

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Emissionsfaktoren der Motorfahrzeuge  
**Autor:** Evéquoz, Roger  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76589>

#### Nutzungsbedingungen

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

#### Conditions d'utilisation

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

#### Terms of use

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

**Download PDF:** 12.01.2026

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

Das ist ein Film über eine Handvoll Menschen, die bereit sind, den Automatismus ihres Lebens aufzugeben, indem sie sich den Begegnungen, die der Zufall herbeiführt, widmen. Souter hat die Handlung seines Films so beschrieben: «A begegnet B und liebt B, aber B geht weg. A begegnet C und glaubt, es sei C. C will A lieben, aber A denkt an B. A sucht B, aber B ist bei C. Wenn A B bei C entdeckt, bleibt B, und A muss gehen.»

A ist der grosse Landvermesser, B ist eine Vagabundin, und C ist eine Lehrerin, eine schüchterne, leicht steife Frau, die «richtig leben» möchte.

Die Beziehungen zwischen den genannten Hauptpersonen werden leicht kompliziert durch das Dazwischenkommen des Kollegen und eines Jugendfreundes von A, des Verlobten von C, ihres Nachbarn und dessen Frau, eines Polizisten usw ...

Doch alles bleibt klar: eine Welt, in der alles möglich ist, wenn man ihr gewachsen ist. Diese Welt ist gefährdet. «Es ist Herbst» – mit diesem Satz beginnt der Film. Und er endet mit der Drohung des Landvermessers, all die Schönheit kaputtzumachen: Die Autobahn, die in der Nähe gebaut wird, macht Fortschritte.

## Harmonie mit der Natur

*Akira Kurosawa «Dersu Uzala» 1975  
Kommentar zu Kurosawas Film  
(Produktionsmitteilung):*

Die Geschichte der Freundschaft des russischen Landvermessers Arseniew mit Dersu Uzala. Der alte Mann stammt aus der Mongolei, hat Frau und Sohn durch die Pest verloren, lebt als Jäger allein in den Wäldern, in Harmonie mit der Natur. Alles ist für ihn belebt – Wasser, Erde, Himmel, Pflanzen. Mit Dersu besteht Arseniew die Bedrohungen durch die Elemente, die Todesgefahr, das Ausgeliefertsein an die Weite der Taiga. Er lernt die Kunst des Überlebens. In Dersu Uzala erkennt Arseniew die Weisheit des Naiven: Erachtet und bewundert sie.

## Schlussbemerkung

Der Verfasser des Artikels ist Kulturingenieur und nicht Kunsthistoriker. Eine kunstkritische Auseinandersetzung mit dem angeschnittenen Thema bleibt Berufener vorbehalten.

Die vorliegende Auswahl von Texten und Bildern erhebt keinen Anspruch auf Repräsentativität oder gar Vollständigkeit. Für Hinweise auf weitere Textstellen und Bilder ist der Autor dankbar.

Adresse des Verfassers: T. Glatthard, dipl. Kulturtechniker, ETH/SIA, Poststrasse 3, 6340 Baar.

tatsächlich herrschenden Verkehrsverhältnisse insgesamt benötigten Zeit. In die mittlere Fahrgeschwindigkeit gehen demnach Beschleunigungen, Verzögerungen und unfreiwilige Halte, beispielsweise an Kreuzungen, ein. Sie widerspiegelt somit das mittlere Fahrverhalten auf einer bestimmten Strecke und entspricht der sogenannten Reisegeschwindigkeit.

Die Emissions- und Verbrauchsfaktoren hängen von einer Reihe von Parametern ab. In Tabelle 1 sind einige dieser Einflussfaktoren beispielhaft aufgeführt.

Unter diesen zahlreichen Einflussfaktoren sind vor allem die Motorenart bzw. Fahrzeugkategorie, die Abgasvorschriften bzw. die verwendeten Schadstoffverminderungssysteme und die mittlere Fahrgeschwindigkeit von Bedeutung.

## Literatur

- [1] Karl Andreas Edlinger (Hg.): Der Ingenieur, der hat's heut schwer, Technik-Geschichten aus 15 Ländern. Wien, 1986
- [2] Hans Sachsse: Anthropologie der Technik. Braunschweig, 1978
- [3] Fritz Winterling: Die Darstellung der Technik in der Literatur, in: Hans Sachsse (Hg.): Technik und Gesellschaft (3 Bände). München, 1974, 1976.
- [4] Wassily Kandinsky, Franz Marc (Hg.): Der Blaue Reiter, Dokumentarische Neuauflage von Klaus Lankheit. München, 1984
- [5] Paul Feyerabend: Wissenschaft als Kunst. Frankfurt am Main, 1984
- [6] Will Durant: Die grossen Denker, II. Aristoteles. Bergisch Gladbach, 1982. Darin zitiert: Aristoteles: Politeia, III, 11
- [7] Johann Wolfgang von Goethe: Die Wahlverwandtschaften. Frankfurt am Main, 1972
- [8] Adalbert Stifter: Der Nachsommer. Frankfurt am Main, 1982
- [9] Max von Eyth: Der Tatarenrebell hinter dem Dampfpflug, in: Hinter Pflug und Schraubstock – Skizzen aus dem Taschenbuch eines Ingenieurs. Stuttgart, 1920
- [10] Franz Kafka: Das Schloss. Frankfurt am Main, 1968
- [11] Jorge Luis Borges: Tlön, Uqbar, Orbis Tertius, in: Die Bibliothek von Babel. Stuttgart, 1974
- [12] Hans Boesch: Der Kiosk. Zürich, 1978
- [13] Erika Burkart: Der Weg zu den Schafen. Zürich, 1979
- [14] Gerhard Meier: Toteninsel. Bern 1979
- [15] Peter Rosei: Drei Berichte, in: Landstriche, Wege, Verstreutes. Salzburg, 1981
- [16] Text: Bernhard Buderath und Henry Makowski: Die Natur dem Menschen untertan, Ökologie im Spiegel der Landschaftsmalerei. München, 1986
- [17] Fritz Billeter, Peter Killer, Willy Rotzler: Moderne Kunst – unsere Gegenwart, Ausstellungskatalog. Pfäffikon, 1985

# Emissionsfaktoren der Motorfahrzeuge

Von Roger Evéquoz, Bern

In Heft 19/87 des «Schweizer Ingenieur und Architekt» sind unter dem Titel «Abgase von Motorfahrzeugen» die wesentlichen Ergebnisse einer umfangreichen, vom Bundesamt für Umweltschutz veröffentlichten Untersuchung über die Entwicklung der Schadstoffemissionen des privaten Strassenverkehrs von 1950 bis 2000 vorgestellt worden. Bei dieser Gelegenheit wurde darauf hingewiesen, dass die wesentlichen Grundlagen für die Emissionsberechnungen, einerseits die Emissionsfaktoren und andererseits die Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeugkategorien, in weiteren Fachartikeln diskutiert werden sollen.

Nachfolgend wird die Frage der Emissionsfaktoren eingehender erläutert. Die Diskussion der Fahrleistungen wird in einem späteren Artikel erfolgen.

## Einleitung

Die Emissionsfaktoren geben die pro gefahrenen Kilometer abgegebenen Schadstoffmengen (g/km) in Abhängigkeit von der Belastung und Drehzahl des Motors oder allgemeiner ausge-

drückt als Funktion der mittleren Fahrgeschwindigkeit (sog. Reisegeschwindigkeit) an.

Unter der mittleren Fahrgeschwindigkeit eines Fahrzeugs versteht man das Verhältnis zwischen einer gegebenen Strecke und der zum Zurücklegen dieser Strecke bei Berücksichtigung der

Einflussfaktoren	Beispiele
- Fahrzeugkategorie - Motorenart - Abgasvorschriften - Schadstoffverminderungssystem - mittlere Fahrgeschwindigkeit	Personenwagen, Lastwagen,... Benzinmotor, Dieselmotor Grenzwerte, Messmethode, ... Abgasrückführung, Katalysator, ... (beeinflusst Motorbelastung und -drehzahl)
- Fahrzeugzustand - Betriebstemperatur - Witterungsverhältnisse - Gelände - Treibstoffzusammensetzung	Wartungszustand, Kilometerstand, ... kalter/warmer Motor Aussentemperatur, Luftfeuchtigkeit, ... Fahrstreckenprofil, Gefälle, Steigung Zetanzahl, Aromatengehalt, ...

Tab. 1. Faktoren, welche die Emissionen und den Treibstoffverbrauch beeinflussen

Fahrzeugkategorie	Benzinmotor		Dieselmotor
	4-Takt	2-Takt	
Personenwagen	×	-	×
Lieferwagen (< 3500 kg)	×	-	×
Schwere Motorwagen <sup>1</sup> (> 3500 kg)	×	-	×
Motorräder	×	×	-
Motorfahrräder	-	×	-

<sup>1</sup> Nutzfahrzeuge/Gesellschaftswagen

Tab. 2. Berücksichtigte Fahrzeugkategorien und Motorenarten

## Methodik

Die Emissions- und Verbrauchsfaktoren bei betriebswarmem Motor wurden getrennt für die verschiedenen Fahrzeugkategorien bzw. Motorenarten, jeweils in Abhängigkeit von den verschiedenen Stufen der Abgasregelung und der mittleren Fahrgeschwindigkeit ermittelt. Bei benzinerbetriebenen Fahrzeugen wurden zudem die Zusatzemissionen durch Kaltstart und durch Verdampfungsverluste bestimmt.

Die Bestimmung der Emissionsfaktoren erfolgte jeweils für die folgenden Schadstoffkomponenten:

- Kohlenmonoxid (CO)
- Kohlenwasserstoffe (HC)
- Stickoxide ( $\text{NO}_x$ )
- Blei (Pb)
- Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ )
- Russ.

## Fahrzeugkategorien und Motorenarten

Ausgehend von der Zusammensetzung des schweizerischen Fahrzeugparks wurden die Emissions- und Verbrauchsfaktoren getrennt für die sechs folgenden *Fahrzeugkategorien* ermittelt:

- Personenwagen (PW)
- Lieferwagen (LI)
- Lastwagen (LW)
- Gesellschaftswagen (Car)
- Motorräder (MR)
- Motorfahrräder (Mofa).

In bezug auf das Abgasemissionsverhalten sind Gesellschaftswagen und Lastwagen durchaus vergleichbar (es werden ähnliche Motoren verwendet). Zur Bestimmung der Emissionsfaktoren wurden diese beiden Fahrzeugkategorien deshalb in der Gruppe der schweizer Motorwagen zusammengefasst.

Innerhalb derselben Fahrzeugkategorie werden z.T. unterschiedliche Motorenarten (2-Takt- oder 4-Takt-Benzinmotoren, Dieselmotoren) als Antriebsaggregat eingesetzt. In der Tabelle 2 sind die betrachteten Fahrzeugkategorien und Motorenarten aufgeführt. Die Katego-

rie der Personenwagen mit Zweitaktmotoren (deren Anteil am Personenwagenbestand um 1960 mit fast 4 Prozent am grössten war, die heute aber kaum mehr vorkommen) wurde mangels Unterlagen nicht gesondert berücksichtigt.

## Einfluss der Abgasvorschriften

Da die *Abgasvorschriften* und in der Folge davon die verwendeten Schadstoffverminderungssysteme das Abgasverhalten der Fahrzeuge wesentlich bestimmen, können die einzelnen Fahrzeugkategorien entsprechend den aufeinanderfolgenden Stufen der Abgasgesetzgebung weiter unterteilt und deren Emissionsfaktoren bei einer einheitlichen Referenzgeschwindigkeit bestimmt werden. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil – gegenüber einer Einteilung nach beispielsweise Baujahr oder Fahrzeugmodelle –, dass die Fahrzeuge zu grösseren, in bezug auf das Abgasverhalten vergleichbareren Stichproben zusammengefasst werden.

Nachstehend wird das Vorgehen zur Ermittlung der Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von den aufeinanderfolgenden Stufen der Abgasregelung am Beispiel der Personenwagen mit Benzинmotor erläutert.

In Europa wurden durch die UNO-Wirtschaftskommission (ECE) anfangs der 70er Jahre erstmals Abgasvorschriften erlassen (sog. ECE-Reglement Nr. 15). Die Schweiz hat diese Vorschriften 1974 übernommen. Sie wurden im Verlauf der siebziger Jahre mehrmals verschärft. Mit der Abgasverordnung (AGV) wurden dann in der Schweiz eigene, strengere Vorschriften in zwei Stufen erlassen (AGV 82 und AGV 86). Ab 1. Oktober 1987 werden die in den USA seit dem Modelljahr 1981 gültigen (üblicherweise als «US 83» bezeichneten) Normen übernommen.

In Tabelle 3 sind die Grenzwerte der verschiedenen Stufen der schweizerischen Abgasgesetzgebung mit Angabe der entsprechenden Prüfverfahren zusammengestellt. Die Ermittlung der Schadstoffemissionen bei der Typenprüfung erfolgt anhand spezifischer Fahrzyklen nach einem Start mit kaltem Motor. Infolge methodischer Unterschiede sind die Grenzwerte bzw. Messwerte der verschiedenen Stufen der Abgasnormen zum Teil nicht direkt miteinander vergleichbar.

Abgasmesswerte, welche mit den für die Typenprüfung verwendeten Fahrzyklen an im Verkehr befindlichen

Tab. 3. Entwicklung der schweizerischen Personenwagen-Abgasvorschriften

Abgasvorschriften	Grenzwerte <sup>1</sup>			Prüfverfahren						
	Bezeichnung	Gültig ab	CO [g/km]	HC [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	Fahrzyklus		Messmethode		
						Bezeichnung	Mittl. Geschw. [km/h]	Höchstgeschw. [km/h]	Probenahme	HC-Messung
ECE 15'00	1.1.1974 <sup>2</sup>	30÷65	2,6÷4,1	-	-	ECE 15	18,8	50	ECE	NDIR
ECE 15'01	1.10.1975	24÷52	2,2÷3,5	-	-	ECE 15	18,8	50	ECE	NDIR
ECE 15'02	1.03.1977	24÷52	2,2÷3,5	3,0÷4,7	-	ECE 15	18,8	50	ECE	NDIR
ECE 15'03	1.10.1979	19÷42	1,9÷3,1	2,5÷4,0	-	ECE 15	18,8	50	ECE	NDIR
AGV 1982	1.10.1982	24,2	2,1	1,9	-	FTP 72	31,7	91,2	CVS	FID
AGV 1986	1.10.1986	9,3	0,9	1,2	-	FTP 72	31,7	91,2	CVS	FID
US 1983	1.10.1987	2,1	0,25	0,62	-	FTP 75	34,1	91,2	CVS	FID

<sup>1</sup> ECE-Reglement 15: Seriengrenzwerte

<sup>2</sup> BRD: 1.10.1971

Abkürzungen: FTP = Federal Test Procedure

CVS = Constant Volume Sampling

NDIR = Nichtdispersive Infrarotanalyse

FID = Flammenionisationsdetektion

Fahrzeugen (nach Kaltstart und Wartung) ermittelt wurden, stellen eine genügend grosse und geeignete Datenbasis zur Bestimmung der Entwicklung von Emissionsfaktoren dar. Da diese Messwerte infolge verschiedener Messmethoden zum Teil nicht direkt miteinander vergleichbar sind, mussten sie auf eine einheitliche Vergleichsbasis umgerechnet werden. Als Vergleichsbasis diente die amerikanische Testmethode mit dem FTP 75-Zyklus und einer mittleren Geschwindigkeit von 34 km/h, da diese Testmethode den tatsächlichen Verkehrsverhältnissen auch unter europäischen Bedingungen am besten entspricht.

Im Bild 1 sind am Beispiel der Stickoxid-Emissionen die auf die Referenzgeschwindigkeit von 34 km/h umgerechneten Abgasmesswerte aus verschiedenen Untersuchungen aufgezeichnet, wobei jeweils nach den verschiedenen Stufen der Abgasvorschriften differenziert wurde. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der betreffenden Gruppe und die Standardabweichung des Mittelwerts. Da die vor 1970 zugelassenen Fahrzeuge keinerlei Abgasvorschriften unterworfen waren, wurden sie in der Gruppe der «unentgifteten Fahrzeuge» (vor Einführung der ECE-Vorschriften) zusammengefasst.

Die Entwicklung der mittleren Schadstoffemissionen in Abhängigkeit von den aufeinanderfolgenden Stufen der Abgasvorschriften wurde durch zwei getrennte lineare Regressionen (sog.

Methode der «kleinsten Quadrate») bestimmt. Die erste umfasste alle «unentgifteten» und alle dem ECE-Reglement 15 unterstellten Fahrzeuge, die zweite jene nach AGV- und US 83-Normen. Das Ergebnis dieser insgesamt auf rund 550 Fahrzeugen basierenden Berechnungen ist im Bild 1 (ausgezogene Linien) dargestellt.

Zum Vergleich ist im Bild 1 neben den Abgasmesswerten auch die zeitliche Entwicklung der Abgasgrenzwerte dargestellt (gestrichelte Linien). Die Grenzwerte (Übereinstimmung mit Seriengrenzwerten der Gewichtsklasse 1020 bis 1250 kg bei den ECE 15-Normen) wurden dazu auf die gleiche Weise wie zuvor die Abgasmesswerte auf die Referenzmethode FTP 75 umgerechnet. Bild 1 zeigt, dass sich beim Erlass von neuen Abgasvorschriften die tatsächlichen Emissionen der Fahrzeuge nicht unbedingt so verändern, wie man es aufgrund der Abgasvorschriften vielleicht erwarten würde.

Die vorgehend dargestellte Entwicklung der Schadstoffemissionen gilt für Fahrzeuge, welche für die Abgasmessung jeweils gewartet und mit kaltem Motor gestartet wurden. Solche Bedingungen sind jedoch für die normalerweise im Verkehr befindlichen Fahrzeuge nicht charakteristisch. Es stellt sich deshalb die Frage, ob zwischen der Emissionsentwicklung für nicht unmittelbar gewartete Fahrzeuge mit betriebswarmem Motor und der bereits ermittelten Emissionsentwicklung für

gewartete Fahrzeuge mit Kaltstart eine konstante Beziehung besteht. Um diese Frage abzuklären, wurden deshalb die Einflussfaktoren «kalter/warmer Motor» und «Wartung» näher analysiert. Zusätzlich wurde auch der allfällige Einfluss des Kilometerstands untersucht.

Als Ergebnis dieser Abklärungen lässt sich feststellen, dass die betrachteten Faktoren «kalter/warmer Motor», «Wartung» und «Kilometerstand» insgesamt mehr oder weniger konstant sind, unabhängig von den verschiedenen Stufen der Abgasnormen. Daraus lässt sich ableiten, dass zwischen der Emissionsentwicklung «nach Kaltstart/nach Wartung» und der Emissionsentwicklung «mit warmem Motor/vor Wartung» eine konstante Beziehung besteht; die beiden Emissionsentwicklungen zeigen einen gleichartigen Verlauf.

Von Bedeutung für das tatsächliche Emissions- und Verbrauchsverhalten sind die Emissions- und Treibstoffverbrauchsfaktoren bei *betriebswarmem Motor* und im sogenannten Anlieferungszustand («mit warmem Motor/vor Wartung») der Fahrzeuge. Systematische Messungen unter solchen Bedingungen wurden bisher einzeln in der Bundesrepublik Deutschland an rund 155 benzinbetriebenen Fahrzeugen durchgeführt. Damit waren zum Zeitpunkt des Abschlusses der Erhebungen für die vorliegende Arbeit (Ende 1985) Messdaten für Fahrzeugmodelle von 1964 bis 1978 verfügbar. Für die späteren Jahrgänge wurden die Daten durch Extrapolation ermittelt.

Dazu wurde von der bereits ermittelten Emissionsentwicklung «nach Kaltstart/nach Wartung» ausgegangen, welche wie erwähnt gleichartig zu derjenigen «mit warmem Motor/vor Wartung» verläuft. Als Ausgangsbasis für die Extrapolation dienten die in der erwähnten deutschen Untersuchung bei der Referenzgeschwindigkeit von ebenfalls 34 km/h festgelegten Werte.

Somit konnten die Emissions- und Verbrauchsfaktoren der im Verkehr befindlichen Personenwagen mit Benzinmotor bei einer Referenzgeschwindigkeit von 34 km/h in Abhängigkeit von den aufeinanderfolgenden Stufen der Abgasgesetzgebung ermittelt werden. Bei den anderen Fahrzeugkategorien und Motorenarten wurde ähnlich vorgegangen.

#### Einfluss der Geschwindigkeit

Alle bisher durchgeföhrten Messungen zeigen, dass die Fahrgeschwindigkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Emissions- und Verbrauchsfaktoren ausübt.

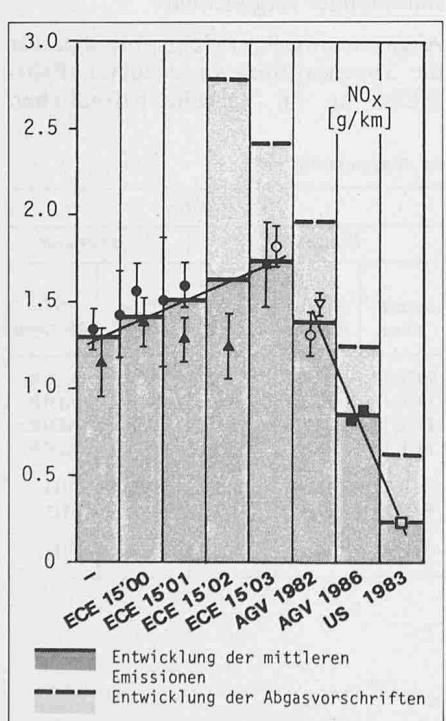
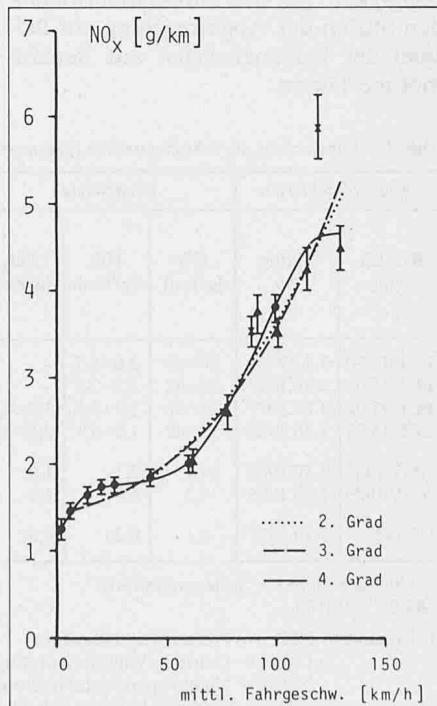


Bild 1. Zeitliche Entwicklung der Stickoxid-Emissionen und der jeweils vorgeschriebenen Grenzwerte (Referenzmethode: FTP 75).



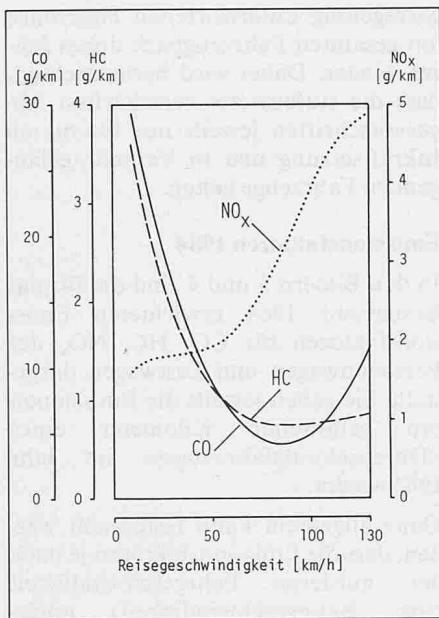


Bild 3. Gewichtete Emissionsfaktoren der Personenwagen für das Bezugsjahr 1984 (99% Benzin-, 1% Dieselmotoren).

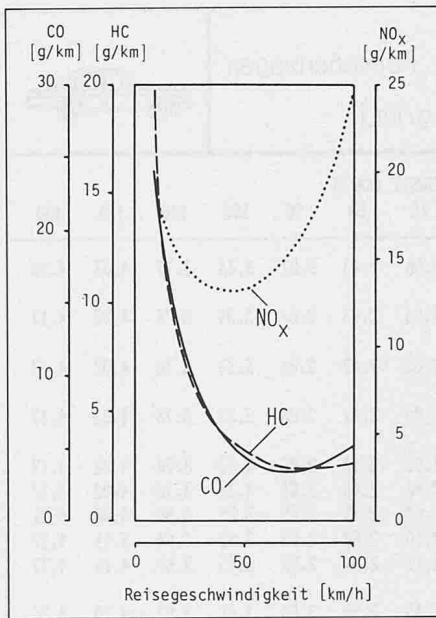


Bild 4. Gewichtete Emissionsfaktoren der Lastwagen für das Bezugsjahr 1984 (2,8% Benzin-, 97,2% Dieselmotoren).

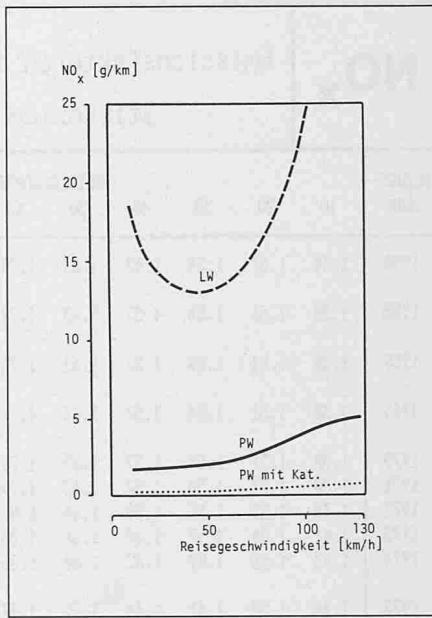


Bild 5. Vergleich der gewichteten NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren der Personenwagen und Lastwagen für das Bezugsjahr 1984 mit denjenigen eines Personenwagens mit Katalysator.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Abgasemissionen und des Treibstoffverbrauchs von Personenwagen mit Benzinmotor konnte auf die an drei kollektiven von Fahrzeugen im Verkehr ermittelten Messergebnisse zurückgegriffen werden, welche insgesamt den ganzen Bereich der mittleren Fahrgeschwindigkeiten von 1 bis 130 km/h abdecken. Bis zum Bereich von 90 km/h basieren die Daten auf Messungen mit sog. Fahrmodi, welche neben Konstantfahrten auch Beschleunigungen und Verzögerungen enthalten. Bei höheren Geschwindigkeiten standen nur Konstantfahrt-Messungen zur Verfügung.

Aufgrund dieser Daten wurde ein mittlerer Verlauf des geschwindigkeitsabhängigen Schadstoffausstosses sowie des Verbrauchs mit Hilfe einer nichtlinearen Regression (Polynom) folgenden Typs bestimmt:

$$(1) y = a + bx + cx^2 + \dots + mx^n$$

Das Ergebnis dieser, insgesamt auf rund 260 in Verkehr befindlichen Fahrzeugen basierenden Berechnungen ist im Bild 2 am Beispiel der Stickoxide für Polynome zweiten, dritten und vierten Grades dargestellt. Es zeigt sich, dass der geschwindigkeitsabhängige Verlauf der Stickoxid-Emissionen im Bereich von 10 bis 130 km/h gut durch eine Polynomregression beschrieben werden kann; die Wahl des Regressionsgrades (zweiter, dritter, vierter Grad) ist dabei nicht kritisch.

Aufgrund dieser Berechnungen konnten geschwindigkeitsabhängige, auf die Referenzgeschwindigkeit von 34 km/h bezogene Korrekturfaktoren für die

verschiedenen Schadstoffkomponenten sowie den Treibstoffverbrauch ermittelt werden. Durch Multiplikation der bei der Referenzgeschwindigkeit von 34 km/h ermittelten Emissions- und Verbrauchsdaten mit den entsprechenden geschwindigkeitsabhängigen Korrekturfaktoren ergeben sich die gesuchten Emissions- und Treibstoffverbrauchsfaktoren in Abhängigkeit von den Abgasnormen und den mittleren Fahrgeschwindigkeiten zwischen 10 und 130 km/h. Bei den anderen Fahrzeugkategorien und Motorenarten wurde ein ähnliches Vorgehen verwendet.

### Zusatzemissionen

Die bis anhin ermittelten Emissions- und Verbrauchsfaktoren beziehen sich jeweils auf Fahrzeuge, deren Motor die normale Betriebstemperatur erreicht hat (sog. Emissionen im warmen Betriebszustand).

Bei Benzinmotoren wird aber während der Kaltstartphase das Luft-Treibstoffgemisch angereichert. Beim Kaltstart ergibt sich dadurch eine Erhöhung der Schadstoffemissionen und des Treibstoffverbrauchs und damit eine zusätzliche Umweltbelastung. Die Zusatzemissionen durch Kaltstart sind je nach Fahrzeugkategorie und Stufe der Abgasregelung unterschiedlich. Sie wurden entsprechend differenziert ermittelt.

Neben den Fahrzeug-Auspuffemissionen (mit kaltem oder betriebswarmem Motor) entstehen durch Verdampfung des Treibstoffs zusätzliche Kohlenwasserstoff-Emissionen.

*Verdampfungsverluste* entstehen haupt-

sächlich im Fahrzeug-Benzintank und – falls keine Benzineinspritzung vorhanden – im Vergaser. Sie treten vor allem dann auf, wenn der Treibstoff erwärmt wird, zum Beispiel beim Abstellen des betriebswarmen Motors (Temperaturzunahme im Motorraum) oder beim Parkieren an der Sonne. Die Zusatzemissionen durch Verdampfungsverluste wurden, unter Berücksichtigung allfälliger Begrenzungsvorschriften, ebenfalls getrennt für die einzelnen Fahrzeugkategorien ermittelt.

### Ergebnisse

Um die Emissionen in den verschiedenen Bezugsjahren 1950 bis 2000 berechnen zu können, müssen die nach Baujahren und Motorenarten ermittelten Emissionsfaktoren für die verschiedenen Fahrzeugkategorien jeweils nach der tatsächlichen Fahrzeugparkzusammensetzung in den einzelnen Bezugsjahren gewichtet werden.

Die Gewichtung der Emissionsfaktoren oder der Zusatzemissionen durch Kaltstart und durch Verdampfungsverluste erfolgte demnach pro Fahrzeugkategorie in zweierlei Hinsicht:

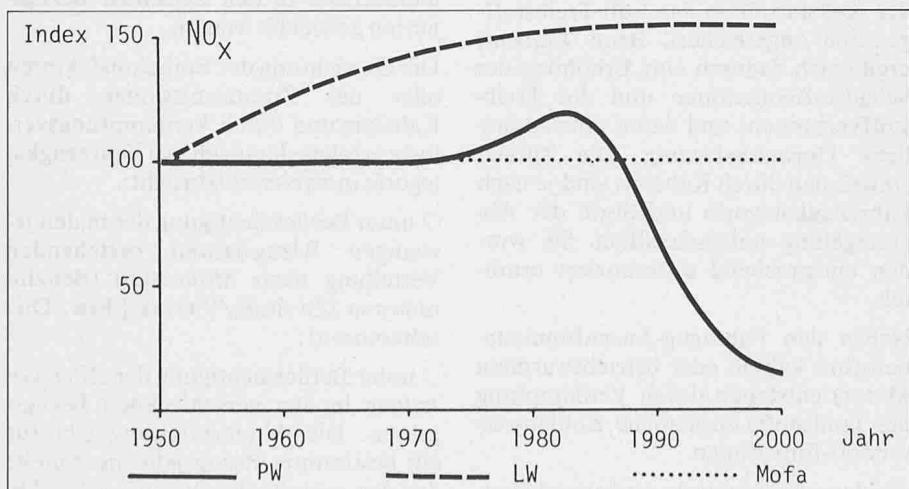
unter Berücksichtigung der in den jeweiligen Bezugsjahren bestehenden Verteilung nach Motorenart (Benzinmotoren [Zweitakt/Viertakt] bzw. Dieselmotoren);

unter Berücksichtigung der *Altersverteilung* in den verschiedenen Bezugsjahren. Die Altersverteilung gibt für ein bestimmtes Bezugsjahr die Anteile der den verschiedenen Stufen der Ab-

BEZUGS-JAHR	REISEGESCHWINDIGKEIT (KM/H)												
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
1950	1.38	1.51	1.54	1.57	1.63	1.79	2.06	2.43	2.87	3.34	3.77	4.03	4.18
1955	1.38	1.51	1.54	1.57	1.63	1.79	2.06	2.43	2.87	3.34	3.76	4.02	4.17
1960	1.38	1.51	1.54	1.57	1.63	1.78	2.05	2.42	2.86	3.33	3.76	4.02	4.17
1965	1.38	1.51	1.54	1.57	1.63	1.78	2.05	2.42	2.86	3.33	3.76	4.02	4.17
1970	1.38	1.51	1.54	1.57	1.63	1.79	2.05	2.42	2.86	3.33	3.76	4.02	4.17
1971	1.38	1.51	1.54	1.57	1.63	1.79	2.06	2.43	2.86	3.33	3.76	4.02	4.17
1972	1.39	1.52	1.55	1.58	1.64	1.81	2.08	2.45	2.89	3.37	3.80	4.06	4.21
1973	1.41	1.54	1.57	1.60	1.66	1.83	2.10	2.48	2.93	3.41	3.84	4.11	4.27
1974	1.43	1.56	1.59	1.62	1.68	1.85	2.13	2.51	2.96	3.45	3.89	4.16	4.32
1975	1.44	1.58	1.61	1.64	1.70	1.87	2.15	2.53	3.00	3.49	3.93	4.20	4.36
1976	1.46	1.60	1.63	1.66	1.72	1.89	2.17	2.56	3.03	3.53	3.98	4.25	4.42
1977	1.48	1.62	1.65	1.68	1.75	1.92	2.21	2.60	3.08	3.58	4.04	4.32	4.48
1978	1.51	1.65	1.68	1.71	1.78	1.96	2.25	2.65	3.14	3.65	4.11	4.40	4.57
1979	1.55	1.69	1.73	1.76	1.83	2.01	2.31	2.72	3.22	3.74	4.22	4.51	4.68
1980	1.58	1.73	1.77	1.79	1.87	2.05	2.36	2.78	3.29	3.83	4.31	4.61	4.79
1981	1.61	1.77	1.80	1.83	1.91	2.09	2.40	2.83	3.35	3.90	4.40	4.70	4.88
1982	1.64	1.80	1.83	1.86	1.94	2.13	2.44	2.88	3.41	3.97	4.47	4.78	4.97
1983	1.63	1.78	1.82	1.84	1.92	2.11	2.42	2.86	3.38	3.94	4.43	4.74	4.93
1984	1.62	1.77	1.80	1.83	1.91	2.09	2.40	2.83	3.35	3.90	4.39	4.70	4.88
1985	1.58	1.73	1.76	1.78	1.86	2.04	2.34	2.76	3.27	3.81	4.29	4.59	4.77
1986	1.54	1.68	1.71	1.73	1.81	1.98	2.27	2.68	3.18	3.70	4.16	4.45	4.63
1987	1.42	1.55	1.58	1.60	1.67	1.83	2.10	2.47	2.93	3.41	3.84	4.11	4.27
1988	1.28	1.39	1.42	1.44	1.50	1.64	1.88	2.22	2.63	3.06	3.45	3.69	3.84
1989	1.12	1.22	1.24	1.26	1.31	1.44	1.65	1.95	2.30	2.68	3.02	3.23	3.36
1990	0.98	1.07	1.09	1.10	1.15	1.26	1.44	1.70	2.01	2.35	2.64	2.83	2.94
1991	0.85	0.92	0.94	0.95	0.99	1.08	1.24	1.46	1.73	2.02	2.27	2.43	2.53
1992	0.73	0.79	0.80	0.81	0.84	0.93	1.06	1.25	1.48	1.73	1.94	2.08	2.16
1993	0.61	0.66	0.68	0.68	0.71	0.78	0.89	1.05	1.25	1.45	1.64	1.75	1.82
1994	0.52	0.56	0.57	0.58	0.60	0.66	0.76	0.89	1.06	1.23	1.39	1.49	1.54
1995	0.43	0.46	0.47	0.47	0.49	0.54	0.62	0.73	0.86	1.00	1.13	1.21	1.26
1996	0.38	0.41	0.42	0.42	0.44	0.48	0.55	0.65	0.77	0.90	1.02	1.09	1.13
1997	0.35	0.37	0.38	0.38	0.40	0.44	0.50	0.59	0.69	0.81	0.92	0.98	1.02
1998	0.32	0.34	0.35	0.34	0.36	0.40	0.45	0.53	0.63	0.73	0.83	0.89	0.92
1999	0.24	0.26	0.27	0.26	0.27	0.30	0.34	0.40	0.48	0.56	0.63	0.67	0.70
2000	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.29	0.32	0.38	0.45	0.53	0.60	0.64	0.66

Tabelle 4. Gewichtete NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren der Personenwagen für die Bezugsjahre 1950 bis 2000.

Bild 6. Relative Veränderung der gewichteten NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren 1950 bis 2000 (Bezugsjahr 1950 = Index 100; Referenzgeschwindigkeit 30 km/h).



gasregelung unterworfenen Fahrzeuge am gesamten Fahrzeugpark dieses Jahres wieder. Dabei wird berücksichtigt, dass die stufenweise verschärften Abgasvorschriften jeweils nur für die ab Inkraftsetzung neu in Verkehr gelangenden Fahrzeuge gelten.

#### Emissionsfaktoren 1984

In den Bildern 3 und 4 sind die für das Bezugsjahr 1984 gewichteten Emissionsfaktoren für CO, HC, NO<sub>x</sub> der Personenwagen und Lastwagen dargestellt. Sie geben jeweils die Emissionen pro gefahrenen Kilometer eines «Durchschnittsfahrzeugs» im Jahr 1984 wieder.

Ganz allgemein kann festgestellt werden, dass die Emissionsfaktoren je nach der mittleren Fahrgeschwindigkeit (sog. Reisegeschwindigkeit) unterschiedlich sind.

Beispielsweise nehmen die Stickoxid (NO<sub>x</sub>)-Emissionen bei den Personenwagen mit zunehmender Reisegeschwindigkeit fortlaufend und bei höheren Geschwindigkeiten erheblich zu. Bei den Lastwagen hingegen sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Geschwindigkeitsbereich von etwa 40 bis 50 km/h am niedrigsten; bei tieferen und höheren Geschwindigkeiten steigen sie erheblich an.

Die Kohlenmonoxid (CO)- und Kohlenwasserstoff (HC)-Emissionen sind allgemein im Geschwindigkeitsbereich von 70 bis 80 km/h am niedrigsten. Mit höheren Geschwindigkeiten nehmen sie leicht, mit tieferen Geschwindigkeiten beträchtlich zu.

Vergleicht man beispielsweise die gewichteten NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren der Personenwagen und der Lastwagen für das Bezugsjahr 1984 und setzt diese in Relation zu den Emissionen eines Katalysator-Personenwagens, so lässt sich im wesentlichen folgendes feststellen (Bild 5):

- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Katalysator-PW sind pro gefahrenen Kilometer rund siebenmal niedriger als diejenigen eines durchschnittlichen PW des Bezugsjahres 1984.
- Ein durchschnittlicher Lastwagen des Bezugsjahrs 1984 stößt – je nach Fahrgeschwindigkeit – pro gefahrenen Kilometer fünf- bis elfmal mehr Stickoxide aus als ein Durchschnitts-PW und rund 40- bis 80mal mehr als ein Katalysator-PW.

#### Emissionsfaktoren 1950-2000

In der Tabelle 4 sind beispielhaft die gewichteten Stickoxid-Emissionsfaktoren der Personenwagen für die Bezugsjahre 1950 bis 2000 in Abhängigkeit von der mittleren Reisegeschwindigkeit zusam-

mengestellt. Diese Emissionsfaktoren gelten jeweils für ein – fiktives – mittleres Fahrzeug des betreffenden Bezugsjahres unter Berücksichtigung der in diesem Jahr gegebenen Fahrzeugparkzusammensetzung hinsichtlich Altersverteilung und Motorenart.

Entsprechende Tabellen wurden für sämtliche im Kapitel «Methodik» angegebenen Schadstoffkomponenten und Fahrzeugkategorien berechnet. Getrennt von den eigentlichen Fahrzeugsmissionen wurden zudem die Zusatzemissionen durch Kaltstart und durch Verdampfungsverluste ebenfalls gewichtet für die Bezugsjahre 1950 bis 2000 für die einzelnen Fahrzeugkategorien tabellarisch zusammengestellt.

Die relative Veränderung der gewichteten Emissionsfaktoren im Laufe der Zeit ist am Beispiel der Stickoxid-Werte der Personenwagen, der Lastwagen und der Motorfahrräder im Bild 6 aufgezeigt.

Bei den *Personenwagen* ist – bedingt durch die stufenweise verschärften Abgasvorschriften – nach den 80er Jahren eine erhebliche Abnahme der Emissionen festzustellen. Die vorübergehende Zunahme der NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren in den 70er- und zu Beginn der 80er-Jahre ist darauf zurückzuführen, dass in diesem Zeitraum noch keine oder nicht wirksamen NO<sub>x</sub>-Vorschriften bestanden haben.

Bei den *Lastwagen*, für welche bis heute keinerlei Abgasvorschriften bestehen, widerspiegelt der Kurvenverlauf der Emissionsfaktoren die Entwicklung der Fahrzeugparkzusammensetzung. Dadurch, dass seit 1950 der Anteil der Diesellostwagen immer mehr zugenommen hat und die Benzinlastwagen allmählich verschwinden, sind seit 1950 fortlaufend höhere NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren festzustellen.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren der *Motorfahrräder* bleiben unverändert, da bis-

her keine NO<sub>x</sub>-Grenzwerte für Motorfahrräder in Kraft gesetzt wurden.

Weitere Angaben bezüglich Emissions- und Verbrauchsfaktoren der Motorfahrzeuge können dem im Kästchen aufgeführten vollständigen Bericht entnommen werden.

Adresse des Verfassers: R. Evéquoz, Ing. HTL, Bundesamt für Umweltschutz, 3003 Bern.

Der rund 270seitige Bericht «Schadstoffemissionen des privaten Strassenverkehrs 1950-2000» liegt in deutscher und französischer Sprache vor. Er kann als Heft Nr. 55 der Schriftenreihe Umweltschutz beim Dokumentationsdienst des Bundesamtes für Umweltschutz, 3003 Bern, bezogen werden.

## Solarmobile

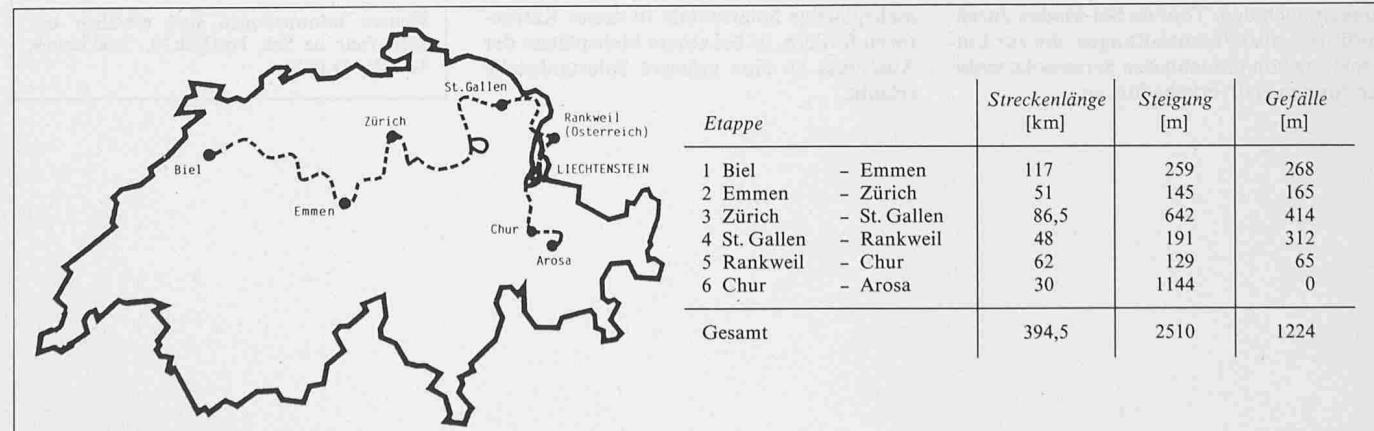
### Fachtagung in der Gewerblichen Berufsschule Biel

Am 17. Januar 1987 fand in der Gewerblichen Berufsschule Biel unter dem Patronat der Schweizerischen Vereinigung für Sonnenenergie (SSES) die dritte Fachtagung zum Thema Solarmobile statt.

In zahlreichen Referaten wurde der Stand der Technik aufgezeigt sowie die Vor- und Nachteile erörtert. Hersteller und Lieferanten stellten ihre Solar- und Elektromobilkomponenten vor. Auch Sicherheitsaspekte, Zulassungsbedingungen und die Marktaussichten wurden analysiert.

Heute, zwei Jahre nach der Lancierung der ersten Tour, sind Fertigungsanleitungen für den Bau von Solarmobilen noch rar. Weltweit ist die Tour-de-Sol-Organisation mit Sitz in Bern immer noch die einzige Informationsstelle, die sich für die Förderung von Solar- und Elektromobilen einsetzt.

Bild 1. Streckenverlauf der Tour de Sol 87



Verschiedene Redner befassten sich natürlich auch mit der Tauglichkeit der Solarmobile im Alltag als umweltfreundliche Nahverkehrsmittel.

## Tour de Sol 87

Die Tour de Sol und 2. Weltmeisterschaft im Solarmobilfahren findet vom 29. Juni bis 4. Juli statt.

Wie in den vorangegangenen Jahren wird im Vorfeld und während der Tour de Sol 87 die Information über die Nutzung der Sonnenenergie ein Schwerpunkt sein. Das allgemeine Interesse an der Sonnenenergienutzung ist trotz der tiefen Ölpreise stark gestiegen.