

Unterrichtung durch die Bundesregierung

Vierte Fortschreibung des Berichtes über die Förderung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen

Der Deutsche Bundestag hat am 14. März 1990 die Beschlußempfehlung des Ausschusses für Verkehr angenommen, die dritte Fortschreibung des Berichtes erneut fortzuschreiben.

Vorbemerkung

Die Bundesregierung hat mit der Beantwortung der Großen Anfrage „Elektrofahrzeuge“ vom 12. März 1992 — Drucksache 12/2247 — eine Vielzahl von Fragen zum Elektrofahrzeug beantwortet. Die dort gemachten Ausführungen gelten weiterhin; der vorliegende Bericht ergänzt und vertieft die dort gemachten Aussagen und stellt Ergebnisse neuerer Untersuchungen vor.

Die in diesem Bericht enthaltene Zusammenstellung technischer Daten wurde in dankenswerter Weise von Unternehmen und Verbänden, die mit der Herstellung und dem Betrieb von Elektro-Kraftfahrzeugen befaßt sind, unterstützt. Die Zusammenstellung der Materialien besorgte die SNV Studiengesellschaft Verkehr mbH, Bergisch Gladbach, im Auftrage des Bundesministers für Verkehr. Ein Beirat mit den hauptbetroffenen Bundesressorts und dem Technischen Ausschuß der Deutschen Gesellschaft für elektrische Straßenfahrzeuge begleitete zeitweise die Zusammenstellung.

Der Kostenstand des vorliegenden Berichtes entspricht dem April 1992.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	Seite
1. Zusammenfassung	3
2. Technik	3
2.1 Fahrzeuge	3
2.1.1 Personenkraftwagen	3
2.1.2 Transporter	4
2.1.3 Omnibusse	4
2.1.4 Alternative Entwicklungen	4
2.2 Batterien	5
2.2.1 Bleisysteme	5
2.2.2 Nickelsysteme	5
2.2.3 Natriumsysteme	5
2.2.4 Zink-/Bromidsysteme	6
2.3 Antriebe	6
3. Infrastruktur	6
3.1 Stromtankstellen	6
3.2 Stromnachfrage	6
4. Energie und Umwelt	7
4.1 Energieverbrauch im Verkehr	7
4.2 Energieketten und Wirkungsgrade	7
4.2.1 Endenergiebedarf	7
4.2.2 Primärenergiebedarf	7
4.3 Schadstoffemissionen	8
4.3.1 Emissionsvergleich	8
4.3.2 Auswirkungen auf die Immissionsbelastungen	9
4.4 Schallemission	9
5. Wirtschaftlichkeit und Anwendungspotential	9
5.1 Kostenvergleich	9
5.2 Kostenprognose	14
5.3 Förderkonzepte und ordnungspolitische Rahmenbedingungen	14
5.4 Anwendungspotential	14
6. Weitere Aussichten	15
Abbildungen	16
Anlagen	29

1. Zusammenfassung

Bei der *Entwicklung von Elektrofahrzeugen* sind deutliche Fortschritte zu verzeichnen. Neben den bisher schon bekannten Versuchsfahrzeugen werden von den großen Autoherstellern zunehmend auch verkäufliche Elektrofahrzeuge vorgestellt; dieses gilt sowohl für Pkw als auch für Transporter und Busse.

Von den *Antriebsbatterien* kann bislang jedoch nur die wartungsfreie Bleibatterie und, mit Einschränkungen, die Nickel-Cadmium-Batterie als serienreif bezeichnet werden. Die Hochenergiebatterien haben zwar einen hohen Entwicklungsstand erreicht, die notwendige Entwicklungszeit bis zur Serienreife ist jedoch länger als zunächst erwartet.

Elektrofahrzeuge verursachen am Einsatzort nahezu keine Emissionen; dieser *Vorteil* ist insbesondere beim Einsatz in Innenstädten und umweltsensiblen Gebieten von Bedeutung.

Die *Emissionen* treten jedoch bei der Stromerzeugung in den Kraftwerken auf. Elektrofahrzeuge verursachen hier aber deutlich geringere Emissionen von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen, etwa gleiche Kohlendioxid- und tendenziell gleiche bis geringere Stickoxid-Emissionen, jedoch höhere Schwefeldioxid-Emissionen als vergleichbare Pkw mit reguliertem Katalysator.

Die vorhandenen Kraftwerkskapazitäten reichen aus, die in absehbarer Zeit zu erwartenden Elektrofahrzeugbestände mit Energie zu versorgen.

Trotz der vergleichsweise geringen Reichweite von Elektrofahrzeugen ist deren *Anwendungspotential* jedoch relativ hoch. Eine im Auftrag des BMV erstellte Studie weist aus, daß bereits heute 4,5 Mio. Pkw in den alten Bundesländern durch Elektrofahrzeuge ersetzt werden könnten, ohne die Mobilität der Benutzer einzuschränken.

Wie weit dieses *Potential am Markt* ausschöpfbar sein wird, wird weitgehend von der weiteren Preisentwicklung bei Elektrofahrzeugen und insbesondere bei deren Antriebsbatterien abhängen. Zur Zeit sind diese Preise noch nicht konkurrenzfähig. Aber auch Randbedingungen wie z. B. Benutzervorteile in bestimmten Gebieten oder auch die Entwicklung der Betriebskosten konventioneller Fahrzeuge werden hier von Bedeutung sein.

2. Technik

2.1 Fahrzeuge

Ein Elektrofahrzeug kann auf grundsätzlich zwei unterschiedliche Arten entwickelt werden:

— Eine von Grund auf neue Konstruktion, welche die spezifischen Elemente des Elektroantriebs berücksichtigt (purpose-design),

— eine Umkonstruktion eines in Großserie gebauten Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor zu einem Elektrofahrzeug (conversion-design).

Bei letzterem beschränken sich die Änderungen im wesentlichen auf die Antriebskomponenten und die Unterbringung des großen Energiespeichers. Dadurch sind umgebaute Elektrofahrzeuge vergleichsweise kostengünstiger als purpose-design-Fahrzeuge.

2.1.1 Personenkraftwagen

1. Käufliche Modelle auf der Basis konventioneller Serienfahrzeuge

Käufliche Modelle auf der Basis konventioneller Serienfahrzeuge sind in Anlage 1 bis 3 zu finden.

Als meistgebautes käufliches Modell dieser Kategorie ist der VW Golf CitySTROMer anzusehen. Dieser Typ wurde in gleichartiger Ausführung bislang 120mal gebaut; 1991 wurden insgesamt 70 Fahrzeuge produziert. Aufgrund der vergleichsweise hohen Stückzahl und der großen Gesamtleistung von insgesamt ca. 2,5 Mio. km der Fahrzeugflotte sind die mit dem Golf CitySTROMer gewonnenen Erfahrungen von großer Bedeutung für die Weiterentwicklung des E-Fahrzeugs.

Ausländische — im besonderen italienische und französische — Automobilkonzerne haben Umbauversionen von Kleinwagen auf Elektroantrieb entwickelt, für die nach Aussage der Hersteller die Produktion in Serie aufgenommen ist bzw. wird.

2. Käufliche Leichtbaufahrzeuge kleinerer Hersteller

Auch diese Typen stellen in der Mehrzahl conversion-design-Modelle dar. Der entscheidende Kritikpunkt bei den Leichtbau- und Kleinstfahrzeugen ist die passive Fahrzeugsicherheit und dort im wesentlichen die Formstabilität der Fahrgastzelle bei Front- oder Seitencrash. Dies liegt zu einem großen Teil in der Konzeption als kleine und leichte (im Vergleich zu anderen E-Fahrzeugen) Stadtautos begründet. Zum anderen ist das überwiegend mangelhafte Crash-Verhalten auf die Tatsache zurückzuführen, daß bei der Mehrzahl der Fahrzeuge dieser Aspekt auf den Einsatzzweck hin nicht ausreichend in der Konstruktion berücksichtigt wurde.

3. Nicht käufliche Prototypfahrzeuge auf Basis Serienfahrzeug

Zum Testen von Energiespeichersystemen haben auch die großen deutschen Automobilkonzerne verschiedene ihrer Modelle zu Elektrofahrzeugen umgerüstet. Zu diesen Fahrzeugen zählt auch der City-

STROMer von VW auf Basis des Modells Jetta, mit welchem VW die Natrium-Schwefel-Hochenergiebatterie testet (Abb. 2.1-1).

4. Nicht käufliche Prototypfahrzeuge als Neuentwicklung

Von BMW wurde beispielsweise auf der Internationalen Automobilausstellung '91 der speziell als E-Fahrzeug entwickelte Prototyp E 1 vorgestellt, ein kleiner Kompaktwagen. Bei den neuentwickelten Prototypen kleinerer Hersteller sind die Modelle EL-Sport der süddeutschen Firma Hotzenblitz/Ibacher Ökobau und der schweizerische Horlacher City zu nennen.

Bei den purpose-design-Prototypen neuester Bauart handelt es sich fast ausschließlich um sehr kleine kompakte Fahrzeuge. Die Vorteile dieses Konstruktionsprinzips kommen insbesondere bei der Raumaufteilung, dem Gewicht und den Sicherheitsmaßnahmen zum Tragen: das Fahrzeug wird gewissermaßen „um die Batterie herumgebaut“; Maßnahmen zur Verbesserung des Crash-Verhaltens können von vornherein wie bei den Großserienfahrzeugen in die Karosseriekonstruktion einfließen. Dadurch kann das Niveau der passiven Fahrzeugsicherheit auch für kleine Leichtbaufahrzeuge angehoben werden.

2.1.2 Transporter

Häufig haben die überwiegend gewerblich eingesetzten Transporter nur kurze tägliche Wegstrecken zurückzulegen; sie können daher durch dispositive Maßnahmen für solche Verkehre eingesetzt werden, in denen die technischen Einschränkungen des Elektroantriebs keine deutlichen Nachteile für den Betrieb bedeuten.

1. Käufliche Fahrzeuge

Bei den Automobilfirmen Mercedes-Benz und VW werden bereits seit Anfang der siebziger Jahre Elektrotransporter gebaut: Mercedes-Benz baute ca. 60 Fahrzeuge vom Typ LE 306, von der neueren Generation 307 E kamen 30 Fahrzeuge zum Einsatz. Als 308 E werden seit zwei Jahren Fahrzeuge mit Kipper und Doppelkabine für kommunale Zwecke gebaut.

Bei VW wurden Transporter auf der Basis des Typ II und des LT 35 auf Elektroantrieb umgebaut; insgesamt wurden 70 Fahrzeuge erprobt.

Die Firma Colenta Elektromobile GmbH bietet Elektrotransporter auf der Basis chinesischer Fahrzeuge an.

Aus dem Ausland — vornehmlich aus Frankreich und Italien — werden neuerdings auch einige Transportermodelle offeriert.

2. Versuchsfahrzeuge

Die Bemühungen um Neuentwicklungen bei Mercedes und VW stehen im Zusammenhang mit dem voraussichtlich noch im Jahre 1992 beginnenden vom BMFT geförderten Flottenversuch mit Elektrofahrzeugen der neuesten Generation auf der Insel Rügen. Mercedes stellt für den Versuch auf Rügen Transporter der Bauart MB 180 E zur Verfügung. Die Fahrzeuge werden mit Hochenergiebatterien ausgerüstet. Insgesamt sind für das Programm 60 Elektrofahrzeuge (Pkw, Transporter, Kleinbusse) vorgesehen. Dabei werden verschiedene Antriebs- und Batteriesysteme im Vergleich getestet.

VW beteiligt sich mit zehn Elektro-Van (Abb. 2.1-2). Sowohl eine Ausführung als Kleinbus zur Personenbeförderung als auch als Kastenwagen sind vorgesehen.

2.1.3 Omnibusse

Klare Entwicklungslinie bei den Neuentwicklungen von Bussen ist allgemein die Abkehr von der Standard-Größe: Neuentwicklungen stellen sogenannte Midi- oder Minibusse für max. 20—40 Passagiere dar.

Neoplan präsentierte auf der Hannover Messe '91 eine elektrische Variante des Busses N8008 (Metroliner in Carbon-design). Die prägende Innovation am elektrischen Metroliner ist weniger die Antriebsart als vielmehr der Fahrzeugaufbau (Abb. 2.1-3).

Für den COBUS 200 EL als Gemeinschaftsentwicklung der Firmen Hess AG, Larag AG (Schweiz) und ABB wird die Reichweite bei Einsatz der ABB-NaS-Batterie bis zu 140 km angegeben. In Verbindung mit der Möglichkeit kurzer Zwischenladungen für einen ca. zehnstündigen durchschnittlichen Linieneinsatz wäre das Fahrzeug betrieblich nahezu gleichwertig mit einem Dieselbus.

Mehr noch als der Elektro-Pkw steht der Elektrobuss für den umweltfreundlichen Stadtverkehr und sicher auch mit größerer Berechtigung. Dort verbinden sich die allen E-Fahrzeugen gemeinsamen Vorteile im Bereich der Umweltverträglichkeit mit der umweltfreundlichen Form des Öffentlichen Nahverkehrs. Die bei den Transportern bereits genannte Disponierbarkeit ist bei den nach festen Umläufen verkehrenden Omnibussen noch im weitaus höheren Maße gegeben.

2.1.4 Alternative Entwicklungen

Bei Hybrid-Fahrzeugen, die zwei voneinander unabhängige Antriebe aufweisen, läßt sich in sensiblen Verkehrsräumen elektrisch fahren, bei hohem Leistungsbedarf mit dem Verbrennungsmotor. Nachteilig beim Hybridkonzept ist das erhöhte Gewicht zweier Antriebe zuzüglich einer kleineren Traktionsbatterie.

Ein anderes Hybridkonzept stellte General Motors auf dem „Genfer Automobilsalon“ 1991 vor: Ein schadstoffarmer Benzinmotor lädt mit konstant niedriger Drehzahl über Generator eine Pufferbatterie, von der zwei Elektromotoren ihre Energie beziehen. Der Vorteil dieses komplizierten Antriebs liegt darin, daß ein kleiner Verbrennungsmotor ausreicht, da er keine Leistungsspitzen abdecken muß und dieser im stationären Betriebszustand bei verbrauchs- oder emissionsgünstiger Drehzahl arbeiten kann.

Ein weiteres Beispiel für ein Hybridfahrzeug ist die Neuentwicklung Chico von VW, bei der als Energiespeicher die Nickelhydrid-Batterie getestet wird.

2.2 Batterien

Als Speichermedium für elektrisch angetriebene Fahrzeuge werden ausschließlich Batterien eingesetzt. Aus der Vielzahl der denkbaren Stoffkombinationen haben sich folgende Batteriesysteme für Antriebszwecke besonders erfolgversprechend herausgestellt (Tab. 2.2-1):

- Bleisysteme
- Nickelsysteme
- Natriumsysteme
- Zink-/Bromidsystem

Tabelle 2.2-1

Praktisch erreichbare Werte von Batteriesystemen für Elektrofahrzeuge

(Zum Vergleich: Energiedichte von Benzin 10 300 Wh/kg)

Typ	Pb/Gel	Ni/Cd	Zn/Br	Na/S	Na/NiCl ₂	NiOOH/H ₂
Energiedichte (Wh/kg)	35	60	60	100	100	60
Leistungsdichte (W/kg)	100	120	90	100	100	120
Ah-Wirkungsgrad (%)	95	85	75	100	100	75
Vergleich Aktionsradius Bleibatterie = 1	1	1,2	1,6	2,4	2,5	1,5

2.2.1 Bleisysteme

Bleibatterien sind nach wie vor die am häufigsten eingesetzten Traktionsbatterien in Elektrofahrzeugen. Dabei hat sich zunehmend der Typ der geschlossenen, wartungsfreien Batterie mit festgelegtem Elektrolyten (Blei-Gel-Batterie) gegenüber den offenen wässrigen Systemen durchgesetzt. Die weite Verbreitung von Bleibatterien im Traktionsbereich resultiert aus der erreichten Serienreife, der vergleichsweise hohen Zyklenzahl und dem günstigen Preis dieses Batterietyps.

Das zukünftige Entwicklungspotential der Bleibatterie selber läßt keine revolutionären Entwicklungen mehr erwarten. Insbesondere zeichnet sich keine entscheidende Verbesserung in den wichtigen Kenndaten Energie- und Leistungsdichte ab.

2.2.2 Nickelsysteme

Neben den Bleisystemen sind die nicht wartungsfreien Nickel-Cadmiumbatterien (NiCd) am weitesten verbreitet. Daneben befinden sich noch Nickel-/Wasserstoff- und Nickel-/Zinkbatterien in der Entwicklung.

Die Vorteile der beispielhaft betrachteten NiCd-Batterie liegen in der hohen Zyklenzahl, der Kälteunempfindlichkeit und der Schnelladefähigkeit sowie

der erreichten Serienreife in nicht wartungsfreier Ausführung.

Der Hauptnachteil liegt im sehr hohen Anschaffungspreis verglichen mit einer Bleibatterie und der Notwendigkeit der Wassernachfüllung.

Eine neue Entwicklungslinie zeichnet sich mit der Nickelhydridbatterie ab, die eine höhere Energiedichte als Nickel-Cadmiumbatterien aufweist. Die übrigen Eigenschaften entsprechen weitgehend der NiCd-Batterie mit Ausnahme der z. Z. noch deutlich höheren Selbstentladung (50 % im Monat).

2.2.3 Natriumsysteme

Natrium-Schwefel (NaS) und Natrium-Nickel-Chlorid-Batterien (NaNiCl) stellen die Hoffnungsträger für einen Durchbruch der Elektroantriebstechnologie in Kraftfahrzeugen dar. Sie übertreffen mit ihrer Energiedichte die Nickel- und Bleisysteme deutlich. Allerdings sind Reaktionstemperaturen von 270 °C (NaNiCl) bis 300 °C (NaS) zum Betrieb dieser Batterietypen erforderlich.

Als Vorteile sind die hohe Leistungs- und Energiedichte sowie der sehr gute energetische Wirkungsgrad zu nennen. Diesen Vorteilen stehen Korrosionsprobleme, Probleme der thermischen Isolation, die noch nicht erzielte Serienreife und ein noch hoher Preis als Nachteile gegenüber.

Die von den Natriumsystemen erreichten Leistungs- und Energiewerte machen diese Speichersysteme für einen Einsatz in Elektrofahrzeugen interessant. Da die Batterie einerseits auf Betriebstemperatur gehalten werden muß — Energieverbrauch auch beim Abstellen des Fahrzeugs — und andererseits eine Überhitzung bei hohen Entladeströmen verhindert werden muß, bedarf ein Einsatz der Natriumspeichersysteme eines Temperaturmanagements. Der Schwachpunkt „Temperaturmanagement“ sowie die für einen Praxiseinsatz aber noch nicht ausreichende Zuverlässigkeit in Verbindung mit dem hohen Stückpreis verhindern derzeit einen breiten Einsatz der Natriumsysteme in Elektrofahrzeugen.

2.2.4 Zink-/Bromidsysteme

Die Zink-Bromid-Batterie weist mit 70 Wh/kg eine Energiedichte auf, die zwischen den herkömmlichen Niedertemperaturbatterien und den Hochtemperaturbatterien liegt. Das System arbeitet bei Raumtemperatur.

Hinsichtlich der Entwicklungsperspektiven der Zink-/Bromid-Batterie lassen sich derzeit keine endgültigen Aussagen machen, da die Erfahrungen noch zu gering sind. Daher gelten die derzeitigen Entwicklungsschwerpunkte vorrangig einer Datensammlung und dem Sammeln von Langzeiterfahrungen mit den verfügbaren Prototypen, bevor eine detaillierte Optimierung der Batterie möglich ist.

Die Batterieentwicklung hat in den letzten Jahren deutliche Fortschritte auch bei den neuen Hochenergiebatterien gebracht. Die notwendige Entwicklungszeit bis hin zur Serienreife ist jedoch erheblich länger als bisher geplant. Nach wie vor kann nur die wartungsfreie Bleibatterie als serienreif bezeichnet werden. Einen hohen Entwicklungsstand hat inzwischen auch die wartungsfreie Nickel-Cadmium-Batterie erreicht.

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, daß auch die Brennstoff-Zelle — bis zu deren Serieneinsatz noch ein erheblicher Entwicklungsaufwand erforderlich ist — grundsätzlich als Energiespeicher für Elektrofahrzeuge in Frage kommt.

2.3 Antriebe

Die meisten der heute verfügbaren Elektrostraßenfahrzeuge sind mit Gleichstrom-Antrieben ausgerüstet, die zuverlässig und preisgünstig sind. Jüngste Fortschritte in der Stromrichtertechnik lassen aber einen steigenden Anteil an Drehstrom-Antrieben erwarten, die den energetischen Nutzungsgrad weiter verbessern, bislang aber vor allem aus Kostengründen für diese Anwendung nicht eingesetzt wurden. Allen elektrischen Antriebsarten ist gemein, daß Nutzbremmung möglich ist und sie wegen des grundsätzlich anderen Drehzahl-/Drehmomentverhaltens sowie der kurzzeitigen Überlastbarkeit deutlich leistungsschwächer ausgeführt werden können als konventionelle Verbrennungsmotoren. Vor allem wirkt sich das

hohe Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen positiv auf die Fahrdynamik des Elektro-Pkw aus.

3. Infrastruktur

3.1 Stromtankstellen

Die Batterien der Elektrofahrzeuge werden aus dem vorhandenen Stromnetz gespeist. Es bedarf nur einer geeigneten Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Netz, d. h. im wesentlichen einer Steckdose. Sie ist meistens problemlos und preiswert zu installieren, eine geeichte Messung der entnommenen Energie ist selten notwendig. Ist eine Stromtankstelle im öffentlichen Bereich installiert, wird meistens erwartet, daß eine Energie- bzw. Zeitmeßeinrichtung und, je nach Abrechnungssystem, eine Bezahlmöglichkeit bestehen.

Mögliche Konzepte für Bezahlrichtungen sind von den öffentlichen Telefonzellen bzw. von den EC-Automaten her bekannt und müssen nicht neu entwickelt werden. In Frage kommen Münzzahleinrichtungen und Magnet- bzw. Chipkartensysteme.

3.2 Stromnachfrage

Durch den Einsatz von Batterien als Stromspeicher kann bei Elektrofahrzeugen die Stromnutzung von der Stromerzeugung zeitlich entkoppelt sein. Das Aufladen der Batterien kann somit in die Zeiten verlegt werden, in denen die heutigen Kraftwerkskapazitäten nicht voll genutzt werden.

Der gesamte Ladeleistungs- und Arbeitsbedarf einer Elektrofahrzeugflotte wird bestimmt durch die Anzahl der Fahrzeuge, die Zusammensetzung des Fahrzeugbestands und die Nutzung der Fahrzeuge.

Bild 3.2-1 zeigt die Netzbelastung am Tag der statistisch relevanten Höchstlast im Jahr 1990 mit und ohne den Strombedarf von Elektrofahrzeugen. Durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen hätte sich an diesem Tag — je nach Fahrzeugbestand aus Szenarien mit 100 000 bis 2 Mio. Elektrofahrzeugen — die Höchstlast um 7,4 bis 164 Megawatt erhöht. Die in den Szenarien für 1.00 Uhr nachts festgestellte höchste Ladeleistung beträgt (bei 100 000 Fahrzeugen) 126 Megawatt und bei 2 Mio. Fahrzeugen 2 808 Megawatt. Beim Auftreten der tatsächlichen Höchstlast im Winter 90/91 wurde noch eine freie Leistung von 4,6 GW vermerkt, so daß selbst für 2 Mio. Elektrofahrzeuge ausreichend Leistung zur Verfügung gestanden hätte. Bei einem Nachtladungsanteil von 85 % beträgt der maximale Leistungsbedarf der Fahrzeuge weniger als 5 % der höchsten Leistung der öffentlichen Kraftwerke. Würden 15 % der von den Elektrofahrzeugen benötigten Energie während des Tages nachgeladen, so hätte sich z. B. am Höchstlasttag des Winter 1990 die Spitzenlast nur um 0,26 % erhöht. Dieser Strombedarf kann jederzeit durch die noch vorhandene freie Leistung der Kraftwerke gedeckt werden.

4. Energie und Umwelt

4.1 Energieverbrauch im Verkehr

Der Anteil des Verkehrs am Gesamt-Endenergieverbrauch schlägt in der Bundesrepublik Deutschland mit 28 % zu Buche. Somit ist der Verkehr nach der Industrie die zweitgrößte Verbrauchergruppe.

Insgesamt hat der Endenergieverbrauch im Verkehr zwischen 1980 und 1990 um 26 % zugenommen. Hauptenergieträger ist mit einem Anteil von 55 % Vergaserkraftstoff (Benzin) geblieben, gefolgt von Dieseltreibstoff mit 34 % Anteil. Elektrischer Strom, der im Verkehr fast ausschließlich für Schienenfahrzeuge benötigt wird, spielt mit einem Anteil von knapp 2 % nur eine untergeordnete Rolle (Abb. 4.1-1).

4.2 Energieketten und Wirkungsgrade

Eine reproduzierbare Methode zu finden, die eine objektive Gegenüberstellung beider Fahrzeugkonzepte (Verbrennungsmotor und Elektromotor) erlaubt, ist in der Praxis sehr schwierig. Angefangen bei der Definition vergleichbarer Fahrzeugtypen über die Festlegung einer möglichst repräsentativen Prüfmethode (Frage des Testzyklus) bis hin zur Diskussion über Wirkungsgrade einschließlich des noch nicht erschlossenen Nutzungspotentials gehen die Meinungen der Fachleute oft weit auseinander. Dieses hat dann auch Auswirkungen auf die Emissionsberechnung (Abb. 4.2-1). Dennoch wird an dieser Stelle versucht, quantitative Werte aus aktuellen Forschungsergebnissen darzustellen und diese mit notwendigen qualitativen Bewertungen abzurunden. Es wird so verfahren, daß zunächst der Endenergieverbrauch analysiert und anschließend unter Hinzufügung der vorgelagerten Prozeßkette, die im wesentlichen durch die Bereitstellung des Energieträgers gekennzeichnet ist, der Primärenergiebedarf ermittelt wird. Die verwendeten Szenarien haben ergeben, daß selbst für zwei Millionen Elektrofahrzeuge keine zusätzlichen Kraftwerke erforderlich sind, es wird daher vom vorhandenen Kraftwerksmix ausgegangen.

4.2.1 Endenergiebedarf

Die umfangreichsten Untersuchungen auf diesem Gebiet wurden mit dem VW Golf CitySTROMer gemacht, so daß sich die folgenden Ergebnisse auf diesen Fahrzeugtyp beziehen.

Abbildung 4.2-1 zeigt die spezifischen Endenergieverbräuche des Golf CitySTROMer mit Blei-Gel-Batterie, zum einen mit herkömmlichem und zum anderen mit optimiertem Ladegerät, sowie des Jetta CitySTROMer mit Natrium-Schwefel-Batterie in Abhängigkeit von der Fahrstrecke.

Die Abhängigkeit von Verbrauch und Fahrstrecke liegt in dem hohen standzeitabhängigen Energiever-

brauch begründet, der bei größeren Wegstrecken immer weniger ins Gewicht fällt.

Um die Fahrprofile in der Stadt realitätsnah zu simulieren, hat sich in Europa der auch in der Bundesrepublik Deutschland vorgeschriebene „Europa-Test-Zyklus“ (ECE-Zyklus) durchgesetzt. Damit ist die Vergleichbarkeit verschiedener Fahrzeuge gewährleistet. Ein standzeitabhängiger Energieverbrauch sowie eine Zusatzheizung bei Elektrofahrzeugen sind in diesem Test nicht berücksichtigt.

Der Netzenergiebedarf im ECE-Zyklus beträgt danach für einen Golf CitySTROMer mit optimiertem Ladegerät rund

28,2 kWh/100 km.

Durch eine weitere Verbesserung des Ladeverfahrens wurde auch ein Endenergiebedarf von 22,5 kWh/100 km erreicht (RWTH Aachen).

Ein zum Vergleich herangezogenes Fahrzeug mit konventionellem Antrieb (VW Golf) verbraucht unter gleichen Testbedingungen 8,3 l Kraftstoff pro 100 km, was umgerechnet

74,8 kWh/100 km

entspricht.

Der Netzenergieverbrauch von Elektro-Transportern schwankt in Abhängigkeit von der Größe des Fahrzeuges, der mittleren Zuladung und des Einsatzspektrums. Vergleichbare Prüfstandsergebnisse nach dem ECE-Test liegen derzeit nicht vor. Aufgrund von Flottenversuchen und Praxiserfahrungen langjähriger Anwender kann jedoch von einem Verbrauch zwischen ca. 30 kWh/100 km für kleine Transporter (z. B. Colenta) bis zu ca. 50—60 kWh/100 km für größere Fahrzeuge (z. B. Mercedes Benz 307E) ausgegangen werden.

4.2.2 Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf errechnet sich aus dem Endenergiebedarf der Fahrzeuge zuzüglich der vorgelagerten Prozeßkette, die im wesentlichen die Förderung, den Transport, die Aufbereitung und die Verteilung des Energieträgers beinhaltet. Aus den vorhandenen Netz- und Kraftwerksdaten einschließlich des Kraftwerksmixes weist die Berechnung für die Bereitstellung von elektrischem Strom frei Haus einen Nutzungsgrad von 33,3 % auf. Für die Energiebilanz von Elektrofahrzeugen bedeutet dies, daß der wesentlich bessere effektive Wirkungsgrad des Elektroantriebes durch die größeren Verluste bei den vorgelagerten Prozessen wieder zunichte gemacht wird.

Der Primärenergiebedarf eines Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor, welches im Durchschnitt 8,3 l Kraftstoff pro 100 km verbraucht, beträgt 9,3 l/100 km. Umgerechnet entspricht dies

84,2 kWh/100 km.

Ein Elektrofahrzeug mit einem Endenergieverbrauch von 28,2 kWh/100 km (CitySTROMer) weist einen vergleichbaren Primärenergieverbrauch auf. Legt man den Nutzungsgrad von 33,3 Prozent des elektri-

schen Stromes frei Haus zugrunde, ergibt sich für den Endenergieverbrauch von 28,2 kWh/100 km der Primärenergiebedarf von 84,6 kWh/100 km.

4.3 Schadstoffemissionen

Die Umweltbelastung durch den Straßenverkehr weist für einige Emissionsarten immer noch steigende Tendenzen auf. Lediglich die Kohlenmonoxid-Emissionen konnten reduziert werden. Der erwartete Rückgang der durch den Straßenverkehr verursachten Stickoxid-Emissionen wurde allerdings durch die in den letzten fünf Jahren um 27 % gestiegenen Jahresfahrleistungen kompensiert.

Abbildung 4.3-1 zeigt die Anteile der Emittentengruppe Straßenverkehr an den gesamten Luftverunreinigungen im Jahr 1990 sowie die Veränderungen zwischen 1980 und 1990.

4.3.1 Emissionsvergleich

Beim Elektrofahrzeug wird die Emissionsberechnung auf die aus dem Netz entnommene Kilowattstunde bezogen. Mit Kenntnis des Stromverbrauchs eines

Elektrofahrzeuges kann dann der zu Vergleichszwecken gesuchte Emissionswert, z. B. die Schadstoffemissionsmenge pro Fahrkilometer, einfach ermittelt werden. Betrachtet werden die Primärenergiegewinnung und die Primärenergie-Umwandlungsstufen, woraus sich die Emissionsmenge pro kWh elektrischer Energie ab Netzanschluß für eine bestimmte Primärenergieart ergibt. Gewichtet nach Primärenergieanteil erhält man die Emissionsmenge pro kWh (Emissionsfaktoren) der dem Netz entnommenen elektrischen Energie.

Als Quelle für die direkten Emissionen von konventionellen Fahrzeugen (Motoremissionen) wird eine im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellte Studie des TÜV Rheinland herangezogen, welche erstmals Meßergebnisse für ein breites Kollektiv im Verkehr befindlicher schadstoffgeminderter Pkw veröffentlicht. Da die Studie jedoch noch nicht vollständig abgeschlossen ist, sind bislang noch folgende Einschränkungen zu beachten:

- Die Ergebnisse repräsentieren nicht den Pkw-Bestand der Bundesrepublik Deutschland.
- Die Motorleistungen der betrachteten Fahrzeuge sind höher als bei Elektrofahrzeugen.

Tabelle 4.3-1

Emissionsvergleich der Referenzfahrzeuge nach ECE-Prüfzyklus

	Emissionen				
	CO ₂	CO	HC ¹⁾	NO _x	SO ₂
	[g/km]				
	direkte Emissionen				
Otto	195,1 ³⁾	6,270	0,810	0,590	0,037 ²⁾
Diesel	171,8 ³⁾	1,000	0,170	0,910	0,152 ²⁾
Elektrofahrzeug	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	vorgelagerte Emissionen				
Otto ⁴⁾	18,8	0,011	1,264	0,054	0,046
Diesel ⁴⁾	15,9	0,009	0,288	0,046	0,039
Elektrofahrzeug ⁴⁾	165,2	0,037	0,436	0,131	0,135
	gesamte Emissionen				
Otto	214,6	6,281	2,074	0,644	0,084
Diesel	187,9	1,009	0,458	0,956	0,192
Elektrofahrzeug ⁵⁾	165,2	0,037	0,436	0,131	0,135

1) Summe aus CH₄ und NMVOC

2) berechnet aus Schwefelgehalt des Kraftstoffs (Normal-Benzin: 0,03 Gew.%; Dieseldieselkraftstoff: 0,14 Gew.%) und Kraftstoffverbrauch; vollständige Oxidation des Schwefels angesetzt

3) berechnet aus Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffs (Normal-Benzin: 85,5 Gew.%; Dieseldieselkraftstoff: 86,2 Gew.%) und Kraftstoffverbrauch; vollständige Oxidation des Kohlenstoffs angesetzt

4) berechnet aus Verbrauchsmessungen und Emissionsfaktoren für „vorgelagerte Prozesse, neu“ und für „öffentliche Kraftwerke, neu“ (Öko-Institut 1989)

5) ohne Zusatzheizung

— Das reale Fahrverhalten konnte bislang nicht berücksichtigt werden.

Die nachfolgenden Ausführungen und abgeleiteten Darstellungen sind unter diesen Voraussetzungen zu sehen.

Die vorgelagerten Emissionen aller Fahrzeuge wurden aus Emissionsfaktoren bestimmt, unter Ansatz der bei ECE-Zyklusbedingungen gemessenen Energieverbrauchswerte.

Die Luftschadstoffe bzw. die CO₂-Emissionen sind in Tabelle 4.3-1 aufgelistet und in den Abb. 4.3-2 für die drei untersuchten Antriebskonzepte (Otto-, Dieselmotor und Elektroantrieb) dargestellt. Als Elektrofahrzeug wurde der VW CitySTROMer betrachtet.

Vergleicht man die CO₂-Emission, die ein Elektrofahrzeug unter Zugrundelegung des Kraftwerksmixes der alten Bundesrepublik Deutschland verursacht mit der CO₂-Emission heute üblicher Fahrzeuge mit geregelter Drei-Wege-Katalysator, so ergibt sich ein Einsparpotential. Ein Vergleich der bei Verbrennungsmotor-Pkw limitierten Schadstoffkomponenten ergibt folgendes Bild (vgl. Abb. 4.3-2):

Beim Kohlenmonoxid-, Kohlenwasserstoff- und unter Zugrundelegung des Kraftwerksmixes auch beim Stickoxidausstoß zeigt das Elektrofahrzeug Vorteile gegenüber konventionellen Fahrzeugen. Elektrofahrzeuge verursachen somit weniger von den zum Teil gesundheitsgefährdenden Kohlenwasserstoffen (z. B. polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) und tragen bezüglich dieser Komponenten nicht zur Bildung bodennahen Ozons (Sommersmog) bei.

Die indirekten Schwefeldioxid-Emissionen des Elektrofahrzeugs liegen niedriger als der direkte Ausstoß beim Diesel-Pkw, allerdings erheblich höher als beim Ottomotor-Fahrzeug.

4.3.2 Auswirkungen auf die Immissionsbelastungen

Die Luftverschmutzung durch den Kraftfahrzeugverkehr ist mit seinem Beitrag zur Emissionsbilanz nicht ausreichend beschrieben. Es werden weder die räumliche und zeitliche Verteilung der Emissionen, noch die unterschiedliche Höhe der Quelle der verschiedenen Emittenten berücksichtigt. So trägt der Kraftfahrzeugverkehr in der Emissionsbilanz der Bundesrepublik Deutschland rund 73 % zum Kohlenmonoxidausstoß bei (1989), in Ballungsgebieten werden während des Sommers im Monatsmittel Belastungsbeiträge von 90 % ermittelt. Als Beispiel für ein Ballungsgebiet hat das Umweltbundesamt den Großraum Frankfurt/Main (Belastungsgebiet Untermain) betrachtet, an welchem die Problematik dargestellt wird:

Das in den Jahren 1983 bis 1986 erhobene Immissionskataster ergab bei der überwiegend verkehrsbedingten Stickstoffdioxidbelastung für 21 von 414 Beurteilungsflächen bis zu 50%ige Überschreitungen des Kurzzeitgrenzwertes der TA Luft, in 2 Beurteilungsflächen wurden zudem Grenzwerte für Langzeitbelastungen bei Stickstoffdioxid erreicht. Die Ursachenanalyse ergab bei den 26 untersuchten Aufpunkten

einen Beitrag des Kraftfahrzeugverkehrs zur Stickoxidbelastung von 51,6 % bis 86,0 % (Abb. 4.3-3).

Die durch Einführung von Elektrofahrzeugen erzielbaren Immissionsentlastungen können in erster Näherung mit folgender Betrachtung abgeschätzt werden:

Werden die vom Kraftfahrzeugverkehr verursachten Immissionsanteile an den o. g. 26 Aufpunkten aufgeteilt entsprechend den Emissionsanteilen des Pkw- und Nutzfahrzeug-Verkehrs im gesamten Erhebungsgebiet, so verursacht der Pkw-Verkehr einen mittleren Immissionsbeitrag von 42,4 % der Gesamtbelastung mit NO_x.

Würden nun 20 % der Pkw-Fahrleistungen von Elektrofahrzeugen erbracht werden, so wäre der Immissionsbeitrag des Pkw-Verkehrs in erster Näherung entsprechend niedriger. Die Gesamtbelastung mit Stickstoffdioxid würde lt. Umweltbundesamt bei einem Elektrofahrzeuganteil von 20 % um ca. 8,8 % zurückgehen.

Zusätzlich zu diesem objektiven Immissionsentlastungspotential kann die subjektive Wahrnehmung und Bewertung von Menschen, insbesondere in Kur- und Erholungsgebieten, eine wichtige Rolle spielen.

4.4 Schallemission

Die Schallemission des Elektrofahrzeugs besteht im wesentlichen aus den Rollgeräuschen, die bei zunehmender Geschwindigkeit die anderen Geräusche dominieren.

Da im allgemeinen die hohe Anzahl der Autos und der Schwerverkehr die Ursachen der Lärmbelastung sind, tritt eine Lärmentlastung nur dann ein, wenn einzelne Fahrzeuge die Quelle der Lärmbelastung sind, z. B. durch Wegfall der lästigen Drehzahlsprünge bei Schaltvorgängen. Für das umweltpolitische Ziel der Lärmbekämpfung kann danach insgesamt gesehen die Einführung von Elektrofahrzeugen nur einen relativ geringen Beitrag leisten.

5. Wirtschaftlichkeit und Anwendungspotential

5.1 Kostenvergleich

Der nachfolgende Kostenvergleich zwischen konventionellen (Ottomotor) und elektrisch betriebenen Fahrzeugen basiert auf der Kostensituation in der Bundesrepublik Deutschland im April 1992.

Alle aufgeführten Preise verstehen sich inklusive der zu diesem Zeitpunkt gültigen Mehrwertsteuer von 14 % bzw. der Versicherungssteuer von 10 %.

Für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von E-Fahrzeugen sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

Ökonomische Einflußgrößen:

— Kaufpreis, Nutzungsdauer und Wiederverkaufswert

- Kalkulatorischer Zinssatz
- Teuerungsrate
- Kosten für die Haftpflicht- und Kaskoversicherung

Technische Randbedingungen:

- Batteriekosten
- Energieverbrauch
- Verschleiß-, Wartungs-, Reparatur- und Pflegekosten

Politisch-ökonomische Rahmenbedingungen:

- Strompreis
- Kraftstoffpreis

Politische Rahmenbedingungen:

- Kfz-Steuer
- Subventionen

Einsatzbedingungen:

- Jährliche Fahrleistung
- Fahr- und Einsatzprofil

Zum Vergleich wurde ein der jeweiligen Größe entsprechender Pkw mit Otto-Motor herangezogen. Der Kostenkalkulation ist eine fünfjährige Nutzungsdauer und eine Jahresfahrleistung von 10 000 km zugrunde gelegt.

Aus der Kostenkalkulation (Tab. 5.1-1) ergibt sich die in Abb. 5.1-1 für einen am Markt erhältlichen Klein-Pkw dargestellte Kostenstruktur sowie für einen Mittelklasse-Pkw (Tab. 5.1-2).

Elektro-Transporter kommen in erster Linie für gewerbliche Zwecke zum Einsatz. Deshalb ist bei der Kostenkalkulation der Vorsteuerabzug zu berücksichtigen. Nachfolgende Tab. 5.1-3 zeigt den Kostenvergleich zwischen einem Transporter mit Otto-Motor (z. B. Mitsubishi L 300) und einem Elektro-Transporter (z. B. Colenta-Minicab). Die Investitionskosten und weitere Angaben zum Elektrotransporter basieren auf einem Angebot an die RWE Energie AG.

Eine detaillierte Berechnung der fixen und variablen Kosten für Elektro-Busse ist aufgrund der Einzelfertigung und der Einzelzulassung zur Zeit nicht möglich.

Anmerkungen zu den Tabellen 5.1-1 und 5.1-2:

Ziffer 4:

Geschätzter Wiederverkaufswert in Anlehnung an DAT/Schwacke-Listen. Da noch keine Aussagen über die Marktpreise von gebrauchten E-Fahrzeugen möglich sind, wurde in beiden Fällen die gleiche Prozentzahl für den Restwert angesetzt.

Ziffer 5:

Alle fixen und variablen Kosten ohne Teuerung und Verzinsung als Monatsbetrag.

Ziffer 6:

Umlaufkapital plus Kaufpreis

Ziffer 12:

Durchschnittlicher Haushaltstarif (4-Personen-Haushalt) unter Berücksichtigung einer Nutzung von verbilligtem Nachtstrom zu einem $\frac{2}{3}$ -Anteil.

Ziffer 15:

Steuersatz 13,20 DM pro 100 ccm Hubraum für Fahrzeuge mit Otto-Motor, schadstoffarm Gruppe 1, Elektrofahrzeuge sind 5 Jahre steuerbefreit (Änderung des § 3d des Kraftfahrzeugsteuergesetzes durch das Steueränderungsgesetz 1992).

Ziffer 16:

Deckung für Personenschäden 7 500 000,00 DM je geschädigte Person, Sach- und Vermögensschäden unbegrenzt, Regionalklasse RS 5 (z. B. München), Beitragssatz 100 %.

Ziffer 17:

Jahresbeitrag mit 300 DM Selbstbeteiligung. Für Elektrofahrzeuge 30,70 DM bis zu einem Kaufpreis von 10 000 DM, darüber hinaus pro 1 000 DM Neuwert 6,60 DM zusätzlicher Versicherungsbeitrag. Angaben nach dem Tarif eines überregionalen Versicherers.

Ziffer 21:

Die niedrigeren Wartungskosten bei E-Fahrzeugen resultieren aus dem geringeren Verschleiß an Bremsbelägen, da über die Nutzbremse Bremsenergie in die Batterien zurückgespeist werden kann. Außerdem entfallen die Kosten für Schmier- und Betriebsstoffe, wie Motoröl und Kühlwasseradditive sowie für einige Verschleiß- und Ersatzteile (Zündkerzen, Luftfilter).

Ziffer 22:

Die Batteriekosten sind im Kaufpreis enthalten, es ist aber bei den Batterien auch der Verschleiß zu berücksichtigen: Kapitalkosten für Batterien (Abschreibung, Verzinsung) ab Kauf über die Nutzungsdauer der Batterien — geringer als die des Pkw — verteilt und als variable Kosten für Verschleiß in Abhängigkeit vom Batterieeinsatz (entsprechend den Reifen).

Tabelle 5.1-1

Vollkostenkalkulation für Klein-Pkw bei fünfjähriger Nutzungsdauer

	Fahrzeugtyp		Klein-Pkw Otto-Motor	Klein-Pkw Elektro (Pb)
1	Effektiver Kaufpreis	DM	17 000,00	28 000,00
	davon: Batteriepreis	DM		4 900,00
2	Teuerung bei fünfjähriger Nutzungsdauer (3,5 % pro Jahr)	DM	2 975,00	4 900,00
3	Restwert nach fünf Jahren	%	50	50
4	Restwert nach fünf Jahren	DM	8 500,00	14 000,00
5	Umlaufkapital pro Monat	DM	363,39	493,33
6	Notwendiges Kapital	DM	17 363,39	28 493,33
7	Kalkulierter Zinssatz pro Jahr	%	7,5	7,5
8	Kraftstoffverbrauch pro 100 km	l	7,0	
9	Netzenergieverbrauch pro 100 km	kWh		18,0
10	Fahrleistung pro Jahr	km	10 000	10 000
11	Kraftstoffpreis pro Liter	DM	1,36	
12	Strompreis pro kWh	DM		0,21
Fixkosten pro Jahr				
13	Kapitalverzinsung	DM	1 275,00	2 100,00
14	Abschreibung/Wertverlust	DM	2 295,00	3 780,00
15	Kfz-Steuer	DM	145,20	0,00
16	Haftpflichtversicherung		920	559,4
17	Teilkaskoversicherung	DM	43,50	149,50
18	Summe Fixkosten pro Jahr	DM	4 678,70	6 588,90
19	Summe Fixkosten pro km	Pf	46,79	65,89
Variable Kosten pro km				
20	Energiekosten (Kraftstoff/Strom)	Pf	9,52	3,78
21	Ersatzteil-, Reparatur-, Wartungs- und Pflegekosten	Pf	6,00	4,00
22	Batteriekosten	Pf		16,33
23	Summe variable Kosten	Pf	15,52	24,11
Gesamtkosten pro km				
		Pf	62,31	90,00
Mehrkosten				
		%		44

Tabelle 5.1-2

Vollkostenkalkulation für Mittelklasse-Pkw bei fünfjähriger Nutzungsdauer

	Fahrzeugtyp		Mittelklasse Otto-Motor	Mittelklasse Elektro (Pb)
1	Effektiver Kaufpreis	DM	25 000,00	70 000,00
	davon: Batteriepreis	DM		9 100,00
2	Teuerung bei fünfjähriger Nutzungsdauer (3,5 % pro Jahr)	DM	4 375,00	12 250,00
3	Restwert nach fünf Jahren	%	50	50
4	Restwert nach fünf Jahren	DM	12 500,00	35 000,00
5	Umlaufkapital pro Monat	DM	479,77	1 004,09
6	Notwendiges Kapital	DM	25 479,77	71 004,09
7	Kalkulierter Zinssatz pro Jahr	%	7,5	7,5
8	Kraftstoffverbrauch pro 100 km	l	8,8	
9	Netzenergieverbrauch pro 100 km	kWh		30,0
10	Fahrleistung pro Jahr	km	10 000	10 000
11	Kraftstoffpreis pro Liter	DM	1,36	
12	Strompreis pro kWh	DM		0,21
Fixkosten pro Jahr				
13	Kapitalverzinsung	DM	1 875,00	5 250,00
14	Abschreibung/Wertverlust	DM	3 375,00	9 450,00
15	Kfz-Steuer	DM	211,20	0,00
16	Haftpflichtversicherung		1 180,7	559,4
17	Teilkaskoversicherung	DM	68,50	426,70
18	Summe Fixkosten pro Jahr	DM	6 710,40	15 686,10
19	Summe Fixkosten pro km	Pf	67,10	156,86
Variable Kosten pro km				
20	Energiekosten (Kraftstoff/Strom)	Pf	11,97	6,30
21	Ersatzteil-, Reparatur-, Wartungs- und Pflegekosten	Pf	6,00	4,00
22	Batteriekosten	Pf		30,33
23	Summe variable Kosten	Pf	17,97	40,63
Gesamtkosten pro km				
		Pf	85,07	197,49
Mehrkosten				
		%		132

Tabelle 5.1-3

Vollkostenkalkulation für Transporter bei fünfjähriger Nutzungsdauer

	Fahrzeugtyp		Transporter Otto-Motor	Transporter Elektro (Pb)
1	Effektiver Kaufpreis	DM	24 000,00	49 197,00
	davon: Batteriepreis	DM		7 230,00
2	Teuerung bei fünfjähriger Nutzungsdauer (3,5 % pro Jahr)	DM	4 200,00	8 609,48
3	Restwert nach fünf Jahren	%	50	50
4	Restwert nach fünf Jahren	DM	12 000,00	24 598,50
5	Umlaufkapital pro Monat	DM	497,00	647,29
6	Notwendiges Kapital	DM	24 497,00	49 844,29
7	Kalkulierter Zinssatz pro Jahr	%	7,5	7,5
8	Kraftstoffverbrauch pro 100 km	l	11,5	
9	Netzenergieverbrauch pro 100 km	kWh		32,0
10	Fahrleistung pro Jahr	km	10 000	10 000
11	Kraftstoffpreis pro Liter	DM	1,36	
12	Strompreis pro kWh	DM		0,12
Fixkosten pro Jahr				
13	Kapitalverzinsung	DM	1 800,00	3 689,78
14	Abschreibung/Wertverlust	DM	3 240,00	6 641,60
15	Kfz-Steuer	DM	93,00	0,00
16	Versicherung	DM	1 307,00	243,00
17	Summe Fixkosten pro Jahr	DM	6 440,00	10 574,37
19	Summe Fixkosten pro km	Pf	64,40	105,74
Variable Kosten pro km				
19	Energiekosten (Kraftstoff/Strom)	Pf	15,64	3,97
20	Ersatzteil-, Reparatur-, Wartungs- und Pflegekosten	Pf	6,00	4,00
21	Batteriekosten	Pf		18,08
22	Summe variable Kosten	Pf	21,64	26,05
Gesamtkosten pro km				
		Pf	86,04	131,79
Mehrkosten				
		%		53

5.2 Kostenprognose

Die Angaben zur Kostendegression in der 3. Fortschreibung des Berichtes über die Förderung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen sind weiterhin gültig.

Tabelle 5.2-1 und Abb. 5.2-1 zeigen die den aktuellen Verhältnissen angepaßte Kostendegression des CitySTROMers mit Blei-Gel-Batterie.

Tabelle 5.2-1

Erwartete Kostendegression von Elektrofahrzeugen bei unterschiedlichen Produktionszahlen

Stückzahl pro Jahr	Kostendegression der Investitionskosten für E-Fahrzeuge (incl. Batterie)	Mehrkosten gegenüber konventionellem Pkw bezogen auf die Gesamtkosten pro km
Einzel- fertigung	0 %	133 %
1 000	-15 %	97 %
5 000	-34 %	60 %
10 000	-38 %	51 %
50 000	-45 %	36 %
100 000	-58 %	11 %

Der Vergleich mit einem konventionellen Pkw zeigt, daß selbst bei großen Stückzahlen unter den heutigen Randbedingungen Mehrkosten bestehen bleiben werden. Durch die Entwicklung der Batterietechnologie sind die beiden Kostenparameter, die Anschaffungskosten und die Lebensdauer der Batterie, zu beeinflussen. Bei der Blei-Gel-Batterie ist eine Preissenkung von derzeit 500 DM/kWh auf 350 DM/kWh und eine Erhöhung der Lebensdauer von 500 auf 800 Vollzyklen als realistisch anzusehen, so daß die Batteriekosten etwa um 50 % reduziert würden. Für die Natrium-Schwefel-Batterie (heutiger Preis: 1 800 DM/kWh) wird laut Herstellerangabe bei Serieneinführung ein Preis von 350 DM/kWh angestrebt.

5.3 Förderkonzepte und ordnungspolitische Rahmenbedingungen

Die für Elektrofahrzeuge gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor bestehenden Kostennachteile werden teilweise ausgeglichen, z. B. durch

- ungestörter Fahrbetrieb bei schadstoffüberlasteten Witterungslagen (Smog) und
- die Möglichkeit der Länderbehörden, in besonders ausgewiesenen ökologisch sensiblen Gebieten Nutzervorteile für Elektrofahrzeuge festzulegen.

Auch die Steuergesetzgebung hat schon Vorteile für Elektrofahrzeuge geschaffen:

Durch das Steueränderungsgesetz 1992 vom 25. Februar 1992 wurde das Kraftfahrzeugsteuergesetz

dahingehend geändert, daß das Halten von Personenkraftwagen, die Elektrofahrzeuge sind und nach dem 31. Juli 1991 erstmals zugelassen werden, für einen Zeitraum von fünf Jahren von der Kraftfahrzeugsteuer befreit sind. Die Fördermaßnahme schließt nahtlos an die bisherige Förderung an. Damit haben Elektro-Pkw eine zeitlich befristete Steuerpräferenz gegenüber anderen Personenkraftwagen.

Soweit keine Steuerbefreiung gegeben ist, ermäßigt sich die Steuer um jeweils 50 % der sich nach dem zulässigen Gesamtgewicht ergebenden Steuer (§ 9 Abs. 2 KraftStG), um das Mehrgewicht der schweren Batterien auszugleichen.

Dadurch haben alle Elektrofahrzeuge eine niedrigere Steuerbelastung als vergleichbare Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb durch Verbrennungsmotor.

Weitergehende Steuervergünstigungen für Elektrofahrzeuge bei der Kraftfahrzeugsteuer sind aus Sicht der Bundesregierung derzeit nicht möglich. Andere Gesichtspunkte könnten sich bei Einführung einer emissionsorientierten Kraftfahrzeugsteuer ergeben. Ein entsprechender Gesetzentwurf wird derzeit erarbeitet. Genaue Aussagen dazu sind derzeit nicht möglich.

Eine weitere Möglichkeit der Förderung von Elektrofahrzeugen besteht — wie in einigen Bundesländern praktiziert — in der Zahlung direkter Zuschüsse zum Anschaffungspreis.

Weitere Anreize für eine stärkere Nutzung von Elektrofahrzeugen könnten durch ideelle Förderungsmaßnahmen gegeben werden, z. B. durch Ausweisung spezieller Parkplätze für Elektro-Autos in Innenstädten, freie Einfahrt in Beschränkungsgebiete, z. B. in Fußgängerzonen für den Lieferverkehr oder ähnliche Benutzervorteile. Speziell in den Innenzonen der Großstädte können solche nicht monetären Anreize seitens der Kommunen vielleicht noch mehr bewirken als eine finanzielle Unterstützung des Käufers.

5.4 Anwendungspotential

Aus Sicht der Nutzer besteht der Hauptnachteil von Elektrofahrzeugen in der begrenzten Reichweite. Haushalte, die über zwei oder mehr Pkw verfügen, können am ehesten ein herkömmliches Fahrzeug gegen ein Elektrofahrzeug tauschen, da im Bedarfsfall (größere Tagesfahrleistung) ein Pkw mit Verbrennungsmotor zur Verfügung steht. In der Regel treten in solchen mehrfach motorisierten Haushalten sehr selten Konfliktfälle auf, d. h. nämlich dann, wenn mehrere Fahrzeuge gleichzeitig mehr als 100 km am Tag (als E-Fahrzeug-Reichweite angenommen) zurücklegen müßten. Dieser Konfliktfall liegt bei etwa 0,5 %, d. h. etwa 1,8 Tage pro Jahr und Haushalt (Studie „Elektroauto und Mobilität — das Einsatzpotential von Elektrofahrzeugen“).

Insgesamt zeigen die Analysen, daß an einem beliebig herausgegriffenen Tag des Jahres die Fahrleistungen der weitaus meisten Pkw deutlich unter dem Grenz-

wert liegen, der für moderne Elektroautos kritisch ist.

Auf der Grundlage der Annahme

„Ein Pkw mit Verbrennungsmotor kann durch ein Elektroauto substituiert werden, wenn mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im Laufe eines Jahres nicht mehr als 5 % Nutzungskonflikte auftreten“

lassen sich Substitutionsquoten für 1 Pkw-, 2 Pkw- und 3 und mehr Pkw-Haushalte ableiten.

Insgesamt waren im Jahr 1991 in den alten Bundesländern 31,3 Mio. Fahrzeuge, davon rund 29,3 Mio. als Pkw aus Privathaushalten, zugelassen. Auf der Grundlage der Nutzungscharakteristik als Kriterium für die Substituierbarkeit ergibt sich, daß derzeit insgesamt rund 4,5 Mio. Pkw (theoretischer Wert)

durch Elektroautos ersetzt werden könnten, ohne die Mobilität der Benutzer einzuschränken.

6. Weitere Aussichten

Die Chancen für eine stärkere Nutzung von Elektrofahrzeugen stehen gut. Sowohl der Einsatz der Hochenergiebatterien und ihre bevorstehende Serienfertigung als auch die intensive Beschäftigung der großen Automobilkonzerne in Deutschland und im Ausland mit dem Elektrofahrzeug sind dafür Indizien.

Die Notwendigkeit verstärkter Anstrengungen zur Verminderung der Umweltbelastung in den Städten wird dem Elektrofahrzeug möglicherweise schon bald — ähnlich wie in Kalifornien — eine wichtige Rolle zuweisen.

Abbildungen

Abbildung 2.1-1

VW-Jetta CitySTROMer

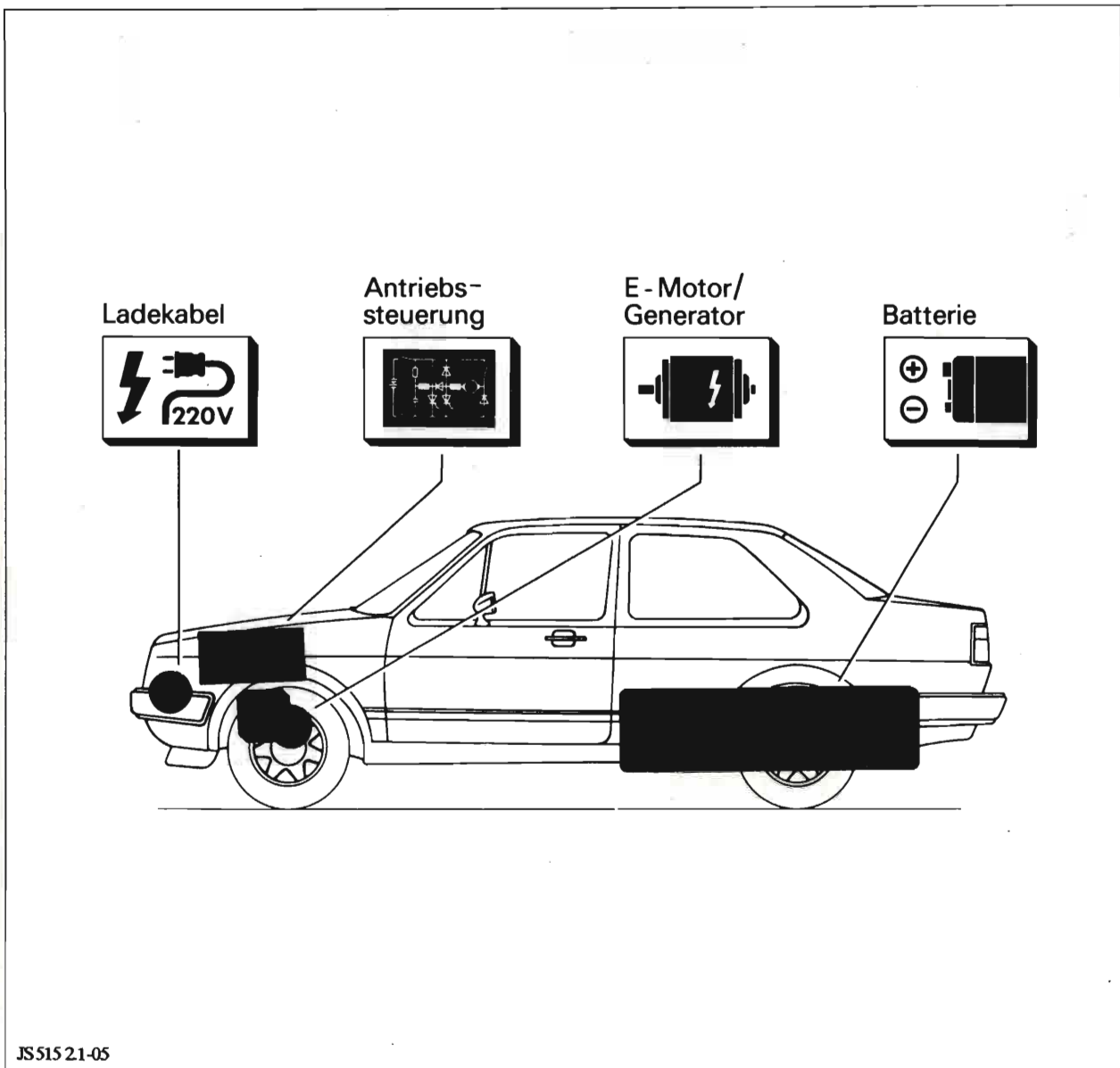


Abbildung 2.1-2

VW Elektro Van

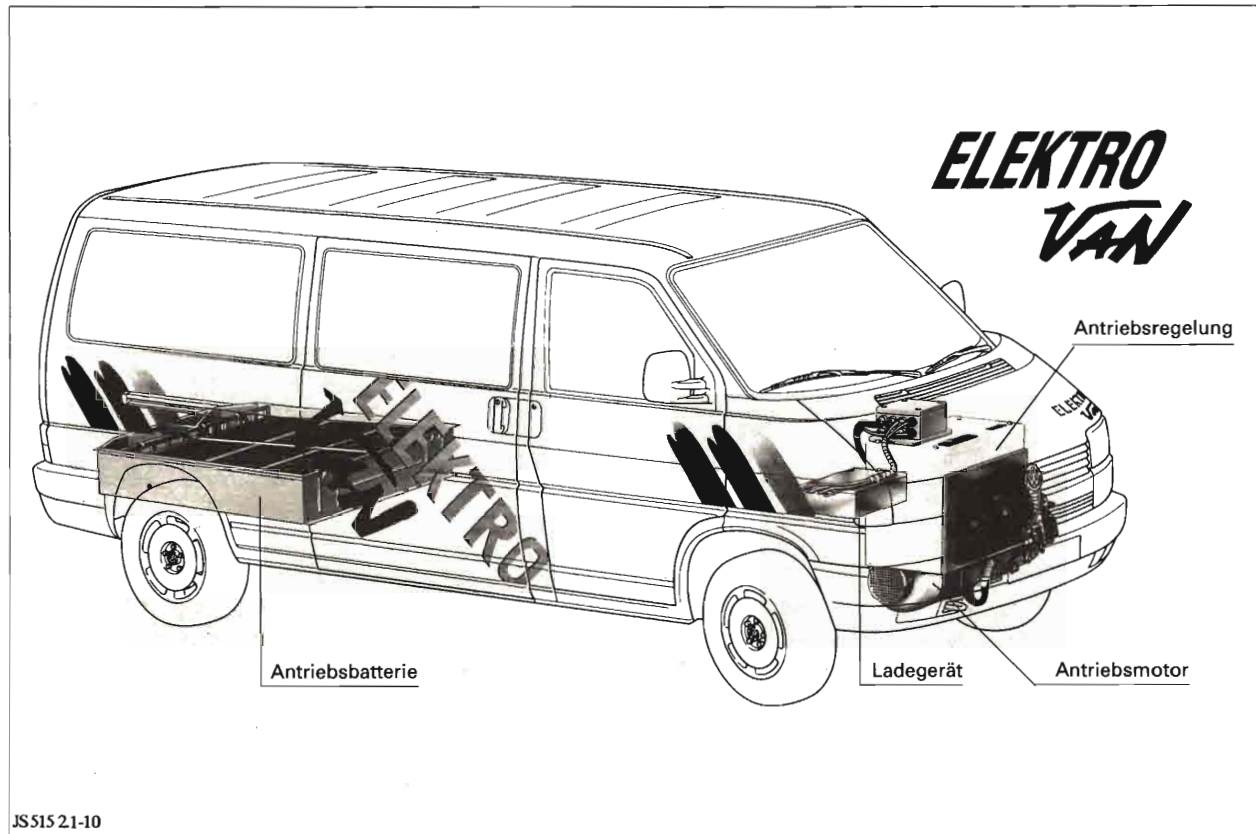


Abbildung 2.1-3

Neoplan N 8008 Elektro



Abbildung 3.2-1

Netzbelastung am 19. Dezember 1990 mit verschiedenen Elektrofahrzeugbeständen

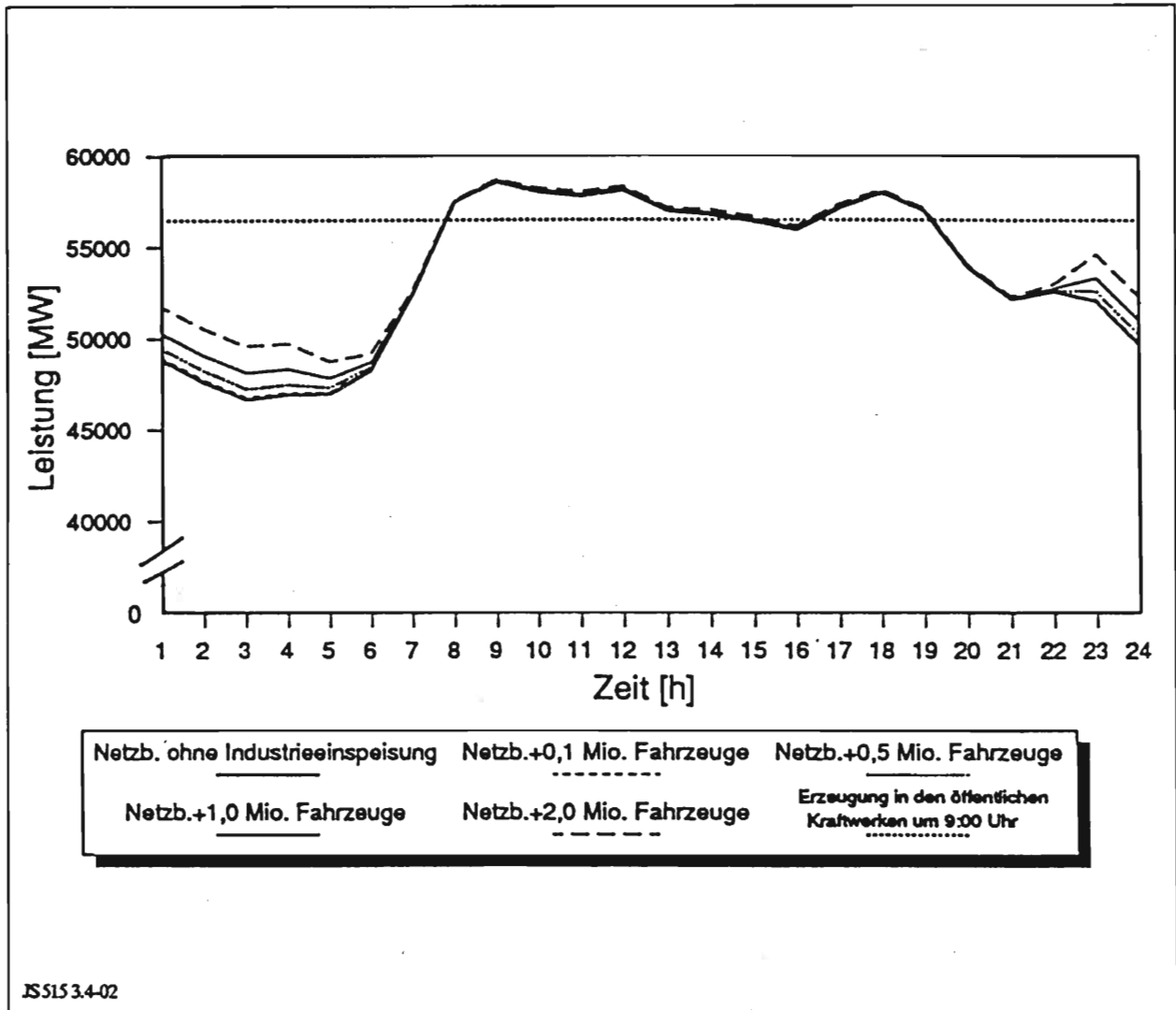


Abbildung 4.1-1

Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträgern 1980—1990

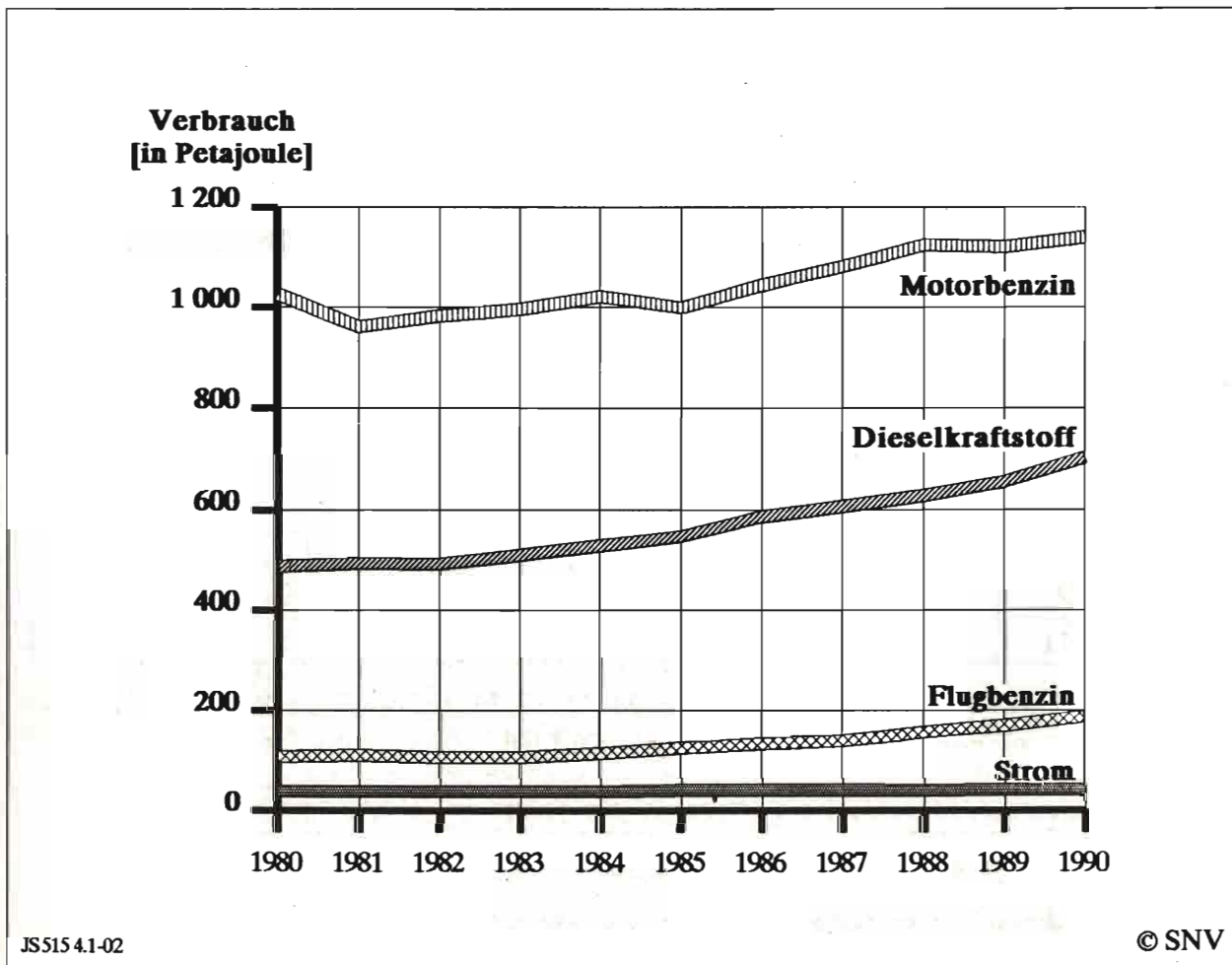
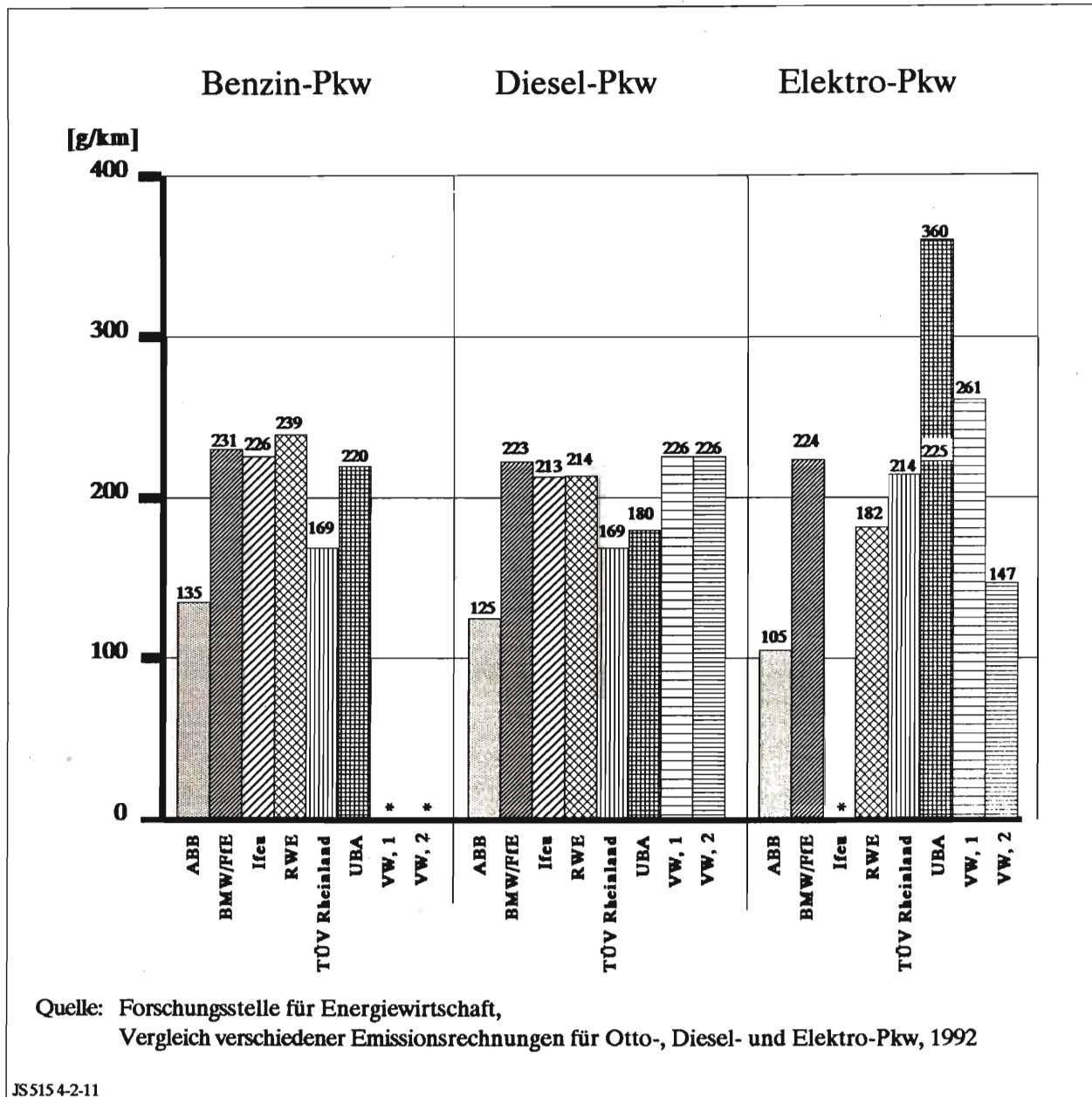


Abbildung 4.2-1/1

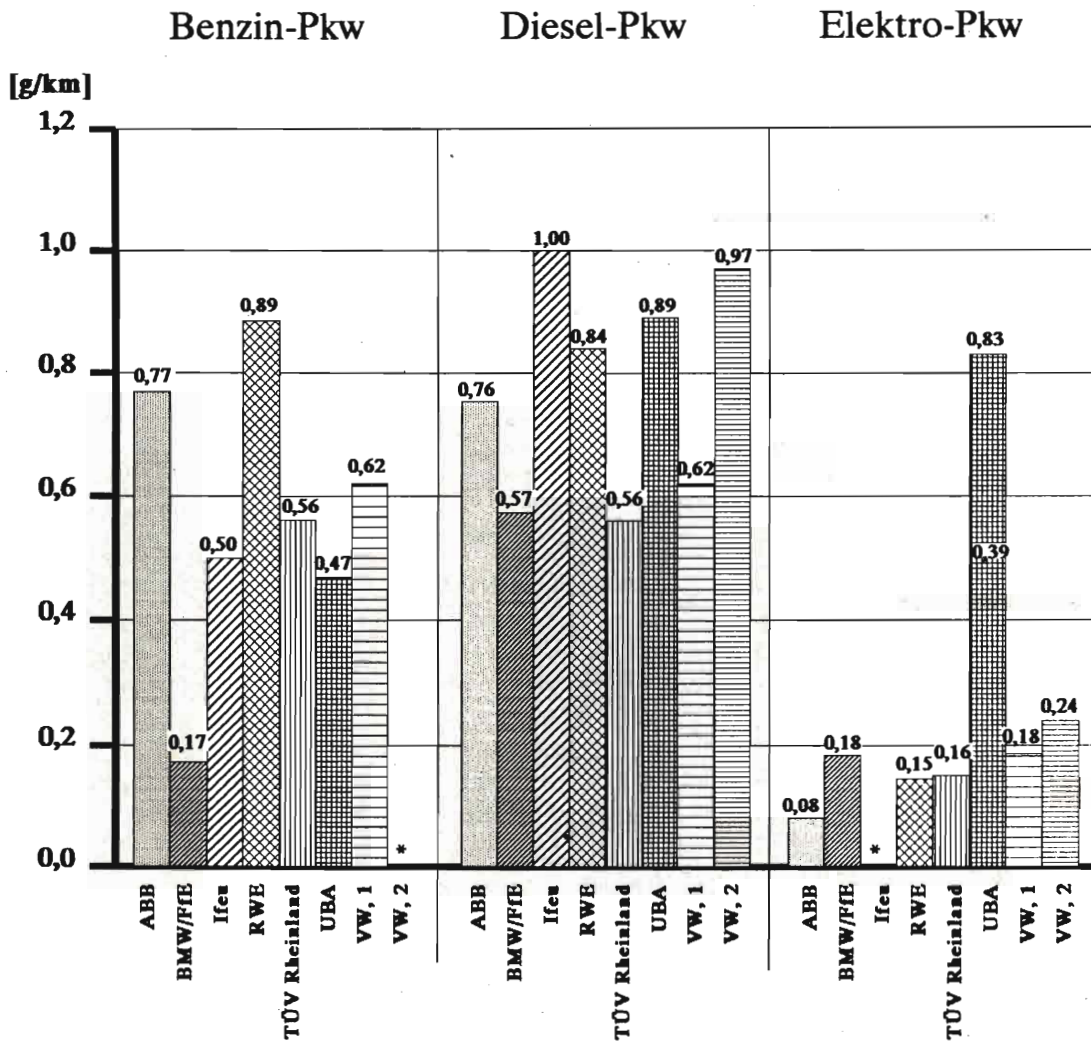
Von den genannten Quellen angegebene Kohlendioxid-Emissionen
von Benzin-, Diesel- und Elektro-Pkw



JS515 4-2-11

Abbildung 4.2-1/2

Von den genannten Quellen angegebene Stickoxid-Emissionen
von Benzin-, Diesel- und Elektro-Pkw



Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft,
Vergleich verschiedener Emissionsrechnungen für Otto-, Diesel- und Elektro-Pkw, 1992

JS5154-2-12

Abbildung 4.2-2

Vergleich des spezifischen Endenergieverbrauchs verschiedener Elektro-Straßenfahrzeuge
in Abhängigkeit von der Fahrtstrecke

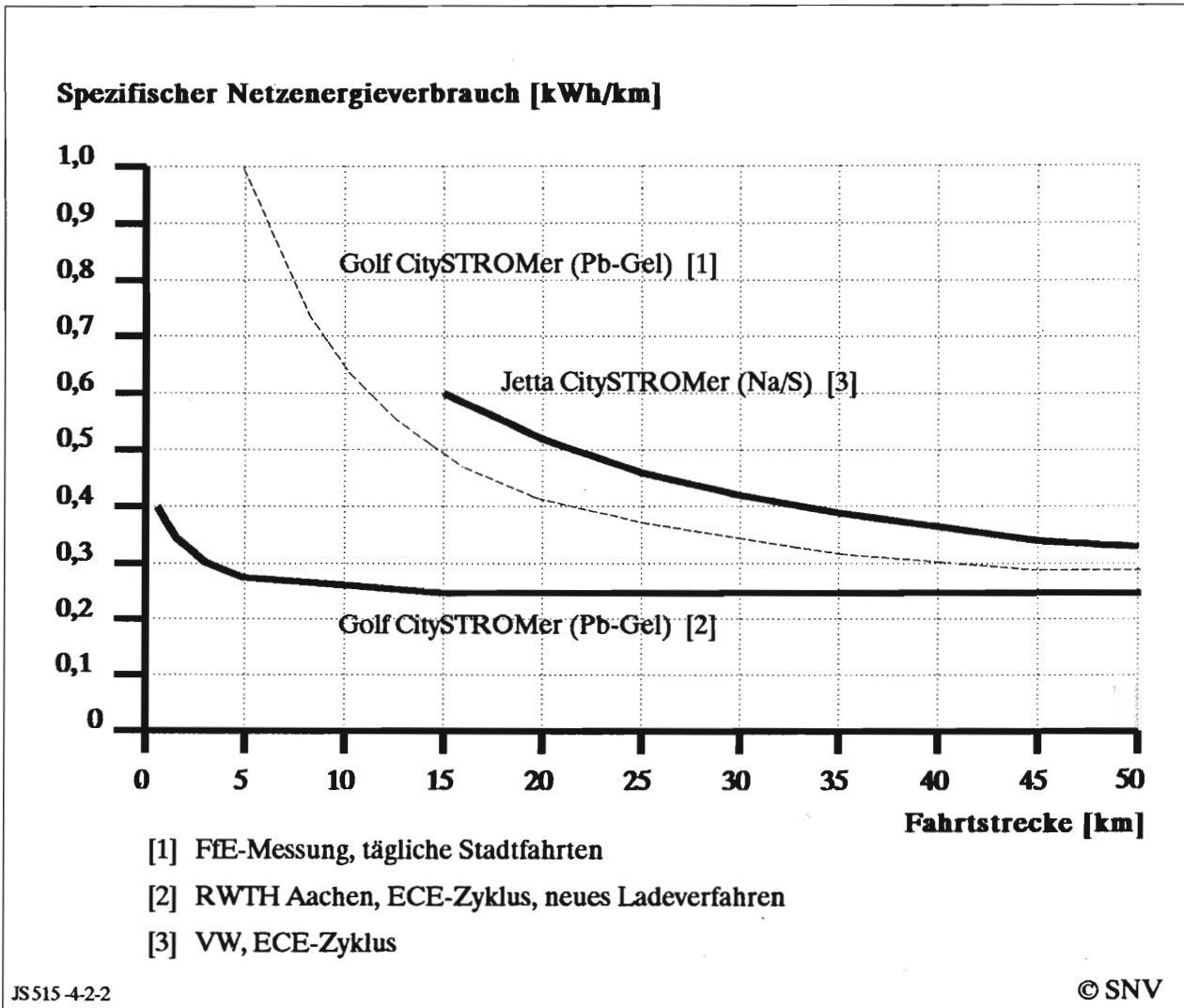


Abbildung 4.3-1

Luftverunreinigung in der Bundesrepublik Deutschland 1980—1990

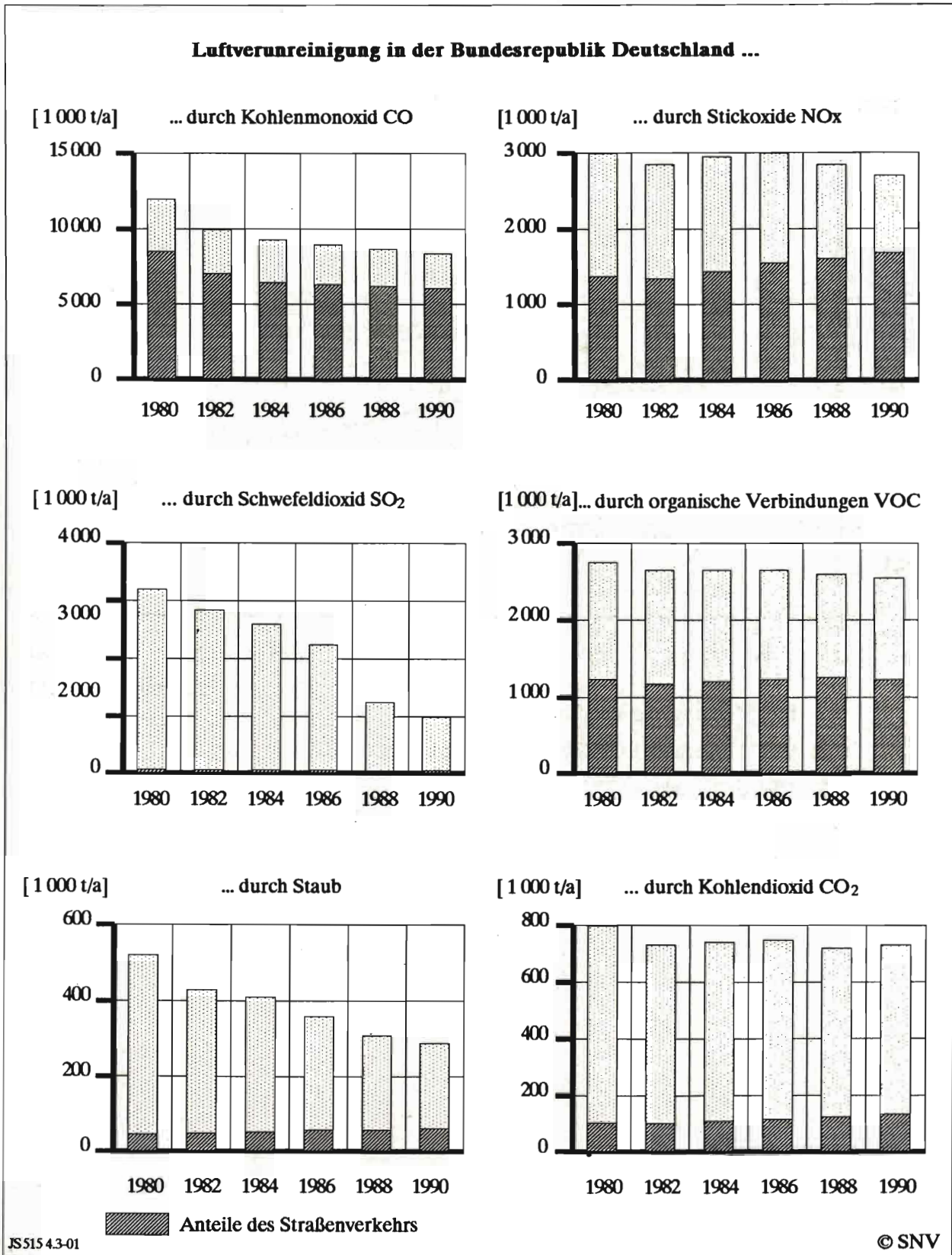


Abbildung 4.3-2

Relative Emissionsbilanz des Elektrofahrzeugs bezogen auf Vergleichsfahrzeuge mit Diesel- und Otto-Motor

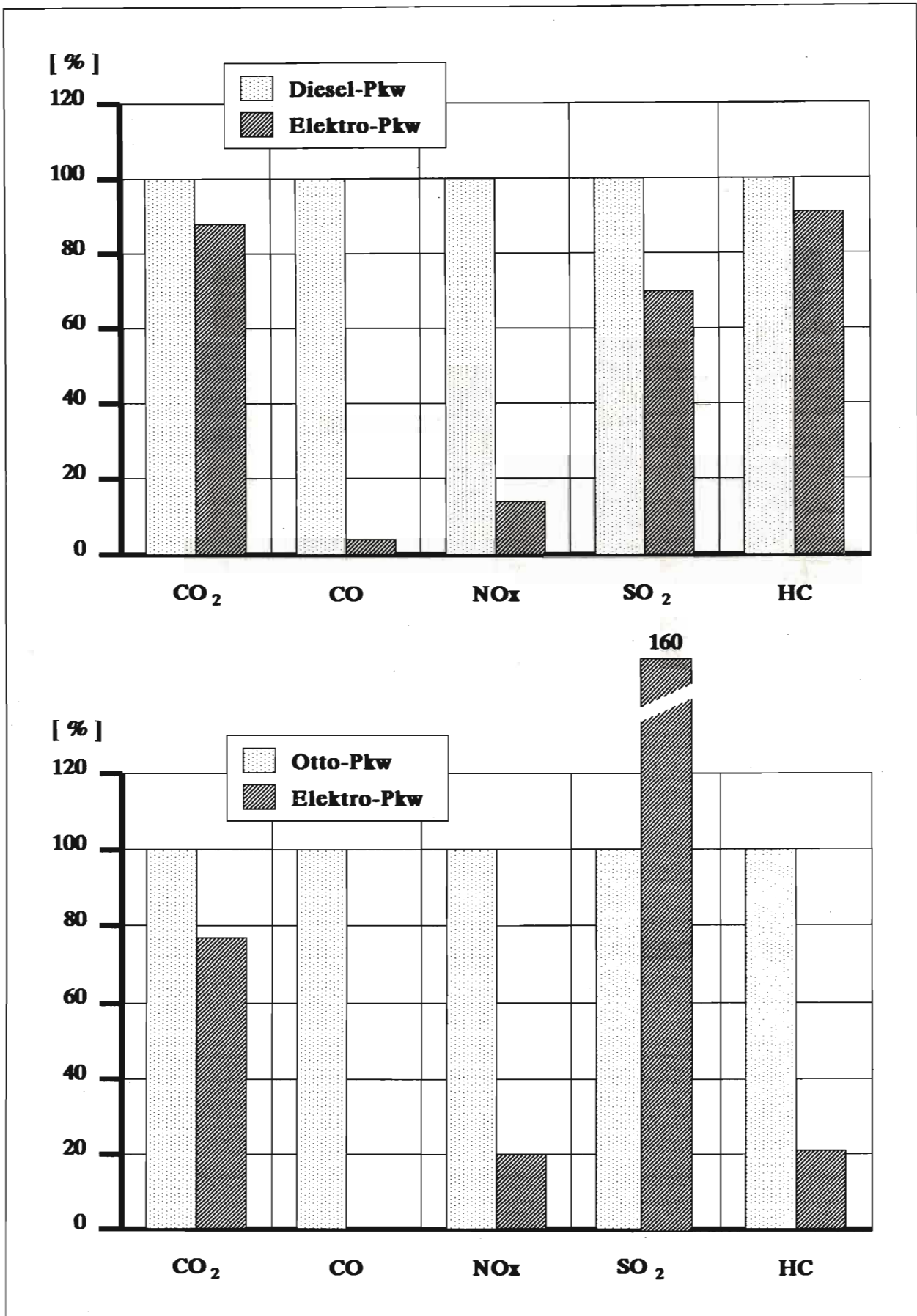


Abbildung 4.3-3

Mittlere Stickoxid-Immissionen und Anteile einzelner Emittentengruppen im Belastungsgebiet Untermain, berechnet auf Basis des Emissionskataster mittels Ausbreitungsrechnung für 26 Aufpunkte [Quelle UBA]

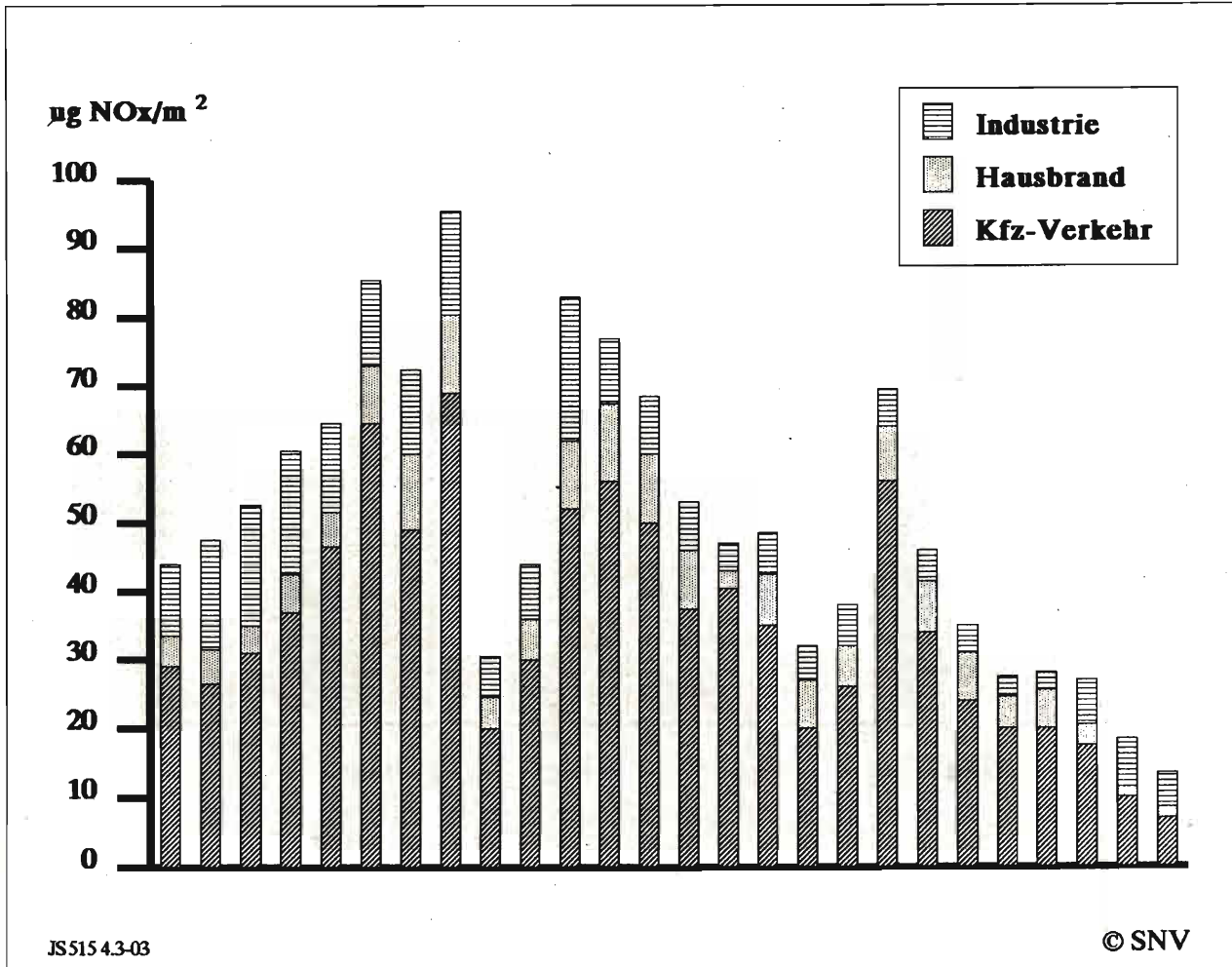


Abbildung 5.1-1

Vergleich der Kostenstrukturen für Klein-Pkw

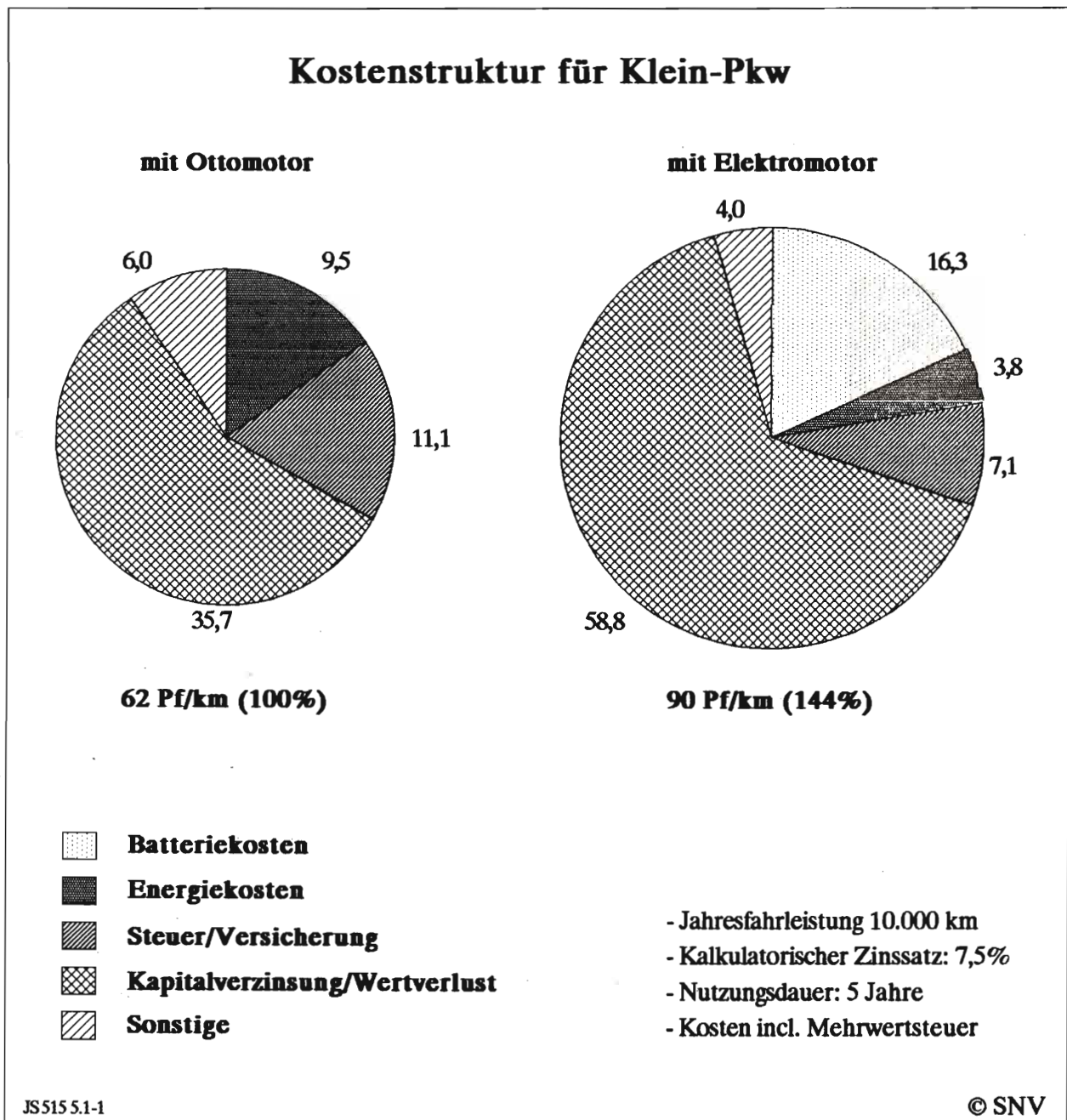
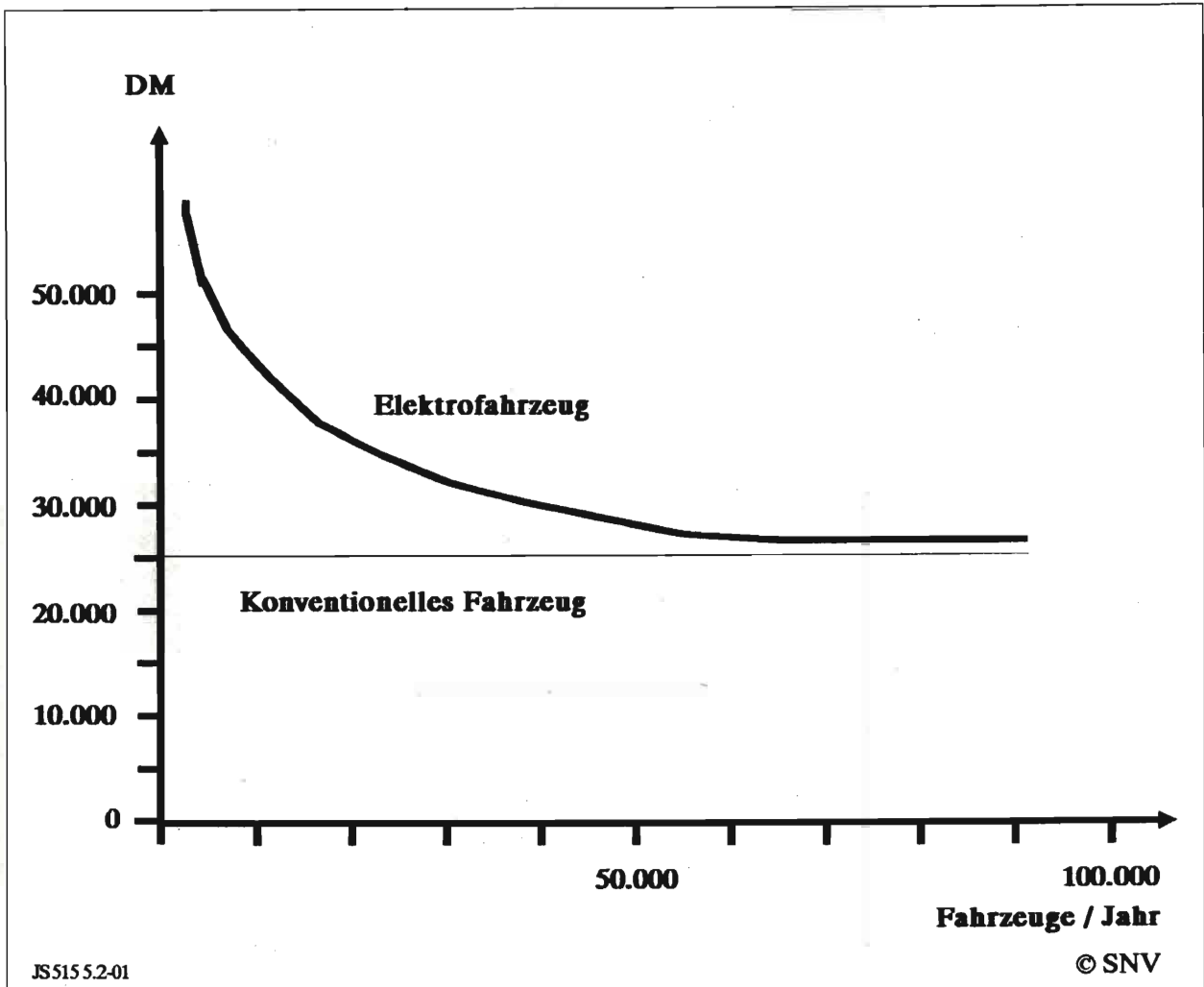


Abbildung 5.2-1

Prognose der Investitionskosten von Elektrofahrzeugen (incl. Blei-Gel Batterie)
in Abhängigkeit der pro Jahr produzierten Stückzahlen



Anlagen

Anlage 1

Übersicht über Elektro-Pkw (keine Gewähr für Vollständigkeit)

Fahrzeug	Fahrzeugdaten				Antrieb			Batterie	Reichweite km	Höchstgeschwindigkeit km/h	Netzenergieverbrauch kWh/100 km	Preis
	Sitzplätze	zul. Gesamtgewicht kg	Leergewicht kg	Zuladung kg	Art	Nennleistung kW	max. Leistung kW					
BMW 3er	4	1600	1250	350	GNM	17	25	Na/S	135-170	100		
BMW E1	2		900			32		Na/S	250	120	13	Prototyp
City-Car	2	1080	775	305	GRM	8,5	17	Pb/PbO ₂ s	50-90	90	21-24	34900 DM
Colenta Pkw Kombi	4	1600	1150	450		12		Pb/PbO ₂	30-80	65		44000 DM
elbe-mobil 1	4	1150	800	350	DM	10	14,4	Pb/PbO ₂ g	70	85	9-15	31500 DM
elbe-mobil 1	4	1150	850	300	DM	10	14,4	Pb/PbO ₂ g	90	85	9-15	34000 DM
electro micro car L	2	760	580	180	ASM	9,6	15	Pb/PbO ₂ s	58	85	18	26500 DM
electro micro car LS	2	840	620	220	ASM	9,6	15	Pb/PbO ₂ g	58	95	18	28000 DM
electro micro car GLS	2	840	620	220	ASM	9,6	15	Pb/PbO ₂ g	58	95	18	30500 DM
electro micro car spid	2	800	640	160	ASM			Pb/PbO ₂ g	50-80		8-15	30100 sFr
E-Polo	4	1400	1060	340	SPM	11		Pb/PbO ₂ g	100-140	120	15-19	
Waschbusch	4	1400	1060	340	SPM	11		Pb/PbO ₂ g	100-140	120	15-19	
Elektro-Polo IBC	4	1250	950	300	DM	12		Pb/PbO ₂ s	90	75		33500 DM
Elektro-Polo IBC	4	1250	950	300	DM	20		Pb/PbO ₂ s	90	90		37600 DM
ERAD 6.E1	2	800	590	210	GRM	4	6	Pb/PbO ₂ s	44	60	20	22000 DM
ERAD 6.E1	2	800			GRM	4	6	Ni/Cd				
ERAD 6.E2	2	800	620	180	ASM	6	12	Pb/PbO ₂ s	69	80	19	23000 DM
ERAD 6.E2	2	800			ASM	6	12	Ni/Cd				
Fiat Panda Elettra	2	1390	1150	240	GRM			Pb/PbO ₂ s	70-100	70	18-30	37100 DM
Fiat Cinquento Elettra	2	1260	1110	150	GM	6,8	9,2	Pb/PbO ₂ g		80		
Fiat Cinquento Elettra	2	1260	1020	240	GM	6,8	9,2	Ni/Cd		85		
Horlacher City	2	730	550	180	ASM			Pb/PbO ₂ s	70-150	90		
Hotzenblitz EL Sport	4	600	900	300	ASM	6	12	Zn/Br	180-220	70		lieferbar ab 1993
Hotzenblitz EL Sport	4	600	900	300	ASM	12	24	Zn/Br	180-220	120		
KEWET El-Jet	2	990	740	250	GRM	5,5		Pb/PbO ₂ s	30-70	70	20	24850 DM
Larel 202	2	1150	980	170	GRM	14		Pb/PbO ₂ g	30-60		20	34500 sFr
Larel 204	4	1250	980	270	GRM	14		Pb/PbO ₂ g	30-60		20	36500 sFr
Larel 304	4	1150	870	280	SPM	16		Pb/PbO ₂ g	70-90	80	10	
Manthey Elektrabi	3	1100	860	240	GRM	12,5	20	Pb/PbO ₂ s	60-80	85	14	19900 DM

GM = Gleichstrommotor, GRM = Gleichstromreihenschlußmotor, GNM = Gleichstromnebenschlußmotor, DM = Drehstrommotor, ASM = Asynchronmotor, SM = Synchronmotor, SPM = permanent erregter Synchronmotor

Anlage 1a

Übersicht über Elektro-Pkw (keine Gewähr für Vollständigkeit)

— Fortsetzung —

Fahrzeug	Fahrzeugdaten				Antrieb			Batterie Art	Reichweite km	Höchstgeschwindigkeit km/h	Netzenergieverbrauch kWh/100 km	Preis
	Sitzplätze	zul. Gesamtgewicht kg	Leergewicht kg	Zuladung kg	Art	Nennleistung kW	max. Leistung kW					
Mercedes-Benz 190er	4	1896	1576	320	GNM	19	31	Na/NiCl ₂	110-175	115	48	
Mini EL City	1	400	285	115	GM	2,5	3,6	Pb/PbO ₂ s	40-50	40	5-9	11 500 DM
Nissan Micra K10E	3	1260	890	370	ASM	12		Pb	80	100	12	228 000 ÖS
Ökomobil AXEL-E	4		1050		ASM			Pb/PbO ₂ g	60-90	90	20	119 000 ÖS
Opel Impuls 2	4	1730	1330	400	ASM	2x2,5		Pb/PbO ₂ g	103	120		
Peugeot 205 électrique		1130	960	170	GM	18,5		Pb/PbO ₂ g	125	100		
Pinguin 4	2	950	750	200	GRM	7,4	22	Pb/PbO ₂ s	58	70	24	18 800 DM
Pinguin FAVORIT	5	1550	1250	300	GM	13,2		Pb/PbO ₂ s	60-120	90	20	29 700 DM
Pinguin Tavria	5	1490	1115	375	GRM	12	20	Pb/PbO ₂ s	63	90	31	27 000 DM
POP E	2	990	780	210	ASM	12		Pb/PbO ₂ g	60-90	85	15	32 200 DM
Solacraft	2	600	350	250	GRM	1,5		Pb/PbO ₂ s	80	25		15 000 DM
Solec Riva	2	850	560	290	GRM	2x2,5	2x9	Pb/PbO ₂ g	32-50	65	10-19	25 000 DM
Solec Riva	2	850			GRM	2x2,5	2x9	Pb/PbO ₂ g	32-60	65	12-19	
Solec Riva	2	850	670	180	GRM	2x2,5	2x9	Pb/PbO ₂ g	56-70	65	12-20	
Steyr Diamant	2	850	660	190	ASM	6,5		Pb/PbO ₂	50-70	65	15	29 600 sFr
Torpedo A28	4	1400	1110	290	GRM	8,2		Pb/PbO ₂	60-80	90	20-25	28 500 sFr
Torpedo Club	4	1470	1150	320	GRM	11		Pb/PbO ₂ s	60-80	90		21 000 sFr
Trabant P601K	3	1040	790	250	ASM	10	14	Pb/PbO ₂ s	80-100	85	8	28 500 DM
VW Golf CitySTROMer II		1690	1410	280	GNM	15		Pb/PbO ₂ g	56-81	100	20-28	70 000 DM
VW Jetta CitySTROMer	4	1530	1200	330	GNM	15	18	Na/S	120	105	30	

GM = Gleichstrommotor, GRM = Gleichstromreihenschlußmotor, GNM = Gleichstromnebenschlußmotor, DM = Drehstrommotor, ASM = Asynchronmotor, SM = Synchronmotor, SPM = permanent erregter Synchronmotor

Anlage 2

Übersicht über Elektro-Transporter (keine Gewähr für Vollständigkeit)

Fahrzeug	Fahrzeugdaten				Antrieb			Batterie	Reichweite km	Höchstgeschwindigkeit km/h	Netzenergieverbrauch kWh/100 km	Preis
	Sitzplätze	zul. Gesamtgewicht kg	Leergewicht kg	Zuladung kg	Art	Nennleistung kW	max. Leistung kW					
Citroen C25E	2	1690	1390	300	GNM	15		Pb/PbO ₂ g	70	80	18-20	217 600 ÖS
Citroen C15E	3	3190	2390	800	GNM	25		Pb/PbO ₂ g	70	80	30	303 900 ÖS
Colenta Minicab Bus	5	1640	1270	370	GRM	11	27	Pb/PbO ₂ g	61	65	33	40 000 DM
Colenta Minicab Pritsche	2	1640	1270	370	GRM	11	27	Pb/PbO ₂ g	61	65	33	41 500 DM
Colenta Varica Bus	6-7	2000	1300	700		12		Pb/PbO ₂	30-80	50-65		
Colenta Varica Pritsche	2	2000	1300	700		12		Pb/PbO ₂	30-80	50-65		
Fiat Ducato Elettra	2/3	3190	2445	745	GM	25	43	Pb/PbO ₂ g	70	80	30	58 824 DM
Larel Kommunal	2	3500	2600	900	SPM	40		Pb/PbO ₂ g	70-90	80	30	
Mercedes Benz 308E	1+5	4300	3300	1000	GRM	18	25	Pb/PbO ₂ s	55	44	42	85 000 DM
Peugeot J5 Electrique	2-3	3190	2390	800	GM	25	43	Pb/PbO ₂ g	70	80	30	303 900 ÖS
Solcar		2850	1850	1000	GM	27	32	Ni/Cd	60-100	110	30	59 500 sFr
Torpedo Poker	2	1700	1150	550	GRM	8		Pb/PbO ₂ g	50-70	55	16	
VW Elektro-Van	3	2900	2270	630	ASM	22	30	Ni/Cd	65	90	29-46	

Anlage 3

Übersicht über Elektro-Busse (keine Gewähr für Vollständigkeit)

Fahrzeug	Fahrzeugdaten				Antrieb			Batterie	Reichweite km	Höchstgeschwindigkeit km/h	Netzenergieverbrauch kWh/100 km	Preis
	Sitzplätze	zul. Gesamtgewicht kg	Leergewicht kg	Zuladung kg	Art	Nennleistung kW	max. Leistung kW					
Cobus 200 EL	14	5450	3450	2000	DM	40		Na/S	90-110	70	35-60	ca. 420 000 DM
Larel Elektro	15+5	4400	2500	1900	SPM	40		Na/S	150	60	40	
Neoplan N8008 E	27-40	7500	4240	3260	GNM	28		Ni/Cd	50-70	30		300 000 DM
SteyrEly Bus	15+11				GM	2×22,5		Pb/PbO ₂ s	50-70	80	90	300 000 DM
Vetter 8SH-L/B+S	15+30	10 000	6 500	3 500	GRM	15	26	Pb/PbO ₂ s	75	20-40	35	400 000 DM

GM = Gleichstrommotor, GRM = Gleichstromreihenschlußmotor, GNM = Gleichstromnebenschlußmotor, DM = Drehstrommotor, ASM = Asynchronmotor, SM = Synchronmotor, SPM = permanent erregter Synchronmotor

