

**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:** 40 (1962)

**Heft:** 7

**Artikel:** Brennstoffzellen : Energieverwandler von Morgen? = Le pile a combustibile : generationi d'energia di domani?

**Autor:** [s. n.]

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875130>

### **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:** 15.01.2026

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

ist aber dabei bedeutend stärker. Durch optische Filter am Empfänger kann man störendes Sonnenlicht eliminieren, so dass Radarmessungen auch am Tage möglich sind.

Grosse Bedeutung in der Abwehr von Weitreckenraketen dürften die unsichtbaren «Todesstrahlen», die Laser Antimissile Kill Systeme, erlangen, an denen in den USA emsig gearbeitet wird. Sie sollen entweder in Antiraketenkörper oder Satelliten eingebaut werden und sind geeignet, die feindlichen Raketen dadurch zum Abtrudeln zu bringen, dass sie in ihre Stahlwände Löcher zu brennen vermögen.

Um einen Begriff der ungefähren Kosten einer Laseranlage zu geben, sei der impulsmodulierte Rubinlaser der *Raytheon* erwähnt, der durch eine in einem elliptischen Reflektor eingebaute Blitzlichtröhre erregt wird. Der Laserkopf ist 20 cm lang und hat einen Durchmesser von 7,5 cm. Die Stromversorgung erfolgt über einen 400- $\mu$ F-Kondensator mit 2000 V (Richtpreis ungefähr 5500 Dollar).

Die Entwicklung ist noch im Fluss. Neue Elemente und Methoden müssen noch gefunden werden, um befriedigende Lösungen zu erreichen. Ohne Zweifel werden sich aber nicht nur auf dem Sektor des Nachrichtenwesens, sondern auch auf anderen Gebieten neue Möglichkeiten eröffnen, wobei die besonderen Vorzüge des Lasers zur Geltung kommen:

1. Starke Bündelungsfähigkeit

2. Absolut einwellige Lichtemission (die Spektrallinienbreite des austretenden Strahles ist  $10^5$  mal schmaler als die anderer Lichtquellen)
3. Daher hohe Leistungsdichte des Strahles bis zu kW-Grösse
4. Dank der hohen Trägerfrequenz, Möglichkeit sehr breitbandiger Kanalübertragungen.

#### Literatur

- [1] *Dacey, C.G.* Light a new communication medium. Control Eng. Sept. 8 (1961), S. 147 ff.
- [2] *Scovil, D., Feher, G., Seidel, H.* Cristal maser. Phys. Review **105** (1957), S. 762 ff.
- [3] *Malthaner, W. A.* A new concept in telephone communication. Bell Labor. Record, **39** (1961), S. 43 ff.
- [4] *Stitch, L., Woodburg, J., Morse, H.* Optical ranging system uses Laser transmitter. Electronics **34** (1961), S. 51 ff.
- [5] *Kamirow, P.* Microwave modulation of the electro-optic effect in  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  Physical Review Letters **6** (1961), S. 528 ff.
- [6] *Javan, A., R. Benett, Dr. Herriot.* Population inversion and continous optical maser oscillation in a gas discharge containing a HeNe mixture. Physical Review Letters **6** (1961), S. 112 ff.

Adresse des Autors: Dipl.-Ing. Roland Hübner, Antoniusstr. 10, Wettingen/AG.

621.352.6

## Brennstoffzellen – Energiewandler von Morgen?

## Le pile a combustibile – Generatori d'energia di domani?

### 1. Einleitung

Der Weltbedarf an elektrischer Energie steigt ständig. Entwicklung und Bau von Atomkraftwerken sind ein Beitrag zur künftigen Bedarfsdeckung. Solche Projekte sind jedoch noch keineswegs wettbewerbsfähig. Deshalb wird auch die Weiterentwicklung der konventionellen Energieerzeugung vorangetrieben. Konventionelle Energieerzeugung heisst, eine Energieform in eine andere umwandeln. Atomkraftwerke dagegen erzeugen neue Energie durch Vernichtung von Materie. Elektrische Energie wird heute z. B. in Wärmekraftwerken gewonnen. Dabei wird die chemische Energie der fossilen Brennstoffe auf dem Umweg über die Wärmeenergie in elektrische umgewandelt. Wegen des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik (Erfahrungssatz der Wärmelehre) ist diese Energieumwandlung nur unvollständig möglich. Bei Brennstoffzellen gilt eine solche Einschränkung nicht. Hochwertige chemische Energie wird hier, ohne die Zwischenstufe Wärme, unmittelbar in elektrische Energie überführt («kalte Verbrennung»).

### 1. Introduzione

Il consumo mondiale d'energia elettrica non cessa d'aumentare. Le centrali nucleari contribuiranno in una certa misura a coprire i bisogni futuri. Tuttavia, l'energia nucleare non può ancora essere fornita a prezzi di concorrenza. Si cerca pertanto di sviluppare i sistemi convenzionali di produzione d'energia. Generazione convenzionale d'energia significa trasformazione d'una forma d'energia in un'altra. Le centrali atomiche producono invece nuova energia distruggendo materia. L'energia elettrica è attualmente prodotta quasi esclusivamente da centrali idriche e termiche. In quest'ultimo caso, l'energia chimica dei combustibili fossili è convertita in energia elettrica tramite il calore. Il secondo principio della termodinamica dice che è impossibile trasformare tutto il calore in lavoro. Per le pile a combustibile, tale limitazione non è però applicabile. L'energia chimica di valore elevato viene in questo caso convertita direttamente in energia elettrica («combustione fredda»), senza ricorrere al ciclo intermedio del calore.

Bei Trockenbatterien ist dieses Umwandlungsprinzip schon verwirklicht. Die Oxydation des Brennstoffes Zink erfolgt indirekt durch Austausch der reaktionsbedingten Ladungsverschiebungen über einen äusseren Stromkreis. Solche Batterien haben nur einen begrenzten Energievorrat (Lebensdauer), da Zink verbraucht und nicht von aussen nachgeführt wird. Wiederaufladbare Batterien (Akkumulatoren) dagegen können nur mit Hilfe elektrischer Energie (Formation, Ladung) arbeitsfähig gemacht werden. Hier verläuft lediglich die Entladung nach dem Prinzip der kalten Verbrennung.

In den Forschungslaboratorien wird neben der ständigen Weiterentwicklung der klassischen Stromspeichersysteme seit Jahren auf dem Gebiet der Brennstoffzellen gearbeitet. So haben beispielsweise in Deutschland die grundlegenden Arbeiten am Institut für Technische Physik der Technischen Hochschule Braunschweig unter Prof. E. Justi zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen geführt.

Obwohl bei Kohle die direkte Umwandlung chemischer in elektrische Energie labormässig nachgewiesen wurde, richtet sich zur Zeit das Hauptinteresse auf Systeme, die gasförmige oder flüssige Brennstoffe verarbeiten. Diese neuartigen Wandler werden im engeren Sinne als Brennstoffzellen bezeichnet.

## 2. Die Brennstoffzelle

Die ideale Brennstoffzelle ändert ihren Zustand während der Benutzungsdauer nicht. Gasförmige oder flüssige Brennstoffe werden kontinuierlich von aussen zugeführt und mit Sauerstoff oder Luft oxydiert. An den Aussenklemmen steht ständig Gleichspannung für elektrische Verbraucher zur Verfügung. Die Brennstoffzelle hat keine mechanisch bewegten Teile, sie ist geräuschlos, erzeugt kaum Wärme oder schädliche Abgase. Sie stellt einen idealen Generator mit sehr hohem Wirkungsgrad dar. Grosse Dampfkraftwerke arbeiten mit einer Betriebstemperatur um 600° C und erreichen einen praktischen Wirkungsgrad von höchstens 38%. Der praktische Wirkungsgrad von Brennstoffzellen kann aber bis zu 80% betragen.

Die Wirkungsweise der Brennstoffzelle macht man sich am besten am Wasserstoff-Sauerstoff-Element klar (s. Figur 1)

A und B sind zwei poröse Elektroden, dazwischen befindet sich der Elektrolyt C. Wasserstoff wird der negativen Elektrode, Sauerstoff der positiven zugeführt. Der Betriebsdruck für beide Gase muss so eingestellt sein, dass er mit dem Kapillardruck des Elektrolyten in den Elektrodenporen im Gleichgewicht steht. Dadurch bildet sich in den Elektroden eine Dreiphasengrenzschicht (fest-flüssig-gasförmig) aus. Das ist die Zone (D), in der die elektro-chemische Reaktion stattfindet. Sie erzeugt einen Ladungsunter-

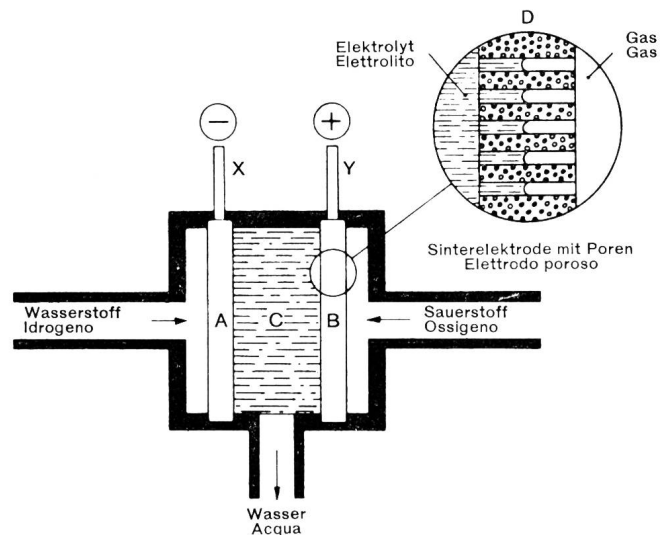
Per le batterie a secco, questo principio di conversione è già realizzato. Originata dalla reazione chimica, la migrazione delle cariche elettriche attraverso un circuito esterno provoca indirettamente l'ossidazione del combustibile (zinco). Tali batterie hanno però una riserva limitata d'energia (durata utile della batteria) poichè lo zinco si consuma e non viene sostituito dall'esterno. Le batterie ricaricabili (accumulatori) possono essere rese atte a lavorare soltanto dopo avervi addotto energia elettrica (formazione, carica). In questo caso, solo la scarica si svolge secondo il principio della combustione fredda.

Oltre al continuo lavoro di perfezionamento dei sistemi tradizionali d'accumulazione d'energia, i laboratori svolgono da anni attive ricerche nel campo delle pile a combustibile. I lavori effettuati in Germania presso l'Istituto di fisica tecnica del Politecnico di Braunschweig sotto la direzione del prof. E. Justi hanno permesso di stabilire nuove nozioni scientifiche.

Benchè la conversione diretta dell'energia chimica del carbone in energia elettrica sia già stata dimostrata in laboratorio, l'interesse principale si concentra attualmente sui sistemi che utilizzano combustibili gassosi o liquidi. Questi nuovi generatori vengono designati in senso più ristretto quali pile a combustibile.

## 2. La pila a combustibile

La struttura della pila a combustibile ideale non muta durante l'utilizzazione. Combustibili gassosi o liquidi vengono continuamente addotti dall'esterno e ossidati con ossigeno oppure aria. Ai morsetti della



pila, la tensione continua è disponibile in permanenza. La pila a combustibile non possiede parti in movimento, essa è silenziosa e genera praticamente nessun calore nè gas nocivi. Essa costituisce il generatore ideale, ad alto grado d'efficienza. Le grandi centrali a vapore lavorano a temperature d'esercizio che si aggirano sui 600°C e hanno un rendimento pratico del 38% al massimo. Il rendimento pratico delle pile a combustibile può però salire fino all'80%.

schied zwischen beiden Elektroden (Spannung), der sich nicht über den Elektrolyten ausgleicht. An den metallischen Ableitern X und Y der Elektroden kann deshalb elektrische Energie entnommen werden, solange die Reaktion mit der Zufuhr von Wasserstoff und Sauerstoff aufrechterhalten wird. Die theoretische Spannungsdifferenz zwischen beiden Elektroden beträgt 1,23 V. Sie wird praktisch nicht erreicht. Durch zahlreiche Einflüsse liegt nämlich die tatsächlich verfügbare Spannung bei Stromentnahme niedriger. Ein Teil des Spannungsverlustes ist durch den inneren Widerstand der Zelle bedingt, der den Spannungsabfall mit zunehmender Stromentnahme vergrößert. Als Reaktionsprodukt entsteht Wasser. Es verdünnt den Elektrolyten und muss durch geeignete Massnahmen abgeführt werden. Andere schädliche Verbrennungsrückstände treten bei dieser Zelle nicht auf.

### 3. Brennstoffzellenarten

Es gibt mehrere Arten von Brennstoffzellen: *Niedertemperaturzellen* werden vorzugsweise mit Wasserstoff als Brenngas betrieben, weil Wasserstoff schon bei Zimmertemperatur sehr reaktionsfreudig sein kann. Als Elektroden kommen poröse Kohle-, Nickel- oder Silbersinterkörper in Frage. Sie enthalten zusätzlich katalytisch wirksame Substanzen, welche die chemische Reaktion fördern, ohne selbst an ihr teilzunehmen. Andere Zellen enthalten an Stelle des Elektrolyten Ionenaustauschmembranen, die jedoch den Innenwiderstand (Spannungsabfall) beträchtlich erhöhen. In Flüssigkeits-Brennstoffzellen ist die Verbrennung von Alkoholen (Methan, Glykol) gelungen. Sie enthalten den Brennstoff im Elektrolyten gelöst. Wasserstoff-Sauerstoff-Elemente werden bei Temperaturen zwischen 30 und 250° C betrieben. Die Reaktionsgeschwindigkeit kann zusätzlich durch Anwendung hoher Drucke bis zu 30 Atmosphären verbessert werden. Zellen, die mit etwa 200° C und etwa 25 Atmosphären arbeiten, werden als *Mitteltemperatur-Hochdruckzellen* bezeichnet. Sie erfordern einen beträchtlichen Aufwand an Regelgeräten. *Hochtemperaturzellen* ermöglichen die Verbrennung reaktionsträger, billiger Brennstoffe. Ihre nutzbare chemische Energie wird jedoch mit steigender Betriebstemperatur um die Wärmeverluste vermindert, so dass der Wirkungsgrad einer Hochtemperaturzelle dadurch abnimmt. Denkbar ist die Kombination einer Hochtemperaturzelle mit einem vorgelagerten Wasserstoff-Generator, durch den Kohle bei hohen Temperaturen in einen gasförmigen Zustand überführt wird.

Demonstrationsmodelle vieler Brennstoffzellenarten sind in zahlreichen Forschungslaboratorien der Welt entwickelt worden. Solche Labormuster sagen nichts darüber aus, ob Brennstoffzellen in Zukunft eine technisch-wirtschaftliche Rolle spielen werden. Auf lange Sicht wird man sich bemühen müssen, die

Il funzionamento della pila a combustibile può essere capito meglio se prendiamo come esempio l'elemento idrogeno-ossigeno (*v. fig. 1*).

A e B sono due elettrodi porosi, tra i quali si trova l'elettrolito C. L'idrogeno viene condotto all'elettrodo negativo, l'ossigeno a quello positivo. La pressione d'esercizio per ambo i gas dev'essere regolata in modo da equilibrarsi con la pressione capillare dell'elettrolito nei pori degli elettrodi. Si forma così negli elettrodi uno stato marginale a tre fasi (solida-liquida-gassosa). La reazione elettrochimica si svolge in questa zona. Essa produce una differenza di carica tra i due elettrodi (potenziale) che non si equilibra attraverso l'elettrolito. Ai terminali metallici X e Y degli elettrodi si può pertanto ricavare energia elettrica finchè la reazione è mantenuta dall'apporto continuo d'idrogeno e d'ossigeno. La differenza di potenziale teorica tra i due elettrodi è di 1,23 V. Praticamente questo valore non viene però ottenuto. Per vari motivi, la tensione effettivamente disponibile è inferiore in caso d'erogazione di corrente. Una parte della perdita di potenziale è dovuta alla resistenza interna della pila, che accresce la caduta di tensione con l'aumentare della corrente. La reazione produce acqua; questa diluisce l'elettrolito e dev'essere eliminata con provvedimenti adeguati. La pila non genera altri residui nocivi di combustione.

### 3. Tipi di pile a combustibile

Esistono parecchi generi di pile a combustibile: quelle a bassa temperatura sono di preferenza attivate con idrogeno quale gas combustibile, poichè l'idrogeno presenta buone doti di reazione già a temperatura ambiente normale. Quali elettrodi si utilizzano corpi porosi di carbone, nichelio o argento sinterizzato. Essi contengono inoltre sostanze a effetto catalitico, miglioranti la reazione senza tuttavia parteciparvi direttamente. Altre pile contengono, invece dell'elettrolito, membrane di scambio di ioni, le quali aumentano però notevolmente la resistenza interna e pertanto la caduta di tensione. Nelle pile a combustibile a liquido si è riuscito ad ottenere la combustione di alcoli (metano, glicoli). Il combustibile è diluito nell'elettrolito. Gli elementi idrogeno-ossigeno funzionano a temperature tra 30 e 250° C. La velocità di reazione può ancora essere accresciuta ricorrendo a pressioni elevate, fino a 30 atmosfere. Le pile che funzionano a circa 200° C e 25 atmosfere vengono denominate pile a media temperatura ed alta pressione. Esse necessitano importanti apparecchiature di regolazione. Le pile ad alta temperatura permettono l'uso di combustibili meno costosi, a reazione più lenta. Con l'aumentare della temperatura d'esercizio, la loro energia chimica utile è però ridotta a ragione delle perdite di calore; il rendimento diminuisce. Si può immaginare la combinazione d'una pila ad alta temperatura preceduta da un generatore di gas d'acqua ove il carbone venga ridotto allo stato gassoso sotto l'influenza di alte temperature.

Entwicklungsrichtung auf einige technische Anwendungsmöglichkeiten zu konzentrieren: In Verbindung mit einem Gleichstrom-Reihenschlussmotor wäre die Brennstoffzelle für Traktionszwecke geeignet. Kleinkraftwerke könnten wirtschaftlich sein, da der Wirkungsgrad der Brennstoffzellen nicht von der Anlagegrösse abhängt. Die Umkehrung des Brennstoffzellenprinzips erlaubt vielleicht eine wirtschaftliche Wasserelektrolyse; überschüssige Elektrizität könnte in Gasform gespeichert und im Bedarfsfall über Brennstoffzellen zurückgewonnen werden.

Alle Gedanken über den möglichen Einsatz von Brennstoffzellen bleiben Vermutungen, solange eine praktische Verwirklichung fraglich ist. Zunächst gilt es, erhebliche technische Schwierigkeiten zu überwinden: Elektroden ausreichender Lebensdauer, Katalysatoren für billige Brennstoffe und hochtemperaturbeständige Materialien, die den Anforderungen der Praxis genügen, gibt es noch nicht. Solche Probleme bestimmen im wesentlichen den Erfolg der Brennstoffzelle. Daher wird noch geraume Zeit vergehen, bis entschieden werden kann, ob und wann sich die Brennstoffzellen-Energiewandlung in technischem Massstab wirtschaftlich realisieren lässt.

*Aus «Technik und Forschung» des  
«Industriekuriers», Düsseldorf*

Modelli di dimostrazione di vari tipi di pile a combustibile sono stati sviluppati da numerosi laboratori nel mondo intero. Tali modelli non permettono però di affermare quale sarà l'importanza futura delle pile a combustibile, dal lato tecnico ed economico. Con il tempo occorrerà concentrarsi sulla messa a punto di pile per certi scopi tecnici precisi. Combinata con un motore a eccitazione in serie, la pila a combustibile sarebbe adeguata a scopi di trazione. Delle piccole centrali potrebbero avere un rendimento economico interessante poichè il grado d'efficienza delle pile a combustibile non dipende dalla grandezza dell'impianto. L'inversione del principio permetterà forse l'elettrolisi economica dell'acqua; l'elettricità in eccedenza potrebbe essere accumulata sotto forma di gas e riutilizzata in caso di bisogno per il tramite delle pile a combustibile.

Queste sono supposizioni, fintanto che la realizzazione pratica non è certa. Occorre dapprima vincere notevoli difficoltà tecniche: non esistono infatti ancora elettrodi di durata sufficiente, catalizzatori per combustibili di basso costo e materiali a prova di elevate temperature che rispondano ai requisiti pratici. Dalla soluzione di questi problemi dipenderà il successo della pila a combustibile. Passerà quindi ancora molto tempo prima che sarà possibile affermare se e in quali casi si potrà ricorrere alle pile a combustibile, con un rendimento economico che risponda ai bisogni della tecnica moderna.

*Tradotto da «Technik und Forschung»  
del «Industriekurier», Düsseldorf*

### Neuerscheinung

### **Grundlagen und Anwendungen der Transistoren**

Der im September-Heft 1960 der «Technischen Mitteilungen PTT» angekündigte «Transistorkurs» ist nun als Buch mit dem Titel «Grundlagen und Anwendungen der Transistoren» von E. R. Hauri und A. E. Bachmann, im Verlag der Generaldirektion PTT, Abteilung Forschung und Versuche, erschienen. Der Inhalt umfasst XVI + 616 Seiten, 13 Kapitel mit 510 Figuren und vielen Tabellen. Die Behandlung des Stoffes erfolgt vorwiegend rechnerisch/quantitativ, so dass das Buch vor allem für das höhere technische Personal (Techniker und Ingenieure) geeignet ist. Der Preis für nicht der PTT angehörende Interessenten beträgt Fr. 30.-.

*Bestellungen* sind zu richten an: **Materialsektion der Generaldirektion PTT**, Postfach Bern 25.