

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 30 (1939)
Heft: 17

Artikel: Über das Problem der elektromotorischen Verbrennung der Brennstoffe
Autor: Baur, Emil
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060848>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.04.2025

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

Ueber das Problem der elektromotorischen Verbrennung der Brennstoffe.

Von Emil Baur, Zürich.

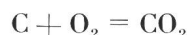
621.352.6

Die direkte Erzeugung von Elektrizität aus Brennstoffen (Brennstoffelemente) ist ein alter Traum der Wissenschaft und der Technik. Im folgenden wird gezeigt, wie Herr Prof. Dr. E. Baur in den Laboratorien der ETH das Problem anpackte und während vieler Jahre bearbeitete; es geht daraus hervor, dass zielbewusste, ernste Forscherarbeit zu sehr interessanten Resultaten führte. Der entwickelte Apparat ist an der Landesausstellung im Chemiepavillon ausgestellt. Nach den erzielten Versuchsergebnissen sollte es möglich sein, in einen Raum von 1 m³ eine Leistung von 3 kW zu erzeugen, während ein Dieselmotor von einigen hundert kW allerdings pro m³ etwa 20 bis 70 kW abgibt. Aber ein Grosskraftwerk auf Kohlebasis, gerechnet von der Feuerung bis zur Schalttafel, benötigt pro kW installierter Leistung 1 m³ Raum. Hier scheint die Brennstoffkette eher überlegen. Der Wirkungsgrad der in der Landesausstellung gezeigten Laboratoriumsausführung beträgt etwa 60 % bei einer Klemmenspannung von etwa 90 % der EMK; der Apparat gibt 0,176 W (3,15 V × 0,056 A) bei einem Brennstoffaufwand von 290 cal/h; als Brennstoff wird Wasserstoff mit einem Heizwert (= Verbrennungswärme) von 29 000 kcal/kg verwendet.

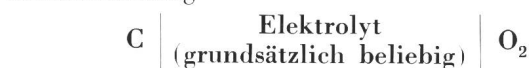
La production directe d'électricité à partir de combustibles (éléments combustibles) est un des plus anciens rêves de la science et de la technique. Le présent article montre comment M. le professeur E. Baur a entrepris de résoudre ce problème dans les laboratoires de l'EPF et comment il y a travaillé pendant plusieurs années; il en ressort qu'un travail de recherche intense bien dirigé peut aboutir à des résultats intéressants. L'appareillage développé est montré à l'Exposition Nationale, au Pavillon de la Chimie. D'après les résultats des essais, on devrait arriver à produire une puissance de 3 kW par m³ d'espace occupé, tandis qu'un moteur Diesel de quelques centaines de kW développe une puissance de 20 à 70 kW par m³. Cependant, une grande usine thermique, de la chaufferie au tableau, exige un espace d'un m³ par kW de puissance installée. A cet égard, la chaîne de combustible semble présenter un léger avantage. Le rendement de l'appareil de laboratoire montré à l'Exposition Nationale est d'environ 60 %, la tension aux bornes atteignant le 90 % environ de la f.é.m.; l'appareil débite 0,176 W (3,15 V × 0,056 A) pour une consommation de combustible égale à 290 cal/h; il utilise comme combustible de Phydrogène dont le pouvoir calorifique (= chaleur de combustion) est de 29 000 kcal/kg.

Seit geraumer Zeit verfolgt das elektrochemische Laboratorium der ETH die Aufgabe, die vorteilhaftesten Bedingungen für den Bau leistungsfähiger Brennstoffketten zu ermitteln. An der Landesausstellung findet man im Chemiepavillon in der Abteilung «Wissenschaftliche Forschung» eine Vorführung, die zeigen sollte, wie nach dem letzten Stand unserer Kenntnisse eine für die Technik in Betracht kommende Lösung des alten Problems «Elektrizität direkt aus Kohle» aussehen könnte. Gleichsam zur Erläuterung des Ausgestellten ist es vielleicht erlaubt, ja wünschenswert, wenn wir den gegenwärtigen Stand der Frage in geschichtlicher Entwicklung, in wissenschaftlicher Begründung und in technologischer Abwägung darzulegen versuchen.

Als im Jahre 1894 *W. Ostwald*¹⁾ die deutsche elektrochemische Gesellschaft ins Leben gerufen hatte, stellte er ihr als vornehmstes und nun gerade fällig gewordenen Ziel die Aufgabe, die thermodynamische Maschine zu übertrumpfen durch die chemodynamische. Kurz zuvor hatte *W. Nernst* die osmotische Theorie der Volta-Kette aufgestellt, mit deren Hilfe die Potentialbewegung an beliebigen Elektroden bestimmt werden konnte, und die chemische Thermodynamik hatte gezeigt, wie die elektromotorischen Kräfte der Volta-Ketten mit der Gleichgewichtslage der stromliefernden Reaktionen zusammenhängen, so dass die einen aus den andern allgemein berechnet werden können. *Nernst* hatte, wohl zum erstenmal, in seinem Lehrbuch (1893) die entsprechende numerische Rechnung für die Umsetzung



durchgeführt, aus der hervorging, dass — wenn umkehrbar arbeitend — eine Volta-Kette von der Zusammensetzung



¹⁾ Z. Elektrochem. Bd. 1 (1894), S. 122.

die Spannung von rund ein Volt hat, und zwar fast unabhängig von der Temperatur. Mit Rücksicht auf die Wärmetönung (Verbrennungswärme des Kohlenstoffs) folgt das erfreuliche Ergebnis, dass in der Kohlekette auch bei hohen Temperaturen (1000°) die Ausnutzung der Verbrennungsenergie eine ungefähr hundertprozentige sein muss. Dass das Verhältnis für die Brenngase: Generatorgas, Wassergas, Erdgas usw. ein ähnliches sein müsste, konnte man schon damals überblicken, wenn auch genaue Unterlagen erst später geschaffen wurden.

Wir haben hier einen von jenen, nicht häufigen, Fällen, wo die theoretische Kenntnis der experimentellen weit vorausgeilt ist. Wir haben die Teile in der Hand — «Encheiresin naturae nennt's die Chemie» — und besitzen auch das geistige Band. Was Wunder, wenn die Elektrochemiker (1894) voller Hoffnung waren, wenn man es nur für eine Frage der Zeit hielt, wann die naturnotwendig unvollkommene Wärmekraftmaschine von der grundsätzlich überlegenen, isotherm arbeitenden, Verbrennungsmaschine überwunden sein würde.

Wie merkwürdig, dass seither fast 50 Jahre verstreichen konnten, ohne dass man dem gedachten Ziel näher gekommen wäre! Die hohe Energie-Ausbeute muss durch höhere Ordnung erkaufte werden. Diese wird augenfällig an dem feinblättrigen und damit schwierigen und gebrechlichen Bau aller elektrolytischen Zurüstungen. Es könnte sein, dass man hier auf eine unübersteigliche Schranke technischen Könnens gestossen wäre.

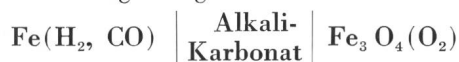
Dies ist jedoch keineswegs erwiesen. Aug. *Berthier*²⁾, ingénieur civil, Genève, sagt 1929 in einer Broschüre, die eine Zusammenstellung aller gescheiterten Versuche enthält: «mais hâtons-nous d'affirmer en même temps que nulle impossibilité a priori ne permet de prétendre qu'il soit insolu-

²⁾ L'énergie électrique de demain. Paris, Librairie centrale des sc. 1929.

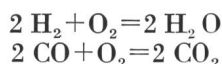
ble». Auf dem internationalen Chemiker-Kongress in Rom 1938 hat sich in einer Präsidial-Ansprache S. E. Prof. Fr. *Giordani*³⁾ in gleichem Sinne ausgedrückt wie folgt: «Le ricerche degli elettrochimici per la costruzione di elettromotori primari, alimentati con carbone o con ossidi di carbonio, per quanto temporaneamente messe da canto, sono ancora presenti al nostro spirito e tutto lascia sperare che *prima o poi* possono essere risolti i gravi problemi che vi sono connessi». Vernehmen wir auch das gewichtige Wort, das unser Altmeister A. *Stodola* am Ende seines berühmten Lehrbuches⁴⁾ zum Thema gesprochen hat: «Es entsteht die berechtigte Frage, ob wir nicht den Motorenbau überhaupt aufgeben sollten, um uns dem Probleme der unmittelbaren Erzeugung von Elektrizität aus Kohle zuzuwenden».

Haben die Elektrochemiker selber, an die der Ruf ergangen ist, den Glauben verloren? — So möchte es fast scheinen; indessen ist auch im stillen weitergearbeitet worden, um die Frage experimentell abzuklären.

Es gibt überaus zahlreiche Möglichkeiten zur Konstruktion von Brennstoffketten⁵⁾; sie wollen alle durchgeprüft sein. Man muss die ausgedehnte Front abwettern, um die Stelle geringeren Widerstandes herauszufinden. Hier zeigte sich, dass die Angriffsrichtung, die zunächst am meisten einlud, die verkehrteste ist. Man möchte am liebsten bei gewöhnlicher Temperatur mit wässrigen Elektrolyten arbeiten, oder bei mässiger Wärme, etwa 200 bis 300°, mit Natronschmelze oder reiner Schwefelsäure als Elektrolyt. In diesem Temperaturbereich ist aber auch mit Katalyten (Ionen des V, Ti, Ce, Ti, Mn usw.) nichts zu erreichen. Sowohl die Sauerstoff-, als auch die Kohle- oder Brenngas-Elektrode leiden an zu grosser Polarisierung, das ist zu kleiner Reaktionsgeschwindigkeit. Man muss also zu hohen Temperaturen seine Zuflucht nehmen, was sofort die grössten technischen Erschwerungen mit sich bringt. Der Elektrolyt muss dann eine Salzschnmelze sein, z. B. Kalium-Natrium-Karbonat. Kohle in Form von Koks scheidet wegen der Verschlackung der Koksasche aus. Glücklicherweise gibt es für die Brenngaskette hoher Temperatur ein brauchbares Elektroden-Material, und zwar, was sehr wesentlich ist, das gleiche für die Luft- und die Brenngas-Elektrode, nämlich Eisen, welches auf der Luftseite in Hammerschlag übergeht. Die Kette



hat die theoretisch richtige EMK, die den Reaktionen



zukommt. Man muss aber Vorsorge treffen, dass die gasdurchströmten, mit gekörntem Eisen locker angefüllten Räume von der Salzschnmelze nicht er-

³⁾ Atti del X. congresso internat. di chimica, Roma 1938, Vol. I., S. 135.

⁴⁾ Dampf- und Gasturbinen, 6. Aufl. 1924. S. 1082.

⁵⁾ E. Baur und J. Tobler, Brennstoff-Ketten. Sammelreferat. Z. Elektrochem. Bd. 39 (1933), S. 169.

tränkt werden, was man durch poröse Körper aus gebrannter Magnesia erreichen kann⁶⁾. Allein, dergleichen «Dochtsteine» sind nicht baufest. Man muss nochmals einen Schritt zurücktun und auf alle Schmelzen verzichten. Nur Ketten mit «Festleitern» (= festen elektrolytischen Leitern) sind bei heller Rotglut auf die Dauer stabil. Hier begegnet man nun einer neuen Schwierigkeit, nämlich der ungenügenden Leitfähigkeit. Zwar gibt es genug Festleiter, die gut leiten; aber dann sind es elektronische oder Halbleiter, nämlich gemischte elektronische und elektrolytische Leiter. Diese taugen hier nicht; denn Stromleitung ohne Ionentransport gibt keinen stofflichen Umsatz, ist also elektromotorisch unwirksam.

Hier galt es zu probieren. In Gemischen (anormalen Mischkristallen) tritt manchmal eine überraschende Leitfähigkeitssteigerung ein; das bekannteste Beispiel ist der Nernstkörper, bestehend aus 15% Yttria + 85% Zirkonerde. Diese Mischung hätte eine eben ausreichende Leitfähigkeit. Wir können die Masse aber nicht brauchen, schon des Preises wegen, aber auch wegen eines anderen misslichen Umstandes von allgemeiner Bedeutung. Durch die Ionenwanderung können im Festleiter nichtleitende Oberflächenschichten entstehen, so dass beim Stromdurchgang rasch wachsende Widerstände entstehen. Dem muss man begegnen durch gewissermassen auflockernde Zuschläge. Gleichzeitig muss das Material brauchbare keramische Eigenschaften und chemische Beständigkeit besitzen. Nur wenige Kombinationen liessen sich finden, die ungefähr allen Ansprüchen genügen.

Auf der Landesausstellung sieht man nach S. P. 204347 Röhren aus einem Gemisch von Grünstedter Ton, Cerdioxid in Gestalt von Monazitglührückstand und Wolframtrioxid mit einem Widerstand von etwa 2 Ohm bei 1100° für rund 20 cm² leitender Oberfläche und 0,1 cm Wandstärke. Mit Röhrentiegeln aus diesem Material setzt man Kohle-Ketten zusammen (Fig. 1). *F* ist der Festleiter, *C* Koks-

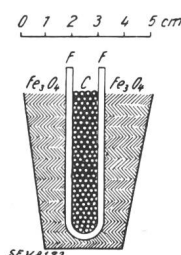


Fig. 1.

Brennstoffkette mit Festleiter.

F Festleiter. *C* Kokspulver.

$\text{Fe}_3 \text{O}_4$ Hammerschlag.

pulver, $\text{Fe}_3 \text{O}_4$ Hammerschlag, der durch die Luft, wie man sagt, «depolarisiert» wird. Die Anordnung empfiehlt sich durch äusserste Einfachheit und Beständigkeit. Ihre wichtigste Eigenschaft ist Freiheit von Polarisierung fast bis zum Kurzschluss, siehe Fig. 2⁷⁾. Fünf Zellen sind zu einer Batterie vereinigt; es wird bei einer Reihe von Klemmenspannungen, die an den Kurvenästen angeschrieben sind, die Stromstärke im zeitlichen Verlauf gemes-

⁶⁾ S. P. 78591 (1917). E. Baur u. W. D. Treadwell.

⁷⁾ E. Baur u. H. Preis, Z. Elektrochem. Bd. 44 (1938), S. 695.

sen. Nur in einer Beziehung befriedigt die Kette nicht voll: die EMK beträgt 3,5 V oder 0,7 V pro Zelle statt des theoretischen Wertes von 1 V. Vermutlich geht durch Lokalaktion — Reduktion von WO_3 durch Kohle — an Spannung verloren, ein Mangel, der aber wahrscheinlich durch höhere Belastbarkeit ausgeglichen wird.

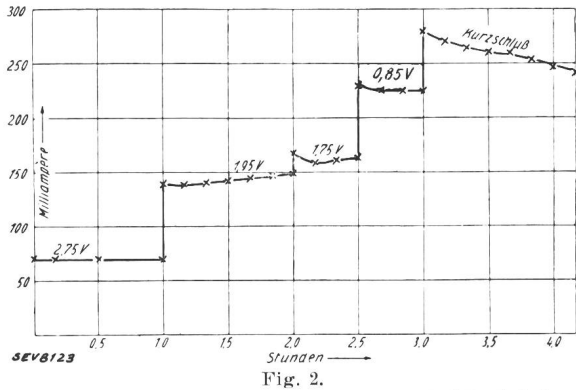


Fig. 2.

Stromlieferung in Milliampere-Stunden in Abhängigkeit von der Klemmenspannung bei einer Batterie von 5 Brennstoffelementen, die zusammen 225 cm^3 Raum einnehmen.

Um Brenngase (H_2, CO) zu verwerten, ersetzen wir in der Kette Fig. 1 die Kohle durch Eisen in passender Körnung und leiten die Brenngase durch. Für die Praxis wird wahrscheinlich nur die Brenngas-Kette in Betracht kommen, da die Koksasche nicht leicht zu beseitigende Hemmungen machen dürfte. Zudem entweicht aus der Kohle-Kette oberhalb 1000° nicht Kohlendioxyd, sondern Kohlenoxyd, welches dann doch in einer Kohlenoxyd-Kette zu Ende verbrannt werden müsste.

Ueber die in jedem Fall zu gewärtigende Spannung sind wir erschöpfend unterrichtet. Aus den thermodynamischen Prinzipien folgt für die freie Energie A , welche gleich der EMK der umkehrbar arbeitenden Kette ist, die Helmholtz-Gibbssche Gleichung:

$$A = -T \int \frac{q}{T^2} \cdot dT + \text{Konst.} \cdot T$$

wo T die absolute Temperatur, q die Wärmetonung der stromliefernden Reaktion bedeutet und die thermodynamisch unbestimmte Konstante «konst» aus chemischen Gleichgewichtsmessungen zu bestimmen oder auch nach dem Wärmetheorem von Nernst aus einzelnen Stoffkonstanten zu berechnen ist. Die Temperaturabhängigkeit von q wird nach einem Satz von Kirchhoff aus den Wärmekapazitäten der Gase vor und nach der Umsetzung abgeleitet. Tabelle I mag eine Uebersicht bieten bezüglich der Uebereinstimmung der nach der angegebenen Formel berechneten Werte von A und den zugehörigen EMK (gerechnet) mit den an geeigneten Volta-Ketten von verschiedenen Autoren gefundenen Werten «EMK gemessen».

Sehr einfach ist der elektrolytische Prozess zu übersehen in einem oxydischen Festleiter, wenn wir uns ein feststehendes Kationengitter vorstellen dürfen, durch welches Sauerstoffionen von der Oxydkathode nach der Kohleanode hindurchwandern. Dort oxydieren sie den Kohlenstoff, während von

der Kathode her gasförmiger Sauerstoff auf dem Umweg über die Oxydkathode den Ersatz liefert.

Tabelle I.

Brennstoff	$^\circ C$	A cal	EMK gerechnet Volt	EMK gemessen Volt	Beobachter
Kohlenstoff	750	97 410	1,05	1,12	E. Baur und Rob. Brunner (1935)
	870	101 390	1,10	1,13	
	960	104 790	1,13	1,14	
Kohlenoxyd	500	102 810	1,10	1,00	Haber und Moser (1905)
	1000	81 130	0,88	—	
Wasserstoff	570	106 310	1,15	1,16	Haber und Brunner (1905)
	803	100 760	1,09	1,13	

Fig. 3 soll eine Vorstellung vermitteln von der Form, die eine Brenngas-Kette mit Festleiter im grossen haben möchte. In einem gemauerten Schacht sieht man einen Drahtnetzkorb, in dem Röhren stecken aus dem Material des Festleiters. Sie sind gefüllt mit Hammerschlag und münden in ein Kopfstück, von dem aus sie mit Sauerstoff gespeist werden. Der Raum zwischen den Röhren ist mit kleinstückigem Eisen gefüllt und wird vom Brenngas durchsetzt. Wird die Batterie mit Sauer-

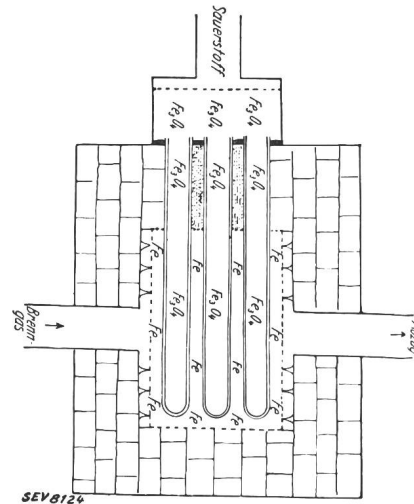


Fig. 3.

Schematische Darstellung einer technischen Brenngas-Batterie.

Fe Masse von Eisenkörnern. Fe_3O_4 Masse von Hammerschlagkörnern, dazwischen die elektrolytisch leitende Wand in Gestalt von dünnwandigen Röhren.

stoff betrieben, was vermutlich wegen der Wärmeökonomie vorteilhaft wäre, so muss man etwa 15 % der aus der Batterie gewinnbaren Energie opfern zur Herstellung des Sauerstoffs aus Luft. Es versteht sich, dass die Batterie sich selbst heizt vermöge ihres inneren Widerstandes und dass die Wärme der Abgase regeneriert werden muss.

Wenn eine Brennstoffkette, einerlei ob mit Kohle, Kohlenoxyd oder Wasserstoff betrieben, eine EMK von 0,7 V besitzt, so bedeutet dies, dass die Verbrennungsenergien (der Heizwert) der Brennstoffe ebenfalls zu rund 70 % ausgebeutet werden. Da der Wirkungsgrad der besten Wärmekraftmaschinen bekanntlich nur 20 bis 35 % beträgt und die Thermodynamik es ausschliesst, viel weiter zu kommen, so würde also durch die Brenngaskette die Energieausnutzung mit einem Schlag mehr als verdoppelt werden. Aber natürlich kostet es einen aufs höchste verfeinerten Bau der benötigten elektrochemischen Zurüstung.

Alles Interesse gilt nun der Frage, welche Leistung, auf die Raumeinheit bezogen, erzielt werden kann. Da man im Kleinversuch bei 80 % Klemmenspannung 1 Watt/Liter bequem erreicht, so müssten bei technisch vollkommener Ausführung mindestens 3 kW/m³ (5000 bis 10 000 A × 0,6 V) zu gewinnen sein. Wir ziehen nun folgende Daten zum Vergleich heran:

Auf der Landesausstellung sieht man einen Schiffsmotor der SLM von 150 kW. Es ist derselbe, der im Ausstellungsschiff «Taucherli» eingebaut ist. Aus den genauen Abmessungen dieses Dieselmotors berechne ich die Raumleistung zu 30 kW/m³. Ein anderer Dieselmotor von 880 kW, ebenfalls ausgestellt (Abbildung in NZZ Nr. 1269 vom 12. VII. 1939), gibt nach roher Abmessung am Objekt etwa 70 kW/m³. Diese Maschinen wären also 10- bis 20-fach kompender. Um mindestens eine Grössenordnung niedriger ist aber die Raumleistung von Kraftwerken auf Kohlebasis, gerechnet von der Feuerung bis zur Schalttafel. Ich entnehme einer anlässlich der Weltkraft-Konferenz 1930 erschienenen Beschreibung vom «Kraftwerk West» zu Ber-

lin, das für 200 000 kW gebaut ist, dass daselbst 1 kW eingebaute Leistung 1 m³ Rauminhalt beansprucht⁸⁾. Freilich ist hier auch viel leerer Raum inbegriffen. Immerhin scheint mir der zweifellos grosse Platzbedarf einer Brennstoff-Kette nicht der schwerste Einwand. Auch die Baukosten dürften erschwinglich sein, falls die Röhren oder Platten des Festleiters genügend dünn (Wandstärke 0,5 mm) herstellbar sind. Beängstigend scheint allein die Unzulänglichkeit eines — als Bau-Einheit zu betrachtenden — Kubus von sagen wir 10 m Kantenlänge, der im Innern fast wie ein Muskel eine äusserst feinblättrige Struktur hat und dauernd 1000° aushalten soll. Bei einer Betriebsstörung ist es so, wie etwa bei einem Hochofen, der ins «Hängen» gerät. Dann kann man ihn ausblasen und abreissen. Die Batterie muss also höchste Betriebssicherheit besitzen. Je nun, hier soll die Technik eben zeigen, was sie kann. Denn wenn auch schliesslich nur 50 % der Verbrennungsenergie der Brennstoffe am Schaltbrett des Brennstoffketten-Kraftwerkes erscheinen, so gäbe es einen Umsturz in der Energiewirtschaft der Welt.

⁸⁾ H. Gleichmann, Siemens-Z. Bd. 10 (1930), S. 325.

Die Gleichstrom-Kraftübertragung Wettingen-Zürich an der Schweizerischen Landesausstellung.

Von E. Kern, Ennet-Baden

621.315.051.024

Nach einem kurzen Rückblick wird über den Aufbau der Hochspannungs-Gleichstrom-Uebertragung Wettingen-Zürich berichtet.

Après un bref coup d'œil rétrospectif, l'auteur décrit la nouvelle transmission d'énergie à courant continu à haute tension entre Wettingen et Zurich.

Rund 50 Jahre sind es her, seit das Drehstromsystem mit der Erkenntnis seiner gewichtigen Vorzüge als Stromart für die Kraft-Erzeugung, -Uebertragung und -Verteilung über das Gleichstromsystem hinweg seinen Siegeslauf antrat und eine ungeahnte Entwicklung der Starkstromtechnik einleitete. Heute macht sich mit der zunehmenden Leistung und Distanz derartiger Uebertragungen die Kritik am Drehstrom als Uebertragungssystem immer lauter geltend und neuerdings schickt sich der vor 50 Jahren aus dem Feld geschlagene Gleichstrom an, seinen früheren Bezwinger gerade unter den extremsten Verhältnissen bezüglich Leistung und Distanz wiederum auf die Seite zu stellen. Der inzwischen auf dem Kampffeld erschienene Mutator hat auf dem Gebiete der Umwandlung der Stromarten neue Verhältnisse und damit auch für das alte Problem der Gleichstromübertragung ganz andere Grundlagen geschaffen. Mit dem im Versuchsraum der A.-G. Brown Boveri & Cie. in Baden durchgeführten Bau von Mutatoren für 50 kV Gleichspannung war nun nach jahrelangem Versuchsstadium der Zeitpunkt gekommen, eine einfache Versuchsanlage einem längeren Dauerbetrieb zu unterwerfen und damit auch der Fachwelt zu zeigen, dass das Problem lebendig ist. Die Schweizerische Landesausstellung gab den willkommenen Anlass zur Aufstellung der Anlage und die Direktion des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich bot bereit-

willig und unter Uebernahme ganz beträchtlicher Opfer Hand zu diesem Versuch, indem sie eine einpolige Uebertragungsleitung aus ihrem Werk Wettingen bis zum Ausstellungsgelände am linken Zürichseeufer auf eine Uebertragungslänge von etwa 20 km zur Verfügung stellte. Hierbei ist das Gleichstrom-Uebertragungssystem über die beidseitigen Mutatorgruppen mit der normalen Drehstromübertragung zwischen den genannten Punkten parallelgeschaltet. Bei einer konstanten Uebertragungsgleichspannung von 50 000 V wird eine Leistung von 500 kW über den Gleichstrom-Wechselstrom-Mutator an der Landesausstellung an das dortige 6-kV-Netz abgegeben. Nach einem ersten Uebertragungsversuch der General Electric Company mit einer Konstantstromanlage bedeutet die Uebertragung Wettingen-Zürich die erste Gleichstrom-Fernübertragung mit konstanter Spannung überhaupt. Die Schaltung der Uebertragungsanlage ist in ihrem wesentlichen Teil durch Fig. 1 dargestellt. Die Uebertragungsleitung ist einpolig; die Rückleitung des Stromes erfolgt durch die Erde. Für die Uebertragungsleitung wurde das zum Schutze der bestehenden Drehstrom-Uebertragungsleitung Wettingen-Zürich dienende Erdseil verwendet, welches auf Isolatoren verlegt wurde. Den einfachen Betriebsverhältnissen entsprechend sind gleichstromseitig keine Schalter eingebaut; alle Schaltvorgänge für dauernde Schalt-