**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:** 68 (1977)

**Heft:** 3

**Artikel:** Haben Elektromobile eine reelle Zukunftschance? : Schlussfolgerungen aus dem Elektrofahrzeug-Symposium 1976 in Düsseldorf

**Autor:** Mutzner, J.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-914984

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 14.07.2025

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

# Haben Elektromobile eine reelle Zukunftschance?

## Schlussfolgerungen aus dem Elektrofahrzeug-Symposium 1976 in Düsseldorf

Von J. Mutzner

*Das 4. Symposium über Elektrofahrzeuge, das vom 31. August bis 2. September 1976 in Düsseldorf stattgefunden hat, zeigte den bis heute erreichten Entwicklungsstand in bezug auf die Fahrzeugsysteme und die einzelnen Fahrzeugkomponenten (Batterien, Antriebe, Regelungen, Ladegeräte usw.), gleichzeitig fand auch ein Erfahrungsaustausch über die betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekte des elektrischen Strassenverkehrs statt. Die nachfolgenden Ausführungen fassen die wichtigsten Ergebnisse des Symposiums zusammen.*

*Le 4e symposium du véhicule électrique qui s'est tenu à Düsseldorf du 31 août au 2 septembre 1976 a permis de s'informer sur les récents progrès dans le domaine des véhicules et des différents composants (batteries, groupes moteurs, régulateurs, chargeurs, etc.). Des expériences ont également pu être échangées sur les aspects pratiques et économiques de la circulation routière des véhicules électriques. L'exposé ci-après résume les points importants du symposium.*

### 1. Einleitung

Im Jahre 1974 hat die UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique) erstmals gemeinsam mit dem Electric Vehicle Council (USA) ein Symposium über Elektrofahrzeuge organisiert[1]). Vereinbarungsgemäss soll dieses gemeinsame Symposium nun alle zwei Jahre abwechslungsweise in Europa und den USA stattfinden.

Vom 31. August bis 2. September 1976 war nun die Gelegenheit geboten, anlässlich des Vierten Internationalen Elektrofahrzeug-Symposiums[2]) den Entwicklungsstand und die Zukunftsperspektiven auf dem Markt der elektrischen Strassenfahrzeuge abzuschätzen. Gleichzeitig konnte an einer repräsentativen Fahrzeugausstellung (mit Ausnahme von Japan waren alle führenden Herstellerländer von Elektrofahrzeugen vertreten) ein anschaulicher Überblick über die Anstrengungen und erzielten Ergebnisse auf diesem Markt gewonnen werden.

Der Unterschied zu den vorangegangenen Tagungen kann folgendermassen skizziert werden:

Erstmals ist man vom reinen Prototypstadium weggekommen und in die praktische Erprobung von – allerdings immer noch kleinen – Serien von Elektrofahrzeugen eingestiegen. Die Resultate sind zwar nicht immer ermutigend; der «Durchbruch» des Elektromobils ist offensichtlich aus technischen und wirtschaftlichen Gründen noch nicht gelungen, doch bieten sich einzelne Konzepte bereits als sehr erfolgversprechend für die Zukunft an. Und diese vielversprechende Zukunft des Elektromobils, dies darf nun doch nach den ersten praktischen Erfahrungen in verschiedenen Ländern vorausgesagt werden, wird bestimmt noch in diesem Jahrhundert beginnen.

[1]) Siehe Bulletin SEV, «Seiten des VSE» (1974)12, S. 394...397.

[2]) Die beiden ersten Symposien wurden separat vom Electric Vehicle Council 1969 in Phœnix, Arizona, und von der UNIPEDE 1972 in Brüssel durchgeführt; das dritte, gemeinsam organisierte, fand 1974 in Washington statt.

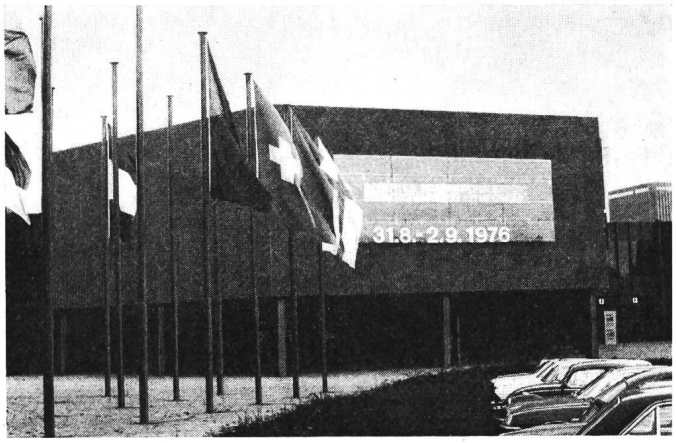


**Fig. 1 Ansicht Kongressgebäude**

### 2. Allgemeine Betrachtungen

Das steigende Umweltbewusstsein der Bevölkerung und nicht zuletzt auch die Erdölkrise haben der Suche nach geeigneteren Antriebsenergien für die Strassenfahrzeuge einen neuen Anstoss gegeben. Dieser wurde noch verstärkt durch das Erfordernis, die Lärmeinwirkungen durch den Strassenverkehr nicht nur durch Worte, sondern durch Taten zu mindern. Die Verbreitung des Elektromobils könnte prinzipiell diesen Forderungen in weitem Ausmasse gerecht werden.

Die nach den neuesten praktischen Untersuchungen gewonnenen Resultate über den notwendigen Energieaufwand von benzingetriebenen und elektrischen Fahrzeugen scheinen nun allerdings zu zeigen, dass das Elektrofahrzeug im Stadtverkehr fast so viel Primärenergie pro Kilometer benötigt wie die konventionellen Personenautos (Fig. 2 und 3), sofern man davon ausgeht, dass die Elektrizität in thermischen Kraftwerken erzeugt wird. Diese Feststellung kontrastiert auffällig gegenüber Auffassungen, die noch vor einigen Jahren vertreten wurden. Ist aber der Primärenergieverbrauch überhaupt ein brauchbares Kriterium, um die Zweckmässigkeit des Einsatzes von Elektromobilen abzuwägen?

Die Verwendung von Elektrofahrzeugen könnte nämlich energiewirtschaftlich gesehen durchaus auch in Ländern sinnvoll sein, in denen die erforderliche elektrische Energie zum Aufladen der Batterien in Kohle- oder Kernkraftwerken erzeugt wird. Damit wäre nämlich eine erhebliche Substitution von Erdölprodukten zu erreichen.

Zudem entfallen heute rund 75 % des gesamten Welt-Erdölbedarfs auf nur knapp einen Viertel der Weltbevölkerung, nämlich auf denjenigen Teil mit dem höchsten Motorisierungsgrad (Fig. 4). Die Einführung des Elektromobils erscheint deshalb in Industrieländern besonders dringend.

In der Schweiz, wo die bei einem allfälligen Ersatz von herkömmlichen Fahrzeugen durch Elektromobile benötigte zusätzliche elektrische Energie in Kernkraftwerken erzeugt würde, ergäben sich vor allem Vorteile bezüglich der Verminderung der Schadstoffemissionen, der Lärmeinwirkungen, aber auch in bezug auf den Sauerstoffverzehr bei der Energieerzeugung. So beträgt heute der Anteil des Strassenverkehrs an der Immissionsbelastung in unseren Städten bis zu 60 %. Der Sauerstoffhaushalt der Schweiz (eher als Sauerstoffdefizit zu bezeichnen) zeigt folgendes erschreckendes Bild:

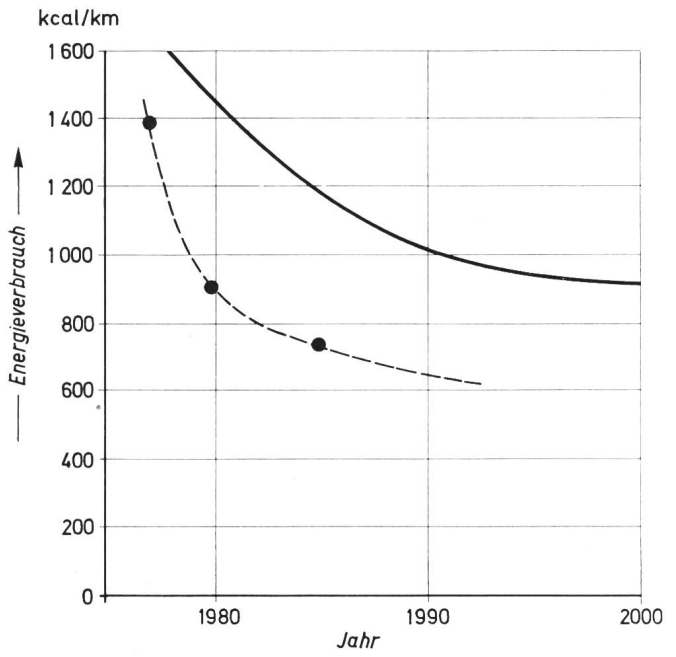


**Fig. 2 Schätzung des Energieverbrauchs für den Antrieb von elektrischen und benzingetriebenen Fahrzeugen (in beiden Fällen Erdöl als Primärenergie) [3].**
——— Herkömmliche Fahrzeuge (Durchschnitt)
– – – Elektromobile

- Jährliche Erzeugung von Sauerstoff (Pflanzen): 10 Millionen Tonnen
- Jährlicher Verbrauch von Sauerstoff: 45 Millionen Tonnen, davon rund 6,5 Millionen Tonnen durch den Autoverkehr

Die Förderung der Entwicklung von Elektrofahrzeugen ist deshalb äusserst wichtig und heute im Prinzip unbestritten. Eine Umweltschutzfunktion können zum Beispiel bereits die eingesetzten Elektrotaxis in der Schweiz erfüllen (die Schweizer Firma Pfander hat kürzlich sechs solche Fahrzeuge nach Zermatt geliefert, die maximal erreichbare Geschwindigkeit von 30 km/h dürfte für diesen Einsatzzweck genügen).

## 3. Die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen

Neben den Batterieproblemen, die im folgenden Abschnitt kurz gestreift werden, bildet die gegenüber dem herkömmlichen Fahrzeug auch für Ballungsgebiete (Nahverkehr) noch nicht erreichte und nur langsam sich anbahnende Wirtschaftlichkeit ein Haupthindernis zur Marktreife von Elektrofahrzeugen. Diese haben erst eine Chance, in nennenswertem Masse auf dem Markt Fuss zu fassen, wenn sie wirtschaftlich konkurrenzfähig sind und im Betrieb gegenüber dem benzingetriebenen Fahrzeug einen vergleichbaren Komfort zu bieten vermögen. Diese beiden Bedingungen sind heute weder bei den Personen- noch bei den Nutzfahrzeugen, auf denen die Hoffnungen besonders beruhen, erfüllt. Wohl sollte die umweltfreundliche Betriebsart des Elektromobils (keine Schadstoffemissionen, kein Sauerstoffverzehr, weniger Lärm) auch mit gewissen kostenmässigen Beträgen in die Wirtschaftlichkeitsrechnung einbezogen werden; leider vermag aber der diesbezüglich dem Elektromobil entgegengebrachte «Goodwill» im heutigen Zeitpunkt die Unterschiede bei den Betriebs- und Unterhaltskosten gegenüber dem konventionellen Fahrzeugtyp noch nicht aufzuwiegen.

Eine vergleichende Untersuchung der projektierten Gesamtkosten für Elektrofahrzeuge mit denen konventioneller Kleinfahrzeuge ist für das Gebiet von Philadelphia (USA) durchgeführt worden, wobei der Entwicklungsstand für die Batterien im Jahre 1990 abgeschätzt wurde. In der Tabelle I sind diese Kosten angegeben. Die Mehraufwendungen für die Zusatzheizung sind allerdings nicht berücksichtigt.

Die um 20 % höher eingeschätzte Lebensdauer des Elektromobils gegenüber dem herkömmlichen Fahrzeug beruht auf der Tatsache, dass der Elektromotor und das Steuergerät im Vergleich zum Verbrennungsmotor eine fast unbegrenzte Lebensdauer besitzt. Von einigen Fachleuten wird diese Auffassung allerdings nicht geteilt.

Auf Grund dieser Schätzung (Tabelle I) muss angenommen werden, dass die gesamten Jahreskosten pro Kilometer Fahrleistung bei elektrischen Fahrzeugen wesentlich über denjenigen herkömmlicher Fahrzeuge liegen dürften, solange nicht die Anschaffungskosten und die Lebensdauer der Antriebsbatterien ganz wesentlich verbessert werden. Die Untersuchung kommt ferner zum Schluss, dass nur die Entwicklung preiswerter, langlebiger Zink-Chlor-Batterien zu einer wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit von elektrischen Personenwagen führen könnte. Es scheint, dass vor allem in den USA der Zink-Chlor-Batterie gute Entwicklungschancen eingeräumt werden.

## 4. Die Batterieentwicklung

Ob es nun die Zink-Chlor-Batterie oder ein anderes Energiespeichersystem in Zukunft schaffen wird, kann auf Grund einzelner Erfahrungen und Untersuchungen noch nicht entschieden werden. Eines aber ist bereits heute gewiss: die bestehende Blei-Säure-Batterie mit maximalen Energiedichten von rund 30 Wh/kg im praktischen Einsatz wird einer grossindu-

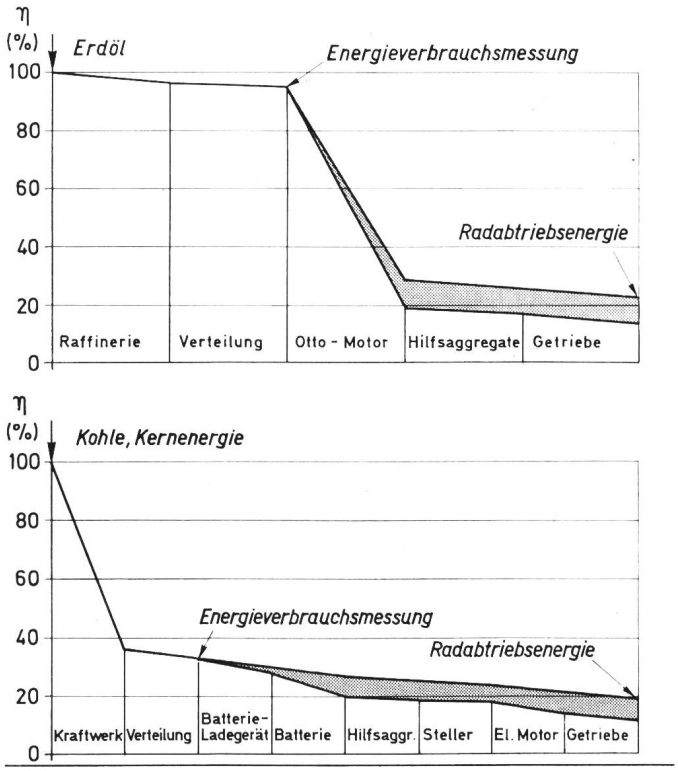


**Fig. 3 Energiekette des benzingetriebenen Fahrzeugs (oben) und des Elektromobils (unten) [2]**
$\eta$ Gesamtwirkungsgrad, auf eingesetzte Primärenergie bezogen

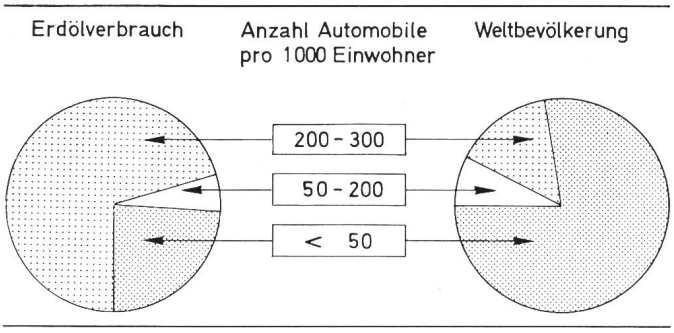


**Fig. 4 Erdölverbrauch der Weltbevölkerung in Abhängigkeit vom Motorisierungsgrad**

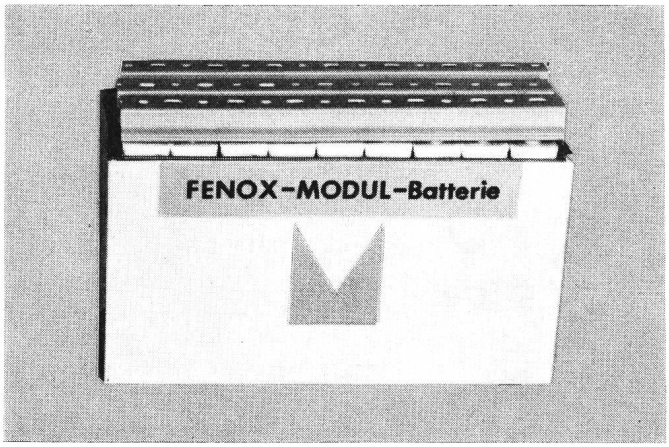


**Fig. 5 Eisen-Nickel-Fahrzeugbatterie der Varta, BR Deutschland**
Kapazität: 50 Ah (bei fünfstündiger Entladung)
Energiedichte: 48 Wh/kg (erwartet werden 65–70 Wh/kg)

striellen Elektrofahrzeug-Herstellung nicht Gevatter stehen, wenn sie auch in gewissem Ausmass in Hybrid-Fahrzeugsystemen und in speziellen Fahrzeugeinsatzbereichen (wie z. B. interner Werkverkehr, bei der Post usw.) auch in Zukunft Verwendung finden könnte.

Zwar sind auch bei der Blei-Säure-Batterie gewisse Kapazitätssteigerungen zu erwarten, aber gleichzeitig muss auch noch eine Verbilligung und eine Erhöhung der Lebensdauer angestrebt werden. Die bisherigen Ergebnisse der Verbesserungsversuche bezüglich Energiedichten, die optimistisch die Erreichung von 50 Wh/kg bei einer Lebensdauer von 1000 Zyklen zum Ziele haben, stehen immer noch im Kontrast zu diesen zusätzlichen Forderungen.

Neben den konventionellen und fortgeschrittenen Blei-Säure-Batterien existieren schon seit einiger Zeit Nickel-Kadmium- und Nickel-Eisen-Traktionsbatterien. Diese weisen allerdings ebenfalls einige schwerwiegende Nachteile auf, wie geringe Energiedichte, hohes Gewicht, geringe Lebensdauer, lange Aufladezeit und vor allem hohe Kosten.

Verschiedene Batterie-Neuentwicklungen konnten in Düsseldorf bereits präsentiert werden.

– Die Eisen-Nickel-Batterie (Fig. 5), die vom Batteriehersteller (Varta) in einem Versuchsfahrzeug mit VW-Karosserie vorgestellt wurde. Die präsentierte Prototypbatterie (12 Module à 12 V = 144 V) besitzt nach den Angaben des Herstellers eine Kapazität von 50 Ah bei fünfstündiger Entladung. Als Energiedichte wurde der Wert von 48 Wh/kg genannt, was einer Steigerung von 20 % gegenüber vergleichbaren Blei-Säure-Akkumulatorenprototypen entspricht. Ziel dieser Entwicklungsrichtung ist die Erreichung einer Energiedichte von 65 bis 70 Wh/kg.

– Die Blei-Kobalt-Batterie (Fig. 6). Ein dreipoliges Batteriesystem dieses Typs mit einer Energiedichte von rund 70 Wh/kg ist seriemässig im Luxuselektrofahrzeug «Transformer I» (Fig. 11) eingebaut. Ein entscheidender Vorteil dieses Batterietyps liegt auch darin, dass die Aufladedauer nur rund ein Sechstel derjenigen einer normalen Blei-Säure-Batterie beträgt.

– Eine schwedische Firma (AB Tudor) hat eine speziell für den Antrieb von Elektrofahrzeugen entwickelte Nickel-Zink-Batterie vorgestellt. Diese soll eine Energiedichte von 65 Wh/kg bei fünfstündiger Entladung aufweisen und zwischen 1500 und 2000 Aufladezyklen erreichen. Die Fig. 7 zeigt eine 20-kWh-Zinkbatterie mit einer Kapazität von 380 Ah. Tests an einer Prototypbatterie, welche im Februar 1973 begonnen wurden, sollen nach 1100 zweistündigen Entladungen noch keinen Ausfall der Zinkelektroden ergeben haben. Nach einer optimistischen Aussage des Leiters einer bekannten Elektrofirma der USA könnten bereits im Jahre 1977 Nickel-Zink-Batterien mit einer gegenüber normalen Blei-Säure-Batterien verdreifachten Energiedichte auf den Markt kommen.

*Gesamtkosten für Anschaffung und Betrieb (Entwicklungsstand 1990) [3] in US-Cents/km* Tabelle I

| | Herkömmliche Klein-Personenwagen | Elektrofahrzeuge | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Blei/Säure | Nickel/Zink | Zink/Chlor |
| Abschreibung [1]) | | | | |
| Fahrzeug | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,6 |
| Batterie | 0 | 2,5–6,4 | 3,5 | 0,6 |
| Instandhaltung | 1,5 | 0,9 | 0,8 | 0,7 |
| Treibstoff [2]) | 2,2 | 2,1 | 1,3 | 1,1 |
| Emissionsüberwachung | 0,5 | 0 | 0 | 0 |
| Finanzkosten [3]) | 1,0 | 1,8 | 2,6 | 1,5 |
| Parken, Versicherung, Steuern [4]) | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,8 |
| Gesamtkosten | 9,4 | 11,8–15,7 | 12,7 | 8,3 |

[1]) Angenommen zehn Jahre Lebensdauer und 160000 km für herkömmliche Personenfahrzeuge sowie zwölf Jahre Lebensdauer und 193000 km für Elektrofahrzeuge.

[2]) Angenommener Benzinpreis 18,5 US-Cents pro Liter ohne Steuern, Strompreis 4,2 US-Cents pro kWh.

[3]) Angenommene Abschreibung der Kraftfahrzeuge und der Antriebsbatterien über die erwartete Lebensdauer mit einem Zinssatz von 10 % pro Jahr.

[4]) Schliesst Benzinsteuern von 3,4 US-Cents pro Liter ein.

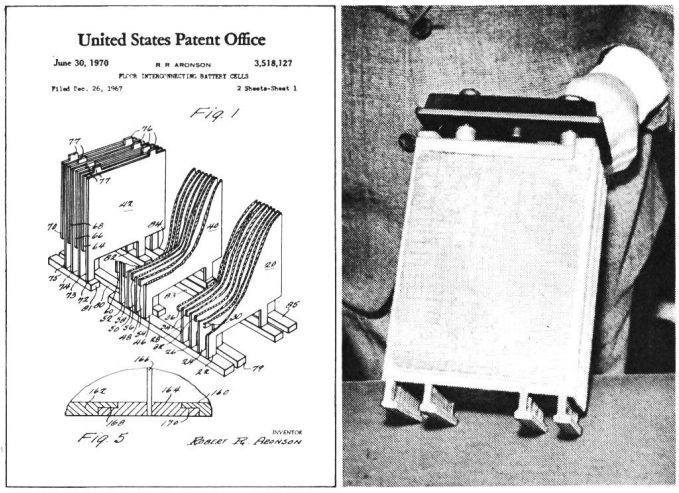


**Fig. 6 Blei-Kobalt-Batterie, die im Personenfahrzeug «Transformer I» (Fig. 11) seriemässig eingebaut ist**

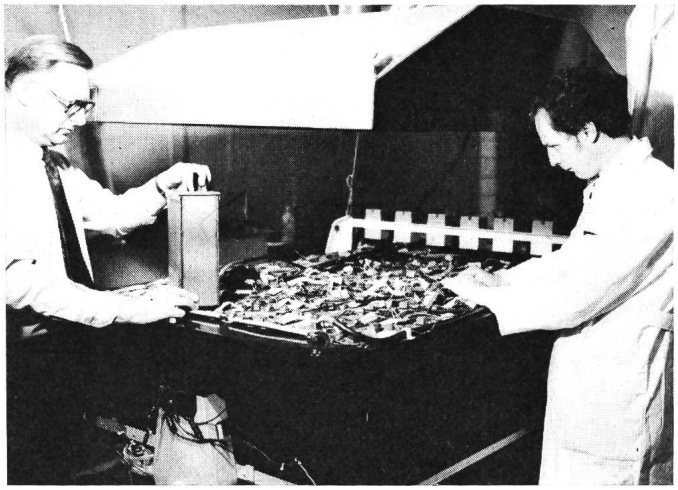

**Fig. 7 Nickel-Zink-Traktionsbatterie auf dem Prüfstand (AGA Tudor Laboratorien, Schweden)**

– Auch Nickel-Kadmium-Batterien werden als Traktionsbatterien von verschiedenen Firmen weiterentwickelt (Fig. 8).

Solche optimistischen Erfahrungen der Batteriehersteller könnten zur Annahme verleiten, dass der grosstechnische Einsatz neuer Batteriesysteme für den Fahrzeugantrieb nur noch eine Frage von wenigen Jahren Entwicklungsarbeit sei. Hier dämpft aber ein entscheidender Faktor – die Kosten der Batterie und deren Unterhalt – diese erfreulichen Aussichten. Und über diese finanziellen Auswirkungen sind die Auskünfte der Batteriehersteller bedeutend bescheidener.

Ob sich von den rund 30 bis heute gebauten oder vorgeschlagenen Batteriesystemen für den Elektroantrieb in den nächsten Jahren einige Favoriten herausschälen, ist noch nicht gewiss. Vorläufig scheinen die Nickel-Zink-Batterie, eventuell auch die Zink-Chlor- und die Nickel-Eisen-Batterie im Vordergrund zu stehen und die besten Entwicklungsaussichten zu versprechen. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass der praktische Einsatz auch dieser Batterietypen in bezug auf die maximal erreichbaren Energiedichten nicht an den konventionellen Benzinantrieb heranreichen. Dies dürfte auch bei den heute noch utopisch anmutenden Batterieprojekten Natrium-Schwefel, Eisen-Lithium, Wasser-Lithium oder gar Lithium-Schwefel, denen für die Zukunft von verschiedener Seite gute Chancen eingeräumt werden, nicht viel anders werden. Denn es ist zu bedenken, dass die Benzinpumpe einer Tankstelle eine Leistung von 30 MW abgibt und auch der Haushaltanschluss als Nachladestelle rund 2000mal langsamer ist, um die gleiche Energie für zurückgelegte Fahrkilometer zu ersetzen [4].

Stellvertretend für die vielen, sich teilweise widersprechenden Angaben über die künftige Batterieentwicklung sei auf Fig. 9 und Tabelle II verwiesen, die Schätzungen verschiedener Autoren über die Wahrscheinlichkeit der Weiterentwicklung einiger wichtiger Speichersysteme zeigen.

## 5. Die Fahrzeugentwicklung

Es seien hier nur einige Aspekte des heutigen Standes der Fahrzeugentwicklung skizziert[3]). An Reichhaltigkeit der Auswahlpalette für einen interessierten Käufer mangelt es nicht. Ob man nun zum Primitivmodell «Midinette» (Fig. 10) oder zum Luxusfahrzeug «Transformer I» (Fig. 11, mit serienmässig eingebauter Klimaanlage, Stereotonbandanlage und Getränkebar notabene; das Ausstellungsobjekt wurde in der Zwischenzeit an den weltbekannten Geiger Yehudi Menuhin ausgeliefert) greifen will, falls der Mut zum Nonkonformen und der nötige finanzielle Hintergrund vorhanden sind, kann fast jeder Wunsch bezüglich Karosseriegestaltung erfüllt werden. Es sei als ausgefallenes Beispiel nur das Elektro-Rennmotorrad «Berix» erwähnt, das eine Stundengeschwindigkeit von rund 200 km/h erreichen soll (Fig. 12).

[3]) Eine Zusammenstellung der zurzeit produzierten Elektromobile findet sich im Beitrag von Sir Jon Samuel auf den Seiten 122...129 dieses Bulletins.

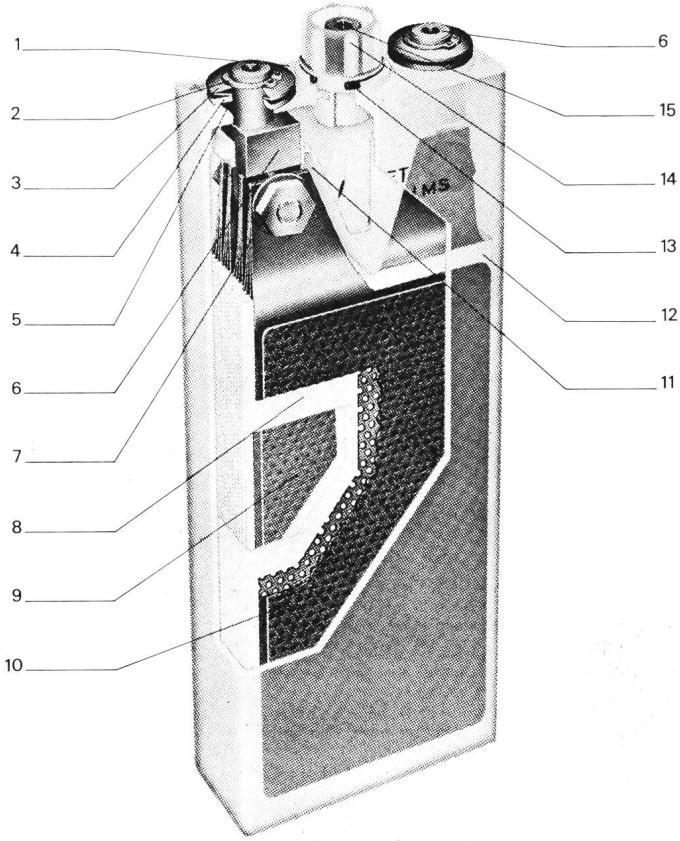


**Fig. 8 Nickel-Kadmium-Batterie der SAFT, Frankreich**

| | | |
|---|---|---|
| 1 Deckel | 6 Klemme | 11 Abschirmung |
| 2 Sprengring | 7 Halterung | 12 Wanne |
| 3 Feder-Rondelle | 8 Trennwand | 13 Dichtungsring |
| 4 Unterlagscheibe | 9 Negative Elektrode | 14 Einfüllstutzen |
| 5 Dichtungsring | 10 Positive Elektrode | 15 Ventil |

*Wahrscheinlichkeit des Einsatzes verschiedener Batterietypen [6]* Tabelle II

| | Wahrscheinlichkeit des Einsatzes bis zum Jahre 1985 (%) |
|---|---|
| Verbesserte Bleisäure-Batterie (40 Wh/kg bei einstündiger Entladung) | 85 |
| Nickel-Zink-Batterie | 50 |
| Zink-Chlor-Batterie | 25 |
| Natrium-Schwefel | 10 |

Bei den bis heute hergestellten Elektrofahrzeugen handelt es sich aber im allgemeinen um äusserst kleine Serien, wenn man vielleicht von Spezialausführungen, wie zum Beispiel den Milchtransportfahrzeugen in England, absieht. Das einzige, in grösseren Serien hergestellte batteriegespiesene Personenfahrzeug dürfte der amerikanische Sebring-Vanguard-City-Car sein.

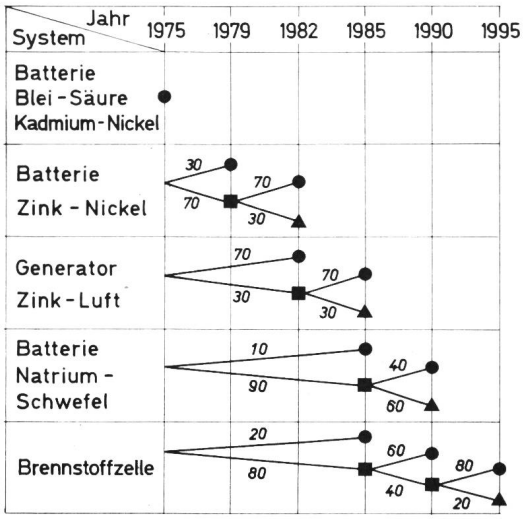


**Fig. 9 Entwicklungschancen einiger wichtiger Batteriesysteme [5] (Zahlen: prozentuale Wahrscheinlichkeit)**

● Im Handel
■ Kommerzielle Reife nicht erreicht; Entwicklungsarbeit geht weiter
▲ Verzicht auf weitere Entwicklungsarbeiten

Ein Hauptziel der Fahrzeugentwicklung liegt in seinem Einsatz in Ballungsgebieten, für den das Elektromobil infolge seiner beschränkten Reichweite prädestiniert ist. Dadurch sind auch die bedeutendsten Fortschritte in Europa auf dem Nutzfahrzeugmarkt erzielt worden. In der Bundesrepublik Deutschland werden besonders auf dem Nutzfahrzeugsektor in Forschung, Entwicklung und Erprobung von Gesamtsystemen grosse Anstrengungen unternommen. Diese Aufgabe wird partnerschaftlich durch die Automobil-, Elektro-, Batterie- und Maschinenbauindustrie unter zielgerichteter Koordination der Gesellschaft für elektrischen Strassenverkehr mbH (GES) wahrgenommen.

Als Ergebnis dieser Zusammenarbeit konnten seit 1974 im Rahmen eines Versuchsprogramms (durch Bund und Länder gefördert) 20 Batterie-Elektrobusse im Liniendienst eingesetzt werden und müssen sich nun zusammen mit den herkömmlichen Bussen im Stadtverkehr bewähren. Ein entsprechender, ebenfalls öffentlich geförderter Grossversuch mit 20 Hybrid-Elektrobussen ist in Vorbereitung (Fig. 14). Ferner werden heute 50 elektrisch angetriebene Transporter im Alltagseinsatz getestet (Fig. 13). Dabei kommt bei all diesen Systemen die Batterie-Wechseltechnik zur Anwendung (Fig. 15). Der Batteriesatz für die Linienbusse ist in einem einachsigen Anhänger untergebracht. Dadurch konnte ohne grösseren Umbau ein normaler Standard-Linienbus mit seiner ursprünglichen Beförderungskapazität verwendet werden.

Auch in andern automobilproduzierenden Ländern, allen voran in den USA und in Japan, laufen umfangreiche, staatliche Förderungsprogramme zur Entwicklung von Elektrofahrzeugen.

Bereits im Jahre 1972 hat das Electric Vehicle Council (EVC) ein Testprogramm für 107 batteriegespeiste Lieferautos der Batterie Truck Corporation ins Leben gerufen. 107 rund 3000 kg schwere Lieferwagen mit einer Nutzlast von 450 kg (neben dem Fahrer) sind von 62 Elektrizitätsunternehmen auf ihre Verwendungsmöglichkeiten geprüft worden.

Heute liegt allerdings das Hauptziel der Elektrofahrzeugentwicklung in den USA, im Gegensatz etwa zu Deutschland, bei der Förderung von Personenfahrzeugen.

In den USA wird von der staatlichen Gesetzesvorlage H.R. 8800, einem Elektromobilgesetz, viel erwartet. Diese

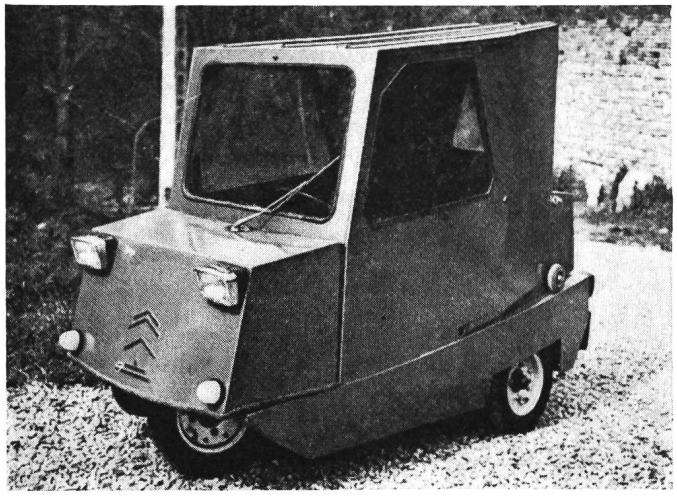

**Fig. 10 Dreirad-Personenwagen «Midinette 1200»**
Max. Geschwindigkeit: 50 km/h
Reichweite: 40–80 km je nach Batterieausstattung

**Fig. 11 Luxus-Personenwagen «Transformer 1»**
Max. Geschwindigkeit: 110 km/h (bei ausgeschalteter Klimaanlage)
Beschleunigung auf 55 km/h in 8 Sekunden
Reichweite ohne Zwischenaufladung: 160 km
Aufladedauer der Blei-Kobalt-Batterien: 45 Minuten (80 %)

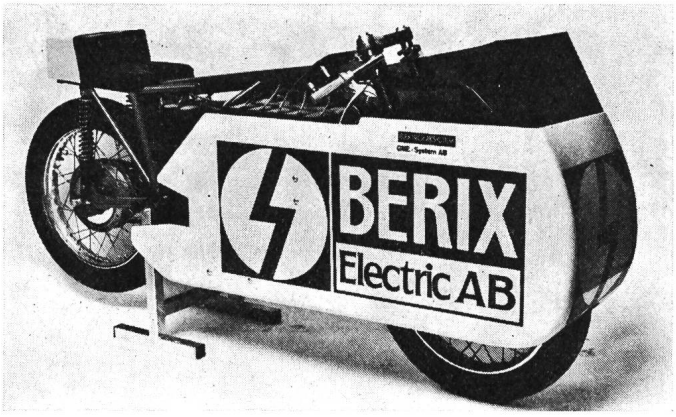


**Fig. 12 Elektrisch angetriebenes Renn-Motorrad**

Vorlage, die neben anderen Förderungsmassnahmen auch finanzielle Mittel des Bundesstaates für Entwicklungsarbeiten an 7500 Elektromobilen von rund 160 Millionen Dollar bis zum Jahre 1981 vorsieht, hat die Hürden im Repräsentantenhaus und im Senat trotz einem Veto des Präsidenten bereits genommen, allerdings ist der Kredit noch nicht definitiv bewilligt. Die Energieforschungs- und Entwicklungsbehörde (ERDA) bereitet zurzeit die erforderlichen Massnahmen zur Durchführung dieses Entwicklungsprogramms vor.

Auch in andern Ländern, wie Japan, Grossbritannien, Frankreich, Italien, Kanada, Australien usw., werden vielfältige Anstrengungen zur Entwicklung von einsatzfähigen Elektrofahrzeugen gemacht. So liegt zum Beispiel eine Nachricht

**Fig. 13 Elektrotransporter im Testbetrieb (auf dem Ausstellungsgelände in Düsseldorf)**

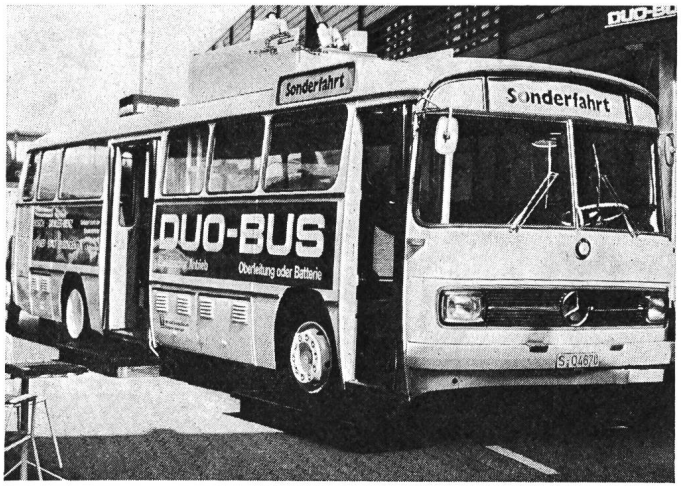


**Fig. 14 Duo-Bus (Fahrleitungs- und Batteriebetrieb)**
Beförderungskapazität bis 100 Personen
Höchstgeschwindigkeit: etwa 70 km/h
Reichweite bei reinem Batteriebetrieb: 50–75 km

*Produktion von Elektrofahrzeugen im Jahr 1976 (Schätzung [7])* Tabelle III

| Fahrzeugtyp | Australien | BR Deutschland | Frankreich | Grossbritannien | Italien | Japan | Kanada | Schweden | USA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Personenfahrzeuge unter 900 kg | 20 | k. A. | 30 | 400 | 1 200 | 500 | 70 | 10 | 1 600 |
| Personenfahrzeuge über 900 kg | k. A. | k. A. | 40 | k. A. | 50 | 100 | k. A. | k. A. | 80 |
| Personenfahrzeuge (private Eigenentwicklungen für Selbstgebrauch) | 50 | 100 | 40 | 100 | 80 | 60 | 30 | 30 | 900 |
| Busse unter 20 Personen | k. A. | 6 | 10 | 6 | k. A. | 5 | k. A. | k. A. | 10 |
| Busse 20 und mehr Personen | k. A. | 20 | 20 | 4 | k. A. | 5 | k. A. | k. A. | k. A. |
| Lieferwagen unter 500 kg Nutzlast | k. A. | k. A. | 50 | 300 | 30 | 60 | k. A. | k. A. | 450 |
| Liefer- und Lastwagen über 500 kg Nutzlast | k. A. | 30 | 40 | 1 700 | k. A. | 30 | k. A. | k. A. | 40 |
| Motorfahrräder (2- und 3rädrige) | 400 | k. A. | k. A. | k. A. | 250 | 100 | 300 | 200 | 800 |
| Gabelstapler (Hebeleistung unter 2500 kg) | k. A. | k. A. | 200 | 9 000 | 1 800 | 5 500 | 500 | 2 000 | 18 000 |
| Gabelstapler (Hebeleistung über 2500 kg) | k. A. | k. A. | k. A. | 1 200 | 700 | 700 | 100 | 650 | 5 500 |
| Werkinterne Kleintransport- und Personenfahrzeuge | 200 | 300 | 150 | 1 100 | 700 | 600 | 600 | 200 | 1 800 |
| Golfwagen | 200 | k. A. | k. A. | 50 | k. A. | 300 | 1 500 | k. A. | 27 000 |

k. A. = keine Angabe

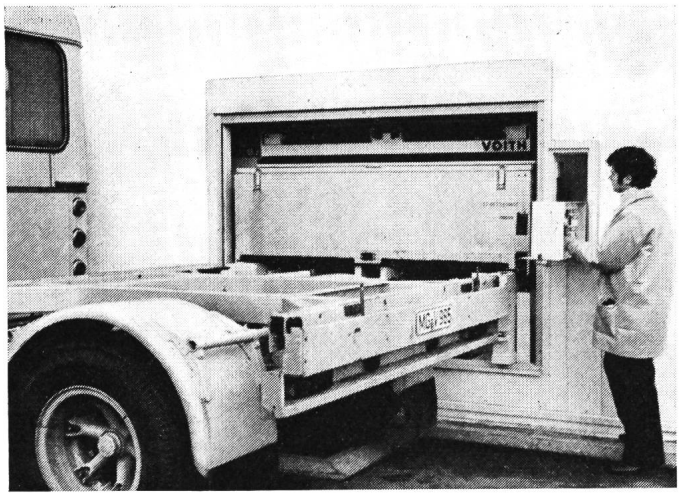

**Fig. 15 Beispiel einer Batteriewechselstation für Stadt-Elektrobusse** (Im Bild: Aufschieben der einsatzbereiten Batterie auf den Busanhänger)

aus Taiwan vor, die besagt, dass bereits im Jahre 1977 mit der Grossfertigung von Elektromobilen mit einer Anfangskapazität von 2000 Einheiten pro Jahr, zum Preis von rund 65000 NT$ (etwa 5000 Fr.) für einen rund 700 kg schweren Personenwagen, begonnen werden könne. Inwieweit solche Meldungen der Wahrheit entsprechen, ist schwierig abzuschätzen.

Die Gesamt-Weltproduktion von elektrisch betriebenen Personenwagen im Jahre 1976 kann auf rund 6000 bis 7000 Stück geschätzt werden (siehe auch Tabelle III). Es ist aber zu erwarten, dass die Produktion in den nächsten Jahren erheblich zunehmen wird und in einigen Jahren der Einsatz von Elektrofahrzeugen zumindest im Stadtverkehr keine Seltenheit mehr besitzt.

**Literatur**


[1] *H.-J. Budde:* Elektrischer Strassenverkehr und sein Beitrag zur Einsparung knapper fossiler Kohlenwasserstoffe; Energie 28(1976)6/7.

[2] *J.P. Altendorf* und *A. Kalberlah:* Primärenergieverbrauch von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Bericht 1.8; UNIPEDE/EVC-Symposium 1976.

[3] *W. Hamilton* und *G. Hagey:* Impacts of future use of electric cars in US cities. Report 1.2; UNIPEDE/EVC-Symposium 1976.

[4] *G. Ratcliff:* Gesamtbericht der Sektion 31 (UNIPEDE/EVC-Kolloquium).

[5] *E. Etienne:* Les véhicules électriques, de l'actuel au futur. Rapport 1.4 du Symposium UNIPEDE/EVC 1976.

[6] *F.J. Port:* Energy Sources; General statement, UNIPEDE/EVC-Symposium 1976.

[7] Electric Vehicle News; May 1976.



**Adresse des Autors**

*J. Mutzner,* dipl. Ing. ETH, Sekretariat des VSE, Bahnhofplatz 3, 8023 Zürich.


# Systemanalyse des elektrischen Strassenverkehrs


Von Hans-Georg Müller



*Energiewirtschaftliche Überlegungen zeigen, dass unter den denkbaren ölsubstituierenden Sekundärenergien Elektrizität gerade für den Antrieb von Strassenfahrzeugen noch in diesem Jahrhundert Bedeutung gewinnen kann. Unter Berücksichtigung spezieller Erfordernisse des Elektromobils, seines Energiespeichers und der notwendigen Versorgungsinfrastruktur werden technische und wirtschaftliche Aspekte erörtert und ein Zeitplan für die Einführung von Elektrofahrzeugen zur Diskussion gestellt.*

*Des études d'économie énergétique font apparaître que parmi les énergies secondaires susceptibles de substituer le pétrole l'électricité est capable de prendre de l'importance, encore en ce siècle, précisément pour la propulsion de véhicules routiers. Compte tenu d'exigences spéciales liées à l'électromobile, à son accumulateur d'énergie et à l'infrastructure d'approvisionnement requise, on a analysé des aspects techniques et économiques et on a examiné un calendrier au sujet de l'introduction de véhicules électriques.*


## 1. Einleitung

Erstmalig in der Welt wurde im Jahre 1901 in den USA auf einer Briefmarke ein Automobil gezeigt. Die Benutzer dieses Baker-Electric-Taxis dachten in jener Zeit der beginnenden Industrialisierung sicherlich noch nicht an Rohstoffverknappung, Umweltschutz oder gar eine Energiekrise. Schon bald sattelten sie daher um auf Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, und in der Begeisterung für deren technische Vorzüge übersah man gewisse Nachteile, die sich bei deren Einsatz in grosser Zahl zwangsläufig ergeben mussten.

Heute haben wir gelernt, den Nutzen technischer Produkte für die Menschheit gegen den zu erwartenden Aufwand an Rohstoffen und Energie sowie gegen mögliche Schäden für die Umwelt kritisch abzuwägen. Manche Fehler der Vergangenheit sollen bei neuen Entwicklungen vermieden werden.

## 2. Energiewirtschaftliche Überlegungen

Weil die relativ billigen Primärenergieträger Erdöl und Erdgas nur noch für wenige Jahrzehnte zur Verfügung stehen, konzentrieren sich die Bemühungen der Ingenieure weltweit auf folgende Ziele:

– *Einsparung* von Energie in allen Bereichen, bevorzugt in den Sektoren Wärme und Bewegungsenergie, die besonders von Erdöl und Erdgas abhängig sind.

– *Substitution* von Erdöl und Erdgas durch Kernenergie und Kohle, deren Vorräte um ein vielfaches grösser sind, teilweise auch durch Sonnenenergie. Die Entwicklung geeigneter Verfahren ist weltweit langfristig unumgänglich. Je schneller wir damit beginnen, desto früher mindern wir nicht zuletzt die politische Abhängigkeit von wenigen Förderländern.

Weil die Deckung des Energiebedarfes am Arbeitsplatz, im privaten Bereich und für den Transport von Menschen und Gütern gleiche volkswirtschaftliche Bedeutung hat, müssen die genannten Ziele in sinnvoller Abstimmung für alle drei Bereiche gelten.

Während in der Vergangenheit der Bedarf an Wärme und Bewegungsenergie überwiegend durch unmittelbare Verbrennung klassischer Primärenergieträger wie Kohle, Öl und Gas gedeckt wurde, ist Kernenergie und künftig vermehrt auch Kohle nur nach Umwandlung in eine geeignete Sekundärenergie anwendbar. Die prinzipiellen Möglichkeiten ergeben sich aus Fig. 1. Danach wird das *Sekundärenergie-Zeitalter* gekennzeichnet sein dadurch, dass man aus Kernenergie, Kohle und Wasser neben der klassischen Sekundärenergie Elektrizität und der bekannten Prozess- und Fernwärme synthetische flüssige Kohlenwasserstoffe (z.B. Methanol) und synthetische Gase (z.B. Methan, Synthesegas oder Wasserstoff) erzeugt. Die Verteilung und Anwendung wird wegen der engen Ver-