Zeitschrift: Technische Beilage zur Schweizerischen Post-, Zoll- & Telegraphen-Zeitung = Supplément technique du Journal suisse des postes, télégraphes et douanes

Band: 5 (1922)

Heft: 22

Artikel: Die Wirkungsweise der elektrischen Akkumulatoren

Autor: [s. n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-872997

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

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

Technische Beilage

zur

Schweiz. Post-, Zoll- & Telegraphen-Zeitung

Supplément technique du Journal suisse des Postes, Télégraphes et Douanes

Erscheint alle 2 Monate. — Jahresabonnement Fr. 4.— (durch die Post Fr. 4.20). — Red. Beiträge u. Korr. sind zu adressieren an Herrn E. NUSSBAUM, Schützenweg 17, Bern.

Paraissant tous les 2 mois. — Abonnement Fr. 4.— par an (par la poste Fr. 4. 20). — Pour la RÉDACTION s'adresser à Mr. E. NUSSBAUM, Schützenweg 17, Berne.

Nummer 22. **Burgdorf,** 7. September 1922. **V. Jahrgang.**

Inhalt - Sommaire: *Allgemeine Elektrotechnik:* Die Wirkungsweise der elektrischen Akkumulatoren. — *Technische Neuerungen:* Das kleinste Telephon der Welt. — *Verschiedenes:* Bemerkenswerte Errungenschaften. — † Graham Bell. — Wie Graham Bell sein Telephon erfand. — Die elektrische Energie des Blitzstrahls. — Phonischer Antrieb der Baudotverteiler. — Télétype. — Zwischen Liverpool und Manchester bestehen 333 interurbane Verbindungen.

Allgemeine Elektrotechnik

Die Wirkungsweise der elektrischen Akkumulatoren. *)

Die wirksame Masse des geladenen Akkumulators ist Blei und Bleisuperoxyd, der Elektrolyt besteht aus verdünnter Schwefelsäure. Der Akkumulator ist im Grunde genommen nichts anderes als ein *galvanisches Element,* etwa ein Bunsen- oder Leclanché-Element, und unterscheidet sich von diesen nur durch die allerdings für die Praxis sehr wichtige Eigentümlichkeit, dass nach Entladung die verbrauchten Materialien nicht weggegossen oder weggeworfen und durch neue ersetzt werden müssen, sondern dass durch die Durchsendung des elektrischen Stromes aus einer fremden Quelle diese Materialien wieder denselben Zustand annehmen, den sie vor der Entladung hatten. Es kommen daher für den Akkumulator dieselben Punkte in Betracht, wie für das galvanische Element, nämlich die *Ruhespannung* und die *Vorgänge bei der Entladung* und es treten hier als neu nur die *Vorgänge während des Ladens* hinzu.

Die *Ruhespannung* oder elektromotorische Kraft, oder auch Potentialdifferenz, ist, wie der Name sagt, diejenige Spannung, welche an den Klemmen des Akkumulators gemessen wird, wenn er sich in *Ruhe* befindet, d. h. wenn er weder Strom aufnimmt noch abgibt. Diese Spannung ist nun ganz allein abhängig von der Konzentration des Elektrolyten, der verdünnten Schwefelsäure, allerdings unter der Voraussetzung, dass sich das ganze Element im Gleichgewichtszustand befindet, d. h., dass der Elektrolyt an jedem Punkt des Elementes genau dieselbe Konzentration besitzt. Die Ruhespannung ist umso höher, je konzentrierter der Elektrolyt ist, oder mit andern Worten, je höher sein spezifisches Gewicht ist. Die Ruhespannung nimmt also mit zunehmender Dichte des Elektrolyten zu, mit abnehmender Dichte ab.

Man kann sich diese Tatsache, dass die elektromotorische Kraft des Akkumulators umso höher ist, je dichter dessen Elektrolyt ist, so vorstellen, dass das Blei und Bleisuperoxyd des geladenen Akkumulators um so energischer in Bleisulfat überzugehen suchen, je mehr Schwefelsäure sie in der Lösung finden.

Hier sei auch noch erwähnt, dass mit der Temperatur die elektromotorische Kraft sehr wenig veränderlich ist, erst 25° C Temperaturzunahme erhöhen sie bei normaler Säuredichte um 0,01 Volt.

Hiernach würde es zweckmässig sein, im Akkumulator möglichst hohe Säuredichte zu verwenden. Starke Säure besitzt aber eine geringere Leitfähigkeit und hat auf die Haltbarkeit der Elektroden einen nachteiligen Einfluss. Bei stationären Elementen, wo es auf Gewicht und Raumbedarf weniger ankommt, verwendet man daher in der Praxis meist Säure von 1,20 spez. Gewicht. Diese Säure enthält zirka 27 % reine H_2SO_4 und es nehmen von der letzteren zirka 15 % an der chemischen Umsetzung teil. Folgende Tabelle ergibt den Prozentgehalt und die spezifische Leitfähigkeit verdünnter Schwefelsäure bei verschiedenen Dichten.

Säuredichte	Gehalt an H_2SO_4 in %	Spezifische Leitfähigkeit
1,00	0	0,00
1,05	7	0,35
1,10	14	0,52
1,15	21	0,67
1,20	27	0,74
1,25	33	0,73
1,30	39	0,69

Nimmt man 3 Sammler-Elemente, welche vollkommen gleiche Platten besitzen und sich nur durch die Säuredichte unterscheiden, derart, dass sie beispielsweise im ersten 1,10, im zweiten 1,20 und im dritten 1,30 spez. Gewicht beträgt und verbindet man diese Elemente nacheinander mit einem Voltmeter, so findet man beim ersten eine Spannung von 1,95 Volt, beim zweiten eine solche von 2,05 Volt und beim dritten eine solche von 2,15 Volt. Trägt man diese Werte in ein Coordinaten-System ein, so bilden sie eine gerade Linie, welche die Ordinate bei einem Punkt 0,85 schneiden würde. Da nun alle in der Praxis in Frage kommenden Säuredichten zwischen 1,10 und 1,30 liegen, so kann man sich zur Berechnung der Ruhespannung die Formel merken

*) Autorisierter Nachdruck aus einer Druckschrift der Akkumulatorenfabrik Oerlikon.

$e = (d - 1 + 1{,}85)$ V oder einfacher
$e = (d + 0{,}85)$ V,

bei welcher e die Ruhespannung und d das spezifische Gewicht des Elektrolyten bedeutet. Diese Formel gilt nun in allen Fällen, in welchen, wie gesagt, die Dichte der Säure im ganzen Element gleichmässig ist; die Ruhespannung ist unter den genannten Bedingungen *unabhängig von dem Ladezustand* der Platten.

Bei dem Vorerwähnten ist angenommen, dass die Säuredichte im ganzen Element die gleiche ist. Würde man die Platten nicht frei in die Säure einhängen, sondern jede für sich in eine poröse Tonzelle einschliessen, welche mit Säure von 1,20 gefüllt ist und diese Zelle in ein Gefäss stellen, welches ebenfalls mit Säure von 1,20 gefüllt ist, so ändert sich an dem bisher Gesagten betreff der Spannung nichts, das Element würde genau die gleiche Ruhespannung von 2,05 Volt zeigen, wie beim erwähnten ersten Versuch des mit Säure von 1,20 gefüllten Elementes. Stellt man nun die Tonzellen in ein Gefäss mit dünnerer Säure von 1,10 spez. Gewicht, so liest man trotzdem eine Ruhespannung von 2,05 Volt ab, ebenfalls dann, wenn die Tonzelle in ein Gefäss mit dichterer Säure von 1,30 spez. Gewicht gesetzt wird. Daraus folgt die Regel, *dass die Ruhespannung unabhängig ist von demjenigen Teil der Säure, welcher mit den Platten nicht in Berührung steht; sie ist nur eine Funktion der Dichte derjenigen Säuremenge, welche die Platten unmittelbar berührt.*

Diese Tatsache gibt den Schlüssel für viele Erscheinungen während der Ladung und Entladung der Platten.

Durch das Einfügen der Tonzelle ist der innere Widerstand des Elementes bedeutend erhöht worden, trotzdem ist die Ruhespannung des Elementes die gleiche geblieben; der innere Widerstand eines Elementes ist also für die Ruhespannung ohne Bedeutung.

Die weitaus wichtigeren Erscheinungen bilden in der Praxis die Vorgänge bei der *Entladung* und *Ladung*.

Darüber, wie beim Schliessen des Stromkreises eines Akkumulators der Entladestrom entsteht, bestehen verschiedene Theorien, deren Entwicklung hier zu weit führen würde. Soviel weiss man, dass gleichzeitig mit dem elektrischen Vorgang während der Entladung ein chemischer Vorgang stattfindet. Ob nun der elektrische Vorgang die Ursache des chemischen ist, oder umgekehrt, soll hier nicht erörtert werden; es ist nur daran festzuhalten, dass beide Vorgänge untrennbar verbunden sind, d. h. dass keiner ohne den andern stattfindet und ferner, dass auch quantitativ eine enge Beziehung zwischen beiden Vorgängen besteht. Das Gesetz, welches dieses quantitative Verhältnis bestimmt, ist das bekannte Gesetz von Faraday. Der chemische Vorgang während der Entladung findet nach der Gleichung statt $Pb + 2\,H_2SO_4 + PbO_2 = PbSO_4 + 2\,H_2O + PbSO_4$ d. h. das aktive Material an der negativen Platte, das Blei, geht in Bleisulfat über, das aktive Material an der positiven Platte, das Bleisuperoxyd, wird ebenfalls in Bleisulfat verwandelt; die Schwefelsäure des Elektrolyten gibt an beide Platten einen Teil ihrer Bestandteile ab und bildet die entsprechende Menge Wasser. Die chemische Gleichung gibt nun nicht nur das an, *was* entsteht, sie sagt vielmehr auch, in welchen *Mengenverhältnissen* die einzelnen Bestandteile miteinander reagieren, also ein Molekül Bleisuperoxyd und ein Molekül Blei bildet mit 2 Molekülen Schwefelsäure 2 Moleküle Bleisulfat und 2 Moleküle Wasser. Die relativen Gewichte der genannten Moleküle sind bekannt; die Gleichung sagt daher, dass 207 Gewichtsteile Blei, 239 Gewichtsteile Bleisuperoxyd und 196 Gewichtsteile Schwefelsäure 606 Teile Bleisulfat und 36 Teile Wasser bilden.

Nun ist bekannt, dass man unter einem Ampère diejenige Strommenge versteht, welche in einer Sekunde 1,118 Milligramm oder in einer Stunde 4,03 Gramm Silber niederschlägt.

Nach dem oben erwähnten Faraday'schen Gesetz und nach Kenntnis der chemischen Aequivalente kann man nun ohne weiteres berechnen, wie viel Gramm Blei, Bleisuperoxyd und Schwefelsäure in Reaktion treten, wenn der Sammler eine Ampèrestunde abgibt. Es sind dies 3,85 g Blei, 4,46 g Bleisuperoxyd und 3,66 g Schwefelsäure, während 11,3 g Bleisulfat und 0,67 g Wasser entstehen. Tatsächlich verlangt aber der Akkumulator zur Abgabe einer Ampèrestunde *wesentlich grössere* Mengen dieser Substanzen. Das Blei und Bleisuperoxyd sind bekanntlich elektrische Leiter, während das entstehende Bleisulfat ein Nichtleiter ist. Man kann daher die Entladung nicht soweit treiben, bis alle auf der Platte befindliche aktive Substanz in Bleisulfat verwandelt ist, weil schon vorher die Ableitung des Stromes aus der Masse nicht mehr möglich ist. Ebenso ist es erforderlich, weit über die theoretische Menge der Schwefelsäure hinauszugehen, indem auch der Elektrolyt am Ende der Entladung noch eine gewisse Leitfähigkeit besitzen muss, die er nicht haben würde, wenn sein gesamter Schwefelsäuregehalt verbraucht würde.

Die *Entladekurve,* beispielsweise eines Elementes der Type J 2 bei Entladung mit dem dreistündigen Strom, ist in *Fig. 1* dargestellt. Zunächst betrachte man nur die

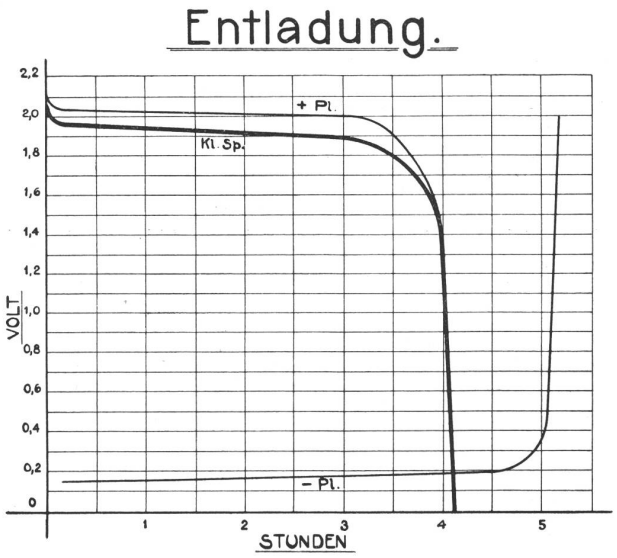

Fig. 1.

mittlere, stark ausgezogene Kurve, welche mit Klemmenspannung bezeichnet ist. Das Element ist mit Säure von 1,20 gefüllt, die Ruhespannung beträgt somit nach der vorerwähnten Handregel 2,05 Volt. Die Kurve zeigt, dass im Moment des Einschaltens die Spannung sofort um etwa 0,05 Volt sinkt, hierauf in wenigen Minuten weiter auf 1,95 Volt und nun stundenlang sehr wenig abnimmt, bis sie etwa nach 3 Stunden schärfer umbiegt und ungefähr nach 4 Stunden plötzlich ganz abfällt. Für diese Form der Kurve hat man nach der allgemeinen elektrotechnischen Denkweise, der das Ohm'sche Gesetz zu Grunde liegt, keine rechte Erklärung. Jeder Elektrotechniker wird auf die Frage, warum die Entladespannung eines Akkumulators tiefer liegt als die Ruhespannung, antworten: « Sehr einfach, weil die Entladespannung um so viel unter der Ruhespannung liegen muss, als der Spannungsverlust infolge des inneren Widerstandes beträgt. » Also wenn e die Ruhespannung ist, w der innere Widerstand und i die Stromstärke, so würde nach seiner Ansicht die Entladespannung sein: $s = e - i \times w$. An und für sich ist dies natürlich richtig, aber tatsächlich liegt die Entladespannung viel tiefer, als sich aus dieser Formel ergeben würde, wenn e konstant bliebe. Nach Messungen ist der innere Widerstand eines Elementes der Type J 2 etwa 0,002 Ohm. Da der

dreistündige Entladestrom dieses Elementes 18 Ampère ist, so würde ein Spannungsverlust von ca. 0,04 Volt beim Anfang der Entladung vorhanden sein. Dies ist tatsächlich auch ungefähr diejenige Strecke, um welche die Spannung unmittelbar beim Einschalten sinkt. Auch die *weitere Zunahme des Widerstandes* des Elementes selbst würde das starke Sinken im Laufe der Entladung nicht erklären können. Es nimmt der Widerstand der Platten infolge der Bildung von Bleisulfat während der Entladung zu, doch beträgt trotzdem der Widerstand des Elementes nach 3 Stunden nur etwa das Doppelte des anfänglichen Spannungs-Verlustes, also etwa 0,08 Volt. Tatsächlich liegt die Kurve wesentlich unter diesem Betrag. Es ist also $i \times w$ nicht allein die Veranlassung für den Abfall der Entladekurve.

Es darf wohl als aus der Praxis bekannt vorausgesetzt werden, dass die durch den Säuremesser gemessene Säuredichte im Laufe der Entladung sinkt und am Schlusse einer dreistündigen Entladung, bei dem üblichen Einbau 2—3 Hundertstel weniger beträgt, als vor der Entladung. Es ist schon vorher erwähnt worden, dass die Ruhespannung des Elementes von der Säuredichte abhängig ist, folglich ist klar, dass in der obigen Gleichung $s = e - i \times w$ am Schluss der Entladung e einen tiefern Wert besitzt als am Anfang der Entladung. Man würde nun nach der obigen Gleichung, wenn man auch den höhern Widerstand am Ende der Entladung berücksichtigt, nunmehr eine Spannung von 1,95 Volt bekommen, die also immer noch höher ist als die Klemmspannung nach vorliegender Kurve. Es muss daher noch ein anderer Vorgang stattfinden, welcher die Entladespannung herabdrückt. Hier ist nun an den vorher erwähnten Versuch mit den Tonzellen zu erinnern, nach welchem das Gesetz aufgestellt wurde, dass die Ruhespannung des Elementes unabhängig von der Hauptmenge des Elektrolyten ist, aber abhängig von der Dichte der Säure, welche die Platten unmittelbar berührt.

Aus der chemischen Entladungsgleichung ersieht man, dass bei Entnahme einer gewissen Strommenge eine genau entsprechende Menge Schwefelsäure gebunden wird, indem sie Bleisulfat bildet. Die Bindung der Schwefelsäure erfolgt nun an den Platten oder, da die aktive Masse der Platten porös ist, innerhalb der Poren der Platten. Infolgedessen wird der Elektrolyt in unmittelbarer Nähe der Platten im Augenblick des Einschaltens des Entladestromes ärmer an Schwefelsäure und es kann bei etwas starken Strömen diese Verarmung ganz bedeutend werden. Durch Messungen konnte festgestellt werden, dass im Anfang der Entladung die Säuredichte aussen 1,20, in den Platten aber weniger als 1,12 beträgt. Man hat nun an der Platte nicht mehr wie vorher eine Säure von 1,20, sondern eine ganz wesentlich verdünntere Säure und die Verarmung nimmt nun immer weiter zu, was sich aus dem weitern Sinken der Kurve innerhalb der ersten Minuten zeigt. Die Bindung der Schwefelsäure geht dann weiter und es würde die Kurve in demselben Sinne weiterfallen, wenn nun nicht ein Vorgang einsetzte, welcher dem ersten entgegenwirkt, nämlich die Zufuhr der Schwefelsäure aus ihrer Hauptmenge zwischen den Platten zu den Platten hin, bezw. in das Innere der Platten. Diese Zufuhr wird durch *Diffusion* und durch *Konzentrationsströme* bewirkt. Die Diffusion ist eine Erscheinung, die immer dann eintritt, wenn zwei Flüssigkeiten verschiedener Konzentration mit einander in Berührung kommen. Die Diffusion d. h. der Ausgleich der ungleich konzentrierten Flüssigkeiten geht sehr langsam vor sich, sie wird aber durch die Konzentrationsströme beschleunigt.

Die Entstehung der Konzentrationsströme kann man sich in analoger Weise vorstellen, wie bei einem galvanischen Element, welches aus zwei Elektroden desselben Materials, z. B. Kupfer, hergestellt ist, dessen Elektroden in ein Gefäss gestellt sind, welches durch ein Diaphragma in zwei Abteilungen geteilt ist, von denen die eine eine konzentriertere Lösung, die andere eine verdünnte Lösung desselben Salzes enthält. Verbindet man die beiden Elektroden, schliesst sie kurz, so gleichen sich diese Spannungen aus, indem sich aus der konzentrierten Lösung Metall auf die eine Elektrode niederschlägt, in der verdünnten Lösung sich das Metall der anderen Elektrode auflöst. Stellt man sich dieses Element in der Weise dar, dass man in einem zylindrischen Gefäss den Boden mit einer Schicht von Kupfersulfat-Krystallen belegt, dann mit verdünnter Schwefelsäure füllt und einen starken Kupferdraht oder -Stab in diese Lösung steckt, so steht, nachdem sich unten das Kupfersulfat gelöst hat, der Stab mit seinem unteren Teil in einer konzentrierten Sulfatlösung, mit dem oberen in einer sehr verdünnten. Der untere und der obere Teil bilden also die beiden Elektroden, die kurz geschlossen sind. Infolgedessen muss sich an dem oberen Teil das Metall auflösen, an dem unteren niederschlagen, was tatsächlich auch der Fall ist, indem schon nach kurzer Zeit der obere Teil des Zylinders eine Blaufärbung zeigt, die eben von der elektrolytischen Auflösung des Kupferstabes zu $Cu\,SO_4$ herrührt. Man könnte nun vermuten, dass es sich hier gar nicht um Konzentrationsströme, sondern nur um eine einfache Auflösung des Drahtes in verdünnter Schwefelsäure handelt. Dies ist aber nicht der Fall, denn ein Versuch, einen Kupferstab nur in verdünnte Schwefelsäure zu stellen, ohne den Boden mit Kupfersulfatkristallen zu belegen, würde zeigen, dass keine Blaufärbung des Elektrolyten eintritt.

Diese beiden Erscheinungen, Diffusion und Konzentrationsströme, bringen nun im Akkumulator, sobald der Elektrolyt an den Platten eine gewisse Verarmung von Schwefelsäure erlitten hat, von neuem Säure an diese Stelle hin und es stellt sich nun ein gewisser Gleichgewichtszustand ein, der in dem fast horizontalen Verlauf der Kurve in den ersten drei Stunden seinen Ausdruck findet.

Die Kurve ist, wie bemerkt, *fast* horizontal, immerhin senkt sie sich schon in den ersten Stunden etwas. Dies ist begreiflich, wenn man sich in Erinnerung ruft, dass das aktive Material der Platten poröse Körper sind. Es wird sich die Reaktion zuerst auf der Oberfläche der Platten abspielen, wo die Zufuhr der Säure noch verhältnismässig leicht und rasch vor sich geht. Sobald diese obersten Schichten nun in Sulfat umgewandelt sind, kommen die darunter liegenden inneren an die Reihe. *Der Verbrauch* an Schwefelsäure *in der Zeiteinheit* ist *derselbe,* wenn mit *konstantem* Strom entladen wird. Die Zufuhr der Säure wird aber in dem Masse erschwert, wie diese in immer tiefere Schichten der Platten eindringen muss, da nun die von ihr zurückzulegenden Wege grösser sind. Ferner werden die *Kanäle* zwischen den einzelnen Masseteilchen, also die *Poren,* im Verlauf der Entladung immer *enger,* da das gebildete Bleisulfat ein grösseres Volumen einnimmt, als das ursprünglich vorhandene metallische Blei oder das Bleisuperoxyd. Aus diesem Grunde ist es erklärlich, dass nun die Säure in unmittelbarer Nähe der Platten immer mehr und mehr verarmt, bis etwa nach vier Stunden die Zufuhr so schwer geworden ist, dass im Innern der Platten praktisch überhaupt keine freie Säure mehr vorhanden ist. Es ist dies der Augenblick, wo die Platte keinen Strom mehr abgeben kann, wo also ihre Spannung auf Null fällt. Sobald bei einer der beiden Plattensorten dieser Moment eintritt, fällt auch die Klemmenspannung des Elementes vollständig ab, selbst wenn die anderen Platten noch in der Lage wären, Strom abzugeben.

Die Vorgänge bei der *Ladung* (Fig. 2) sind im wesentlichen dieselben wie bei der Entladung, natürlich in umgekehrter Richtung. Auch hier gilt die Hauptgleichung, wenn man sie von rechts nach links liest, d. h. durch den Ladestrom wird Bleisulfat auf beiden Platten zersetzt, indem

sich auf der einen Bleisuperoxyd, auf der andern metallisches Blei bildet, unter Freiwerden von Schwefelsäure auf bezw. in beiden Platten. Beim Einschalten des Ladestromes steigt die Klemmenspannung des Elementes, also die stark ausgezogene Kurve um den Betrag momentan an, welche dem Produkt aus Stromstärke und innern Widerstand entspricht, hierauf bildet sich an den Platten durch das Freiwerden von H_2SO_4 eine Schicht stärkerer Säure, wodurch ein weiteres Ansteigen der Kurve bedingt ist, bis sich durch Weiterbilden von Schwefelsäure einerseits, und ihrer Fortführung durch Diffusion und Konzentrationsströme anderseits wieder ein Gleichgewichtszustand einstellt, bei welchem natürlich die Säuredichte wesentlich höher liegt, als während des entsprechenden Zustandes bei der Entladung. Hier steigt die Spannung allmählich an, da der Vorgang der Ladung ebenfalls von aussen nach innen fortschreitet und dadurch der Ausgleich der Säure erschwert wird, also die Platten sich in einer immer stärkeren Säure befinden. Nach etwa 2½ Stunden tritt nun ein neuer Vorgang ein, der sich durch Gasentwicklung bemerkbar macht, und zwar tritt meist die Gasentwicklung zuerst an den

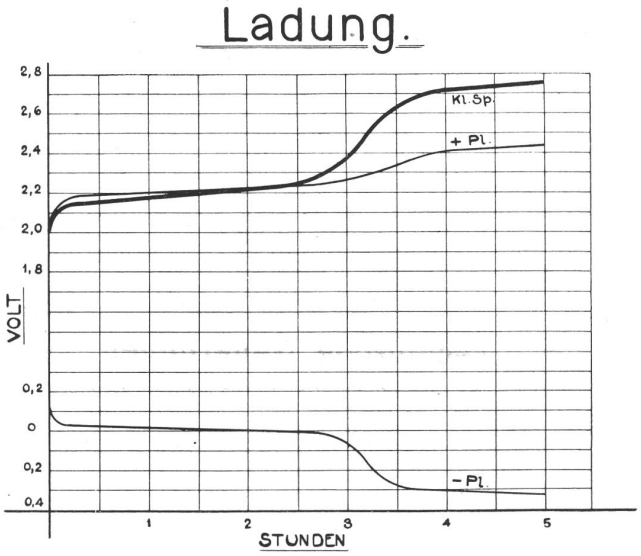

Fig. 2.

positiven und kurz darauf an den negativen Platten auf. Mit der Gasentwicklung ist ein starker Anstieg der Ladekurve verbunden, der im Laufe einer Stunde etwa 3—4 Zehntel Volt beträgt. Die Gasentwicklung erklärt sich dadurch, dass der Ladestrom nicht mehr genügend Bleisulfat zur Zersetzung vorfindet, nachdem die Hauptmenge des bei der vorgängigen Entladung gebildeten Sulfates schon in Pb und PbO_2 verwandelt ist. Es muss sich die Hauptmenge des Stromes eine andere Beschäftigung suchen, nämlich die elektrolytische Zersetzung der verdünnten Schwefelsäure. Die in Erscheinung tretenden Produkte dieser Zersetzung sind Wasserstoff und Sauerstoff, Wasserstoff an den negativen und Sauerstoff an den positiven Platten. Zu dieser Zersetzung ist eine wesentlich höhere Spannung nötig als zur Zersetzung von Bleisulfat, infolge dessen steigt die Klemmenspannung am Ende der Ladung und erreicht ihren Maximalwert etwa bei 2,75 Volt, wenn der ganze Strom zu dieser Zersetzung verwendet wird. Selbstverständlich bedeutet die Gasentwicklung einen Energieverlust, da dieser Strom nicht im Akkumulator aufgespeichert wird, es ist aber aus praktischen Gründen notwendig, wenigstens von Zeit zu Zeit die Ladung der Batterie bis zu der hohen Spannung durchzuführen. Einer der hauptsächlichsten Gründe ist der, alles auf den Platten befindliche Bleisulfat in Bleisuperoxyd bezw. in metallisches Blei überzuführen, bevor das Bleisulfat eine unlösliche Form angenommen hat, in welchem Zustande es für die Wirksamkeit der Platte verloren ist. Der Energieverlust hierbei ist immerhin sehr geringfügig, denn erst 450 ccm Wasserstoffgas in jedem Element entsprechen dem Verluste einer Ampère-Stunde.

In den beiden Kurvenblättern sind ausser der die Klemmenspannung bezeichnenden Kurve auch die Einzelwerte der beiden Plattensorten eingetragen, es sind dies die Spannungen, welche durch Messung der positiven oder der negativen Platten gegen eine konstant bleibende Hülfselektrode, z. B. eine Cadmiumplatte, ermittelt werden.

Aus den Betrachtungen über die Vorgänge beim Entladen eines Akkumulators ergibt sich auch leicht der Einfluss, welchen die Stromstärke auf die Kapazität ausübt (Fig. 3). Es ist wohl allgemein bekannt und lässt sich aus den Preislisten etc. herauslesen, dass mit schwachem Entladestrom dem gleichen Element wesentlich grössere Strommengen (Kapazität) entnommen werden können, als bei Anwendung eines starken Entladestromes. Aus der Kurve (Fig. 3) ist ersichtlich, in welchem Masse beispielsweise eines Elementes Type J_2 die Kapazität von der

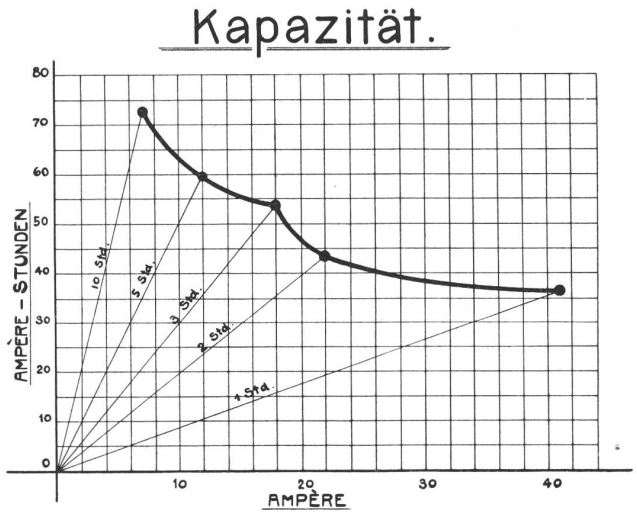

Fig. 3.

Stärke des Entladestromes abhängig ist. Der Grund ist der, dass bei starkem Strom in der Zeiteinheit während der Entladung eine grosse Menge Schwefelsäure verbraucht wird und daher zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes im ersten Teil der Entladung in derselben Zeit eine grosse Menge Säure wieder in die Platten hineingelangen muss. Dagegen ist das Fortschreiten der Entladung in die tieferen Schichten und die Verengung der Kanäle oder Poren nur eine Funktion des bis dahin gebildeten Bleisulfates, also der gesamten, der Platte vorher entnommenen Strommenge. Es ist daher klar, dass der Zeitpunkt, wo nicht mehr genügend Säure in die Platten nachströmen kann, bei einem starken Säurebedarf schon bei einer Verengerung der Kanäle eintritt, welche bei geringem Säurebedarf, also bei schwachen Entladeströmen noch ausreichenden Säurenachschub ermöglichen könnte.

Auch die Form der Pufferkurven (Fig. 4) ergibt sich aus diesen Betrachtungen. Die Pufferkurve setzt sich aus einem vertikalen Teil, welcher dem Produkt aus $2i \times w$ entspricht, wenn mit dem Strom i gepuffert wird und aus einem daran anschliessenden gebogenen Teil zusammen, welcher bei der Ladung infolge zunehmender Konzentration der Säure an den Platten, bei der Entladung infolge zunehmender Verdünnung entsteht. Es sind genau die gleichen Vorgänge, welche in Obigem bereits bei Beschreibung des Beginns der Entladung und der Ladung erklärt wurden.

Erholungserscheinungen des Akkumulators.

Wenn der Akkumulator bei der Entladung auf 1,83 Volt angekommen ist und ausgeschaltet wird, so bemerkt man ein sofortiges Ansteigen der Spannung, dem ein langsames weiteres Ansteigen folgt. Das erste Hochschnellen der Spannung erklärt sich einfach dadurch, dass der durch den innern Widerstand bedingte Spannungsverlust fortfällt. Wäre die Spannung in diesem Moment beispielsweise 1,89 Volt, so würde dies nach den über den Einfluss der Säuredichte auf die Klemmenspannung gegebenen Erklärungen bezw. Formeln besagen, dass die Säuredichte im Innern der Platten zirka 1,04 spez. Gewicht betragen würde. Diese dünne Säure gleicht sich dann allmählich in der Ruhe mit der aussen befindlichen Säure aus und hierdurch steigt dann die Spannung langsam bis auf den dieser Säuredichte entsprechenden Wert an. Wenn der Akkumulator nun wieder auf Entladung geschaltet wird, so kann er von neuem Strom hergeben. Die Säure ist während der Ruhe auch in die innersten Kanäle der aktiven Schicht eingedrungen, wo infolge der ungenügenden Diffusion der Vorrat an H_2SO_4 schon nahezu erschöpft war und es können dort

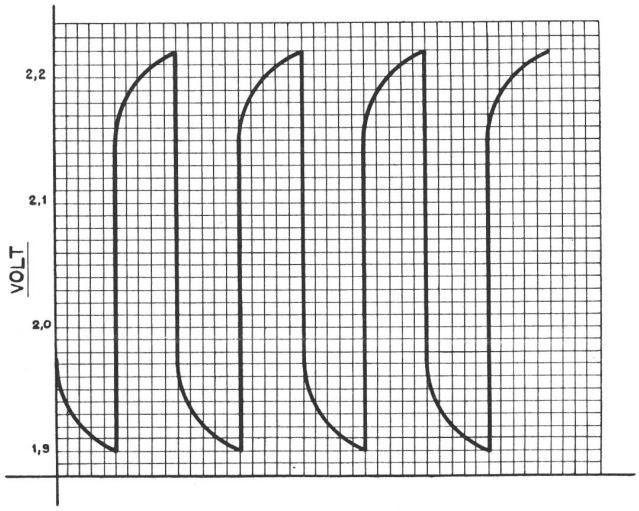

Fig. 4.

neue Teilchen der Masse zur Arbeit herangezogen werden. Nach kurzer Zeit wird aber die Spannung wiederum sinken, und wenn man den Wechsel von kurzer Entladung und Ruhe fortsetzt, kann man noch zirka 20 % der in einem Zuge bei normaler Entladung enthaltenen Kapazität mehr herausnehmen. Dieses Verfahren ist allerdings sehr unbequem, weil man immer nur kleine Mengen entnehmen kann und ausserdem unzulässig, weil dadurch die aktive Masse in höherem Masse ausgenützt wird, als dies bei der Konstruktion des Akkumulators normalerweise vorgesehen war. Eine Verkürzung der Lebensdauer des Akkumumlators würde die notwendige Folge einer solchen Behandlung sein.

Ganz ähnliche Verhältnisse trifft man, wenn der Ladestrom plötzlich unterbrochen wird. Die Säuredichte in den Platten kann bei der Ladung 1,30 und mehr betragen und man erhält demnach beim Ausschalten aus voller Ladung Ruhespannungen von 2,2 Volt und mehr. Je nach der Diffusionsmöglichkeit sinkt dann dieser Betrag mehr oder weniger rasch auf den der äusseren Säuredichte entsprechenden Betrag von zirka 2,05 Volt.

Die Unterbrechung der Ladung hat natürlich keinen nachteiligen Einfluss auf die Lebensdauer der Platten; im Gegenteil wird durch diese sogenannten Ruhepausen-Ladungen erwirkt, dass alles auf der Platte in noch löslichem Zustande befindliche Bleisulfat wieder in aktive Form (Bleisuperoxyd und Bleischwamm) übergeführt wird.

Dichte und Prozentgehalt von Schwefelsäure-Wasser-Gemischen.

Spezif. Gewicht bei $\frac{15^0}{4^0}$ (luftl. Raum)	Grad Beaumé	Gewichtsprozent H_2SO_4	1 L. enthält kg H_2SO_4	Spezif. Gewicht bei $\frac{15^0}{4^0}$ (luftl. Raum)	Grad Beaumé	Gewichtsprozent H_2SO_4	1 L. enthält kg H_2SO_4
1,125	16,0	17,66	0,191	1,240	27,9	32,28	0,400
1,130	16,5	18,31	0,207	1,245	28,4	32,86	0,409
1,135	17,1	18,96	0 215	1,250	28,8	33,43	0,418
1,140	17,7	19,61	0,223	1,255	29,3	34,00	0,426
1,145	18,3	20,26	0,231	1,260	29,7	34,57	0,435
1,150	18,8	20,91	0,239	1,265	30,2	35,14	0,444
1,155	19,3	21,55	0,248	1,270	30,6	35,71	0,454
1,160	19,8	22,19	0,257	1,275	31,1	36,29	0,462
1,165	20,3	22,83	0,266	1,280	31,5	36,87	0,472
1,170	20,9	23,47	0,275	1,285	32,0	37,45	0,481
1,175	21,4	24,12	0,283	1,290	32,4	38,03	0,490
1,180	22,0	24,76	0,292	1,295	32,8	38,61	0,500
1,185	22,5	25,40	0,301	1,300	33,3	39,19	0,510
1,190	23,0	26,04	0,310	1,305	33,7	39,77	0,519
1,195	23,5	26,68	0,319	1,310	34,2	40,35	0,529
1,200	24,0	27,32	0,328	1,315	34,6	40,93	0,538
1,205	24,5	27,95	0,337	1,320	35,0	41,50	0,548
1,210	25,0	28,58	0,346	1,325	35,4	42,08	0,557
1,215	25,5	29,21	0,355	1,330	35,8	42,66	0,567
1,220	26,0	29,84	0,364	1,335	36,2	43,20	0,577
1,225	26,4	30,48	0,373	1,340	36,6	43,74	0,586
1,230	26,9	31,11	0,382	1,345	37,0	44,28	0,596
1,235	27,4	31,70	0,391	1,350	37,4	44,82	0,605

Technische Neuerungen

Das kleinste Telephon der Welt.

Wer hätte es nicht schon unangenehm empfunden, dass man beim Telephonieren die Hände nicht frei hat. Der über den Kopf gelegte Hörer eignet sich aus mancherlei Gründen nicht für den Gebrauch durch die Allgemeinheit. Von diesen Erwägungen ausgehend, hat nunmehr die Firma Siemens & Halske ein Telephon von geradezu staunenswerter Kleinheit konstruiert, das die Frage des *händefreien Telephonierens* in glänzendster Weise löst. Es handelt sich dabei um ein Apparätchen von so geringen Abmessungen, dass man es für ein Puppenspielzeug halten könnte. Der ganze Apparat ist nicht dicker als ein dünner Bleistift und noch nicht ein Zentimeter lang. Er wird beim Telephonieren einfach ins Ohr gesteckt. Damit er hier unter keinen Umständen herausfallen kann, ist er durch einen kleinen Metallträger, durch den auch die Leitungsschnur hindurchführt, auf das sorgfältigste ausbalanciert. So sitzt er durchaus fest. Auch bei Bewegungen und Neigen des Kopfes ändert er seine Lage nicht. Er ragt so weit in den Gehörgang hinein, dass die Schallschwingungen kurz vor dem Trommelfell entstehen, sodass die Sprache ganz besonders klar und deutlich vernommen wird. War schon das Ausbalancieren ein bewunderungswürdiges Mechanikerkunststück, so muss die elektrische Einrichtung noch mehr Erstaunen erregen. (« National-Zeitung ».)

Anmerkung der Red. Wir sind in der Lage, dieses kleine Telephon im Bilde vorzuführen, in Gesellschaft mit seinem Gefährten, dem Brustmikrophon. Das Telephon — wir wollen es « Miniatur-Telephon » nennen — ist prinzipiell von gleicher Bauart wie das gewöhnliche Hörtelephon. Es enthält einen zweipoligen Magneten mit zwei Spülchen und eine Membrane. Diese ist jedoch aus Glimmer und trägt