

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 30 (1939)
Heft: 8

Artikel: L'hydrogène, carburant ... sans carbone
Autor: Delley, Ed.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060819>

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>

L'hydrogène, carburant ... sans carbone.

Par Ed. Delley, Fribourg.

621.311.16: 661.96

L'électrolyse de l'eau est un excellent moyen d'absorber les excédents d'énergie de nos usines hydro-électriques et de les stocker, sous forme d'hydrogène, dans des batteries de bouteilles. Cet hydrogène peut servir à alimenter, directement, des moteurs thermiques dont le prototype est le moteur Erren. Les excédents d'énergie disponibles de nos usines, $500 \cdot 10^6$ kWh, sont à même de fournir 100 à $110 \cdot 10^6$ m³ d'hydrogène, soit l'équivalent de $31\ 000$ à $35\ 000$ t d'essence. Leur utilisation directe, sous forme d'hydrogène carburant, est donc susceptible d'apporter une aide précieuse à notre économie et à notre défense nationale.

Die Wasserelektrolyse ist ein Mittel zur Aufnahme der Energieüberschüsse unserer hydroelektrischen Kraftwerke; diese Ueberschüsse können damit in Form von Wasserstoff in Flaschenbatterien gespeichert werden. Mit diesem Wasserstoff können thermische Motoren vom Typ des Erren-Motors direkt gespeichert werden. Die heutigen Energieüberschüsse von jährlich rund $500 \cdot 10^6$ kWh könnten $110 \cdot 10^6$ m³ Wasserstoff liefern, was einer Benzinmenge von $31\ 000$ bis $35\ 000$ t entspricht. Die direkte Verwendung des Wasserstoffs als Brennstoff könnte also geeignet sein, ein wichtiges Glied in unserer Volkswirtschaft zu bilden.

Personne n'ignore l'importance essentielle que peuvent avoir, pour l'économie d'un pays dépourvu de sources naturelles de pétrole, les carburants dits de remplacement: d'une part, à cause de l'économie de devises étrangères qu'ils permettent de réaliser, d'autre part, en raison de la sécurité qu'ils sont à même de procurer en temps de guerre surtout, puisque ces carburants sont obtenus sur le territoire national. Bien plus, si l'on en croit les statistiques, les réserves de carburants liquides naturels sont appelées à s'épuiser dans un avenir assez proche. Les réserves accumulées par les siècles, étrangement insouciantes de leur épuisement possible, ne pourront bientôt plus faire face à une demande sans cesse croissante de pétrole, en raison de la facilité de manutention des carburants liquides et du rendement élevé des moteurs qui les utilisent. On comprend, dès lors, la préoccupation qu'on a, un peu partout, de prospecter systématiquement le pétrole indigène et de rechercher des succédanés: alcool, benzol, gaz de ville ou de cokerie, gaz de bois et de charbon de bois, gaz de tourbe, ammoniac, hydrogène, etc., essence synthétique enfin obtenue à partir du charbon par hydrogénation (procédé Bergius) ou par synthèse catalytique (procédé Fischer). Malheureusement, d'une façon générale, chacun de ces carburants n'est disponible qu'en quantité plus ou moins limitée; certains, même, sont d'un prix de revient trop élevé pour être normalement utilisables en temps de paix. Les qualités de chacun de ces succédanés du pétrole naturel n'en sont pas moins remarquables et largement suffisantes pour justifier l'intérêt qu'on attache à vulgariser leur emploi.

Un carburant gazeux, l'hydrogène, va retenir un moment notre attention. Il mérite bien une mention spéciale, car, parmi les fabrications caractéristiques que nous ait révélées l'après-guerre, celles de l'essence synthétique et de l'ammoniac se distinguent surtout par la technique nouvelle adoptée et par les quantités énormes d'hydrogène ou de gaz riches en hydrogène mises en jeu. Ces fabrications sont aussi l'expression du souci constant de notre civilisation qui est de rechercher, dans les réserves naturelles mises à sa disposition, des formes concentrées et assouplies de l'énergie utilisable. La fixation de l'hydrogène à laquelle ces formes concentrées de l'énergie font inmanquablement appel — comme l'essence obtenue par hydrogénation du charbon — trouve sa raison dans le fait que les composés du carbone avec l'hydrogène représentent par rapport au car-

bone non seulement un accroissement de l'énergie utilisable par rapport à la masse, mais encore un allègement et une souplesse d'emploi qui les font universellement rechercher pour actionner les moteurs thermiques. Dans les cycles de transformations chimiques capables de développer de l'énergie, l'oxydation de l'hydrogène représente un maximum d'énergie rapportée au poids. Un kilogramme d'hydrogène dégage, dans sa combustion, $28\ 500$ ou $33\ 900$ kcal, suivant qu'il forme de la vapeur d'eau ou de l'eau condensée, alors qu'un kilogramme de carbone brûlant complètement à l'état d'acide carbonique (CO_2) n'en dégage que $8\ 100$. On se rend compte, dès lors, de l'intérêt que peut présenter l'hydrogène pur comme carburant pour moteurs.

Les sources d'hydrogène.

Industriellement on puise l'hydrogène à deux sources principales:

1° à celle de l'eau, qu'on décompose ou qu'on réduit:

par électrolyse,
par l'action du fer ou du phosphore,
par l'action du carbone ou de l'oxyde de carbone;

2° à celle des corps organiques:

par pyrogénéation de la houille, des combustibles solides, de certains combustibles liquides, du méthane et de ses homologues contenus soit dans les gaz naturels, soit dans les gaz de fours à coke, soit dans les gaz de cracking et les gaz résiduels de l'hydrogénation du charbon.

On peut combiner des procédés afférant les deux sources et obtenir de l'hydrogène en décomposant, par exemple, des corps organiques en présence d'eau. L'eau décomposée par électrolyse est, de beaucoup, la plus importante des deux sources bien qu'il faille dépenser une grande quantité d'énergie pour libérer l'hydrogène; elle constitue, en effet, une réserve naturelle d'énergie pratiquement inépuisable.

La réduction de l'eau par le fer ou par le phosphore relève plutôt de la technique du laboratoire. Elle n'a jamais présenté un grand intérêt industriel, soit à cause du prix de revient élevé de l'hydrogène produit dans le cas où la réduction a lieu par le fer, soit à cause des difficultés qu'entraîne la purification de l'hydrogène obtenu lorsqu'on réduit l'eau par le phosphore.

Les deux procédés courants et vraiment importants de réduction de l'eau par le carbone et par l'oxyde de carbone font appel au gaz à l'eau dont la fabrication et la conversion par la vapeur d'eau s'accouplent couramment l'une à l'autre.

L'utilisation de composés organiques et des hydrocarbures est d'origine plus récente: le procédé est d'ailleurs moins répandu que celui du gaz à l'eau. Là, l'énergie de liaison de l'hydrogène n'est plus, théoriquement, que de 4720 kcal/kg alors qu'il faut en dépenser 33 900 pour libérer l'hydrogène de l'eau par électrolyse.

Lequel de ces différents procédés doit être préféré à tous les autres? C'est là une question à laquelle on ne saurait répondre de prime abord. En règle générale, seule une étude très poussée du problème, tenant compte des disponibilités locales en combustibles et en énergie, comme aussi des besoins à couvrir permettra de faire un choix judicieux entre les principaux procédés industriels connus.

L'électrolyse de l'eau:

Son importance pour l'économie nationale.

En vue de l'utilisation de l'hydrogène comme carburant pour moteurs, la Suisse, très pauvre en minerais de toutes sortes, doit naturellement éviter, le plus possible, l'emploi du charbon servant de matière première à la fabrication de l'hydrogène. Et comme les sources naturelles d'énergie du pays résident au fond, essentiellement, dans ses nombreux cours d'eau et dans ses forêts, c'est à l'électrolyse de l'eau qu'elle doit avoir recours pour se procurer l'hydrogène nécessaire à ses besoins. Ce procédé, qui fournit de l'hydrogène d'un degré de pureté très élevé (plus de 99,5 %) requiert, il est vrai, une consommation importante d'énergie électrique. La consommation pratique de 4,5 à 5 kWh/m³ d'hydrogène correspond à un rendement de $\frac{2580}{4,5 \dots 5 \cdot 860} =$

60...66,6 %. Mais, ce qui, malgré cette grosse dépense d'énergie, rend le procédé d'extraction intéressant c'est que l'électrolyse de l'eau constitue un excellent moyen d'absorber les excédents d'énergie de nos usines hydro-électriques et de les stocker, sous forme d'hydrogène, dans des batteries de bouteilles. En effet, toutes les usines hydrauliques génératrices d'électricité ont un intérêt réel à se rapprocher, le plus possible, de l'utilisation intégrale de l'énergie qu'elles peuvent fournir, autrement dit, de la marche à pleine charge pendant le plus grand nombre d'heures de l'année. Or, bien souvent, surtout durant les périodes de grandes eaux, comme aussi la nuit, leur coefficient d'utilisation descend très bas et, malgré les tarifs réduits accordés pour l'énergie absorbée aux heures creuses, il n'est pas toujours facile de supprimer ces heures par le seul jeu des demandes de la clientèle ordinaire. Une usine électrique a donc tout avantage à se ménager, autant que possible, une clientèle industrielle spéciale, capable d'absorber les excédents de charge très variables dont elle dispose à chaque moment. Dans le cas de l'électrolyse, pour que ce système d'emmagasinement de l'énergie ait des chances de se développer, il faut trouver des débouchés aux gaz produits: hydrogène et oxygène. L'oxygène (0,5 m³ par m³ d'hydrogène dégagé) peut être absorbé facilement par les postes de soudure autogène, par les

usages médicaux, etc. L'hydrogène, par contre, à part certaines applications de l'industrie chimique — durcissement des huiles, hydrogénation des huiles fluides végétales et animales pour la fabrication de margarine, de savons, etc. — ne semble pas assuré pour le moment du moins, en Suisse, d'un débouché aussi important et aussi sûr. Aux Journées de Discussion de l'Association Suisse pour l'Aménagement des Eaux et de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité (Zurich, 3 juin 1938), M. Lorenz a exposé un projet d'utilisation des excédents d'énergie électrique pour la production de fonte brute et d'essence à partir des minerais de fer du Gonzen et du Fricktal¹⁾. Le traitement annuel d'environ 126 000 t de ces minerais permettrait l'obtention de 48 000 t de fonte brute; il fournirait, en outre, des gaz d'échappement en quantité importante. La dépense d'énergie électrique nécessaire au traitement des minerais s'élèverait à 140 ... 150 · 10⁶ kWh. Les gaz d'échappement des fours électriques, composés en majeure partie (76 %) d'oxyde de carbone (CO), permettraient, par réaction catalytique sur l'hydrogène électrolytique produit avec les excédents d'énergie disponibles, soit près de 500 · 10⁶ kWh, la fabrication de 25 000 t d'essence, la huitième partie de nos besoins actuels de carburants. Le projet est donc séduisant.

Toutefois, à notre avis, l'utilisation rationnelle de nos excédents d'énergie électrique ne postule pas absolument la fabrication d'essence synthétique. En effet, d'une part, les gaz d'échappement des fours dont le pouvoir calorifique atteint 2500 ... 2600 kcal/m³ doivent pouvoir trouver un autre emploi que celui qu'on leur réserve. D'autre part, l'hydrogène électrolytique nécessaire à la fabrication d'essence, comprimé dans les bouteilles, peut servir à alimenter directement des moteurs à explosion. Enfin, alors que la fabrication d'essence synthétique par catalyse suppose nécessairement une concentration de la production d'essence, la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau réalise une décentralisation puisqu'elle peut avoir lieu à l'endroit même où l'hydrogène-carburant trouve emploi. A raison de 4,5 ... 5 kWh/m³, 500 · 10⁶ kWh sont à même de fournir dans les différentes usines génératrices d'électricité ou en des endroits quelconques des réseaux, 100...110 · 10⁶ m³ d'hydrogène, soit l'équivalent de 31 000...35 000 t d'essence. L'emploi direct de l'hydrogène dans des moteurs thermiques réaliserait ainsi plusieurs gains qui porteraient:

a) sur la suppression de l'usine de catalyse productrice d'essence synthétique;

b) sur la quantité de carburant obtenue: 100...110 · 10⁶ m³ d'hydrogène, soit l'équivalent pratique de 31 000...35 000 t d'essence contre 25 000 t prévues si l'on recourt à la catalyse;

c) sur la quantité de coke, nécessaire à la production de gaz à l'eau, destinée à parfaire la quantité de gaz d'échappement insuffisante, à elle seule, pour permettre l'obtention des 25 000 t d'essence;

d) sur l'énergie calorifique contenue dans les gaz d'échappement des fours électriques qui pourrait trouver emploi dans le traitement ultérieur de la fonte de fer brut²⁾.

¹⁾ Bulletin ASE 1938, No. 20, p. 568.

²⁾ Bull. ASE 1939, No. 2, p. 38.

En regard de ces avantages, on pourra objecter que l'emploi d'un gaz aussi léger que l'hydrogène, d'un pouvoir calorifique aussi faible ($H_{inf} = 2580$ kcal/m³), en lieu et place de l'essence, pose des problèmes de thermodynamique, de métallurgie, de répartition et d'économie très difficiles à résoudre et qui risquent de rendre illusoire le bénéfice escompté sur l'emploi du nouveau carburant pour le cas où ces problèmes ne seraient pas résolus convenablement. Qu'on se rassure à ce sujet car chacun des problèmes évoqués a déjà, au fond, trouvé sa solution propre, en lui-même ou dans des domaines connexes. En effet, au point de vue thermodynamique, après de longues années de recherches, le moteur à hydrogène sort actuellement du domaine du laboratoire et entre dans le domaine des réalisations pratiques; nous en reparlerons plus loin. Du côté métallurgique, la complexité du problème provient de la facilité et de la rapidité de diffusion de l'hydrogène gazeux à travers les parois métalliques et du danger de décarburation auquel sont sujets les fontes et les aciers portés à des températures élevées lorsqu'ils sont en contact avec de l'hydrogène. Mais là, les difficultés que notre industrie suisse des machines a su vaincre dans la construction de compresseurs à hydrogène à haute pression destinés à des usines d'hydrogénation du charbon³⁾ font présager de la maîtrise avec laquelle nos industriels en surmonteraient de nouvelles. La production éparpillée d'hydrogène électrolytique et sa distribution aux lieux mêmes de sa consommation ne présentent guère de difficultés; on les a connues à l'étranger où le gaz de ville comprimé servant à l'alimentation de moteurs de camions automobiles et d'autobus est l'objet d'une répartition semblable à celle de l'essence, dans des postes de distribution ad hoc. Et bien que l'essence de pétrole, de par le long usage qu'on en a déjà fait et les patientes recherches dont elle a été l'objet soit d'un ravitaillement plus commode que ne le sont les gaz actuellement, il ne fait pas de doute qu'on arrivera, avec le temps, à rendre leur distribution des plus aisée. Au point de vue de l'économie nationale, l'électrolyse de l'eau ne peut être retenue qu'avec les excédents d'énergie et pour des prix d'énergie de l'ordre de 1 ct/kWh. Compte tenu des services d'amortissement des appareils, d'intérêt des capitaux engagés et de main-d'œuvre, le prix de l'équivalent d'essence (benzine) s'élève à 30...35 % de celui de l'essence importée augmenté des charges fiscales.

Les appareils électrolyseurs qu'on rencontre sur le marché ont fait l'objet de descriptions détaillées. Ils fournissent directement de l'hydrogène à basse pression ou à haute pression, à pression constante ou à pression variable, suivant le type de l'appareil. En vue de diminuer la dépense d'énergie, l'électrolyse de l'eau a lieu le plus souvent sous pression; elle permet ainsi l'obtention directe d'hydrogène à une pression d'utilisation élevée allant jusqu'à plusieurs centaines d'atmosphères. L'économie porte essentiellement sur la diminution de la résistance

intérieure de l'électrolyte, du fait que les bulles gazeuses dégagées occupent un volume considérablement réduit. Les électrolyseurs à pression constante présentent l'avantage que l'énergie qu'ils absorbent est indépendante de la pression du gaz. Ils se prêtent donc particulièrement bien à l'absorption, à tout moment, d'une quantité quelconque d'énergie en excédent. Le degré de pureté des gaz produits dans tous ces appareils est élevé (jusqu'à 99,9 % pour l'hydrogène, un peu moins, 98,5...99 %, pour l'oxygène). Leur encombrement est très réduit. Rapportée au mètre carré de surface de plancher, la puissance peut atteindre près de 50 m³ d'hydrogène par heure. La consommation d'énergie se monte en moyenne à 4,5...5 kWh/m³ (rapportés à 20° C et 760 mm Hg), pour une pression de 150...200 kg/cm²; elle descendrait même à 3...3,5 kWh/m³ sous 200 kg/cm² dans certains cas⁴⁾. La possibilité d'emmagasiner directement dans des bouteilles, sans l'aide d'un compresseur, les gaz fournis par l'électrolyse sous pression, comme aussi de trouver sur le marché des appareils permettant de produire à volonté n'importe quelle quantité de gaz, sont les principaux facteurs de cette décentralisation de la production du nouveau carburant qui nous paraît si précieuse.

Le moteur à hydrogène.

a) *Aperçu historique.* Dans l'histoire du développement scientifique de notre pays, il est un fait qu'il est bon de rappeler, à savoir que c'est à un de nos compatriotes que revient l'honneur d'avoir inventé le moteur à hydrogène. François-Isaac de Rivaz, né à Paris en 1752, mort en 1829, descendant d'une illustre famille valaisanne connue à Monthey au XII^e siècle, établie plus tard à St-Gingolph, et qui fut successivement major du gouvernement de Monthey en 1784, membre de la Chambre administrative du Valais en 1798, puis ingénieur en chef de la République, eut le premier l'idée d'utiliser les propriétés explosives du mélange de l'hydrogène et de l'oxygène pour obtenir la traction mécanique. Le brevet qu'il obtint, à ce sujet, de la 2^e division des Arts et Manufactures, délivré par le ministre de l'Intérieur français Champey, porte la date du 30 janvier 1807. Dans les conclusions de son mémoire breveté, de Rivaz affirmait qu'il avait découvert, le premier, la propriété qu'a l'explosion de l'hydrogène et de l'oxygène d'être employée comme force motrice pour le déplacement d'un véhicule automoteur dans des conditions analogues à celles des machines à vapeur. De Rivaz fit des expériences pratiques d'application de son invention et aurait réalisé le mouvement automobile à Vevey en 1813. Notre compatriote n'est pas l'inventeur de la voiture routière automobile, il n'est pas celui qui a découvert les propriétés du mélange détonant de l'hydrogène et de l'oxygène, ni non plus le moteur à gaz, œuvre de l'anglais Barbier en 1791. Par contre, de Rivaz paraît être incontestablement l'inventeur du mode d'utilisation, pour la traction mécanique, de l'explosion qui se produit quand les deux gaz, hydrogène et oxygène, sont mis en présence. Ce n'est que plus tard, en 1820, que le Réverend W. Cecil présentait à la «Cambridge Philosophical Society» un rapport intitulé: «The Application of the hydrogen to produce a Moving power in machinery» et construisait un moteur dans lequel la force motrice était due à l'explosion de l'hydrogène dans l'air⁵⁾. L'oubli se fit vite autour de l'idée géniale de de Rivaz; il s'écoula plus

³⁾ Revue technique Sulzer 1938, No. 4.

⁴⁾ J. E. Næggerath, Z. VDI Bd. 72, 1928, S. 373.

H. Niederreither, ETZ 1934, S. 999.

K. Arndt, ETZ 1939, S. 189.

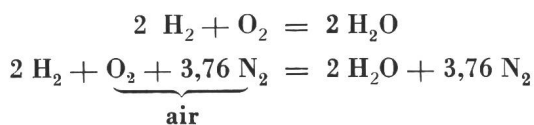
L. Vellard, Revue générale de l'électr., Tome XXIII, p. 173.

A. Sander, Z. VDI Bd. 76, 1932, S. 420.

⁵⁾ Journal of the Institute of Fuel, june 1933.

d'un siècle jusqu'au jour où on la reprit, sans même qu'on soupçonnât alors, et le nom de l'inventeur du moteur à hydrogène et ses réalisations. Il y a là, au fond, quelque chose de bien humain. C'est la vieille histoire, toujours nouvelle, de ceux dont les idées sont trop en avance sur leur temps.

b) *Le moteur Erren.* Ces considérations historiques ont leur importance. Il n'est cependant pas possible de s'y attarder longtemps pour la bonne raison qu'il existe, à l'heure actuelle, des sociétés telles que celle des moteurs Erren à Berlin dont le but est de développer l'emploi de l'hydrogène avec des moteurs spécialement étudiés. Dans ces moteurs, l'hydrogène joue le rôle de carburant, l'oxygène pur ou l'air atmosphérique celui de comburant. Dans l'un comme dans l'autre cas, le produit de la combustion est de la vapeur d'eau, obtenue, respectivement, d'après les réactions suivantes:



La combustion convenable de l'hydrogène dans un moteur a longtemps semblé impraticable, car le mélange d'hydrogène et d'air ou d'oxygène est extrêmement détonant; elle paraissait devoir créer un choc extrêmement violent, inadmissible dans un cylindre de moteur. De plus, après sa combustion, le mélange gazeux qui subit une diminution de volume importante rendait douteuse l'obtention d'un diagramme $p-v$ satisfaisant. Mais, de fait, la diminution de volume du mélange gazeux est compensée en partie par la température élevée obtenue en fin d'explosion, ce qui fait que le diagramme $p-v$ est normal. Quel que soit le type, tout moteur à explosion ou à combustion peut être transformé pour être apte à marcher à l'hydrogène. Le moteur ainsi transformé peut encore fonctionner, au besoin, au carburant primitif, éventuellement à l'alimentation mixte (carburant ordinaire et hydrogène, en proportions variables à volonté).

M. Erren qui a mis au point le moteur à hydrogène dans sa forme actuelle a conçu, de ce fait, un nouveau cycle thermique qui, s'inspirant du cycle Diesel, comporte l'admission unique et totale d'air pendant la course d'aspiration. Le carburant gazeux qui peut être aussi du gaz de houille, du gaz à l'eau, de l'ammoniac, est injecté sous pression pendant la dernière partie de la course de compression, ce qui permet de récupérer une partie de l'énergie cinétique contenue dans le gaz stocké sous pression.

Le cycle Erren se différencie donc nettement du cycle ordinaire des moteurs à explosion ou cycle Beau de Rochas. Ceci est très important pour les carburants gazeux dont l'utilisation jusqu'à maintenant a été entravée par la perte de puissance caractéristique causée par la substitution même du combustible gazeux au combustible liquide. En effet, le cycle Beau de Rochas qui comporte l'admission d'un mélange de gaz et d'air pendant la course d'aspiration seulement, implique que plus on admet de gaz, moins on dispose d'air de combustion. L'admission de l'hydrogène sous pression assure

la turbulence avec mélange intime de gaz et d'air. Sa combustion produit de la vapeur d'eau dont la formation retire de la chaleur à l'azote de l'air, gaz inerte. Aussi, la température maximum dans la chambre de combustion d'un moteur à hydrogène est modérée et ne dépasse pas 2000° (elle atteindrait près de 2700° si la combustion avait lieu dans l'oxygène). Grâce à cette température maximum relativement faible, on peut utiliser un mélange combustible pratiquement correct. La température des gaz d'échappement est aussi considérablement abaissée: ce qu'ont prouvé des essais effectués en Angleterre sur un moteur 6 cyl. AEC, taux de compression de 5, marchant à l'essence ou au gaz de houille, où on a mesuré pour une même pression moyenne effective de 4,2 kg/cm² une température des gaz de 580° dans le cas de l'essence (cycle Beau de Rochas) et de 420° seulement pour le gaz de houille (cycle Erren). On profite ainsi du cycle à basse température qui se rapproche du cycle parfait.

Si, comme dans le cycle Diesel, on utilise maintenant un rapport volumétrique élevé, la course de détente se rapproche beaucoup de l'adiabatique parfaite et le rendement thermique du cycle prend des valeurs accrues atteignant 63 % avec un taux de compression de 12 à 1. Le rendement économique se fixe entre 30 et 35 %. Avec de pareils rendements, la consommation d'un moteur à hydrogène s'élève à 0,9...1,1 m³/kWh effectif. On arrive dès lors pour la transformation de l'énergie électrique initiale à l'énergie mécanique fournie par le moteur, à un rendement global de 20 à 23 %.

Le mélange air-hydrogène est allumé électriquement comme dans le cycle du moteur à explosion ordinaire. Si le rapport de compression est suffisamment élevé, grâce à ses qualités spéciales, on pourra utiliser l'hydrogène comme dans un moteur Diesel et obtenir l'allumage par injection, en fin de la course de compression, d'une très faible quantité d'huile (quelques grammes de gas-oil par kWh effectif).

Conclusions.

Les principaux avantages que présenterait l'utilisation de l'hydrogène comme carburant seraient donc les suivants:

- 1° d'être un carburant de production nationale pouvant être obtenu, à un prix raisonnable, par électrolyse de l'eau avec les excédents d'énergie hydraulique disponibles pendant les heures creuses de l'année ou de la journée;
- 2° d'avoir des gaz d'échappement inoffensifs;
- 3° de ne pas produire de dépôts solides dans le moteur, ni non plus de dilution du lubrifiant;
- 4° de maintenir la consommation du carburant indépendante, pratiquement, de la charge du moteur;
- 5° pour ce qui touche de plus près la solution trouvée par M. Erren, d'augmenter considérablement l'efficacité volumétrique du moteur et de lui permettre de bénéficier des avantages du cycle à basse température.

L'hydrogène peut être aussi employé avantageusement en mélange avec de la benzine, de l'huile lourde ou avec tout autre carburant liquide. Il apporte des facilités pour l'alimentation des moteurs

en leur permettant de brûler des huiles minérales lourdes, difficilement inflammables.

Nous avons montré l'importance que peut avoir pour notre pays la mise en valeur de nos excédents d'énergie électrique. Nous en concluons que leur

utilisation directe sous forme d'hydrogène dans des moteurs thermiques est à même d'apporter une aide précieuse à notre économie et à notre défense militaire, aide qu'il est de notre devoir de souligner, surtout dans les temps troublés que nous vivons.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Elektrifizierter Strassenverkehr.

621.335.5 : 629.113.62

In vielen Ländern besteht das Bestreben, wenigstens einen Teil des Strassenverkehrs von den heute noch vorwiegend verwendeten ausländischen oder überseeischen flüssigen Brennstoffen unabhängig zu machen. Neben der Erstellung von Anlagen für Benzinsynthese und den Versuchen mit Holzgas und Stadtgas spielt die vermehrte Verwendung von elektrisch angetriebenen Strassenfahrzeugen (Trolleybus oder Akkumulatorenfahrzeug) eine nicht zu unterschätzende Rolle. Es ist zu berücksichtigen, dass keine andere Antriebsart so vollkommen wie die Elektrizität die Ausnutzung minderwertiger Brennstoffe (Braunkohle oder Kohlenstaub) erlaubt. Wasserkraft kann auf andere Weise überhaupt nicht für den Fahrzeugantrieb verwendet werden. Im folgenden sind einige Angaben über Ausrüstung, Verbreitung, Betriebskosten und Betriebserfahrungen elektrischer Strassenfahrzeuge zusammengestellt.

1. Strassenfahrzeuge mit Stromzuleitung (Trolleybus).

Der Trolleybus, über dessen Fortschritte in der Schweiz im Bull. SEV laufend berichtet wurde, hat merkwürdigerweise bis jetzt die grösste Verbreitung in Ländern mit eigenen inländischen oder überseeischen Petrolquellen, nämlich in England, Russland und Nordamerika erreicht. Rechnet man die im Sommer 1938 bestellten Fahrzeuge mit ein, so verfügt England über 3200, Nordamerika über 1780 und Deutschland nur über 53 Trolleybusse. Die grössten Trolleybusbetriebe finden wir in London (348 Fahrzeuge im Betrieb + 580 bestellt), in New Jersey (USA) mit 500 Fahrzeugen (inkl. sog. Zweikraftwagen) und in Moskau mit 389 Fahrzeugen. Die Zahl der Städte mit Trolleybusanlagen kann für die einzelnen Länder aus folgender Tabelle entnommen werden.

Städte mit Trolleybusanlagen, Stand Ende 1937.

1. Europa:	3. Asien:
England 34	Japan 9
Italien 18	Russland 5
Deutschland 12	Indien 5
Frankreich 6	China 2
Belgien 4	
Uebrige Länder . . 10	
	21
2. Amerika:	4. Afrika 8
Nordamerika . . . 49	5. Australien 5
Südamerika 2	
	51

Der Preis eines Trolleybusses ist nach vorliegenden Angaben in Deutschland für grosse Wagen etwa gleich hoch wie für einen Dieselmobilbus, während für Fahrzeuge mit kleinerer Platzzahl der Trolleybus im Ankauf noch etwas teurer ist. Sobald aber Trolleybusse in grösserer Zahl und vom gleichen Typ hergestellt werden, tritt eine fühlbare Preissenkung ein. — Die Stadt Lüttich betreibt ein Trolleybusnetz von 27 km Länge mit Fahrzeugen von 30 Sitz- und 30 Stehplätzen und einem mittleren Wagengewicht von 9,5 Tonnen. Die Wagen werden durch je einen Verbundmotor von 55 kW angetrieben, erreichen bei ebener Linienführung eine Reisegeschwindigkeit von 22 km/h und verbrauchen im Mittel bei einem Haltestellenabstand von 500 m rund 1,2 kWh/Wagenkilometer (inklusive Wagenheizung). In deutschen Betrieben wurden je nach den örtlichen Verhältnissen Verbrauchszahlen von 1,0 bis 1,6 kWh/Wagenkm (inkl. Wagenheizung) ermittelt. — In den Vereinigten Staaten sind an verschiedenen Orten sog. Zweikraftwagen (All-Service Vehicles) im Betrieb. Es handelt sich um Trolleybusse, welche ausser der

normalen Ausrüstung noch eine Dieselmotorgruppe enthalten, so dass die Fahrmotoren wahlweise von der Oberleitung oder von der Dieselmotorgruppe aus gespeisen werden können. Die Mehrkosten für die Doppelausrüstung dürften sich allerdings nur in Sonderfällen bezahlt machen.

Allgemeine Regeln für die Wahl zwischen elektrischer Strassenbahn, Dieselmobilbus und Trolleybus lassen sich nicht geben; jedoch kann man sich als Richtlinie merken, dass bei den üblichen Energiepreisen bei einer Wagenfolge unterhalb 5 Minuten die Strassenbahn, bei einer Wagenfolge zwischen 5 und 30 Minuten der Trolleybus und bei noch geringerer Verkehrsdichte der Autobus das wirtschaftlichste Verkehrsmittel darstellt.

2. Akkumulatorenfahrzeuge.

a) *Allgemeines.* Das Akkumulatorenfahrzeug ist vollkommen freizügig und erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 25 bis 35 km/h je nach Bauart und Verwendungszweck. Der Fahrbereich pro Batterieladung liegt zwischen 60 und 80 km, kann aber durch Verwendung von Wechselbatterien oder durch Schnellladung (bis rund 80 % der Betriebskapazität in einer Stunde nachgeladen) stark erweitert werden. Aus aufgenommenen Statistiken folgt, dass etwa 40 % aller Last- und Lieferwagen mit Explosionsmotoren eine tägliche Fahrleistung bis zu höchstens 60 km aufweisen. Diese Fahrzeuge können fast alle durch Batteriefahrzeuge ersetzt werden. Da sie durchweg in der Stadt verkehren, spielt die geringere Höchstgeschwindigkeit des Elektrofahrzeuges keine Rolle, denn im Stadtverkehr kommt die bessere Anfahreigenschaft des Elektrofahrzeuges voll zur Geltung, so dass z. B. Elektrofahrzeuge für Lieferungsdienst oder Kehrtafelabfuhr höhere Reisegeschwindigkeiten erreichen als gleichartige Automobile. Das Elektrofahrzeug ist wegen dem Fehlen der Auspuffgase, dem raschen Anfahren und den geringen Energiekosten für den Stadtverkehr sehr gut geeignet.

b) *Grossfahrzeuge.* Die deutsche Reichspost hat für den Zustelldienst rund 2400 elektrische Fahrzeuge mit einer Nutzlast von 0,75 und 2 Tonnen im Betriebe. Diese Fahrzeuge legten zusammen im Jahre 6,4 Millionen km zurück. Müsste die gleiche Transportarbeit mit Automobilen geleistet werden, so ergäbe sich nach angestellten Berechnungen Mehrkosten von 40 %, was bei einem Elektrizitätspreise von 6,62 Pfg./kWh einem Betrage von 1,1 Millionen RM. gleichkäme. — Die Stadt Köln gibt auf Grund langjähriger Erfahrungen für ihren elektrifizierten Fuhrpark folgende Werte bekannt: Bei einer jährlichen Fahrleistung von 12 000 km betragen die Gesamtkosten für Betrieb und Unterhalt für einen 5-Tonnen-Wagen bei Benzinbetrieb 0,941 RM./km, bei Elektrowagen 0,648 RM./km bei einem Elektrizitätspreis von 5 Pfg./kWh drehstromseitig. Die Gesamtkosten für Umformung und Ladeeinrichtung betragen 2,9 Pfg./kWh, so dass der Gleichstrom an den Batterieklemmen 7,9 Pfg./kWh kostet. — Die Stadt Birmingham führte bereits 1932 rund 75 % des Kehrrechtes mit Elektrowagen ab und konnte dadurch die Gesamtkosten der Abfuhr gegen früher um 25 % senken. Bei den obigen Beispielen wurden alle Kosten für Fahrzeug, Batterie, Ladeeinrichtung und Elektrizitätsankauf berücksichtigt. Die Unterhaltskosten für die Batterien sind im Verhältnis zu den übrigen Betriebskosten immer noch ziemlich hoch und erfordern bei einem Elektrizitätspreis von 5 Pfg./kWh rund das Doppelte des Energiepreises pro gefahrenen Kilometer. Es ist aber zu erwarten, dass sich der Anteil der Batteriekosten bei stärkerer Verbreitung der Elektrofahrzeuge noch wesentlich senken lassen wird.

Das Elektrofahrzeug für die Strasse ist in der Stadt, wenn richtig eingesetzt, dem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor wirtschaftlich überlegen und die Elektrizitätswerke sollten alles tun, um diese Fahrzeuge zu fördern. Ausser der allgemeinen Aufklärung kommt die Mithilfe bei der Finanzierung