Energie- und Umweltbilanz des Elektroautos

Autor(en): **Sporckmann, B.**

Objekttyp: **Article**

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 (Jahr): **79 (1988)**

Heft 16

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904065

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Energie- und Umweltbilanz des Elektroautos

B. Sporckmann

Der Beitrag beschreibt typische Elektrizitätsverbrauchswerte von Elektrofahrzeugen, wie sie aufgrund von Flottenversuchen in den vergangenen Jahren in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurden. Darauf aufbauend wird ein Vergleich der Schadstoffemissionen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Elektroautos vorgestellt. Unter Berücksichtigung der besonderen schweizerischen Stromerzeugungsstruktur kann das Elektrofahrzeug in der Schweiz praktisch als emissionsfreies Verkehrsmittel betrachtet werden.

L'article décrit des valeurs de consommation d'électricité typiques, telles qu'elles ont été établies au cours des dernières années en République fédérale d'Allemagne. Une comparaison des émissions de substances toxiques est faite à ce propos entre des véhicules avec moteur à combustion et des véhicules électriques. Compte tenu de la structure particulière de la production d'électricité suisse, le véhicule électrique peut être considéré en Suisse comme un moyen de transport n'entraînant pour ainsi dire pas de dégagement de substances toxiques.

Adresse des Autors:
Dr.-Ing. *Bernd Sporckmann*,
Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG,
Abt. Anwendungstechnik, Postfach 10 31 65,
D-4300 Essen 1.

1. Einleitung

Eine Analyse der Umweltbilanz des Elektroautos setzt genaue Kenntnisse über den Energieverbrauch dieser Fahrzeuge voraus. Um den mittleren Energieverbrauch verschiedener Elektrofahrzeugtypen ermitteln zu können, sind Feldversuche mit ausreichender Fahrzeuganzahl erforderlich. Aus Ergebnissen von Flottenprogrammen des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE), mit denen 1972 begonnen wurde, lassen sich die benötigten Energieverbrauchswerte herleiten.

Aus der Vielzahl von Umweltaspekten des Elektroautos wird der wichtigste, die Berechnung der mit dem Betrieb verbundenen Schadstoffemissionen, herausgegriffen, wobei nur die Schadstoffe Staub, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe berücksichtigt werden. Die Ermittlung der Schadstoffemissionen schliesst die gesamte Energieumwandlungskette von der Primärenergiegewinnung bis zur Umwandlung von End- in Nutzenergie ein. Andere Umweltbelastungen, die sich z.B. aus der Produktion und der Entsorgung ergeben, werden hier nicht betrachtet.

Der sich anschliessende Vergleich mit Verbrennungsmotorfahrzeugen zeigt, welch deutliche Umweltvorteile das Elektroauto aufweist. Die Aussagen zur Umweltbilanz des Elektroautos werden auf die Länder Bundesrepublik Deutschland und Schweiz beschränkt.

2. Energieverbrauch von Elektrostrassenfahrzeugen

Seit 1973 wurden vom RWE Flottenprogramme mit unterschiedlichen Elektrostrassenfahrzeugen aufgelegt. Begonnen wurde mit insgesamt 130 Elektrotransportern von Volkswagen und Daimler-Benz. Die technischen Daten dieser Fahrzeuge sind zusammen mit den wichtigsten Ergebnissen des Flottenprogrammes in Tabelle I zusammengestellt [1]. Ab 1974 wurden ferner in den Städten Mönchengladbach und Düsseldorf insgesamt 20 Elektrolinienbusse eingesetzt, von denen die letzten beiden Mitte 1988 ausser Betrieb gehen. Zu diesem Versuchsprogramm gibt Tabelle II die wichtigsten Ergebnisse wieder [2]. Im Jahr 1983 begann schliesslich auch der

Tabelle I
VW-Elektrotransporterprogramm

Zulässiges Gesamtgewicht	3 075	kg
Höchstgeschwindigkeit	72	km/h
Reichweite	50–70	km
Fahrzeuganzahl	70	
Durchschnittsverbrauch	520	Wh/km
Gesamtkilometerleistung	5	Mio km
Versuchszeitraum	1972–1988	

Tabelle II
Batterie-Elektrobusprogramm

Zulässiges Gesamtgewicht	21 400	kg
Fahrzeuganzahl	20	
Durchschnittsverbrauch	2,67	kWh/km
Gesamtkilometerleistung	10,5	Mio km
Versuchszeitraum	1974–1988	

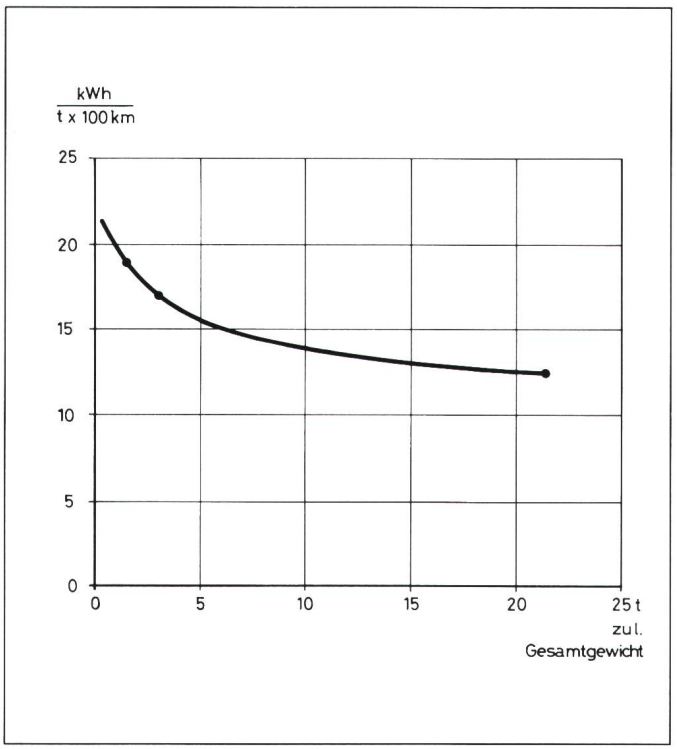
Feldversuch mit 70 CitySTROMern, auf Elektroantrieb umgerüstete VW-Golf-Personenwagen (Tabelle III, [3]).

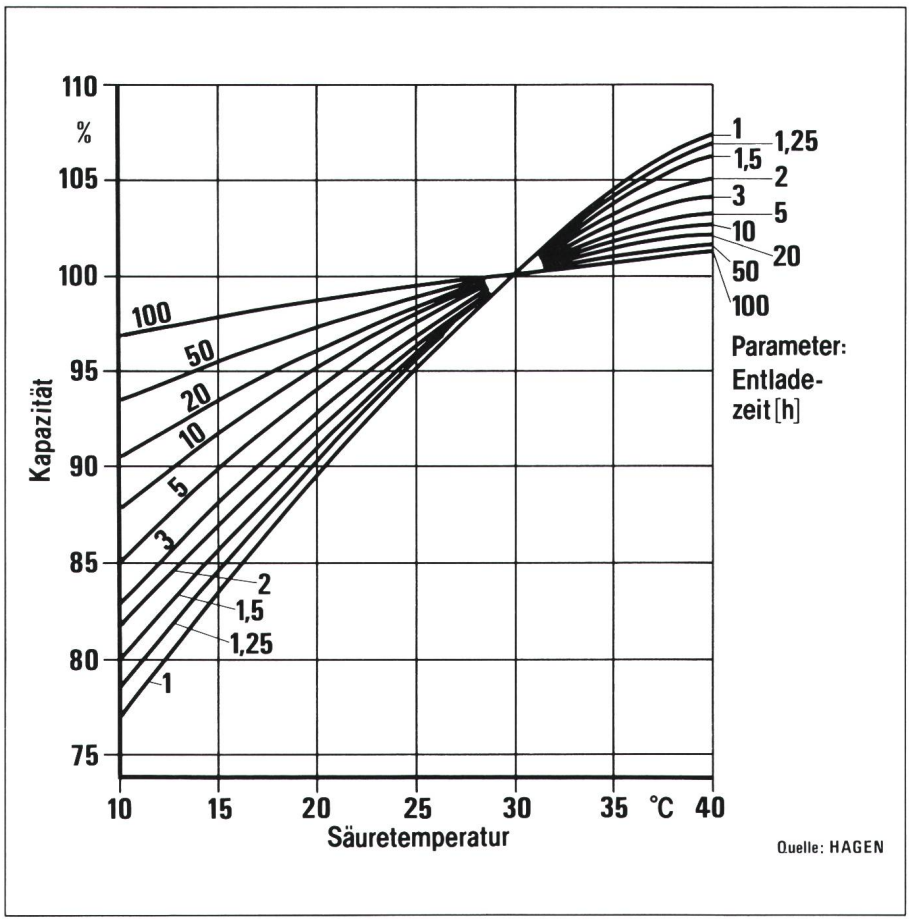
Aus den Ergebnissen der drei genannten Flottenprogramme lassen sich die mittleren spezifischen Energieverbräuche für unterschiedliche Fahrzeugtypen ermitteln. Unter dieser Bezeichnung wird der mittlere Netzenergieverbrauch pro gefahrenem Kilometer und pro Tonne zulässigem Gesamtgewicht verstanden. Aufgetragen über dem zulässigen Gesamtgewicht zeigt Figur 1 den spezifischen Fahrenergieverbrauch. Während beim Bus etwa 12 kWh/t·100 km, beim VW-Transporter etwa 17 kWh/t·100 km erreicht werden, sind es beim CitySTROMer schon 19 kWh/t·100 km. Man erkennt, dass auch hier – wie fast immer in der Technik – der spezifische Energieverbrauch zu kleinen Einheiten hin ansteigt. Beschränkt man sich auf das Beispiel CitySTROMer, so sind zu den Fahrenergieverbrauchswerten noch die Stromverbräuche für Batterieheizung und für Fahrgastraumvorwärmung hinzuzufügen. Wird die Fahrgastraumheizung als Benzinheizung ausgeführt, ist mit einem Verbrauch von etwa 60 l pro Heizsaison zu rechnen.

Verzichtet man auf eine Batterieheizung, sind deutliche Einbussen in der entnehmbaren Kapazität der Bleibatterie bei niedrigen Aussentemperaturen zu erwarten, wie Figur 2 zeigt. Dies gilt insbesondere für den Bereich kleiner Entladezeiten, also für den Bereich, in dem Fahrzeugbatterien normalerweise eingesetzt werden. Gilt die Reichweite im Winter als Auslegungskriterium, so ist bei Verzicht auf eine Batterieheizung die Batterie entsprechend dem Rückgang der entnehmbaren Kapazität grösser zu dimensionieren. Dies führt zu einem Anstieg der masseabhängigen Fahrwiderstände, wodurch unter Umständen ein höherer Gesamtenergieverbrauch verursacht werden kann.

Geht man von einer Jahreskilometerleistung von 8000 km aus, die beim privaten Einsatz eines Elektroautos als obere Grenze angesehen werden kann, so sind bei Fahrzeugen wie dem CitySTROMer Jahresstromverbräuche, wie sie in Tabelle IV zusammengestellt sind, zu erwarten. Bei kleineren Elektrofahrzeugen, wie sie vor allem in der Schweiz vermehrt angeboten werden, ist mit geringeren Kilometerleistungen zu rechnen. Ein solches Fahrzeug mit etwa 750 kg zulässigem Gesamtgewicht wird bei deutli-

Figur 1 Spezifischer Energieverbrauch in Abhängigkeit vom zulässigen Gesamtgewicht verschiedener Elektrofahrzeuge





Figur 2 Temperaturabhängigkeit der Kapazität bei Bleibatterien

chem Verzicht auf Komfort und Sicherheit Jahresstromverbräuche von unter 1000 kWh erreichen können, wobei ein spezifischer Energieverbrauch von 21 kWh/t · 100 km angesetzt wurde.

3. Immission und Emission

Beschränkt man sich auf die in Kapitel 1 aufgezählten Schadstoffe, so sind vor allem die Immissionen, also die unmittelbaren Einwirkungen von Schadstoffen auf die Umwelt und den Menschen in einem bestimmten Raum, für die Schädigung der Umwelt verantwortlich. Immissionsberechnungen lassen sich jedoch nur ortsgebunden und mit hohem Aufwand durchführen. Zudem sind Ergebnisse nur bedingt übertragbar. Es ist jedoch unstrittig, dass nur die Reduzierung der Emissionen auch die Immissionen vermindert. Aus diesem Grund werden nachfolgend allein die Emissionen betrachtet. Die zunehmend globaler durchzuführende Betrachtung von Umweltschutzproblemen rechtfertigt zusätzlich diese Vorgehensweise.

Zur Feststellung der Emissionen, die Elektrofahrzeuge verursachen, werden für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz zunächst die Emissionsmengen pro kWh elektrischer Energie berechnet. Dabei ist die Wandlung von Endenergie in Nutzenergie beim Strom immer emissionsfrei; nur die vorgeschalteten Energieumwandlungsstufen, hier vor allem die Stromerzeugung im Kraftwerk, sind emissionsbehaftet. Die Berechnung der Emissionsmengen pro kWh beinhaltet die Zuordnung des Verbrauchers Elektrostrassenfahrzeug zu den Lastgruppen Grundlast, Mittellast und Spitzenlast; eine Zuordnung der so berechneten Emissionsmengen zu anderen Verbrauchsgruppen ist deshalb unzulässig. Wegen der zu erwartenden Hauptladephase in der Nacht ist ein Elektrofahrzeug nahezu als Grundlastverbraucher anzusehen.

Für die Stromerzeugung in der Bundesrepublik wird deshalb folgende Verteilung nach Primärenergien vorausgesetzt: 40% Kernenergie, 36% Steinkohle, 20% Braunkohle und 4% Wasserkraft. Berücksichtigt werden die einschlägigen gesetzlichen Vorschriften, z.B. die Grossfeuerungsanlagen-Verordnung der Bundesrepublik Deutschland, der 200-mg/m³-Rauchgas-Grenzwert für Stickoxide bzw. die Luftreinhaltevorschrift der Schweiz. Die Berechnungen sind an den von Fichtner durchgeführten Emissionsvergleich verschiedener Heizungssysteme angelehnt [4], bei dem für jede Energieumwandlungsstufe der Energieverbrauch ermittelt wird. Mit zugeordneten Emissionsfaktoren ergeben sich so die Emissionsmengen jeder Stufe. Die Abschätzung der tatsächlichen Emissionsmengen aus gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten setzt voraus, dass die Anlagen aus wirtschaftlichen Gründen sehr nah am zulässigen Grenzwert gefahren werden. Der Jahresnutzungsgrad für Steinkohlekraftwerke wird in Anlehnung an [5] und [6] mit 38% und der für Braunkohle mit 36% angesetzt. Der Transport des Stromes wird mit 6% Verlusten berücksichtigt. Damit erhält man die Emissionsfaktoren, die in Tabelle V zusammengestellt sind. Entsprechend den Jahresenergieverbrauchswerten lassen sich damit die Emissionsmengen eines Elektrofahrzeuges in der Bundesrepublik Deutschland berechnen. In der Schweiz werden nur 1,8% der elektrischen Energie in konventionell-thermischen Kraftwerken erzeugt [7]. Damit ergeben sich unter Berücksichtigung der Luftreinhaltevorschrift nur äusserst geringe Emissionsfaktoren. Rechnerisch ergeben sich die ebenfalls in Tabelle V zusammengestellten Werte.

Tabelle III CitySTROMerprogramm

Zulässiges Gesamtgewicht	1 670 kg
Höchstgeschwindigkeit	100 km/h
Beschleunigung 0–50 km/h	13 sec
Reichweite	45–65 km
Fahrzeuganzahl	70
Durchschnittsverbrauch	320 Wh/km
Gesamtkilometerleistung bisher	1 Mio km
Versuchszeitraum	seit 1982

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Zulässiges Gesamtgewicht	1670 kg	750 kg
Verbrauch	325 Wh/km	160 Wh/km
Fahrleistung	8000 km/a	5000 km/a
Stromverbrauch:		
- Fahrenergie	2600 kWh/a	800 kWh/a
- Batterieheizung	400 kWh/a	-
- Fahrgastraumheizung	500 kWh/a	-
Gesamtstromverbrauch	3500 kWh/a	800 kWh/a

Tabelle IV Energieverbrauchswerte unterschiedlicher Elektro-Pkw

	Staub	SO_2	NOx	CO	HC
BRD	65	480	465	95	35
Schweiz	2	16	11	3	1

Tabelle V Emissionsfaktoren in mg/kWh für Elektro-Pkw (Anteil konventionell-thermische Kraftwerke BRD 56%, Schweiz 1,8%)

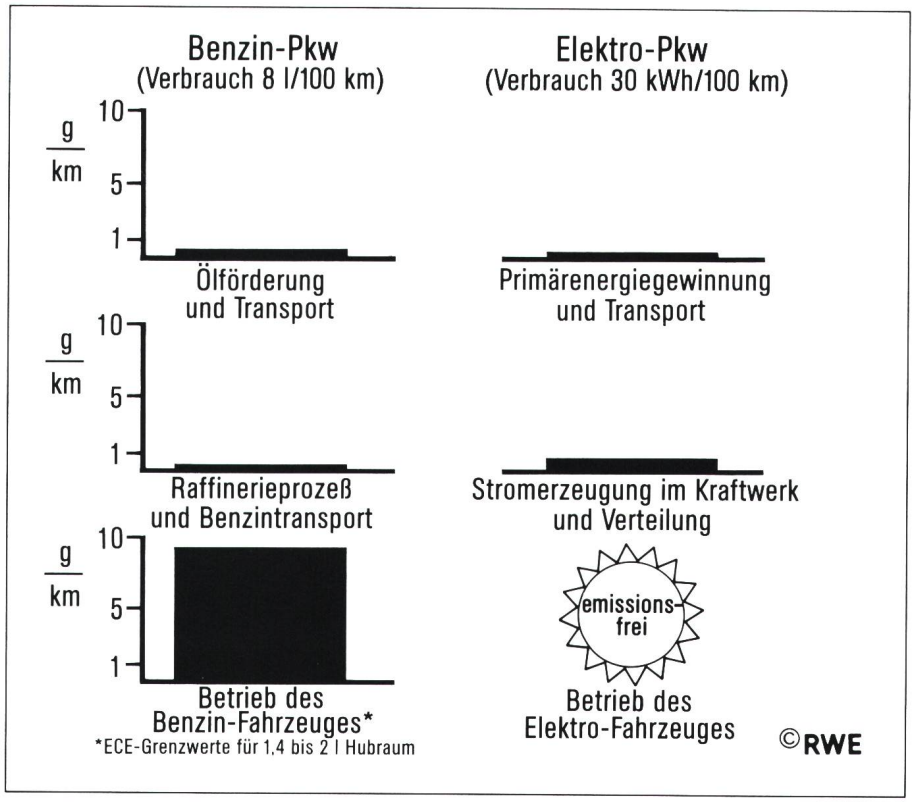
4. Emissionsvergleich von Elektro- und Verbrennungsmotorfahrzeugen

Will man die Emissionswerte von Elektro- und Verbrennungsmotorfahrzeugen gegenüberstellen, so stellt sich zunächst die Frage nach der Vergleichbarkeit. Der Verbrennungsmotor erlaubt ein universell einsetzbares Fahrzeug, mit dem man wegen der kurzen Tankzeiten praktisch keine Reichweitenbeschränkung wahrnimmt. Beim Elektrofahrzeug wird unabhängig vom Speichersystem die Nachladezeit immer im Stundenbereich bleiben, so dass ein Elektrofahrzeug nur ein Nahverkehrsmittel sein kann, klammert man die Batteriewechseltechnik aus wirtschaftlichen Gründen aus. Als Vergleichszyklus bietet sich somit der ECE-R15-Stadtzyklus an; als Ver-

gleichsfahrzeug wird der VW-Golf gewählt, der sowohl in Benzin- bzw. Dieselversion wie auch als CitySTROMer mit Elektroantrieb existiert. Als Grenzwerte werden für die Bundesrepublik Deutschland die ECE-Grenzwerte für Verbrennungsmotorfahrzeuge mit einem Hubraum zwischen 1,4 und 2,0 l verwendet, für die Schweiz die US-Grenzwerte. Wie schon bei der Ermittlung der Emissionsmengen aus Kraftwerken werden auch beim Verbrennungsmotor die tatsächlichen Emissionsmengen durch gesetzlich fixierte Grenzwerte abgeschätzt. Wo die tatsächlichen Emissionsmengen liegen werden, ist erst nach entsprechend umfangreichen Versuchen zu beantworten, sie dürften sich aber über die Fahrzeuglebensdauer gerechnet nicht weit von den Grenzwerten entfernen. Sind die tatsächlichen Emissionswerte, vor allem bei der Rohölförderung und beim Rohöltransport, unbekannt, werden deutsche Verhältnisse unterstellt, was zu einer sehr günstigen Abschätzung für den Verbrennungsmotor-Pkw führt.

Die sich beim Pkw ergebenden Emissionsmengen auf den Energieumwandlungsstufen Primärenergiegewinnung, Endenergieerzeugung sowie Nutzenergieumwandlung, jeweils unter Berücksichtigung von Transportanteilen, zeigt als Summendarstellung Figur 3. Während der Betrieb eines Elektrofahrzeuges am Einsatzort emissionsfrei ist, produziert hier der Verbrennungsmotor-Pkw die meisten Schadstoffe. Unter deutschen Verhältnissen, die Figur 3 zugrundeliegen, sind die Emissionsmengen auf den vorgeschalteten Energieumwandlungsebenen vergleichbar. Die Emissionsfreiheit der Stromanwendung erklärt den Grössenordnungsunterschied in der Freisetzung von Schadstoffen beider Systeme.

Eine Summendarstellung suggeriert gleiche Schädigungswirkung aller betrachteten Schadstoffe; korrekter ist die Darstellung getrennt nach Schadstoffen, die jedoch keinen Gesamteindruck mehr zulässt. Die Schadstoffmengen getrennt nach Schadstoffen sowohl für Diesel- und Benzinfahrzeuge als auch für den Elektro-Pkw sind in Tabelle VI zusammengestellt. Tabelle VII zeigt die Ergebnisse des Vergleiches für Schweizer Verhältnisse. Hier werden wegen des sehr geringen Anteils konventioneller thermischer Kraftwerke an der Erzeugung elektrischer Energie nur sehr geringe Schadstoffmengen durch den Betrieb eines Elektroautos freigesetzt. Sollte dieser Anteil in Zukunft weiter zurückgehen, kann das Elektrofahrzeug in der Schweiz als emissionsfreies Verkehrsmittel betrachtet werden.



Figur 3 Schadstoffemissionen auf unterschiedliche Energieumwandlungsebenen

	Staub	SO_2	NO_x	CO	HC
Benzin-Pkw	20	80	1300	7400	900
Diesel-Pkw	140	200	1300	7400	900
Elektro-Pkw	20	150	150	30	10

Tabelle VI Emissionswerte in mg/km für Benzin-, Diesel- und Elektro-Pkw für die Bundesrepublik Deutschland

(Grenzwert Schwefelanteil im Dieselkraftstoff 0,15%, Partikelemission für Diesel-Pkw US-Grenzwert, ECE-Grenzwerte für NO_x + HC und CO für Hubraumklassen 1,4 bis 2 Liter).

	Staub	SO_2	NO_x	CO	HC
Benzin-Pkw	15	80	850	2100	300
Elektro-Pkw	1	5	4	1	1

Tabelle VII Emissionswerte in mg/km für Benzin- und Elektro-Pkw für die Schweiz (US-Grenzwerte für Benzin-Pkw).

Literatur

[1] BMFT-Demonstrations- und Forschungsvorhaben Alternative Energien für den Strassenverkehr, Projektbereich Elektrotraktion. Forschungsbericht, Berlin 1985.

[2] GES/Rhein-Consult: Abschlussbericht Versuchseinsatz von 20 Batterie-Elektrobussen im öffentlichen Linienverkehr. Essen/Düsseldorf, April 1986.

[3] *Zander, E.:* Alltagserfahrungen mit Elektrofahrzeugen. Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft e.V. Reihe B 103, Berlin 1987.

[4] *Fichtner Development Engineering:* Umweltvergleich von elektrischen mit anderen Heizsystemen. Stuttgart.

[5] *Courbiere, R. von, Kretschmer, W.:* Wie umweltfreundlich ist das Elektromobil? Energiewirtschaftliche Tagesfragen 2/87.

[6] *Sporckmann, B.:* Schadstoffemissionsvergleich dieselmotorisch und elektrisch angetriebener Flurförderzeuge. fördermittel journal Heft 6/87.

[7] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1986. Sonderdruck aus Bulletin SEV/VSE 78(1987), Heft 12.