

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 71 (1980)

**Heft:** 10

**Rubrik:** Verbandsmitteilungen des VSE = Communications de l'UCS

### **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:** 18.03.2025

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

durch Tabellen im Anhang erweitert werden. Die Aufgaben und Ziele einer neu zu gründenden Expertengruppe über Netzführung müssen zuerst mit CIGRE und UCPTÉ koordiniert werden. An dieser Expertengruppe sind vor allem die nicht in der UCPTÉ vertretenen Länder interessiert.

Die UNIPEDE wird durch drei Vorträge am Verbundseminar der Union des Producteurs, Transporteurs et Distributeurs d'Énergie électrique d'Afrique (UPDEA) in Abidjan vertreten sein.

*Dr. F. Schwab*

qu'il est prévu de constituer, il faudra encore préalablement coordonner ses tâches et ses objectifs avec la CIGRE et l'UCPTÉ. Ce groupe d'experts intéresse surtout les pays non représentés dans l'UCPTÉ.

L'UNIPEDE participera avec trois exposés au séminaire sur l'interconnexion organisé à Abidjan par l'Union des Producteurs, Transporteurs et Distributeurs d'Énergie électrique d'Afrique (UPDEA).

*F. Schwab*

## Verbandsmitteilungen des VSE – Communications de l'UCS



### Presseorientierungen des VSE über Elektrofahrzeuge 5. November 1979 in Rapperswil

*Nachfolgend sind die an den Pressekonferenzen von Rapperswil und Lausanne gehaltenen Kurzreferate wiedergegeben*

### Conférences de presse de l'UCS sur les véhicules électriques 6 novembre 1979 à Lausanne

*Voici les exposés présentés aux deux conférences de presse de Lausanne et Rapperswil*

#### Elektrische Automobile – gestern, heute und morgen

Von F. Casal

Die unmittelbaren technischen Vorzüge des elektrischen Automobils erfährt man am schnellsten, wenn man die normale Tagesbenützung eines Benzinautos im Detail verfolgt. Nehmen wir also an, dass ich an einem kalten Wintermorgen den Zündschlüssel einstecke und den Starter betätige: Ein kleiner Elektromotor wird nun den Benzinmotor anwerfen, denn dieser ist, im Gegensatz zum Elektromotor, nicht selbstanlaufend. Nach einer kalten Nacht wird bei diesem Manöver ziemlich viel Benzin nutzlos verpufft, und der Motor wird vorerst noch einige Minuten lang sehr unruhig und unzuverlässig arbeiten. Bei der Ausfahrt aus der Garage kommt eines der angetriebenen Räder auf einer Eisschicht ins Gleiten, und das andere bekommt dadurch keine Antriebskraft mehr. Nach einigen Versuchen gebe ich mich vorsichtig auf den Weg zur Arbeit. Bei der nächsten Kurve muss ich sehr sorgfältig steuern und darf nicht schalten, nicht bremsen und nicht beschleunigen, damit ich nicht ins Schleudern komme. In der Stadt treffe ich gute Strassenverhältnisse an, muss aber wegen des dichten Verkehrs immer wieder das Schaltgetriebe betätigen, und als ich einige Stunden später als Fussgänger an einer Kreuzung auf das grüne Licht warte, wundere ich mich, wie lange ich schon diesen Lärm, diesen Gestank und diese krebserzeugende Abgase aushalten müssen. Dies bringt mich auf den Gedanken, dass ich noch das Loch im Auspufftopf reparieren lassen muss, da mir der Nachbar bereits böse Blicke zugeworfen hat.

Als Elektroingenieur ist mir bewusst, dass ein elektrisches Automobil keinen Startvorgang braucht, keine Kupplung und kein Schaltgetriebe; ferner könnte es so gebaut werden, dass, wenn ein Antriebsrad ins Gleiten kommt, das andere seine Kraft nicht verliert, und dass der Wagen scharf abgebremst werden kann, ohne dass die Räder dabei blockiert werden. Ein solcher Wagen hätte nur etwa ein Fünftel der mechanischen Bauteile eines Benzinmotors und könnte bei entsprechender Massenfertigung wesentlich billiger als ein Benzinauto verkauft werden.

Schon lange bevor der Benzinmotor als Fahrzeugantrieb eingesetzt werden konnte, gab es betriebssichere und einfach aufgebaute elektrische Automobile. Von etwa 1890 bis 1910 wurde der Stadtverkehr sowohl in den USA als auch in Europa eindeutig von elektrischen Automobilen dominiert. Um 1900 herum erreichte der Belgier Jenatzy mit seinem elektrischen Rennauto «La jamais contente» die für damalige Verhältnisse haarsträubende Geschwindigkeit von 105,9 km/h und stellte damit den ersten

#### Les automobiles électriques – hier, aujourd'hui et demain

Par F. Casal

C'est en examinant en détail l'utilisation quotidienne normale d'une automobile à essence que l'on peut le mieux se rendre compte des avantages techniques immédiats de l'automobile électrique. Supposons donc que par un froid matin d'hiver, j'enfiche ma clé d'allumage et je démarre: un petit électromoteur mettra en marche le moteur à essence, celui-ci ne pouvant pas démarrer sous charge, comme le moteur électrique. Après une nuit froide, cette manœuvre est la cause d'un gaspillage considérable d'essence, et le fonctionnement du moteur restera encore pendant quelques minutes très irrégulier et incertain. En sortant du garage, une des roues motrices patine sur une plaque de glace et, par conséquence, l'autre roue manque de force motrice. Après quelques essais, je me mets en route avec précaution pour me rendre à mon travail. Au prochain virage, il convient d'être très prudent, et je n'ose ni changer de vitesse, ni freiner, ni accélérer pour ne pas déraper. En ville, les conditions des routes sont bonnes; cependant, je suis obligé de changer fréquemment de vitesse à cause du grand trafic. Lorsque quelques heures plus tard, je me trouve à pied à attendre le feu vert à un croisement, je me demande pendant combien de temps j'ai été obligé de supporter ce bruit, cette mauvaise odeur et ces gaz d'échappement cancérigènes. Ceci me fait penser que je dois encore faire réparer le trou dans mon pot d'échappement, mon voisin m'ayant déjà regardé d'un mauvais œil.

En ma qualité d'ingénieur electricien, j'ai conscience du fait qu'une automobile électrique fonctionne sans dispositif de démarrage, sans embrayage et sans boîte de vitesse. En outre, elle pourrait être construite de façon à ce qu'une roue ne perde pas sa force motrice quand l'autre patine et que la voiture puisse être freinée d'un coup sans que les roues ne se bloquent. Une telle voiture se composerait d'un cinquième des pièces mécaniques d'une automobile à essence et pourrait être vendue, si elle était fabriquée en masse, à un prix bien plus favorable que celui d'une voiture à essence.

Bien avant que le moteur à essence n'ait pu être mis en service comme moteur pour véhicules, des automobiles électriques de fonctionnement sûr et de construction simple existaient déjà. Tant aux Etats-Unis qu'en Europe, la circulation dans les villes était nettement dominée par des automobiles électriques d'environ 1890 à 1910. Autour de 1900, le Belge Jenatzy atteignait avec sa voiture de courses «La jamais contente» la vitesse, horripilante pour les temps qui couraient, de 105,9 km/h, établissant ainsi le premier

geschichtlich anerkannten Geschwindigkeitsrekord für Automobile auf. Um 1914 herum brachten es zwei schweizerische Ärzte sogar fertig, die Distanz Zürich-Wien mit einem elektrischen Auto zurückzulegen. Während des Zweiten Weltkrieges konnten die PTT mit ihren elektrischen Kleinwagen und elektrischen Fourgons im Schneckentempo, aber mit völliger Zuverlässigkeit ihren Verteildienst aufrechterhalten. Die dazu notwendige elektrische Energie entstammte damals vollständig unseren Wasserkraften.

Der Erste Weltkrieg hatte die starke Förderung und Entwicklung der Benzinfahrzeuge mit sich gebracht, so dass die bescheidenen Leistungsdaten der elektrischen Automobile um ein Vielfaches übertroffen wurden. Für ein ruhiges, betriebssicheres, gut beschleunigendes und umweltfreundliches Fahrzeug (welches aber den Geschwindigkeitsrausch der modernen Menschheit nicht befriedigen kann) scheint heute kein Platz mehr zu sein. Mit den heute kommerziell erhältlichen Akkumulatorenbatterien ist es nämlich nur möglich, ein elektrisches Automobil zu bauen, welches entweder hohe Geschwindigkeit oder brauchbare Reichweiten zwischen Aufladungen erreichen kann, aber nicht beides zusammen. Will man dies bewerkstelligen, so muss man Spezialbatterien einsetzen, welche weitgehend im Rahmen der Raumfahrttechnik entwickelt wurden und für Alltagszwecke viel zu teuer sind. Ein solches Versuchsfahrzeug wurde von Georg von Opel 1971 gebaut; es erreichte Spitzengeschwindigkeiten von beinahe 200 km/h oder konnte ohne Nachladen eine Strecke von 44 km mit einem Durchschnitt von knapp über 100 km/h zurücklegen. Seit etwa zehn Jahren werden vorwiegend in den USA, Japan und in Deutschland neuere Entwicklungen von elektrischen Automobilen sowohl von der Regierung als auch von der Privatwirtschaft unterstützt. Auch in der Schweiz werden seit längerer Zeit elektrische Kleinautomobile für den Privatverkehr hergestellt und weiterentwickelt. Hinzu kommen in der westlichen Welt die Anstrengungen zahlreicher Bastler, welche meistens ausgediente oder billig erstandene Benzinautos auf elektrischen Betrieb umbauen.

Warum diese Anstrengungen? Zu den eingangs geschilderten technischen Vorteilen des elektrischen Automobils gesellen sich noch verschiedene sehr positive umwelttechnische Aspekte. Stillstehende Autokolonnen würden keine Energie verschwenden, die Luft nicht verpesten und keinen Lärm verursachen. Wenn man den Gesamtenergie nutzungsgrad des Benzinautomobils mit demjenigen des elektrischen Automobils vergleicht, kann man einige erstaunliche Feststellungen machen: Obwohl ein guter Benzinmotor unter idealen Laborbedingungen die im Benzin enthaltene Energie zu etwa 30 % nutzen kann, sind solche Bedingungen im Verkehr auch nicht im entferntesten erreichbar. Bezieht man seinen Nutzungsgrad auf seine gesamte Lebensdauer, dann stellt man fest, dass ein Durchschnittsauto zwischen 4,4 und 10 % der im Benzin enthaltenen Energiemenge in Nutzarbeit umgewandelt hat, bis es auf den Schrotthaufen kommt. Anders steht es beim elektrischen Automobil: Auch hier haben wir es zwar mit unvollständigen Energieumwandlungen zu tun, aber all diese Teilwirkungsgrade, also Wirkungsgrad des Motors, des Getriebes, der Batterie-Auf- und -Entladung, des Elektrizitätstransportes usw., liegen einzeln sehr hoch, was zu Gesamtwirkungsgraden des Automobils zwischen 20 und 40 % führt. Bezogen auf die gleiche Arbeitsleistung heisst dies, dass ein elektrisches Automobil im Durchschnitt 4-5mal weniger Rohenergie verbraucht als sein stärkerer Bruder. Für uns Schweizer kommt als wichtiger Faktor hinzu, dass der Energiebedarf des elektrischen Automobils heute noch zu mehr als 60 % aus der einheimischen Wasserkraft gedeckt werden kann, dass ferner die Batterie mit dem billigen und meistens im Überschuss vorhandenen Nachtstrom nachgeladen werden kann und dass jede elektrische Kilowattstunde unsere Abhängigkeit vom Erdöl, das wir aus dem Ausland beziehen müssen, vermindert. In einer wohl etwas utopischen, aber doch sehr aufschlussreichen Hochrechnung kommt ein Schweizer Ingenieur zu der interessanten Folgerung, dass bei Umstellung des Verkehrs auf elektrische Automobile und Aufwertung der Bahn als Hauptverkehrsträger der schweizerische Erdölbedarf für den Verkehr von heute 3 Mio t jährlich auf weniger als 90 000 t jährlich abgebaut werden könnte. Einer etwas weniger gewagten Hochrechnung kann man

record de vitesse reconnu de l'histoire. Aux environs de 1914, deux médecins suisses accomplirent même la prouesse de couvrir la distance de Zurich à Vienne en automobile électrique. Pendant la Deuxième Guerre mondiale, les PTT arrivèrent à maintenir très consciencieusement leurs services de répartition à l'aide de petites voitures et fourgons électriques bien qu'ils dussent rouler à une vitesse d'escargot. L'énergie électrique demandée par ces engins provenait alors complètement de nos ressources hydrauliques.

La Première Guerre mondiale avait été la cause d'une promotion accentuée et d'un développement rapide des automobiles à essence en surpassant de beaucoup les modestes chiffres de rendement des automobiles électriques. Il ne semble plus y avoir de la place dans notre monde actuel pour une automobile silencieuse, sûre dans son fonctionnement, bonne accélératrice et exempte de nuisances pour l'environnement, ne répondant cependant pas à l'avidité de vitesse de l'humanité moderne. Cela parce qu'avec les batteries d'accumulateurs disponibles aujourd'hui sur le marché, il est seulement possible de construire une automobile électrique pouvant soit atteindre une grande vitesse, soit offrir une autonomie suffisante entre les recharges, mais pas les deux choses en même temps. Si l'on veut y arriver, il faut se servir de batteries spéciales développées dans le cadre surtout de la technique astronautique et qui s'avèrent être beaucoup trop coûteuses pour les besoins quotidiens. Georg von Opel avait construit en 1971 une telle voiture d'essai pouvant atteindre des vitesses de pointe de presque 200 km/h ou pouvant rouler sur un trajet de 44 km à une moyenne de peu plus de 100 km/h sans être rechargée. Surtout aux Etats-Unis, au Japon et en Allemagne, les gouvernements et les industries privées soutiennent depuis environ dix ans les nouveaux développements des automobiles électriques. En Suisse aussi, on fabrique depuis longtemps et on continue à développer de petites automobiles pour la circulation privée. Il faut encore citer les efforts de nombreux bricoleurs du monde occidental qui transforment en automobiles électriques des automobiles à essence le plus souvent hors d'usage ou bon marché.

Pourquoi ces efforts? C'est qu'aux avantages techniques cités précédemment viennent encore s'ajouter différents aspects écologiques déterminants. L'énergie ne serait pas gaspillée par des colonnes de voitures arrêtées, l'air n'en serait pas pollué et le bruit considérablement diminué. En comparant le rendement énergétique global des automobiles à moteur à essence à celui des automobiles électriques, on peut constater quelques faits étonnants: bien qu'un bon moteur à essence arrive, dans des conditions idéales de laboratoire, à utiliser environ 30 % du potentiel énergétique de l'essence, ces conditions ne peuvent de loin pas être atteintes dans la circulation. Si l'on calcule son rendement par rapport à sa longévité, on constate qu'une voiture moyenne transforme en travail utile entre 4,4 et 10 % de la quantité d'énergie contenue dans l'essence jusqu'au jour où elle est jetée à la ferraille. Il en est autrement pour l'automobile électrique: il est vrai qu'il s'agit là aussi de transformations incomplètes d'énergie. Cependant, tous les rendements partiels tels celui du moteur, de la boîte à vitesses, de la charge et de la décharge de la batterie, du transport de l'électricité, etc., sont individuellement très élevés, ce qui mène à un rendement global de l'automobile-même entre 20 et 40 %. Pour un travail utile équivalent, cela signifie qu'une automobile électrique consomme en moyenne de 4 à 5 fois moins d'énergie brute que sa rivale plus puissante. Pour nous Suisses, il faut y ajouter un facteur important: plus de 60 % des besoins en énergie de l'automobile électrique pourraient aujourd'hui être couverts par les forces hydrauliques de notre pays. En outre, la batterie peut être rechargée avec du courant de nuit économique, presque toujours disponible en abondance. En même temps, chaque kilowatt-heure électrique diminue notre dépendance du pétrole que nous devons acheter à l'étranger. A l'aide d'un calcul approximatif quelque peu utopique mais tout de même très instructif, un ingénieur suisse arrive à des conclusions intéressantes: en utilisant des automobiles électriques pour la circulation routière et en octroyant aux chemins de fer une place capitale dans le domaine des transports, on pourrait arriver à réduire les besoins suisses en pétrole pour le trafic, de 3 mio de t par an

entnehmen, dass 100 000 neue elektrische Automobile in der Schweiz während der Nacht ohne jeglichen Netzausbau nachgeladen werden könnten. Allerdings wäre der Einsatz dieser elektrischen Automobile beim heutigen Stand der Technik fast ausnahmslos auf den Nahverkehr beschränkt.

Wie sieht es mit der Zukunft aus? Die sehr namhaften Anstrengungen der USA, Japans und der Bundesrepublik Deutschland lassen durchblicken, dass unsere Elektrizitätswirtschaft es sich nicht leisten kann, der Entwicklung des elektrischen Automobils den Rücken zu kehren. Mit oder ohne Kernenergie wird der Siegeszug der Elektrizität im Verkehrswesen zunehmen: Bereits sind die ersten elektrischen Versuchsfahrzeuge geflogen (und zwar mit reiner Sonnenenergie), und elektrische Eisenbahnen, welche sich mit der Geschwindigkeit von Flugzeugen fortbewegen, befinden sich ebenfalls in den USA, Japan und in der BRD in Entwicklung. Da sowohl die Entwicklung der Kerntechnik wie auch der Solartechnik für die absehbare Zukunft umweltfreundlichere Elektrizitätserzeugungsverfahren versprechen, darf wohl angenommen werden, dass dem elektrischen Automobil ein bedeutender Platz in der Zukunft eingeräumt werden muss, sofern das Batterieproblem gelöst werden kann. Das Problem, eine Batterie zu konstruieren, welche eine etwa 2–3mal höhere Energiedichte aufweist als die heutigen Bleiakkumulatoren, in wenigen Stunden nachgeladen werden kann und, auf ihre Lebensdauer gerechnet, nicht mehr kostet als die aufgewendete Energie, sollte technisch lösbar sein, denn im Gegensatz zum Umwandlungswirkungsgrad des Benzins stossen wir hier noch lange nicht an die physikalischen Grenzen. Und sollte die heutige Benzinwirtschaft von der oft spekulativ erwähnten Wasserstoffwirtschaft abgelöst werden, so könnte die Energie des Wasserstoffs in Fahrzeugen mit Brennstoffzellen und Elektromotoren mit viel höherem Wirkungsgrad umgesetzt werden als in Fahrzeugen mit Kolbenmotoren herkömmlicher Bauart.

#### Adresse des Autors

Dr. F. Casal, Direktor des Interkantonalen Technikums Rapperswil, 8640 Rapperswil

actuellement, à moins de 90 000 t par an. D'après un autre calcul approximatif moins osé, on constate qu'en Suisse 100 000 nouvelles automobiles électriques pourraient être rechargées pendant la nuit sans aucun renforcement de réseau électrique. Néanmoins, vu le niveau actuel de la technique, l'utilisation de ces automobiles électriques resterait limitée presque sans exception au trafic à courte distance.

Quelles sont donc les prévisions pour l'avenir? Les efforts considérables des Etats-Unis, du Japon et de la République Fédérale Allemande laissent entrevoir que l'économie électrique suisse ne peut pas se permettre de se désintéresser de l'automobile électrique. Avec ou sans énergie nucléaire, l'électricité prendra une place toujours plus grande dans le domaine des transports: déjà on a vu voler les premiers avions électriques (avec de l'énergie purement solaire), et des chemins de fer électriques, dont la vitesse est comparable à celle des avions, sont aussi en voie de développement aux Etats-Unis, au Japon et en Allemagne de l'Ouest. Etant donné que le développement de la technique nucléaire ainsi que celui de la technique solaire promettent pour le proche avenir des méthodes de production d'électricité plus favorables à l'environnement, il est permis de supposer qu'à l'avenir il faudra accorder une place importante à l'automobile électrique si l'on arrive à résoudre le problème des batteries. Il devrait être possible de construire une batterie présentant une densité d'énergie de 2 à 3 fois plus élevée que celle des accumulateurs au plomb actuels, pouvant être rechargée en quelques heures et ne coûtant compte tenu de sa longévité pas plus que l'énergie utilisée. La solution technique ne devrait pas poser de problèmes, car, contrairement au rendement de la transformation de l'essence, nous sommes dans ce domaine loin de toucher aux limites de la physique. Et si l'économie actuelle de l'essence devait être remplacée par l'économie de l'hydrogène si souvent mentionnée à titre spéculatif, l'énergie de l'hydrogène pourrait être exploitée dans les véhicules à cellules à combustible et ceux à moteur électrique avec un rendement bien plus élevé que dans des véhicules avec moteur à piston de construction traditionnelle.

#### Adresse de l'auteur

F. Casal, directeur de l'Ecole intercantonale d'Ingénieurs de Rapperswil, 8640 Rapperswil

## Elektrizitätsspeicher für Elektrofahrzeuge

Von H. R. Zeller und P. Brüesch

### 1. Die nächsten 20 Jahre: Benzin wird teuer und knapp

Die immer rascher erfolgende Verteuerung des Benzins macht uns bewusst, dass die flüssigen fossilen Brennstoffe in naher Zukunft erschöpft sein werden. Man rechnet, dass vor dem Jahr 2000 die auftretenden Verknappungen politischer Natur sind (Beispiele: Naher Osten 1973, Persien 1978/79) und dass nach 2000 die Förderungen auch bei maximaler Ausnutzung der Förderkapazität abnehmen werden. Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit, in den nächsten 20 Jahren auch im Strassenverkehr einen wesentlichen Anteil des Benzins durch andere Energieträger zu substituieren. Da im Energiesektor die Zeitspanne zwischen einem Resultat in der Grundlagenforschung und der breiten Markteinführung eines daraus resultierenden Produktes sehr lang ist und auch etwa 10–20 Jahre beträgt, lassen sich aus den Forschungsergebnissen von heute die technischen Möglichkeiten einer zeitgerechten Erdölsubstitution mit recht guter Zuverlässigkeit abschätzen.

Dies gilt insbesondere für das Gebiet der Batterien für Elektrofahrzeuge. Alle für eine effektive und kostengünstige Stromspeicherung in Frage kommenden Batteriesysteme sind heute bekannt, ebenfalls die dabei auftretenden Probleme. Der Fortschritt ist langsam, aber stetig. Die Arbeiten an der Natrium-Schwefel-Batterie – einem der für die Zukunft vielversprechendsten Systeme – z.B. wurden von Ford Ende der sechziger Jahre begonnen. Anfang der siebziger Jahre nahmen mehrere andere Firmen, zum Teil mit grosser Regierungsunterstützung, die Arbeiten ebenfalls auf. Schon vor eini-

## Accumulateurs pour véhicules électriques

Par H. R. Zeller et P. Brüesch

### 1. Les prochaines vingt années: L'essence sera chère et rare

Le fait que l'essence coûtera de plus en plus rappelle que les carburants fossiles liquides seront épuisés dans le futur proche. On estime qu'avant l'année 2000, les difficultés concernant la disponibilité des combustibles seront causées par des raisons politiques. Nous connaissons des exemples: le Proche-Orient en 1973, l'Iran en 1978/79. Après l'année 2000, on estime que l'extraction du carburant diminuera même si la capacité de l'extraction est poussée aux limites extrêmes. Pour cette raison il est nécessaire de substituer dans le trafic routier une portion importante de l'essence par d'autres porteurs d'énergie. Dans le secteur d'énergie, le laps de temps entre un résultat de recherche fondamentale et le produit établi est très long, de l'ordre de 10–20 ans; en se basant sur ce fait et sur les résultats de la recherche d'aujourd'hui, il est tout à fait possible d'estimer avec une bonne certitude les possibilités techniques d'une substitution de l'essence.

Ces remarques sont particulièrement valables pour le secteur des accumulateurs pour les véhicules électriques. Toutes les batteries candidates pour le stockage d'énergie et les problèmes techniques y relatifs sont connus aujourd'hui. Le progrès est lent mais continu. Les travaux sur l'accumulateur au sodium-soufre (un système intéressant et important pour l'avenir) ont été commencés par Ford Motor Company aux environs de 1967. Vers 1970 plusieurs autres industries ont également commencé des recherches sur ce même sujet, parfois avec un support substantiel de la part du gouverne-



gen Jahren fuhr das erste mit einer Natrium-Schwefel-Batterie ausgerüstete Auto in England. Man rechnet aber mit einer Markteinführung der Batterie erst auf etwa Mitte der achtziger Jahre. Fazit: Es sind keine Wunder zu erwarten, das Potential für die nächsten 10–20 Jahre lässt sich aber recht gut abschätzen.

## 2. Das heutige Elektrofahrzeug: eine Batterie auf Rädern

Das Herzstück des Elektrofahrzeuges ist die Batterie. Von ihrer Speicherkapazität hängt die Reichweite des Fahrzeuges ab und von ihrer Leistung die maximal erreichbare Geschwindigkeit, Steigfähigkeit und Beschleunigung.

Die Forderungen an eine Batterie sind demnach:

- Hohe Energiedichte (Aktionsradius)
- Hohe Leistungsdichte (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Steigfähigkeit)
- Preis (billige und verfügbare Rohstoffe)
- Umweltbelastung – Sicherheit (einfache Entsorgung, Sicherheit bei Unfällen)

Wie sieht die Wirklichkeit heute aus? Als Stromspeicher steht heute vor allem der als Auto-Starterbatterie bekannte Blei-Schwefelsäure-Akku zur Verfügung. Es ist instruktiv, den Energieinhalt einer solchen Batterie mit dem eines Benzintanks zu vergleichen. Eine Blei-Schwefelsäure-Batterie mit demselben Energieinhalt wie 1 l Benzin wiegt etwa 300 kg!

Dieser Vergleich ist allerdings nicht ganz fair, denn im gemischten Verkehr gelangt beim Benzinauto nur 11 % dieser Energie als Antriebsenergie an die Räder. Der Rest geht im Motor, Getriebe usw. verloren. Die entsprechende Zahl für das Elektrofahrzeug beträgt etwas mehr als 60%. Damit entspricht aber 1 l Benzin immer noch einem Batteriegewicht von rund 55 kg. Das heisst, das heutige Elektrofahrzeug ist im wesentlichen eine Batterie auf Rädern!

## 3. Das Elektrofahrzeug der Zukunft: Geeignet für den Nahverkehr, aber kein Ersatz für den Personenwagen

Heute befinden sich in verschiedenen Laboratorien der Welt neue Batterietypen in Entwicklung, die eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem Blei-Schwefelsäure-Akku erwarten lassen. Die Tabelle I gibt das Gewicht einer Batterie, die dieselbe Antriebsenergie an den Rädern ergibt wie ein Benzintank gefüllt mit 10 l Benzin. Dies entspricht für einen rund 1000 kg schweren Wagen einem Aktionsradius von etwa 100 km.

Tabelle I

Batterietyp	Gewicht der Batterie äquivalent zu 10 l Benzin (entsprechend etwa 100 km Aktionsradius für ein 1000 kg schweres Fahrzeug)
Blei-Schwefelsäure (heute)	~550 kg
Blei-Schwefelsäure (verbessert)	~300 kg
Zink-Nickeloxyd	~250 kg
Natrium-Schwefel	~110 kg
Diverse andere in Entwicklung befindliche Systeme	~90–150 kg

Ein Elektrofahrzeug, ausgerüstet mit einer Natrium-Schwefel-Batterie, hätte etwa folgende Eigenschaften:

Gewicht ohne Batterie	770 kg
Gewicht der Batterie (inkl. Hilfseinrichtungen)	550 kg
Nutzlast	135 kg
Reichweite mit einer Aufladung	~300 km
Beschleunigung 0–50 km/h	~14 s

Mit der kommerziellen Realisierung eines solchen Fahrzeuges ist nicht vor 1985 zu rechnen. Hauptgrund für die langsame Entwicklung ist, dass heute noch keine technisch ausgereiften Natrium-Schwefel-Batterien zur Verfügung stehen. Andere Batterietypen von

ment. Un premier véhicule électrique, équipé d'une batterie au sodium-soufre a circulé en Angleterre il y a déjà quelques années, bien qu'on ne puisse pas s'attendre à ce que ces accumulateurs soient sur le marché avant 1985. En résumé on ne peut pas s'attendre à des miracles, mais on peut très bien estimer les possibilités de développement des 10 à 20 prochaines années.

## 2. Le véhicule électrique d'aujourd'hui: une batterie sur roues

Le cœur du véhicule électrique est l'ensemble des batteries. Leur capacité de stockage d'énergie détermine le rayon d'action du véhicule et leur puissance détermine sa vitesse maximale, son accélération et sa tenue en côte. Les demandes posées à un accumulateur sont donc les suivantes:

- Haute densité d'énergie (rayon d'action)
- Haute densité de puissance (vitesse maximale, accélération, tenue en côte)
- Le prix (matériaux bon marchés et disponibles)
- Protection de l'environnement, sécurité en cas d'accidents

Quelle est la situation aujourd'hui? Comme accumulateur, on connaît avant tout l'accumulateur au plomb qu'on utilise pour le démarrage des automobiles. Il est très instructif de comparer la densité d'énergie de cette batterie avec la densité d'énergie correspondante de l'essence. Un accumulateur au plomb qui aurait le même contenu en énergie qu'un litre de benzine pèserait 300 kg.

Cependant, cette comparaison n'est pas tout à fait justifiée, parce que, pour le véhicule à benzine dans le trafic normal, ce sont seulement environ 11 % de cette énergie qui sont utilisés comme énergie d'entraînement, le reste étant perdu dans le moteur, la transmission etc. Le chiffre correspondant pour le véhicule électrique est environ 60%. Malgré tout un litre de benzine correspond toujours encore à une batterie dont le poids est d'environ 55 kg. En d'autres mots, le véhicule électrique d'aujourd'hui est essentiellement une batterie sur roues!

## 3. Le véhicule électrique de l'avenir: moyen approprié de transport pour le trafic à courte distance, mais pas un remplacement de la voiture privée

Aujourd'hui différents laboratoires industriels dans tout le monde sont en train de développer de nouveaux types de batteries dont les propriétés sont supérieures à celles de l'accumulateur au plomb. Le tableau I donne le poids d'un accumulateur qui fournit la même énergie d'entraînement aux roues que 10 l de benzine. Pour une voiture de 1000 kg, cela correspond à un rayon d'action d'à peu près 100 km.

Tableau I

Type de l'accumulateur	Poids de l'accumulateur équivalent à 10 l de benzine (correspond à un rayon d'action de 100 km pour un véhicule de 1000 kg)
Accumulateur au plomb (aujourd'hui)	~550 kg
Accumulateur au plomb (perfectionné)	~300 kg
Accumulateur au zinc-nickel	~250 kg
Accumulateur au sodium-soufre	~110 kg
Divers autres systèmes en développement	~90–150 kg

On estime qu'un véhicule électrique équipé d'un accumulateur à sodium-soufre a les propriétés suivantes:

Poids sans accumulateur	770 kg
Poids de l'accumulateur (installations auxiliaires incluses)	550 kg
Poids utile	135 kg
Rayon d'action avec une charge	~300 km
Accélération 0–50 km/h	~14 s

On estime que la réalisation commerciale n'aura pas lieu avant 1985. La raison principale de ce développement lent est liée au fait qu'aujourd'hui, il n'existe pas encore un accumulateur au sodium-soufre totalement satisfaisant. Le développement d'autres accumu-

vergleichbarer Energiedichte liegen in ihrem Entwicklungsstand noch weiter zurück.

#### 4. Die Natrium-Schwefel-Batterie: Beispiel eines modernen Hochleistungs-Stromspeichers

Die Grundlagen für die erfolgreiche Entwicklung der Natrium-Schwefel-Batterie wurden 1967 von N. Weber und J. T. Kummer von der Ford Motor Company gelegt. Seit Anfang der siebziger Jahre wird die Batterie von vielen amerikanischen, europäischen und japanischen Laboratorien mit grosser Intensität weiterentwickelt. Die Entwicklung erfolgt nicht nur im Hinblick auf Strassenfahrzeuge, sondern auch als Spitzenlastpuffer in elektrischen Versorgungsnetzen. Die Firma Brown Boveri gehört zu den führenden Entwicklern der Natrium-Schwefel-Batterie.

Der Aufbau einer Natrium-Schwefel-Batteriezelle ist aus Fig. 1 ersichtlich. Im Inneren eines Stahlzylinders befindet sich ein U-förmiges Rohr aus einer speziellen Keramik. Im geladenen Zustand ist das Innere des Rohres mit flüssigem Natrium gefüllt, das äussere mit flüssigem Schwefel. Beim Entladevorgang fliessen Natriumionen durch die Keramik (die für solche Ionen durchlässig ist) und bilden auf der Schwefelseite Natrium-Schwefel-Verbindungen. Beim Aufladen findet der umgekehrte Vorgang statt. Die Zellenspannung beträgt etwa 2 V. Um – im Falle eines Unfalls – ein explosionsartiges Abbrennen des Natriums zu verhindern, sind sowohl das Natrium wie auch der Schwefel an einen speziellen Filz gebunden. Die Betriebstemperatur der Batterie beträgt etwa 300 °C. Dies verunmöglicht Batterien kleiner Leistung. Bei grösseren Batterien ist dies kein Nachteil, da beim Betrieb sowieso Wärme entsteht. Für Stillstandsperioden benötigt die Batterie aber eine ausreichende Wärmeisolation.

Ein erstes Elektrofahrzeug, ausgerüstet mit einer Natrium-Schwefel-Batterie, ist bereits 1972 in England gefahren. In den USA befindet sich eine Batterie zum Einsatz als Spitzenlastpuffer mit einer Kapazität von 5000 kWh im Bau. Dennoch bleiben eine Reihe technischer Probleme, vor allem die Optimierung der verwendeten Werkstoffe, zu lösen. Mit einer Markteinführung dieser Batterie ist kaum vor 1985 zu rechnen.

#### 5. Zukünftiger Einsatz von Elektrofahrzeugen

Das Einsatzgebiet von Elektrofahrzeugen ist im wesentlichen durch die Kapazität des Stromspeichers vorgegeben. Der heutige Blei-Schwefelsäure-Akku ermöglicht einen Einsatz in Lagerhallen,

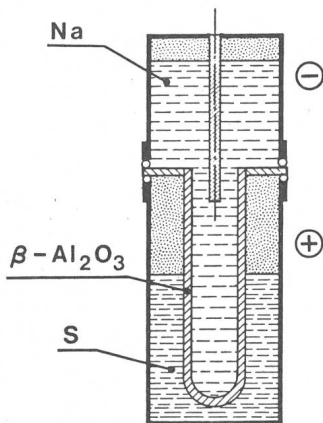


Fig. 1 Schematischer Aufbau einer Einzelzelle einer Natrium-Schwefel-Batterie

In einem u-förmigen Rohr befindet sich geschmolzenes Natrium (Na), ausserhalb des Rohres geschmolzener Schwefel (S). Das Rohr besteht aus einer speziellen Keramik ( $\beta$ -Aluminiumoxyd), die für Natrium-Ionen durchlässig ist. Die Spannung an einer Einzelzelle beträgt etwa 2 Volt. Die Batterie kann nur bei erhöhter Temperatur betrieben werden

#### Coupe schématique d'un accumulateur sodium-soufre

Le cœur de l'accumulateur est constitué par un électrolyte solide de  $\beta$ -alumina ( $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) en forme de tube céramique. Les électrodes sont liquides: le sodium liquide (Na) dans l'intérieur du tube et le soufre liquide (S) à l'extérieur du tube. La batterie chargée donne une tension d'environ deux volts. La température de service est 300 °C

lateurs dont la densité d'énergie est comparable avec celle de l'accumulateur au sodium-soufre est encore plus en retard.

#### 4. L'accumulateur au sodium-soufre: un exemple d'une batterie à grande capacité

Ce sont N. Weber et J. T. Kummer de Ford Motor Company qui ont commencé le développement de l'accumulateur au sodium-soufre en 1967. A partir de 1970, le développement de cet accumulateur a été fortement activé dans beaucoup de laboratoires industriels américains, européens et japonais.

L'accumulateur au plomb contient des électrodes solides en plomb (Pb) et de l'oxyde de plomb ( $\text{PbO}_2$ ) plongées dans l'électrolyte liquide, l'acide sulfurique dilué ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Dans l'accumulateur au sodium-soufre la situation est renversée (Fig. 1): Les électrodes sont liquides, c'est-à-dire le sodium (Na) et le soufre (S) sont liquides tandis que l'électrolyte est solide: c'est un matériel céramique, appelé  $\beta$ -alumina, en forme de tube. L'intérieur du tube céramique est rempli de sodium métallique et l'espace entre l'électrolyte solide et la paroi extérieure est rempli de soufre liquide. Lors d'une décharge, les ions de sodium migrent à travers l'électrolyte et les électrons passent dans le circuit de courant extérieur. Les deux se combinent avec le soufre à la surface extérieure de l'électrolyte solide pour former un polysulfure de sodium. L'application d'une tension extérieure d'environ 2 V provoque les réactions en sens inverse et la batterie se charge. Il faut que les agents et les produits de la réaction soient à l'état liquide pour que la batterie fonctionne, et cela implique une température de 300 °C. Pour éviter une explosion causée par la réaction immédiate du sodium avec le soufre en cas d'accident, les deux liquides, le sodium et le soufre, sont intimement mélangés avec un feutre spécial. Du point de vue du rendement énergétique, la température de service, indispensable, de 300 °C n'est pas un désavantage parce que cette température est maintenue automatiquement par la chaleur de réaction qui se développe pendant le service. Des batteries d'essai ont déjà subi plusieurs centaines de cycles charge-décharge dans les laboratoires de Ford Motor Corp., de General Electric, de Chlorone Silit Power et de Brown Boveri.

Les applications se concentrent non seulement sur les véhicules électriques, mais aussi sur le stockage d'énergie produite par les usines électriques. Avant de discuter l'emploi de ces batteries pour les applications mobiles nous faisons quelques remarques quant à leurs applications stationnaires: On va prochainement assembler une batterie de 5000 kWh sur la plate-forme d'essai d'un producteur américain. La consommation d'électricité provenant des centrales nucléaires augmentera et ces centrales, pour des raisons techniques, ne peuvent s'adapter aux variations de la consommation journalière. Les batteries au sodium-soufre à grande capacité pourraient jouer un rôle important comme réservoir d'énergie de pointe. Le faible encombrement, la décentralisation, la disponibilité dans les environs immédiats du consommateur et de la commutation rapide de la charge et de la décharge, sont des facteurs prépondérants. Des estimations de prix laissent entrevoir que vers le milieu des années 1980, ces batteries devraient être meilleur marché et avoir une plus grande durée de vie que les batteries au plomb.

#### 5. L'emploi des batteries pour les véhicules électriques à venir

La mise en service des véhicules électriques est essentiellement limitée par la capacité des batteries. L'accumulateur au plomb d'aujourd'hui peut être employé dans les halles de stockage, dans les gares, à la poste, etc. Dans tous ces cas, il s'agit de rayons d'action courts et bien définis. Cependant, pour des conditions différentes (rayon d'action, vitesse, poids et prix) il est tout à fait impossible d'employer les accumulateurs au plomb pour les véhicules électriques privés.

La densité d'énergie des accumulateurs au zinc-nickel développés par General Motors, Gould et d'autres laboratoires industriels est environ deux fois plus grande que celle de l'accumulateur au plomb. Avec ces batteries on peut en principe équiper des autobus, des taxis ou des voitures de livraison ayant des heures de service régulières et un rayon d'action d'environ 150 km. On estime que le prix d'une telle batterie sera entre 3000 et 4000 francs et que les problèmes existants, associés avec la durée de vie seront éliminés à partir de 1982. L'introduction sur le marché se fera probablement en 1983, mais les voitures équipées avec ces batteries ne seront pas appropriées pour le trafic interurbain et pour traverser les montagnes.

Bahnhöfen, Post usw. Das heisst, alles Einsätze mit kurzen, wohldefinierten und von Tag zu Tag kaum wechselnden Fahrstrecken.

Private Personenwagen mit Blei-Schwefelsäure-Akkus sind aus Gründen der Reichweite, der Geschwindigkeit, des Preises usw. für den Konsumenten unakzeptabel. Die von General Motors, Gould und anderen Firmen entwickelte Zink-Nickeloxyd-Batterie ist bezüglich Energiedichte etwa doppelt so gut wie der Blei-Schwefelsäure-Akku. Damit werden Stadtfahrzeuge mit Reichweiten von etwa 150 km möglich. Der Preis der Batterie für ein solches Fahrzeug dürfte zwischen 3000 und 4000 Franken liegen, und man rechnet, dass die heute noch existierenden Lebensdauerprobleme bis etwa 1982 gelöst sein werden. Eine Markteinführung solcher Fahrzeuge dürfte etwa 1983 möglich sein. Solche Wagen sind aber für den Überlandverkehr (Passfahrten usw.) nicht geeignet.

Heute befinden sich mehrere neue Batteriekonzepte in Entwicklung (z.B. Natrium-Schwefel-Batterie), die gegenüber der Zink-Nickeloxyd-Batterie noch einmal um rund einen Faktor 2 besser sind. Damit wird es möglich sein, Elektroautos mit etwa 300 km Aktionsradius zu bauen. Dies stellt jedoch eine obere Grenze dar, die bis ins Jahr 2000 kaum wesentlich überschritten werden dürfte. Auch diese Fahrzeuge werden bezüglich Beschleunigung, Spitzengeschwindigkeit usw. weit hinter Benzinautos zurückbleiben. Sie sind jedoch wesentlich umweltfreundlicher und können im Nahverkehr das Benzinauto völlig ersetzen. Der Einsatz solcher Autos ist für die zweite Hälfte der achtziger Jahre zu erwarten.

Die eigentlichen Fahrzeugteile beim Elektroauto, d.h. das Chassis, der Elektromotor, die elektronische Regelung und Steuerung, bieten keine allzugrossen Probleme. Die grösste Begrenzung liegt beim Stromspeicher, und diese Situation wird sich auch in naher und mittlerer Zukunft nicht ändern.

#### Adresse der Autoren

Dr. H. R. Zeller und P. Brüesch, Brown Boveri Forschungszentrum, 5405 Baden-Dättwil

Aujourd'hui plusieurs systèmes nouveaux de batteries sont en développement (p.e. l'accumulateur au soufre-sodium) dont la densité d'énergie est encore un facteur deux fois plus grand que celui de l'accumulateur au zinc-nickel. Avec ces batteries il sera possible de construire des véhicules électriques avec un rayon d'action d'environ 300 km. Cela représentera une limite supérieure qui ne sera guère surpassée jusqu'en l'an 2000. Même s'il est possible de réaliser des véhicules électriques optimaux, leurs propriétés, comme par exemple l'accélération, la vitesse maximale, etc. seront bien inférieures à celles des véhicules à benzine. Mais d'autre part, ce qui est un grand avantage ces véhicules électriques ménagent l'environnement et peuvent remplacer complètement le véhicule à benzine dans le trafic régional. L'introduction de ces véhicules se fera vers 1985.

Les autres parties des véhicules électriques comme le châssis, le moteur électrique, le réglage électronique, etc. ne poseront pas de problèmes très graves. La limitation la plus importante sera sans doute l'accumulateur et cette situation ne changera pas dans l'avenir prochain et plus lointain.

#### Adresse des auteurs

H. R. Zeller et P. Brüesch, Centre de Recherche, Brown Boveri & Co., 5405 Baden-Dättwil

## Versuchsbetrieb mit einem Mercedes-Personentransporter Typ LE 306

Von H. Mattenberger

Als sich die NOK vor einem Jahr mit dem Gedanken befassten, Versuche mit einem elektrisch angetriebenen, von Schienen und Leitungen unabhängigen Fahrzeug durchzuführen, ahnten sie nicht, dass das Treibstoffproblem innerhalb so kurzer Zeit eine derart grosse Aktualität erreichen werde, wie dies heute der Fall ist. Die Ölkrise von 1973 war längst vergessen; die Preise für Öl und Benzin hatten sich, wenn auch auf einem etwas erhöhten Niveau, stabilisiert. Die Versorgung war aber sichergestellt. So schien es wenigstens noch damals. Als nach einer etwa halbjährigen Vorbereitungsphase Anfang dieses Jahres die praktischen Versuche begonnen wurden, stand das Benzinbarometer immer noch auf «schön».

Was bewog die NOK zum Entschluss, sich an einem Grossversuch mit Elektrostrassenfahrzeugen zu befassen?

Substitution ist heute mehr als vor einem Jahr das Schlagwort in unserer ganzen schweizerischen, ja europäischen oder weltweiten Energieversorgung geworden. Die überaus starke einseitige Abhängigkeit von einer einzigen Rohenergieform, nämlich dem Öl, hat nach der Ölkrise von 1973 doch die Frage aufkommen lassen, ob die Entwicklung in der bisherigen Richtung unbekümmert weitergehen kann. Wenn die Zahlen der letzten schweizerischen Gesamtenergiestatistik betrachtet werden, so ist festzustellen, dass die flüssigen Brenn- und Treibstoffe 75 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen.

Die flüssigen Brennstoffe partizipieren ziemlich genau mit 50 %, die flüssigen Treibstoffe mit 25 %. Wird der Bedarf an Flugtreibstoffen ausgeschlossen, so beansprucht der Strassenverkehr immerhin noch rund 20,5 % unseres gesamten Endenergieaufkommens. Eine wirkungsvolle Substitution muss also vor allem bei diesen beiden Verbrauchergruppen ansetzen. Da im

Bereich der Wärmeanwendung wirksame Massnahmen vor allem auf der passiven Seite – Isolierung und Sparen – im Vordergrund stehen, galt die Aufmerksamkeit der zweitgrössten Energieverbrauchs-kategorie im Bereich der zu substituierenden Rohenergie. Ausserdem waren bereits gewisse Anfänge in Richtung elektrischer Strassenfahrzeuge gestartet worden, und es bot sich die Möglichkeit, an praxisnahen Versuchen mitzuwirken. Die Entwicklung im Bereich der Öl- und damit Benzinversorgung hat diesen Entschluss rückblickend mehr als gerechtfertigt, obwohl wir keineswegs Hellseher oder Propheten waren oder sind.

Bei der heute laufenden Versuchsstufe II stehen etwa 130 Fahrzeuge ähnlicher Art wie das von der NOK eingesetzte während etwa vier Jahren bei verschiedenen Unternehmungen im täglichen Einsatz. Hauptträger dieses Programms ist die Gesellschaft für elektrische Strassenfahrzeuge (GES), eine Tochter des Rheinisch-westfälischen Elektrizitätswerkes, mit Beteiligung weiterer interessierter Firmen wie Mercedes-Benz, VW, Siemens, Bosch, neustens auch BBC und der Akkumulatorenfirma Varta. Vertreter der GES in der Schweiz ist die Firma Georg Fischer Brugg – Oehler AG Aarau, eine Fachfirma für Elektromobile. Nach Beendigung der etwa vier Jahre dauernden Versuchsperiode zur Ermittlung der betrieblichen und technischen Eignung der Elektromobile und nach Auswertung der gesammelten Daten ist eine weitere, dritte Versuchsstufe vorgesehen. In dieser Stufe III ist an den Aufbau eines Netzes von Batteriewechselstellen in Zusammenarbeit mit örtlichen Elektrizitätsunternehmen gedacht, wobei jeweils die Batterien im Schnellwechselverfahren ausgetauscht werden können.

In der Schweiz haben sich vorläufig zwei Elektrizitätsversorgungsunternehmen, die Bernischen Kraftwerke und die Nordostschweizerischen Kraftwerke, entschlossen, an diesem Versuch teilzunehmen. Die NOK benutzen ihr Elektromobil, das eine Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h und eine Beschleunigung von 0 auf 50 km/h in 13 Sekunden bei voller Nutzlast (1440 kg) hat, für regelmässige, fast programmähnliche Fahrten zwischen



ihren Anlagen in der Beznau und der Zentralverwaltung in Baden. Wir sind der Ansicht, dass sich das Elektromobil bereits in der heutigen Ausführungsart sehr gut für regelmässige und periodische Fahrten wie Kurierdienste, Personaltransporte, Zubringer- und Abholdienste zur Bahn, die ebenfalls mit einer bestimmten Regelmässigkeit stattfinden, und Posttransporte usw. eignet. Unsere bisher gesammelten Erfahrungen bestätigen dies. Mit einer monatlichen Fahrleistung von rund 1200 km oder 15 000 km pro Jahr stehen wir an der Spitze aller 130 im Einsatz stehenden Versuchselektromobile. Dieser Versuchsbetrieb läuft bei uns seit dem Neujahr 1979, und es sind bereits rund 12 000 km gefahren worden. Während dieser Zeit sind keine nennenswerten Störungen aufgetreten. Der Antrieb, der in erster Linie getestet werden soll, befriedigt vollkommen. Die Robustheit der elektrischen Anlage bestätigt sich auch in diesem Fall. Die Fahrleistung wäre wahrscheinlich noch um einiges höher, wenn nicht die im Versuchsprogramm vorgesehenen umfangreichen Kontroll- und Wartungsarbeiten eingehalten werden müssten.

Die Batterie, z. B. in unserem Fall 180 V Spannung mit 90 Zellen, muss nach 10 bis 15 Lade- und Entladezyklen einem ausgedehnten Wartungsprogramm unterzogen werden. Bei uns ist das Fahrzeug täglich im Einsatz, und aufgrund der Kilometerleistung genügt pro Tag ein Zyklus. Wir haben daher einen 14tägigen Serviceturnus für die Batteriewartung eingeführt. Die grössten Zeitaufwände nehmen das Messen der Säuredichte jeder einzelnen Zelle sowie die sog. Ausgleichsladung in Anspruch. Zudem muss jede Zelle mit destilliertem Wasser nachgefüllt werden. Der Bedarf für die ganze Batterie schwankt zwischen 5 und 12 l pro Nachfüllung, je nach Aussentemperatur. Für all diese Arbeiten muss die Batterie ausgefahren werden. Dazu dient ein speziell dafür konstruiertes Gestell. Im weitem sind verschiedene Messungen und Kontrollen durchzuführen, wie Anzahl Betriebsstunden, verbrauchte Ampèrestunden und der Energieverbrauch. Die Batterien werden mit speziellen Ladegeräten (Gleichrichtern) aufgeladen. Wir unterscheiden zwei Arten von Ladungen, eine normale sog. Langzeitladung von etwa 8 h und eine Kurzzeitladung von etwa 2 h. Die Wartung der übrigen elektrischen Teile sowie vom Fahrzeug selbst wird nach einem Wartungsplan im Turnus von 5000 km durchgeführt.

Nebst den Unterhalts- und Wartungskosten interessiert aber selbstverständlich auch der Energieverbrauch. Aufgrund der bisher ermittelten Zahlen beträgt der Bedarf nur 0,5–0,6 kWh pro Kilometer bzw. 50–60 kWh pro 100 km für unser Versuchsfahrzeug. Bei einem Energiepreis von 6 Rp./kWh, wie er für Nachtenergie gerechnet werden darf, stellen sich die Brennstoffkosten auf Fr. 3.– bis 3.50 pro 100 km, d. h., sie machen nur etwa ein Viertel der heute zu erwartenden Benzinkosten aus. Diese gewonnenen Erfahrungen über die Betriebskosten sind daher ausserordentlich ermutigend. Die Kosten für die Anschaffung eines solchen Elektromobils können vorläufig noch nicht in die Vergleiche einbezogen werden. All diese Fahrzeuge sind Ver-

suchsfahrzeuge und werden in kleinen Serien gebaut. Die NOK investiert in diesem vierjährigen Versuch bis gegen 200 000 Franken.

Gemäss Untersuchungen, die von der GES in Deutschland durchgeführt wurden, entfallen ungefähr 15 % des Güterstrassenverkehrs auf den Nahverkehr, ein Bereich, für den sich die Elektromobile also sicher ausserordentlich gut eignen. In der Schweiz beträgt der Bestand an Lieferwagen dieser Art rund 100 000 Fahrzeuge. Wenn pro Fahrzeug eine Fahrleistung von 15 000 km pro Jahr angenommen wird, so ergibt sich ein jährlicher Elektrizitätsverbrauch von lediglich 9000 kWh pro Fahrzeug. Setzen wir voraus, dass ebenfalls etwa 15 % der Lieferwagen im Nahverkehr eingesetzt werden, so würden dafür lediglich 135 Mio kWh benötigt. Das ist rund ein Drittel mehr als der Jahresumsatz des Elektrizitätswerks Jona-Rapperswil, der sich 1978 auf rund 100 Mio kWh belief. Im Vergleich zum gesamten Landesverbrauch elektrischer Energie von rund 35 Mia kWh handelt es sich also um eine verhältnismässig kleine Energiemenge, die zudem noch grösstenteils während der Nacht verbraucht wird.

Welche Brennstoffmenge lässt sich dadurch einsparen? Für die gleiche Fahrleistung und bei der gleichen angenommenen Anzahl Fahrzeuge, die mit Benzin angetrieben würden, müsste mit einem Bedarf in der Grössenordnung von 25 Mio l oder ungefähr 22 Mio kg bzw. 22 000 t flüssigen Brennstoffs gerechnet werden. Dies entspricht ungefähr gegen 1000 Eisenbahnwagen oder einer Energie, mit der etwa 10 000 Wohnungen geheizt werden können. Nebst diesem reinen und wünschenswerten Substitutionseffekt ist aber auch hervorzuheben, dass das Elektromobil gerade im Nahverkehr ganz unbestreitbare Vorteile bezüglich der Umwelt aufzuweisen hat. Es fährt geräuscharm, startet rasch, vor allem aber stösst es keine Abgase aus und belastet somit auch die Umwelt nicht mit schädlichen Abgasen. Gerade im Nahverkehr und insbesondere noch in städtischen Agglomerationen kann dieser Vorteil nicht hoch genug eingeschätzt werden. Wir sehen daher eine erste Einsatzmöglichkeit im Bereich des Güternahverkehrs und sind überzeugt, dass das Fahrzeug für diesen Einsatz einen vollwertigen Ersatz für bestehende Antriebsarten darstellt, und zwar heute schon.

Was noch nicht gelöst ist, sind die Bestimmungen über die Besteuerung und Versicherung der Fahrzeuge. Jedenfalls sollte von der PS-Besteuerung Abstand genommen und auf eine Nutzlastbesteuerung übergegangen werden. In der Kategorie Lieferwagen, wo das Elektrofahrzeug seine grösste Zukunft hat, ist in einigen Kantonen wie OW, FR, BL, AI und AG die Nutzlastbesteuerung bereits eingeführt. Die Frankenbeträge müssten allerdings neu angesetzt und auch dem Elektromobil Rechnung getragen werden.

#### Adresse des Autors

H. Mattenberger, Chef des Autobetriebes,  
Nordostschweizerische Kraftwerke AG, 5401 Baden

## L'aspect de l'utilisation pratique des véhicules électriques

Par H. Payot

### 1. Historique

Avant la création de VESSA (Véhicule électrique suisse SA), l'Electricité Neuchâteloise SA et la Société Romande d'Electricité ont cherché à développer un véhicule électrique qui a passé par plusieurs phases, soit depuis la modification d'une Mini Cooper Austin au véhicule entièrement nouveau, conçu et intégré en fonction des composants électriques. L'objectif était de réaliser un véhicule s'adaptant au trafic urbain, sans le perturber, d'arriver à une fiabilité qui soit bonne et que son maniement soit aussi simple que la conduite d'un véhicule à combustion interne.

Sur le plan des caractéristiques, la «Carville» est comparable à une 2CV Citroën, si bien qu'elle ne perturbe pas le trafic, d'autant

moins qu'au démarrage un véhicule électrique est assez brillant, en fonction même des caractéristiques du moteur, qui fournit son couple maximum à vitesse zéro.

Il est bien évident que l'inconvénient majeur est le poids de la voiture, dû à la source d'énergie, la batterie. Les caractéristiques des batteries étant toutes très modestes par rapport à un combustible traditionnel. Rappelons qu'à poids égal, un accumulateur électrique permet 1 à 2 % de l'autonomie d'un véhicule traditionnel. Ainsi même si nous doublons la capacité de l'accumulateur, le problème de l'énergie emmagasinée reste le même.

Le véhicule électrique continuera pendant longtemps encore à être exclusivement un véhicule urbain, à faible rayon d'action, sous réserve d'échange standard des batteries, de remplissage des accumulateurs pendant un temps très court, ce qui pose des problèmes fort complexes. Une solution est d'associer au véhicule électrique un moteur à combustion interne, pour arriver à un véhicule hybride qui permet une marche à l'électricité en ville (non polluante, silencieuse) et un fonctionnement traditionnel à l'extérieur des agglomérations.



L'avance spectaculaire que nous avons pu lire dans la presse concernant les réalisations américaines basées sur les batteries nickel/zinc, n'est malheureusement que de l'utopie, car ces batteries ne sont pas encore opérationnelles et si elles arrivent à une performance de l'ordre de grandeur de 60 à 70 Wh par kilo (moins du double d'une batterie au plomb) leur durée de vie actuelle est de 200 cycles, avec l'espoir d'arriver à 300 cycles. Nous avons actuellement pour une batterie au plomb des performances permettant 1000 cycles au moins. Tout cela sans tenir compte du prix des batteries nickel/zinc, beaucoup plus élevé que celui des batteries au plomb. Ceci veut dire que pour longtemps encore nous resterons aux batteries traditionnelles.

En théorie, la fiabilité du véhicule électrique est facile à obtenir. Par contre en pratique de nombreuses améliorations restent à réaliser pour arriver au véhicule que l'on se figure quand on parle d'une voiture électrique. En plus, les coûts de réalisation actuels sont très élevés, en fonction des toutes petites séries, nécessaires pour mettre au point les différents composants de ce véhicule.

Aujourd'hui, nous avons des voitures que l'on peut considérer comme fiables, mais qui méritent encore des affinements.

Sur le plan de la facilité de conduite, le véhicule électrique offre des caractéristiques très semblables au véhicule traditionnel, mais le conducteur ne doit pas oublier qu'il tire avec lui un poids très important et le problème de l'inertie est un handicap qu'il ne faut pas négliger. Les habitudes du conducteur doivent être adaptées à la voiture électrique, mais ce changement est facile, même si l'automobiliste n'est pas technicien.

## 2. Exploitation

L'expérience que nous avons dans l'exploitation des véhicules électriques n'est pas encore très grande, même si toute une série de voitures roulent et totalisent un nombre de milliers de kilomètres déjà respectable.

Mais aucun véhicule n'a encore dépassé l'âge de l'enfance et l'on ne peut pas dire sans réserve que sur le plan de l'exploitation tous les problèmes sont résolus. Chaque jour qui passe permet des améliorations. Nos efforts se concentrent sur les derniers modèles, si différents des précédents que toute expérimentation de durée sur les générations précédentes ne sont pas très enrichissantes.

Actuellement, une dizaine de véhicules type «Carville» circulent à Genève et dans le canton de Vaud. Ils permettent les tests d'exploitation indispensables, principalement pour les batteries et les composants électroniques. Des progrès importants peuvent encore se réaliser, dans le développement d'agrégats interchangeables, la mise sur carte de toute l'électronique, qui surveille et commande le véhicule, depuis la charge de l'accumulateur à la récupération, les types de moteurs et leurs rendements, la dynamique du véhicule, sa tenue à la destruction, le déparasitage, sans oublier l'avantage du frein électrique, qui permet de compenser l'inconvénient de l'inertie due au poids des batteries.

Il y a une foule de petits problèmes qui sont secondaires mais importants dans l'exploitation d'un véhicule et qui ne sont pas réglés de manière définitive aujourd'hui. Je pense par exemple à l'indicateur de réserve d'énergie, qui dans un véhicule traditionnel est tout simple: c'est la jauge de votre réservoir. Il n'est pas aussi facilement réalisable dans un véhicule électrique. Des systèmes existent, bien sûr, mais on peut encore les améliorer (Coulomb-mètre, mesure de densité ou voltmètre). Le contrôle de l'eau des batteries, les traitements contre la corrosion, sont aussi des points que l'expérience éclaire de façon différente que la théorie. Le prix du km parcouru varie bien sûr en fonction des formes d'utilisation du véhicule. Mais avec un conducteur qui sait économiser l'énergie, on arrive, avec la capacité totale de la batterie, d'un poids de 500 kg, à 80 km d'autonomie. Si l'on tient compte des différents rendements, 24 kWh sont nécessaires.

Au prix de l'énergie de nuit, de 8 cts/kWh, cela représente Fr. 1.92 par charge, soit 2,4 cts/km. A ce prix il faut bien entendu ajouter l'ensemble des autres charges, d'intérêts, d'amortissement et d'entretien. Le prix de l'énergie au km peut être comparé à celui de la benzine pour une voiture traditionnelle, qui consomme en ville plus de 12 l aux 100 km (voir tableau I).

Les ordres de grandeur des rendements que nous avons pour une voiture électrique, en partant du réseau, sont indiquées au tableau II.

Nous voyons donc que le rendement énergétique est un tout petit peu inférieur à 50%, ce qui est remarquable si on le compare à celui

## Comparaison des coûts annuels d'une voiture à benzine et d'une voiture électrique

Tableau I

		Voitur à benzine	Voiture électrique
Kilométrage annuel km/a		15 000	15 000
Prix de la voiture Fr.		10 000	30 000
Durée d'amortissement ans		10	13
Impôt	cts/km	$\frac{250}{15\,000} = 1,7$	$\frac{250}{15\,000} = 1,7$
Assurance	cts/km	$\frac{450}{15\,000} = 3,0$	$\frac{300}{15\,000} = 2,0$
Carburant/électricité	cts/km	$\frac{12 \cdot 1,2}{100} = 14,4$	$\frac{24\text{kWh}}{80} \cdot 10 = 3,0$
Amortissement batterie	cts/km	-	$\frac{6000}{1500 \cdot 80} = 5,0$
Pneus, huile, grais	cts/km	$\frac{500}{3500} + \frac{15}{1000} = 2,9$	$\frac{500}{3500} = 1,4$
Eau batterie	cts/km	-	$\frac{10}{1000} = 1,0$
Service, réparations	cts/km	$\frac{70}{1000} = 7,0$	$\frac{20}{1000} = 2,0$
Total	cts/km	29,0	16,1
Amortissements	cts/km	6,7	16,6
Intérêts	cts/km	1,5	3,4
Total général	cts/km	37,2	36,1

Tableau II

	Séparés	Cumulés
Chargeur	0.83	
Batterie charge	0.85	0.706
Batterie décharge	0.89	0.628
Hâcheur	0.98	0.615
Moteur	0.78	0.480
Boîte à vitesses, transmission roues	0.92	0.456

d'un moteur à explosion qui est à lui seul de moins de 30% et laisse moins de 10% aux roues.

## 3. Législation

En ce qui concerne la législation, la Suisse ne favorise pas beaucoup le développement des voitures électriques et sur le plan des impôts, chaque canton a ses dispositions légales, sans unification. Si nous prenons l'exemple vaudois, la loi du 10 novembre 1976 sur la taxe des véhicules automobiles des cycles et des bateaux dit: «Véhicules mus par des moteurs électriques.»

### Définition

Il s'agit de la taxe relative aux véhicules de tous ordres mus par un ou des moteurs électriques.

### Barème pour les véhicules mus par des moteurs électriques

- jusqu'à 3000 W: Fr. 190.-/année,
- puis Fr. 30.- supplémentaires pour chaque tranche ou fraction de 500 W en plus.

Nous voyons que l'application pure et simple de cette loi aboutit à des impôts prohibitifs pour véhicule électrique. Prenons par exemple un véhicule de 60 CV, il paierait un impôt de Fr. 2770.-, un véhicule de 110 CV, Fr. 5000.-, un véhicule de 230 CV, Fr. 10330.-.

Cependant l'assurance nous a été donnée qu'un taux de réduction serait appliqué à cette norme, ramenant l'impôt du véhicule électrique à un niveau comparable à celui d'un véhicule à combustion interne.

Nous voyons là aussi que les gouvernements n'ont pas encore pris le problème du véhicule électrique avec tout l'intérêt que nous pourrions souhaiter. Pour arriver au développement de ce genre de voiture, nous aurions besoin d'un appui beaucoup plus grand de la part des autorités, ce qui irait dans le sens d'une diminution de la pollution et d'une diminution de la consommation de fuel.

En conclusion, nous espérons que les efforts soutenus par des entreprises privées fassent se pencher nos autorités d'une manière plus concrète et plus tangible sur le problème voiture électrique et que l'on trouve une formule d'aide pour faciliter et accélérer l'intégration de ce mode de transport dans notre pays.

#### Adresse de l'auteur

Henri Payot, ingénieur EPFL, directeur technique de la Société Romande d'Electricité, 1815 Clarens

#### Meisterprüfungen

Die 206. Meisterprüfung für Elektro-Installateure vom 8. bis 11. April 1980 in Fribourg haben folgende Kandidaten bestanden:

Aellig Markus,	8303 Bassersdorf
Amhof Hansjörg,	4153 Reinach
Binggeli Helmut,	8810 Horgen
Betrissey Ignace,	3958 St-Léonard
Feller Willy,	3604 Thun
Fuhrer Friedrich,	8887 Mels
Ganz Rolf,	8006 Zürich
Gisler Albert,	7000 Chur
Lauenstein Heinz,	3550 Langnau
Mettauer Willi,	4336 Kaisten
Mosimann Urs,	3800 Unterseen
Mouron Jean-François,	1008 Prilly
Rüedi Franz,	7000 Chur
Schilt Kurt,	3436 Zollbrück
Schönenberger René,	8820 Wädenswil
Siegrist Otto,	3057 Zollikofen
Staub Albert,	6300 Zug
Wasescha Melchior,	7000 Chur
Weber Paul,	5524 Niederwil

Meisterprüfungskommission VSEI/VSE

#### Examens de maîtrise

Les candidats suivants ont passé avec succès l'examen de maîtrise pour installateurs-électriciens du 8 au 11 avril 1980 à Fribourg:

Aellig Markus,	8303 Bassersdorf
Amhof Hansjörg,	4153 Reinach
Binggeli Helmut,	8810 Horgen
Betrissey Ignace,	3958 St-Léonard
Feller Willy,	3604 Thun
Fuhrer Friedrich,	8887 Mels
Ganz Rolf,	8006 Zurich
Gisler Albert,	7000 Coire
Lauenstein Heinz,	3550 Langnau
Mettauer Willi,	4336 Kaisten
Mosimann Urs,	3800 Unterseen
Mouron Jean-François,	1008 Prilly
Rüedi Franz,	7000 Coire
Schilt Kurt,	3436 Zollbrück
Schönenberger René,	8820 Wädenswil
Siegrist Otto,	3057 Zollikofen
Staub Albert,	6300 Zoug
Wasescha Melchior,	7000 Coire
Weber Paul,	5524 Niederwil

Commission des examens de maîtrise USIE/UCS

## Öffentlichkeitsarbeit – Relations publiques



#### Prominenz im Schaufenster

Einmal etwas ganz anderes hat sich das Elektrizitätswerk der Stadt Bern bei der Gestaltung seiner Schaufenster einfallen lassen. Unter dem Titel «Väter wichtiger Begriffe» werden Pioniere der Elektrizität und ihr Beitrag zur Forschung oder zur technischen Entwicklung vorgestellt: André Maria Ampère 1775–1836, Alessandro Volta 1745–1827, Georg Simon Ohm 1787–1854, James Watt 1736–1819 und der Erfinder der Glühlampe, Thomas Alva Edison, 1847–1931. Einige dieser Namen sind auch zu Bezeichnungen für elektrische Masseinheiten geworden, und der Beschauer kann hier auf leichtverständliche, einprägsame Art die Formeln und Definitionen der Einheiten Spannung (Volt), Stromstärke (Ampère), Widerstand (Ohm) und elektrische Leistung (Watt) erfahren.

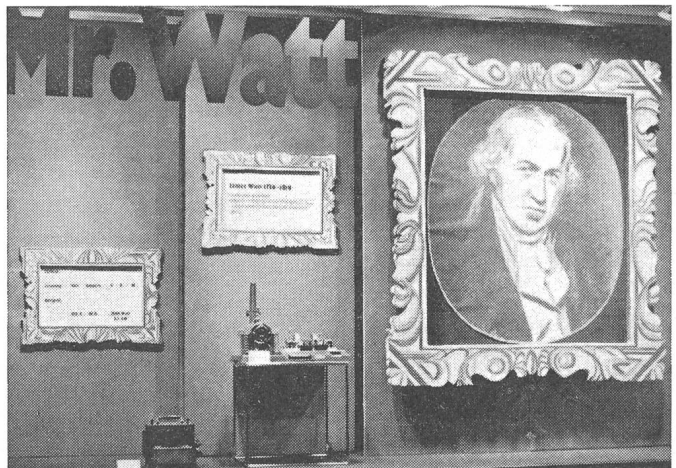
Diese interessante und aussergewöhnliche Darstellung von Begriffen, die uns im Alltag immer wieder begegnen, ist äusserst wirkungsvoll. Gerade diese Art der Wissensvermittlung sollte viel öfter angewendet werden, um in unserem heutigen Informationsfluss überhaupt eine Chance zu haben. *Ho*

#### Des célébrités en vitrine

C'est un thème sortant de l'ordinaire qu'a choisi pour ses vitrines le Service de l'électricité de la ville de Berne. Sous le titre «Pères de grandes notions», ce service présente en effet quelques pionniers de l'électricité et les découvertes par lesquelles ils se sont illustrés: André Maria Ampère, 1775–1836; Alessandro Volta, 1745–1827; Georg Simon Ohm, 1787–1854; James Watt, 1736–1819, ainsi que Thomas Alva Edison, 1847–1931, à qui nous devons la lampe à incandescence. Comme nous le savons, la plu-

part d'entre eux a donné le nom à une unité de mesure. Dans les vitrines, des formules et définitions simples et faciles à retenir expliquent au passant les unités de la tension (volt), de l'intensité (ampère), de la résistance (ohm) et de la puissance (watt).

Voilà donc une manière originale et efficace de mieux faire connaître des notions rencontrées fréquemment, mais souvent peu comprises. Ce genre d'information mériterait plus d'attention, car il favorise l'information en général. *Ho*



Mr. James Watt erbaute 1756 die erste Dampfmaschine  
James Watt construisit en 1756 la première machine à vapeur