

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 62 (1984)

Heft: 11

Artikel: Dauerverhalten von stationären Bleiakumulatoren unter Konstantspannung = Comportement à long terme d'accumulateurs au plomb stationnaires sous tension constante

Autor: Gerber, Theodor

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875806>

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: 30.04.2026

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

Dauerverhalten von stationären Bleiakкумуляtoren unter Konstanzspannung

Comportement à long terme d'accumulateurs au plomb stationnaires sous tension constante

Theodor GERBER, Ittigen

Zusammenfassung. Die vorliegende Arbeit vermittelt Resultate aus vergleichenden Untersuchungen an Röhrenplatten- und Grosseoberflächen-Akkumulatoren. Behandelt werden Kapazitätsverhalten, Stromkonsum und Wasserverbrauch bei unterschiedlichen Konstanzspannungen. Ferner kommen Auswirkungen verschiedener Bleilegierungen, Säuredichten und chlorabspaltender Kunststoffe zur Sprache. Den Zellenspannungsunterschieden und -veränderungen wird besondere Beachtung geschenkt.

Résumé. Le présent travail donne des résultats d'essais comparatifs concernant des accumulateurs à plaques tubulaires et des accumulateurs possédant des plaques à grande surface. On traite le comportement de la capacité, la consommation de courant ainsi que la consommation d'eau sous différentes tensions constantes. On examine en outre les effets de différents alliages de plomb, de différentes densités d'acide et de matières synthétiques libérant du chlore. On voue une attention particulière aux variations des tensions des éléments et aux différences entre ces tensions.

Comportamento nel tempo di accumulatori al piombo fissi, a tensione costante

Riassunto. Il presente lavoro fornisce i risultati di ricerche comparative su accumulatori a elettrodi tubolari e accumulatori con piastre di grande superficie. A tensioni costanti diverse, si esaminano il comportamento della capacità, il consumo di corrente e il consumo di acqua. Inoltre, si descrivono gli effetti conseguenti al variare delle leghe di piombo, della densità di acidità e delle materie sintetiche che producono cloro. In particolare, si presta attenzione alle differenze e ai cambiamenti di tensione degli elementi.

1 Einleitung

Die Schweizerischen PTT-Betriebe setzen für die Fernmeldestromversorgung ausschliesslich *Röhrenplatten*-Akkumulatoren ein. Die Hauptabteilung Forschung und Entwicklung der Generaldirektion PTT befasste sich von Anfang an mit diesem die Grosseoberflächen- oder Planté-Akkumulatoren verdrängenden Typ. Im Vordergrund des Interesses standen vorerst die Lebensdauer und die optimale Schwebeladungsspannung. In einer 1967/68 erschienenen Publikation finden sich erste Ergebnisse, die an Röhrenbatterien unter verschiedenen Spannungsbedingungen ermittelt wurden [1]. Später konnten weitere, ausführliche Resultate bekanntgegeben werden [2]. Die damals gewonnenen Erkenntnisse besitzen noch heute ihre Gültigkeit. Unter anderem ist die normierte Betriebsspannung von 2,23 V je Zelle allgemein anerkannt und eingeführt [3]. Weitere Erkenntnisse betrafen die Einflüsse des Antimonanteils in den positiven Gittern und des Perchlorsäure-Gehalts im Elektrolyten auf Lebensdauer, Kapazität, Strom- und Wasserkonsum.

Mit der vorliegenden Veröffentlichung werden Ergebnisse mitgeteilt, die an stationären Röhrenplatten-Akkumulatoren neuerer Technologie sowie an Grosseoberflächen- und Spezialakkumulatoren gewonnen wurden. Diese Versuchserie läuft seit acht Jahren und wird weitergeführt.

2 Versuchsumfang und Versuchsobjekte

Der Versuch umfasst rund 100 Akkumulatoren-Batterien. Gut die Hälfte besteht aus sechszelligen Batterien mit Nennkapazitäten zwischen 48 und 60 Ah. Die übrigen Versuchsobjekte sind Batterien mit je 3 in Reihe geschalteten Einzelzellen, deren Kapazitäten in der Regel

1 Introduction

L'Entreprise des PTT suisses utilise exclusivement des accumulateurs à plaques tubulaires pour l'alimentation des installations des télécommunications. La Division principale des Recherches et du Développement de la Direction générale des PTT s'est occupée dès le début de ce type d'accumulateurs, remplaçant celui possédant des plaques à grande surface ou type Planté. L'intérêt portait en premier lieu sur la durée de vie et la tension de charge flottante optimale. Dans une publication parue en 1967/68 se trouvent des premiers résultats obtenus lors d'essais sur des batteries à plaques tubulaires sous diverses tensions [1]. Par la suite, d'autres résultats plus détaillés ont été publiés [2]. Les conclusions tirées alors sont encore valables aujourd'hui. Entre autres, la valeur normée de la tension d'exploitation de 2,23 V par élément a été reconnue et introduite d'une manière générale [3]. D'autres résultats concernaient l'influence de l'adjonction d'antimoine dans les grilles positives et de la concentration d'acide perchlorique dans l'électrolyte sur la durée de vie, la capacité, la consommation de courant et d'eau.

Dans la présente publication, on donne des résultats obtenus lors d'essais portant sur des accumulateurs à plaques à grande surface et sur des accumulateurs spéciaux. Cette série d'essais, qui a commencé il y a huit ans, est poursuivie.

2 Ampleur de l'essai et accumulateurs à l'essai

L'essai comprend en gros 100 batteries d'accumulateurs. La bonne moitié consiste en batteries à 6 éléments, dont la capacité nominale est comprise entre 48 et 60 Ah. Les batteries restantes sont constituées chacune de trois éléments en série avec, en règle générale, une capacité de 210 Ah ou exceptionnellement de

210, ausnahmsweise 420 Ah betragen. Entsprechend dem Aufbau und den Bleilegierungen können folgende vier Grundtypen, die in *Tabelle I* kurz charakterisiert sind, unterschieden werden:

Tabelle I. Im Versuch stehende Akkumulatorentypen

Benennung	Kurzbeschreibung
a) Antimonhaltige Röhrenplatten-Akkumulatoren	Röhrenplatten-(Panzerplatten-)Akkumulatoren mit antimonhaltigen positiven Bleigittern (3,5...10 % Sb)
b) Antimonfreie Röhrenplatten-Akkumulatoren: Typ ASTAG	Röhrenplatten-Akkumulatoren, deren positive und negative Plattengitter aus einer Bleilegierung bestehen, die Arsen (As), Tellur (T für Te) und Silber (Ag) enthält
c) Reinblei-Planté-Akkumulatoren	Grossoberflächen-Akkumulatoren mit Reinblei-Plattengittern
d) Blei/Calcium-Planté-Akkumulatoren	Grossoberflächen-Akkumulatoren, deren positive und negative Plattengitter aus calciumhaltigen Bleilegierungen bestehen

- a) *Antimonhaltige Röhrenplatten-Akkumulatoren.* Dieser Typ ist am stärksten vertreten, und zwar handelt es sich um listenmässige Akkumulatoren schweizerischer Provenienz. Ihre positiven Platten sind aus Einzelröhren oder Gewebetaschen aufgebaut. Die positiven Bleigitter enthalten je nach Fabrikat und Ausführung 3,5...10 % Antimon. Einige dieser Röhrenplatten-Akkumulatoren weisen besondere Merkmale auf: höhere Säuredichte ($\rho = 1,28$ und $\rho = 1,32$ g/cm³ statt des üblichen Wertes von $\rho = 1,24$ g/cm³) oder engeren Platteneinbau oder nicht runden Röhrenquerschnitt. Damit werden entweder grössere Kapazitäten oder höhere Entladeströme bei gleichen äusseren Abmessungen erreicht. Derartige Ausführungen werden als *Kompakt-* oder *Hochstromtypen* bezeichnet. Ergänzend sei vermerkt, dass in Deutschland für Röhrenplatten-Akkumulator die Bezeichnung *Panzerplatten-Akkumulator* gebräuchlich ist.
- b) *Antimonfreie Röhrenplatten-Akkumulatoren.* Die positiven und negativen Gitter dieser zu Vergleichszwecken beigezogenen Akkumulatoren bestehen aus der Speziallegierung ASTAG. Die Legierungsbestandteile, die ihr den Namen geben, sind: Arsen (As), Tellur (T für Te), Silber (Ag). Diese Art wird im folgenden als *ASTAG-Typ* bezeichnet.
- c) *Reinblei-Planté-Akkumulatoren.* Dieser auch unter der Bezeichnung *Grossoberflächen-Akkumulator* bekannte Typ wurde interessehalber mit einigen Exemplaren in den Versuch einbezogen. Die positiven Plattengitter bestehen aus antimonfreiem Blei (für die negativen Platten gilt dies nicht).
- d) *Blei/Calcium-Planté-Akkumulatoren.* Sie unterscheiden sich vom Reinblei-Typ durch die calciumhaltige Bleilegierung beider Plattengitter. In gewissem Sinn sind sie das Analogon zu den ASTAG-Akkumulatoren.

3 Versuchsbedingungen

Es findet ein ausschliesslicher Konstantspannungsbetrieb statt. Um den Einfluss unterschiedlicher Spannungen zu ermitteln, sind vier Spannungsstufen vorhanden. Ihr Bereich umfasste anfänglich 2,15...2,30 V. Es zeigte

420 Ah. Selon la construction et l'alliage de plomb, on peut distinguer les quatre types fondamentaux suivants, dont les caractéristiques essentielles sont résumées au *tableau I*:

Tableau I. Types d'accumulateurs ayant fait l'objet des essais

Dénomination	Description brève
a) Accumulateurs avec plaques tubulaires contenant de l'antimoine	Accumulateurs à plaques tubulaires positives au plomb contenant de l'antimoine (3,5...10 % Sb)
b) Accumulateurs avec plaques tubulaires ne contenant pas d'antimoine, Type ASTAG	Accumulateurs à plaques tubulaires, dont les grilles positives et négatives sont en alliage de plomb contenant de l'arsenic (As), du Tellure (T pour Te) et de l'Argent (Ag)
c) Accumulateurs Planté au plomb pur	Accumulateurs à plaques de grande surface, dont les grilles sont en plomb pur
d) Accumulateurs Planté à plaques en alliage Plomb/Calcium	Accumulateurs à plaques de grande surface, dont les grilles positives et négatives sont constituées en un alliage de plomb et de calcium

- a) *Accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine.* La plupart des accumulateurs sont de ce type. Il s'agit, en fait, d'accumulateurs usuels de provenance suisse. Leurs plaques positives sont constituées, soit de tubes isolés, soit de pochettes textiles. Les grilles positives contiennent entre 3,5 et 10 % d'antimoine, concentration variant selon le fabricant et l'exécution. Quelques-uns de ces accumulateurs présentent des particularités: densité d'acide augmentée (de la valeur usuelle de $\rho = 1,24$ g/cm³ à $\rho = 1,28$ g/cm³ et $\rho = 1,32$ g/cm³), plaques plus serrées ou encore section non circulaire des tubes. Il en résulte, soit des capacités plus élevées, soit des courants de décharge augmentés pour des dimensions des bacs identiques. De tels accumulateurs sont désignés par l'expression type compact ou type à *courant élevé*. Ajoutons qu'en Allemagne on désigne les accumulateurs à plaques tubulaires plus volontiers par *accumulateurs à plaques blindées*.
- b) *Accumulateurs à plaques tubulaires exempts d'antimoine.* Ces accumulateurs ont été choisis afin qu'il soit possible de faire des comparaisons, leurs grilles sont réalisées en alliage spécial ASTAG. Les composants, à partir desquels ce nom a été formé, sont l'arsenic (As), le tellure (T pour Te) et l'argent (Ag). Dans la suite, ces accumulateurs seront désignés par: type ASTAG.
- c) *Accumulateurs Planté au plomb pur.* Quelques exemplaires de ce type, également appelés accumulateurs à plaques à grande surface, ont été inclus à l'essai afin qu'il soit également possible d'en connaître le comportement. Les grilles positives sont faites de plomb sans antimoine (ce qui n'est pas le cas pour les grilles négatives).
- d) *Accumulateurs Planté au plomb/calcium.* Ceux-ci se distinguent du type au plomb pur par l'adjonction de calcium au plomb des deux grilles. Ils sont en quelque sorte l'analogie du type ASTAG.

sich jedoch, dass 2,15 V eine zu tiefe Spannung ist, weshalb die untere Grenze nach etwa einem Jahr auf 2,18 V je Zelle angehoben wurde. Die definitive Spannungsreihe lautet: 2,18, 2,20, 2,25 und 2,30 V.

Im Interesse eines möglichst ungestörten Schwebeladungsbetriebes wird jährlich nur eine Kapazitätsprobe mit $I \cong C/10$ durchgeführt. Mit diesem Strom erfolgt auch die Wiederaufladung. Die Raumtemperatur wird weitgehend auf 20 °C gehalten. Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt durchschnittlich 50 %.

4 Datenerfassung und Auswertung

Wegen des Versuchsumfanges und der Versuchsdauer findet eine automatische Datenerfassung mit nachfolgender Computerauswertung statt. Von jeder Batterie werden täglich Strom, Gesamtspannung und Einzelzellenspannungen gemessen. Man erhält somit auch Daten, die gestatten, das Langzeitverhalten von Zellenspannungsänderungen und -unterschieden zu beurteilen. Manuell erfasst werden zudem Kapazität, Wasserbedarf, Säuredichte und Perchlorsäuregehalt sowie mögliche Ausfälle von Zellen. Alle diese Daten werden zu Monats- und Jahresmittelwerten verarbeitet.

5 Vorbemerkungen zu den Ergebnissen

Um zahlenmässige Ergebnisse von Akkumulatoren verschiedener Grösse und Zellenzahl miteinander vergleichen zu können, werden sie zweckmässigerweise relativiert. Aus den folgenden Definitionen geht hervor, für welche Daten dies zutrifft.

Kapazität in %:

$$C = \frac{C_{\text{eff}}}{C_0} \cdot 100$$

Strom in mA/Ah:

$$I = \frac{I_{\text{eff}}}{C_0}$$

Wasserbedarf in cm³/Ah je Zelle und Jahr:

$$Q = \frac{Q_{\text{Jahr}}}{C_0 \cdot n}$$

Dabei ist:

C_{eff} = effektive Kapazität in Ah

C_0 = Anfangskapazität (bei Versuchsbeginn) in Ah

I_{eff} = effektiv gemessener Strom in mA

Q_{Jahr} = Wasserbedarf in cm³ pro Jahr und pro Akkumulator

n = Zellenzahl des Akkumulators

Die Säuredichte ρ wird in g/cm³, der Perchlorsäuregehalt in mg HClO₄ pro Liter Elektrolyt angegeben.

Offensichtlich liefert ein mehrjähriger Versuch mit einer so grossen Zahl von Versuchsobjekten eine ansehnliche Menge von Daten. Ihre vollständige Wiedergabe ist aus

3 Conditions d'essai

Les accumulateurs sont exclusivement chargés sous tension constante. On a choisi quatre valeurs de celle-ci afin d'en déterminer l'influence. Au début le domaine couvert était de 2,15...2,30 V. Il s'est cependant avéré que la valeur de 2,15 V est trop faible, c'est pourquoi, au bout d'un an d'essai, la limite inférieure a été portée à 2,18 V par élément. Les quatre valeurs définitives sont: 2,18, 2,20, 2,25 et 2,30 V.

Afin qu'un régime de charge flottante aussi peu perturbé que possible soit obtenu, on n'effectue annuellement qu'une mesure de la capacité à $I \cong C/10$ h. C'est avec le même courant qu'est faite la recharge. La température est maintenue à 20° C. L'humidité relative vaut en moyenne 50 %.

4 Acquisition et traitement des données

En raison de l'ampleur et de la durée de l'essai, les données sont acquises automatiquement et traitées sur ordinateur. On mesure journalièrement le courant, la tension totale et la tension de chaque élément pour chaque batterie. On obtient ainsi des données qui permettent d'analyser le comportement à long terme des variations des tensions individuelles des éléments ainsi que leurs différences. On enregistre en outre manuellement la capacité, la consommation d'eau, la densité de l'électrolyte et sa concentration en acide perchlorique, ainsi que des défaillances possibles d'éléments. Ces données sont concentrées en moyennes mensuelles et annuelles.

5 Remarques préliminaires concernant les résultats

Afin qu'il soit possible de comparer entre eux des résultats chiffrés d'accumulateurs de grandeurs et de nombres d'éléments différents il est utile de les rapporter à la même unité. Les définitions suivantes montrent pour quelles données cela a été fait.

Capacité en %:

$$C = \frac{C_{\text{eff}}}{C_0} \cdot 100$$

Courant en mA/Ah:

$$I = \frac{I_{\text{eff}}}{C_0}$$

Consommation d'eau en cm³/Ah par élément et année:

$$Q = \frac{Q_{\text{an}}}{C_0 \cdot n}$$

Où:

C_{eff} = capacité effective en Ah

C_0 = capacité initiale (lors du début de l'essai) en Ah

I_{eff} = courant effectif mesuré en mA

Q_{an} = consommation d'eau en cm³ par an et par accumulateur

n = nombre d'éléments de l'accumulateur

La densité de l'électrolyte ρ est indiquée en g/cm³, la concentration de l'acide perchlorique en mg HClO₄ par litre d'électrolyte.

Platzgründen nicht möglich. Die Resultate werden deshalb fast durchwegs in Form von Graphiken, wenn möglich als Streubänder dargestellt. Dieses Vorgehen bietet nebst guter Anschaulichkeit den Vorteil, dass Resultate vergleichbarer Akkumulatortypen zusammengefasst werden können.

6 Ergebnisse der Kapazitätsproben

61 Kapazitätsverhalten von antimonhaltigen Röhrenplatten-Akkumulatoren

Nach 8 Jahren Betriebsdauer treten bei listenmässigen Akkumulatoren, die gemäss dem technologischen Stand der siebziger Jahre hergestellt worden sind, keine Ausfälle und auch keine wesentlichen Kapazitätseinbussen auf. Der Kapazitätsverlauf wird aber durch die Höhe der Konstantspannung beeinflusst. Folgende Beobachtungen sind erwähnenswert:

Bei Spannungen von 2,20...2,25 V je Zelle steigt die Kapazität normalerweise in den ersten Jahren etwas an. Dies ist auf vollständige Durchformierung und, wenn dieser Anstieg über mehrere Jahre anhält, auf den Kapazitätsbeitrag korrodierender Bleiseelen der positiven Platten zurückzuführen. Im allgemeinen sind während der bisherigen Versuchsdauer und bei 2,20...2,25 V Kapazitätsänderungen in der Grössenordnung von $\pm 5\%$ des Anfangswertes eingetreten. Unterhalb 2,20 V ist fast immer ein langsamer Kapazitätsverlust feststellbar, der nach 8 Jahren im Mittel etwa 20 % beträgt. Bei der zu hohen Spannung von 2,30 V bleibt die Kapazität während den ersten 4...6 Jahren annähernd konstant; später treten jedoch Kapazitätseinbussen oder sogar Ausfälle auf.

62 Kapazitätsverhalten von Planté-Akkumulatoren

Im Gegensatz zu den Röhrenplatten-Akkumulatoren fällt die Kapazität der Planté-Akkumulatoren bei 2,20...2,25 V je Zelle im allgemeinen mit der Zeit langsam ab. Nach 8 Jahren sind je nach Fabrikat Verluste von 5...15 %, in Extremfällen bis zu 40 % feststellbar. Bei 2,18 V kann die Abnahme ebenfalls bis zu 40 % betragen.

63 Kapazitätsverhalten von Röhrenplatten-Akkumulatoren in Spezialausführung

Interessant ist, dass höhergezüchtete Akkumulatoren eine kleinere Lebenserwartung aufweisen als Normaltypen. In *Figur 1* ist der Kapazitätsverlauf von Normal- und sogenannten Hochstrom- und Kompaktakkumulatoren dargestellt, gültig für eine Zellenspannung von 2,25 V. Nach 6 Jahren ist die mittlere Kapazität auf 50 % gesunken, während sie bei den Normaltypen noch mehr als 100 % beträgt.

«Höherzüchtung» durch höhere Säuredichte verkürzt die Lebensdauer ebenfalls, wenn die Spannung nicht angepasst, das heisst nicht erhöht wird. *Figur 2* zeigt den Kapazitätsverlauf bei 2,25 V von drei bis auf die Säuredichte identischen 60-Ah-Röhrenplattenbatterien

Il est clair qu'un essai de plusieurs années portant sur un si grand nombre d'objets produit une quantité considérable de résultats. Par manque de place, il n'est pas possible de tous les reproduire. C'est pourquoi ils sont presque tous donnés sous forme graphique, représentés si possible par des domaines de variation. En plus d'une bonne visualisation, cela présente l'avantage de pouvoir condenser les résultats de types d'accumulateurs comparables.

6 Résultats des mesures de la capacité

61 Comportement d'accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine

Les accumulateurs usuels, construits selon la technologie des années de 1970 ne présentent, après 8 ans d'essais, ni défaillance ni perte de capacité importante. L'allure de la capacité en fonction du temps est cependant influencée par la tension de charge flottante. Les constatations suivantes sont à signaler:

Pour des tensions de 2,20...2,25 V par élément, la capacité augmente normalement un peu lors des premières années. Ceci est dû à une formation complète et, lorsque l'augmentation s'étend sur plusieurs années, à une contribution de la corrosion des tiges de plomb des plaques positives. D'une manière générale, les variations de la capacité observées jusqu'à présent et pour 2,20...2,25 V sont de l'ordre de $\pm 5\%$ de la valeur initiale. En dessous de 2,20 V, on constate presque toujours un lent recul de la capacité, qui après 8 ans vaut en moyenne 20 %. Pour la tension de 2,30 V, qui est trop élevée, la capacité reste à peu près constante lors des 4...6 premières années, par la suite on constate des pertes de capacité ou même des défaillances.

62 Comportement d'accumulateurs Planté

Contrairement aux accumulateurs à plaques tubulaires, la capacité des accumulateurs Planté diminue en général lentement pour 2,20...2,25 V par élément. Après

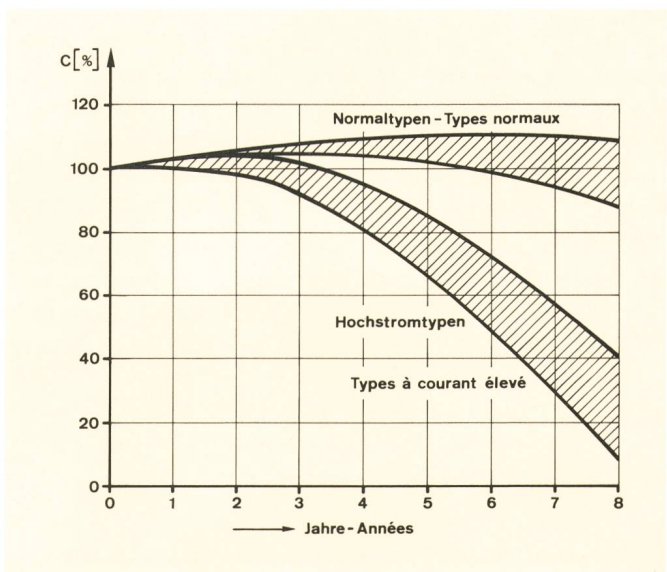


Fig. 1 Kapazitätsverlauf von Normal- und Hochstrom-Röhrenplatten-Akkumulatoren, gültig für 2,25 V/Zelle – Comportement de la capacité d'accumulateurs à plaques tubulaires normaux et à courant élevé, pour 2,25 V/élément

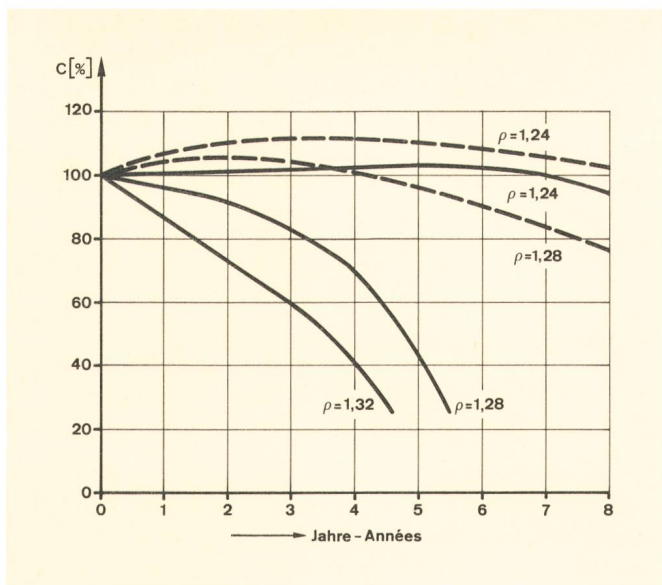


Fig. 2 Säuredichteeinfluss auf Kapazität und Lebensdauer, gültig für 2,25 V/Zelle – Influence de la densité de l'électrolyte sur la capacité et la durée de vie, pour 2,25 V/élément

— antimonhaltige Röhrenplatten-Akkumulatoren – Accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine
 - - - Typ ASTAG (antimonfrei) – Type ASTAG (sans antimoine)

(ausgezogene Kurven). Bei der Dichte $\rho = 1,28 \text{ g/cm}^3$ fällt die Kapazität nach $4\frac{1}{2}$ Jahren, bei $\rho = 1,32$ bereits nach $3\frac{1}{2}$ Jahren auf die halbe Anfangskapazität zurück. Bei der Normalsäuredichte $\rho = 1,24$ verbleibt die Kapazität im Bereich $C_0 \pm 5\%$. Bei antimonfreien Typen macht sich der ungünstige Einfluss erhöhter Säuredichte bei nicht angepasster Spannung ebenfalls bemerkbar, wie aus der Figur 2 am Beispiel des ASTAG-Typs bei $\rho = 1,24$ und $\rho = 1,28$ ersichtlich ist (gestrichelte Kurven).

7 Ergebnisse der Strommessungen

71 Stromkonsum von antimonhaltigen Röhrenplatten-Akkumulatoren

Der sich bei Konstanzspannung einstellende Strom ist wie der Kapazitätsverlauf ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des Batteriezustandes. Mit zunehmendem Batteriealter nimmt der Strom im allgemeinen zu. Ursache können elektrische Nebenschlüsse innerhalb der Plattenpakete sein. Bei Akkumulatoren mit antimonhaltigen Gittern ist jedoch die Antimonvergiftung verantwortlich (Abschnitt 73).

Figur 3 veranschaulicht die Strombereiche für verschiedene Konstanzspannungen, gültig für Röhrenplatten-Akkumulatoren mit Antimongehalten von 6...10%. Bei Spannungsstufen von je 50 mV schließen sich die Streubänder praktisch lückenlos einander an. Mit zunehmender Spannung erhöhen sich die Ströme nahezu exponentiell.

72 Stromkonsum von Planté-Akkumulatoren

Bei diesen Typen mit antimonfreien positiven Gittern besteht nur eine geringe alterungsbedingte Stromzunahme, wie die Streubänder der Figur 4 zeigen. Diese geringe Zunahme dürfte teils auf die bereits erwähnten

8 ans, on constate des pertes de 5...15 % suivant la provenance, dans des cas extrêmes jusqu'à 40 %. Pour 2,18 V, la perte peut également être de 40 %.

63 Comportement d'accumulateurs à plaques tubulaires en exécution spéciale

Il est intéressant de constater que les accumulateurs à performances accrues présentent une espérance de vie plus faible que les types normaux. La figure 1 montre l'allure de la capacité de types normaux et de types dits à courant élevé et compacts, pour une tension de 2,25 V. Après 6 ans, la capacité moyenne tombe à 50 % alors que pour les types normaux elle est encore supérieure à 100 %.

L'accroissement des performances par augmentation de la densité d'acide raccourcit également la durée de vie si la tension n'est pas adaptée, c'est-à-dire augmentée. La figure 2 montre la capacité de 3 accumulateurs à plaques tubulaires de 60 Ah ne différant que par la densité de l'acide pour 2,25 V (courbe continue). Pour une densité de $\rho = 1,28 \text{ g/cm}^3$, la capacité tombe à la moitié de sa valeur initiale après $4\frac{1}{2}$ ans, pour $\rho = 1,32 \text{ g/cm}^3$ après $3\frac{1}{2}$ ans déjà. Pour la valeur normale de $\rho = 1,24 \text{ g/cm}^3$ elle se maintient dans le domaine de $C_0 \pm 5\%$. Comme il ressort de la figure 2 montrant l'exemple du type ASTAG pour $\rho = 1,24 \text{ g/cm}^3$ et $\rho = 1,28 \text{ g/cm}^3$ (courbe pointillée), l'influence néfaste d'une augmentation de la densité est également sensible pour les types sans antimoine.

7 Résultats de la mesure des courants

71 Consommation de courant d'accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine

Pour juger de l'état d'une batterie, le courant s'établissant sous une tension constante est un critère important

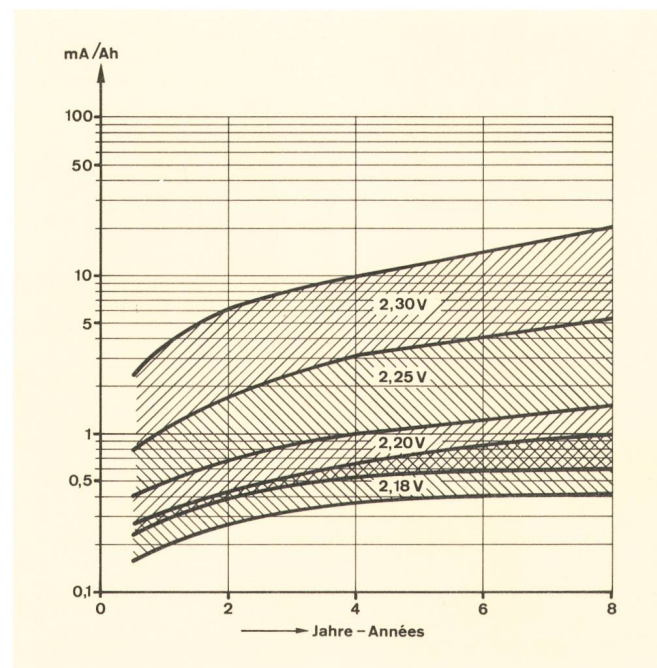


Fig. 3 Schwebeladungsströme von antimonhaltigen Röhrenplatten-Akkumulatoren – Courants de charge flottante pour des accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine

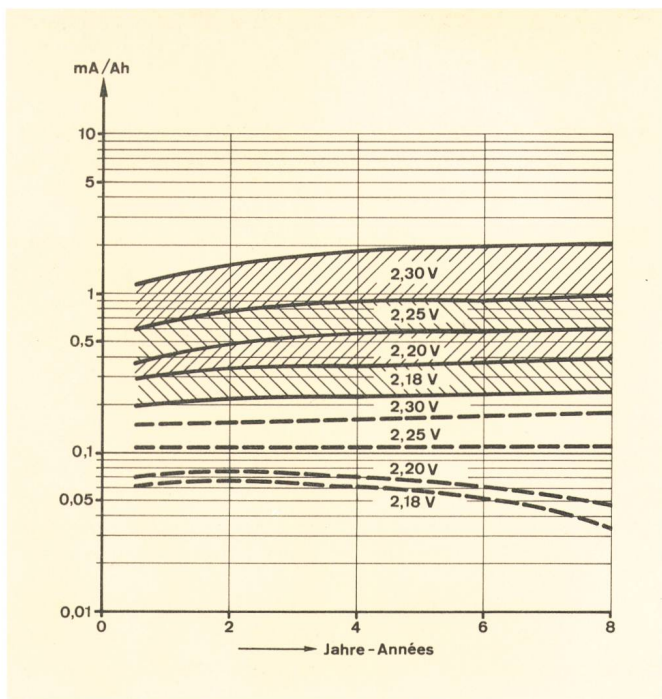




Fig. 4
Schwebeladungsströme von antimonfreien Planté-Akkumulatoren – Courants de charge flottante pour des accumulateurs Planté exempts d'antimoine

 Reinblei-Planté-Akkumulatoren – Accumulateurs Planté au plomb pur
 Blei/Calcium-Planté-Akkumulatoren – Accumulateurs Planté au plomb/calcium

Nebenschlüsse, teils auf antimonhaltige negative Gitter zurückzuführen sein. Im Vergleich zu den antimonhaltigen Röhrenplatten-Akkumulatoren ist bei 2,20 V der Strom im Mittel etwa 2mal, bei 2,25 V etwa 3mal kleiner. Planté-Akkumulatoren mit Blei/Calcium-Legierungen konsumieren nochmals kleinere Ströme (gestrichelte Kurven in Fig. 4). Bei richtig gewählter Spannung findet kein Stromanstieg statt; Konstantspannungen von 2,20 V und tiefer sind auch hier eindeutig zu klein.

73 Stromkonsum von Röhrenplatten-Akkumulatoren mit unterschiedlichem Antimongehalt

Das Phänomen «Antimonvergiftung» wird durch die Ablagerung von Antimon (Sb) auf den negativen Platten verursacht [4]. Dieses Antimon stammt vor allem aus antimonlegierten positiven Bleigittern und aus antimonhaltigen Polzapfen und Plattenbrücken. Falls jedoch auch die Gitter der negativen Platten antimonhaltig sind, so gelangt mit zeitlicher Verzögerung von dort her ebenfalls Antimon auf die Oberfläche dieser Platten. Es vermindert das elektrochemische Potential der negativen Platten, wodurch trotz konstant gehaltener Zellenspannung der Strom ansteigt.

In Fig. 5 ist der Einfluss des Antimongehalts veranschaulicht. Die Kurven stellen Durchschnittswerte dar, gültig für 2,20 V je Zelle und für die angegebenen Antimongehalte der positiven Gitter. Die 10-%-Kurve stammt aus einer früheren Untersuchung [2]; die 0-%-Kurve gilt für den antimonfreien ASTAG-Typ. Man erkennt, dass sich der Strom nach 8 Jahren nahezu proportional zum Antimongehalt verhält. Einschränkung ist

au même titre que le comportement de la capacité. En général, le courant augmente avec l'âge de la batterie. Des courts-circuits électriques entre plaques peuvent en être la cause. Pour les accumulateurs à grilles contenant de l'antimoine, c'est la dégradation par l'antimoine qui en est responsable (paragraphe 73).

La figure 3 montre la plage couverte par les courants pour différentes tensions et des accumulateurs à plaques tubulaires contenant 6...10 % d'antimoine. Avec les sauts de tension de 50 mV, les plages se touchent mutuellement sans pratiquement laisser de lacune. Le courant augmente quasi exponentiellement en fonction de la tension.

72 Consommation de courant d'accumulateurs Planté

Comme le montrent les domaines de variation de la figure 4, ce type d'accumulateurs à grilles positives sans antimoine ne présente qu'une faible augmentation de courant avec l'âge. Celle-ci peut être en partie attribuée aux courts-circuits mentionnés, en partie à l'antimoine contenu dans les grilles négatives. Par comparaison avec les accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine, le courant s'établissant à 2,20 V est en moyenne environ 2 fois et à 2,25 V environ 3 fois plus faible. Les accumulateurs Planté au plomb/calcium ont une consommation encore inférieure (courbes pointillées de la figure 4). Lorsque la tension est choisie correctement, il n'y a pas d'augmentation de courant; des valeurs de

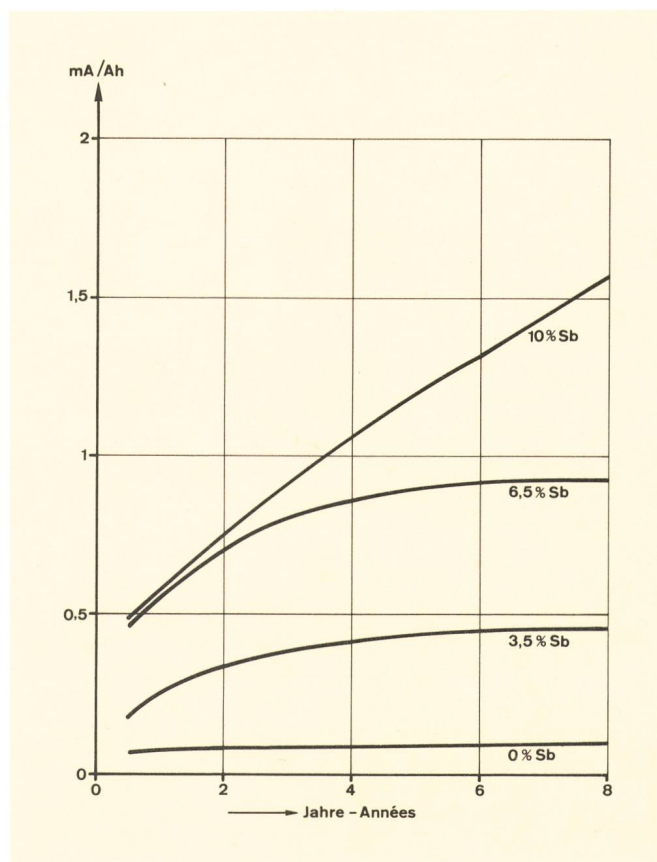


Fig. 5
Einfluss des Antimongehalts auf den Schwebeladungsstrom von Röhrenplatten-Akkumulatoren, gültig für 2,20 V/Zelle – Influence de la concentration d'antimoine sur le courant de charge flottante d'accumulateurs à plaques tubulaires, pour 2,20 V/élément

aber zu bemerken, dass keine scharfe Korrelation zwischen dem Antimongehalt und dem Strom besteht. (Dasselbe gilt auch für den Perchlorsäure-Einfluss, Abschnitt 74.) Es befinden sich Röhrenplatten-Akkumulatoren im Versuch, die trotz höherem Antimongehalt kleinere Ströme aufweisen als solche mit niedrigerem Gehalt. Gründe dafür können sein: Einfluss weiterer Legierungszusätze (z. B. Arsen, Silber, Zinn), Härte der negativen Platten, Art der Separatoren, Säureverunreinigungen (insbesondere Perchlorsäuregehalt), sowie auch die Bedingungen bei der Erstformatierung. Alle Faktoren, die die Wasserstoff-Überspannung an den negativen Platten und die Sauerstoff-Überspannung an den positiven Platten beeinflussen, wirken sich auf den Stromkonsum aus.

74 Stromkonsum von Röhrenplatten-Akkumulatoren mit unterschiedlichem Perchlorsäuregehalt

Vorerst sei kurz rekapituliert, weshalb im Elektrolyt von Bleiakkumulatoren Perchlorsäure (HClO_4) vorhanden sein kann. Bei der Elektrolyse des Wassers – ein Vorgang, der in Akkumulatoren je nach der Höhe der Konstantspannung mehr oder weniger stark auftritt – entsteht naszierender Sauerstoff. Dieser greift chlorhaltige Kunststoffe an, wobei Perchlorsäure entsteht. Kunststoffseparatoren, Röhren und Rohrtaschen können somit Chlorlieferanten sein, ebenfalls chlorabscheidende Imprägnationsmittel dieser Teile. Bei Planté-Akkumulatoren, die keine Röhren oder Taschen enthalten, fällt diese Chlorquelle weg; Restperchlorsäure kann aber von der Erstformation stammen.

Wie *Figur 6* zeigt, lassen sich selbst bei der «milden» Zellenspannung von 2,20 V deutlich drei Perchlorsäure-

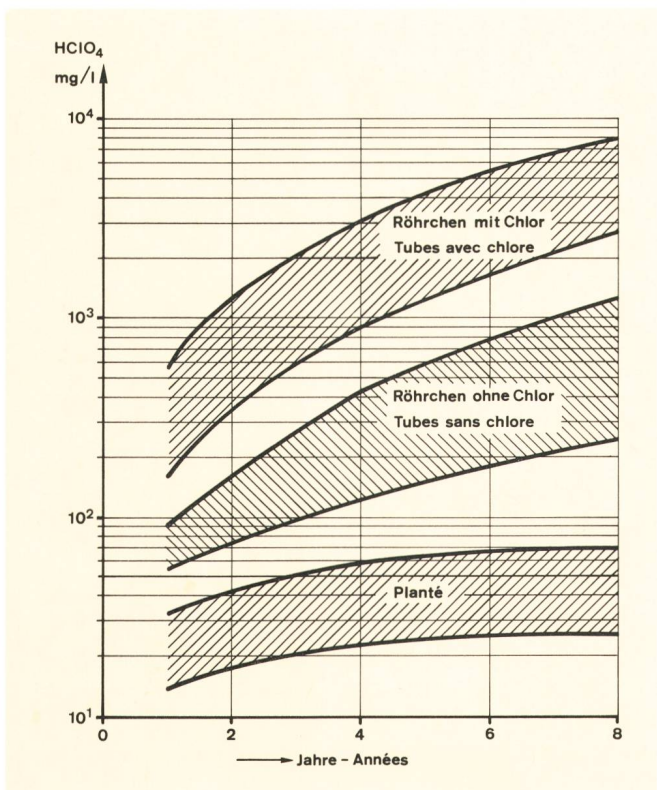


Fig. 6 Perchlorsäuregehalt, gültig für 2,20 V/Zelle – Concentration de l'acide perchlorique, pour 2,20 V/élément

2,20 V et en dessous sont sans équivoque trop faibles, également pour ce type.

73 Consommation de courant d'accumulateurs à plaques tubulaires avec des concentrations d'antimoine variables

Le phénomène de la dégradation par l'antimoine résulte du dépôt d'antimoine (Sb) sur les plaques négatives [4]. Cet antimoine provient avant tout des grilles positives, des bornes et des connexions entre plaques fabriquées à partir d'un alliage de plomb à l'antimoine. Si les grilles négatives en contiennent également, il en provient aussi de ces grilles quoique avec un certain retard, qui se dépose sur ces mêmes plaques. L'antimoine réduit le potentiel électrochimique des plaques négatives, ce qui produit une augmentation du courant, malgré le maintien de la tension à une valeur constante.

L'influence de l'antimoine est représentée dans la *figure 5*. Les courbes se rapportent à des valeurs moyennes pour 2,20 V par élément et les valeurs indiquées de la concentration en antimoine des grilles positives. La courbe correspondant à 10 % provient d'une investigation antérieure [2]; celle marquée 0 % est valable pour le type ASTAG. L'on constate qu'après 8 ans, le courant est presque proportionnel à la concentration en antimoine. Il faut cependant remarquer que la corrélation entre le courant et la concentration d'antimoine n'est pas étroite. (La même remarque est valable pour l'influence de l'acide perchlorique, paragraphe 74.) Des accumulateurs à plaques tubulaires sont à l'essai, pour lesquels le courant est plus faible que pour des accumulateurs avec peu d'antimoine, malgré une importante concentration d'antimoine. Des raisons peuvent être: l'influence d'autres additifs dans l'alliage (par exemple l'arsenic, l'argent, le zinc), la dureté des plaques négatives, le genre de séparateurs, des impuretés dans l'électrolyte (en particulier l'acide perchlorique), et également les conditions de la première formation. Tous les facteurs qui influent la surtension d'hydrogène aux plaques négatives et la surtension d'oxygène aux plaques positives ont un effet sur la consommation de courant.

74 Consommation de courant d'accumulateurs à plaques tubulaires contenant des quantités variables d'acide perchlorique

Rappelons tout d'abord pourquoi l'électrolyte des accumulateurs au plomb peut contenir de l'acide perchlorique (HClO_4). L'électrolyse de l'eau, processus plus ou moins important suivant la valeur de la tension, produit de l'oxygène naissant qui attaque les matières synthétiques contenant du chlore et il en résulte de l'acide perchlorique. Les séparateurs synthétiques, les tubes, les pochettes peuvent libérer du chlore, de même que des produits servant à imprégner ces pièces. Les accumulateurs Planté ne contenant pas de tubes ni de pochettes ne possèdent pas cette source de chlore; un reste d'acide perchlorique peut cependant provenir de la première formation.

La *figure 6* montre que, même pour la tension «douce» de 2,20 V on distingue clairement trois groupes en ce qui concerne l'acide perchlorique. Après 8 ans, les concentrations moyennes suivantes sont présentes:

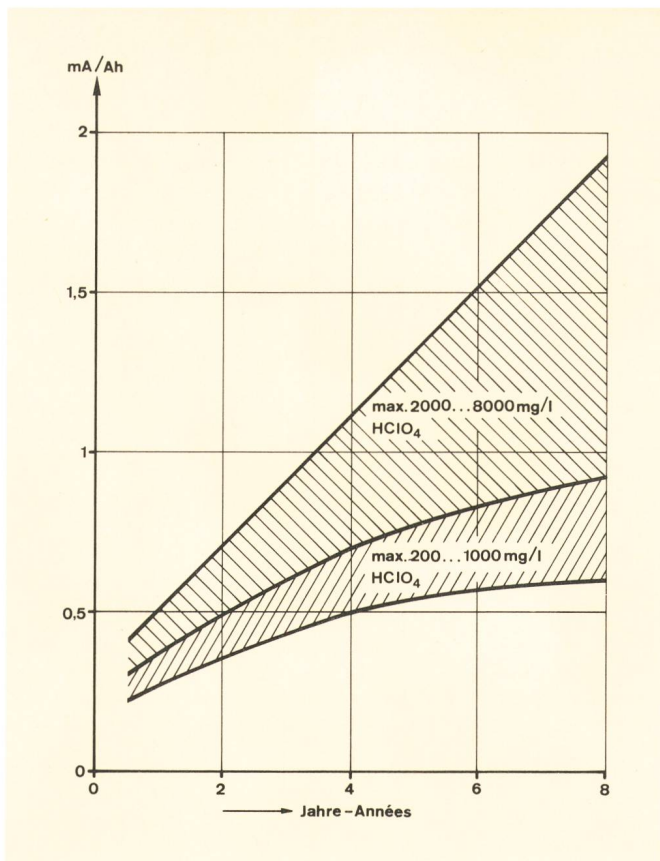


Fig. 7
Einfluss des Perchlorsäuregehalts auf den Schwebeladungsstrom, gültig für 2,20 V/Zelle – Influence de la concentration de l'acide perchlorique sur le courant de charge flottante, pour 2,20 V/élément

Gruppen unterscheiden. Nach 8 Jahren sind im Mittel folgende HClO_4 -Konzentrationen vorhanden:

- chlorreiche Röhrenplatten-Akkumulatoren: etwa 5000 mg/l
- chlorarme Röhrenplatten-Akkumulatoren: etwa 500 mg/l
- Planté-Akkumulatoren: etwa 50 mg/l

Es ist erwiesen, dass bei HClO_4 -Konzentrationen oberhalb 200...500 mg/l eine merkliche Lebensdauerverkürzung eintritt. Zugleich erhöht sich der Wasserverbrauch (Abschnitt 8), was vermehrte Wartung bedingt. Die korrosive Wirkung der Perchlorsäure auf die positiven Gitter und Plattenbrücken hat zudem zur Folge, dass zusätzliches Antimon freigesetzt wird, was zu erhöhter Vergiftung der negativen Platten führt. Der Stromkonsum vergrößert sich dadurch nochmals.

Aus *Figur 7* ist ersichtlich, welchen Einfluss der Perchlorsäuregehalt auf den Stromkonsum ausübt. Bei vergleichbaren Röhrenplatten-Akkumulatoren mit annähernd gleich stark antimonlegierten Gittern ist der Strom wesentlich grösser, falls der Elektrolyt mit Perchlorsäure angereichert ist.

8 Ergebnisse der Wasserbedarfsmessungen

81 Wasserbedarf von antimonhaltigen Röhrenplatten-Akkumulatoren

Der Wasserverbrauch eines Akkumulators hängt eng mit dem Elektrolysestrom zusammen, und dieser ist primär

- accumulateurs riches en HClO_4 : environ 5000 mg/l
- accumulateurs pauvres en HClO_4 : environ 500 mg/l
- accumulateurs Planté: environ 50 mg/l

Il est prouvé que des concentrations supérieures à 200...500 mg/l entraînent une réduction sensible de la durée de vie. En même temps, la consommation d'eau augmente, d'où il résulte la nécessité d'un entretien plus important. L'effet corrosif de l'acide perchlorique sur les grilles positives et les connexions entre plaques libère de l'antimoine, ce qui conduit à une dégradation supplémentaire des plaques négatives. La consommation de courant est ainsi encore augmentée.

L'influence de l'acide perchlorique sur la consommation de courant est montrée à la *figure 7*. Pour des accumulateurs à plaques tubulaires comparables possédant des concentrations à peu près égales d'antimoine dans les grilles, la consommation de courant est sensiblement plus élevée lorsque l'électrolyte est enrichi par de l'acide perchlorique.

8 Résultats de la mesure de la consommation d'eau

81 Consommation d'eau d'accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine

La consommation d'eau d'un accumulateur est étroitement liée au courant d'électrolyse qui dépend, en premier lieu, de la tension. Les relations théoriques sont ainsi connues. Pour l'entretien d'accumulateurs, ce sont les résultats pratiques qui importent. La *figure 8* représente la consommation d'eau annuelle d'accumulateurs normaux à plaques tubulaires contenant de l'antimoine, rapporté à un élément et à la capacité unitaire de 1 Ah. La grande plage pour des tensions supérieures à 2,20 V est liée encore plus étroitement que dans le cas des courants aux caractéristiques variables des accumulateurs, en particulier au domaine de variation relativement grand de la concentration d'antimoine (3,5...10 %). Pour les tensions supérieures, la plage couverte augmente considérablement.

82 Consommation d'eau d'accumulateurs Planté

Le comportement en fonction du temps de la consommation d'eau d'accumulateurs Planté au plomb pur est semblable à celle des accumulateurs à plaques tubulaires quant à la forte augmentation aux tensions élevées, ainsi que le montre la *figure 9*. Les valeurs absolues sont cependant 2 à 8 fois plus faibles.

83 Consommation d'eau d'accumulateurs à alliages spéciaux

La consommation d'eau des accumulateurs à plaques tubulaires ASTAG et des accumulateurs Planté au Pb/Ca est encore plus réduite. Cela n'est pas évident, car ces types sont également exempts d'antimoine. Mais, dans ce cas aussi, d'autres facteurs jouent un rôle. La consommation de courant, et par suite la consommation d'eau, subit entre autres l'influence du genre d'expander, par l'intermédiaire de la dureté et de la porosité des plaques négatives.

84 Résumé des résultats relatifs à la consommation d'eau

Les figures 8 et 9 ne fournissent qu'une vue d'ensemble de la consommation d'eau d'accumulateurs à plaques tubulaires et d'accumulateurs Planté; les valeurs concernant les types spéciaux ne sont pas représentées. Comme la consommation d'eau est d'importance pratique, les résultats expérimentaux des quatre types d'accumulateurs sont rassemblés au *tableau II*, en tant que

Tableau II. Consommation d'eau annuelle par élément, en cm³/Ah

Type	Tension par élément	2 ans	4 ans	6 ans	8 ans
Accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine	2,18...2,20 V	0,5...2,0	1,0...2,5	1,0...3,0	1,5...4,0
	2,25 V	2,0...5,0	2,5...7,5	3,0...10	4,0...13
	2,30 V	5,0...11	7,5...18	10...27	13...39
Accumulateurs à plaques tubulaires ASTAG	2,18...2,20 V	0,6...0,8	0,6...0,9	0,6...1,0	0,6...1,1
	2,25 V	1,1...1,5	1,3...1,7	1,5...1,9	1,7...2,1
	2,30 V	1,5...2,0	1,5...2,8	1,6...3,2	1,6...3,5
Accumulateurs Planté au plomb pur	2,18...2,20 V	1,2...1,4	1,3...1,4	1,3...1,4	1,3...1,4
	2,25 V	1,4...2,4	1,4...2,4	1,4...2,4	1,4...2,4
	2,30 V	1,8...3,9	2,2...4,2	2,5...4,6	2,8...5,0
Accumulateurs Planté plomb/calcium	2,18...2,20 V	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,2
	2,25 V	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,2
	2,30 V	0,9...1,3	0,9...1,3	1,0...1,3	1,0...1,3

valeurs minimales et maximales. Certaines incohérences, qui ne sont du reste qu'apparentes, s'expliquent par le fait que des paramètres technologiques peuvent exercer une plus grande influence que, par exemple, la composition de l'alliage.

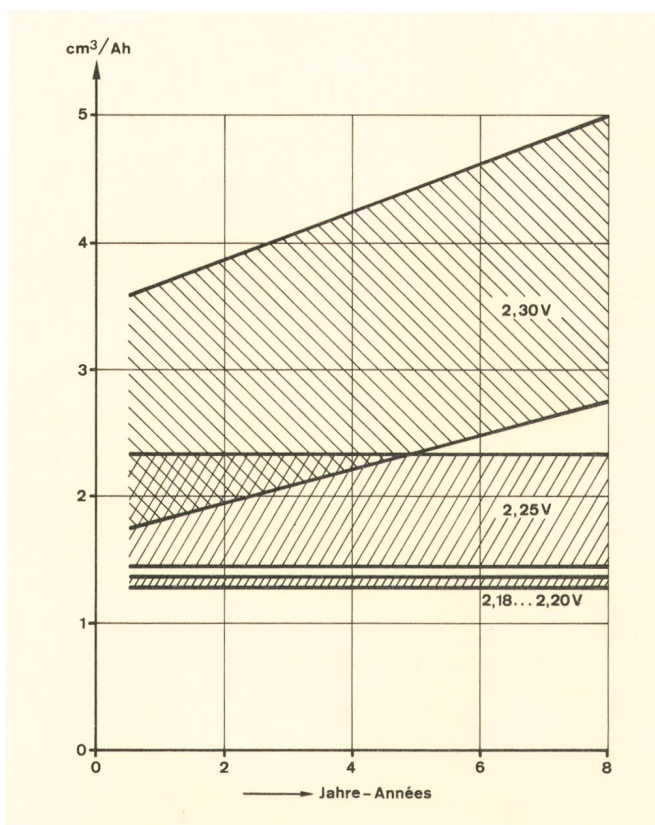


Fig. 9 Jährlicher Wasserbedarf von Planté-Akkumulatoren – Consommation d'eau annuelle d'accumulateurs Planté

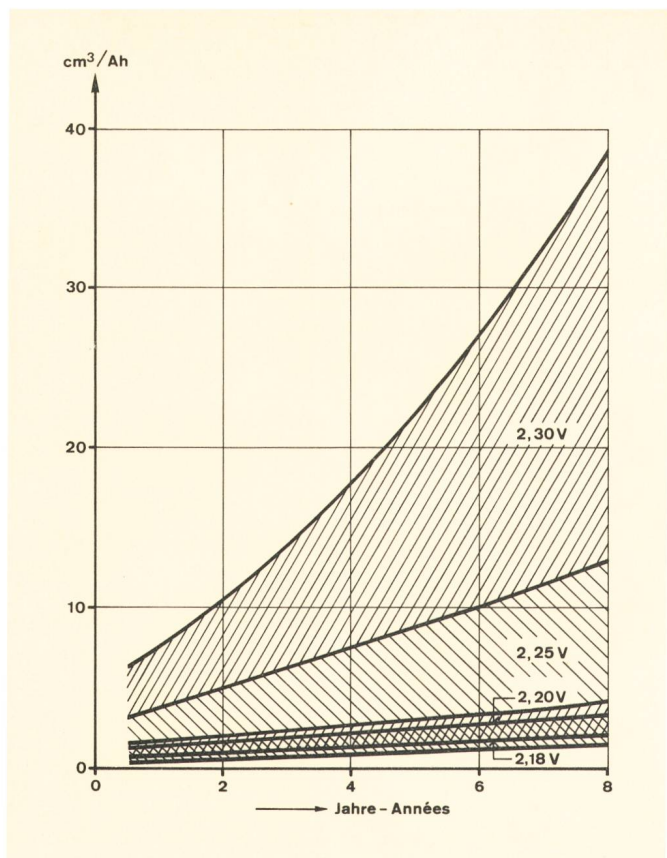


Fig. 8 Jährlicher Wasserbedarf von Röhrenplatten-Akkumulatoren – Consommation d'eau annuelle d'accumulateurs à plaques tubulaires

abhängig von der Zellenspannung. Die theoretischen Zusammenhänge sind somit bekannt. Für die Wartung von Akkumulatorenanlagen interessieren jedoch reale Daten. In *Figur 8* ist der jährliche Wasserbedarf von normalen, antimongehaltigen Röhrenplatten-Akkumulatoren je Zelle und bezogen auf die Einheitskapazität 1 Ah dargestellt. Die grosse Bandbreite bei Spannungen über 2,20 V wird noch stärker als bei den Strömen durch die unterschiedlichen Eigenschaften des Akkumulatorenkollektivs verursacht, insbesondere durch den ziemlich grossen Bereich des Antimongehalts (3,5...10 %). Bei höheren Spannungen nimmt die Bandbreite wesentlich zu.

82 Wasserbedarf von Planté-Akkumulatoren

Der zeitliche Verlauf des Wasserverbrauchs von Reinblei-Planté-Akkumulatoren ist, wie *Figur 9* zeigt, insofern ähnlich wie bei den Röhrenplatten-Akkumulatoren, als eine starke Zunahme bei höheren Spannungen erfolgt. Die Absolutbeträge sind jedoch 2- bis 8mal kleiner.

83 Wasserbedarf von Akkumulatoren mit Speziallegierungen

Nochmals kleiner ist der Wasserverbrauch bei den ASTAG-Röhrenplatten- und den Pb/Ca-Planté-Akkumulatoren. Dies ist nicht ohne weiteres zu erwarten, da alle diese Typen ebenfalls antimongefrei sind. Aber auch hier spielen weitere Faktoren eine Rolle. Unter anderem beeinflusst die Art des Spreizmittels und damit die Härte

und Porosität der negativen Platten den Stromkonsum und damit auch den Wasserverbrauch.

84 Zusammenstellung der Wasserverbrauchsdaten

Die beiden Figuren 8 und 9 geben nur ein globales Bild des Wasserverbrauchs von Röhrenplatten- und Planté-Akkumulatoren; Werte für die Spezialtypen sind nicht dargestellt. Da der Wasserverbrauch von praktischem Interesse ist, sind die durch den Versuch erhaltenen Werte für die vier Akkumulatortypen in der *Tabelle II* zusammengestellt, und zwar als Minimum/Maximum-Werte.

Tabelle II. Jährlicher Wasserbedarf je Zelle, in cm³/Ah

Typ	Zellenspannung	2 Jahre	4 Jahre	6 Jahre	8 Jahre
Antimonhaltige Röhrenplatten-Akkumulatoren	2,18...2,20 V	0,5...2,0	1,0...2,5	1,0...3,0	1,5...4,0
	2,25 V	2,0...5,0	2,5...7,5	3,0...10	4,0...13
	2,30 V	5,0...11	7,5...18	10...27	13...39
ASTAG-Röhrenplatten-Akkumulatoren	2,18...2,20 V	0,6...0,8	0,6...0,9	0,6...1,0	0,6...1,1
	2,25 V	1,1...1,5	1,3...1,7	1,5...1,9	1,7...2,1
	2,30 V	1,5...2,0	1,5...2,8	1,6...3,2	1,6...3,5
Reinblei-Planté-Akkumulatoren	2,18...2,20 V	1,2...1,4	1,3...1,4	1,3...1,4	1,3...1,4
	2,25 V	1,4...2,4	1,4...2,4	1,4...2,4	1,4...2,4
	2,30 V	1,8...3,9	2,2...4,2	2,5...4,6	2,8...5,0
Blei/Calcium-Planté-Akkumulatoren	2,18...2,20 V	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,2
	2,25 V	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,2
	2,30 V	0,9...1,3	0,9...1,3	1,0...1,3	1,0...1,3

mum-Werte. Scheinbare Ungereimtheiten lassen sich wie beim Stromkonsum durch die Tatsache erklären, dass technologische Parameter einen grösseren Einfluss ausüben können als zum Beispiel die Legierungsbestandteile.

9 Ergebnisse der Zellenspannungsmessungen

91 Fragen im Zusammenhang mit Zellenspannungsschwankungen

Wie in Abschnitt 4 erwähnt, werden täglich alle Einzelzellenspannungen erfasst. Verschiedene Gründe sprechen dafür, solche Messungen während der ganzen Versuchsdauer durchzuführen. Sie können der Beantwortung folgender Fragen dienen:

- Wie grosse Spannungsunterschiede treten zwischen den einzelnen Zellen auf?
- Wie gross sind die Spannungsunterschiede gegenüber der mittleren Zellenspannung?
- Verändern sich die Einzelzellenspannungen trotz Konstantspannung der Batterie?
- Schwanken die Einzelzellenspannungen zeitlich um einen Mittelwert, konvergieren oder divergieren sie?
- Vertauschen die Zellen untereinander ihre spannungsmässigen Positionen?
- Sind die einzelnen Zellen aufgrund ihres Spannungsverhaltens als «Individuen» zu betrachten?
- Sind Zellenspannungsunterschiede ein Indiz für Qualität und Lebensdauer von Akkumulatoren?
- Wie grosse Zellenspannungsunterschiede können toleriert werden?

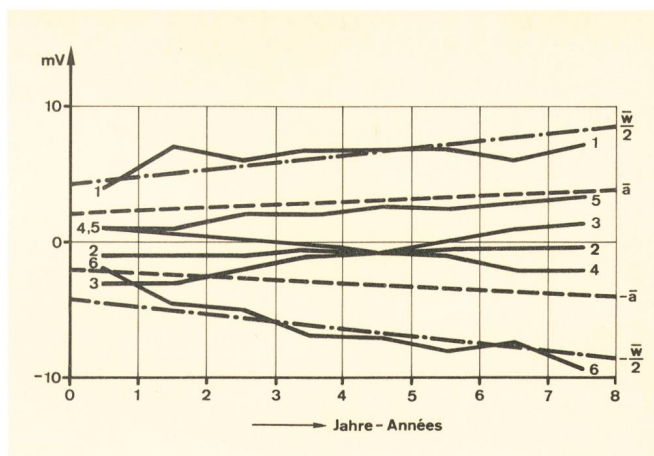


Fig. 10 Zellenspannungsunterschiede eines 6zelligen Röhrenplatten-Akkumulators (2,25 V/Zelle) – Ecarts des tensions des 6 éléments d'un accumulateur à plaques tubulaires (2,25 V/élément)

9 Résultats des mesures des tensions des éléments

91 Questions relatives aux variations des tensions des éléments

Comme mentionné au chapitre 4, on enregistre journalièrement les tensions de tous les éléments. Diverses raisons incitent à faire ces mesures pendant toute la durée de l'essai. L'on cherche à répondre aux questions suivantes:

- Quelles sont les grandeurs observées des écarts entre les tensions des éléments?
- Quelles sont les écarts par rapport à la moyenne?
- Les tensions des éléments varient-elles malgré l'application d'une tension constante sur la batterie?
- Varient-elles autour d'une valeur moyenne, convergent-elles, divergent-elles?
- Les éléments changent-ils de position dans l'ordre des tensions?
- Les éléments sont-ils à considérer comme des «individus» sur la base du comportement de leur tension?
- Les tensions des éléments sont-elles un indice pour la qualité et la durée de vie des accumulateurs?
- Quels sont les écarts tolérables?

Répondre à toutes ces questions sortirait du cadre de ce travail. Dans ce qui suit, on s'occupera cependant de quelques aspects fondamentaux.

92 Statistique des variations des tensions des éléments

Les figures 10 et 11 montrent un exemple de comportement en fonction du temps des écarts par rapport à la moyenne. La figure 10 se rapporte à une batterie à plaques tubulaires à 6 éléments de 60 Ah, la figure 11 à un accumulateur Planté également à 6 éléments de 51 Ah, sous une tension de 2,25 V par élément. Ces exemples ont été choisis dans le but de montrer un comportement normal sans sauts de tension excessifs.

Pour traduire de manière simple et compréhensible ces représentations graphiques en chiffres, les deux procédés suivants sont à disposition: effectuer les régressions

Die Beantwortung aller dieser und weiterer Fragen würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen. Auf einige grundsätzliche Aspekte kann jedoch in den folgenden Ausführungen eingegangen werden.

92 Statistik der Zellenspannungsabweichungen

Die Figuren 10 und 11 veranschaulichen als Beispiele den zeitlichen Verlauf von Zellenspannungsabweichungen gegenüber der mittleren Zellenspannung. Figur 10 betrifft eine sechszellige Röhrenplattenbatterie von 60 Ah, Figur 11 eine ebenfalls sechszellige Planté-Batterie von 51 Ah, beide an die Konstanzspannung von 2,25 V je Zelle angeschlossen. Diese absichtlich gewählten Beispiele zeigen ein normales Verhalten ohne allzu grosse Spannungssprünge.

Um die optischen Eindrücke dieser Darstellungen anschaulich und einfach in zahlenmässige Angaben umzusetzen, bieten sich folgende zwei Möglichkeiten an: Berechnen von Regressionsgeraden, die als mittlere Umhüllende der Kurvenschar fungieren, oder von Regressionsgeraden, die die mittlere Abweichung der Zellenspannung veranschaulichen. Im ersten Fall wird die Reichweite w (Variationsbreite), im zweiten die mittlere lineare Abweichung a als abhängige Variable gewählt. Unabhängige Variable ist die Zeit t .

Die Grössen w und a sind für einen bestimmten Zeitpunkt wie folgt definiert:

$$w = u_{\max} - u_{\min} \quad (1)$$

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_i - \bar{u}| \quad (2)$$

Es bedeuten: n = Zellenzahl (einer Batterie)

u_i = Spannung der i -ten Zelle

\bar{u} = mittlere Zellenspannung

Somit gilt für a auch:

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_i - \frac{1}{n} \sum u_i| \quad (3)$$

Die Gleichungen der durch einfache lineare Regression zu bestimmenden Geraden lauten:

$$\bar{w} = w_0 + m_w t \quad (4)$$

$$\bar{a} = a_0 + m_a t \quad (5)$$

Die Regressionsanalyse liefert zudem das statistische Bestimmtheitsmass B als Mass für die Güte der Beziehung zwischen den Werten w bzw. a und der Zeit t .

In den Figuren 10 und 11 sind die Regressionsgeraden $\bar{w}/2$, $-\bar{w}/2$ sowie a und $-a$ eingetragen. Die zugehörigen Gleichungen und Bestimmtheitsmasse B sind

für Figur 10:

$$\bar{a} = 2,10 + 0,22 t ; B = 0,90$$

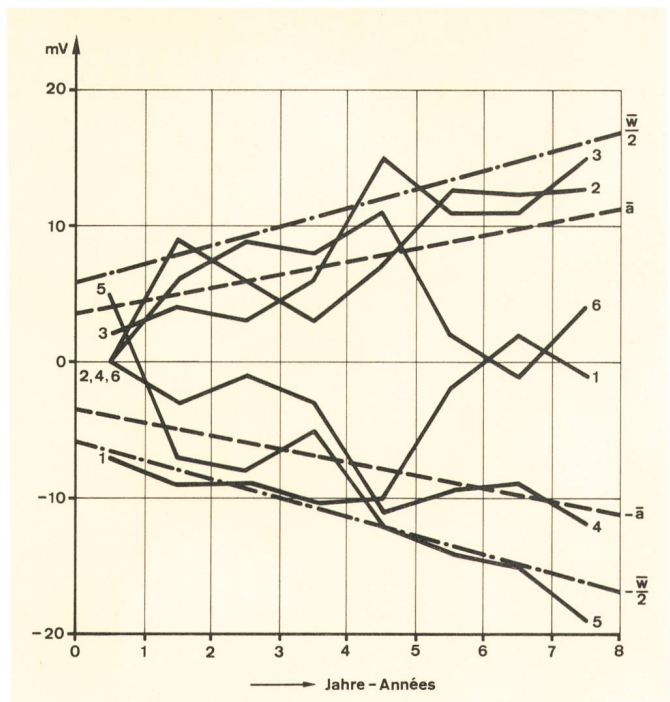


Fig. 11
Zellenspannungsunterschiede eines 6zelligen Planté-Akkumulators (2,25 V/Zelle) – Ecart des tensions des 6 éléments d'un accumulateur Planté (2,25 V/élément)

linéaires, soit pour les enveloppes des courbes, soit pour les déviations moyennes. Dans le premier cas, on choisit la portée w et, dans le deuxième, l'écart absolu moyen a comme variable dépendante. La variable indépendante est le temps t .

Les grandeurs w et a sont définies ainsi qu'il suit pour un temps déterminé:

$$w = u_{\max} - u_{\min} \quad (1)$$

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_i - \bar{u}| \quad (2)$$

Où: n = nombre d'éléments (d'une batterie)

u_i = tension de l'élément i

\bar{u} = tension moyenne des éléments

Ainsi, on a également pour a :

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_i - \frac{1}{n} \sum u_i| \quad (3)$$

Les équations des droites à déterminer par régression linéaire sont:

$$\bar{w} = w_0 + m_w t \quad (4)$$

$$\bar{a} = a_0 + m_a t \quad (5)$$

L'analyse de la régression fournit en outre la grandeur B caractérisant la qualité des relations entre les valeurs w resp. a et le temps t .

Dans les figures 10 et 11 on a reporté les droites $\bar{w}/2$, $-\bar{w}/2$, ainsi que a et $-a$ obtenues par régression. Les équations et les valeurs de B correspondantes sont

$$\bar{w} = 8,49 + 1,06 t ; B = 0,79$$

$$\text{bzw. } \frac{\bar{w}}{2} = 4,25 + 0,53 t ; B = 0,79 \quad (6)$$

für Figur 11:

$$\bar{a} = 3,50 + 0,96 t ; B = 0,70$$

$$\bar{w} = 11,53 + 2,77 t ; B = 0,91$$

$$\frac{\bar{w}}{2} = 5,77 + 1,39 t ; B = 0,91 \quad (7)$$

t = Zeit in Jahren

In den meisten Fällen bestehen recht gute Korrelationen zwischen den mittleren linearen Abweichungen \bar{a} und den Reichweiten w , wie auch die beiden Beispiele zeigen:

$$\text{Figur 10: } \bar{w}_a = -1,60 + 4,78 a ; B = 0,90$$

$$\text{Figur 11: } \bar{w}_a = 5,16 + 2,38 a ; B = 0,88$$

Für vergleichende Studien über Zellenspannungsabweichungen kann somit entweder mit den mittleren Umhüllenden \bar{w} oder den mittleren Abweichungen \bar{a} gerechnet werden. Im folgenden werden die \bar{a} -Werte betrachtet.

93 Quantitative Aussagen über Zellenspannungsabweichungen

Wie bei den Kapazitäts-, Strom- und Wasserverbrauchsmessungen können im Rahmen dieser Veröffentlichung für die Zellenspannungsabweichungen keine Einzelwerte, sondern nur Mittelwerte für die vier Teilkollektive gemäss Tabelle I bekanntgegeben werden. Zur Berechnung dieser Gesamtmittelwerte wird wie folgt vorgegangen:

- Aufstellen der Regressionsgleichung \bar{a} (Formel 5) für jede einzelne Akkumulatorenatterie
- Berechnen der regressierten Zellenspannungsabweichungen \bar{a} für gegebene Betriebsjahre
- Berechnen des arithmetischen Mittelwertes $\bar{\bar{a}}$ sowie der zugehörigen Standardabweichung s aus den \bar{a} -Werten, und zwar getrennt für jedes Teilkollektiv und für jede Spannungsgruppe.

Die solcherart komprimierten Resultate $\bar{\bar{a}} \pm s$ sind in *Tabelle III* für 2, 4, 6 und 8 Betriebsjahre zusammengestellt. *Figur 12* illustriert diese Daten am Beispiel der Röhrenplatten- und Planté-Akkumulatoren (Nennzellenspannung 2,20 V). Aufgezeichnet sind die sich aus $\bar{\bar{a}} \pm s$ ergebenden Streubänder.

Die nochmalige Kombination der Mittelwerte und Standardabweichungen sowohl über den ganzen Spannungsbereich von 2,18...2,30 V als auch über die ganze Versuchsdauer von 8 Jahren, ergibt folgende, als Orientierungshilfe dienenden Gesamtmittel der linearen Zellenspannungsabweichungen:

pour la figure 10:

$$\bar{a} = 2,10 + 0,22 t ; B = 0,90$$

$$\bar{w} = 8,49 + 1,06 t ; B = 0,79$$

$$\text{respectivement } \frac{\bar{w}}{2} = 4,25 + 0,53 t ; B = 0,79 \quad (6)$$

pour la figure 11:

$$\bar{a} = 3,50 + 0,96 t ; B = 0,70$$

$$\bar{w} = 11,53 + 2,77 t ; B = 0,91$$

$$\frac{\bar{w}}{2} = 5,77 + 1,39 t ; B = 0,91 \quad (7)$$

t = temps en années.

Dans la plupart des cas, il existe une assez bonne corrélation entre les écarts absolus moyens \bar{a} et les portées w , ainsi que le montrent les deux exemples:

$$\text{figure 10: } \bar{w}_a = -1,60 + 4,78 a ; B = 0,90$$

$$\text{figure 11: } \bar{w}_a = 5,16 + 2,38 a ; B = 0,88$$

Pour étudier les déviations des tensions des éléments, il suffit par conséquent de considérer soit les enveloppes moyennes w soit les écarts moyens \bar{a} . Dans ce qui suit, l'on considérera les valeurs de \bar{a} .

93 Résultats quantitatifs concernant les déviations des tensions des éléments

Le cadre de cette publication ne permet pas la reproduction des valeurs individuelles des déviations des tensions des éléments, mais seulement des moyennes pour les quatre groupes selon le tableau I, comme cela a déjà été le cas pour les mesures de la capacité, du courant et de la consommation d'eau. Pour le calcul de ces moyennes générales l'on procède comme suit:

- Détermination de l'équation \bar{a} par régression (formule 5) pour chaque batterie
- Calcul de la déviation de la tension des éléments \bar{a} selon la régression pour des durées d'exploitation données
- Calcul de la moyenne arithmétique $\bar{\bar{a}}$ et de la déviation standards sur la base des valeurs de \bar{a} , séparément pour chaque groupe et chaque valeur de la tension.

Les résultats $\bar{\bar{a}} \pm s$ obtenus de cette manière pour 2, 4, 6 et 8 ans d'exploitation sont rassemblés au *tableau II**. La *figure 12* illustre ces résultats pour les accumulateurs à plaques tubulaires et les accumulateurs Planté (tension nominale, 2,20 V par élément). On y a reproduit les plages correspondant à $\bar{\bar{a}} \pm s$.

Si l'on combine à leur tour les moyennes et les déviations standards correspondant à toutes les tensions de 2,18...2,30 V, ainsi qu'à toute la durée de l'essai de 8 ans, on obtient les moyennes générales suivantes pour les

Tabelle III. Mittlere lineare Zellenspannungsabweichung \bar{a} in mV

Typ	Zellen- spannung	2 Jahre	4 Jahre	6 Jahre	8 Jahre
Antimonhaltige Röhrchen- platten- Akkumulatoren	2,18 V	2,6 ± 1,3	3,1 ± 1,3	3,6 ± 1,7	4,2 ± 2,2
	2,20 V	3,4 ± 2,0	3,8 ± 2,1	4,1 ± 2,5	4,4 ± 3,2
	2,25 V	3,0 ± 2,1	3,1 ± 2,2	3,3 ± 2,6	3,6 ± 2,9
	2,30 V	4,1 ± 1,4	4,1 ± 1,5	4,1 ± 2,0	4,2 ± 2,8
ASTAG- Röhrchenplatten- Akkumulatoren	2,18 V	3,4 ± 1,6	3,3 ± 1,2	3,2 ± 0,9	3,2 ± 0,5
	2,20 V	5,1 ± 0,8	4,5 ± 0,6	3,7 ± 0,4	3,0 ± 0,1
	2,25 V	1,3 ± 0,6	1,7 ± 0,6	1,3 ± 1,6	2,6 ± 2,8
	2,30 V	2,6 ± 1,3	2,7 ± 1,3	2,8 ± 1,3	2,8 ± 1,3
Reinblei- Planté- Akkumulatoren	2,18 V	5,6 ± 1,9	7,8 ± 4,0	10,0 ± 6,5	12,2 ± 9,1
	2,20 V	6,9 ± 2,2	9,4 ± 3,8	11,8 ± 5,5	14,4 ± 7,1
	2,25 V	8,9 ± 5,4	13,4 ± 9,1	17,9 ± 12,7	22,4 ± 16,4
	2,30 V	10,0 ± 5,2	12,1 ± 10,5	14,2 ± 15,6	16,3 ± 21,1
Blei/Calcium- Planté- Akkumulatoren	2,18 V	3,0 ± 1,7	4,1 ± 0,7	5,2 ± 0,2	6,2 ± 1,1
	2,20 V	6,5 ± 2,2	8,2 ± 3,2	9,9 ± 4,2	9,0 ± 3,8
	2,25 V	3,2 ± 2,0	3,6 ± 3,0	3,9 ± 4,1	4,3 ± 5,2
	2,30 V	6,7 ± 0,6	8,2 ± 3,3	9,6 ± 7,0	11,0 ± 10,8

- für alle Röhrchenplatten-Akkumulatoren (60...210 Ah, einschliesslich ASTAG-Typ): $3,7 \pm 2,5$ mV
- für alle Planté-Akkumulatoren (48...200 Ah, einschliesslich Pb/Ca-Typ): $9,4 \pm 7,5$ mV

Die verhältnismässig grossen Standardabweichungen beruhen auf der Tatsache, dass sich einzelne Batterien stark unterschiedlich, zum Teil sogar gegensätzlich verhalten. Fabrikatorische und technologische Gegebenheiten sind dafür verantwortlich. Die quantitativen Daten sollen daher in erster Linie dazu dienen, allgemeine Tendenzen herauszulesen.

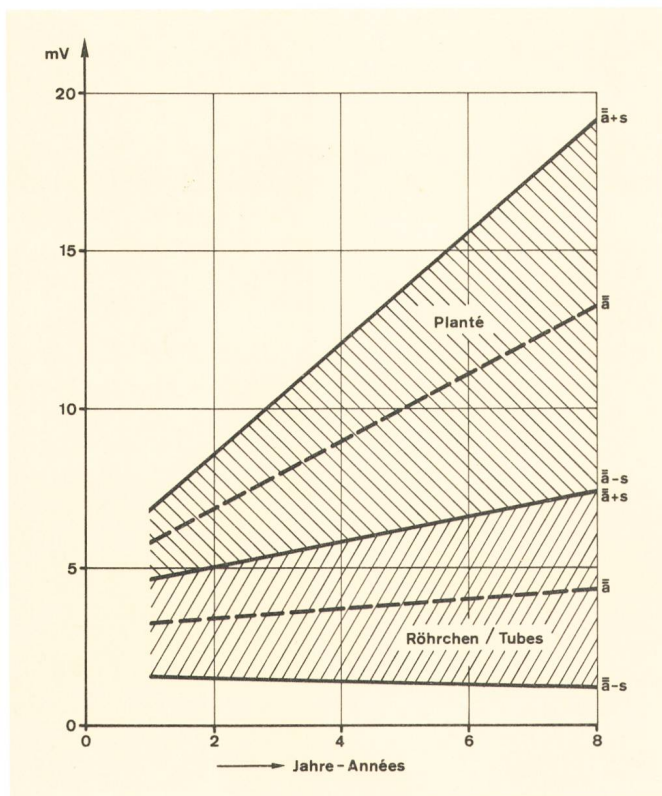


Fig. 12
Streubereiche der mittleren linearen Zellenspannungsabweichung, gültig für 2,20 V/Zelle - Plage couverte par l'écart absolu moyen des tensions des éléments, pour 2,20 V/élément

Tableau III. Ecart linéaire moyen de la tension par élément \bar{a} en mV

Type	Tension par élément	2 ans	4 ans	6 ans	8 ans
Accumulateurs à plaques tubulai- res contenant de l'antimoine	2,18 V	2,6 ± 1,3	3,1 ± 1,3	3,6 ± 1,7	4,2 ± 2,2
	2,20 V	3,4 ± 2,0	3,8 ± 2,1	4,1 ± 2,5	4,4 ± 3,2
	2,25 V	3,0 ± 2,1	3,1 ± 2,2	3,3 ± 2,6	3,6 ± 2,9
	2,30 V	4,1 ± 1,4	4,1 ± 1,5	4,1 ± 2,0	4,2 ± 2,8
Accumulateurs à plaques tubulai- res ASTAG	2,18 V	3,4 ± 1,6	3,3 ± 1,2	3,2 ± 0,9	3,2 ± 0,5
	2,20 V	5,1 ± 0,8	4,5 ± 0,6	3,7 ± 0,4	3,0 ± 0,1
	2,25 V	1,3 ± 0,6	1,7 ± 0,6	1,3 ± 1,6	2,6 ± 2,8
	2,30 V	2,6 ± 1,3	2,7 ± 1,3	2,8 ± 1,3	2,8 ± 1,3
Accumulateurs Planté au plomb pur	2,18 V	5,6 ± 1,9	7,8 ± 4,0	10,0 ± 6,5	12,2 ± 9,1
	2,20 V	6,9 ± 2,2	9,4 ± 3,8	11,8 ± 5,5	14,4 ± 7,1
	2,25 V	8,9 ± 5,4	13,4 ± 9,1	17,9 ± 12,7	22,4 ± 16,4
	2,30 V	10,0 ± 5,2	12,1 ± 10,5	14,2 ± 15,6	16,3 ± 21,1
Accumulateurs Planté plomb/calcium	2,18 V	3,0 ± 1,7	4,1 ± 0,7	5,2 ± 0,2	6,2 ± 1,1
	2,20 V	6,5 ± 2,2	8,2 ± 3,2	9,9 ± 4,2	9,0 ± 3,8
	2,25 V	3,2 ± 2,0	3,6 ± 3,0	3,9 ± 4,1	4,3 ± 5,2
	2,30 V	6,7 ± 0,6	8,2 ± 3,3	9,6 ± 7,0	11,0 ± 10,8

écarts absolus moyens, destinées à servir de valeurs indicatives:

- pour tous les accumulateurs à plaques tubulaires (60...200 Ah, y compris le type ASTAG): $3,7 \pm 2,5$ mV
- pour tous les accumulateurs Planté (48...200 Ah, y compris le type au Pb/Ca): $9,4 \pm 7,5$ mV

Les grandes déviations standards sont dues au comportement très individuel, quelquefois même contradictoire, des différentes batteries. La responsabilité en incombe à des conditions de fabrication et de technologie. De ce fait, ces valeurs sont destinées en premier lieu à mesurer des tendances globales.

94 Résultats qualitatifs concernant les déviations des tensions des éléments

L'analyse des données globales et individuelles, ainsi que des représentations analogues à celles des figures 10 et 11 conduisent aux conclusions qualitatives suivantes:

- La plupart des écarts absolus moyens des tensions des éléments présentent la tendance d'augmenter avec le temps; le comportement contraire existe cependant aussi.
- Les accumulateurs Planté ont presque tous des déviations supérieures aux accumulateurs à plaques tubulaires.
- La plupart des déviations sont minimales pour 2,25 V, excepté pour les accumulateurs Planté au plomb pur, qui ont leur minimum vers 2,18...2,20 V par élément.
- En règle générale, les éléments conservent pendant un grand laps de temps leur position par rapport à la tension moyenne des éléments (c'est-à-dire que leur tension reste, soit supérieure, soit inférieure à la moyenne). Cela est vrai en particulier pour les éléments qui présentent un grand écart.
- Des changements de rang dans l'ordre des tensions sont cependant beaucoup plus fréquents.
- Des augmentations brusques des déviations des tensions d'éléments isolés indiquent des défauts pouvant conduire à des défaillances.

94 Qualitative Aussagen über Zellenspannungsabweichungen

Analysen der Gesamt- und Einzeldaten, sowie von Darstellungen analog den Figuren 10 und 11, führen zu folgenden qualitativen Aussagen:

- Die mittleren linearen Zellenspannungsabweichungen zeigen meistens die Tendenz, im Laufe der Zeit langsam grösser zu werden, jedoch kommt auch gegenteiliges Verhalten vor.
- Planté-Akkumulatoren weisen fast durchwegs grössere Zellenspannungsabweichungen auf als Röhrenplatten-Akkumulatoren.
- Bei 2,25 V/Zelle sind die Zellenspannungsabweichungen mehrheitlich am kleinsten, ausgenommen bei den normalen Reinblei-Planté-Akkumulatoren, wo das Minimum bei 1,80...2,20 V/Zelle liegt.
- In der Regel behalten die Zellen über längere Zeit ihre einmal eingenommene Spannungslage gegenüber der mittleren Zellenspannung bei (d. h. sie verbleiben über oder unter dem Mittelwert). Dies trifft besonders für Zellen mit grösseren Abweichungen zu.
- Spannungsmässige Positionsänderungen treten jedoch sehr viel häufiger auf.
- Innerhalb kurzer Zeit stark zunehmende Spannungsabweichungen einzelner Zellen sind Symptome für Schäden, die zum Ausfall führen können.

10 Schlussbemerkungen

101 Bemerkungen zur optimalen Ladungserhaltungsspannung

Es bestehen keine neuen Aspekte, die zu einer Änderung der allgemein anerkannten, normierten Ladungserhaltungsspannung von $2,23 \text{ V} \pm 1 \%$ für Röhrenplatten-Akkumulatoren mit Säuredichte $\rho = 1,24 \text{ g/cm}^3$ führen müssten. Diese Spannung ist zwar etwas höher als der theoretisch optimale Wert von $2,17 \text{ V}$ [5]. Die höhere Betriebsspannung ist aber gerechtfertigt wegen

- Spannungsschwankungen der Speisegleichrichter
- nicht konstanter Umgebungstemperatur
- nicht genau eingehaltener Nennsäuredichte.

Sie garantiert zudem, dass keine Sulfatation infolge Unterspannung eintritt, selbst bei Akkumulatoren, deren positive Gitter einen hohen Antimongehalt aufweisen.

Spezialtypen, zum Beispiel Hochstrom- und Kompaktakkumulatoren, sowie Typen mit erhöhter Säuredichte erfahren Lebensdauereinbussen. Bei höheren Säuredichten müssten höhere Schwebeladungsspannungen angewandt werden – eine Änderung, die nicht in das bewährte Konzept der bei den PTT-Betrieben genormten Betriebsbedingungen passt.

102 Vergleiche zwischen Röhrenplatten-Akkumulatoren, Planté-Akkumulatoren und Spezialtypen

Röhrenplatten-Akkumulatoren, deren positive Bleigitte dank neuester Technologie nur noch 3,5 % Antimon aufweisen, unterscheiden sich bezüglich Stromkonsum und Wasserverbrauch nicht mehr markant von antimonfreien Planté-Akkumulatoren. Die günstigeren Werte der

10 Remarques finales

101 Remarques concernant la tension optimale de maintien de charge

Aucun fait nouveau n'incite à modifier la valeur reconvenue et normée de la tension de maintien de charge de $2,23 \text{ V} \pm 1 \%$ pour les accumulateurs à plaques tubulaires avec une densité d'électrolyte de $1,24 \text{ g/cm}^3$. Cette tension est plus grande que la valeur optimale théorique de $2,17 \text{ V}$ [5]. Elle se justifie cependant sur la base des:

- variations de tension des redresseurs
- variations de la température ambiante
- écarts de la densité de l'électrolyte par rapport à la valeur nominale.

En outre, elle garantit qu'une sulfatation consécutive à une sous-tension ne puisse pas se produire, même pour des accumulateurs dont les grilles positives présentent une concentration importante d'antimoine.

Les types spéciaux comme par exemple les accumulateurs à courant élevé ou compacts ainsi que les types avec densité accrue subissent des réductions de la durée de vie. Lorsque la densité est accrue, il faudrait appliquer une tension de maintien de charge plus élevée. Or cette modification est incompatible avec le concept ayant fait ses preuves au sein de l'Entreprise des PTT, selon lequel les conditions d'exploitation sont normées.

102 Comparaisons entre accumulateurs à plaques tubulaires, accumulateurs Planté et types spéciaux

Les accumulateurs à plaques tubulaires, dont les grilles positives ne contiennent – grâce aux technologies les plus récentes – plus que 3,5 % d'antimoine, ne se distinguent, en ce qui concerne les consommations de courant et d'eau, plus guère des accumulateurs Planté exempts d'antimoine. Les caractéristiques plus favorables de ces derniers se traduisent par des dimensions hors tout, par conséquent des poids et dans certaines conditions aussi par des prix plus élevés.

Les types spéciaux, tels les accumulateurs à plaques tubulaires à grilles positives sans antimoine et les accumulateurs Planté à alliages spéciaux, sont également plus coûteux que les exécutions normales. Leur utilisation dans les dispositifs d'alimentation des installations des télécommunications ne s'impose pas.

103 Remarques concernant les déviations des tensions des éléments

Les mesures des tensions des éléments montrent que les valeurs individuelles pour des accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine peuvent présenter des écarts par rapport à la moyenne de l'accumulateur allant jusqu'à 20 mV, en général les écarts sont cependant inférieurs à 10 mV. La valeur de 20 mV mentionnée correspond à la déviation de $\pm 1 \%$ de la tension nominale; elle est ainsi tolérable.

Dans le cas des accumulateurs Planté au plomb pur, les déviations sont en moyenne 3 fois plus grandes. Les accumulateurs Planté contenant du calcium se situent entre les accumulateurs Planté exempts d'antimoine et

letzteren müssen durch grössere Abmessungen und damit grösseres Gewicht, unter Umständen auch durch höheren Preis, erkauft werden.

Spezialtypen, wie die Röhrenplatten-Akkumulatoren mit antimonfreien positiven Gittern und die Planté-Akkumulatoren mit Speziallegierungen, sind ebenfalls teurer als Normalausführungen. Ihr Einsatz für die Dauerstromversorgung in Fernmeldeanlagen drängt sich nicht auf.

103 Bemerkungen zu den Zellenspannungsunterschieden

Die Resultate der Zellenspannungsmessungen zeigen, dass die Einzelzellen von antimonhaltigen Röhrenplatten-Akkumulatoren über kürzere oder längere Zeiten bis zu 20 mV vom Mittelwert aller Zellen eines Akkumulators abweichen können; im allgemeinen beträgt jedoch die Abweichung weniger als 10 mV. Die erwähnten 20 mV entsprechen der für die Nennspannung zugelassenen Abweichung von $\pm 1\%$ und sind tolerierbar.

Bei Reinblei-Planté-Akkumulatoren sind die Zellenspannungsabweichungen durchschnittlich 3mal grösser. Calciumlegierte Planté-Akkumulatoren nehmen eine Mittelstellung zwischen antimonfreien Planté- und antimonhaltigen Röhrenplatten-Akkumulatoren ein.

Dass antimonfreie Legierungen oder Reinblei zu grösseren Zellenspannungsunterschieden führen, ist bekannt. Die gleichmässigeren und kleineren Spannungsunterschiede bei antimonhaltigen Legierungen sind auf ihre definierte kristalline Struktur zurückzuführen sowie auf den durch das Antimon gewährleisteten einwandfreien Verbund zwischen Gitter und aktiver Masse. Von den antimonfreien Sonderlegierungen (ASTAG und Blei/Calcium) erwartet man dieselbe gute Wirkung, aber ohne den Nachteil des Antimons.

In mehrzelligen Batterien treten im Laufe der Zeit immer wieder spannungsmässige Platzwechsel auf (vergl. Fig. 10 und 11). Dies ist als normale Erscheinung oder sogar als erwünscht zu bewerten; dadurch wird verhindert, dass Zellenspannungen individuell divergieren.

104 Bemerkungen zu den technologischen Verbesserungen bei Röhrenplatten-Akkumulatoren

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass einzelne Typen oder Fabrikate im günstigen Sinn ausserhalb der dargestellten Streubereiche für Stromkonsum oder Wasserverbrauch liegen. Dies kann eindeutig besonderen technologischen Massnahmen zugeschrieben werden, die jeweils nur angedeutet wurden. Aber abgesehen von diesen «Fabrikationsgeheimnissen» wurden in den letzten Jahren offensichtliche Verbesserungen vorgenommen, besonders an Röhrenplatten-Akkumulatoren. Darunter fallen in erster Linie die Herabsetzung des Antimongehalts auf etwa 3,5 % und die Verwendung chlorfreier Röhren, Röhrentaschen und Separatoren. Der Schwebeladungsstrom, der Wasserverbrauch und die Korrosionsgeschwindigkeit der positiven Bleiseelen werden dadurch wesentlich verringert. Es ist somit den Akkumulatorenherstellern gelungen, die Lebensdauer von Röhrenplatten-Akkumulatoren weiter zu erhöhen und die Wartung zu vereinfachen.

les accumulateurs à plaques tubulaires contenant de l'antimoine.

Il est connu que les alliages sans antimoine ou le plomb pur conduisent à des écarts des tensions d'éléments plus grands. Les écarts plus petits et plus réguliers des alliages à l'antimoine sont dus à leur structure cristalline définie ainsi qu'à l'excellente qualité du contact entre la grille et la masse active, provenant de l'antimoine. On attend le même effet positif de la part des alliages spéciaux sans antimoine (ASTAG et plomb/calcium), sans craindre toutefois les inconvénients de l'antimoine.

Pour les batteries à plusieurs éléments, on constate toujours des changements de place sans l'ordre des tensions au cours du temps (fig. 10 et 11). Ce phénomène est à considérer comme normal et même désirable car il empêche une divergence individuelle des tensions des éléments.

104 Remarques concernant les améliorations technologiques des accumulateurs à plaques tubulaires

Il a déjà été indiqué que certains types se situent à l'extérieur des plages de variation, dans un domaine de valeurs favorables en ce qui concerne les consommations de courant et d'eau. Cela peut être attribué de manière univoque à certaines mesures technologiques particulières dont il n'a été fait qu'une brève mention. Mais en dehors de ces «secrets de fabrication», des améliorations clairement visibles ont été réalisées, en particulier pour les accumulateurs à plaques tubulaires. En font partie, en premier lieu, la réduction de la quantité d'antimoine à environ 3,5 %, ainsi que l'utilisation de tubes, de pochettes et de séparateurs exempts de chlore. Grâce à cela, le courant de charge flottante, la consommation d'eau et la rapidité avec laquelle les tiges positives se corrodent sont fortement réduits. Les fabricants ont ainsi réussi à augmenter la durée de vie des accumulateurs à plaques tubulaires et à en simplifier l'entretien.

Bibliographie

- [1] Gerber Th. Ermittlung der optimalen Ladungserhaltungsspannung von Röhrenbatterien. Bern, Techn. Mitt. PTT 45 (1967) 5, S. 276. – Détermination de la tension optimale de maintien de la charge de batteries à électrodes tubulaires. Bern, Techn. Mitt. PTT 46 (1968), 3, S. 128...134.
- [2] Gerber Th. Lebensdaueruntersuchungen an Röhrenplatten-Akkumulatoren für stationären Betrieb. – Essais de durée de vie concernant des accumulateurs stationnaires à électrodes tubulaires. Bern, Techn. Mitt. PTT 54 (1976) 6 und 7, S. 190...205 und 275...283.
- [3] Graf H. Erfordernisse und technische Lösungen im Bereich der PTT-Betriebe. Zürich, Bull. SEV 63 (1972) 21, S. 1225...2133.
- [4] Baumgartner H. Die Antimonvergiftung von Bleiakumulatoren. Oerlikon, Mitt. der Akkumulatorenfabrik Oerlikon, Nr. 4.
- [5] Ruetschi P. und Gerber Th. Performance of Stationary Tubular Lead-Acid Batteries in Float Service. Progress in Batteries & Solar Cells, Vol. 3 (1980), p. 197...200.