

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

**Band:** 79 (1988)

**Heft:** 16

**Artikel:** Internationaler Überblick über die Entwicklung von Elektrofahrzeugen

**Autor:** Porter, D. F.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-904062>

### **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:** 21.11.2024

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

# Internationaler Überblick über die Entwicklung von Elektrofahrzeugen

D.F. Porter

**In zahlreichen Ländern wird an der Entwicklung von Elektrofahrzeugen gearbeitet. Der Beitrag stellt stichwortartig verschiedene Projekte von Elektro-Personenwagen, -Nutzfahrzeugen und -Bussen in Europa und Nordamerika vor und geht auch auf den Entwicklungsstand verschiedener Batterietypen ein. Nach Ansicht des Autors bestehen die günstigsten Chancen für eine Markteinführung von Elektrofahrzeugen im Bereich der Nutzfahrzeuge.**

**De nombreux pays se penchent actuellement sur le développement de véhicules électriques. L'article présente brièvement divers projets de voitures particulières, véhicules utilitaires et autobus électriques en Europe et Amérique du Nord et il s'attarde également sur l'état de développement de divers types de batteries. Selon l'auteur, les véhicules utilitaires offrent les meilleures chances pour l'introduction de véhicules électriques sur le marché.**

## Adresse des Autors

David F. Porter, The Electricity Council,  
Marketing Department, 30 Millbank,  
GB-London SW1P 4RD.

## 1. Einleitung

Batterie-elektrische Strassenfahrzeuge existieren bereits seit über 100 Jahren, ihre Marktdurchdringung beschränkt sich heute jedoch auf einige Spezialanwendungen, bei denen ihre Betriebscharakteristika den gestellten Anforderungen besonders gut entsprechen. Die jüngsten Fortschritte bei Verbrennungsmotoren und im Design aerodynamischer Karosserien haben – zusammen mit niedrigen Ölpreisen – die breite Einführung von Elektrofahrzeugen im Markt zu einer noch schwierigeren Aufgabe gemacht.

Auf der anderen Seite haben die Ölpreisschocks von 1973 und 1979 gezeigt, wie plötzlich sich Marktbedingungen ändern können. Öl ist eine begrenzte Ressource, und der Verkehr macht derzeit rund 30% des gesamten Ölverbrauchs aus<sup>1</sup>. Unter strategischen Gesichtspunkten ist es daher wichtig, nach alternativen Energiequellen für den Verkehr Ausschau zu halten, insbesondere wenn man auch Umweltschutzgesichtspunkte berücksichtigt. In einigen Teilen der Welt werden nicht weniger als 80% der Luftverschmutzung den Strassenfahrzeugen zugeschrieben.

Der vorliegende Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die jüngsten Fortschritte, die in der Entwicklung von Elektrofahrzeugen in Europa und in Nordamerika gemacht wurden. Er erhebt nicht Anspruch darauf, alle Elektrofahrzeugentwicklungen in jedem Land aufzulisten, sondern versucht eher, den insgesamt erzielten Fortschritt anhand von Beispielen aus verschiedenen Ländern aufzuzeigen.

<sup>1</sup> In der Schweiz: 42% (Red.)

## 2. Elektrische Personenwagen

Für die Anwendung des Elektroantriebs stellt der Personenwagenmarkt ohne Zweifel den schwierigsten Teil des Marktes für Strassenfahrzeuge dar. Auf der anderen Seite macht er rund 70% des gesamten Energieverbrauchs des Strassenverkehrs aus und bildet so ein wesentliches Ziel für die Ölsubstitution. Als die amerikanische Regierung 1976 den sogenannten «Electric and Hybrid Vehicle Research Development and Demonstration Act» erliess, war dieses Gesetz in der Tat speziell darauf ausgerichtet, den Verbrauch von Erdölprodukten im Strassenverkehr zu verringern. Dies führte unweigerlich zu einer Flut von Elektrofahrzeugprojekten, vor allem auch von Kleinunternehmen, von denen jedoch keines zu einem dauernd im Handel eingeführten Produkt führte. Auch in Europa bildete das Elektroauto ein verlockendes Ziel für zahlreiche Unternehmer, aber viele Projekte sind im Sande verlaufen.

Und doch haben einige Projekte einen gewissen Erfolg aufzuweisen. Aus den bereits genannten Gründen erscheint es dringend notwendig, dass auch weiterhin entsprechende Bemühungen unternommen werden. Fortlaufend werden technische Verbesserungen bei den Komponenten des Elektroantriebs erzielt, und obwohl die Suche nach der «besseren Batterie» ohne Zweifel den Schlüssel für diesen Markt darstellt, sollten die beträchtlichen Fortschritte, die in bezug auf die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Bleibatterien, Motoren, Steuerungen und Ladegeräte erzielt wurden, nicht vergessen werden.

Basierend auf den Erfahrungen der 70er Jahre konzentriert sich das amerikanische Energiedepartement nun auf die obengenannten technischen



Figur 1 Der Pöhlmann EL (BRD)



Figur 2 Der Larel (Schweiz)

Schlüsselbereiche und vergibt Entwicklungs- und Demonstrationsaufträge hauptsächlich an grosse Unternehmen. So beendete 1985 die Firma Ford einen solchen Vertrag durch die Herstellung des ETX I Elektroautos, das jedoch eher als Nachweis der Machbarkeit des Wechselstromantriebs angesehen werden muss denn als Prototyp eines Elektropersonenwagens.

Ein Grossteil der Entwicklung von elektrischen Personenwagen fand in letzter Zeit in Europa statt. Ein Beispiel ist das in der Bundesrepublik Deutschland von der Firma Pöhlmann zusammen mit dem Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk (RWE) entwickelte Elektroauto «Pöhlmann EL», eine ausgesprochen futuristische Hochleistungskonstruktion (Fig. 1). Dieses Fahrzeug wurde von Grund auf als Elektroauto konzipiert. Mit einem Preis von DM 90 000.- ist es nicht billig; es findet jedoch ein gewisses Marktinteresse, und es ist vor allem eines der wenigen Elektroautos, das, in kleinen Stückzahlen produziert, heute käuflich erhältlich ist. Der «Pöhlmann EL» zeichnet sich nicht zuletzt dadurch aus, dass er den ersten Internationalen Grand Prix Formel E für Elektrofahrzeuge, der 1986 in Veltheim in der Schweiz veranstaltet wurde, gewonnen hat.

Eine weitere bemerkenswerte Entwicklung in Deutschland ist der «CitySTROMer», der vom RWE bzw. früher durch dessen Tochterunternehmung, Gesellschaft für Elektrischen Strassenverkehr mbH (GES), entwickelt wurde. Der «CitySTROMer I» basierte auf dem VW-Golf und weist eine Reichweite von 40 bis 50 km bei Geschwindigkeiten von bis zu 100

km/h auf. 70 «CitySTROMer» dieses Typs wurden in den Jahren 1982 bis 84 produziert, und diese Flotte hat inzwischen über eine Million Kilometer zurückgelegt. Weitere Arbeiten sind im Gang, insbesondere um Alternativen zur existierenden Bleibatterie zu entwickeln, darunter auch Bleibatterien mit Gelelektrolyt, die sich durch Wartungsfreiheit auszeichnen.

Vor kurzem ist der «CitySTROMer II» erschienen, der auf dem VW-Jetta und nicht mehr auf dem VW-Golf basiert und der vor allem mit Prototypen der neuen, von Asea Brown Boveri entwickelten Hochenergiebatterie (Natrium-Schwefel) ausgerüstet ist. Diese Batterie gibt dem Fahrzeug eine Reichweite von 120 km bei Geschwindigkeiten von bis zu 105 km/h. Er wurde der Öffentlichkeit erstmals am 2. Internationalen Grand Prix Formel E 1987 in Interlaken vorgestellt, wo er den ersten Platz in dieser Wettfahrt einnahm, allerdings dicht gefolgt von einem «Pöhlmann EL» mit Nickel-Eisen-Batterie.

In Frankreich fertigte die Forschungs- und Entwicklungsabteilung der PSA-Gruppe eine kleine Anzahl von Elektrofahrzeugen auf Basis des wohlbekanntesten Peugeot 205 und des Citroën C15 an. Diese Entwicklungsarbeit wurde von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften unterstützt und befindet sich nun in der Demonstrationsphase. Entsprechende Fahrzeuge werden in Brüssel und in La Rochelle (Frankreich) sowohl von der Stadt als auch von der Electricité de France betrieben. Ein besonderes Kennzeichen dieser Fahrzeuge ist die Verwendung moderner Nickel-Eisen-Batterien, die von der französischen Firma Saft entwickelt wurden und die

bis zur doppelten Energiedichte von Bleibatterien aufweisen, allerdings zu Lasten eines niedrigeren Wirkungsgrades und höherer Kosten. Die Fahrzeugspezifikationen enthalten eine Reichweite von 140 km und eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h.

Es ist vielleicht bedeutungsvoll, dass die Schweiz – ein Land, das für seine Offenheit bezüglich Umweltschutzbelangen bekannt ist – nicht nur der Gastgeber des bereits erwähnten jährlichen Grand Prix Formel E ist, sondern auch verschiedene Elektrofahrzeugprojekte hervorgebracht hat. In der Tat zählt die Schweiz zu den wenigen Ländern der Welt, die in bestimmten Ortschaften (zum Beispiel Zermatt) ausschliesslich Elektrofahrzeuge zulassen.

Am 2. Grand Prix Formel E 1987 zählten die «Larel» zu den lebhaftesten Wettbewerbsteilnehmern, ein von der Firma Larag in Wil umgerüstetes Elektrofahrzeug auf Basis des Fiat Panda (Fig. 2). Diese zweiplätziges Fahrzeuge weisen eine Reichweite von 40 bis 60 km und eine Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h auf. Ein eingebauter Bordlader ermöglicht eine Ausdehnung der Reichweite bis zu etwa 50% durch gelegentliches Nachladen während des Tages. Der «Larel» wird zu rund Fr. 34 000.- angeboten.

Im Hinblick auf potentielle Märkte für Elektrofahrzeuge muss Dänemark in vorderster Front genannt werden. Elektrofahrzeuge sind dort von den sehr hohen Steuern befreit (bis etwa 200%), die auf den Kauf von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor erhoben werden. Die Dänen haben selbst verschiedene Elektrofahrzeugprojekte in Angriff genommen; das vielleicht unkonventionellste ist dasjenige der Fir-

ma El-Trans, die unter dem Namen «Mini-El» in kleiner Stückzahl ein dreirädriges Elektrofahrzeug produziert (Fig. 3). Auf den ersten Blick zeigt es eine gewisse Ähnlichkeit mit einer gedeckten Version des unglücklichen «Sinclair C5», es wird jedoch versichert, dass es sich um ein völlig unterschiedliches Produkt handelt, das vollständig geschlossen ist, Platz für einen Erwachsenen und zwei kleine Kinder aufweist, eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h erzielt und eine Reichweite von 40 bis 70 km aufweist.

In verschiedenen Ländern wurden Versuche unternommen, kleine Elektrofahrzeuge als Leihwagen einzuführen, meist in Verbindung mit einem computerisierten Verrechnungssystem auf Basis von Kreditkarten. Das erfolgreichste System dieser Art findet sich in Brüssel; dort werden italienische PGE-Elektrofahrzeuge eingesetzt. Das System ist nun bereits seit acht Jahren in Betrieb, es scheint jedoch nicht so erfolgreich zu sein, als dass sich ein Ausbau oder eine Einführung in anderen Städte lohnen würde.

Dies sind nur einige Beispiele für die Entwicklung von Elektropersonenwagen; andere Beispiele können in Ländern wie Finnland, Italien, Polen, Schweden und Grossbritannien gefunden werden. In Grossbritannien wurde beispielsweise kürzlich eines der grössten und langfristigen Elektrofahrzeugprogramme abgeschlossen. Es handelte sich um das Enfield-Projekt, in dessen Rahmen 70 speziell gebaute, zweiseitige Elektroautos während insgesamt 14 Jahren in der britischen Elektrizitätswirtschaft eingesetzt wurden. Diese Fahrzeugflotte legte zusammen rund 2 Mio km zurück; bei der abschliessenden Versteigerung erreichten

diese 14jährigen Autos Preise bis zu 1650 Pfund – ein gutes Zeichen für den künftigen Occasionsmarkt für Elektrofahrzeuge!

### 3. Elektrische Nutzfahrzeuge

Nutzfahrzeuge wie Transporter, Busse und Lastwagen bieten kurzfristig bessere Aussichten für die Einführung von Elektrofahrzeugen als Personewagen, da es in diesem Bereich zahlreiche Anwendungen gibt, bei denen eine beschränkte Reichweite genügt. Langsamfahrende elektrische Nutzfahrzeuge sind für spezielle Zwecke bereits weit verbreitet, beispielsweise Milchauslieferungsfahrzeuge in Grossbritannien, Abfallsammelfahrzeuge in Frankreich und Belgien sowie zahlreiche Spital- und Flughafen-dienstfahrzeuge. Gerade für Flughäfen stellen Elektrofahrzeuge einen besonders vielversprechenden Einsatzbereich dar, sind sie doch in einer Vielzahl von Typen verfügbar, angefangen von fahrbaren Treppen bis hin zu Schleppern.

Diese langsamfahrenden Elektrofahrzeuge können jedoch nur einen eng beschränkten Spezialmarkt befriedigen. Wenn Elektrofahrzeuge erfolgreich im allgemeinen Nutzfahrzeugmarkt konkurrieren wollen, ist es wesentlich, kosteneffiziente elektrische Antriebssysteme zu entwickeln, die den Elektrofahrzeugen zu Leistungen verhelfen, die wesentlich näher bei jenen der entsprechenden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor liegen.

Solche Entwicklungsaktivitäten sind denn auch seit rund 20 Jahren in zahlreichen Ländern der Welt in Gang. Auch hier haben sowohl natio-

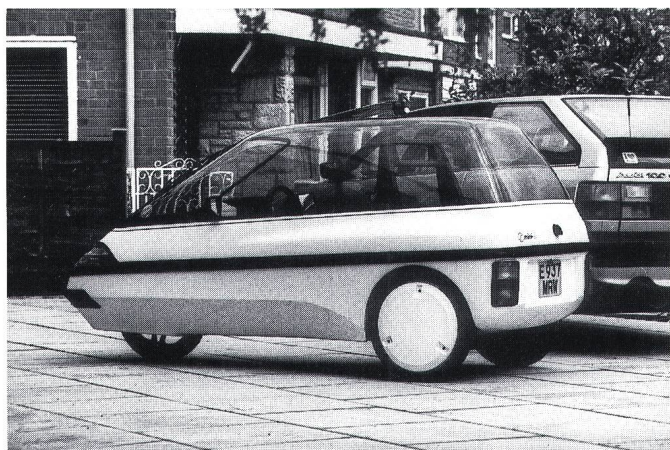
nale Regierungen als auch die Europäischen Gemeinschaften eine gewisse Unterstützung gewährt, die in den meisten Fällen noch zusätzlich durch die aktive Unterstützung des zuständigen Elektrizitätsversorgungsunternehmens ergänzt wurde.

In den letzten acht Jahren hat die Kommission der Europäischen Gemeinschaften eine Anzahl von Demonstrationsprogrammen für elektrische Nutzfahrzeuge unterstützt. So wurden 1980 Demonstrationsprogramme bewilligt für Fiat-Transporter in Turin und Odense sowie für Iveco- und Dodge-Transporter und -Lastwagen in Dublin.

In der französischen Stadt Châtelle-rault wurde vor kurzem ein Programm mit zehn Renault-«Master»-Transportern unternommen, die eine Nutzlast von einer Tonne aufweisen. Die Fahrzeuge sind mit einem Antriebssystem der Firma Chloride ausgerüstet; neun von ihnen verfügen über Nickel-Eisen-Batterien der Firma Saft, das zehnte hat Bleibatterien.

Zu weiteren erwähnenswerten Projekten in Frankreich gehören das Dreirad-Fahrzeug «Elestra» (Nutzlast 450 kg), von dem auf Initiative der Electricité de Strasbourg 250 Exemplare gebaut wurden, und der «Rocoboy»-Kombi mit einer Nutzlast von 500 kg – neuerdings als «Volta» bekannt –, von dem 200 Exemplare in La Rochelle produziert wurden (Fig. 4). Das zuletztgenannte Projekt wurde von den zuständigen Stadtbehörden und von der französischen Region Charente Maritime unterstützt, die, speziell im Hinblick auf Umweltschutzbelange, eine Vereinigung zur Förderung elektrischer Fahrzeuge gegründet hat.

Auch in Schweden wurden verschie-



Figur 3 Der Mini-El (Dänemark)



Figur 4 Der Volta-Kastenwagen (Frankreich)

dene Elektrofahrzeugprojekte in Angriff genommen. Eines der jüngsten Projekte gilt der Erprobung von auf Elektroantrieb umgerüsteten Ford-«Escort»-Kombis. Im schwedischen Winterklima wurden speziell Erfahrungen bei tiefen Umgebungstemperaturen gesammelt. Es zeigte sich, dass unter solchen Bedingungen die Batterien thermisch isoliert oder beheizt werden müssen.

In Grossbritannien produzierten die Firmen Bedford und Freight Rover zwischen 1982 und 1986 insgesamt 475 Elektrotransporter mit einer Nutzlast von einer Tonne. Pläne für eine Produktion in grösserer Stückzahl bei Bedford scheiterten an Finanzierungsproblemen. In der Zwischenzeit haben jedoch die Elektrizitätsversorgungsunternehmen in den Vereinigten Staaten die Electric Vehicle Development Corporation (EVDC) gegründet, um die bereits existierenden technischen Entwicklungs- und Versuchsprogramme des Electric Power Research Institute (EPRI) durch zusätzliche Demonstrations- und Markteinführungsprogramme zu ergänzen. Versuche mit den Bedford Transportern in den USA, wo sie als «GM Griffon» bekannt sind, zeigten deren überlegene Leistungen im Vergleich zu anderen Produkten, und so wurde dieses Fahrzeug von der EVDC als dasjenige Projekt ausgewählt, das in der Kategorie mit einer Tonne Nutzlast gefördert werden soll.

Als dann das Bedford-Programm 1986 gestoppt wurde, entwickelte die EVDC sofort Pläne, einen in Amerika gebauten Elektrotransporter einzuführen, der jedoch das von Chloride Electric Vehicle Systems in Grossbritannien entwickelte Antriebssystem inklusive der neuen Bleibatterie mit höherer Energiedichte beibehalten sollte. Erste Prototypen dieses amerikanischen «G-van», der auf einem General-Motors-Fahrzeug basiert, wurden Ende 1987 produziert und befinden sich zurzeit in der Versuchsphase (Fig. 5). Die ersten Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Fahrzeug die gesteckten Konstruktionsziele – z. B. eine Höchstgeschwindigkeit von 85 km/h und eine Reichweite von 97 km im Stadtverkehr bzw. 145 km bei konstant 56 km/h – erreichen wird. Die Aufnahme der kommerziellen Produktion des «G-van» ist für 1989 vorgesehen.

In der Kategorie mit einer halben Tonne Nutzlast hat die EVDC den Chrysler «T-van» mit einer Nickel-Eisen-Batterie der amerikanischen

**Figur 5**  
Der Elektrotransporter «G-van» von General Motors (USA)



Firma Eagle Picher ausgewählt, obwohl dieses Programm noch nicht das Prototypen-Stadium erreicht hat. Zu den weiteren amerikanischen Nutzfahrzeug-Projekten, die vom amerikanischen Departement of Energy finanziert werden, gehört der Ford «ETX-II Aerostar van», der als Basis-Testfahrzeug für den heute verfügbaren Wechselstromantrieb dienen wird sowie für Natrium-Schwefel-Batterien, die von Chloride Silent Power Ltd. geliefert werden. ETX bedeutet electric transaxle. Ein weiteres Projekt, das von der Eaton Corporation in den USA entwickelt wird, beinhaltet ein elektrisches Antriebssystem mit Doppelwelle (dual-shaft electric propulsion, DSEP).

Es ist noch ein weiteres Projekt auf Basis des Chryslers-«T-van» zu erwähnen, und zwar in Kanada und nicht in den USA. Daran beteiligt sind die Powerplex Inc. in Zusammenarbeit mit der Asea Brown Boveri; das Fahrzeug wird von Natrium-Schwefel-Batterien angetrieben, die von der ABB geliefert werden.

#### 4. Öffentliche Verkehrsmittel mit Batterieantrieb

In vielen Ländern wurden bereits Busse mit Elektro- oder Hybridantrieb entwickelt und getestet. Eines der umfangreichsten Testprogramme wurde in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt; am besten bekannt ist dabei der Betrieb von 20 Bussen in Düsseldorf, die mit einem Vier-Tonnen-Batterieanhänger ausgerüstet sind. Ursprünglich war geplant, diese Anhänger zum Nachladen auszuwechseln, in den letzten Jahren ist man jedoch zur Zwischenladung mittels Stromabnehmern an den Endhaltestel-

len der Buslinien übergegangen. Es konnte nicht nur gezeigt werden, dass durch das mehrfache Kurznachladen die Reichweite ausgedehnt werden kann, sondern es wurde auch eine wesentliche Verlängerung der Batterielebensdauer erreicht. Nachdem diese Busse nun 10 Mio km zurückgelegt haben, werden sie aus dem Verkehr gezogen, aber es ist geplant, Busse mit Natrium-Schwefel-Batterien wieder einzuführen. Dank geringerem Volumen und Gewicht können diese Batterien in die normale Buskonstruktion integriert werden, so dass auf einen separaten Batterieanhänger verzichtet werden kann.

Ein anderes Konzept im Hinblick auf Elektrobusse wurde in der französischen Stadt Tours ausprobiert; dort wurden konventionelle Busse zusätzlich mit einem Anhänger ausgerüstet, der ein komplettes elektrisches Antriebssystem enthält. Dieser Schubanhänger oder «pousseur» wird im Zentrum der City verwendet, wo er den Bus stösst und so die Schadstoffbelastung der Luft vermeidet, die sonst verursacht würde.

Ein neueres Busprogramm wird von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften in Rom unterstützt, wo seit zwei Jahren zehn Fiat-Elektrokleinbusse erfolgreich mit Nickel-Eisen-Batterien betrieben werden. Auch hier wird von der Nachladung Gebrauch gemacht (6×10 Minuten während des Tages), was es ermöglichte, die Passagierkapazität von 16 auf 20 Personen und die Reichweite von 70 auf 120 km zu erhöhen.

#### 5. Die Zukunft

Eine vor kurzem veröffentlichte Studie, die im Rahmen des COST-302-Programms von 11 europäischen

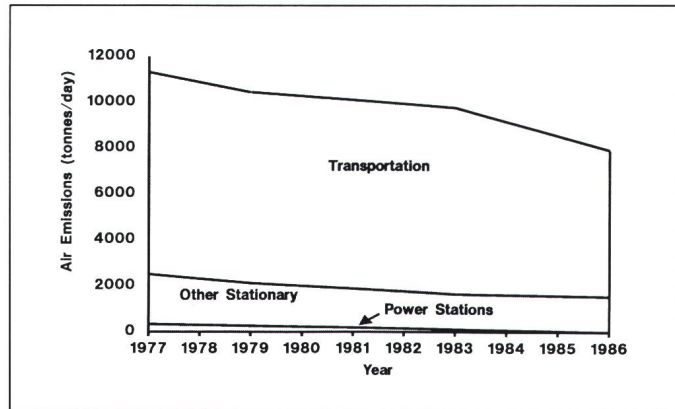
Ländern durchgeführt wurde, kam zu dem Schluss, dass die heute verfügbaren Elektrofahrzeuge technisch in der Lage wären, rund 6 Mio kleine Personenfahrzeuge (7% des Gesamtbestandes) und 1 Mio Transporter (12% des Gesamtbestandes) in Westeuropa zu ersetzen, sofern diese Fahrzeuge zu einem wesentlich tieferen Preis als heute produziert und verkauft werden könnten.

Dabei handelt es sich jedoch um eine hypothetische Schätzung und nicht um eine Vorhersage, denn alles deutet darauf hin, dass der Markt für Elektropersonenwagen heute aus den bereits genannten Gründen sehr eng begrenzt ist. Die kurzfristig günstigsten Aussichten dürften im Markt für Nutzfahrzeuge mit einer halben oder einer Tonne Zuladung liegen, und es liegt auf der Hand, dass verschiedene europäische Länder Antriebssysteme für diese Fahrzeugkategorie entwickelt haben. Interessanterweise findet die Markteinführung dieser europäischen Technologie hauptsächlich in Nordamerika statt.

Die Umweltschutzevorteile von Elektrofahrzeugen sind wohl bekannt, aber in der Vergangenheit haben sie noch wenig zur Markteinführung beigetragen. Es gibt jedoch Anzeichen für ein steigendes Bewusstsein der Vorteile von Elektrofahrzeugen in dieser Beziehung. In der Gegend von Los Angeles in Kalifornien, wo bereits die strengsten Abgasgesetze der Welt eingeführt sind, beträgt der Anteil der Schadstoffbelastung der Luft, der dem Verkehr zugeordnet werden muss, rund 75%, während derjenige der Kraftwerke unter 0,5% liegt (Fig. 6). Da dort und in zahlreichen weiteren amerikanischen Städten die Luftschadstoffgrenzwerte häufig überschritten werden, ist ein zunehmendes Interesse an Elektrofahrzeugen zu verzeichnen – als eine Möglichkeit zur weiteren Reduktion der Umweltbelastung durch den Verkehr. Dieses Interesse findet nun seinen Niederschlag in Anreizen für Elektrofahrzeuge und der finanziellen Unterstützung von Forschung, Entwicklung und Demonstration von Elektrofahrzeugen durch staatliche Behörden.

In bezug auf die technische Entwicklung wurde bereits auf Wechselstromantriebe, Bleibatterien mit hoher Energiedichte und Zwischenladungsverfahren hingewiesen. An diesen und weiteren Entwicklungen wird weiter gearbeitet werden, aber wie bereits seit über 100 Jahren wartet der Elektro-

**Figur 6**  
Emission von Luftschadstoffen im Gebiet von Los Angeles (USA)



fahrzeugmarkt nach wie vor auf die Einführung einer neuen Batterie, die eine wesentliche Verbesserung der Fahrleistung, insbesondere der Reichweite, ermöglicht, allerdings zu Kosten, die die Entwicklung eines Massenmarktes gestatten.

Der Wettlauf auf dieses Ziel befindet sich nun in einem sehr spannenden Stadium: In der ganzen Welt befindet sich eine grosse Zahl von neuen Batteriesystemen in der Entwicklung; dazu gehören Systeme mit flüssigem Elektrolyt wie Zink-Brom, Zink-Chlor, Nickel-Eisen, Nickel-Zink und Aluminium-Luft, Systeme mit festem Elektrolyt wie Nickel-Polymer sowie Hochtemperatursysteme wie Natrium-Schwefel, Natrium-Eisen/Nickel-Chlor sowie Lithium-Eisensulfid.

Trotz dieser grossen Zahl von Entwicklungsprojekten dürften nur wenige Batterie-Systeme in der Lage sein, eine beträchtliche Ausdehnung des Elektrofahrzeugmarktes zu bewirken. Dieser fordert eine hohe Energiedichte, die dem Fahrzeug eine Reichweite von mindestens 150 km pro Ladung, in Verbindung mit einer ausreichenden Leistungsdichte für gute Fahrleistungen, gibt, akzeptable Kosten im Hinblick auf die Lebensdauer der Batterie sowie akzeptable Betriebskosten im Hinblick auf Wartung und Energieeffizienz.

Die Batterien mit flüssigen Elektrolyten können diese Kriterien im allgemeinen nicht erfüllen. Das System Aluminium-Luft verspricht zwar äusserst attraktive Leistungscharakteristika mit einer höheren Energiedichte als die anderen Batterien, aber es befindet sich noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium und könnte sehr wohl mit hohen Kosten behaftet sein. Auch die Lithium-Polymer-Batterie weist attraktive Leistungsdaten auf

und ist wartungsfrei. Sie könnte ein idealer Kandidat werden für die Zukunft, aber erst langfristig, denn sie befindet sich noch in den ersten Entwicklungsstufen.

Die Batterien, von denen auf mittlere Sicht am ehesten ein Durchbruch erwartet werden kann, sind ohne Zweifel die Hochtemperaturbatterien. Dabei ist das System Natrium-Schwefel, an dem bereits seit 20 Jahren intensiv gearbeitet wird, wahrscheinlich am weitesten fortgeschritten. In Europa finden sich solche Batterien bei Chloride Silent Power Ltd. und Asea Brown Boveri Co. in den letzten Entwicklungsstufen, und man bereitet sich auf eine kommerzielle Produktion in ein paar Jahren vor. Auch das System Natrium-Eisen/Nickel-Chlor könnte ein vielversprechender Kandidat sein; an ihm wird von einem britisch-südafrikanischen Konsortium gearbeitet.

Wie bei allen neuen Produkten dürfte der Preis der neuen Batterien zunächst hoch sein und erst allmählich mit steigender Produktion sinken. Dies wirkt sich besonders erschwerend für Elektrofahrzeuge aus, denn bereits heute machen die verfügbaren Bleibatterien einen beträchtlichen Anteil (rund 1/3) der gesamten Fahrzeugkosten aus; die Batteriekosten werden daher die Marktentwicklung massgebend beeinflussen.

Aus diesem Grund ist die Unterstützung sowohl von seiten der Regierung als auch von den Elektrizitätsversorgungsunternehmen gerade in den ersten Phasen der Einführung von Elektrofahrzeugen mit neuen Batterien von besonderer Bedeutung, um die Einführung und den Markt zu unterstützen, bis er von selbst wachsen kann, weil die Herstellungskosten auf ein Niveau sinken, auf dem das Produkt von selbst wettbewerbsfähig ist.