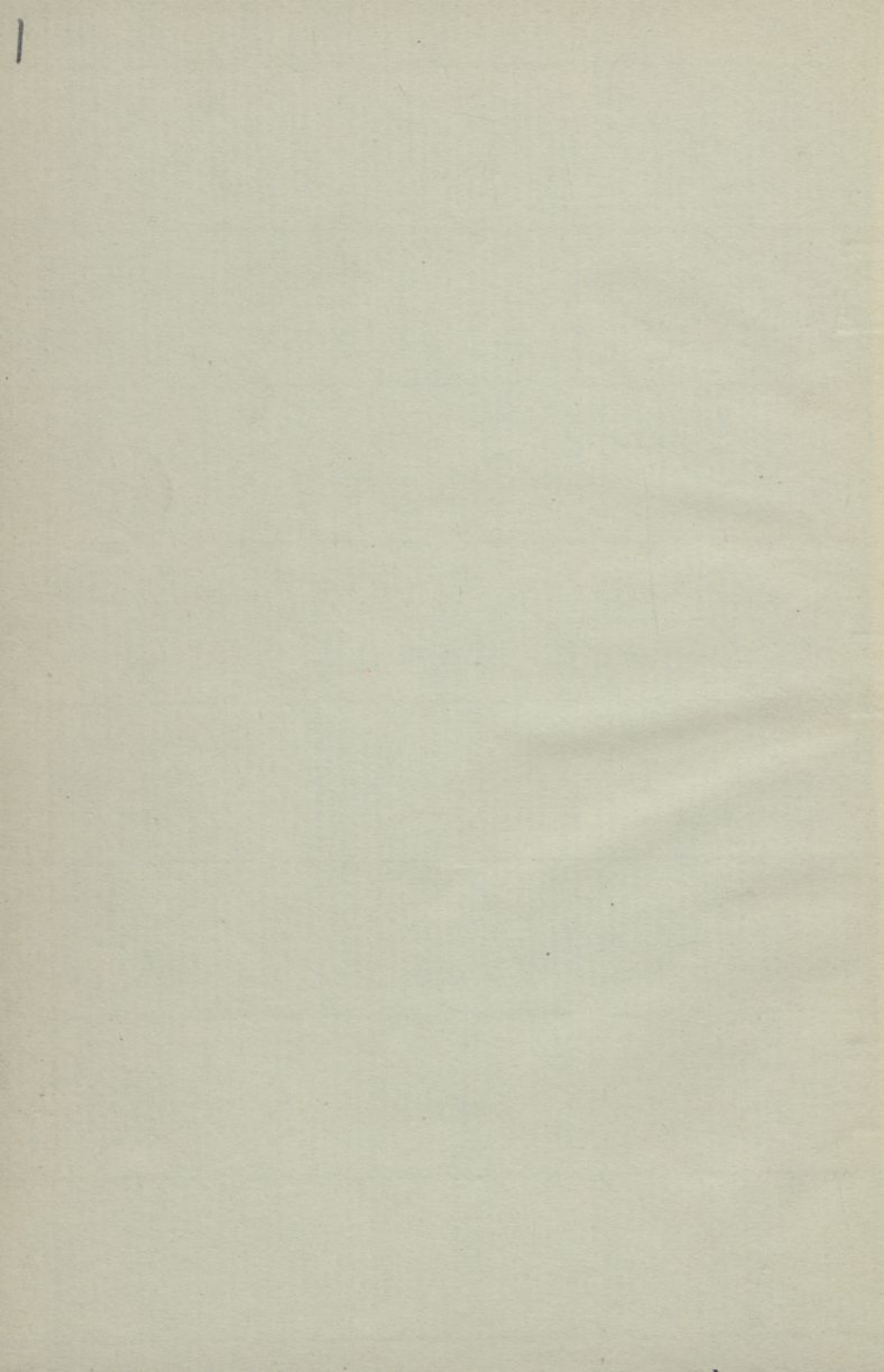
JOURNAL FÜR PRAKTISCHE CHEMIE. Neue Folge, herausgeg. von E. v. Meyer (früher von O. L. Erdmann u. v. H. Kolbe). Jährlich 24 Hefte, welche 2 Bände bilden, für 24 M.

Das Journal für praktische Chemie erscheint seit 1834 und bringt nur Originalarbeiten aus dem Gesamtgebiet der Chemie. Vollständige Reihen der „Neuen Folge“ sind seit dem Neudruck der vergriffen gewordenen Bände in einigen wenigen Exemplaren wieder zu haben. Probeheft kostenfrei.

LOMMEL, Dr. E. von, Prof. der Physik an der Universität München, **Lehrbuch der Experimentalphysik.** X, 644 Seiten. gr. 8^o mit 424 Abb. 1893. geh. M. 6.40, geb. M. 7.20

Das „Lehrbuch der Experimentalphysik“, aus den Vorträgen des Verfassers entstanden, ist bestrebt, die Grundlehren der Physik, ohne weitläufige mathematische Entwicklungen, dem heutigen Standpunkte unserer Kenntnisse gemäss allgemein verständlich darzustellen. Unter Anknüpfung an alltägliche Erfahrungen und leicht anzustellende Versuche sind die Thatsachen überall zum Ausgangspunkte gewählt. Der (grösser gedruckte) Haupttext bildet für sich einen zusammenhängenden Lehrgang, zu dessen Verständnis, welches durch zahlreiche in den Text gefügte Abbildungen unterstützt wird, die elementarsten mathematischen Kenntnisse genügen. Der Stoff ist so angeordnet, dass niemals später Folgendes vorausgesetzt, sondern nur auf früher Besprochenes zurückverwiesen wird, wodurch dem Anfänger das Studium wesentlich erleichtert wird. Um aber auch dem Bedürfnis von Mittel- und Hochschulen gerecht zu werden, sind (kleiner gedruckte) Abschnitte eingestreut, welche die wichtigsten Entwicklungen und Beweise in möglichst knapper elementarer Darstellung enthalten. Auch geschichtliche Daten haben gebührende Berücksichtigung gefunden und durch ein ausführliches Namen- u. Sachregister ist dafür gesorgt, dass das Werk auch als bequemes Nachschlagbuch dienen kann.

Das Buch eignet sich somit nicht nur für den Studierenden, sondern auch für Gymnasien, Realgymnasien und Mittelschulen, sowie zum Privatstudium.





BIBLIOTEKA GŁÓWNA

347310 L 1 A