

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 9 (1918)

Heft: 4

Artikel: Ueber eine Hochspannungsbatterie mit Wechselstrombetrieb

Autor: Greinacher, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059602>

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: 16.02.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telephon: Hottingen 37.08

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 Telephon Hottingen 36.40

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction
nommée par le Comité de l'A.S.E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l'„Annuaire“.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Telephon: Hottingen 37.08
Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 Téléphone Hottingen 36.40

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A.S.E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.— pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

IX. Jahrgang
IX^e Année

Bulletin No. 4

April
Avril 1918

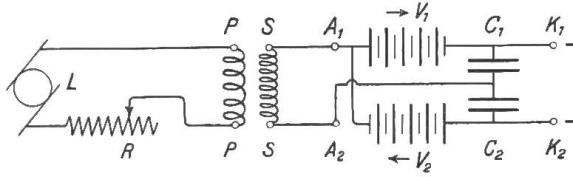
Ueber eine Hochspannungsbatterie mit Wechselstrombetrieb.

Von Prof. Dr. H. Greinacher, Zürich.

Prinzip.

Im folgenden sei ein Apparat beschrieben, der erlaubt, durch Benützung von Wechselstrom konstante Hochspannung bis 10 000 Volt zu erzeugen. Der Apparat liefert Schwachstrom, leistet also etwa dieselben Dienste wie eine Hochspannungsakkumulatorenbatterie, wie sie zu wissenschaftlichen und elektrotechnischen Zwecken verwendet wird.

Das zur Anwendung kommende Prinzip ist in Fig. 1 schematisch wiedergegeben. L ist eine Wechselstromquelle, etwa der Steckkontakt einer Lichtleitung. Der Wechselstrom wird über einen regulierbaren Widerstand R in die Primärwicklung PP eines Transformators geleitet. Statt eines eigentlichen Transformators kann zur Transformation irgend ein kleinerer In-duktor verwendet werden. Die Sekundärspule SS ist mit den Anschlussklemmen A₁ A₂ des Gleichstrom erzeugenden Aggregats verbunden. Dieses besteht aus einer geeigneten Kombination von elektrischen Ventilen V₁ V₂ und Kondensatoren C₁ C₂. Die Schaltung ist so getroffen, dass nicht pulsierender oder intermittierender, sondern konstanter Gleichstrom (Batteriestrom) entsteht. Zu diesem Zwecke sind die Ventile V₁ V₂ (etwa Graetzsche Ventilzellen) in entgegengesetztem Sinne geschaltet. V₁ lässt nur die eine Halbwelle, V₂ nur die andere hindurch (siehe die beigezeichneten Pfeile). Beträgt die Scheitelspannung des an SS verfügbaren Wechselstroms V₀ Volt, so lädt sich die mit K₁ verbundene Belegung von C₁ auf +V₀ Volt auf (gegenüber A₂, dessen Potential gleich Null gesetzt werde) und die mit K₂ verbundene Belegung von C₂ auf -V₀ Volt. Diese Spannung behalten die Kondensatoren vermöge der Ventilwirkung von V₁ V₂, so dass man an K₁ K₂ eine konstante Spannungsdifferenz von 2 V₀ Volt hat. K₁ K₂ verhalten sich also wie die Pole einer Batterie. Auch



wenn man an $K_1 K_2$ etwas Gleichstrom entnimmt, bleibt die Konstanz der Spannung gewahrt, da durch die Ventilzellen fortwährend Elektrizität nachfliesst. Nur bei zu starker Stromentnahme verliert der Strom seinen konstanten Charakter, und bei Kurzschluss von K_1 und K_2 erhält man schliesslich pulsierenden Gleichstrom, d. h. aneinandergereihte, gleichgerichtete Halbwellen. Für Kapazitäten $C_1 C_2$ von der Grössenordnung von 1 Mikrofarad hat man für 1/100 Ampère Stromentnahme praktisch noch Spannungskonstanz.

Ausführung.

Im einzelnen ist die Hochspannungsbatterie aus folgenden Teilen zusammengesetzt. V_1 sowohl als V_2 bestehen aus je 70 hintereinandergeschalteten Graetzschen Ventilzellen. Diese grosse Anzahl ist nötig, weil eine einzige Zelle nur eine sehr beschränkte Spannung (weniger als 100 Volt) abzudrosseln imstande ist. Verwendet man Entladungsventilröhren, wie sie etwa in der Röntgenpraxis zum Abhalten von Schliessungslicht verwendet werden, so käme man im ganzen mit zwei Röhren aus. Diese Entladungsventile haben aber den Nachteil, sich rasch abzunützen und sich zu verändern und für kleine Spannungen gar nicht anzusprechen. Die grosse Anzahl der Graetzschen Zellen macht andererseits den Apparat keineswegs unhandlich oder unbequem, da die Zellen sehr klein und einfach herzustellen sind. Jede Zelle besteht aus einem kleinen Reagensgläschen, in das je ein Al- und ein Fe-Draht eintaucht. Als Elektrolyt dient NaHCO_3 -Lösung. Es ist sogar wesentlich, die Zellen oder wenigstens die Al-Elektroden klein zu nehmen, wenn eine gute Ventilwirkung vorhanden sein soll. Die ungünstigen Urteile, denen man vielfach über die Graetzschen Zellen begegnet, dürften meistenteils davon herrühren, dass man die Al-Elektroden zu gross nahm.¹⁾ Als Kondensatoren sind irgendwelche technische Kondensatoren (Wickelkondensatoren) dienlich, wenn sie eine genügende Kapazität und nota bene eine genügende Durchschlagsfestigkeit besitzen. In Fig. 2 ist eine Batterie wiedergegeben, die an Stelle von C_1 und C_2 je vier hintereinander geschaltete Kondensatoren von 2 Mikrofarad und 2000 Volt Prüfspannung enthält. Diese Anordnung ist theoretisch gleichwertig einer solchen mit zwei Kondensatoren von je $1/2$ Mikrofarad und 8000 Volt Prüfspannung. Die Hochspannungsbatterie sollte also bei dieser Schaltung 16 000 Volt Gleichspannung aushalten. Praktisch kann man bei hintereinandergeschalteten Kondensatoren nicht so hoch gehen, da die Kondensatoren nicht gleichmässig beansprucht werden. So konnte man denn mit der abgebildeten Probabatterie nur 6 bis 8000 Volt erzeugen, wenn man nicht Durchschlag der Kondensatoren befürchten wollte.

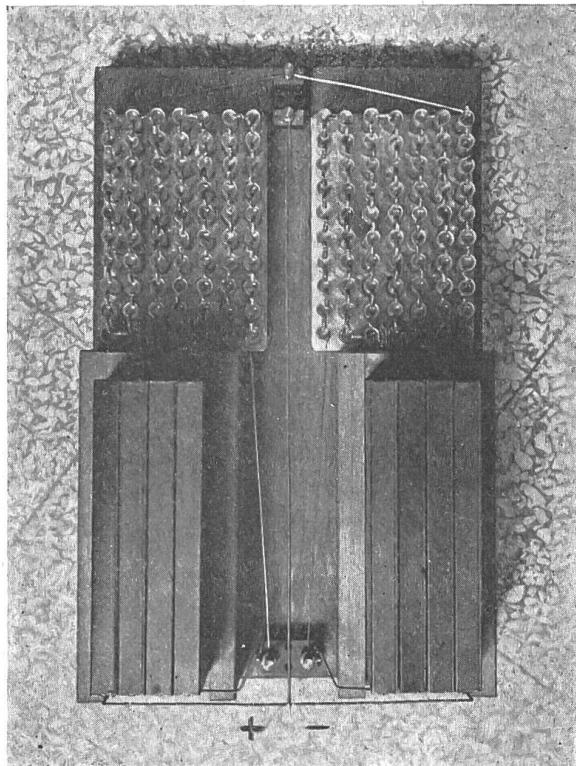


Fig. 2.

Inzwischen ist die Hochspannungsbatterie technisch weiter durchgebildet worden. Dabei wurde besonders auf gesteigerte Leistungsfähigkeit, auf Transportfähigkeit und Sicherung gegen Spannungsüberlastung gesehen. Die Apparate, wie sie gegenwärtig in den Handel gebracht werden²⁾, besitzen Kondensatoren, die auf 5000 Volt Gleichspannung beansprucht werden dürfen (Kapazität: je $1/2$ Mikrofarad). Die Batterie liefert also bis 10 000 Volt Gleichspannung. Damit keine Ueberlastung der Kondensatoren und damit Durchschlagsgefahr eintreten kann, ist eine Funkensicherung am Apparat montiert. Zwei Funkenelektroden,

¹⁾ Siehe etwa *J. Zenneck*, Physikalische Zeitschrift 14, 535, 1913.

²⁾ Die Hochspannungsbatterie wird von der Firma *Huber, Müller & Cie.*, Zürich, fabriziert.

an denen zur Vermeidung der Funkenverzögerung eine schwach radioaktive Substanz angebracht ist, stehen sich in einem solchen Abstand gegenüber, dass bei ungefähr 10 000 Volt der Funke eintritt. Dieser ist, nebenbei bemerkt, von einer Intensität, wie man ihn gemeinhin selbst bei grossen Leidenerflaschenbatterien nicht beobachten kann. Eine nicht unwesentliche Verbesserung wurde dadurch erreicht, dass es gelang, Graetzsche Zellen mit nicht ausfliessendem Elektrolyt auszuführen. Der Apparat kann daher vor Ablieferung vollständig montiert und in einen geschlossenen Kasten eingebaut geliefert werden. Die Batterie ist ohne weiteres transportfähig.

Funktion.

Zunächst sei darauf hingewiesen, dass, wie Fig. 1 ohne weiteres erkennen lässt, auch Gleichstrom an $A_2 K_1$ und $A_2 K_2$ abgenommen werden kann. Man könnte eine vereinfachte Anordnung unter Weglassung von V_2 und C_2 ausführen und die Gleichspannung an A_2 und K_1 abnehmen. Allein man würde dadurch zweier Vorteile von grosser Bedeutung verlustig gehen. Die Doppelschaltung gibt nämlich erstens eine Verdopplung der angelegten Wechselspannung und zweitens einen Gleichstrom von vermehrter Konstanz. Der verwendete Transformator braucht nur die halbe Spannung zu liefern, kann also viel kleiner und billiger sein. Theoretisch müsste bei einer effektiven Wechselspannung von V Volt eine Gleichspannung von $2\sqrt{2}V$, d. h. zirka 2,8 V Volt erzielt werden. Praktisch hat man aber immer Spannungsverluste in $V_1 V_2$ infolge des ohmschen Widerstandes und der nicht idealen Ventilwirkung der Zellen. So kommt man denn in Wirklichkeit auf ungefähr eine Verdopplung der Wechselspannung. Für die Batterie von 10 000 Volt wäre also ein Transformator mit sekundär 5000 Volt geeignet. Die vermehrte Gleichmässigkeit des Stroms bei der Doppelschaltung gegenüber der einfachen Schaltung erhellt aus Fig. 3.

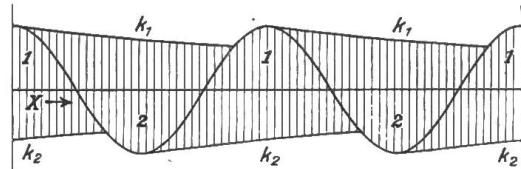


Fig. 3.

Schliessen wir $K_1 K_2$ über einen grossen Widerstand, so fliest in diesem ein Strom, dessen zeitlicher Verlauf durch die Ordinaten (Schraffur) angezeigt ist. Nach einer Aufladung durch die eine Halbwelle 1 erfolgt jeweils eine Spannungsabnahme k_1 (Entladung) des Kondensators C_1 . Aber noch bevor die nächste gleichgerichtete Halbwelle kommt und die Ordinate wieder hebt, ist die andere Halbwelle 2 da und vergrössert die sinkende Stromstärke. Die periodischen Schwankungen sind bei kleiner Stromentnahme praktisch verschwindend klein. Bei der einfachen Schaltung würde der Stromverlauf durch die über (oder unter) der X-Achse stehenden Ordinaten angegeben; eine Hebung der Stromstärke käme hier pro Periode nur einmal vor.

Für die wissenschaftlichen, aber auch für manche technische Anwendungen der neuen Hochspannungsbatterie ist es von Wert, den Grad der Spannungskonstanz, den man erwarten darf, genauer zu kennen. Es sind drei Faktoren, welche die Gleichförmigkeit beeinflussen können.

1. übertragen sich Schwankungen der Netzspannung auf den Gleichstrom. Doch sind letztere im allgemeinen kleiner. Sinkt z. B. die Netzspannung vorübergehend während sehr kurzer Zeit, so zeigt die Gleichspannung dank der Kondensatoren $C_1 C_2$ eine viel geringere Schwankung.

2. hat die Ventilwirkung ihre Grenzen. Werden die Graetzschen Zellen durch Spannung oder Strom überlastet, so kann das zu momentanen Spannungsänderungen an den Abnahmeklemmen $K_1 K_2$ Anlass geben. Solche kleinen, sprunghaften Spannungsschwankungen wurden mittels eines empfindlichen Saitenelektrometers (Vibrationselektrometer¹) beobachtet. Bei der erwähnten Probekammer blieben sie bis 3000 Volt völlig aus, von wo an sie dann mit steigender Spannung immer mehr hervortraten. An einem gewöhnlichen statischen Voltmeter war hierbei nicht das geringste zu beobachten. Schon bei 3000 Volt jedoch

¹⁾ Ueber Messungen mit dem Vibrationselektrometer siehe H. Greinacher, Elektrotechnik und Maschinenbau 32, 415, 1914.

waren die kleinen Zuckungen am Saitenelektrometer zu sehen, wenn der Batterie ein Strom von 3 Milliampère entnommen wurde.

3. hat man periodische Schwankungen nach Art der Fig. 3. Schon ohne Stromentnahme kann man infolge nicht idealer Ventilwirkung eine gewisse, wenn auch geringfügige Inkonstanz feststellen. Der Nachweis wurde mit dem Saitenelektrometer erbracht. Die periodischen Schwankungen lassen sich auffassen als eine Wechselspannung, die einer konstanten Gleichspannung beigemischt ist. Dieser Bruchteil wurde im Bereich von 500 bis 6000 Volt Gleichspannung als ungefähr konstant befunden und betrug zirka 1 Promille. Auch bei einer Stromentnahme von 3 Milliampère (Spannung 3000 Volt) war dieser Bruchteil ungefähr derselbe.

Ganz allgemein sind die Spannungsänderungen also so gering, dass sie sich für einen sehr grossen Teil der Anwendungsgebiete nicht störend bemerkbar machen.

Eigenschaften.

Um die Eigenschaften der neuen Hochspannungsbatterie zu beurteilen, ist es angezeigt, sie mit denen der bisher gebräuchlichen Apparate zu vergleichen. Zur Erzeugung konstanter Hochspannung sind in erster Linie Batterien kleiner Akkumulatoren geeignet. Wenn diese auch die Garantie für absolute Spannungskonstanz bieten, so besitzt die neue Batterie in anderer Hinsicht wieder gewisse Vorzüge. Einmal beträgt der Anschaffungspreis nur einen äusserst kleinen Bruchteil desjenigen für eine grössere Hochspannungsbatterie. Dann ist die Abnutzung ausserordentlich gering. Der Apparat benötigt keine Unterhaltungskosten, braucht keine Ladung und Wartung und ist daher stets gebrauchsfertig. Die für die Formierung nötige dünne, nichtleitende Schicht auf den Al-Drähten bildet sich selbsttätig. Ständig gebrauchte Batterien haben stets sofort den vollen Wirkungsgrad. Lässt man sie jedoch wochen- und monatelang unbenutzt stehen, so muss man nach Einschalten des Wechselstroms erst einige Zeit (vielleicht eine Viertelstunde) warten bis die Ventilzellen sich maximal formiert und damit ihre volle Ventilwirkung erreicht haben. Die Formierung wird noch beschleunigt durch Kurzschliessen von K_1 und K_2 . Die Batterie ist gegen solchen Kurzschluss unempfindlich. Eine besondere Kurzschlussicherung ist also nicht nötig. Solange der Wechselstrom nicht eingeschaltet ist, ist die Batterie gefahrlos. Es lassen sich sämtliche gewünschten Spannungen durch einfache Regulierung des Wechselstromzuflusses einstellen. Im übrigen nimmt der Apparat einen sehr kleinen Raum ein und kann bequem überallhin transportiert werden.

Im Vergleich zu Elektrisiermaschinen und Hochspannungsdynamos hat man hier keine bewegten Teile und ein vollständig geräuschloses Arbeiten. Auch sind gegenüber den Elektrisiermaschinen die Nutzströme natürlich viel grösser.

Verwendung.

Der Apparat ist für wissenschaftliche und technische Arbeiten, bei denen konstante Hochspannung benötigt wird, verwendbar. Er kann einsteils als blosse Spannungsquelle, anderseits zur Lieferung von hochgespanntem Schwachstrom Verwendung finden. Als spezielle Verwendungsarten seien genannt: Das Laden und Prüfen von Kondensatoren, die Herstellung konstanter elektrischer Felder (z. B. bei Messungen auf dem Gebiete der Radioaktivität und Ionenlehre), die Prüfung auf Hochspannungsisolation (elektrische Leitungsanlagen, Isolatoren), die Beschaffung von Mess- und Eichströmen, schliesslich die Erzeugung elektrischer Entladungen für Experimentier- und technische Zwecke. Hier seien im einzelnen wieder genannt: Untersuchungen über Funken- (z. B. in der drahtlosen Telegraphie) und Spitzenentladungen, ferner der Betrieb von Entladungsrohren (Geissler-, Spektral-, Kathodenstrahlen-, Kanalstrahlen-, Anodenstrahlenröhren usw.).

Wie diese Beispiele zeigen mögen, ist der Verwendungsbereich ein ausgedehnter. Er dürfte sich noch erweitern, wenn es gelingt, einsteils grössere Ströme, andernteils noch höhere Spannungen zu erzeugen. Die Bestrebungen gehen gegenwärtig insbesondere in der zweiten Richtung. Es steht zu erwarten, dass sie zur Konstruktion eines für die Röntgentechnik brauchbaren Apparates führen werden.