

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: 54 (1976)

Heft: 7

Artikel: Lebensdaueruntersuchungen an Röhrenplatten-Akkumulatoren für stationären Betrieb = Essais de durée de vie concernant des accumulateurs stationnaires à électrodes tubulaires

Autor: Gerber, Theodor

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875842>

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>

Lebensdaueruntersuchungen an Röhrenplatten-Akkumulatoren für stationären Betrieb¹

Essais de durée de vie concernant des accumulateurs stationnaires à électrodes tubulaires¹

Theodor GERBER, Bern

621.355.2:620.69.1

6 Ergebnisse des Zusatzversuchs mit Zellen von 600 Ah

61 Vorbemerkungen

Der Zusatzversuch diente der Abklärung, ob sich kleine und grosse Akkumulatoren unter gleichen Bedingungen gleich verhalten. A priori ist anzunehmen, dass spezifische Grössen (zum Beispiel Strom, Wasserverbrauch) kapazitätsunabhängig sind. Bezüglich Korrosion und Lebensdauer ist dies nicht sicher, weil zwischen Kapazität und korrosionsgefährdeten Oberflächen keine lineare Beziehung besteht.

Der Aufwand für einen vollständigen Parallelversuch (6 verschiedene Spannungen) hätte sich nicht rechtfertigen lassen, weshalb alle Zellen an die gleiche Spannung angeschlossen wurden. Diese betrug:

- während der ersten 3 Jahre 2,30 V
- während der restlichen Versuchsdauer 2,20 V

Mit der höheren Anfangsspannung liess sich eine bewusste Zeitraffung für den Nebenzweck der Typenprüfung erreichen. Ausserdem lieferte der Betrieb mit zwei verschiedenen Spannungen Informationen, die sonst nicht angefallen wären.

62 Kapazität, Lebensdauer, Güteziffer

Diese charakteristischen Werte betragen für die 600-Ah-Zellen:

Lebensdauer (für C = 50%)	$T_c = 12,5 \dots 13$ Jahre
Mittlere Kapazität	$C = 0,8 \dots 0,9 \cdot C_0$
Güteziffer	$G = 10 \dots 12$

Diese Werte gelten für eine Spannung von 2,20 V, wobei zur Kompensation des 2,30-V-Betriebes während der drei ersten Jahre eine Gutschrift von 50% vorgenommen und damit dieses Zeitintervall auf 4,5 Jahre verlängert wurde. Der Verlängerungsfaktor lässt sich aus Figur 2, mittlere T_c -Kurve, ermitteln.

Zwischenbilanz

- Lebensdauer und Güteziffer stimmen praktisch mit denjenigen der 20-Ah-Zellen überein (vgl. Abschnitt 52).
- Die etwas kleinere mittlere Kapazität ist auf fehlenden Kapazitätsanstieg der ersten Jahre zurückzuführen.

63 Strom, Spannung, Antimoneinfluss

Aus Tabelle VII geht erwartungsgemäss hervor, dass der Strom mit zunehmendem Alter wegen des Antimoneinflusses ansteigt, bei harten negativen Platten langsamer als bei weichen. Im übrigen ist aus den Kolonnen «Strommittel-

6 Résultats de l'essai supplémentaire portant sur des éléments de 600 Ah

61 Remarques préliminaires

L'essai supplémentaire avait pour but de vérifier si, à conditions égales, les petits et les grands accumulateurs se comportent de la même manière. A priori, on peut admettre que les grandeurs spécifiques, telles que le courant et la consommation d'eau, par exemple, sont indépendantes de la capacité. Ce n'est, en revanche, pas certain pour la corrosion et la durée de vie, vu qu'il n'existe pas de relation linéaire entre la capacité et les surfaces exposées à la corrosion.

Les moyens qu'il eût fallu mettre en œuvre pour réaliser un essai en parallèle complet (6 tensions différentes) n'auraient pu se justifier. C'est la raison pour laquelle tous les éléments furent raccordés à la même tension, qui était:

- pendant les 3 premières années de 2,30 V
- durant la période d'essai restante de 2,20 V

La tension initiale plus élevée permit de réaliser sciemment des essais accélérés conformément à l'objectif secondaire de l'essai des types. En utilisant deux tensions différentes, on put en outre recueillir des informations qui eussent sans cela été perdues.

62 Capacité, durée de vie, indice de qualité

Les éléments de 600 Ah présentent les valeurs caractéristiques suivantes:

Durée de vie (pour C = 50%)	$T_c = 12,5 \dots 13$ ans
Capacité moyenne	$C = 0,8 \dots 0,9 \cdot C_0$
Indice de qualité	$G = 10 \dots 12$

Ces valeurs s'appliquent à une tension de 2,20 V, la compensation pour le service à 2,30 V effectué pendant les trois premières années ayant été faite par une majoration de 50%, ce qui porta la durée prise en considération à 4,5 ans. La courbe T_c correspondant à la moyenne (fig. 2) permet de déterminer ce facteur de prolongation.

Bilan intermédiaire

- La durée de vie et l'indice de qualité sont pratiquement identiques à ceux des éléments de 20 Ah (cf. paragraphe 52).
- La capacité moyenne quelque peu plus faible est imputable au fait que, durant les premières années, il ne s'est pas produit d'augmentation de capacité.

63 Courant, tension, influence de l'antimoine

Le tableau VII montre, et l'on s'y attendait, qu'en raison de l'influence de l'antimoine, le courant augmente avec l'âge

¹1. Teil und Bibliographie sind in den Technischen Mitteilungen PTT Nr. 6/1976 erschienen

¹La première partie de cet article et la Bibliographie ont été publiées dans le numéro 6/1976 du Bulletin technique PTT

Tabelle VII. Strom in Abhängigkeit von Alter, Antimongehalt und Plattenhärte
 Tableau VII. Courant en fonction de l'âge, de la teneur en antimoine et de la dureté des plaques

Versuchsdauer Jahre	Spannung Volt	Strom (mA/Ah) für 600 Ah-Zellen Courant (mA/Ah) pour éléments de 600 Ah		Strommittelwerte (mA/Ah) Valeurs moyennes des courants (mA/Ah)	
Durée des essais en années	Tension en volts	11/6,5% Sb ¹ Harte Platten Plaques dures	8,5/8,5% Sb ¹ Weiche Platten Plaques tendres	600 Ah-Zellen Éléments de 600 Ah	20 Ah-Zellen Éléments de 20 Ah
1	} 2,30	0,9	1,4	1,1	1,8
3		2,5	5,5	4,0	4,5
6	} 2,20	0,7	1,9	1,2	1,2
9		0,9	2,1	1,5	1,7
12		1,6	3,5 ²	2,5	3,3

¹ 1. Wert für positive Gitter, 2. Wert für negative Gitter – 1^{re} valeur pour grilles positives, 2^e valeur pour grilles négatives

² Extrapoliert – Par extrapolation

werte 600-Ah- und 20-Ah-Zellen» ersichtlich, dass die spezifischen Ströme für beide Zellengrößen nahezu übereinstimmen. Der am Schluss stärkere Anstieg bei den kleinen Zellen ist durch ihre etwas kürzere Lebensdauer bedingt.

Zwischenbilanz

- Die spezifischen Ströme sind bei gleicher Spannung und gleichem Antimongehalt – global betrachtet – unabhängig vom Kapazitätswert.
- Eine Spannungsabsenkung von 50 mV bewirkt eine Stromreduktion von rund 35%. (Bei den 20-Ah-Zellen: Stromreduktion 50% bei 50 mV Spannungsabsenkung.)
- Die nachteilige Auswirkung der «Antimonvergiftung» bestätigt sich auch bei grossen Zellen, ebenfalls der Einfluss der Härte der negativen Platten.

64 Stromänderung

Die in Abschnitt 54 als Zuwachsraten definierten Stromänderungen I' sind für die 600-Ah-Zellen in Tabelle VIII zusammengestellt. Wichtiger als der zahlenmässige Vergleich zwischen den beiden Zellengrößen ist die Bestätigung, dass bei der zu hohen Spannung von 2,30 V die Zuwachsraten ansteigen, nach etwa 10 Jahren «altershalber» auch bei 2,20 V. In den «guten Jahren» sind sie klein und konstant.

Zwischenbilanz

- Das Kriterium der Zuwachsraten für die Beurteilung der Spannung und des Akkumulatorenzustandes erweist sich auch hier als aussagekräftig.

Tabelle VIII. Stromzuwachsrate für 600 Ah- und 20 Ah-Zellen
 Tableau VIII. Taux d'accroissement des courants pour éléments de 600 Ah et 20 Ah

Versuchsdauer Jahre	Spannung Volt	Jährlicher Stromzuwachs in mA/Ah Accroissement de courant en mA/Ah par an	
Durée des essais en années	Tension en volts	600 Ah-Zellen Éléments de 600 Ah	20 Ah-Zellen Éléments de 20 Ah
1	} 2,30	0,5	0,8
2		0,9	1,2
3		1,8	1,5
4	} 2,20	0,05	0,1
6		0,05	0,1
8		0,05	0,2
10		0,05	0,3
11		0,1	0,6
12		0,3	1,0
13		0,8	1,5

des éléments. Cet effet est plus lent pour des plaques négatives à masse dure que lorsque celle-ci est tendre. En outre, selon les colonnes «Valeurs moyennes des courants d'éléments de 600 Ah et 20 Ah», les courants spécifiques correspondant aux deux dimensions d'éléments coïncident à peu de choses près. L'augmentation plus forte en fin de vie pour les petits éléments est due à leur durée de vie quelque peu inférieure.

Bilan intermédiaire

- A tensions et teneurs en antimoine égales, les courants spécifiques sont – *vue globalement* – indépendants de la valeur de la capacité.
- Un abaissement de tension de 50 mV conduit à une réduction du courant de quelque 35%. (Éléments de 20 Ah: réduction du courant de 50% pour un abaissement de tension de 50 mV.)
- La dégradation par l'antimoine est confirmée également pour les grands éléments, de même que l'influence de la dureté des plaques négatives.

64 Modification de courant

Les modifications de courant I' définies par les taux d'accroissement dans le paragraphe 54 sont récapitulées dans le tableau VIII pour les éléments de 600 Ah. Le plus important dans ce tableau n'est pas de comparer les chiffres relatifs aux deux grandeurs d'éléments, mais plutôt de voir se confirmer l'augmentation des taux d'accroissement à la tension trop élevée de 2,30 V, comme à celle de 2,20 V d'ailleurs, après quelque 10 ans (vieillesse). Durant les «bonnes années», les variations de courant sont faibles et constantes.

Bilan intermédiaire

- Le critère des taux d'accroissement est aussi valable dans ce cas pour juger de la tension et de l'état d'un accumulateur.

65 Consommation d'eau, densité d'acide, acide perchlorique

La consommation d'eau annuelle par élément est très semblable à celle qui s'applique aux éléments de 20 Ah. Elle s'élève:

- pour 2,30 V, à 6...9...12 cm³/Ah pendant 3 ans
- pour 2,20 V, à 2...4... 6 cm³/Ah pendant 10 ans

Bien entendu, la densité d'acide reflète également dans ce cas l'allure de la capacité, notamment la chute de capacité, comme le montrent les chiffres suivants (valeurs indicatives):

Modification de capacité en % —20 —40 —60 —90
 Modification de densité en g/cm³ —0,03 —0,05 —0,07 —0,10

65 Wasserbedarf, Säuredichte, Perchlorsäure

In weitgehender Übereinstimmung mit den für die 20-Ah-Zellen gültigen Werten (siehe Abschnitt 55) findet man für den jährlichen Wasserverbrauch je Zelle:

- bei 2,30 V 6...9...12 cm³/Ah während 3 Jahren
- bei 2,20 V 2...4...6 cm³/Ah während 10 Jahren

Die Säuredichte widerspiegelt selbstverständlich auch hier den Kapazitätsverlauf, insbesondere den Kapazitätsabfall, wie die folgende Zusammenstellung zeigt (Richtwerte):

Kapazitätsänderung in %	-20	-40	-60	-90
Dichteänderung in g/cm ³	-0,03	-0,05	-0,07	-0,10

Schliesslich stimmen bei gleichen Akkumulatorenfabriken die Perchlorsäuregehalte überein. Nach 10 Jahren findet man

- ~ 200 mg/l als Kleinstwert
- ~2000 mg/l als Grösstwert

Das Verhältnis 1:10 ist dasselbe wie bei den 20-Ah-Typen. In Abschnitt 67, «Phänomenologische Untersuchungen», wird die Korrelation zwischen Perchlorsäuregehalt und Korrosionszustand der positiven Plattenteile beleuchtet.

Zwischenbilanz

- Spezifischer Wasserbedarf, Dichteänderung und Perchlorsäuregehalt des Elektrolyten sind, unter sonst gleichen Bedingungen, unabhängig von der Zellengrösse.

66 Innenwiderstand

Anders als bei den kleinen Zellen steigt der Innenwiderstand vor dem Erreichen des 50%-Kapazitätswertes deutlich an. In Figur 14 ist der prinzipielle Verlauf der Widerstandsänderung (ΔR , bezogen auf den Neuwert) für drei sich im zeitlichen Verlauf unterscheidende Fälle veranschaulicht.

Da die Innenwiderstände grosser Zellen klein (bei 600-Ah-Zellen: 0,4...0,6 m Ω) und genaue Innenwiderstandsmessungen nicht völlig problemlos sind [11], ist es realistisch, Widerstandszunahmen erst dann als signifikant zu betrachten, wenn sie mindestens 10% betragen. Aus Figur 14 erkennt man, dass bei rascher Kapazitätsabnahme (Kurve A) diese Grenze erst erreicht wird, wenn die Kapazität bereits auf die Hälfte ihres Anfangswertes gefallen ist. Verläuft die Abnahme langsamer (Kurven B und C), so besteht offenbar die Möglichkeit, rechtzeitig eine Ausfallprognose zu stellen.

Interessehalber sei noch nachgewiesen, dass Kapazität C und Innenwiderstand R «gesunder» Akkumulatoren der Bedingung

$$R \sim \frac{1}{C}$$

genügen:

- mit C = 20 Ah, R = 5...15 m Ω wird R · C = 100...300 m Ω · Ah
- mit C = 600 Ah, R = 0,4...0,6 m Ω wird R · C = 240...360 m Ω · Ah

Die Streuungen dürften durch konstruktive Unterschiede bedingt sein.

Zwischenbilanz

- Bei grossen Zellen sind Innenwiderstandszunahmen von mindestens 10% für Lebensdauerprognosen bedingt verwertbar.

Finalment, les teneurs en acide perchlorique d'accumulateurs de la même marque coïncident. Après 10 ans, on a mesuré

- ~ 200 mg/l en tant que valeur la plus faible
- ~2000 mg/l en tant que valeur la plus forte

Le rapport 1:10 est le même que pour les modèles de 20 Ah. Le paragraphe 67 «Investigations phénoménologiques» met en évidence la corrélation entre la teneur en acide perchlorique et le degré de corrosion des parties positives des plaques.

Bilan intermédiaire

- La consommation spécifique d'eau, la modification de densité d'acide et la teneur en acide perchlorique sont, à conditions égales, indépendantes de la grandeur des éléments.

66 Résistance interne

A l'encontre de ce qui se produit pour les petits éléments, la résistance interne s'accroît nettement avant que la valeur de capacité de 50% soit atteinte. L'allure de principe de la modification de résistance (ΔR relatif à la valeur correspondante à l'élément neuf) pour trois cas se comportant différemment dans le temps est représentée à la figure 14.

Vu que la résistance interne des grands éléments est faible (0,4...0,6 m Ω pour des éléments de 600 Ah) et qu'il est difficile de mesurer ces valeurs de manière tout à fait précise [11], il est réaliste de ne considérer comme significatives que les augmentations de 10% au moins. La figure 14 montre que, si la diminution de capacité est rapide (courbe A), cette limite n'est atteinte que si la capacité est déjà tombée à 50% de la valeur initiale. Si le fléchissement est plus lent (courbes B et C), il est manifestement possible d'établir à temps un pronostic de défaillance.

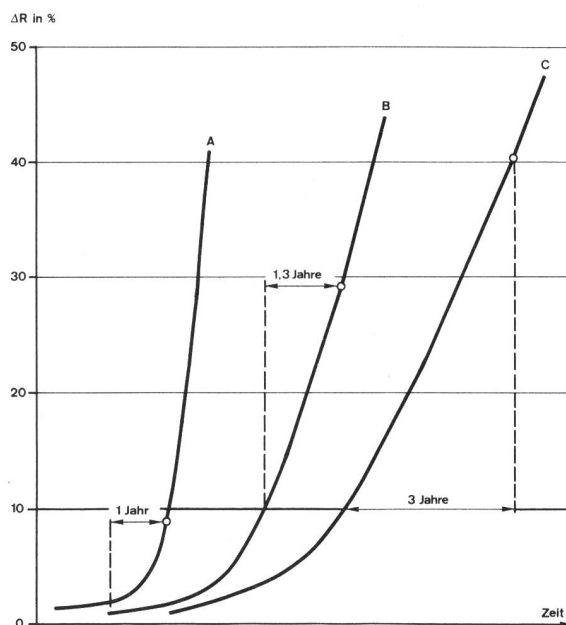


Fig. 14
Zeitliche Änderung des Innenwiderstandes von 600 Ah-Zellen - Modification de la résistance interne d'éléments de 600 Ah en fonction du temps
○ 50% der Anfangskapazität vorhanden - 50% de la capacité initiale
 ΔR in % - Δ en %
Jahre - Ans
Zeit - Temps

67 Phänomenologische Untersuchungen; Antimon- und Perchlorateinflüsse

Dank des Einbaus der Zellen in Glasgefäße konnte ihr Zustand laufend visuell überwacht werden. Wie bereits in Abschnitt 57 hervorgehoben, sind Zustand der Röhrrchen und Korrosionsgrad der positiven Plattenteile von besonderem Interesse.

An den Röhrrchen traten die ersten Schäden (einzelne Anrisse) nach insgesamt 7 Jahren auf. Nach 13 Jahren wiesen sie, je nach Fabrikat, allesamt kürzere Risse auf oder waren in ihrer ganzen Länge geborsten. Die Schäden sind somit bezüglich Schwere und zeitlichem Auftreten mit jenen der 20-Ah-Zellen vergleichbar.

Da sich Bleidioxidschichten nach Erreichen einer gewissen Dicke in Form von Schuppen ablösen, kann dieser Vorgang als Mass für die Korrosionsgeschwindigkeit betrachtet werden. In Tabelle IX sind die diesbezüglichen Beobachtungen an den positiven Plattenfahnen zusammengestellt. Da die Korrosion durch mehrere, zum Teil wieder voneinander abhängige Parameter (Strom, Antimon- und weitere Legierungszusätze, Perchlorsäure) beeinflusst wird, können aufgrund des vorliegenden beschränkten Beobachtungsmaterials keine allumfassenden Korrelationen aufgestellt werden. Der Einfluss des Perchlorsäuregehalts darf jedoch als gesichert gelten: wie aus Tabelle IX ersichtlich ist, verläuft die Korrosionsgeschwindigkeit bei grossem HClO₄-Gehalt rascher als bei mittlerem Gehalt, obschon sich die betreffen-

Il peut être intéressant de démontrer que la capacité C et la résistance interne R d'accumulateurs «sains» satisfont à la condition

$$R \sim \frac{1}{C}$$

- si C = 20 Ah, R = 5...15 mΩ, RC devient 100...300 mΩ · Ah
- si C = 600 Ah, R = 0,4...0,6 mΩ, RC devient 240...360 mΩ · Ah

Les écarts sont imputables à des différences de construction.

Bilan intermédiaire

- Pour de grands éléments, une augmentation de la résistance interne d'au moins 10% permet, dans certaines conditions, d'établir des pronostics de durée de vie.

67 Investigations phénoménologiques, influences dues à l'antimoine et au perchlorate

Vu que les éléments étaient montés dans des bacs de verre, il était possible de contrôler visuellement leur état de manière continue. Ainsi qu'il ressort du paragraphe 57, l'état des tubes et le degré de corrosion des parties des plaques positives présentent un intérêt particulier.

Les premiers dégâts aux tubes (quelques fissures) appaurent après sept ans. Après treize ans, suivant la marque de fabrique, tous les tubes présentaient de courtes fissures ou avaient éclaté sur toute la longueur. Tant la gravité des dégâts que leur apparition dans le temps peuvent être compa-

Tabelle IX. Zustand der positiven Plattenfahnen von 600 Ah-Zellen in Abhängigkeit von Strom und Perchlorsäuregehalt (HClO₄)

Tableau IX. Etat des fanions des plaques positives d'éléments de 600 Ah en fonction du courant et de la teneur en acide perchlorique (HClO₄)

Alter Jahre	Spannung Volt	Zellen mit kleinem HClO ₄ -Gehalt Eléments à faible teneur en HClO ₄			Zellen mit mittlerem HClO ₄ -Gehalt Eléments à teneur moyenne en HClO ₄			Zellen mit grossem HClO ₄ -Gehalt Eléments à forte teneur en HClO ₄		
		Strom Cou-rant	HClO ₄	Zustand der positiven Plattenfahnen	Strom Cou-rant	HClO ₄	Zustand der positiven Plattenfahnen	Strom Cou-rant	HClO ₄	Zustand der positiven Plattenfahnen
Age en années	Tension en volts	mA/Ah	mg/l	Etat des fanions des plaques positives	mA/Ah	mg/l	Etat des fanions des plaques positives	mA/Ah	mg/l	Etat des fanions des plaques positives
1	2,3	0,9	40	Oxidschicht unwesentlich Couche d'oxyde négligeable	1,1	120	1. Oxidschicht hat sich gebildet 1 ^{re} couche d'oxyde s'est formée	1,4	200	1. Oxidschicht ist abgeblättert 1 ^{re} couche d'oxyde s'est écaillée
3		2,5	80	1. Schicht hat sich gebildet 1 ^{re} couche s'est formée	4,5	300	1. Schicht beginnt abzublättern 1 ^{re} couche d'oxyde commence à s'écailler	5,5	600	2. Schicht hat sich gebildet 2 ^e couche s'est formée
5	2,2	0,7	110	1. Schicht ist abgeblättert 1 ^{re} couche s'est écaillée	1,7	600	1. Schicht ist abgeblättert 1 ^{re} couche s'est écaillée	1,9	1000	2. Schicht beginnt abzublättern 2 ^e couche commence à s'écailler
7		0,8	130	2. Schicht beginnt abzublättern 2 ^e couche commence à s'écailler	1,7	1100	2. Schicht hat sich gebildet 2 ^e couche s'est formée	2,0	1600	2...3 Schichten sind abgeblättert 2...3 couches se sont écaillées
9		0,9	170	2. Schicht ist abgeblättert 2 ^e couche s'est écaillée	1,8	1500	2. Schicht beginnt abzublättern 2 ^e couche commence à s'écailler	—	—	Zellen ausgefallen Eléments hors d'usage

den Ströme nicht wesentlich unterscheiden (Stromunterschied ca. 20%, Verhältnis der Korrosionsgeschwindigkeiten etwa 2:1).

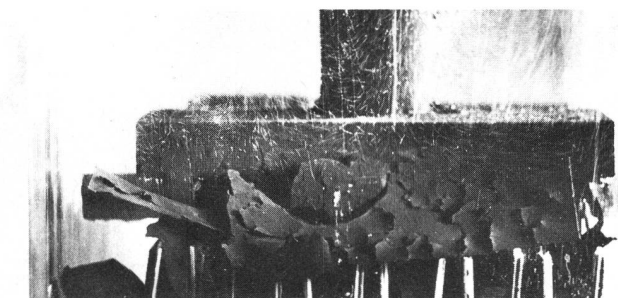
Die drei fotografischen Aufnahmen (Fig. 15a, b, c) veranschaulichen den Zustand der positiven Plattenbrücken und Polzapfen nach der erwähnten dreijährigen Versuchsdauer. In *Figur 15a* ist die vollständig abgeblätterte erste Oxidschicht, entstanden in der Zelle mit grösstem Strom und höchstem Perchlorsäuregehalt, ersichtlich. *Figur 15b* zeigt abgeblättertes Material derselben Zelle, welches vom Polzapfen stammt. Zum Vergleich ist in *Figur 15c* der Zellenoberteil eines Akkumulators mit kleinstem Strom und zugleich geringstem Perchlorsäuregehalt festgehalten; der positive Polzapfen (rechts im Bild) weist eine glatte, festhaftende Oxidschicht auf.

Zwischenbilanz

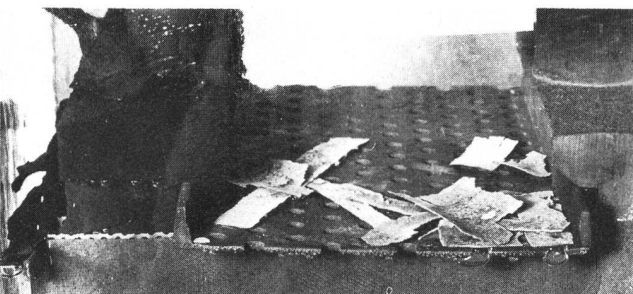
- Das Verhalten der Röhrcchen ist unter sonst gleichen Bedingungen weitgehend von der Plattengrösse unabhängig.
- Die Anwesenheit von Antimon ist verantwortlich für den zeitlich zunehmenden «Vergiftungsstrom».

Fig. 15

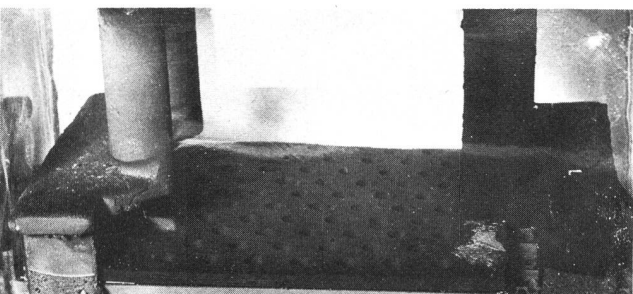
Zustand der positiven Plattenbrücken und der Polzapfen am Ende der Versuchsperiode – Etat des connexions entre plaques et des bornes à la fin de la période d'essai



a Vollständig abgeblätterte erste Oxidschicht, in der Zelle mit grösstem Antimon- und Perchlorsäuregehalt entstanden – Première couche d'oxyde complètement écaillée, apparue dans l'élément avec la plus grande teneur en antimoine et en acide perchlorique



b Abgeblättertes Material derselben Zelle, das vom Polzapfen stammt – Matériel écaillé du même élément en provenance de la borne



c Vergleichsaufnahme des Zellenoberteils eines Akkumulators mit dem kleinsten Gehalt an Antimon- und Perchlorsäure – Vue comparative de la partie supérieure de l'élément d'un accumulateur avec la teneur la plus faible en antimoine et en acide perchlorique

rées à l'évolution qui a été observée pour les éléments de 20 Ah.

Vu que les couches de dioxyde de plomb se détachent sous forme d'écaillés lorsqu'elles ont atteint une certaine épaisseur, on peut considérer ce phénomène comme une mesure de la vitesse de corrosion. Les observations relatives aux fanions de plaques sont récapitulées dans le *tableau IX*.

La corrosion dépend de plusieurs paramètres (courant, concentration d'antimoine et d'autres additifs, concentration d'acide perchlorique) en partie liés l'un à l'autre. Pour cette raison et parce que les observations ont été limitées, il n'est pas possible d'établir des corrélations englobant toutes les influences. Celle de l'acide perchlorique peut cependant être considérée comme sûre. Le *tableau IX* montre que la corrosion se produit plus rapidement lorsque la concentration de HClO_4 est grande. Bien que les courants correspondant à des concentrations grande et moyenne ne diffèrent que d'environ 20%, la vitesse de corrosion varie en gros d'un facteur 2.

Les trois photographies (fig. 15a, b, c) illustrent l'état des porte-tiges positifs et des bornes après la période de 3 ans évoquée. La *figure 15a* montre la première couche d'oxyde entièrement écaillée de l'élément pour lequel le courant était le plus grand et qui présentait la plus forte teneur en acide perchlorique. Sur la *figure 15b*, on voit de l'oxyde écaillé, dans le même élément, qui provient de la borne. A titre de comparaison, la *figure 15c* représente la partie supérieure de l'élément d'accumulateur ayant le plus petit courant et la plus faible teneur en acide perchlorique; la borne positive (à droite sur l'image) est couverte d'une couche d'oxyde lisse et adhérente.

Bilan intermédiaire

- A conditions égales, le comportement des tubes est dans une large mesure indépendante de la dimension des plaques.
- La présence d'antimoine est responsable du «courant de dégradation» qui croît avec le temps.
- La valeur de ce courant ne dépend, du moins dans le domaine considéré ici, pas de la concentration de l'antimoine.
- Les plaques négatives de faible dureté sont particulièrement sensibles à l'antimoine. C'est pourquoi l'augmentation du courant et la vitesse de la corrosion sont grandes.

7 Durée de vie des premiers accumulateurs à électrodes tubulaires utilisés dans l'exploitation

Ce paragraphe, qui a valeur d'évocation, est consacré aux premiers accumulateurs fabriqués en Suisse et mis en service dans des *centraux téléphoniques*. Il y a très exactement vingt ans que de telles batteries ont été installées dans les centraux téléphoniques de Jegenstorf et de Münchenbuchsee. Les données qui suivent peuvent être intéressantes, non seulement pour marquer ce modeste anniversaire, mais aussi parce que les capacités et les modifications phénoménologiques ont pu être observées régulièrement. Certains éléments ont de plus été transférés en laboratoire à des fins d'essais.

Batterie de Jegenstorf

Capacité nominale	180 Ah
Juillet 1956	Mise en service; tout d'abord 3 ans en régime de charge-décharge, puis durant 6½ ans en tampon

- Die Grösse dieses Stromes hängt, wenigstens in dem hier vorkommenden Bereich, nicht vom Antimongehalt ab.
- Weiche negative Platten sind gegenüber Antimoneinflüssen besonders empfindlich; Stromanstieg und Korrosionsgeschwindigkeit sind deshalb entsprechend gross.

7 Lebensdauer der ersten betriebsmässig eingesetzten Röhrenplatten-Akkumulatoren

Dieses als Reminiszenz zu betrachtende Kapitel ist den ersten in der Schweiz hergestellten und in Telefonzentralen eingesetzten Röhrenplatten-Akkumulatoren gewidmet. Es sind nun gerade 20 Jahre her, dass derartige Batterien in den Zentralen Jegenstorf und Münchenbuchsee in Betrieb kamen. Nicht nur wegen dieses kleinen Jubiläums dürften die folgenden Ausführungen auf Interesse stossen, sondern auch deshalb, weil diese Batterien während ihres Einsatzes immer wieder bezüglich Kapazität und phänomenologischer Änderungen untersucht und einzelne Zellen noch in einen Laboratoriumsversuch genommen werden konnten.

Batterie Jegenstorf

Nennkapazität	180 Ah
Juli 1956	Inbetriebnahme; vorerst 3 Jahre im Lade-Entlade-Betrieb, dann während 6½ Jahren im Pufferbetrieb.
Ende 1965	Ausserbetriebnahme in Jegenstorf zwecks Verlegung in die Telefonzentrale Wasen.
Mai 1966	Inbetriebnahme in Wasen, Schwebeladung bei 2,21...2,24 V. Kapazität: 50...70% des Nennwertes.
Juli 1970	Aus Sicherheitsgründen (Kapazität $\leq 50\%$) mit neuer Batterie parallel geschaltet.
Juli 1973	Batterie in Wasen ausser Betrieb genommen. (Dieser Zeitpunkt ist nicht als verbindlicher Termin für die betriebsmässig erreichte Lebensdauer zu betrachten.)

Laboratoriumsversuch:

Mai 1966	3 Zellen in Konstantspannungsbetrieb mit 2,23 V genommen.
August 1970	Laborversuch beendet, Zellen demontiert. Nach total 13 Jahren ist die Kapazität endgültig kleiner als 50%.

Die erreichte Lebensdauer von 13 Jahren ist trotz den in den ersten 10 Jahren nicht durchwegs idealen Betriebsbedingungen vergleichbar mit den Ergebnissen der Laboratoriumsversuche (siehe Abschnitte 52 und 62).

Batterie Münchenbuchsee

Nennkapazität	180 Ah
Juli 1956	Inbetriebnahme; während des 11jährigen Einsatzes in Münchenbuchsee mit Kippdrosselgerät und Gegenzelle betrieben, Spannung $\sim 2,10... \sim 2,15$ V. Jährliche Starkladungen!
November 1967	Verlegung und Inbetriebnahme in der Telefonzentrale Gondiswil. Schwebeladungsbetrieb mit 2,23 V $\pm 1\%$. Kapazität 80...90% des

Fin 1965	Mise hors service à Jegenstorf et transfert au central téléphonique de Wasen
Mai 1966	Mise en service à Wasen en régime de charge flottante à 2,21...2,24 V. Capacité: 50...70% de la valeur nominale
Juillet 1970	Connexion en parallèle avec une nouvelle batterie pour des raisons de sécurité (capacité $\leq 50\%$)
Juillet 1973	Batterie mise hors service à Wasen (cette date ne renseigne pas de manière déterminante sur la longévité atteinte en exploitation)
<i>Essai de laboratoire:</i>	
Mai 1966	3 éléments exploités à une tension constante de 2,23 V
Août 1970	Essai de laboratoire terminé, éléments démontés. Après 13 ans de service, la capacité est définitivement tombée au-dessous de 50%.

Bien que les conditions d'exploitation n'aient pas été idéales, la longévité atteinte est comparable à celle qui a été obtenue lors des essais de laboratoire (voir 52 et 62)

Batterie de Münchenbuchsee

Capacité nominale	180 Ah
Juillet 1956	Mise en service; exploitée durant 11 ans à Münchenbuchsee à l'aide d'un dispositif de charge avec bobine de choc à induction variable et élément de force contre-électromotrice, tension $\sim 2,10... \sim 2,15$ V. Charges poussées annuelles!
Novembre 1967	Transfert et mise en service dans le central téléphonique de Gondiswil. Service en charge flottante à 2,23 $\pm 1\%$. Capacité: 80...90% de la valeur effective à neuf (valeur à neuf supérieure à la valeur nominale)
Septembre 1973	Batterie de Gondiswil mise hors service. Capacité probablement inférieure à 50% (voir essai de laboratoire)

Essai de laboratoire:

Décembre 1967	3 éléments exploités à la tension constante de 2,25 V
Août 1970	Essai de laboratoire terminé, éléments démontés. Après 14 ans au total, la limite de 50% de la capacité à neuf est atteinte.

La durée de vie quelque peu plus longue que celle de la batterie de Jegenstorf peut être imputée au fait que la batterie a été ménagée dès le début par une exploitation sous une tension en fait trop basse (ce qui a été compensé par des charges poussées!).

8 Résultats de recherches menées sur le plan international

Durant les deux dernières décennies, des connaissances approfondies ont été acquises dans le domaine de la cinéti-

	effektiven Neuwertes (Neuwert > Nennwert).
September 1973	Batterie in Gondiswil ausser Betrieb genommen. Kapazität vermutlich < 50% (vgl. Laboratoriumsversuch).
<i>Laboratoriumsversuch:</i>	
Dezember 1967	3 Zellen in Konstanzspannungsbetrieb mit 2,25 V genommen.
August 1970	Laborversuch beendet, Zellen demontiert. Nach total 14 Jahren ist die 50%-Grenze des Kapazitätsneuwertes erreicht.

Die im Vergleich zur Batterie Jegenstorf etwas längere Lebensdauer dürfte auf den von Anfang an schonenderen Betrieb mit eigentlich zu tiefer Spannung (durch Starkladungen kompensiert!) zurückzuführen sein.

8 Forschungsergebnisse auf internationaler Ebene

Während der beiden letzten Jahrzehnte sind vertiefte Erkenntnisse über die Kinetik elektrochemischer Vorgänge im Bleiakкумуляtor erarbeitet worden. In diese Zeit fällt auch die Entdeckung, dass in der formierten positiven Masse nicht nur eine, sondern zwei Bleidioxid-Modifikationen vorliegen, nämlich ausser dem β -PbO₂ noch α -PbO₂ [16, 17]. Diese Feststellung löste weitere Forschungen aus, unter anderem über Bildung und Abbau des PbO₂, über elektrochemische Potentialverhältnisse [18] sowie über Korrosions- und Selbstentladungsvorgänge [19, 20]. Viele dieser Untersuchungen sind primär von wissenschaftlichem Interesse, führten aber auch zu technologisch nutzbaren Ergebnissen, wie zum Beispiel zu theoretischen Werten der optimalen Ladungserhaltungsspannung. Entsprechende Untersuchungen werden seit einigen Jahren auch in Japan durchgeführt [12, 13]. Die wichtigsten Erkenntnisse sind nachfolgend zusammengefasst; sie gelten, falls nichts anderes vermerkt ist, für eine Säuredichte von 1,24 g/cm³.

Damit die Selbstentladung der negativen Platten verunmöglicht wird, muss die Zellenspannung grösser als 2,081...2,088 V sein. (Der Selbstentladungsvorgang mit anschliessender Sulfatierung findet wegen der in negativen Platten stets vorhandenen Lokalelementen statt.) Diese Spannung ist jedoch für die positiven Platten nicht ideal. Ihre nicht zu verhindernde Korrosion verläuft am langsamsten, wenn der dafür verantwortliche Korrosionsstrom minimal ist. Dies ist der Fall, wenn das Einzelpotential der positiven Bleielektroden, gemessen gegen eine Hg/Hg₂SO₄-Bezugselektrode, zwischen +1,18 V und 1,20 V liegt, was einer Zellenspannung von 2,16...2,18 V entspricht. Diese Spannung ist also höher als für die negativen Platten notwendig. Für eine Säuredichte von 1,215 g/cm³ liegt die optimale Spannung etwas tiefer, nämlich bei 2,14...2,16 V.

Es wurde festgestellt, dass bei 2,15 V und der Dichte 1,24 g/cm³ im Verlauf von zwei Jahren bereits ein merklicher Kapazitätsverlust stattfindet. Durch immer wieder durchgeführte periodische Nach- und Ausgleichladungen kann er rückgängig gemacht werden. Dies steht in Einklang mit den in Abschnitt 52 festgehaltenen Beobachtungen an 20-Ah-Akkumulatoren, die sich bei 2,15 V ebenso verhielten.

Von praktischem Interesse ist noch, dass die Konstanzspannung von 2,18 V genügt, um eine entladene Batterie in

que des phénomènes électrochimiques propres à l'accumulateur au plomb. Pendant cette époque, on a aussi découvert que deux variétés du bioxyde de plomb, et non pas une, se produisaient dans la masse positive formée, à savoir l' α -PbO₂ en plus du β -PbO₂ [16, 17]. Ces constatations ont conduit à d'autres recherches, notamment sur la formation et la décomposition du PbO₂, sur les potentiels électrochimiques [18] ainsi que sur les phénomènes de corrosion et d'autodécharge [19, 20]. Beaucoup de ces recherches présentent surtout un intérêt scientifique, mais ont aussi fourni des résultats utiles au point de vue de la technologie, comme les valeurs théoriques relatives à la tension optimale de maintien de la charge. Depuis quelques années, des recherches dans ce sens ont également été entreprises au Japon [12, 13]. Les principaux résultats sont récapitulés ci-après et s'appliquent, sauf spécification contraire, à une densité d'acide de 1,24 g/cm³.

Afin que l'autodécharge des plaques négatives soit empêchée, il faut que la tension par élément soit supérieure à 2,081...2,088 V (le processus d'autodécharge suivi de la sulfatation se produit en raison des éléments locaux qui existent toujours dans les plaques négatives). Cette tension n'est cependant pas idéale pour les plaques positives, dont la corrosion progresse le plus lentement lorsque le courant de corrosion est minimal. Tel est le cas, quand le potentiel des électrodes positives en plomb, mesuré par rapport à une électrode de référence à Hg/Hg₂SO₄, varie entre + 1,18 V et 1,20 V, ce qui correspond à une tension par élément de 2,16...2,18 V. Cette tension est donc plus élevée qu'il n'est nécessaire pour les plaques négatives. La tension optimale correspondant à une densité de 1,215 g/cm³ se situe un peu plus bas, à savoir vers 2,14...2,16 V.

Il a été constaté qu'une perte de capacité sensible se produisait déjà au cours des deux premières années à la tension de 2,15 V et à la densité d'acide de 1,24 g/cm³. On peut récupérer la capacité en répétant périodiquement des recharges et des charges d'égalisation. Cette constatation coïncide avec les observations faites au sujet d'accumulateurs de 20 Ah, qui se comportaient de la même manière à 2,15 V (paragraphe 52).

Le fait de savoir qu'une tension de 2,18 V suffit à recharger en 24 heures à 75% de sa capacité une batterie déchargée et en 3 jours à 90% présente aussi un intérêt pratique. A 2,23 V, la charge est bien entendu plus rapide et atteint environ 70% en 6 heures et 90% en 9 heures [10].

9 Conclusions et perspectives

91 Conclusions générales

- Les connaissances acquises antérieurement, fondées sur des essais de cinq ans [5], ont été confirmées dans une large mesure.
- Il est permis d'affirmer que les résultats acquis avec de petits accumulateurs (20 Ah) s'appliquent aussi à des modèles plus grands (600 Ah). Voir à ce propos les bilans intermédiaires 63 et 65.
- Il en va de même de la durée de vie (voir bilan intermédiaire 62). En pratique, on peut présumer une durée de vie supérieure de 1...2 années, vu que la limite de capacité de 50% ne constitue pas le critère déterminant de mise hors service (voir paragraphe 7).

24 Stunden auf etwa 75%, in 3 Tagen auf über 90% ihrer Kapazität aufzuladen. Bei 2,23 V geschieht dies natürlich schneller: in 6 Stunden auf etwa 70%, in 9 Stunden auf etwa 90% [10].

9 Schlussfolgerungen und Ausblick

91 Folgerungen allgemeiner Art

- Die früher gewonnenen, sich auf eine fünfjährige Versuchsdauer stützenden Erkenntnisse [5] bestätigen sich weitgehend.
- Die Frage, ob Ergebnisse, die an kleinen Akkumulatoren (20 Ah) gewonnen wurden, auf grössere Typen (600 Ah) übertragen werden dürfen, kann bejaht werden (siehe Zwischenbilanzen zu 63 und 65).
- Dies gilt auch für die Lebensdauer (siehe Zwischenbilanz zu 62). Im praktischen Einsatz kann mit einer um 1...2 Jahre längeren Lebensdauer gerechnet werden, da hier nicht die 50%-Kapazitätsgrenze als Ausfallkriterium massgebend ist (siehe Teil 7).

92 Folgerungen bezüglich der optimalen Spannung

- Aus der Reihe der sechs Versuchsspannungen erweist sich der Wert 2,20 V als am günstigsten (gültig für eine Säuredichte von 1,24 g/cm³). Dies geht aus Lebensdauer, mittlerer und maximaler Kapazität, Gütezahl (siehe Zwischenbilanz zu 52), Strombeziehungen (siehe Zwischenbilanz zu 54) und den phänomenologischen Untersuchungen hervor (siehe Zwischenbilanz zu 57).
- Der Wert 2,25 V, welcher dem oberen Grenzwert des im Betrieb tolerierten Bereichs von 2,21...2,25 V (2,23 V ± 1%) entspricht, erweist sich als zu hoch (siehe Zwischenbilanzen zu 52, 53, 54 und 57).
- Präzisierungen für das Spannungsoptimum lassen sich aus elektrochemischen Untersuchungen herleiten. Unter Berücksichtigung der Forderung, dass Wiederaufladungen mit Konstantspannung innert nützlicher Frist geschehen müssen, ergibt sich als optimale Spannung der Wert 2,18 V (siehe Teil 8).

93 Folgerungen im Blick auf Qualitätsverbesserungen von Akkumulatoren und Speisegeräten

- Bedingung für einen optimalen Ladungserhaltungsbetrieb ist, dass alle in Reihe geschalteten Zellen einer Batterie die gleiche Spannung annehmen. Dies ist eine Aufforderung an die Hersteller, spannungsmässig homogene Zellen zu fabrizieren.
- Eine weitere Anregung betrifft die Entwicklung von «Tiefspannungszellen», die unterhalb 2,20 V nicht vorzeitig sulfatieren (siehe Abschnitt 52).
- Dem schädlichen Einfluss des Antimons ist durch optimale Wahl der Härte der negativen Platten sowie durch geeignete Separatoren zu begegnen (siehe Abschnitte 53 und 63).
- Die Entwicklung von Röhrenplatten-Akkumulatoren mit antimonfreien Gittern ist weiter zu verfolgen (siehe Abschnitte 53 und 95).
- Die Zusammensetzung der positiven Masse (Anteil Bleistaub und Mennige) ist im Blick auf möglichst geringe Druckbeanspruchung der Röhren zu optimieren.
- Der Perchlorsäuregehalt des Elektrolyten soll weniger als 200 mg/l betragen (siehe Abschnitte 55, 65 und 67).
- Speisegeräte sind bezüglich Zuverlässigkeit und langzeitlicher Spannungskonstanz weiterzuentwickeln. Eine Span-

92 Conclusions relatives à la tension optimale

- Parmi la série de six tensions d'essai, la valeur de 2,20 V se révèle être la plus favorable (s'applique à une densité d'acide de 1,24 g/cm³). Cette constatation s'impose au vu de la durée de vie, de la capacité moyenne et maximale, de l'indice de qualité (voir bilan intermédiaire 52), des relations concernant les courants (voir bilan intermédiaire 54) et des investigations phénoménologiques (voir bilan intermédiaire 57).
- La valeur de 2,25 V, soit la limite supérieure de la plage de 2,21...2,25 V (2,23 V ± 1%) tolérée dans l'exploitation s'avère trop élevée (voir bilans intermédiaires 52, 53, 54 et 57).
- En se fondant sur des analyses électrochimiques, il est possible de préciser la valeur optimale de la tension. Si l'on considère que les recharges à tension constante doivent avoir lieu dans un délai utile, il apparaît que la valeur de la tension optimale est 2,18 V (voir paragraphe 8).

93 Conclusions portant sur l'amélioration de la qualité d'accumulateurs et de dispositifs d'alimentation

- Un service optimal en régime de maintien de la charge ne peut être réalisé que si tous les éléments d'une batterie connectés en série adoptent la même tension. Cette exigence doit engager les fournisseurs à fabriquer des éléments homogènes du point de vue de la tension.
- Une autre suggestion concerne le développement d'éléments «à basse tension» ne présentant pas une sulfatation prématurée au-dessous de 2,20 V (voir 52).
- Il convient de contrer l'influence néfaste de l'antimoine par un choix optimal de la dureté des plaques négatives ainsi que par des séparateurs adéquats (voir 53 et 63).
- La mise au point d'accumulateurs à plaques tubulaires, dont les grilles sont exemptes d'antimoine doit être poursuivie (voir 53 et 95).
- La composition de la masse active positive (proportions de plomb pulvérisé et de minium) doit être optimisée en vue de sollicitations par la pression aussi faibles que possible, afin que soit évité l'éclatement des tubes.
- La teneur en acide perchlorique de l'électrolyte doit être inférieure à 200 mg/l (voir 55, 65 et 67).
- Il y a lieu de poursuivre le développement de dispositifs d'alimentation fiables délivrant une tension très stable à long terme. Une tolérance de tension de ±0,25% est souhaitable (voir 94).

94 Conclusions se rapportant aux conditions d'exploitation

- Il convient de peser le pour et le contre d'une réduction de la densité de l'acide de 1,24 à 1,21 g/cm³ (avantages: réduction de la tension de maintien de charge de 20 mV, donc courant et corrosion plus faibles).
- On peut se demander s'il est possible, du point de vue de l'exploitation, de réduire la tension de maintien de la charge appliquée actuellement de 2,23 V ± 1% (≈ 2,21...2,25 V).
- Ce faisant, il faudrait envisager de passer dans les installations à 48 V de 22 éléments (plus 3 éléments additionnels) à 23 éléments (plus 2 éléments additionnels).
- Si l'on utilise 23 éléments, il est possible d'utiliser les tensions de maintien de la charge plus favorables suivantes:
2,19 V ± 0,5% ≈ 2,18...2,20 V, soit 50,12...50,62 V
2,18 V ± 0,5% ≈ 2,17...2,19 V, soit 49,89...50,39 V
2,17 V ± 0,5% ≈ 2,16...2,18 V, soit 49,66...50,16 V
Si les tolérances sont plus sévères, on obtient:
2,19 V ± 0,25% ≈ 2,185...2,195 V, soit 50,24...50,50 V

nungstoleranz von $\pm 0,25\%$ ist wünschenswert (siehe Abschnitt 94).

94 Folgerungen bezüglich der Betriebsbedingungen

- Eine kleinere Säuredichte ($1,21$ statt $1,24$ g/cm³) ist in Erwägung zu ziehen (Vorteile: Ladungserhaltungsspannung 20 mV kleiner, Ladungserhaltungstrom entsprechend kleiner, schwächere Korrosion).
- Es stellt sich die Frage, ob es betrieblich möglich ist, die zurzeit festgelegte Ladungserhaltungsspannung von $2,23$ V $\pm 1\%$ ($\approx 2,21...2,25$ V) zu senken.
- Dabei müsste in Erwägung gezogen werden, in 48 -V-Anlagen von 22 Zellen (plus 3 Zusatzzellen) auf 23 Zellen (plus 2 Zusatzzellen) überzugehen.
- Mit 23 Zellen können folgende günstigere Ladungserhaltungsspannungen erreicht werden:
 $2,19$ V $\pm 0,5\%$ $\approx 2,18...2,20$ V bzw. $50,12...50,62$ V
 $2,18$ V $\pm 0,5\%$ $\approx 2,17...2,19$ V bzw. $49,89...50,39$ V
 $2,17$ V $\pm 0,5\%$ $\approx 2,16...2,18$ V bzw. $49,66...50,16$ V
Bei engerer Toleranz ergibt sich:
 $2,19$ V $\pm 0,25\%$ $\approx 2,185...2,195$ V bzw. $50,24...50,50$ V
 $2,18$ V $\pm 0,25\%$ $\approx 2,175...2,185$ V bzw. $50,01...50,27$ V
 $2,17$ V $\pm 0,25\%$ $\approx 2,165...2,175$ V bzw. $49,79...50,00$ V
- Voraussetzungen für eine tiefere Spannung als bisher sind: Spannungsgleichheit der Zellen innerhalb einer Batterie, verbesserte Speisegeräte.
- Mit einer Senkung der Zellenspannung von $2,23$ V auf $2,18$ V, das heisst um den schon mehrfach erwähnten Betrag von 50 mV (siehe Abschnitte 53, 55, 63), wird unzweifelhaft eine längere Lebensdauer der Akkumulatoren erreicht.

95 Ausblick

In Anbetracht der bei den PTT-Betrieben investierten und jährlich neu dazukommenden Millionenbeträge für Akkumulatorenanlagen sowie unter Berücksichtigung der nicht abgeschlossenen Technologie des Bleiakкумуляtors, sind in der Abteilung Forschung und Entwicklung neue Untersuchungen in Angriff genommen worden. Ausser der nach wie vor interessierenden Abhängigkeit der Lebensdauer, der Kapazität, des Stromes usw. von der Spannung werden folgende Fragen abgeklärt:

- Auswirkungen kleinerer Antimongehalte
- Auswirkungen antimonfreier, mit anderen Metallen legierter Bleigitter
- Auswirkungen von Reinbleigittern (Grossoberflächen-Platten)
- Auswirkungen anderer Säuredichten als $1,24$ g/cm³
- Auswirkungen reduzierter Perchlorsäuregehalte
- Auswirkungen verschiedener Zusammensetzungen der aktiven Masse.

Automatische Datenerfassung und Computerauswertungen ermöglichen es, genauere und umfassendere Ergebnisse zu erhalten als bisher. So werden zum Beispiel bei sämtlichen Akkumulatoren die Zellenspannungsunterschiede und -abwanderungen ermittelt – Kriterien, mit denen sich die erwünschte spannungsmässige Homogenität der Zellen prüfen lässt. Ferner kann daraus der allenfalls notwendige Sicherheitszuschlag auf die *theoretisch* optimale Ladungserhaltungsspannung bestimmt werden. Mit den Versuchen wurde 1975 begonnen. →

$2,18$ V $\pm 0,25\%$ $\approx 2,175...2,185$ V, soit $50,01...50,27$ V
 $2,17$ V $\pm 0,25\%$ $\approx 2,165...2,175$ V, soit $49,79...50,00$ V

- Une tension plus basse qu'elle ne l'est aujourd'hui peut être appliquée à condition que tous les éléments adoptent la même tension et que les dispositifs d'alimentation soient améliorés.
- Le fait d'abaisser la tension par élément de $2,23$ V à $2,18$ V, c'est-à-dire de la réduire de la valeur de 50 mV souvent évoquée (voir 53, 55, 63), permet indubitablement de prolonger la durée de vie des accumulateurs.

95 Perspectives

Vu les millions de francs que l'Entreprise des PTT a investis dans les installations d'accumulateurs et les sommes considérables qu'elle leur consacre chaque année, de nouvelles investigations ont été entreprises à la Division des recherches et du développement, compte tenu aussi du fait que le développement technologique de l'accumulateur au plomb n'est pas encore achevé. En plus de l'intérêt que présentent toujours les relations entre la longévité, la capacité, le courant, etc. et la tension, les points suivants doivent encore être élucidés:

- Effets d'une teneur plus faible en antimoine
- Effets de grilles où le plomb, exempt d'antimoine, est allié à d'autres métaux
- Effets de grilles de plomb pur (plaques dites de grande surface)
- Effets de densités d'acide autres que $1,24$ g/cm³
- Effets d'une teneur réduite en acide perchlorique
- Effets de diverses compositions de la masse active

Grâce à l'enregistrement automatique des données et à leur analyse par ordinateur, il est possible d'obtenir des résultats plus précis et plus complets que jusqu'ici. Ainsi, les différences et les dérives de tension entre les éléments de tous les accumulateurs sont déterminées, ce qui fournit des critères permettant de contrôler l'homogénéité souhaitée des tensions des éléments. Par ce procédé, on peut encore définir la marge de sécurité qui, au besoin, doit être ajoutée à la tension optimale de maintien de la charge *théorique*. Les essais évoqués ont débuté en 1975.

Remerciements

Durant près de 15 ans, des collaborateurs de la Division des recherches et du développement, en particulier des groupes suivants: physique, chimie et contrôle du matériel, ont contribué à l'entretien des dispositifs expérimentaux et des accumulateurs, à l'enregistrement, à l'analyse et au dépouillement des données expérimentales. L'auteur désire les remercier de leur collaboration. Les remerciements vont aussi au groupe des installations d'énergie de la Division de l'équipement des télécommunications, avec lequel la collaboration a été étroite.

Verdankung

Während rund anderthalb Jahrzehnten waren Mitarbeiter der Abteilung Forschung und Entwicklung, im speziellen der Laborgruppen Physik, Chemie, Materialprüfung, an der Betreuung der Versuchseinrichtung und dem Unterhalt der Akkumulatoren, an Messungen, Analysen und Auswertungen beteiligt. Der Verfasser spricht ihnen allen seinen besten Dank aus. Der Dank gilt auch der Dienststelle für Stromversorgungsanlagen der Abteilung Fernmeldebau für die enge Zusammenarbeit.