

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

umweltschutz und lebensqualität

**Möglichkeiten zur Verringerung
der Stickoxidemissionen
von europäischen Personenkraftwagen**



KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

umweltschutz und lebensqualität

Möglichkeiten zur Verringerung der Stickoxidemissionen von europäischen Personenkraftwagen

TÜV Rheinland e.V.
Zentralabteilung Verbrennungskraftmaschinen
Gruppe Kraftfahrzeug-Abgastechnik

Studie im Auftrag der Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Vertrag Nr. 13/1976

Dienststelle für Umwelt und Verbraucherschutz

1978

EUR 6030 DE

Veröffentlicht durch
KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN
Generaldirektion Wissenschaftliche und Technische
Information und Informationsmanagement
Bâtiment Jean Monnet
LUXEMBOURG

HINWEIS

Weder die Kommission der Europäischen Gemeinschaften noch Personen, die im Namen dieser Kommission handeln, sind für die etwaige Verwendung der nachstehenden Informationen verantwortlich

Bibliographische Daten befinden sich am Ende der Veröffentlichung

© EGKS - EWG - EAG, Brüssel-Luxemburg, 1979

Printed in Belgium

ISBN 92-825-0770-X

Katalognummer: CD-NO-78-020-DE-C

Vorwort

Die vorliegende Studie wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Ricardo & Company Engineers (1927) Ltd. erstellt. Die Ausarbeitungen von RICARDO umfassen schwerpunktmäßig die konstruktive Seite der Antriebssysteme zur Verbesserung des Abgas-Emissionsverhaltens einschließlich einer detaillierten Darlegung der reaktionskinetischen Grundlagen bei der Stickoxidbildung. Die Schwerpunkte der vom Technischen Überwachungs-Verein Rheinland e.V. erstellten Studie liegen auf der Beschreibung der Emissions- und Immissions-situation sowie deren Beeinflussung durch die Abgasgesetzgebung.

Foreword

The present study was drawn up in cooperation with Messrs. Ricardo & Company Engineers (1927) Ltd. The main points dealt with by Ricardo concern the constructive side of power systems for the reduction of exhaust emissions including a detailed description of the basis of the formation mechanism of nitrogen oxides. The main field dealt with by the TÜV Rheinland is composed of description of the emission and immission situations and the effects of the legislation on exhaust gases.

Studie über
Möglichkeiten zur Verringerung der Stickoxidemissionen
von europäischen Personenkraftwagen

Gliederung

Kurzfassung/Abstract

Zusammenfassung/Summary

1. Emissions- und Immissionsbelastung durch Stickoxide
in Ballungszentren
 - 1.1 Emissionssituation
 - 1.1.1 Datenerfassung
 - 1.1.2 Ergebnisse der Emissionskataster
 - 1.1.3 Vergleich der Belastungsgebiete
 - 1.2 Immissionsituation
 - 1.2.1 Immissionsbelastung in verkehrsreichen Straßen
 - 1.2.2 Immissionsbelastung im Fahrzeuginnenraum
2. Stand der Abgasgesetzgebung
 - 2.1 USA
 - 2.1.1 Leichte Kraftfahrzeuge
 - 2.1.1 Schwere Kraftfahrzeuge
 - 2.2 Japan
 - 2.3 Europa
 - 2.3.1 Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren
 - 2.3.2 Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren

3. Vergleich der unterschiedlichen Meßmethoden zur Ermittlung der Abgasemissionen von Personenkraftwagen

4. Entwicklungsstand von europäischen Serienmotoren für Personenkraftwagen
 - 4.1 Ottomotoren
 - 4.1.1 Auslegungsdaten und Kennwerte
 - 4.1.2 Abgas-Emissionsverhalten von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen
 - 4.2 Dieselmotoren

5. Technische Maßnahmen und Konzepte zur Reduzierung der Schadstoffe im Abgas unter besonderer Berücksichtigung der Stickoxidemissionen
 - 5.1 Thermische und katalytische Abgasnachbehandlung und Abgasrückführung
 - 5.1.1 Thermische Reaktoren
 - 5.1.2 Katalytische Reaktoren
 - 5.1.3 Katalytische Abgasnachbehandlung mit geregelter Gemischaufbereitung
 - 5.1.4 Abgasrückführung
 - 5.2 Weiterentwicklung von Ottomotoren
 - 5.2.1 Maßnahmen zur Abmagerung bei homogener Gemischbildung
 - 5.2.2 Schichtladungskonzepte
 - 5.3 Weiterentwicklung von Dieselmotoren
 - 5.4 Nichtkonventionelle Antriebssysteme
 - 5.4.1 Elektroantriebssysteme

- 5.4.2 Hybridantriebssysteme
 - 5.4.3 Gasturbine
 - 5.4.4 Dampfmotor
 - 5.4.5 Stirlingmotor
 - 5.4.6 Arbeitsraumbildende Maschinen mit innerer kontinuierlicher Verbrennung
-
- 6. Alternative Energieträger
 - 6.1 Alkohole
 - 6.2 Wasserstoff
 - 6.3 Flüssiggas
-
- 7. Erreichbare Stickoxidreduktion und Zeitplan der Realisierung
 - 7.1 Entwicklungsstand ausgewählter Konzepte zur Schadstoffreduzierung
 - 7.2 Zeitliche Realisierung zukünftiger Abgas-Emissionsgrenzwerte
-
- 8. Abgas-Emissionsprognosemodell
 - 8.1 Verkehrsanalyse
 - 8.2 Verkehrsprognose
 - 8.3 Emissionsprognose
-
- 9. Kostenabschätzung für verschiedene Alternativen
 - 9.1 Verbesserte Gemischaufbereitung und Zündung
 - 9.2 Geregelte Gemischbildung mit Abgasnachbehandlung
 - 9.3 Extreme Gemischabmagerung

9.4 Schichtladung

9.5 Dieselmotor

10. Literaturhinweise

Abkürzungen

a	Jahr
AGR	Abgasrückführung
ALV	Ansaugluft-Vorwärmung
CAT, KAT	Katalysator
CLD	Chemolumineszenzdetektor
CVS	Constant Volume Sampler
ECE	Economic Commission for Europe
EPA	Environmental Protection Agency
FID	Flammenionisationsdetektor
GRPA	groupe des rapporteurs sur la pollution de l'air
h	Stunde
HKZ	Hochspannungskondensatorzündung
IKV	innere kontinuierliche Verbrennung
MIRA	Motor Industry Research Association
NDIR	Nichtdispersiver Infrarotanalysator
PCI	Prechamber Injection
PROCO	Programmed Combustion
RWTÜV	Rheinisch-Westfälischer Technischer Überwachungs- Verein e.V.
SL	Sekundärluft-Einblasung
SKS	Schichtladekammer-System
THR	Thermoreaktor
TSZ	Transistorspulenzündung
TWC	Three-Way Catalyst
UBA	Umweltbundesamt, Berlin
V_m	mittlere Fahrgeschwindigkeit
ϵ	Verdichtungsverhältnis
λ	Verbrennungsluftverhältnis

Kurzfassung

Die vorliegende Studie befaßt sich mit den Möglichkeiten zur Verringerung der Stickoxidemissionen europäischer Personenkraftwagen. Ein Schwerpunkt der Ausführungen liegt auf der Darstellung der heutigen Immissionssituation und des Abgas-Emissionsverhaltens des Bestandes an Personen- und Kombinationskraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland. Dabei werden auch die Auswirkungen der im Jahre 1971 in Kraft getretenen Abgasgesetzgebung untersucht und die in der Zukunft zu erwartende Belastung der Umwelt durch Kraftfahrzeugabgase abgeschätzt.

Darauf aufbauend werden Konzepte zur Abgasentgiftung beschrieben, die geeignet erscheinen, die für die Zukunft diskutierten Schadstoffgrenzwerte zu erfüllen.

Anhand der Literatur werden für verschiedene Konzepte die zu erwartenden Herstellungsmehrkosten angegeben. Es wird abgeschätzt, inwieweit diese Mehrkosten durch eine Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs ausgeglichen werden können.

Abstract

The present study considers the possibilities of reducing the emission of nitrogen oxides from European automobiles. One of the main points of the study is to demonstrate the present immission situation and the exhaust emissions caused by the fleet of passenger and combi-type cars in the Federal Republic of Germany. This serves as a basis to examine the effects of the legislation on exhaust gases which came into force in 1971 and also to estimate future air pollution from car exhaust gases. Furthermore low pollution power systems are described which appear suitable for complying with future emission limits under discussion.

On the basis of recent publications the expected additional production costs are indicated for the different systems. An estimate is made of the extent to which these additional production costs can be compensated by a reduction of fuel consumption.

Zusammenfassung

Ziel dieser Studie ist es, Möglichkeiten zur Verringerung der Stickoxidemissionen europäischer Personenkraftwagen aufzuzeigen. Aus physikalischen Gründen ist es jedoch nicht sinnvoll, nur eine Schadstoffkomponente für sich allein zu betrachten, da hierdurch Fehlinterpretationen möglich sind bzw. Fehlentwicklungen eingeleitet werden könnten. Daher befaßt sich diese Studie mit allen gegenwärtig limitierten Schadstoffen im Abgas von Kraftfahrzeugen.

Die Emissionsbelastung durch Stickoxide in großstädtischen Ballungsgebieten wird im wesentlichen von Industrie, Hausbrand und Kraftfahrzeugverkehr verursacht. Der Anteil dieser 3 Emittentengruppen an der Gesamtbelastung sowie deren absolute Höhe kann für solche Gebiete angegeben werden, für die nach § 46 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes der Bundesrepublik Deutschland sogenannte Emissionskataster aufgestellt wurden, die detaillierte Angaben enthalten über Art, Menge, räumliche und zeitliche Verteilung sowie über die Austrittsbedingungen von Luftverunreinigungen. In der Bundesrepublik Deutschland wurden solche Emissionskataster bisher für die Ballungsräume Köln, Duisburg-Mülheim-Oberhausen, Ludwigshafen, Mainz und Wiesbaden erhoben. Aufgrund einer einheitlichen Erhebungssystematik ist es möglich, die Ergebnisse der einzelnen Erhebungsgebiete direkt miteinander zu vergleichen.

Im Emittentenbereich Kraftfahrzeugverkehr werden die Abgasemissionen für stark befahrene Straßen als Linienquellen und für Wohn- und Geschäftsviertel als Flächenquellen getrennt ermittelt. Unter Voraussetzung bekannter Emissionsfaktoren für die einzelnen Abgaskomponenten hängen die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs auf diesen beiden Quellentypen im wesentlichen von der Verkehrsstärke und vom Fahrverhalten ab. Zur Charakterisierung des Fahr- und Betriebsverhaltens der Kraftfahrzeuge im Stadtverkehr wurden Fahrmodi definiert, für die auf einem Abgasprüfstand mit einer repräsentativen Fahrzeugauswahl mittlere Emissionsfaktoren ermittelt wurden.

Anhand von Raster- und Emissionsdichtekarten wird die räumliche Verteilung der Emissionsbelastung der Erhebungsgebiete Köln, Duisburg-Mülheim-Oberhausen, Mainz und Wiesbaden dargestellt. Mit Hilfe von Ausbreitungsrechnungen läßt sich dann der Immissionsanteil an bestimmten Stellen ermitteln. Die bisher bekannten mathematisch-meteorologischen Ausbreitungsmodelle lassen sich zur Abschätzung der von Industrie, Hausbrand und Kleingewerbe verursachten realen Schadstoff-Immissionsbelastung heranziehen; im unmittelbaren Einwirkungsbereich des Kraftfahrzeugverkehrs sind zur Beurteilung der Immissionsbelastung umfangreiche Meßreihen zur Zeit noch unumgänglich.

Die in den Verkehrsbereichen bundesdeutscher Großstädte gemessenen Stickoxid-Immissionskonzentrationen erreichen bzw. überschreiten die von Medizinern festgelegten Grenzwerte für Kurzzeit- und Langzeiteinwirkung. Bei den Fahrten auf verkehrsreichen Straßen im Großstadtbereich sowie auf Autobahnen werden im Innern der Kraftfahrzeuge Konzentrationswerte erreicht, die wesentlich höher sind als die Immissionsbelastung in den Strassenschluchten.

Zur Reduzierung der vom Kraftfahrzeugverkehr verursachten Emissionsbelastung sahen sich die Gesetzgeber weltweit gezwungen, Emissionsstandards für Kraftfahrzeuge festzulegen. In den USA, Japan und den europäischen Staaten wurden im Laufe der Jahre unterschiedliche Standards festgelegt, die wiederum auf unterschiedlichen Prüfverfahren basieren. Diese Vorschriften werden ausführlich in den Kap. 2 und 3 diskutiert. Besonders der Euro-patest-Zyklus ist lediglich zur Beschreibung des Fahrverhaltens in den City-Bereichen europäischer Großstädte geeignet.

Die wesentlichen Ergebnisse einer in den Jahren 1975 - 1977 vom TÜV Rheinland durchgeführten Untersuchung über das reale Emissionsverhalten europäischer Kraftfahrzeuge zeigt Abb. 1. Den Untersuchungen liegt ein für den Bestand an Personen- und Kombinationskraftwagen der Bundesrepublik Deutschland repräsentativer Fahrzeugquerschnitt zugrunde. Damit ist die Möglichkeit

gegeben, das Abgas-Emissionsverhalten von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen nach verschiedenen Parametern zu beurteilen. So zeigt Abb. 1 beim Vergleich der Fahrzeuge des Baujahres 1970 und früher mit denen der Baujahre 1972 - 1975 im gesamten Bereich der mittleren Fahrgeschwindigkeit eine Verringerung der Emissionen an Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen, wogegen die NO-Emissionen stark zugenommen haben. Die Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs ist auf eine Erhöhung der Fahrzeugmasse zurückzuführen.

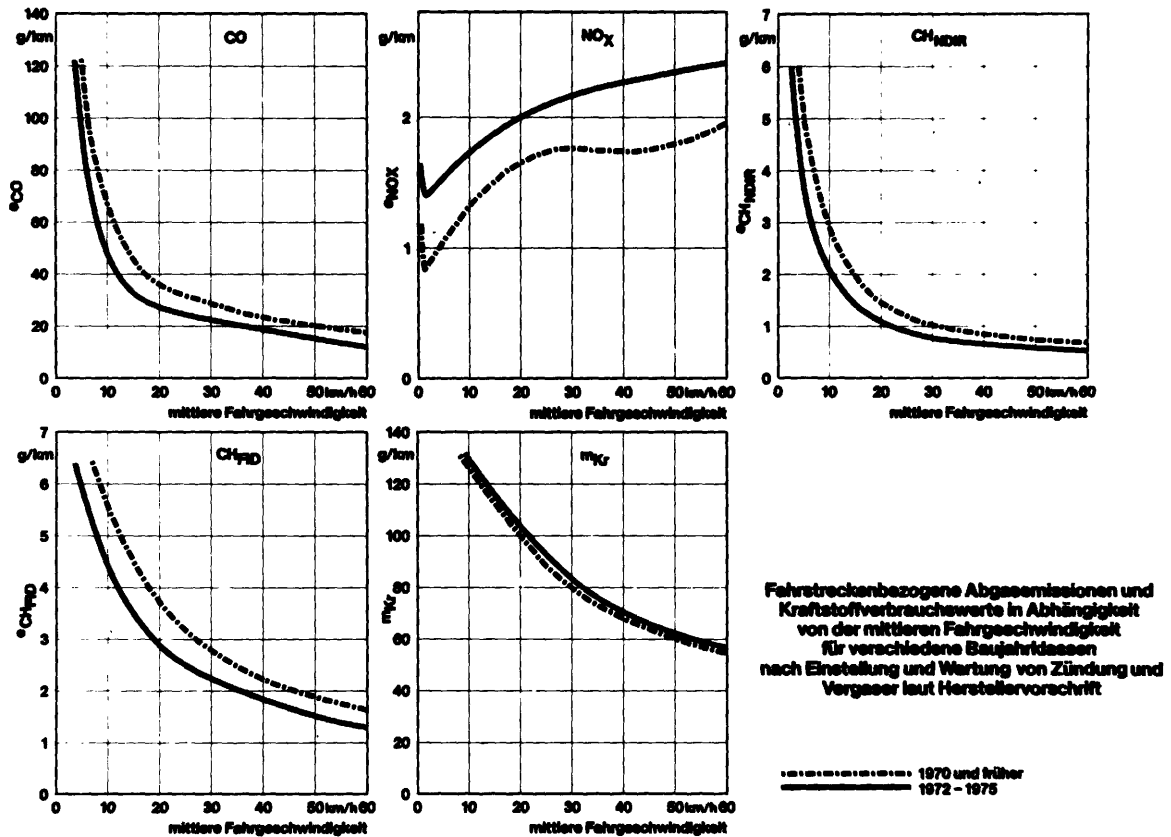


Abb. 1: Abgasemissionen und Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von der mittleren Fahrgeschwindigkeit für verschiedene Baujahrklassen nach Einstellung von Zündung und Vergaser laut Herstellervorschrift

Auch die Messungen nach 70/220/EWG zeigen, daß sich die Abgasgesetzgebung erwartungsgemäß ausgewirkt hat. Es ist eine deutliche Absenkung der CO-Emissionen um 14 % und der CH-Emissionen um 23 % gegenüber den unbehandelten Fahrzeugen (Baujahr 1970 und früher) festzustellen. Dagegen haben sich die Stickoxidemissionen um rund 16 % erhöht.

Ebenso zeigt der Wartungszustand einen starken Einfluß auf das Abgasemissionsverhalten (Abb. 2). Durch sachgemäße Einstellung von Zündung und Vergaser ist eine Verringerung der CO- und CH-Emissionen sowie des Kraftstoffverbrauches im gesamten Bereich der mittleren Fahrgeschwindigkeit möglich. Bezüglich der NO-Emissionen ist nach Wartung und Einstellung des Motors lediglich im unteren und oberen Geschwindigkeitsbereich eine Verbesserung, bei mittleren Geschwindigkeiten jedoch eine Verschlechterung zu verzeichnen. Die entsprechenden Untersuchungen im Eu-

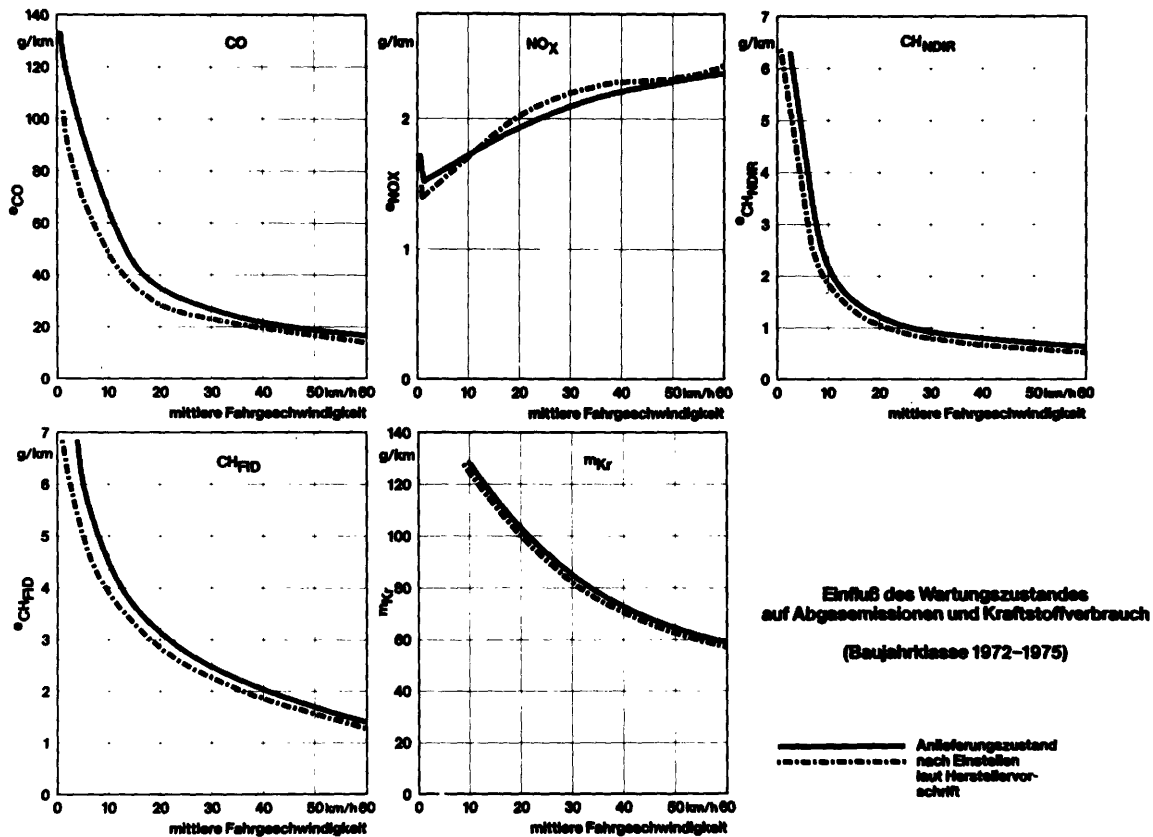


Abb. 2: Einfluß des Wartungszustandes auf Abgasemissionen und Kraftstoffverbrauch (Baujahrklasse 1972 - 1975)

ropatest-Zyklus mit Warmstart zeigen eine Verringerung der CO-Emissionen von 33 % (Baujahr 1972 - 1975) bzw. um 14 % (Baujahr 1970 und früher). Die Absenkung der CH-Emissionen, gemessen mit dem Flammenionisationsdetektor, ist bei den älteren Fahrzeugen mit 17 % relativ stark, während die Fahrzeuge der Baujahre 1972 bis 1975 nur einen geringfügigen Abfall der CH-Emissionen von ca. 4 % aufweisen. Die NO-Emissionen werden bei den Fahrzeugen der Baujahre 1972 bis 1975 im Mittel nur geringfügig verändert. Der dargestellte Entwicklungsstand heutiger Otto- und Dieselmotoren zeigt, daß die derzeit gültigen Emissionsgrenzwerte nach 74/290/EWG für europäische Personenkraftwagen zum gegenwärtigen Zeitpunkt mit konventionell ausgerüsteten Motoren erfüllt werden können. Der Einsatz von Abgasnachbehandlungsanlagen oder weiterentwickelten Motorkonzepten, wie zum Beispiel Schichtladungsmotoren, ist selbst bei Inkrafttreten der Stickoxidgrenzwerte gemäß 77/102/EWG am 1.10.1977 noch keinesfalls notwendig. Die wesentlich schärferen Abgasbestimmungen in den USA und Japan haben jedoch dazu geführt, daß Konzepte entwickelt wurden, die in der Lage sind, selbst sehr strenge Emissionsstandards zu erfüllen.

Es werden die folgenden Entwicklungskonzepte beschrieben und unter den in Europa gegebenen Randbedingungen beurteilt:

- Thermische und katalytische Abgasnachbehandlung
- Geregelte Gemischbildung
- Abmagerung bei homogener Gemischbildung
- Schichtladungsmotoren
- Dieselmotoren
- nichtkonventionelle Antriebssysteme

Für verschiedene Konzepte wurden Abgas-Emissionswerte im Euro-patest und CVS-Test angegeben (Tab. 1). Wenn auch einige Konzepte die Zielvorstellungen der Schweiz (Reduzierung von CO und CH um 80 % gegenüber 1974, NO auf 2,4 g/Test) und des Umweltbundesamtes der Bundesrepublik Deutschland (vorgelegt auf der 17. Sitzung der GRPA am 22. - 25.8.1977 in Genf) - dies sind

XVII

	Abgasnachbehandlung	Prüfmasse [kg]	Abgas-Emissionen		Zielwerte erreichbar		Kraftstoffverbräuch			Entwicklungsstand	Quelle	
			CVS	ET	UBA	Schweiz	ET	CVS [mpg]				
			CO [g/mi] CH _x NO _x	CO [g/Test] CH _x NO _x			[g/Test]	City	High			City/Highway
Serienfahrzeuge 1975/1976	Europa	Abgas-Emissionsmittelwerte (ECE R 15) Basis 84 Kfz	-	Mittelwert 1045	175.0 6.7 6.6	nein	nein	435			Serie	TÜV Rhld
		VW Passat 1500	-	980	54.5 4.5 9.8	nein	nein	368			Serie	TÜV Rhld
		PORSCHE 911 Europa	-	1195	89.8 2.2 5.1	nein	nein	628			Serie	TÜV Rhld
	VW Golf Diesel	-	900	1.0 0.2 1.2	5.1 *0.7 3.0	ja	ja	39	52	44	Serie	UBA
	VW Dasher (Passat) Einspritzung	THR	980	6.0 0.9 2.0	23.5 *1.2 6.2	ja	nein	24	37	29	Serie	UBA
	VW Dasher (Passat) AGR, Einspritzung	-	980	4.0 1.3 1.9							Serie	EPA
	VW Dasher (Passat) California AGR, Einspritzung	CAT	980	3.4 0.3 1.5							Serie	EPA
USA	PORSCHE 911 California	THR	1195	34.3 2.4 3.9	nein ja	nein	766				Serie	TÜV Rhld
	HONDA CIVIC CVCC	THR	910	2.4 0.2 1.4	31.5 1.3 4.0	nein ja	nein	32	43	36	Serie	UBA
	SAAB λ-Sonde	TWC	1350	8.1 0.9 2.2						19	Serie USA ab 1978	EPA
fortgeschrittene Entwicklungskonzepte	PORSCHE SKS	CAT	1195	1.3 1.0 0.7	5.0 5.5 2.0	ja	ja nein ja	660		21	Vorentwicklung	PORSCHE
	VW Passat PCI	THR	980	26.8 1.3 3.6		ja	nein ja nein	464			Vorentwicklung	TÜV Rhld
	MB 240 D Schichtlader	US-Mod. mit CAT	1475	0.5 0.5 1.3	25.6 5.9 4.5	ja nein	ja nein nein	478	20		Vorentwicklung	Daimler-Benz

CH_F unverbrannte Kohlenwasserstoffe gemessen mit FID
 CH_N unverbrannte Kohlenwasserstoffe gemessen mit NDIR

* umgerechnet nach CH_F = 1.8 · CH_N

THR Thermoreaktor
 CAT Katalysator
 TWC Einbett-Katalysator (three-way catalyst)
 ET: Abgasemissionen im Europatest nach ECE R 15
 CVS: Abgasemissionen im in den USA vorgeschriebenen CVS-Test

Tabelle 1 Vergleichende Zusammenstellung ausgewählter Konzepte zur Abgas-Emissionsverminderung

die gegenwärtig in Diskussion befindlichen schärfsten Grenzwerte in Europa - noch nicht erfüllen, so kann doch davon ausgegangen werden, daß diese Konzepte bei entsprechender Weiterentwicklung und Abstimmung auf den Europatest-Zyklus in der Lage sein werden, auch diese Grenzwerte einzuhalten.

Eine Angabe über einen serienmäßigen Einsatz der beschriebenen Konzepte muß unter Berücksichtigung der folgenden Randbedingungen vorgenommen werden:

- Notwendigkeit der Anwendung aufgrund der vorgeschriebenen Grenzwerte
- Zeitbedarf bis zum Anlaufen der Großserie

Aufgrund der notwendigen Zeiträume zur Umstellung bzw. zum Neubau entsprechender Produktionsanlagen scheint es aus der Sicht der zuständigen Behörden in der Bundesrepublik Deutschland möglich, die für 1982 vom Umweltbundesamt vorgeschlagenen Grenzwerte mit den in dieser Studie diskutierten Konzepten wie Dieselmotor, Gemischabmagerung und Schichtladung unter Umständen in Verbindung mit einer Abgasnachbehandlung und/oder geregelter äußerer Abgasrückführung zu erfüllen, wenn die entsprechenden Vorschriften noch im Jahre 1977 verabschiedet werden.

Demgegenüber steht die Feststellung der Automobilindustrie der Bundesrepublik Deutschland, daß die Erfüllung der Vorschriften des GRPA-Kompromißvorschlages für 1979 die Kapazitäten der Industrie in einem so hohen Maße beansprucht, daß erst in 1979 mit weitergehenden Entwicklungsarbeiten begonnen werden kann.

Zur Erfüllung der verschiedenen in Diskussion befindlichen Grenzwerte sind unterschiedlich weit entwickelte Konzepte erforderlich. Demzufolge muß auch je nach Grenzwert mit unterschiedlich hohen Herstellungsmehrkosten gerechnet werden.

Abb. 3 zeigt die zu erwartenden Herstellungsmehrkosten bei Inkrafttreten des GRPA-Kompromißvorschlages, der Zielvorstellungen des UBA und der Schweiz zu Preisen vom Dezember 1975. Diese Kosten beziehen sich auf ein Mittelklassefahrzeug des Baujahres 1968, also ohne jegliche Maßnahme zur Verbesserung des Abgas-

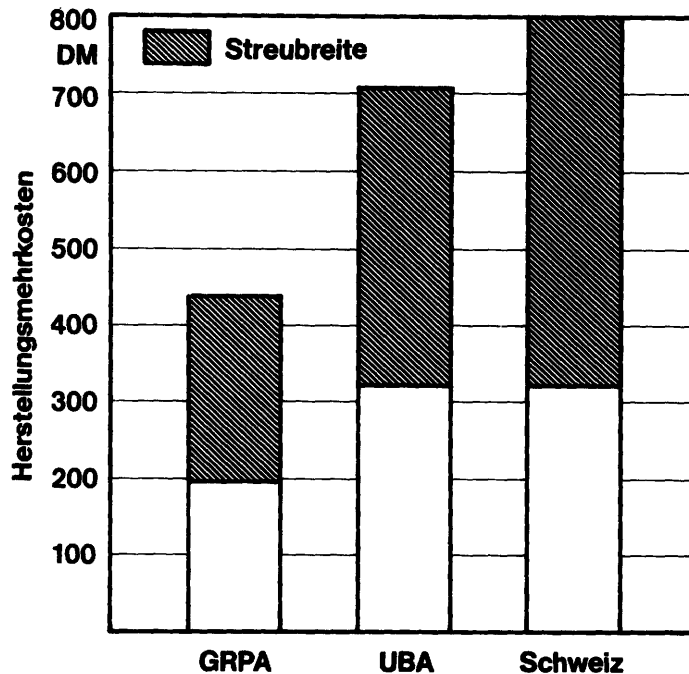


Abb. 3: Herstellungsmehrkosten für ein Mittelklassefahrzeug für verschiedene Grenzwertvorschläge

Emissionsverhaltens. Da allerdings einige der in diesen Mehrkosten enthaltenen Maßnahmen schon heute verwirklicht sind, dürften sich diese Mehrkosten um etwa DM 100,- verringern. Ein Teil der Mehrkosten kann bei verschiedenen Konzepten aufgrund eines günstigen Kraftstoffverbrauchs aufgefangen werden.

Die zukünftige Umweltbelastung durch Kraftfahrzeugabgase kann auf der Basis von Verkehrsdaten und Abgas-Emissionsuntersuchungen unter Einbeziehung äußerer Einflußfaktoren, wie Abgasgesetzgebung und Verkehrsplanung prognostiziert werden. Anhand eines ausgewählten Belastungsgebietes in der Bundesrepublik Deutschland (Rheinschiene Süd) kann gezeigt werden, daß dort die CO-Emissionen bei Inkrafttreten des GRPA-Kompromißvorschlages bis 1985 um etwa 30 % gegenüber 1970 abnehmen. Die CH-Emissionen sinken im gleichen Zeitraum um etwa 10 %. Dagegen ist für 1985 bezüglich der Stickoxide auch bei Inkrafttreten des GRPA-Vorschlages im Jahre 1979 mit einem Anstieg um rund 75 % zu rechnen, der im wesentlichen durch die weiter anwachsende Zahl von Kraftfahrzeugen bedingt ist. Es muß jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, daß der Verkehr neben den Emittentengruppen Hausbrand und Industrie nur zu einem Teil an den NO_x -Emissionen beteiligt ist.

Summary

The aim of this study is to determine possibilities of reducing the emission of nitrogen oxides from European automobiles. However, for physical reasons it is not practicable to consider only one pollutant alone as this could lead to a false interpretation or initiate a false development. Thus this study includes all pollutants which are at present subject to limitation (CO, HC, NO_x) in the exhaust of automobiles and the possibilities of reducing them.

The air pollution from nitrogen oxides in densely populated areas of large cities is caused for the most part by industry, household and motor vehicle traffic. The proportion of the total emission represented by these three emission groups and their absolute magnitude can be determined for those areas for which so-called emission inventories have been established according to § 46 of the German Federal Air Pollution Control Act. These inventories contain details of the type, mass, spatial and temporal dispersion as well as of the exhaust conditions of air pollutants. In the Federal Republic of Germany these emission inventories have been established for the densely populated areas of Cologne, Duisburg-Mülheim-Oberhausen, Ludwigshafen/Rhine, Mainz and Wiesbaden. Due to a uniform inventory system, it is possible to compare the results of the individual areas for emission inventories.

Exhaust pollution for the motor vehicle traffic emission group is expressed for streets with a high traffic density as line sources and in residential and business areas as area sources. Emission from motor vehicle traffic on these two types of sources, assuming known exhaust gas emission factors, depends for the most part on the density of the traffic and on driving behaviour. In order to characterize the driving and operating behaviour of motor vehicles in city traffic, different driving modes were defined for which mean exhaust gas emission factors were determined with a representative selection of vehicles by means of a chassis dynamometer for emission testing.

The spatial dispersion of pollution for the emission inventories in the areas Cologne, Duisburg-Mülheim-Oberhausen, Mainz and Wiesbaden is shown in scanning and emission density diagrammes. The proportion of immission caused by traffic flow can then be determined at certain points using air pollution dispersion modelling. The customary mathematical-meteorological dispersion models can also be applied to estimate the real pollution caused by industry, households and small-scale industries. In assessing pollution in the immediate vicinity of motor vehicle traffic, extensive series of measurements are at present still unavoidable.

The nitrogen oxide immission concentrations measured in streets with a high traffic density in large German cities are as high as or in excess of the limits determined by hygienists for short time and long time exposure. When driving on roads with a high traffic density in large cities or on motorways, the concentration values measured in the inside of the vehicle are far higher than the immission in street canyons.

In order to reduce the air pollution caused by motor vehicle traffic, legislators throughout the world were forced to introduce emission standards for motor vehicles. In the course of the past years varying standards have been introduced in the US, Japan and the European countries which are based on different testing procedures. These regulations are discussed in detail in Chapters 2 and 3. The European Test Cycle in particular is only suitable for describing driving behaviour in the city centres of large European cities.

Figure 1 shows the significant results of a survey which was carried out between 1975 and 1977 by TÜV-Rheinland on the real emission behaviour of European motor vehicles. The basis of this survey was a representative cross-section of the fleet of passenger cars and vans in the Federal Republic of Germany. Thus it is possible to assess the exhaust gas emission behaviour of in-use vehicles according to different parameters. Vehicles

first registered in 1970 or earlier were compared with vehicles first registered between 1972 and 1975. As shown in Fig. 1 there was a reduction of the content of carbon monoxide and unburnt hydrocarbons in the emissions for the entire mean speed range over this time period whereas the NO_x emission increased greatly. The increase in fuel consumption is attributed to the increase of the vehicle mass.

The measurements taken in compliance with 70/220/EEC also show that the effects of the legislation on exhaust gas were as expected: there was a significant reduction of CO emission of 14 percent and of HC emissions of 23 percent compared to the untreated vehicles (1970 and older). The nitrogen oxide emission, however, increased by about 16 percent.

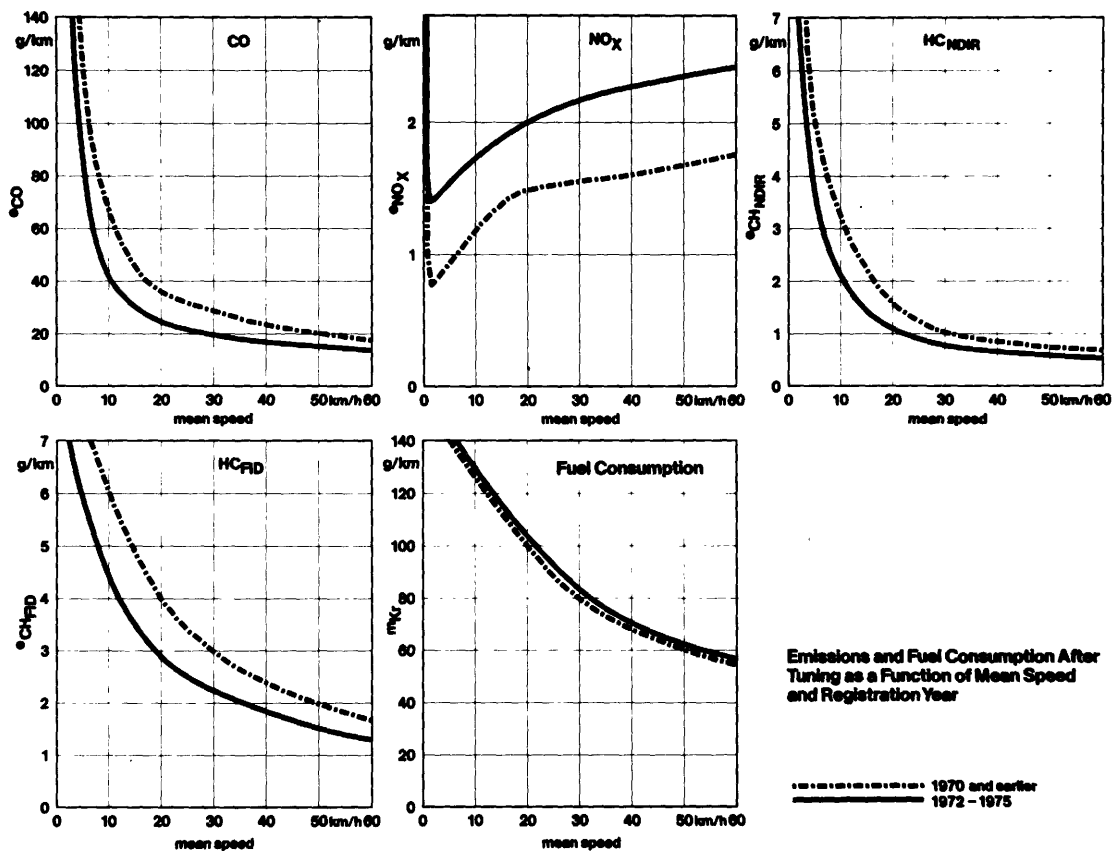


Fig. 1: Emissions and fuel consumption after tuning as a function of mean speed and year of putting into service

The state of maintenance of the vehicle also has a great influence on the exhaust emissions (Fig. 2). It is possible to reduce the CO and HC emissions and the fuel consumption in the entire mean speed range by careful adjustment of the ignition system and the carburettor. As far as the NO_x emission is concerned, after engine maintenance and tuning there is a reduction only at higher and lower speeds whereas at mean speeds an increase was shown. The corresponding tests in the European Test Cycle (hot starting) show reductions of CO emission of 33 percent for 1972 to 1975 vehicles and of 14 percent for 1970 and older vehicles. The reduction in HC emission as measured by means of a flame ionisation detector is comparatively high for the older vehicles (17 percent) while only a slight reduction in HC emission was observed for the 1972-1975 vehicles (4 percent). The change in NO_x emission for 1972-1975 vehicles is on an average negligible.

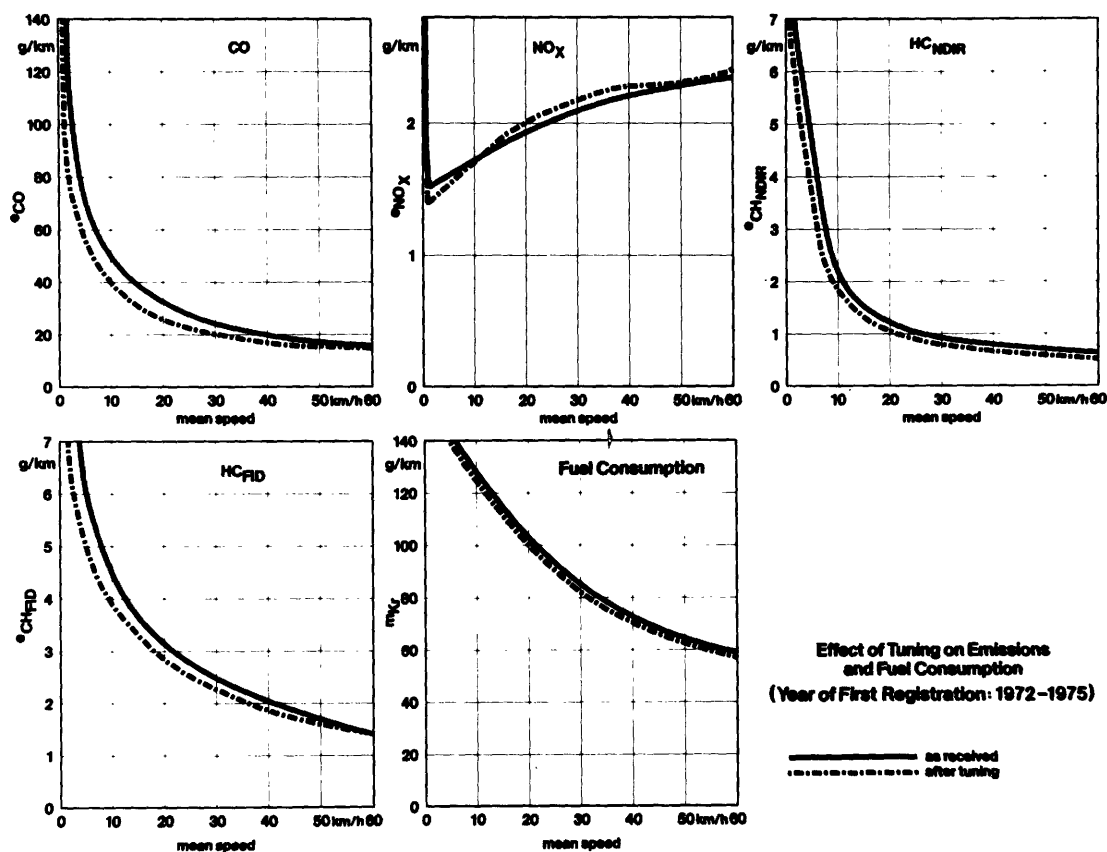


Fig. 2: Effect of tuning on emissions and fuel consumption (year of putting into service: 1972 - 1975).

The stage of development reached by today's Otto and Diesel engines shows that the current emission limits in compliance with 74/290/EEC for European passenger cars can be maintained at present by conventional engines. The coming into force of the nitrogen oxide limits in compliance with 77/102/EEC still does not necessitate the utilisation of exhaust treatment systems or further developed engine concepts, eg. the stratified charge engine. The far stricter exhaust gas regulations in the US and Japan have resulted in concepts being developed which are capable of meeting the required emission standards.

The following concepts will be described and assessed according to the current European marginal conditions:

- thermal and catalytic converters
- control of air/fuel ratio
- lean burn engines
- stratified charge engines
- Diesel engines
- non-conventional power systems

Exhaust gas emission values were defined for different concepts in the European test and the CVS test (Table 1). Although some of these concepts do not fulfill the Swiss objective (reduction of CO and HC by 80 percent as compared to the 1974 rate, and of NO_x to 2.4 g/test) or that defined by the German Federal Office for Environmental Affairs (presented at the 17 th Meeting of the GRPA on 22-5.8.77 in Geneva) - these being the most strict limits at present under discussion in Europe - it may be assumed that after further development in coordination with the European Test Cycle these concepts will also be capable of maintaining these limits.

In order to make a decision on whether these concepts should be applied in mass production, the following marginal conditions must be taken into account:

- necessity of application in order to achieve the prescribed limits
- time required before the start of mass production

Because of the time required for the change-over or revised construction of the corresponding production facilities, the responsible authorities in the Federal Republic of Germany consider that it is possible for the concepts discussed in this study such as Diesel engines and stratified charge engines to reach the limits suggested by the German Federal Office for Environmental Affairs by 1982, possibly in connection with a converter and/or exhaust gas recirculation (EGR) if the corresponding regulations are passed before the end of 1977. In contrast the automobile industry of the Federal Republic of Germany maintains that fulfilling the requirements of the GRPA suggested as a compromise for 1979 will overload the capacity of the industry to such an extent that extensive development programmes will not be able to begin before 1979.

In order to reach the different limits which are at present under discussion, concepts are required which are at different

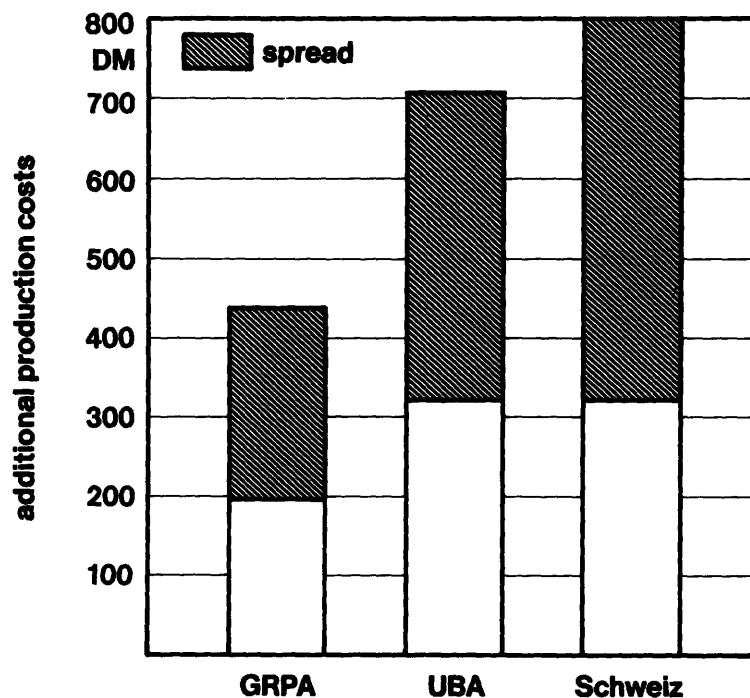


Fig. 3: Additional production costs incurred upon fulfilling several proposals for exhaust emission standards

stages of development. Consequently this would mean varying additional production costs depending on the limits. Fig. 3 shows the expected additional costs, calculated on the basis of the December 1975 price index, if the GRPA proposal, the objective of the German Federal Office for Environmental Affairs and the Swiss objective come into force. These costs refer to a middle class vehicle first registered in 1968 ie. not subject to any measures for improving the exhaust gas emission behaviour. However, as the additional production costs include some of the measures which have already been implemented, the additional costs should be some DM 100 less. A certain percentage of the additional production costs can be absorbed by means of more favourable fuel consumption.

On the basis of traffic data and exhaust emission investigations, taking into account other influencing factors, such as legislation on exhaust gas emission and traffic planning, a prognosis can be made of the future air pollution caused by motor vehicles. The densely populated area of the so-called "Rheinschiene Süd" in the Federal Republic of Germany serves as an example to demonstrate that CO emission will decrease in this area by approximately 30 percent by 1985 if the GRPA proposal comes into effect. HC emission will decrease over the same period by about 10 percent. In contrast nitrogen oxide emission will probably have risen by about 75 percent in 1985 despite the coming into force of the GRPA proposal in 1979, mainly due to increase of traffic. We would, however, point out here again that road traffic is not the only NO_x -emitter, i. e., household and industry also contribute to NO_x emission.

1. Emissions- und Immissionsbelastung durch Stickoxide
in Ballungszentren

In einigen deutschen Großstädten werden seit längerer Zeit Stickoxid-Immissionsmessungen zur Ermittlung der Immissionsbelastung durchgeführt. Dabei wird über unterschiedliche Zeiträume und in verschiedenen Bereichen der Stadtzentren, Industriezonen und Wohngebiete mit verschiedenen Meßverfahren die Immissionskonzentration für NO_x bestimmt. Die Zuordnung dieser Meßwerte zu den einzelnen Emittentengruppen (Industrie, Hausbrand und Kfz-Verkehr) ist nur bedingt möglich. Um die Immissionsbelastung durch den Kfz-Verkehr einigermaßen eindeutig angeben zu können, sind die Meßstellen in die unmittelbare Nähe von Straßen zu legen, da nur dort die vom Verkehr verursachten Immissionen den Hauptanteil an der Gesamtimmisionsbelastung stellen.

Im Gegensatz zur Immissionsbelastung ist bei der Angabe der Emissionsbelastung eines Gebietes eine klare Abgrenzung zwischen den Emissionen der einzelnen Emittentengruppen möglich. Eine fundierte Aussage über die Emissionsbelastung und die Anteile der verschiedenen Emittentengruppen an dieser Belastung kann für solche Gebiete getroffen werden, für die Emissionserhebungen durchgeführt worden sind. In der Bundesrepublik Deutschland haben die Bundesländer nach § 46 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes für Belastungsgebiete sogenannte Emissionskataster aufzustellen, die Angaben enthalten über Art, Menge, räumliche und zeitliche Verteilung sowie über die Austrittbedingungen von Luftverunreinigungen [1.1]. Danach ist unter einem Emissionskataster die Auflistung aller anthropogenen Quellen zu verstehen, geordnet nach dem geografischen Standort und den Emissionsbedingungen dieser Quellen.

1.1 Emissionssituation

Die Emissionssituation wird detailliert durch Emissionskataster beschrieben. Emissionskataster wurden in der Bundesrepublik Deutschland bisher für die Ballungsräume Köln, Duisburg-Mülheim-Oberhausen, Ludwigshafen/Rh und Mainz erhoben. Für die Stadt Wiesbaden liegen z.Zt. katastermäßige Erhebungen nur für die Emittentengruppe Kraftfahrzeugverkehr vor.

1.1.1 Datenermittlung

Die Ermittlung der Abgasemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs ist schematisch in Abb. 1.1 dargestellt. Die Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen werden bei den Emissionskatastern für Linienquellen (stark befahrene Straßen) und Flächenquellen (Wohn- und Geschäftsviertel) getrennt ermittelt. Unter Voraussetzung bekannter Emissionsfaktoren für die einzelnen Abgaskomponenten hängen die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs auf diesen Linien- und Flächenquellen im wesentlichen von der Verkehrsstärke und vom Fahrverhalten ab. Letzteres wird charakterisiert durch die mittlere Fahrgeschwindigkeit v_m bzw. den Fahrmodus m .

Im allgemeinen wird der Tagesgang der Verkehrsstärke auf den Linienquellen durch Querschnittszählungen bestimmt; dabei erfolgt eine Trennung nach Personen- und Lastkraftwagen. Die Flächenquellen werden in drei Typen aufgeteilt, die sich sowohl von der Verkehrsstärke als auch vom Tagesgang deutlich unterscheiden: die City-Gebiete mit relativ hohem Geschäftsverkehrsanteil, die dicht bebauten City-Randgebiete und die relativ locker bebauten Stadtrandgebiete mit ausgeprägtem Siedlungscharakter. Das Verkehrsaufkommen auf Flächenquellen wird auf repräsentativen Straßen er-

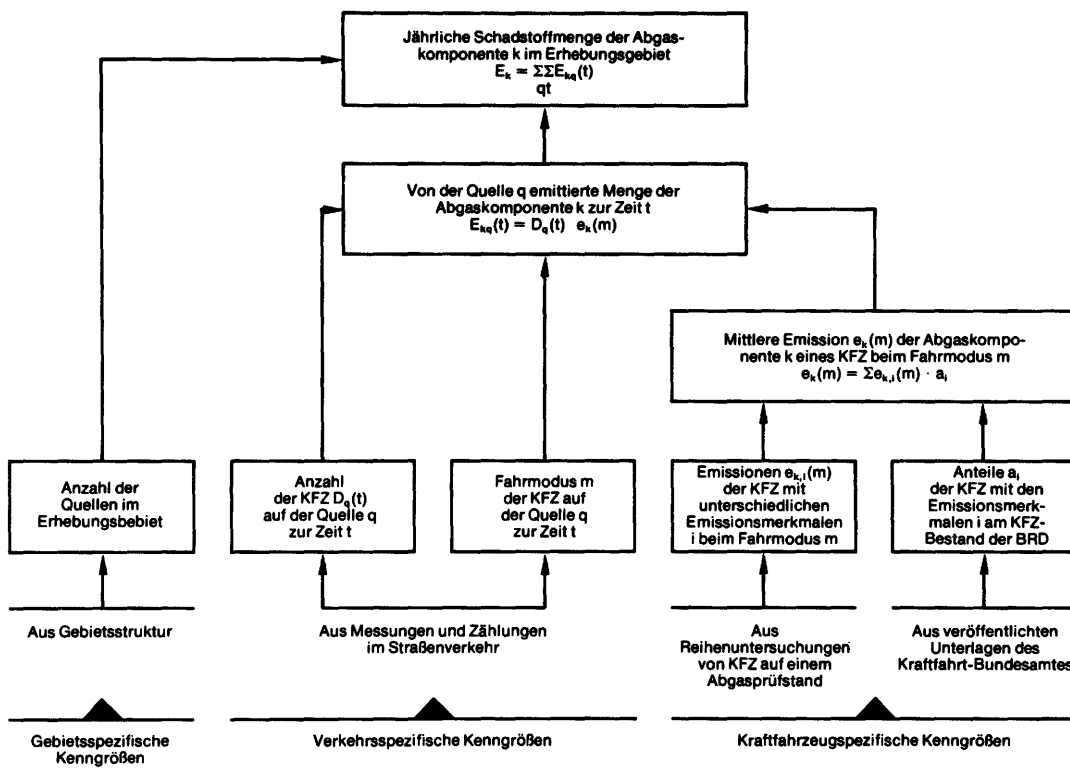


Abb. 1.1.: Ermittlung von Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen

mittelt, wobei die verschiedenen Straßentypen (Einbahnstraßen, beidseitig befahrene Straßen, stark und schwächer frequentierte Straßen) anteilmäßig berücksichtigt werden. Aus diesen Zählungen wird eine mittlere Verkehrsdichte bestimmt, bezogen auf die Streckenlänge der Flächenquelle. Über die Streckenlängen der einzelnen Quellen gelangt man dann zum Verkehrsaufkommen der Flächenquellen des jeweiligen Flächenquellentyps.

Das Fahrverhalten auf einem betrachteten Straßenabschnitt hängt außer von der Verkehrsstärke auch von weiteren Faktoren ab, wie z.B. Straßenart,- führung und der Verkehrsregelung. Um das Fahrverhalten auf einfache Weise zu kennzeichnen, wurde die mittlere Fahrgeschwindigkeit herangezogen [1.2]. Dies ist zulässig, da der Nachweis erbracht wurde, daß die den Fahrhythmus kennzeichnenden Parameter, wie z.B. die Zeitanteile an Stillstand, Beschleunigung, Verzögerung und konstanter Fahrgeschwindigkeit in einem statistischen Zusammenhang stehen. Die den Geschwindigkeitsbereichen zugeordneten Fahrmodi und die entsprechende Verkehrssituation sind aus Tabelle 1.1 zu ersehen.

Tabelle 1.1: Fahrmodi zur Darstellung des Kfz-Verkehrs

Fahrmodus	Geschwindigkeitsbereich		Verkehrssituation
1	ca.	- 100 km/h	Autobahn
2	55	- 65 km/h	Ausfallstraßen
3	30	- 55 km/h	flüssiger Durchgangsverkehr
4	22	- 30 km/h	flüssiger Straßenverkehr
0	17	- 22 km/h	Vergleichszyklus zum Europatest
5	10	- 17 km/h	zähflüssiger Stadtverkehr
6	2	- 10 km/h	verstopfte Straßen

Im Zusammenhang mit den Modelluntersuchungen im Großraum Köln [1.2, 1.3] wurden in den Jahren 1970-71 auf einem Abgasprüfstand mittlere Emissionsfaktoren bei den verschiedenen Fahrmodi ermittelt. Auf die Systematik der Ermittlung von Abgas-Emissionsfaktoren wird in Kapitel 4.1.2.1 eingegangen.

1.1.2 Ergebnisse der Emissionskataster

Die zeitlich wiederkehrende Erhebung von Emissionskatastern für Belastungsgebiete ist geeignet, die Auswirkung von Maßnahmen zur Beeinflussung der Emissions- und Immissionssituation aufzuzeigen. Die räumliche Verteilung der Emissionsbelastung wird mit Hilfe von Raster- und Emissionsdichtekarten dargestellt. Aussagen über die tatsächliche Umweltbelastung lassen sich aus diesen Angaben nicht ableiten, da die Ausbreitungsbedingungen der Schadstoffe örtlich stark differieren können.

Die Auswertung der im folgenden beschriebenen Emissionskataster ist teilweise noch nicht abgeschlossen. Eine Beschreibung der einzelnen Erhebungsgebiete muß sich daher auf derzeit verfügbare Daten beschränken.

Emissionskataster Köln

Die spezifische Stickoxid-Belastung der einzelnen Linien- und Flächenquellen des Erhebungsgebietes Köln durch den Kraftfahrzeugverkehr ist in Abb. 1.2 wiedergegeben. Diese spezifische Belastung entspricht der auf die Längeneinheit von Linienquellen bzw. auf die Flächeneinheit von Flächenquellen bezogenen Jahresemission (gerechnet als NO) und wird als Emissionsdichte bezeichnet.

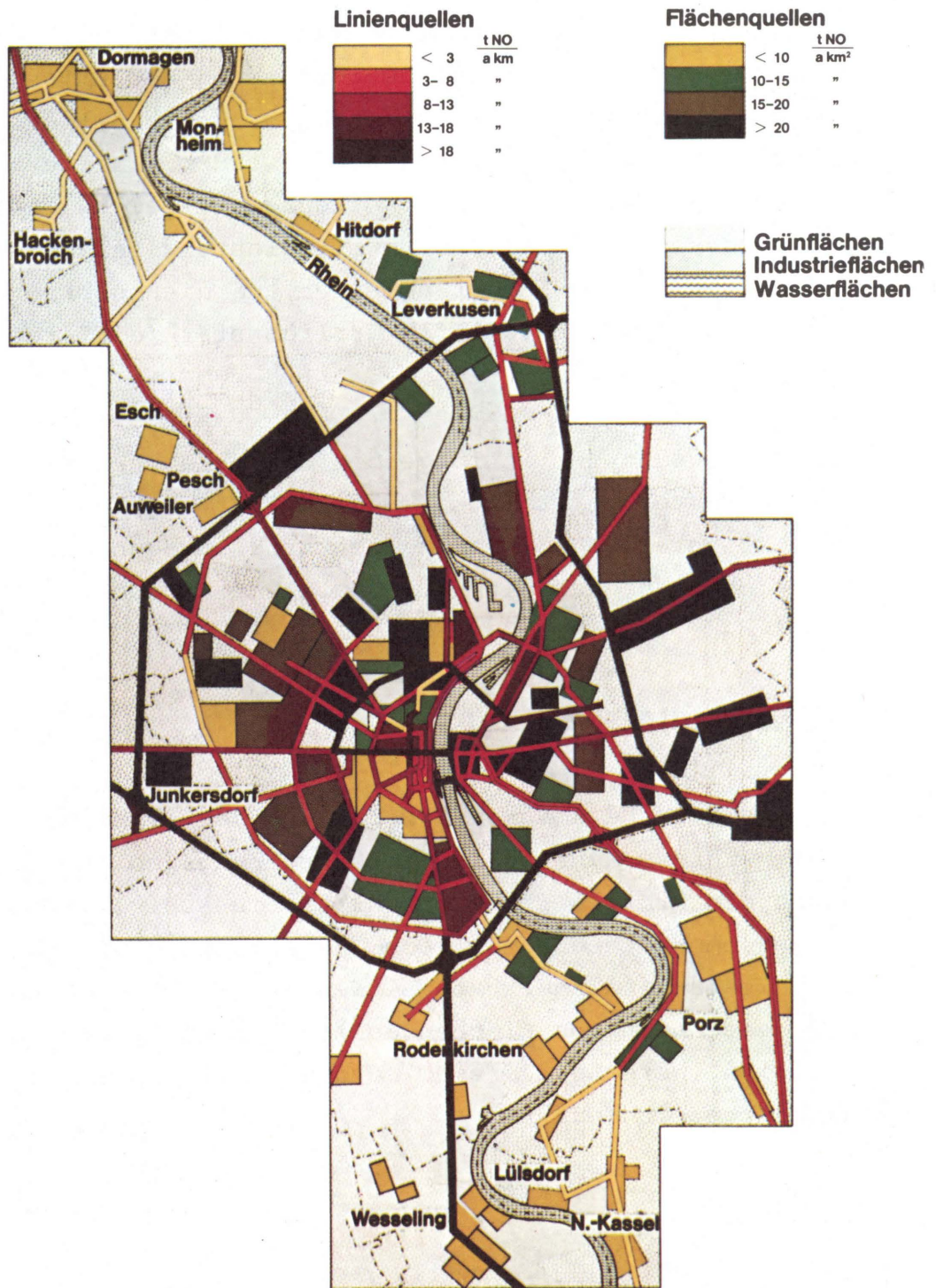


Abb. 1.2: Jährliche Stickoxid-Emissionsdichten auf den Linien- und Flächenquellen des Untersuchungsgebietes Köln (Stand 1975)

Wie aus der Darstellung hervorgeht, treten bei den Linienquellen die höchsten Emissionsdichten für NO_x auf den Autobahnabschnitten sowie den dichtbefahrenen Straßen des Kölner Innenstadtbereiches auf.

Das absolute Maximum der Emissionsdichte auf Linienquellen beträgt $39,7 \text{ t NO/a km}$ im Bereich des südlichen Autobahnringes. Auf den Flächenquellen treten in den Vorortzonen mit hoher Bevölkerungsdichte oder stärkeren Ansammlungen von Industrie- bzw.- Kleingewerbebetrieben höhere Emissionsbelastungen auf. Der Maximalwert der Emissionsdichte bei Flächenquellen liegt bei $48,9 \text{ t NO/a km}^2$ in den dichtbebauten rechtsrheinischen Stadtteilen.

In Abb. 1.3 sind die Stickoxid-Jahresemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in Rasterflächen der Größe $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ eingetragen. Die die Rasterflächen durchkreuzenden Linien- und Flächenquellen werden bei der Berechnung der Emissionen anteilig berücksichtigt. Die höhere Emissionsdichte entlang des Autobahnringes und im Innenstadtgebiet ist auch aus dieser Darstellung ersichtlich.

Insgesamt werden 1975 in dem dargestellten Erhebungsgebiet vom Kraftfahrzeugverkehr bei etwa $131 \cdot 10^6$ Betriebsstunden rund $5,3 \cdot 10^9$ Kilometer jährlich zurückgelegt. Die auf den Kraftfahrzeugverkehr zurückzuführende Emission an Stickoxiden beträgt jährlich 5450 t . Von den drei Emittentengruppen Industrie, Hausbrand mit Kleingewerbe und Kraftfahrzeugverkehr werden im Erhebungsgebiet jährlich insgesamt ca. 41.000 t Stickoxide emittiert (berechnet als NO). Auf die Emittentengruppe Kraftfahrzeugverkehr entfallen demnach $13,2\%$ der Gesamtemission. Auf Hausbrand und Kleingewerbe entfallen $6,9 \%$, die industriellen Betreiber emittieren $79,9 \%$ des gesamten Schadstoffauswurfs an Stickoxiden. Diese Verhältniszahlen liegen ähnlich, wenn man sich auf einen Teilbereich beschränkt, der im we-

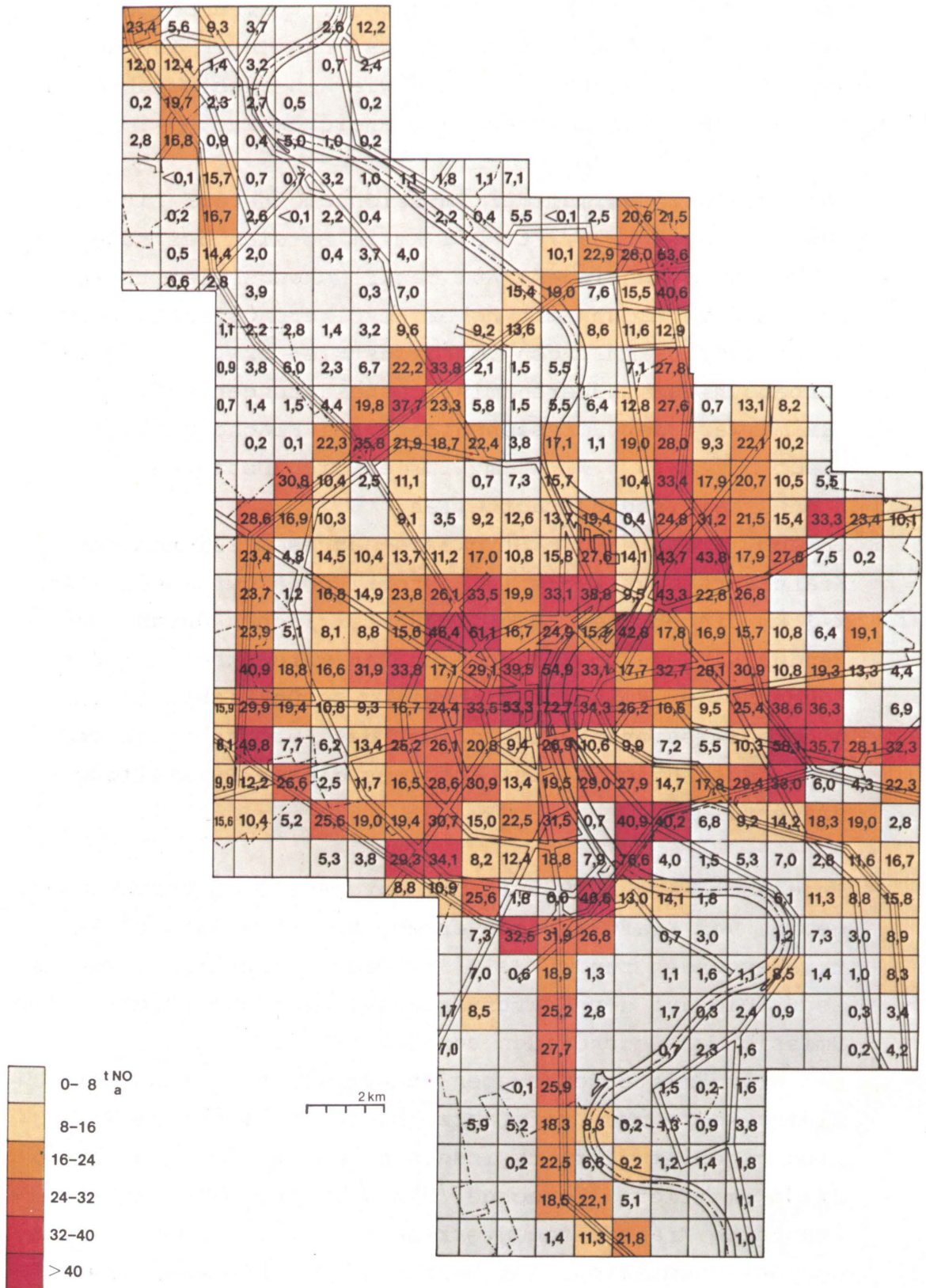


Abb. 1.3: Jahresemissionen an Stickoxiden der Emittentengruppe Kraftfahrzeugverkehr des Untersuchungsgebietes Köln bezogen auf Flächen von 1 km² (Stand 1975)

sentlichen mit dem linksrheinischen Stadtbiet von Köln und der Industriezone im Norden von Köln identisch ist. Die Auswertung dieses Teilgebietes [1.3] führt bei den Stickoxiden zu folgenden Emissionsanteilen:

Kraftfahrzeugverkehr	10,4 %
Hausbrand und Kleingewerbe	11,4 %
Industrie	81,8 %

Untersucht man die Emissionsanteile, die in den dicht-bebauten City- und Cityrandgebiete auftreten, so sind die Anteile des Kfz-Verkehrs und des Hausbrandes etwa gleich groß, der Industrieanteil jedoch vernachlässigbar.

Emissionskataster Duisburg-Mülheim-Oberhausen

Dieses Erhebungsgebiet ist im wesentlichen identisch mit den heutigen Stadtgebieten von Duisburg, Mülheim und Oberhausen sowie dem Stadtteil Krefeld-Uerdingen. Die Größe des Erhebungsgebietes beträgt 338 km², die Einwohnerzahl liegt bei ca. 1 Mio. [1.4]. Die örtliche Verteilung der 1973 ermittelten Stickoxid-Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs ist in Abb. 1.4 dargestellt. Die angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf die Jahresemissionen in der jeweiligen Rasterfläche der Größe 1 km². Im gesamten Erhebungsgebiet legen die Kraftfahrzeuge jährlich in 75,8 · 10⁶ Betriebsstunden etwa 3,1 · 10⁹ Kilometer zurück. Dabei werden 3.299 t NO emittiert, zu 83,9 % vom Pkw-Verkehr und zu 16,1 % vom Lkw-Verkehr. Im gleichen Erhebungsgebiet emittieren Hausbrand und Kleingewerbe jährlich 3.216 t NO₂, entsprechend 2.097 t NO. Angaben über Industrieemissionen an NO_x liegen noch nicht vor.

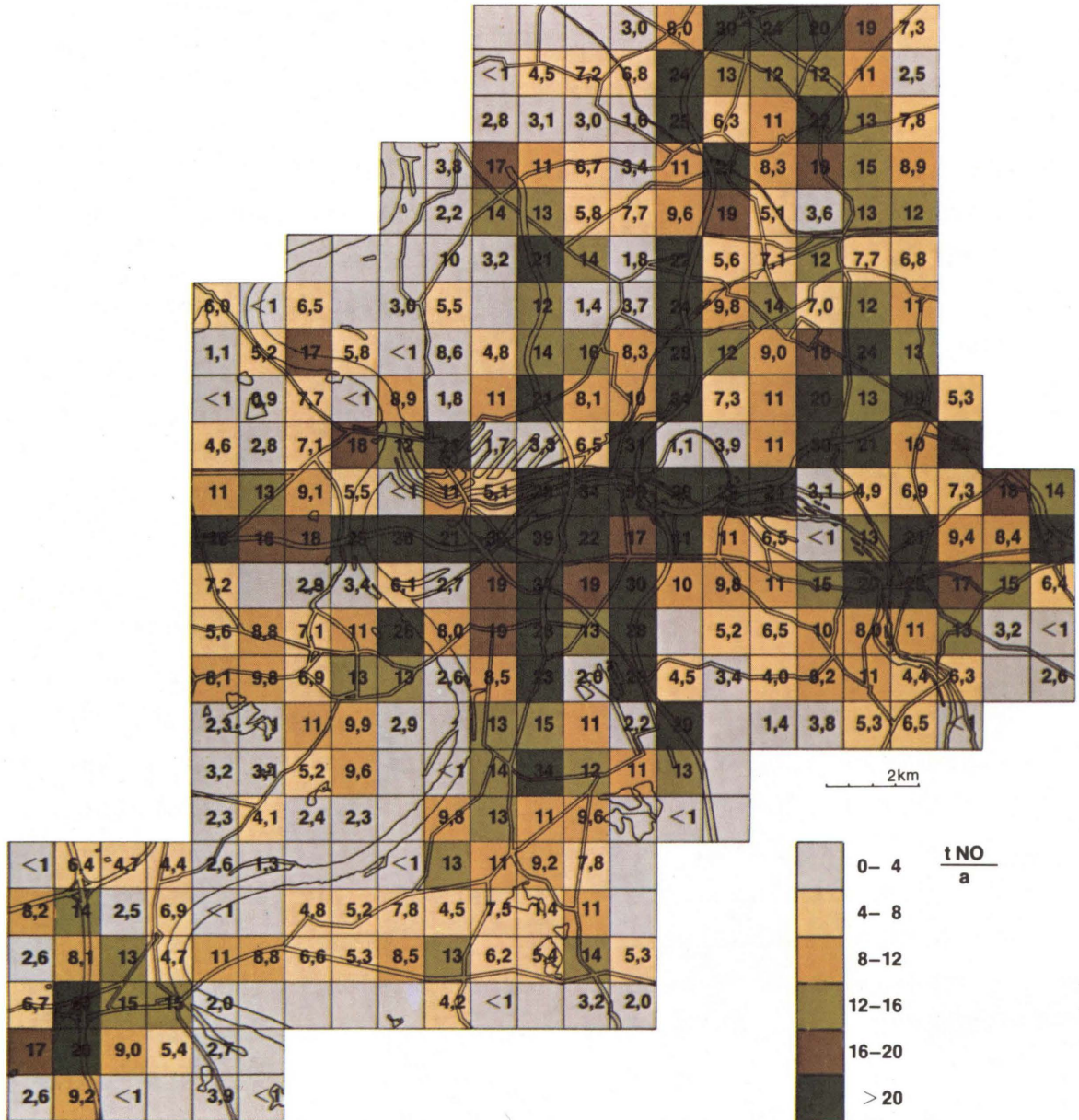


Abb. 1.4: Jahresemissionen an Stickoxiden der Emittentengruppe Kraftfahrzeugverkehr des Untersuchungsgebietes Duisburg-Mülheim-Oberhausen bezogen auf eine Fläche von 1 km² (Stand 1973)

Emissionskataster Mainz

Das flächenmäßig größte Belastungsgebiet in Rheinland-Pfalz ist das Erhebungsgebiet Mainz mit einer Fläche von 222 km². Dieses Gebiet wird von ca. 229.000 Menschen bewohnt. Im Bereich der Stadt Mainz wurden von den Kraftfahrzeugen im Erhebungszeitraum 1974 jährlich in $21,2 \cdot 10^6$ Betriebsstunden $726 \cdot 10^6$ Kilometer zurückgelegt, wobei ca. 90 % auf den Pkw-Verkehr und nur 10 % auf den Lkw-Verkehr entfallen. Die dabei verursachten Stickoxid-Emissionen betragen 791 t NO/a, davon 86,5 % vom Pkw-Verkehr und 13,5 % vom Lkw-Verkehr. Die Stickoxid-Emissionsdichte auf den Linien- und Flächenquellen des Mainzer Stadtgebietes ist in Abb. 1.5 wiedergegeben. Die dargestellten Stufen entsprechen der Emissionsbelastung eines Werktages (Montag bis Freitag). Die flächenbezogenen Jahresemissionen an Stickoxiden durch den Kraftfahrzeugverkehr sind aus Abb. 1.6 zu entnehmen. Im gesamten Erhebungsgebiet Mainz werden vom Kraftfahrzeugverkehr jährlich 1.035 t NO emittiert. Die Emittentengruppe Hausbrand und Kleingewerbe verursacht im gleichen Gebiet jährlich 755 t NO₂, entsprechend 492 t NO. Die flächenbezogene Stickoxid-Emissionsbelastung durch Hausbrand und Kleingewerbe erreicht nur im dichtbebauten Citygebiet von Mainz die gleiche Größenordnung wie die Belastung durch den Kraftfahrzeugverkehr [1.5].

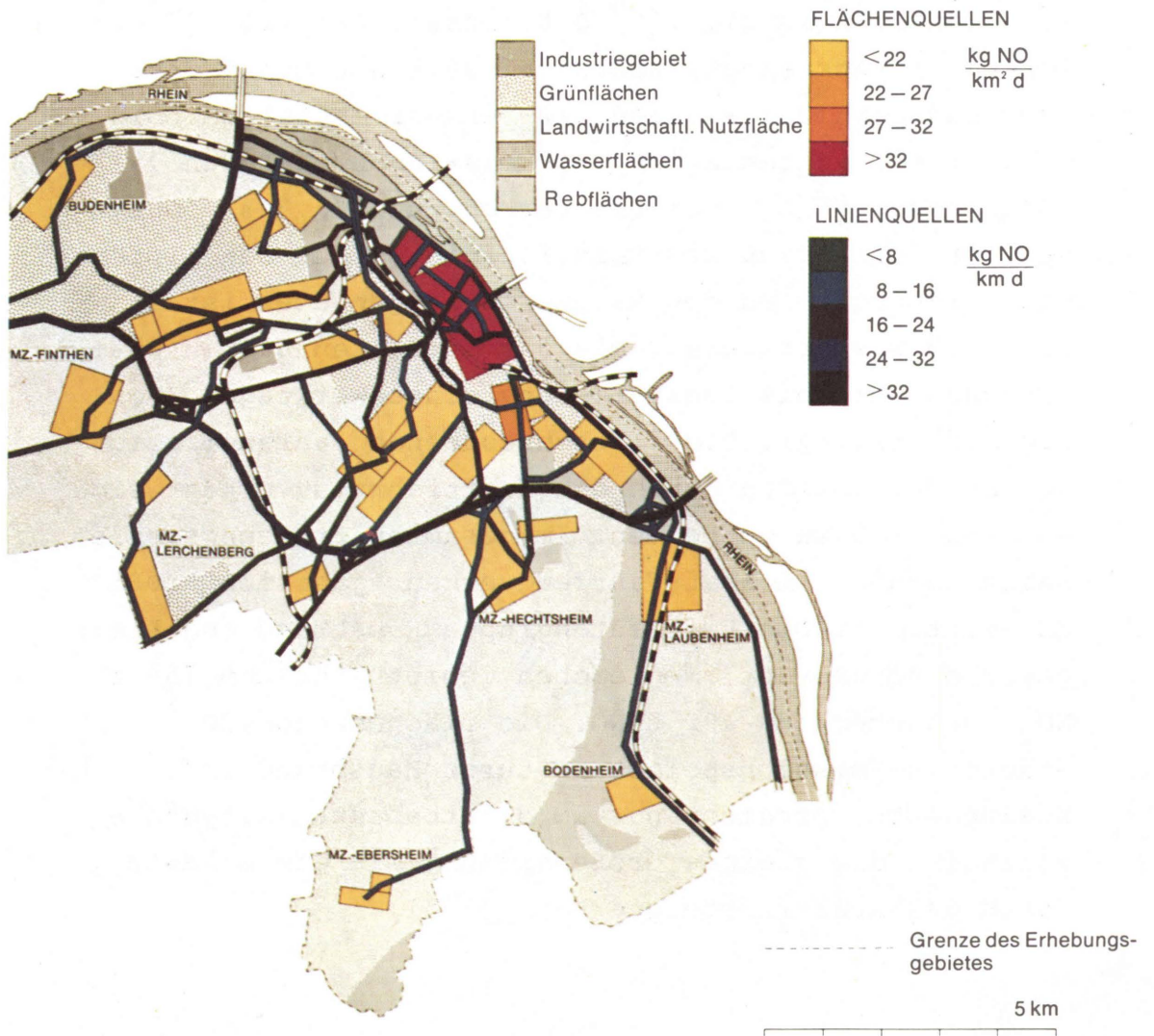


Abb. 1.5: Stickoxid-Emissionsdichte, Montag-Freitag Untersuchungsgebiet Mainz (Teilausschnitt Stand 1974)

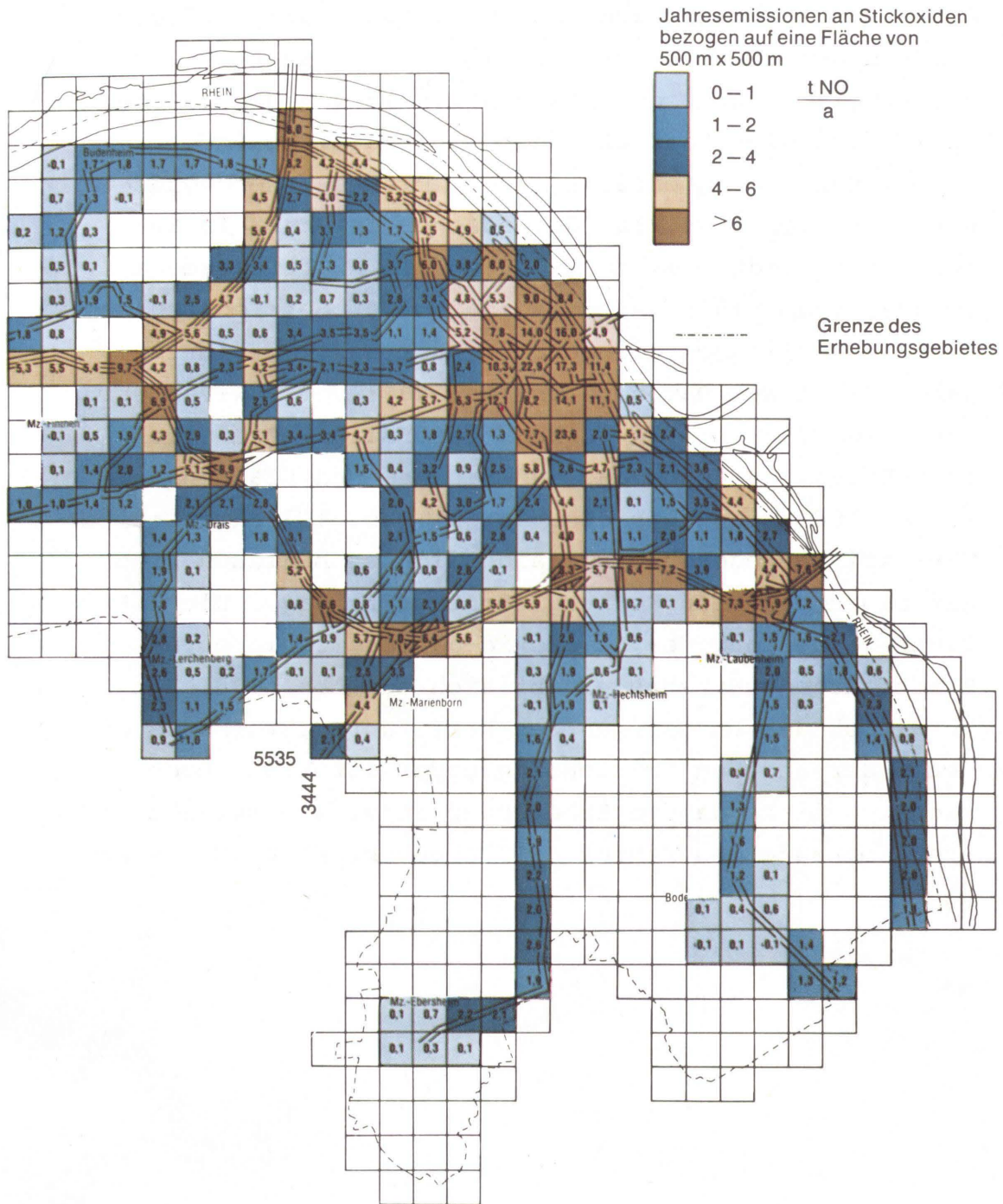


Abb. 1.6: Jahresemission an Stickoxiden der Emittentengruppe Kraftfahrzeugverkehr des Untersuchungsgebietes Mainz (Teilausschnitt), bezogen auf eine Fläche von 500 m x 500 m (Stand 1974)

Emissionskataster Rhein-Main

Das erste im Bundesland Hessen katastermäßig erfaßte Belastungsgebiet ist das ca. 102 km² große Rhein-Main-Gebiet, das sich im wesentlichen aus dem Stadtgebiet von Wiesbaden und der Gemeinde Ginsheim-Gustavsburg zusammensetzt [1.6]. Dieses Erhebungsgebiet wird von etwa 250.000 Menschen bewohnt. Im Bereich der Stadt Wiesbaden legten die Kraftfahrzeuge im Bezugsjahr 1975 jährlich in $206 \cdot 10^6$ Betriebsstunden etwa 760 Millionen Kilometer zurück und emittierten dabei 794 t NO. Davon werden ca. 90 % vom Pkw-Verkehr und rund 10 % vom Lkw-Verkehr verursacht. Die Stickoxid-Emissionsdichte auf den Linien- und Flächenquellen des Belastungsgebietes ist in Abb. 1.7 dargestellt. Die darin angegebenen Emissionsdichten beziehen sich auf einen normalen Werktag (Montag-Freitag). Die örtliche Verteilung der Stickoxid-Jahresemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs ergibt sich aus Abb. 1.8. Ein Vergleich der Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs mit denen der anderen Emittentengruppen ist z.Zt. noch nicht möglich, da die Erhebungen in diesem Bereich erst im Laufe des Jahres 1977 abgeschlossen sein werden.

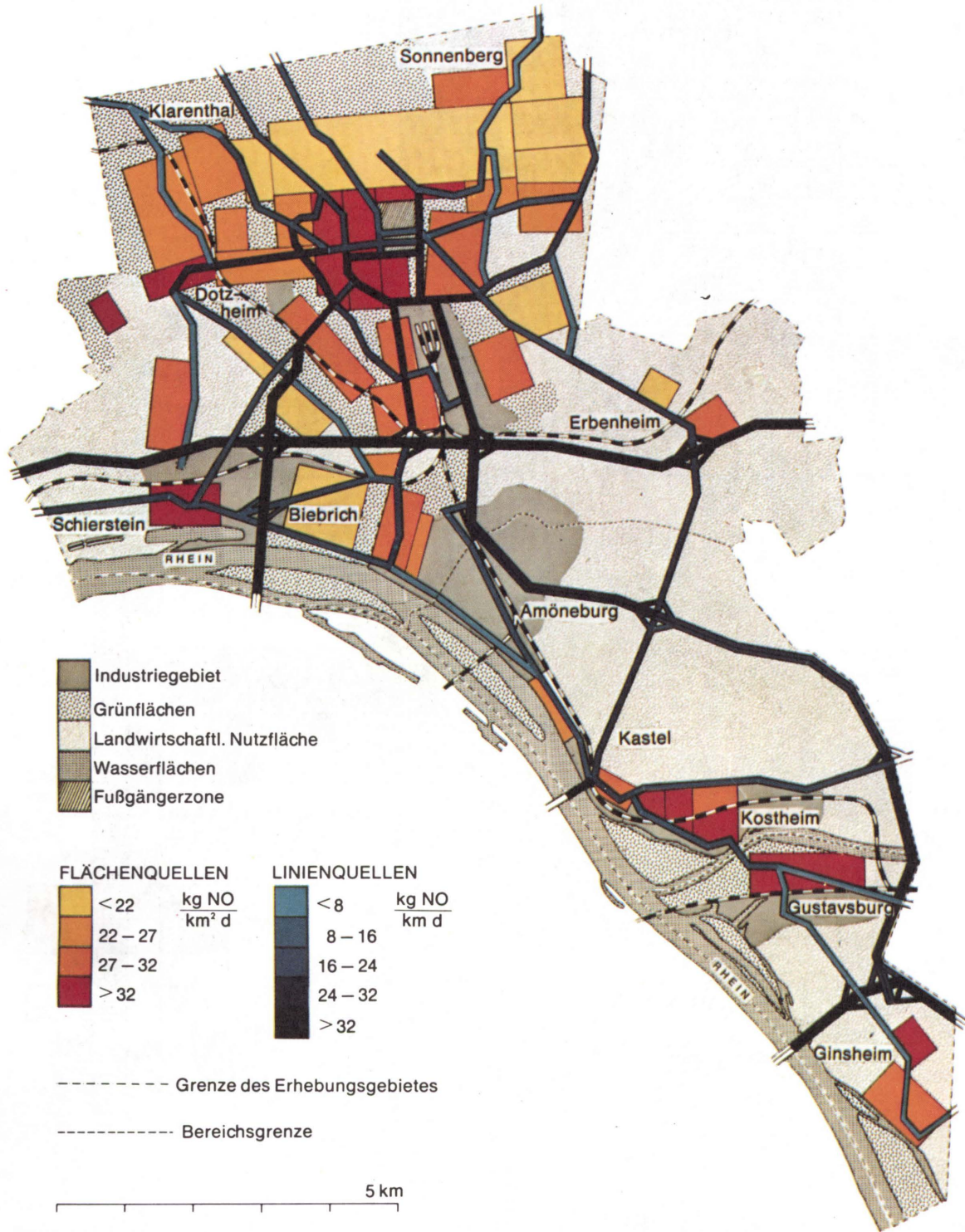


Abb. 1.7: Stickoxid-Emissionsdichte, Montag-Freitag Untersuchungsgebiet Wiesbaden (Stand 1975)

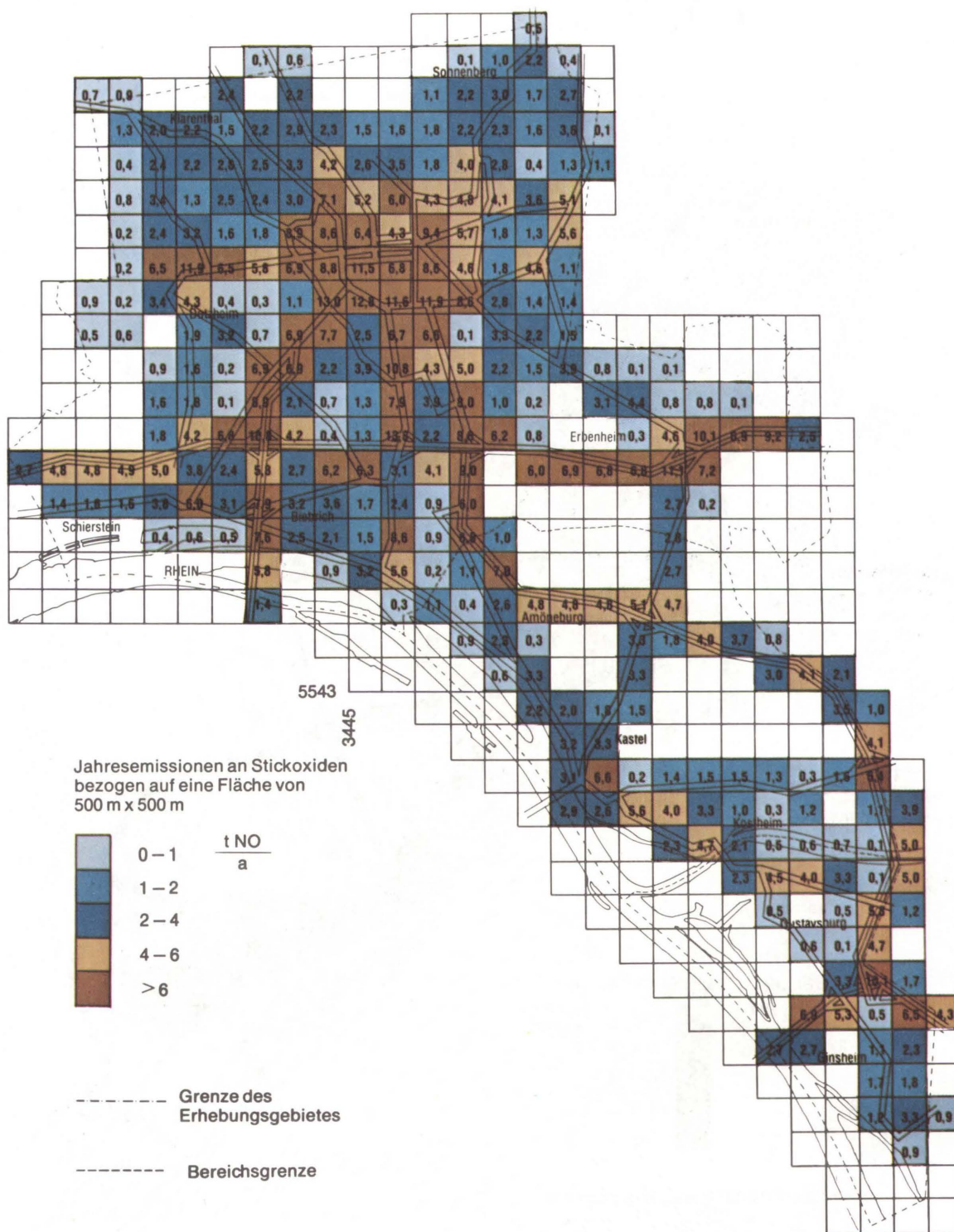


Abb. 1.8: Jahresemissionen an Stickoxiden der Emittentengruppe Kraftfahrzeugverkehr des Untersuchungsgebietes Wiesbaden bezogen auf eine Fläche von 500 m x 500 m (Stand 1975)

1.1.3 Vergleich der Belastungsgebiete

Ein direkter Vergleich der vier beschriebenen Belastungsgebiete ist wegen der unterschiedlichen Größe und Struktur nur bedingt möglich. Um dennoch die Emissionsbelastung durch den Kraftfahrzeugverkehr in den einzelnen Belastungsgebieten beurteilen zu können, muß eine charakteristische Bezugsgröße gefunden werden, die in einem direkten Zusammenhang mit der Verkehrssituation innerhalb eines betrachteten Gebietes steht und im Rahmen der Emissionserhebungen ermittelt wird. Eine geeignete Bezugsgröße stellen die jährlichen Betriebsstunden des gesamten Kraftfahrzeugverkehrs dar. In Tabelle 1.2 sind für die vier Belastungsgebiete

Köln (1)

Duisburg-Mülheim-Oberhausen (2)

Mainz (3)

Rhein-Main (4)

die Kfz-Betriebsstunden, Fahrleistung und Stickoxid-Emissionen gegenüberstellt.

Aus der Fahrleistung und den Kfz-Betriebsstunden errechnet sich die mittlere Fahrgeschwindigkeit, der die auf die Kfz-Betriebsstunde bezogenen Stickoxidemissionen gegenübergestellt werden.

Bei den Belastungsgebieten Mainz und Rhein-Main wurden dabei nur die Werte herangezogen, die sich direkt auf die Stadtgebiete Mainz und Wiesbaden beziehen.

Tabelle 1.2: Betriebsstunden, Fahrleistung und Stickoxid-Emissionen von vier Belastungsgebieten

Belastungs- gebiet	Betriebs- stunden	Fahrlei- stung	mittlere Fahrge- schwindig. km/h	Stickoxidemissionen	
	10^6 Kfz-h/a	10^9 Kfz-km/a		10^3 kg/a	10^3 kg/Kfz-h
1	131	5,32	40,6	5.450	41,6
2	75,8	3,06	40,4	3.299	43,5
3	21,2	0,726	34,2	791	37,5
4	20,6	0,760	36,9	794	38,5

Die geringste mittlere Fahrgeschwindigkeit wird mit 34,2 km/h im Stadtgebiet von Mainz beobachtet. Infolge des relativ hohen Autobahnanteils am gesamten Straßennetz tritt die höchste mittlere Fahrgeschwindigkeit im Erhebungsgebiet Köln auf. Die auf die Kfz-Betriebsstunde bezogene Stickoxidemission ist im wesentlichen proportional zur mittleren Fahrgeschwindigkeit. Für das Belastungsgebiet Duisburg-Mülheim-Oberhausen ergibt sich trotz der im Vergleich zu Köln nahezu gleichen mittleren Fahrgeschwindigkeit eine um etwa 5 % höhere zeitbezogene Stickoxidemission, was auf einen größeren Anteil der Fahrmodi mit höherer Fahrgeschwindigkeit (Modi 1 und 2) zurückgeführt werden kann.

1.2 Immissionssituation

Die beschriebenen Emissionskataster ermöglichen es, einen Überblick über den Anteil einzelner Emittenten oder Emittentengruppen an den Emissionen bestimmter Stoffe zu gewinnen. Sie dienen hauptsächlich aber dazu, mit Hilfe von Ausbreitungsrechnungen den entsprechenden Immissionsanteil an bestimmten Stellen des betrachteten Raumes zu ermitteln, um dann aus

einer differenzierten Betrachtung der Immissionsanteile Schlußfolgerungen hinsichtlich notwendiger Verbesserungs- bzw. Vorsorgeprogramme ziehen zu können.

Die bisher bekannten mathematisch-meteorologischen Ausbreitungsmodelle werden mit großem Erfolg zur Abschätzung der von Industrie, Hausbrand und Kleingewerbe verursachten realen Immissionsbelastung herangezogen [1.7, 1.8]. Die Anwendung dieser Ausbreitungsmodelle auf die vom Kraftfahrzeugverkehr verursachten Emissionen zur Berechnung der im unmittelbaren Einwirkungsbereich der Straßenschlucht resultierenden Immissionsbelastung führt zu Ergebnissen, die zum Teil um einige Größenordnungen von gemessenen Immissionskonzentrationen abweichen [1.3]. Diese Modelle können daher bestenfalls dazu benutzt werden, die Immissionskonzentrationen des Kraftfahrzeugverkehrs außerhalb von Straßenschluchten zu berechnen.

1.2.1 Immissionsbelastung in verkehrsreichen Straßen

Zur Ermittlung der Immissionsbelastung im unmittelbaren Einwirkungsbereich des Kraftfahrzeugverkehrs sind umfangreiche Meßreihen zur Zeit noch unumgänglich. Sie wurden in mehreren Großstädten der Bundesrepublik durchgeführt. Allerdings beschränken sich diese Messungen meistens auf einzelne exponierte Punkte in den Städten, aus denen kein umfassender Überblick über die Stickoxid-Immissionskonzentration des gesamten Stadtgebietes gewonnen werden kann. Die Meßwerte selbst sind sehr stark vom Meßort abhängig, da sie starken lokalen und temporären Änderungen unterliegen, die durch unterschiedliche Quellstärke und durch Änderung der meteorologischen Ausbreitungsparameter verursacht werden. Als hauptsächliche Einflußgrößen für das Ausbreitungsverhalten der Stickoxide in der Atmosphäre sind neben Windrichtung und

-geschwindigkeit die atmosphärische Stabilität und die Sonneneinstrahlung anzusehen. Die Sonneneinstrahlung beeinflusst die photochemischen Reaktionen, an denen die Stickoxide in der Atmosphäre beteiligt sind, und damit die Ausbildung des photochemischen Smogs. In Tabelle 1.3 werden die arithmetischen Mittelwerte sowie die 95-Perzentile der Immissionsmessungen im Verkehrsbereich einzelner Großstädte zusammengestellt [1.9].

Tabelle 1.3: NO, NO₂-Immissionskennwerte aus Verkehrsbereichen in der Bundesrepublik Deutschland (Jahresmittelwerte und 95-Perzentile für ein Jahr)

Meßstelle	Mittelwert			95-Perzentil			Meßzeit- raum
	NO	NO ₂	Σ(NO,NO ₂) [µg/m ³]	NO	NO ₂	Σ(NO,NO ₂) [µg/m ³]	
Frankfurt	110	120	260	290	200		1973
München			240			300	1971
Essen			132			312	1970
Berlin			142			370	1973/1974
Mannheim		44			71		1971
Gelsenkir.		51			87		1971
Köln			50				1970/1973
Saarland					200		1971/1972

Vergleicht man dazu die Stickoxid-Immissionskonzentrationen, die in Wohn- und Gewerbevierteln ohne nennenswertes Verkehrsaufkommen gemessen wurden, so sind diese um etwa einen Faktor von 5 bis 10 geringer als die im unmittelbaren Verkehrsbereich ermittelten Werte. Lediglich in direkter Nähe von größeren Industriezentren sind Immissionskonzentrationen in ähnlicher Größe zu erwarten.

Langjährige Messungen der Stickoxidkonzentrationen in Frankfurt und Köln [1.10, 1.11] zeigen einen Trend zu höheren Konzentrationen, die auf eine Zunahme der Stickoxid-Emissionen zurückzuführen sind. So wurde z.B. an einer Meßstelle des Instituts für Meteorologie und Geophysik in Frankfurt in den Jahren 1962 bis 1973 eine Zunahme der NO_x -Konzentration im Jahresmittel um etwa das 5fache festgestellt (siehe Abb. 1.9) [1.14]. Für diesen Anstieg ist sowohl ein höheres Kraftfahrzeugaufkommen als auch eine steigende Stickoxid-Emission aus den Feuerungen verantwortlich. Ausserdem wurden für die Wintermonate aufgrund der größeren Emissionsbelastung aus den Feuerungen zur Gebäudebeheizung deutlich höhere Immissionskonzentrationen ermittelt als in den Sommermonaten.

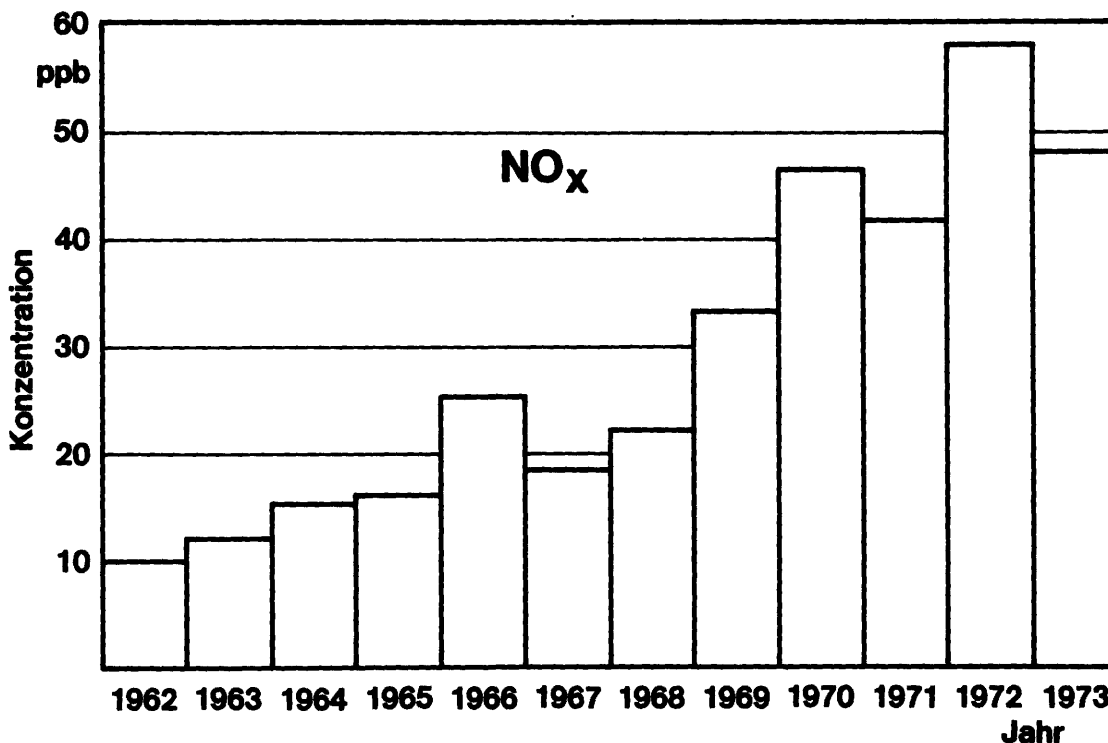


Abb. 1.9: Jahresemissionswerte der NO_x -Konzentration in Frankfurt/Main, Meßstelle Institut für Meteorologie und Geophysik [1.14]

In den Jahren 1972 bis 1974 durchgeführte Immissionsmessungen an einem Verkehrsknotenpunkt im Stadtgebiet von Köln [1.11] zeigten bei den Stickoxiden eine Überschreitung der in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) [1.12] genannten Immissionswerte für NO und NO₂. Diese in der TA-Luft festgelegten Grenzwerte beziehen sich auf die Langzeiteinwirkung (IW 1) und Kurzeiteinwirkung (IW 2) der Schadstoffkomponenten. Sie lauten für die Stickoxide:

	IW 1	IW 2
	µg/m ³	µg/m ³
NO ₂	100	300
NO	200	600

Vergleicht man diese Grenzwerte mit den in Tabelle 1.3 genannten Meßwerten der einzelnen Städte, so ergeben sich sowohl für den Grenzwert IW 1 (Mittelwert) als auch für IW 2 (95-Perzentil) bei einigen Städten deutliche Überschreitungen. Außerhalb des unmittelbaren Verkehrsbereichs werden diese Grenzwerte kaum mehr erreicht.

Legt man zugrunde, daß die Fahrleistungen des Kraftfahrzeugverkehrs in den nächsten 5 Jahren um etwa 20 % ansteigen werden [1.13], so ergibt sich hieraus die Forderung nach einer Begrenzung der Stickoxidemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs.

1.2.2 Immissionsbelastung im Fahrzeuginnenraum

Den Immissionskonzentrationen im Innern der Kraftfahrzeuge sind vor allem Berufskraftfahrer und Pendler während morgendlicher und abendlicher Verkehrsspitzen ausgesetzt. Darüber hinaus ist eine Vielzahl von Menschen über längere Zeit den Konzentrationen im

Fahrzeug während der Fahrt auf Bundesautobahnen exponiert. Die im Fahrzeuginnern durchgeführten systematischen Immissionsmessungen beschränken sich auf Kohlenmonoxid als Leitsubstanz [1.15]. Im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführte Meßreihen im Stadtbereich von Frankfurt/Main ergaben eine mittlere Konzentration von 55 mg CO/m³ im Innenstadtbereich und 18 mg CO/m³ auf Ausfallstraßen. Als Maximalwerte über 5-minütige Intervalle wurden dabei etwa 100 mg CO/m³ beobachtet.

Um Rückschlüsse auf die Immissionsbelastung durch Stickoxide zu ermöglichen, wurde die gemessene CO-Immission mit einem Faktor multipliziert, der auf der Basis der Emissionsfaktoren, wie sie bei Erhebung der Abgas-Emissionen des Straßenverkehrs angewandt wurden, errechnet wurde. Damit ergaben sich mittlere Konzentrationen von etwa 600 µg NO/m³; die Maximalwerte liegen bei 1000 µg NO/m³.

Bei Messungen im Inneren eines Kraftfahrzeugs während längeren Fahrten auf Bundesautobahnen wurden NO-Konzentrationen beobachtet, die denen im Innenstadtbereich entsprechen bzw. diese noch übertreffen. Solche hohe Stickstoffmonoxid-Konzentrationen sind charakteristisch für die meisten Straßen, die mit hohen Geschwindigkeiten befahren werden.

Ein Vergleich dieser Meßwerte mit den Immissionswerten der TA-Luft (siehe Kapitel 1.2.1) zeigt, daß bei Fahrten im Citybereich und auf schnellbefahrenen Strecken die NO-Grenzwerte zum Teil erheblich überschritten werden.

2. Stand der Abgasgesetzgebung

Die zunehmende Verschlechterung der Luftqualität besonders in den Ballungszentren kann zu einem nicht geringen Teil dem Kraftfahrzeugverkehr zugeschrieben werden. Aus diesem Grunde sahen sich die Gesetzgeber weltweit gezwungen, Abgasemissionsstandards für Kraftfahrzeuge festzulegen. Jedoch mußte zunächst die zur Bestimmung der Emissionswerte erforderliche Meßtechnik entwickelt werden. Nur so ist es zu erklären, daß mit Einsetzen der Abgasgesetzgebung in Kalifornien zunächst nur die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen limitiert wurden. Erst später, als entsprechende Meßverfahren bereitgestellt werden konnten, wurden auch für die NO_x -Emissionen maximal zulässige Grenzwerte vorgeschrieben. Im folgenden soll der momentane Stand der Abgasgesetzgebung in den USA, Japan und den Europäischen Gemeinschaften dargestellt werden.

2.1 USA

In der Abgasgesetzgebung der USA werden folgende Fahrzeugkategorien unterschieden:

- Personenkraftwagen bis 12 Sitze und leichte Lastkraftwagen mit Otto- oder Dieselmotor mit einer Gesamtmasse von weniger als 2.700 kg (Leichte Kraftfahrzeuge),
- Fahrzeuge mit mehr als 12 Sitzplätzen und schwere Lastkraftwagen mit einer Gesamtmasse von über 2.700 kg (Schwere Kraftfahrzeuge).

2.1.1 Leichte Kraftfahrzeuge

Die leichten Fahrzeuge unterliegen dem sogenannten CVS-Test (Constant Volume Sampler), dessen Fahrprogramm in Abb. 2.1 dargestellt ist. Es besteht aus einer Übergangsphase mit Kaltstart (0 bis 505 s) und einer Stabilisierungsphase (505 bis 1.371 s). Um eine Überbewertung der Kaltphase zu vermeiden, wird die Übergangsphase nach einer Pause von 600 s, mit einem Warmstart beginnend, wiederholt.

Das Abgassammel- und -analysesystem für Fahrzeuge mit Ottomotoren ist in Abb. 2.2 wiedergegeben. Mittels einer Konstant-Volumen-Pumpe (Roots-Gebläse) werden Abgase und Umgebungsluft angesaugt und vermischt. Aus dem Gasstrom wird kontinuierlich eine Probe entnommen und den Abgassammelbeuteln zugeführt. Gleichzeitig wird eine ebenfalls kontinuierlich gezogene Probe der Umgebungsluft in den Luftsammelbeuteln gespeichert, um bei der späteren Analyse der Abgase den Einfluß der Grundbelastung aus der Verdünnungsluft bestimmen zu können.

Für die Abgasanalyse sind die folgenden Meßverfahren vorgeschrieben:

Kohlenmonoxid	- Infrarotanalysator (NDIR)
Kohlendioxid	- Infrarotanalysator (NDIR)
Stickoxide	- Chemolumineszenzanalysator (CLD)
Kohlenwasserstoffe	- Flammenionisationsdetektor (FID)

Die Bestimmung der Gesamtschadstoffemission an CO, CH und NO_x wird durch unterschiedliche Wichtung der in den drei Phasen des Testzyklus emittierten Schadstoffe durchgeführt: Die Emissionen der Übergangsphase mit Kaltstart werden mit dem Faktor 0,43, die der Stabilisierungsphase mit 1 und die der Übergangsphase mit Warmstart mit 0,57 bei der Ermittlung der Gesamtemission berücksichtigt.

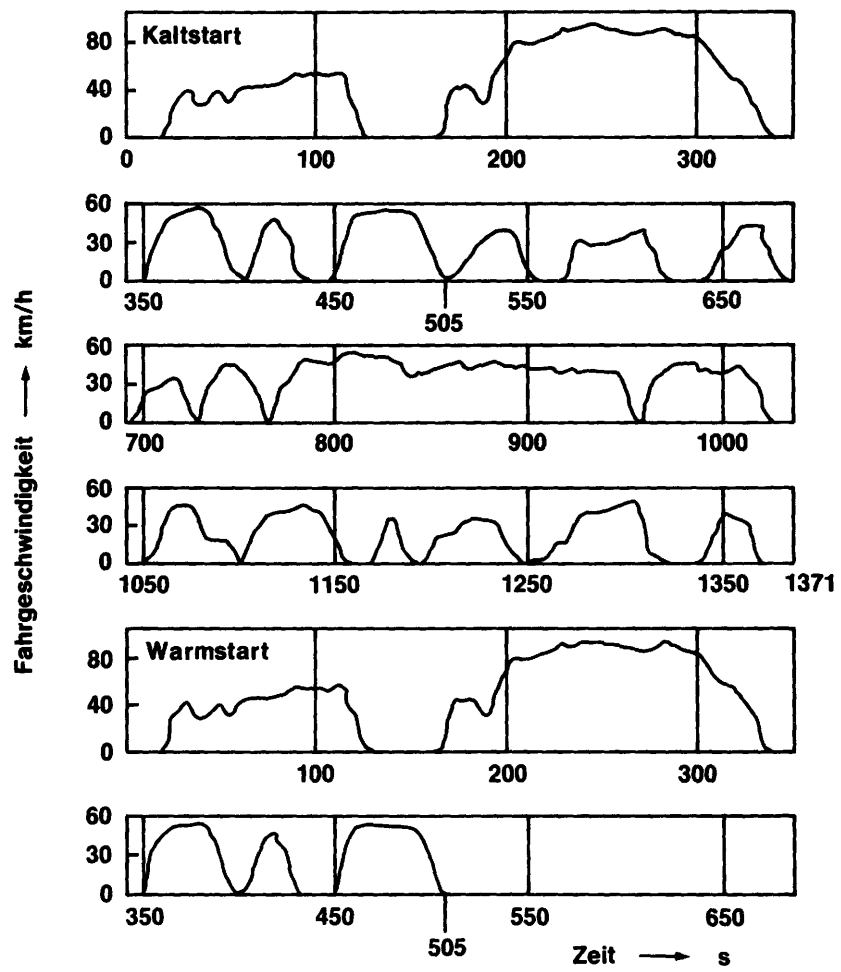


Abb. 2.1: Fahrprogramm für den CVS-Test

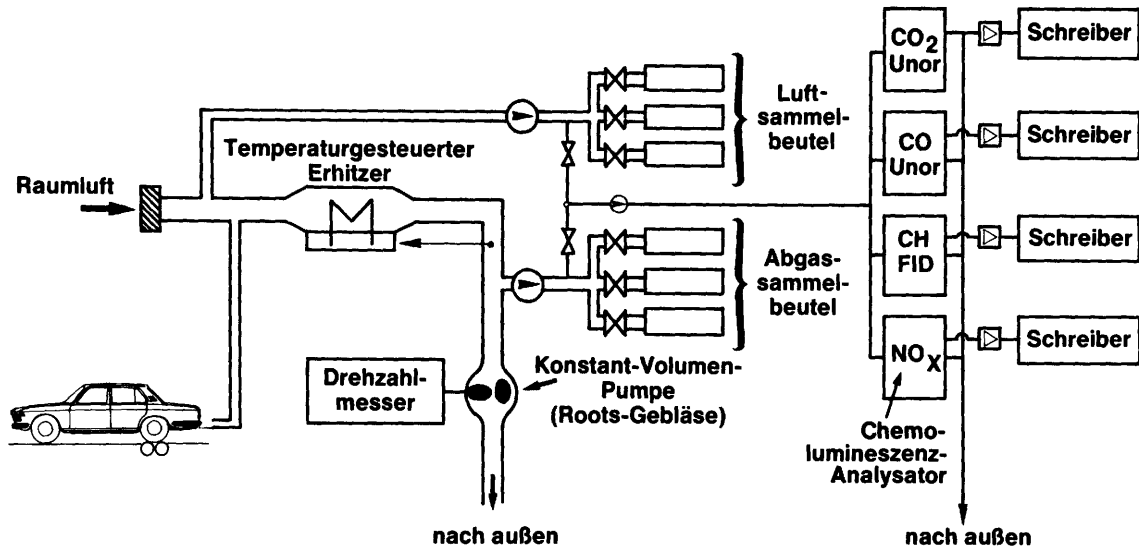


Abb. 2.2: Schematischer Aufbau einer CVS-Test-Anlage

Für Fahrzeuge mit Dieselmotoren wird das Verfahren zur Ermittlung der CH-Emissionen geändert. Aus dem verdünnten Abgas wird kontinuierlich eine Probe dem FID zugeführt. Die gemessenen Konzentrationen, die aufgrund des Sammelverfahrens proportional zu den Schadstoffmassen verlaufen, werden aufgezeichnet. Die Intregation über die gesamte Testzeit ergibt die CH-Emission.

Die bei diesem Testverfahren ermittelten Schadstoffemissionen dürfen für die einzelnen Komponenten die in Tab. 2.1 aufgeführten Grenzwerte nicht überschreiten.

Tabelle 2.1: Zulässige Emissionswerte für Personenkraftwagen
[2.1]

Modelljahr	CO [g/mi]	CH [g/mi]	NO _x [g/mi]
1976	15	1,5	3,1
1977	3,4 15*	0,41 1,5*	2,0 2,0*
1978 und später	3,4	0,41	0,40

* Interimstandards (werden auf Antrag der Kfz-Hersteller weitgehend angewandt)

Gegen die ab 1978 vorgeschriebenen Grenzwerte (Muskie-Standards) wurde auf mehreren Hearings Einspruch erhoben.

Die Grenzwerte für leichte Lastkraftwagen sind in Tab. 2.2 aufgelistet.

Tabelle 2.2: Zulässige Emissionswerte für leichte Lastkraftwagen [2.1, 2.2]

Modelljahr	CO [g/mi]	CH [g/mi]	NO _x [g/mi]
1976-1977	20	2,0	3,1
1978 und später*	18	1,7	2,3

* in Diskussion

Der oben beschriebene Test ist zur Erteilung des Zertifikates sowohl für Pkw als auch für leichte Lkw bei Kilometerstand 0 und 6.436 (4.000 Meilen) durchzuführen. Weiterhin ist zur Ermittlung der zeitlichen Konstanz des Abgasemissionsverhaltens über eine Fahrstrecke von 50.000 Meilen im DDC (Durability Driving Cycle) bei jeweils 5.000 Meilen ein Abgastest durchzuführen, wobei die Emissionswerte bei 4.000 und 50.000 Meilen die in Tab. 2.1 und 2.2 angegebenen Standards erfüllen müssen.

Die Abgasmessungen nach dem CVS-Test werden für Fahrzeuge mit Ottomotoren ergänzt durch Bestimmung der Kraftstoffverdampfungsverluste, die den in Tab. 2.3 angegebenen Grenzwerte unterliegen.

Tabelle 2.3: Zulässige Verdampfungsverluste [2.1]

Modelljahr	CH [g/Test]
1976	2
1977	2
1978	2

2.1.2 Schwere Kraftfahrzeuge

Die Motoren schwerer Kraftfahrzeuge werden auf einem Motorprüfstand einem Abgastest unterzogen. Für Dieselmotoren und Ottomotoren sind dabei unterschiedliche Testverfahren festgelegt.

Ottomotoren werden dem in Abb. 2.3 dargestellten 9-Stufen-Test unterzogen. Die in den einzelnen Stufen ermittelten Schadstoffemissionen werden ebenso wie die Bremsleistung in den einzelnen Stufen unterschied-

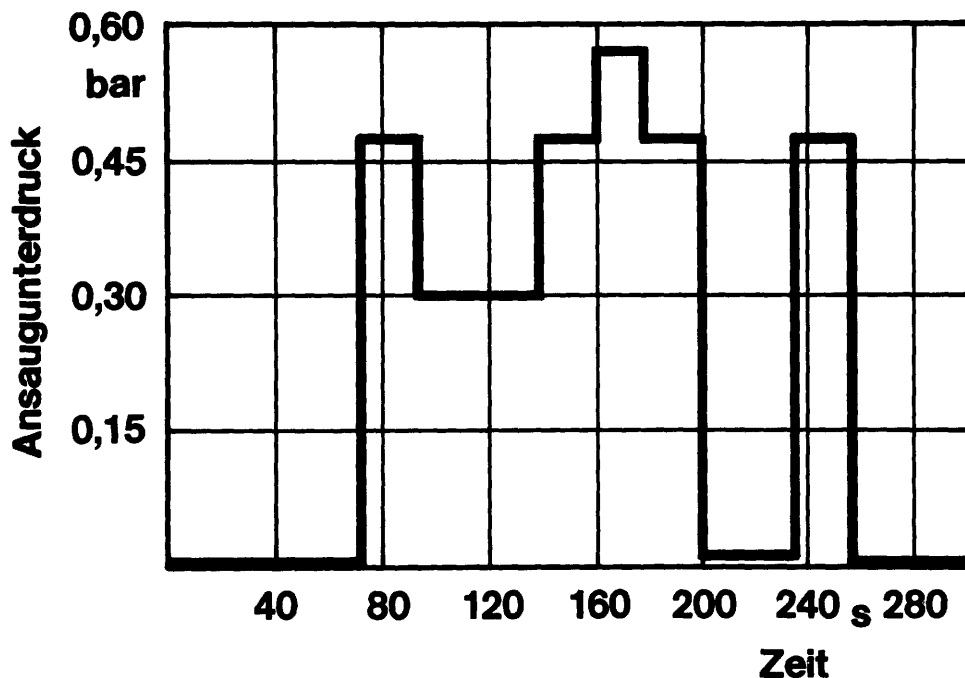


Abb. 2.3: Belastungsdiagramm für den 9-Stufen-Test

lich gewichtet. Die Summe der gewichteten Massenemissionen wird auf die Summe der gewichteten Leistungen bezogen. Der 9-Stufen-Test ist viermal zu durchfahren, wobei die beiden ersten Zyklen als Aufwärmzyklus bezeichnet werden. Der Mittelwert der leistungsbezogenen Emissionen aus den Aufwärmzyklen geht zu 35 %, der der beiden nachfolgenden Zyklen zu 65 % in das Endergebnis ein.

Für Dieselmotoren ist der sog. 13-Stufen-Test vorgeschrieben (Abb. 2.4). Die in den Leerlaufstufen ermittelten mittleren leistungsbezogenen Massenemissionen gehen zu 20 %, die leistungsspezifischen Massenemissionen aller anderen Stufen zu je 8 % in das Gesamtergebnis ein.

Sowohl für Otto- als auch für Dieselmotoren gelten die in Tabelle 2.4 angegebenen Grenzwerte.

Tabelle 2.4: Zulässige Emissionswerte für Motoren schwerer Fahrzeuge [2.1, 2.2]

Modelljahr	CO [g/PS _h]	CH + NO _x [g/PS _h]	CH [g/PS _h]
1976	40	16	
1977	40	16	
1978* und später	25	10	1,5

* in Diskussion

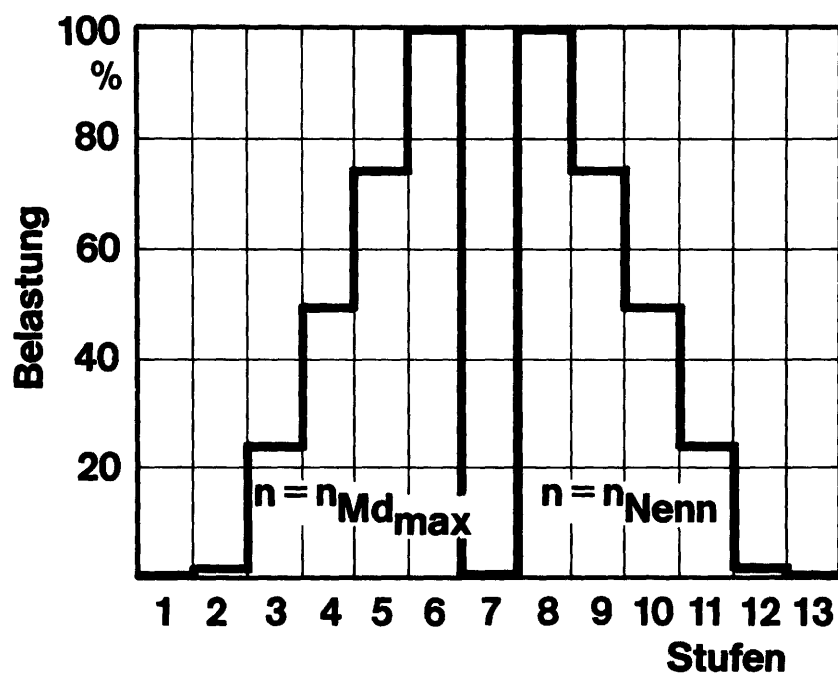


Abb. 2.4: Belastungsdiagramm für den 13-Stufen-Test

Für Dieselmotoren schwerer Kraftfahrzeuge ist außerdem noch die maximal zulässige Rauchgastrübung festgelegt. Diese Werte sind in Tab. 2.5 wiedergegeben.

Tabelle 2.5: Maximal zulässige Rauchgastrübung für Dieselmotoren schwerer Kraftfahrzeuge [2.1, 2.2]

Modelljahr	Rauchgastrübung in %		
	Beschleunigung	unter Last	Spitzenwert
1976	20	15	50
1977	20	15	50
1978*	20	15	35

* in Diskussion

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die US-Vorschriften bezüglich der Durchführung der Abgastests sowie die ebenfalls im Gesetz enthaltenen Ausführungen über die Möglichkeiten zur Durchführung eines Hearings und zur Erlangung von Ausnahmegenehmigungen im Vergleich z.B. zur europäischen Abgasgesetzgebung außergewöhnlich detailliert gefaßt sind.

2.2 Japan

Zur Kontrolle der Schadstoffemissionen von neu in den Verkehr gelangenden Personenkraftwagen, Bussen und leichten Lastkraftwagen ist in Japan die Absolvierung eines Abgastests mit zwei unterschiedlichen Fahrprogrammen vorgeschrieben. Der 10-Stufen-Test (Abb. 2.5) spiegelt den Verkehr in den Kernbereichen der Großstädte, der 11-Stufen-Test (Abb. 2.6) eine Fahrt aus den städtischen Randbezirken in das Stadtzentrum wieder. Das Abgassammel- und -analyseverfahren ist mit den Vorschriften für den CVS-Test (s. Kapitel 2.1.1, Abb. 2.2) identisch.

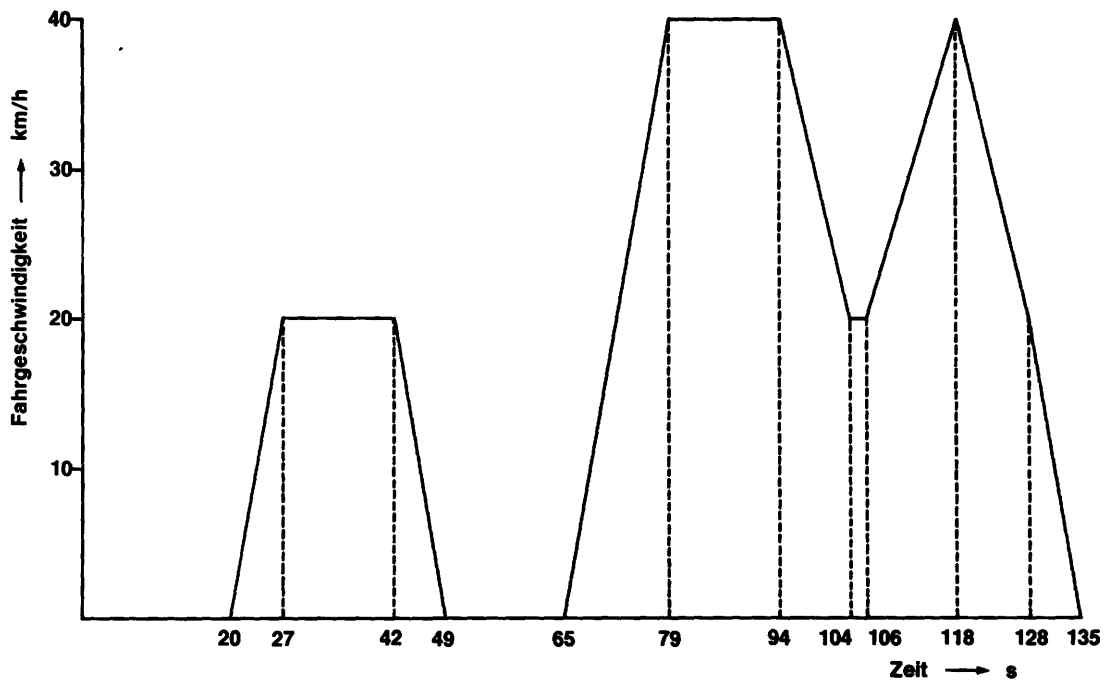


Abb. 2.5: Fahrprogramm für den 10-Stufen-Test

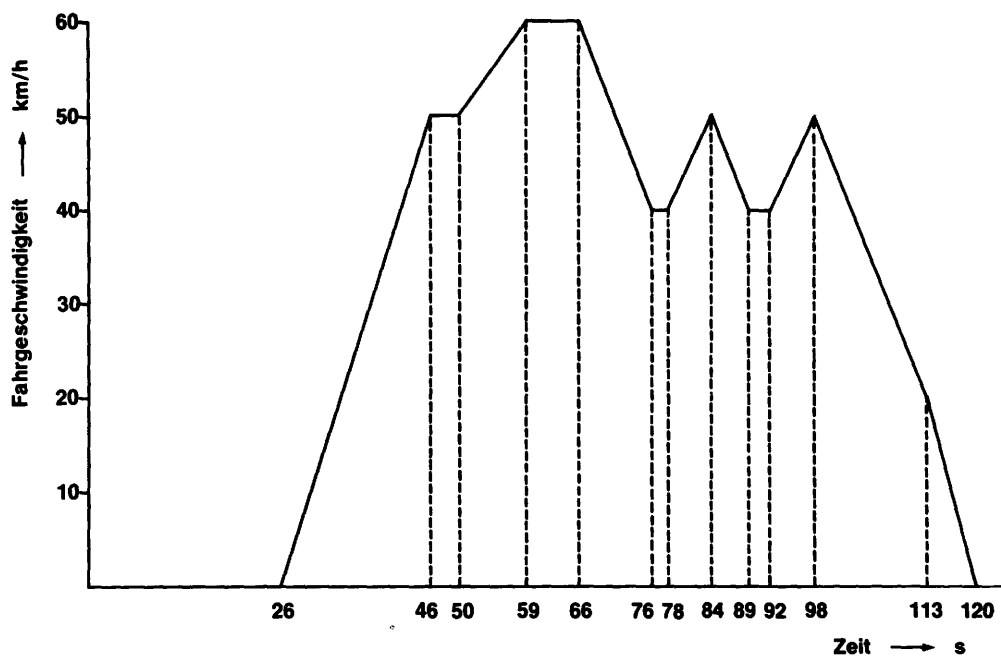


Abb. 2.6: Fahrprogramm für den 11-Stufen-Test

Für Personenkraftwagen des Baujahres 1976 gelten die in Tab. 2.6 aufgeführten Grenzwerte. Als Zielwerte werden für das Jahr 1978 die in Tabelle 2.7 aufgelisteten Grenzwerte angegeben.

Tabelle 2.6: Zulässige Emissionswerte für Personenkraftwagen mit Ottomotoren [5.8]

Kraftfahrzeugtyp	Testzyklus	Maximalwert			Durchschnittswert			
		CO	CH	NO _x	CO	CH	NO _x	
Kraftfahrzeug mit Viertakt-Ottomotoren	Schwungmassen-äquivalent ≤ 1.000 kg	10-Stufen-Test			0,84			0,6
	Schwungmassen-äquivalent > 1.000 kg	[g/km]	2,7	0,39	1,2	2,1	0,25	0,85
Leichte Kraftfahrzeuge mit Zweitakt-Ottomotoren				0,5			0,3	
	11-Stufen-Test [g/Test]			85	9,5	9,0	60	7,0
				4,0			2,5	
Zeitpunkt des Inkrafttretens	Neu zu genehmigende Kraftfahrzeugmodelle		1. April 1976					
	Bereits genehmigte Kraftfahrzeugmodelle	Inlandfahrzeuge	1. März 1977					
		Importfahrzeuge	1. März 1978					

Tabelle 2.7: Zulässige Emissionswerte für Personenkraftwagen mit Ottomotoren ab 1978 [5.8]

Kraftfahrzeugtyp	Testzyklus	Maximalwerte			Durchschnittswerte		
		CO	CH	NO _x	CO	CH	NO _x
Personenkraftwagen mit Viertakt-Ottomotoren	10-Stufen-Test [g/km]	2,7	0,39	0,48	2,1	0,25	0,25
	11-Stufen-Test [g/Test]	85	9,5	6,0	60	7,0	4,4
Zeitpunkt des Inkrafttretens	Neu zu genehmigende Kraftfahrzeugmodelle		1. April 1978				
	bereits genehmigte Kraftfahrzeugmodelle	Inlandfahrzeuge	1. März 1979				
		Importfahrzeuge	1. April 1981				

Um diese scharfen Grenzwerte einhalten zu können, sind nach Aussage der deutschen Automobilhersteller die gleichen Motorkonzepte, z.B. Mager- und Schichtladungskonzepte mit Abgasrückführung und Abgasnachbehandlung, geregelte Gemischbildung mit Abgasnachbehandlung etc., erforderlich wie zur Einhaltung der in den USA geplanten Muskie-Standards (vgl. Tab. 2.1). Hieraus ist eine Vergleichbarkeit der Grenzwerte ableitbar, obwohl sich die zur Ermittlung der Abgas-Emissionen vorgeschriebenen Fahrzyklen grundlegend unterscheiden.

Die Abgasemissionsstandards für leichte Lastkraftwagen mit einer Gesamtmasse von weniger als 2.500 kg und Busse sind der Tab. 2.8 zu entnehmen.

Tabelle 2.8: Zulässige Emissionswerte für Busse und leichte Lastkraftwagen [2.3]

	CO	CH	NO _x
10-Stufen-Zyklus	17,0	2,7	2,3
[g/km]	(13,0) ¹⁾	(2,1) ¹⁾	(1,8) ¹⁾
		15,0 ²⁾	0,5 ²⁾
		(12,0) ¹⁾	(0,3) ¹⁾
11-Stufen-Zyklus	130	17,0	20,0
[g/Test]	(100) ¹⁾	(13,0) ¹⁾	(15,0) ¹⁾
		70,0 ²⁾	4,0 ²⁾
		(50,0) ¹⁾	(2,5) ¹⁾

¹⁾ Werte in Klammern: Durchschnittswerte

²⁾ Leichte Kraftfahrzeuge mit 2-Takt-Motoren

2.3 Europa

2.3.1 Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren

Im Zuge einer Vereinheitlichung der Abgasgesetzgebung in den Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaften erließ der Rat der EG am 20. März 1970 die Richtlinie 70/220/EWG, die in ihrem technischen Inhalt identisch ist mit der von der Economic Commission for Europe der UNO verabschiedeten Regulation 15 (ECE R 15).

Für Fahrzeuge ab Modelljahr 1971 wurden in allen EG-Staaten die Abgasvorschriften für Kraftfahrzeuge mit Ottomotor entsprechend den Richtlinien des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 23.3.1970 eingeführt (156/70/EWG und 157/70/EWG), so daß sich die Abgasgesetzgebung in diesen Staaten heute wie folgt darstellt:

Das Prüfverfahren ist der sogenannte Europatest nach der ECE R 15. Das bei der Prüfung nach Typ I zu absolvierende Fahrprogramm ist in Abb. 2.7 dargestellt. Dieses Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm soll das Fahrverhalten in den City-Bereichen europäischer Großstädte simulieren. Der Zyklus wird viermal durchfahren.

Die Prüfung wird auf einem Abgasrollenprüfstand mit Schwungmassensatz durchgeführt. Den schematischen Aufbau der gesamten Prüfanlage zeigt Abb. 2.8. Das unverdünnt im Sammelbeutel aufgefangene Abgas des gesamten Tests wird nach Beendigung des Fahrzyklus hinsichtlich CO- und CH-Konzentrationen untersucht. Die Analyse der CO- und CH-Bestandteile im Abgas wird mit nichtdispersiven Infrarotanalysatoren vorgenommen, wobei der Analysator für die Kohlenwasserstoffe mit $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$ (n-Hexan) sensibilisiert sein muß. Aus den Konzentrationen werden dann die Emissionen errechnet.

Die Abgas-Emissionsgrenzwerte wurden zum 1.10.1975 in der Richtlinie 74/290/EWG vom 15.6.1974 verschärft. Diese Grenzwerte sind in Tabelle 2.9 zusammengefaßt.

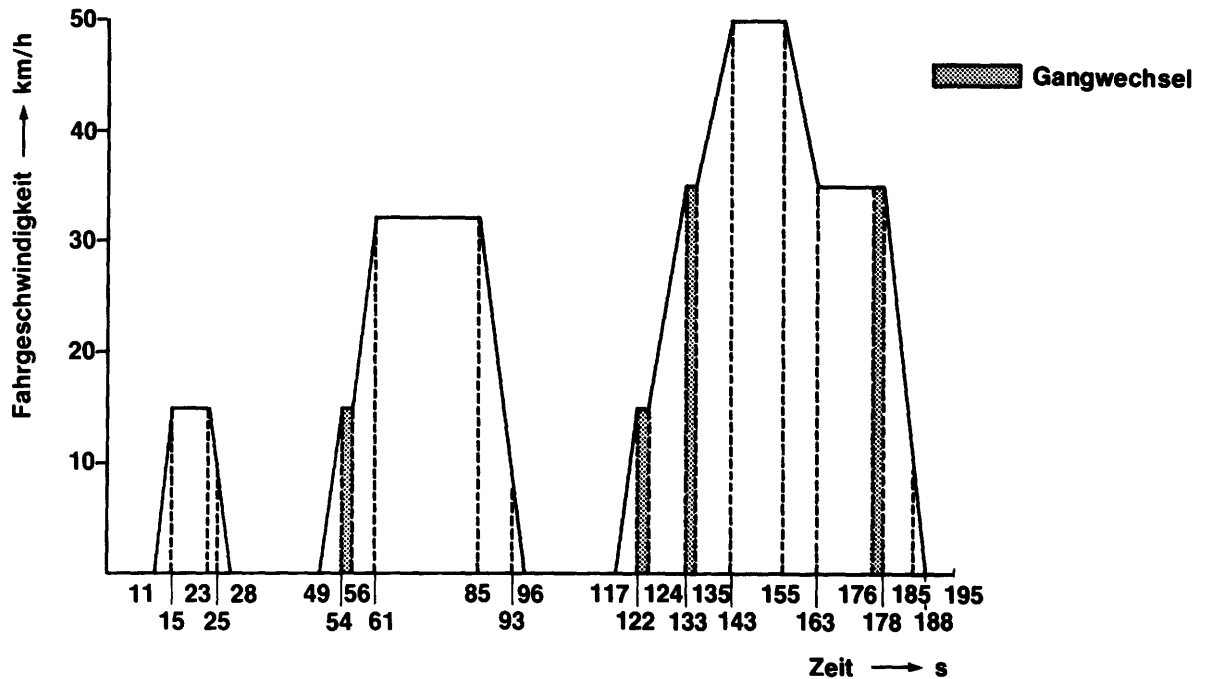


Abb. 2.7: Fahrprogramm für den Europatest

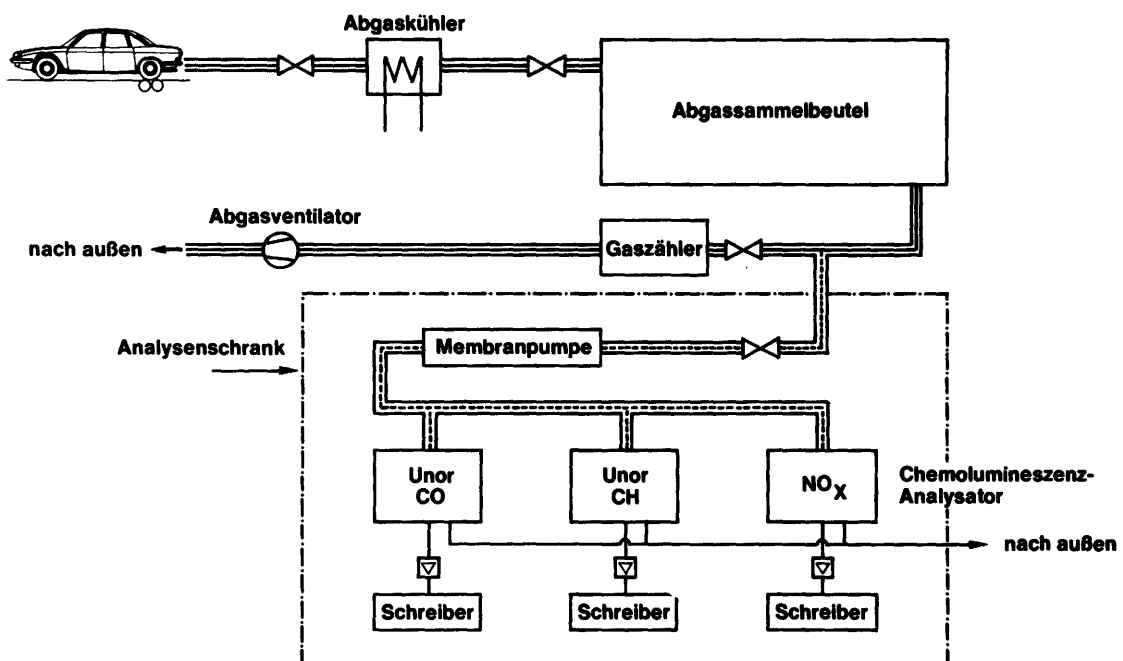


Abb. 2.8: Schematischer Aufbau einer Europatestanlage

Tabelle 2.9. Zulässige CO- und CH-Emissionswerte nach EG-Richtlinie 74/290/EWG [2.4]

Prüfmasse Pr [kg]	Kohlenmonoxid [g/Test] Typ-/ Serien- prüfung	Kohlenwasserstoffe [g/Test] Typ- /Serien- prüfung
Pr \leq 750	80 / 96	6,8 / 8,8
750 < Pr \leq 850	87 / 105	7,1 / 9,3
850 < Pr \leq 1020	94 / 112	7,4 / 9,6
1020 < Pr \leq 1250	107 / 129	8,0 / 10,4
1250 < Pr \leq 1470	122 / 146	8,6 / 11,1
1470 < Pr \leq 1700	135 / 162	9,2 / 11,9
1700 < Pr \leq 1930	149 / 178	9,7 / 12,6
1930 < Pr \leq 2150	162 / 195	10,3 / 13,3
2150 < Pr	176 / 211	10,9 / 14,1

Die Prüfung nach Typ II (Kontrolle der Kohlenmonoxidentwicklung im Leerlauf) ist unmittelbar nach dem vierten Zyklus der Prüfung nach Typ I durchzuführen. Die CO-Emissionen im Leerlauf dürfen den Wert von 4,5 Vol-% nicht übersteigen.

Weiterhin ist die Emission von Kohlenwasserstoffen aus dem Kurbelgehäuse auf 0,15 % des Kraftstoffverbrauchs begrenzt (Prüfung Typ III).

Die Stickoxidemissionen von Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren werden für neu zur Typprüfung gelangende Fahrzeuge ab dem 1.10.1977 limitiert. Entsprechend der Richtlinie 77/102/EWG zur Begrenzung der Stickoxidemission vom 30.11.1976 werden diese auf die in Tab. 2.10 angegebenen Werte begrenzt. Die Analyse ist mit einem Chemolumineszenzanalysator durchzuführen.

Tabelle 2.10: Zulässige NO_x-Emissionen nach 77/102/EWG ab
1.10.1977 [2.5]

Prüfmasse		Stickoxide
Pr		[g/Test]
[kg]		Typ- /Serienprüfung
	Pr ≤ 750	10,0 / 12,0
750 <	Pr ≤ 850	10,0 / 12,0
850 <	Pr ≤ 1020	10,0 / 12,0
1020 <	Pr ≤ 1250	12,0 / 14,4
1250 <	Pr ≤ 1470	14,0 / 16,8
1470 <	Pr ≤ 1700	14,5 / 17,4
1700 <	Pr ≤ 1930	15,0 / 18,0
1930 <	Pr ≤ 2150	15,5 / 18,6
2150 <	Pr	16,0 / 19,2

Auf der 16. Sitzung der GRPA wurde eine Einigung über einen seit längerem in Diskussion befindlichen Vorschlag zur weiteren Verschärfung der Emissionsstandards erzielt. Diese neuen Grenzwerte sind als Interimswerte anzusehen und sollen ab dem 1.10.1979 für neu zur Typprüfung gelangende Fahrzeuge in Kraft treten. Die Grenzwerte sind in Tabelle 2.11 aufgelistet.

Tabelle 2.11: Zulässige Abgas-Emissionsgrenzwerte im Europa-Test ab 1.10.1979 [2.6] (Typprüfung)

	Prüfmasse kg	CO	CH g/Test	NO _x
	Pr ≤ 750	65	6,0	8,5
	750 < Pr ≤ 850	71	6,3	8,5
	850 < Pr ≤ 1020	76	6,5	8,5
	1020 < Pr ≤ 1250	87	7,1	10,2
GRPA	1250 < Pr ≤ 1470	99	7,6	11,9
	1470 < Pr ≤ 1700	110	8,1	12,3
	1700 < Pr ≤ 1930	121	8,6	12,8
	1930 < Pr ≤ 2150	132	9,1	13,2
	2150 < Pr	143	9,6	13,6

Für leichte Nutzfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse bis 3.500 kg gilt für die Komponente NO_x auch nach 1979 der nach 77/102/EWG um 25 % erhöhte Grenzwert bis zum 1.10.1981.

Für die Zeit nach 1980 werden für Personenkraftwagen mit Ottomotoren mehrere Vorschläge zur Fortschreibung der europäischen Abgasgesetzgebung diskutiert. Eine Zusammenfassung zeigt Tab. 2.12.

Tabelle 2.12: In Diskussion befindliche Zielwerte für die europäische Abgasgesetzgebung nach 1980 (Typprüfung)

	Prüfmasse kg	CO	CH g/Test	NO _x	CH ** + NO _x
UBA* [1.15]	Pr ≤ 1250	30	-	-	10
	1250 < Pr ≤ 1700	36	-	-	10
	1700 < Pr ≤ 2150	42	-	-	10
	2150 < Pr	48	-	-	10
Schweiz [2.7]	Pr ≤ 750	20	1,6	2,4	-
	750 < Pr ≤ 850	22	1,7	2,4	-
	850 < Pr ≤ 1020	23	1,7	2,4	-
	1020 < Pr ≤ 1250	27	1,9	2,4	-
	1250 < Pr ≤ 1470	30	2,0	2,4	-
	1470 < Pr ≤ 1700	34	2,2	2,4	-
	1700 < Pr ≤ 1930	37	2,3	2,4	-
	1930 < Pr ≤ 2150	41	2,4	2,4	-
2150 < Pr	44	2,6	2,4	-	

* Umweltbundesamt (Bundesrepublik Deutschland)

** gemessen mit FID als C₁H_{1,85}

2.3.2 Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren

Für Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren ist die maximal zulässige Rauchgastrübung nach 72/306/EWG (technischer Inhalt identisch mit ECE R 24) ab dem 2.2.1974 vorgeschrieben [2.8].

Es sind folgende Prüfungen durchzuführen:

1. Prüfung bei 6 verschiedenen gleichbleibenden Drehzahlen unter Vollast zwischen n_{\max} und $0,45 n_{\max}$ bzw. 1.000 min^{-1}
2. Prüfung bei freier Beschleunigung

Die zulässige Rauchgastrübung in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz des Motors ist in Tab. 2.13 angegeben.

Tabelle 2.13: Zulässige Absorptionskoeffizienten für die Prüfung bei gleichbleibenden Drehzahlen nach 72/306/EWG

Nennwerte des Luftdurchsatzes G dm ³ /h		Absorptionskoeffizient m ⁻¹
≦	42	2,26
	45	2,19
	50	2,08
	55	1,985
	60	1,90
	65	1,84
	70	1,775
	75	1,72
	80	1,665
	85	1,62
	90	1,575
	95	1,535
	100	1,495
	105	1,465
	110	1,425
	115	1,395
	120	1,37
	125	1,345
	130	1,32
	135	1,30
	140	1,27
	145	1,25
	150	1,225
	155	1,205
	160	1,19
	165	1,17
	170	1,155
	175	1,14
	180	1,125
	185	1,11
	190	1,095
≧	195	1,08
	200	1,065

Anmerkung: Die vorstehenden Werte sind auf 0,01 oder 0,005 gerundet; dies bedeutet jedoch nicht, daß die Messungen mit dieser Genauigkeit durchgeführt werden müssen.

3. Vergleich der unterschiedlichen Meßmethoden zur Ermittlung der Abgasemissionen von Personenkraftwagen

Aufgrund der unterschiedlichen Testverfahren zur Ermittlung der Abgasemissionen ist besonders die stark exportorientierte europäische Automobilindustrie gezwungen, gegenwärtig parallel unterschiedliche Prüfstände und Analysenanlagen zu unterhalten. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der europäischen Abgasgesetzgebung werden Überlegungen angestellt, ob das Verfahren nach ECE R 15 modifiziert oder die Abgassammel- und Analysenanlage nach dem CVS-Verfahren eingesetzt werden soll.

Ohne Zweifel ist die für den Europatest vorgeschriebene Abgassammelanlage (siehe Bild 2.8) wesentlich unkomplizierter als die CVS-Anlage (siehe Bild 2.2). Dadurch bedingt treten bei der CVS-Anlage zum Teil erheblich größere Meßunsicherheiten bei der Probenahme auf. Der wesentliche Einfluß wird dem Mischer sowie der Art und Anbringung der Probensonde zugeschrieben. Ebenso ist die Bestimmung des Abgasvolumens, die beim CVS-Verfahren über die Hilfsgrößen Differenzdruck, Einlaßdruck und Gastemperatur vorgenommen wird, naturgemäß mit einem größeren Fehler behaftet als die Messung mittels Gasuhr beim Europatest.

Die im einzelnen vorhandenen Meßunsicherheiten, die im Abgassammel- und Abgasanalyseverfahren enthalten sind, gibt Tabelle 3.1 wieder. Für das CVS-Verfahren liegen zwar für die Meßunsicherheit der Massenemissionsbestimmung höhere Fehler als beim Europatestverfahren vor. Wird jedoch berücksichtigt, daß der Hauptteil der Gesamtmeßunsicherheit auf die Aggregatstreuung - dies ist die Instabilität des Fahrzeugs ohne Fahrer- und Rollenprüfstandseinfluß - zurückzuführen ist, kommt der geringeren Meßunsicherheit der Europatestanlage eine untergeordnete Bedeutung zu.

Tabelle 3.1: Vergleich der Meßunsicherheiten für den Europa-Test (Prüfung Typ I) und den CVS-Test für Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren [3.1].

Komponente	Europa-Test			CVS-Test		
	CO, HC und NO _x			CO, HC und NO _x		
Meßbereich	0... 2,0 Vol-% CO			0...2000 ppm CO		
	0... 500 ppm C ₆ H ₁₄			0... 100 ppm C ₃ H ₈		
	0...1500 ppm (NO+NO ₂)			0... 200 ppm (NO+NO ₂)		

Einflußgrößen	Fehler		MU***	Fehler		MU***
	system. zufällig			system. zufällig		
	%	%	%	%	%	%
Prüfstandard	1,5	1,2	-	1,5	1,2	-
Laborstandard	1,5	0,5	1,6	1,5	0,5	1,6
Prüfgas	1,5	0,9	1,7	1,5	0,9	1,7
Konzentrationsmessung	1,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5
Probenahme**	-	-	0,5	-	-	2,0
			(2,0)*			(3,0)*
Volumenbestimmung	-	-	2,0	2,0	2,0	2,8
Feuchte-Korrekturfaktor	-	-	-	-	-	-
			(4,5)*	(5,0)*	(3,0)*	(5,8)*
MU*** der Massenemis-	-	-	3,2	-	-	4,3
sionsbestimmung			(5,8)*			(7,5)*

* Werte für NO_x, wenn sie sich von den Werten für CO bzw. HC unterscheiden, in Klammern

** Werte geschätzt

*** Meßunsicherheit

Andererseits muß darauf hingewiesen werden, daß bei dem mit verdünntem Abgas arbeitenden CVS-Verfahren in Zukunft Probleme auftreten könnten. Schärfer werdende Grenzwerte für Schadstoffkomponenten können möglicherweise dazu führen, daß im Analysegas so niedrige Konzentrationen vorliegen, daß der physikalische Grenzbereich der Meßverfahren erreicht wird. So treten z.B. bei Infrarotanalysatoren für Kohlenmonoxid bei einem benötigten Meßbereich von 0... 50 ppm unzulässig hohe Querempfindlichkeiten gegenüber CO_2 , Kohlenwasserstoffen und Wasserdampf auf.

Aufgrund der mit Luft vorgenommenen Verdünnung des Abgases bietet das CVS-Verfahren aber auch gewisse Vorteile. Durch die starke Verdünnung des Abgases auf ca. 10 % der ursprünglichen Konzentration wird eine Taupunktunterschreitung, wie sie bei der Sammelbeutelmethode nach dem Europatestverfahren auftreten kann, verhindert. Dies ist besonders im Hinblick auf die Ermittlung der Stickoxidemissionen von Bedeutung. NO reagiert relativ schnell zu NO_2 , dies wiederum mit Wasser zu Salpetersäure. Messungen haben ergeben, daß im Sammelbeutel der Europatestanlage zehn Minuten nach Testende die Konzentrationsabnahme für NO_x etwa 2 - 6 % beträgt. Durch die Verdünnung des Abgases beim CVS-Verfahren konnte diese Konzentrationsverminderung auf 1 - 3 % verringert werden. Ebenso besteht bezüglich der im Abgas enthaltenen unverbrannten Kohlenwasserstoffe, hier besonders der schwer siedenden Anteile, beim Europatestverfahren die Gefahr der Kondensation und Anlagerung an die Beutelwand, was beim CVS-Verfahren durch die Verdünnung weitgehend verhindert wird. Die nicht ganz zu vermeidenden "hang-up"-Effekte im Sammelbeutel können jedoch vollständig umgangen werden, wenn die Kohlenwasserstoffemissionen nicht aus der mittleren Konzentration im Gas auffangbeutel, sondern durch kontinuierliche Analyse des verdünnten Abgases hinter dem Mischer bestimmt werden. Diese Maßnahme ist bei der Er-

mittlung der CH-Emissionen von Dieselmotoren sowieso erforderlich, da hier relativ hohe Anteile von schwerflüchtigen und somit zur Wandanlagerung neigende Kohlenwasserstoffe vorhanden sind.

Im Hinblick auf eine kontinuierliche Messung der Emissionen ist das CVS-Verfahren der Sammelbeutelmethode eindeutig überlegen. Die Massenemission nach dem CVS-Verfahren wird errechnet nach

$$M_i = k_i \rho_i V_{\text{Gesamt}}$$

mit M_i = Massenemission der Komponente i
 k_i = Konzentration der Komponente i
im verdünnten Abgas
 ρ_i = Dichte der Komponente i
 V_{Gesamt} = Summe aus Abgasvolumen und zugemischtem Luftvolumen.

Da V_{gesamt} eine konstante Größe ist, folgt, daß Konzentrations- und Massenemissionsverlauf identisch sind. Eine kontinuierliche Erfassung der Konzentrationswerte liefert dann durch Integration über die gesamte Testdauer die Massenemissionswerte. Dieses Verfahren wird auch bei der Ermittlung der CH-Emissionen von Personenkraftwagen mit Dieselmotor in den USA angewandt.

Beim Europatestverfahren werden die Massenemissionen nach

$$M_i = k_i \rho_i V_{\text{Abgas}}$$

mit k_i = Konzentration der Komponente i
im Sammelbeutel

V_{Abgas} = Abgasvolumen

errechnet.

Prinzipiell ist auch bei diesem Verfahren eine kontinuierliche Konzentrationsmessung möglich. Die zur Bestimmung der Massenemission notwendige kontinuierliche Aufzeichnung des sich in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Motors verändernden Abgasvolumens führt jedoch zu sehr aufwendigen Meßanlagen und ist nur mit dem Einsatz elektronischer Datenverarbeitung zu bewältigen.

Hinsichtlich der Abgasanalyse werden bei beiden Verfahren für die Messung der CO-Konzentrationen nicht-dispersive Infrarotanalysatoren (NDIR) eingesetzt, für die Bestimmung der Stickoxidwerte nach dem Chemolumineszenzprinzip arbeitende Analysatoren (CLD). Dagegen werden die CH-Konzentrationen beim CVS-Verfahren mittels eines Flammenionisationsdetektors (FID), beim Europatestverfahren mit einem auf n-Hexan sensibilisierten NDIR gemessen. Während der FID in erster Näherung den zur Anzahl der in den Kohlenwasserstoffen vorhandenen Kohlenstoffatomen proportionalen Ionenstrom erfaßt, analysiert der NDIR-Analysator vor allem die gesättigten Kohlenwasserstoffe, so daß z.B. die Aromaten und Olefine gegenüber den Paraffinen unterbewertet sind (Abb. 3.1). Dies ist umso problematischer, als gerade die aus medizinischer Sicht als kanzerogen erkannten Kohlenwasserstoffe, wie z.B. 3,4 -Benzpyren, unzureichend erfaßt werden. Aufgrund dieser Unterschiede der beiden Analysemethoden ergeben sich in Abhängigkeit von der Kraftstoffzusammensetzung, dem Brennverfahren, dem Betriebszustand des Motors und der Art der Abgasnachbehandlungsanlagen Anzeigeverhältnisse von FID/NDIR = 1,2 bis 3. Für Umrechnungen wird häufig ein aus sta-

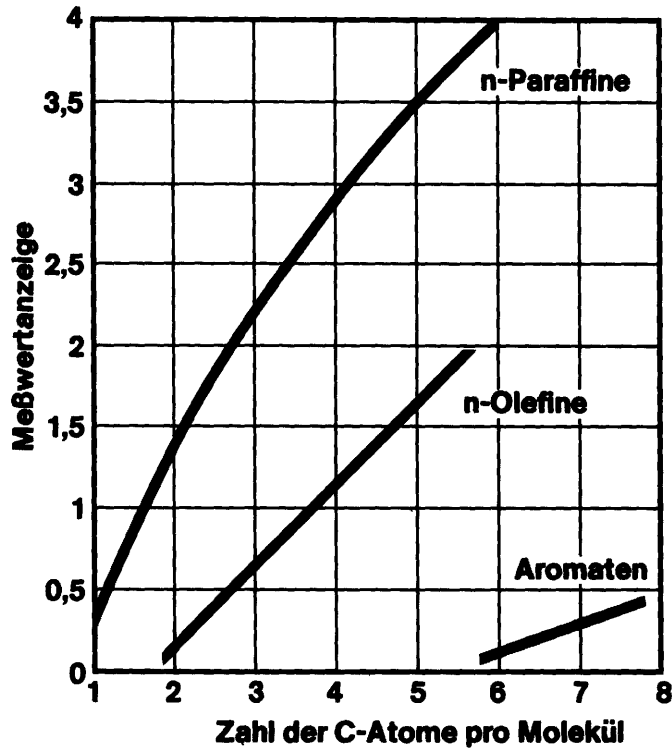


Abb. 3.1: Anzeigeempfindlichkeit eines NDIR-Gerätes für unterschiedliche Kohlenwasserstoffe gleicher Volumen-Konzentration [3.2]

tistischen Untersuchungen ermittelter Umrechnungsfaktor von 1,8 angesetzt ($K_{\text{FID}} = 1,8 \cdot K_{\text{NDIR}}$).

Für Abgasuntersuchungen von Kraftfahrzeugen mit Ottomotor sind die CVS- und die Europatestanlage in Bezug auf die durch die Abgassammel- und -analyseanlage hervorgerufene Meßunsicherheit als gleichwertig zu bezeichnen. Werden in Zukunft jedoch auch Personenkraftwagen mit Dieselmotoren den Bestimmungen nach ECE R 15 unterworfen, ist die bestehende Regelung bezüglich der Ermittlung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen im Abgas aus den dargelegten Gründen nicht anwendbar. In

diesem Fall müßte daher ein modifiziertes Abgassammel- und Analyseverfahren z.B. nach der CVS-Methode angewendet werden. Außerdem ist es im Zuge einer internationalen Harmonisierung der Abgasprüfung von Kraftfahrzeugen wünschenswert, auch im Bereich der EG ein weltweit einheitliches Verfahren z.B. das CVS-Verfahren einzusetzen.

4. Entwicklungsstand von europäischen Serienmotoren für
Personenkraftwagen

Der dominierende Antrieb für Personenkraftwagen ist bis heute der Ottomotor geblieben. Aufgrund der unterschiedlich weit fortgeschriebenen nationalen Abgasgesetzgebung befinden sich bereits fortgeschrittene Entwicklungsstufen des Ottomotors insbesondere in den USA und in Japan im Einsatz. Im Bereich der Europäischen Gemeinschaften erlauben die zur Zeit gültigen Emissionsstandards noch den Einsatz von Personenkraftwagen mit Ottomotor, an denen gegenüber den nicht der Abgasgesetzgebung unterliegenden Motoren als wesentliche Maßnahme zur Einhaltung der Grenzwerte für CH und CO eine Gemischabmagerung bei befriedigendem Fahr- und Betriebsverhalten vorgenommen wurde.

Der Dieselmotor ist in Europa eine seit Jahrzehnten bewährte Antriebsmaschine für Nutzfahrzeuge und in geringerem Umfang für Personenkraftwagen. Trotz der unbestreitbaren Vorteile des Dieselmotors in bezug auf Kraftstoffverbrauch und Emissionsverhalten konnte er sich bislang wegen seiner unzureichenden Leistungsdichte und wegen der zu hohen Herstellungskosten auf dem PKW-Sektor nicht auf breiter Basis durchsetzen.

4.1 Ottomotoren

(1. Stufe der europäischen Abgasgesetzgebung)

Der konventionelle Ottomotor verdankt seine dominierende Stellung als PKW-Antrieb insbesondere seiner Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Die ständig steigende Zahl von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr macht es jedoch erforderlich, die schädlichen Auswirkungen des Ottomotors auf die Umwelt zu vermindern. Im wesentlichen handelt es sich um die Problemkreise Abgas und Geräusch, an denen die Automobilhersteller intensiv arbeiten.

4.1.1 Auslegungsdaten und Kennwerte

Die große Mehrzahl der in Europa im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeuge ist mit Vergasermotoren ausgerüstet. Auch die neu in den Verkehr gelangenden und der am 1.10.75 in Kraft getretenen 2. Stufe der europäischen Abgasgesetzgebung unterliegenden Kraftfahrzeugmotoren sind überwiegend mit Vergasern bestückt. Da die europäische Abgasgesetzgebung bis vor kurzem eine Limitierung der Stickoxidemissionen nicht vorschrieb, konnten sich die Automobilhersteller auf eine Gemischabmagerung beschränken, die zur Erfüllung der CO- und CH-Emissionsstandards ausreicht. Um diese Gemischabmagerung bei zufriedenstellendem Fahrverhalten vornehmen zu können, muß der Vergaser in der Lage sein, das geforderte Mischungsverhältnis in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz innerhalb enger Grenzen einzuhalten. Diese Forderung setzt für die Großserienfertigung die Einhaltung enger Toleranzen voraus.

Tabelle 4.1 zeigt eine Zusammenstellung wichtiger Kenn-
daten einiger Ottomotoren, die als Antrieb von Perso-
nenkraftwagen der gültigen europäischen Abgasgesetz-
gebung unterliegen. Der PKW- und Kombi-Bestand der Bun-
desrepublik Deutschland am 1.7.1975 überdeckt einen
Hubvolumenbereich von 250 bis 7000 cm³; 82,5 % der
Personen- und Kombinationskraftwagen liegen jedoch in
einem Bereich von 1000 bis 2000 cm³.

Der Vergleich der Daten des PKW- und Kombibestandes
der Jahre 1955 und 1975 zeigt in Abb. 4.1 eine deut-
liche Verlagerung der Schwerpunkte von Fahrzeugen mit
kleinen Hubräumen und geringer Leistung zu solchen
mit größeren Hubräumen und höherer Leistung, wobei
die Anzahl der auftretenden Kombinationen stark zu-
nimmt. Im Jahre 1955 gab es lediglich 11 Kombinati-
onen von Hubraum- und Leistungsklassen, die jeweils

Tabelle 4.1: Technische Daten ausgewählter europäischer Fahrzeugmotoren [4.1, 4.2, 4.3, 4.4]

Fahrzeugtyp	Hubvolumen [cm ³]	Anzahl der Zylinder	Nennleistung [kW] bei min ⁻¹	Verdichtungs- verhältnis	Bohrung [mm]	Hub [mm]	Gemisch- bildungs- organ	ROZ	MOZ
Daimler-Benz 280 E/280 CE	2746	6 Reihe	136 bei 6000	9	86	78,8	Einsprit- zung	98	88
VW Passat	1588	4 Reihe	55 bei 5600	8,2	79	80	Vergaser	93	83
Austin-Morris	1485	4 Reihe	50,7 bei 5500	9	76,2	81,8	Vergaser	97	
Ford Granada 2000	1993	4 Reihe	72 bei 5200	9,2	90,8	77	Vergaser	97	87
Peugot 104	954	4 Reihe	33,9 bei 6000	8,8	70	62	Vergaser	97	
Renault 30 TS	2664	6 V	94,4 bei 5500	8,65	88	73	Vergaser	97	
Alfa Sud	1186	4 V (180°)	46,3 bei 6000	8,8	80	59	Vergaser	98-100	
Fiat 132	1585	4 Reihe	72,1 bei 5600	9	84	71,5	Vergaser	98-100	

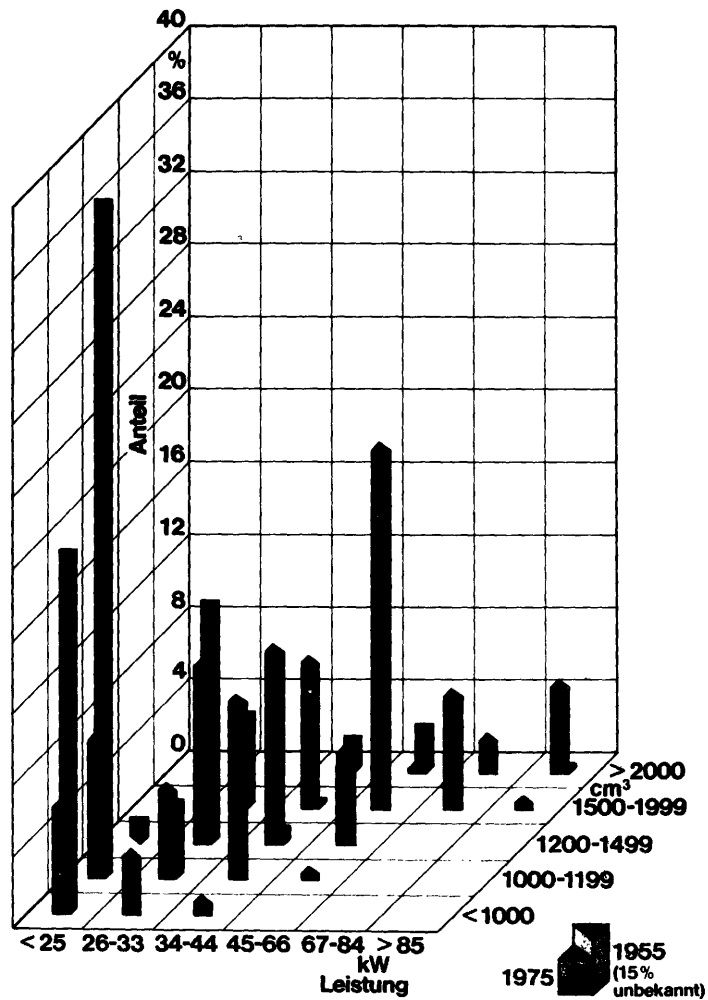


Abb. 4.1.: Verteilung des Bestandes an Personen- und Kombinationskraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland auf Hubraum- und Leistungsklassen für die Jahre 1955 und 1975 (jeweils 1. Juli) [4.5, 4.6]

einen Anteil von mehr als 0,2 % des Gesamtbestandes repräsentierten, während 1975 die Anzahl dieser Kombinationen auf 18 angestiegen ist. Die Aussagen über den Fahrzeugbestand des Jahres 1955 sind insofern einzuschränken, als etwa 15 % des damaligen Bestandes aufgrund ungenauer Angaben nicht eindeutig zugeordnet werden können. 1955 repräsentierten die Klassen bis 1.499 cm³ und kleiner 25 kW ca. 58 % des PKW- und Kombinationsbestandes, wovon 37 % auf Fahrzeuge mit einem Hubraum von 1.000 - 1.199 cm³ entfielen. Die meistbesetzte Klasse im Jahre 1975 ist diejenige von 1.500 - 1.999 cm³ Hubraum und 45 - 66 kW Leistung, in der rd. 20 % des Gesamtbestandes angesiedelt sind.

Die Entwicklung dieser Kenndaten kann nicht ohne weiteres auf den Bereich der EG übertragen werden. Durch die für Europa einheitliche Abgasgesetzgebung ist jedoch die Weiterentwicklung der Motoren unter gleichen Randbedingungen erfolgt, so daß davon ausgegangen werden kann, daß sich die verschiedenen, in den Europäischen Gemeinschaften zugelassenen Kraftfahrzeuge, die der 1. Stufe der europäischen Abgasgesetzgebung unterliegen, hinsichtlich ihres Abgasemissionsverhaltens nicht nennenswert unterscheiden werden.

4.1.2 Abgas-Emissionsverhalten von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen-----

Die Kenntnis des realen Emissionsverhaltens von im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeugen mit Ottomotor ist für die Abschätzung des Einflusses von Maßnahmen zur Luftreinhaltung von Bedeutung. So werden z.B. Meßergebnisse von Versuchsfahrzeugen bestimmter Fahrzeugtypen und Ergebnisse der Abgas-Typprüfungen der Technischen Dienste, z.B. für die Bundesrepublik Deutschland der Abgasprüfstelle des RWTÜV in Essen, veröffentlicht. Diese Daten sind jedoch wenig zur Kennzeichnung des realen Emissionsverhaltens geeignet, da es sich um Meßergebnisse von speziell vorbereiteten und optimal eingestellten Fahrzeugen handelt.

4.1.2.1 Untersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland

Vom Bundesministerium des Innern wurde der TÜV Rheinland mit der Ermittlung des realen Emissionsverhaltens von Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren in der Bundesrepublik Deutschland beauftragt. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen [4.7].

Um das Emissionsverhalten des Kraftfahrzeugbestandes der Bundesrepublik Deutschland bestimmen zu können, wird eine repräsentative Auswahl von Testfahrzeugen auf dem Abgasprüfstand untersucht, wobei als Auswahlkriterien Fahrzeugtyp, Hubraum und Baujahr herangezogen werden. Als Unterlage zur Erstellung eines repräsentativen Querschnittes des PKW- und Kombi-Bestandes dient das vom Kraftfahrt-Bundesamt in Flensburg jährlich veröffentlichte Zahlenmaterial.

Als Basis zur Ermittlung des Emissionsverhaltens werden die vom TÜV Rheinland zur Beschreibung des Fahr-

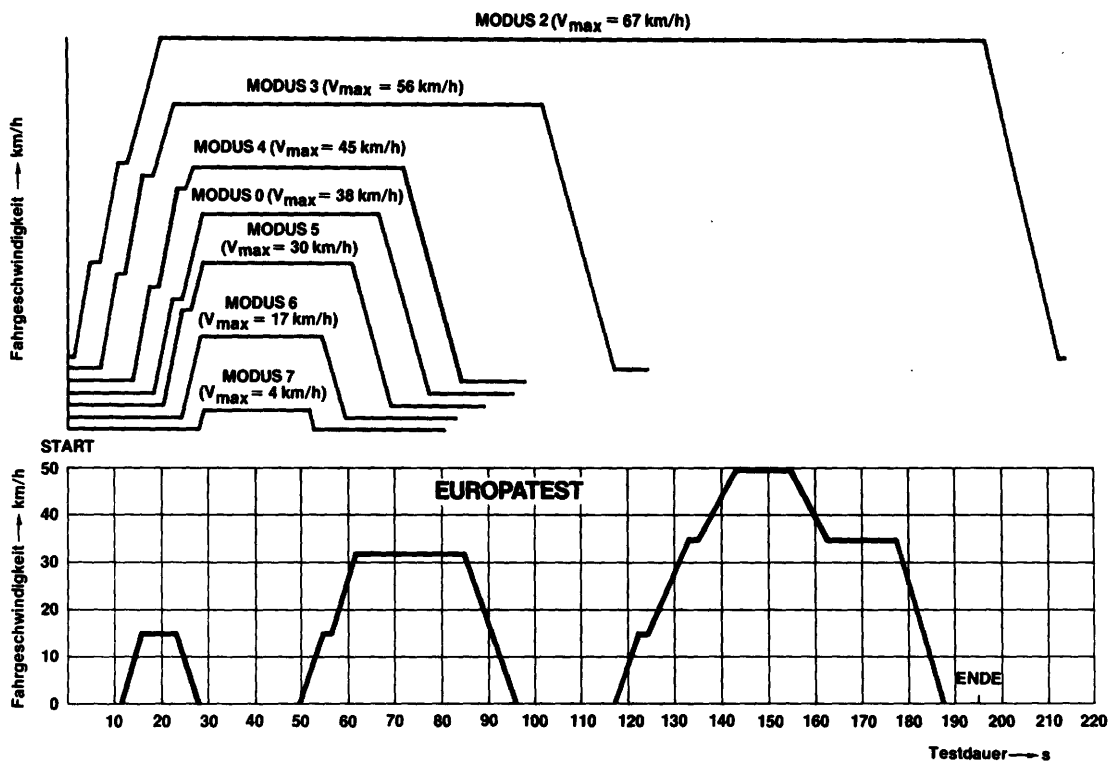


Abb. 4.2: Fahrzyklen zur Ermittlung der Abgasemissionen von Personenkraftwagen

zustandes im Stadtverkehr aufgestellten Fahrmodi und der Europatestzyklus (Abb. 4.2) herangezogen. Da ein statistisch nachgewiesener Zusammenhang zwischen der mittleren Fahrgeschwindigkeit einerseits und den Anteilen an Leerlauf, Beschleunigung, Konstantfahrt und Verzögerung andererseits besteht (siehe Kapitel 1.1.1), kann der Modus 0 als Vergleichszyklus zum Europatest-Zyklus angesehen werden. Dies konnte auch anhand von Emissionsmessungen verifiziert werden. Sowohl für die Fahrmodi als auch für den Europatest werden die Emissionen der Komponenten CO, CH und NO_x nach der Sammelbeutelmethode bestimmt. Die Messungen werden im Anlieferungszustand sowie nach Einstellung und Wartung des Motors gemäß Herstellervorschrift durchgeführt.

Unter Wartungszustand wird in diesem Zusammenhang nicht das äußere Erscheinungsbild des Fahrzeugs (Pflegezustand) und die Einhaltung der vom Hersteller empfohlenen Inspektionsintervalle verstanden, sondern lediglich die Einstellung von Zündung und Vergaser als wesentliche emissionsrelevante Größen. Durch Vergleich dieser Einstelldaten im Anlieferungszustand mit den vom Hersteller vorgeschriebenen Sollwerten kann der Wartungszustand eines Fahrzeuges, soweit das Emissionsverhalten betroffen ist, charakterisiert werden. Die ebenfalls emissionsrelevante Einstellung des Ventilspiels wurde aus Zeit- und Kostengründen nicht überprüft.

Einfluß der Abgasgesetzgebung

Der diesem Vorhaben zugrundeliegende, für den PKW- und Kombi-Bestand der Bundesrepublik Deutschland repräsentative Fahrzeugquerschnitt des Bezugsjahres 1975 enthält Fahrzeuge, die der ersten Stufe der europäischen Abgasgesetzgebung unterliegen (Baujahr 1972 bis 1974), und solche, die vor Inkrafttreten der Abgasgesetzgebung in den Verkehr gelangt sind (Baujahr 1970 und früher). Es besteht somit die Möglichkeit, durch Vergleich dieser beiden Fahrzeuggruppen die Auswirkungen der Abgasgesetzgebung auf das Emissionsverhalten festzustellen.

Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Tab. 4.2 dargestellt. Es zeigt sich, daß die CO-Emissionen bezogen auf den Mittelwert der Baujahre 1970 und früher um ca. 14 % abgesunken sind. Die Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen, gemessen mit einem auf n-Hexan sensibilisierten Infrarot-Analysator, haben sich um 23 % verringert. Ein Vergleich der mit dem Flammenionisations-Detektor ermittelten CH-Emissionen ergibt lediglich eine Absenkung um 5 %. Die Stickoxid-

Tabelle 4.2: Emissionsmittelwerte von im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeugen mit Ottomotor
ermittelt nach ECE R 15 (Kalttest)

Baujahr	Hubvolumen cm ³	Anzahl	mittlere Prüfmasse kg	mittlere Laufleistung, km	Kraftstoff- verbrauch g/km	Schadstoffemission			Grenzwerte für CO u. CH nicht erfüllt		
						CO g/Test g/km	CH ₂ DIR g/Test g/km	CH ₄ FID g/Test g/km		NO _x g/Test g/km	
1972 - 75	im Mittel 1460	40	1061	43.300	105.6	$\frac{155.6}{38.4}$	$\frac{5.6}{1.38}$	$\frac{17.5}{4.31}$	$\frac{7.5}{1.86}$	19	21
1972 - 75	1400 - 1800	19	1102	35.200	106.7	$\frac{152.4}{37.6}$	$\frac{5.6}{1.39}$	$\frac{19.4}{4.78}$	$\frac{7.6}{1.87}$	9	10
1972	1400 - 1800	2	1128	48.700	112.7	$\frac{221.2}{54.6}$	$\frac{10.0}{2.46}$	$\frac{23.0}{5.67}$	$\frac{7.3}{1.79}$	0	2
1973	1400 - 1800	7	1126	43.300	104.5	$\frac{144.3}{35.6}$	$\frac{4.6}{1.14}$	$\frac{25.8}{6.37}$	$\frac{8.4}{2.07}$	4	3
1974	1400 - 1800	6	1101	33.500	103.7	$\frac{125.2}{30.9}$	$\frac{5.4}{1.33}$	$\frac{12.6}{3.12}$	$\frac{9.1}{2.25}$	4	2
1975	1400 - 1800	4	1049	17.000	111.8	$\frac{171.8}{42.4}$	$\frac{5.6}{1.38}$	$\frac{16.4}{4.05}$	$\frac{4.6}{1.14}$	1	3
1970 und früher	im Mittel 1345	16	1004	86.400	106.8	$\frac{180.3}{44.5}$	$\frac{7.3}{1.79}$	$\frac{18.2}{4.49}$	$\frac{6.3}{1.56}$	5	11

emissionen sind im Gegensatz zu den CO- und CH-Emissionen bei den der ersten Stufe der Abgasgesetzgebung unterliegenden Fahrzeugen um 16 % angestiegen. Qualitativ gesehen hat sich die Abgasgesetzgebung somit erwartungsgemäß auf das reale Emissionsverhalten der Kraftfahrzeuge ausgewirkt.

Die auf der Basis der Fahrmodi des TÜV Rheinland ermittelten Abgasemissionen und Kraftstoffverbräuche wurden für die Fahrzeuge der Baujahre 1972 bis 1975 sowie 1970 und früher in Abhängigkeit von der mittleren Fahrgeschwindigkeit in der Abbildung 4.3 vergleichend gegenübergestellt. Die Versuche werden nach Einbau neuer Zündkerzen und Unterbrecherkontakte sowie nach Einstellung von Zündung und Vergaser gemäß Herstellervorschrift durchgeführt. Aus den Abbildungen geht deutlich hervor, daß sich die CO- und CH-Emissionen der neuen Fahrzeuge (Baujahr 1972 bis 1975) gegenüber denen der älteren (Baujahr 1970 und früher) im gesamten Bereich der mittleren Fahrgeschwindigkeit verringert haben. Die Stickoxidemissionen weisen die entgegengesetzte Tendenz auf. Auf den Einfluß der Wartung wird an anderer Stelle (siehe Seite 4.14) näher eingegangen.

Da das bereits erwähnte Forschungsvorhaben noch nicht abgeschlossen ist, kann nicht davon ausgegangen werden, daß die sich augenblicklich ergebende Verteilung der Fahrzeuge auf die Baujahre hinsichtlich Typ und Hubvolumen den Bestand der Bundesrepublik Deutschland widerspiegelt. Somit muß zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf eine für den Bestand der Bundesrepublik repräsentative Aussage bezüglich der Auswirkungen der Abgasgesetzgebung auf das Emissionsverhalten verzichtet werden.

Zur Verringerung der Schwankungsbreite der Hubvolumina der Fahrzeuge wurden aus der Stichprobe, bestehend aus Fahrzeugen der Baujahre 1972 bis 1975, diejenigen

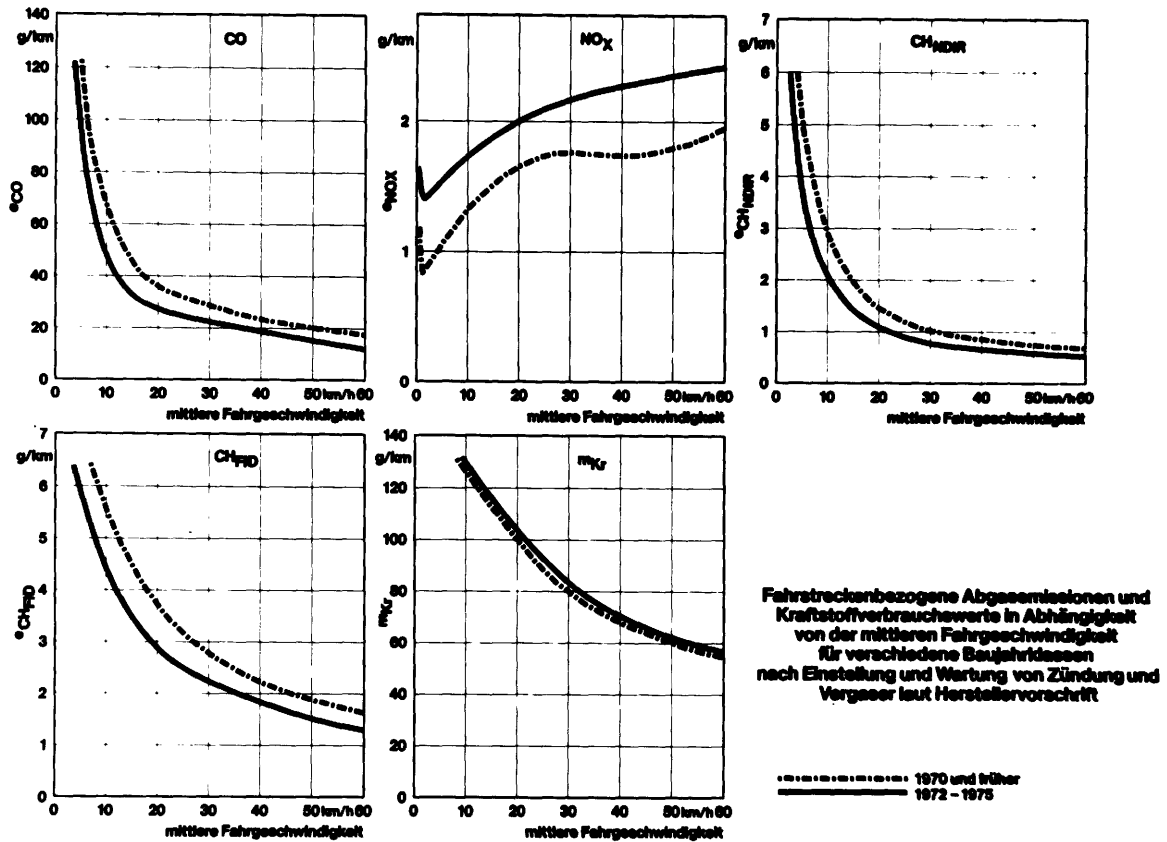


Abb. 4.3: Fahrtstreckenbezogene Abgasemissionen und Kraftstoffverbrauchswerte in Abhängigkeit von der mittleren Fahrgeschwindigkeit für verschiedene Baujahrklassen nach Einstellung von Zündung und Vergaser laut Hersteller-vorschrift

ausgewählt, deren Hubvolumen im Intervall zwischen 1400 und 1800 cm³ liegt. Wie aus Tabelle 4.2 (Seite 4.9) ersichtlich, unterscheiden sich die Emissionsmittelwerte dieser Teilauswahl kaum von der Gesamtstichprobe. Eine weitere Aufteilung dieser Teilauswahl auf einzelne Baujahre läßt keinen eindeutigen Einfluß der Motorlaufzeit auf das Emissionsverhalten erkennen. Es muß jedoch einschränkend bemerkt werden, daß die sich zur Zeit ergebende Klassenbesetzung der einzelnen Baujahre unzureichend ist. Nach Abschluß des Vorhabens soll eine erneute Auswertung mit genügender Klassenbesetzung der einzelnen Baujahre vorgenommen werden.

Um die Einhaltung der in der Abgasgesetzgebung vorgeschriebenen Serienprüfwerte beurteilen zu können, wurde in der letzten Spalte der Tabelle 4.2 für die verschiedenen Baujahrklassen die Anzahl der Fahrzeuge angegeben, die die jeweils für die einzelnen Fahrzeuge gültigen Serienprüfwerte erfüllen bzw. nicht erfüllen.

Während bereits 30 % der Fahrzeuge des Baujahres 1970 und früher die Seriengrenzwerte unterschreiten, obwohl sie diesen Standards nicht unterliegen, erfüllen lediglich 50 % der der Abgasgesetzgebung unterliegenden Fahrzeuge (Baujahr 1972 bis 1975) diese Grenzwerte.

Unabhängig davon, ob die auf der Basis der bisherigen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse als repräsentativ für den Gesamtbestand gelten können, ist die Angabe des Prozentsatzes derjenigen Kraftfahrzeuge einer Baujahrklasse, die den Europatest bestanden haben, für die Beurteilung der Emissionssituation allein nicht ausreichend. Aus diesem Grunde wurden zusätzlich für die verschiedenen Baujahrklassen analog Tabelle 4.2 die in der Abgasgesetzgebung festgelegten Seriengrenzwerte der einzelnen Fahrzeuge für die Komponenten CO und CH aufaddiert. Für die Komponente NO_x wurden die ab dem 1.10.1977 geltenden Standards zugrundegelegt. Der sich für eine definierte Fahrzeugstichprobe für eine bestimmte Schadstoffkomponente ergebende Summenwert kennzeichnet die Schadstoffmasse, die bei Einhaltung der Seriengrenzwerte nach ECE R 15 von allen Fahrzeugen zusammengenommen maximal emittiert werden darf. Diesem Summenwert wird die Summe der realen Emissionen der jeweiligen Fahrzeugstichprobe gegenübergestellt.

Tabelle 4.3: Vergleich der Schadstoffmassen bei Einhaltung der Emissionsgrenzwerte (Seriengrenzwerte) nach ECE R 15 und der tatsächlichen Emissionen für 40 Fahrzeuge der Baujahre 1972-1975

	Σ CO[g]	Σ CH[g]	Σ NO _x [g]
Zulässige Emissionen bei Einhaltung der Grenzwerte	6122	474,3	543,0
reale Emissionen	6222	223,7	278,9
Abweichung	+ 1,6 %	- 52 %	- 48,7 %

Aus Tabelle 4.3 geht hervor, daß der Summenwert für die Schadstoffkomponente CO nahezu eingehalten wird. Die Überschreitung beträgt lediglich 1,6 %. Die CH- und NO_x-Seriengrenzwerte werden stark unterschritten: Die Summe der realen Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen liegt um 52 %, die der Emissionen an Stickoxiden um rund 49 % unter der für die Fahrzeugauswahl ermittelten zulässigen Summe der Seriengrenzwerte.

Die starke Unterschreitung der Seriengrenzwerte für CH und NO_x läßt den Schluß zu, daß die Erfüllung dieser Emissionsstandards keine Schwierigkeit darstellt. Eine Beeinflussung des realen Emissionsverhaltens durch die Abgasgesetzgebung ist erst wieder zu erwarten, wenn die gesetzlichen Emissionsstandards unterhalb des Emissionsniveaus von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen liegt (siehe hierzu auch Kap. 8.3).

Einfluß des Wartungszustandes

Zur Beurteilung des technischen Entwicklungsstandes moderner Ottomotoren, die die für den EG-Bereich vorgeschriebene Abgasgesetzgebung erfüllen, ist die Kenntnis des Einflusses des Wartungszustandes (siehe Seite 4.8) der Motoren auf das Abgas-Emissionsverhalten von Bedeutung.

Für die Fahrzeugauswahl der Baujahrklasse 1972 bis 1975 ergibt sich folgendes Bild (Tabelle 4.4):

Tabelle 4.4: Wartungszustand bei Anlieferung von 40 Fahrzeugen der Baujahrklasse 1972 bis 1975

		Anzahl	mittl. Abweichung
Zündzeitpunkt	zu früh	13	2,4°kW
	zu spät	12	4,2°kW
	ohne Beanstandung	15	---
Schließwinkel	ohne Beanstandung	22	---
CO-Gehalt [Vol-%] im Leerlauf im Vergleich zu den Herstellerangaben	höher	17	2,4 Vol-%
	niedriger und gleich	23	2,1 Vol-%

In Tabelle 4.5 wurden die auf der Basis des Europa-testzyklus bei betriebswarmem Motor ermittelten Emissionsmittelwerte von im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeugen im Anlieferungszustand sowie nach Einstellung des Motors für drei Fahrzeugstichproben verglichen, von denen zwei Stichproben der ersten Stufe der Abgasgesetzgebung unterliegen und eine Stichprobe aus noch nicht der Abgasgesetzgebung unterliegenden Kraftfahrzeugen besteht. Die Fahrzeuge der Baujahre 1970 und früher liegen im gewarteten Zustand bezüglich der mittleren CO-Emissionen auf dem Niveau der neueren

Tabelle 4.5: Vergleich der Emissionsmittelwerte von im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeugen mit Ottomotor vor und nach Einstellung des Motors, ermittelt nach ECE R 15 (Warmtest)

<u>Anlieferungszustand</u>												
Baujahr	Hubvolumen	Anzahl	mittlere Prüfmasse	mittlere Laufleist.	Kraftstoffverbrauch	CO	CH ₂ DIR	CH ₂ FID	NO _x	g/Test	g/Test	g/Test
cm ³	kg	km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
1972-75	im Mittel 1460	40	1061	43.300	97.2	$\frac{140.6}{34.7}$	$\frac{4.42}{1.09}$	$\frac{12.44}{3.07}$	$\frac{6.65}{1.64}$			
1972-75	1400-1800	19	1102	35.200	100.0	$\frac{146.3}{36.1}$	$\frac{4.17}{1.03}$	$\frac{11.83}{2.92}$	$\frac{7.17}{1.77}$			
1970 und früher	im Mittel 1345	16	1004	86.400	93.3	$\frac{164.1}{40.5}$	$\frac{7.21}{1.78}$	$\frac{17.3}{4.27}$	$\frac{5.71}{1.41}$			
<u>Nach Auswechseln der Zündkerzen und Unterbrecherkontakte sowie Einstellung gemäß Herstellervorschrift</u>												
1972-75	im Mittel 1460	40	1061	43.300	92.7	$\frac{105.4}{26.0}$	$\frac{4.38}{1.08}$	$\frac{11.79}{2.91}$	$\frac{7.13}{1.76}$			
1972-75	1400-1800	19	1102	35.200	95.3	$\frac{109.0}{26.9}$	$\frac{4.34}{1.07}$	$\frac{11.43}{2.82}$	$\frac{7.25}{1.79}$			
1970 und früher	im Mittel 1345	16	1004	86.400	91.9	$\frac{143.8}{35.5}$	$\frac{5.71}{1.41}$	$\frac{14.83}{3.66}$	$\frac{5.51}{1.36}$			

Fahrzeuge im Anlieferungszustand, die Stickoxidemissionen liegen deutlich niedriger als bei den Fahrzeugen der Baujahre 1972 bis 1975. Auffallend sind die wesentlich höheren Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen bei den älteren Fahrzeugen der Baujahre 1970 und früher.

Für alle drei Fahrzeugstichproben gilt die Feststellung, daß nach Einstellung und Wartung von Zündanlage und Vergaser eine Senkung der CO- und CH-Emissionen verzeichnet werden konnte. Der Einfluß auf die NO_x -Emissionen ist gering. Bei den Fahrzeugen der Baujahre 1972 bis 1975 wurde durch Wartung und Einstellung des Motors eine Absenkung der CO-Emissionen um ca. 33 % erreicht, bei den älteren Fahrzeugen nur um 14 %. Die Absenkung der CH-Emissionen, gemessen mit dem Flammenionisationsdetektor, ist bei den älteren Fahrzeugen (Baujahr 1970 und früher) relativ stark (17 %), während die Fahrzeuge der Baujahre 1972 bis 1975 nur einen geringfügigen Abfall der CH-Emissionen von ca. 4 % aufweisen. Die Stickoxidemissionen werden bei den Fahrzeugen der Baujahre 1972 bis 1975 im Mittel nur geringfügig verändert. Bei den älteren Fahrzeugen ist nach Wartung und Einstellung sogar eine Abnahme um 4 % zu verzeichnen.

Abbildung 4.4 zeigt ergänzend hierzu den Einfluß von Einstellung und Wartung des Vergasers und der Zündanlage für den im Stadtverkehr auftretenden Bereich der mittleren Fahrgeschwindigkeit. Für die CO- und CH-Emissionen ergibt sich im gesamten Bereich eine Absenkung. Bei den NO_x -Emissionen ist im mittleren Geschwindigkeitsbereich ein leichter Anstieg nach Wartung und Einstellung des Motors gegenüber dem Anlieferungszustand festzustellen. Sowohl im unteren als auch im oberen Geschwindigkeitsbereich ist eine Abnahme der NO_x -Emissionen gegenüber dem Anlieferungszustand zu verzeichnen.

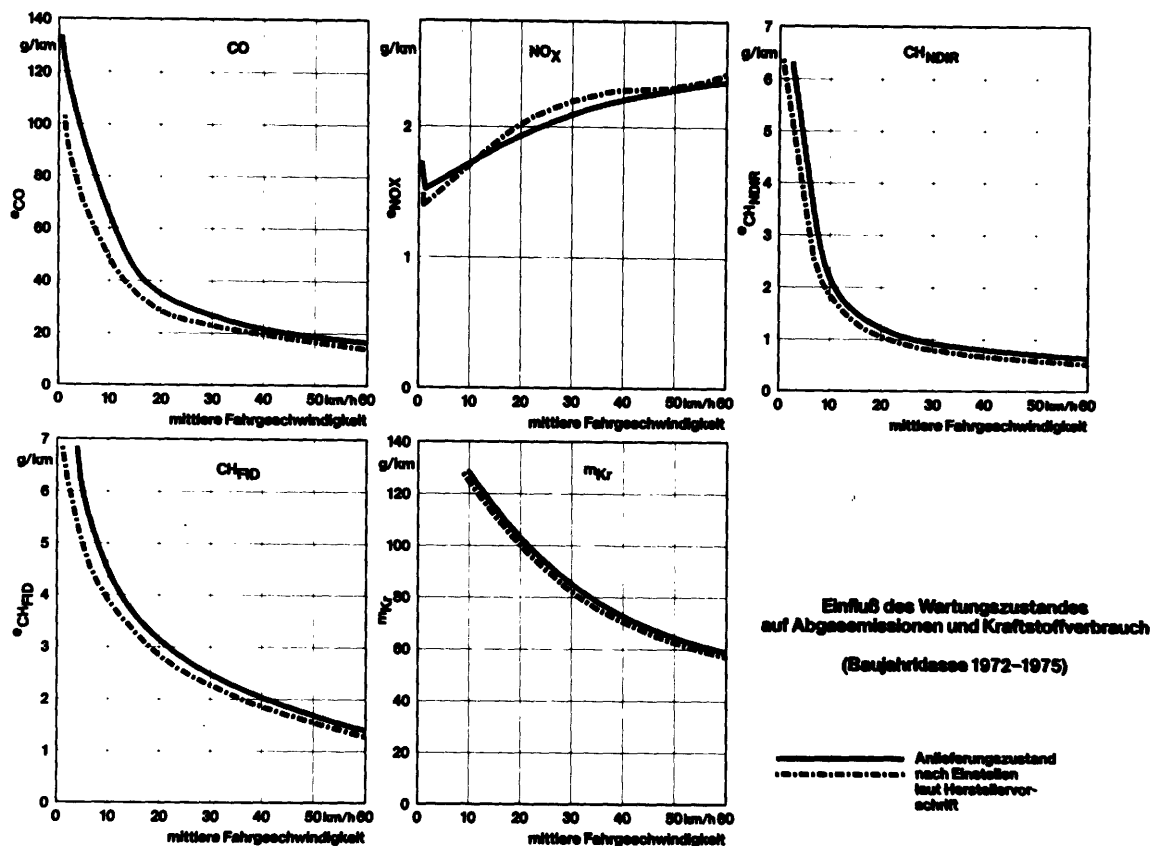


Abb. 4.4: Einfluß des Wartungszustandes auf Abgasemissionen und Kraftstoffverbrauch (Baujahrklassen 1972 - 1975)

4.1.2.2 Untersuchungen in Großbritannien

Im Jahre 1976 wurde im Auftrag des Department of Environment von der Motor Industry Research Association (MIRA) eine Untersuchung des Abgasemissionsverhaltens von Personenkraftwagen durchgeführt [4.8].

Bei diesen Erhebungen wurde eine für den Kraftfahrzeugbestand Großbritanniens repräsentative Fahrzeugauswahl von 201 Fahrzeugen im Anlieferungszustand im Europa-Zyklus untersucht. Aus diesem Kollektiv wurde eine Stichprobe von 52 Fahrzeugen gezogen, deren Emissionsverhalten dem des Gesamtkollektivs entspricht. Diese 52 Fahrzeuge wurden hinsichtlich Zündung und Vergaser

gemäß Herstellervorschrift eingestellt und noch einmal im Europatest mit Kaltstart auf ihr Emissionsverhalten untersucht. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle 4.6 denen des TÜV Rheinland e.V. vergleichend gegenübergestellt.

Tabelle 4.6: Vergleich verschiedener Untersuchungen von im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeugen nach ECE R 15

	MIRA	TÜV Rheinland	$\frac{\text{MIRA-TÜV}}{\text{MIRA}}$	100 [%]
Anzahl	52	30	---	
CO [g/Test]	108	151	-	39,8
CH [g/Test]	7,11	5,35	+	24,8
NO _x [g/Test]	8,59	7,7	+	10,4
m _{Kr} [g/Test]	391	430	-	10,0
CO _{LL} * [Vol-%]	3,46	2,38	+	31,2
V _O ** [m ³ _N /Test]	4,15	4,21	-	1,45
Laufleistung [km]	15.500	37.100	-	139,4
Prüfmasse [kg]	1.052	1.072	-	1,9
Schwungmasse [kg]	1.013	1.065	-	5,1
Verdichtungsverhältnis	8,8	8,8		0,0
Hubvolumen [cm ³]	1.558	1.498	+	3,9
Starthilfe:				
automatisch	20 Kfz	17 Kfz		
	≅ 38,5 %	≅ 56,7 %		---
handbetätigt	32 Kfz	13 Kfz		
	≅ 61,5 %	≅ 43,3 %		---

* CO_{LL} = CO-Konzentration im Leerlauf

** V_O = Abgasvolumen, bezogen auf Normzustand

Das Baujahr der untersuchten Fahrzeuge liegt zwischen 1973 und 1975. Somit unterliegen alle Fahrzeuge der 1. Stufe der europäischen Abgasgesetzgebung. Deutliche Unterschiede sind bei den CO- und CH-Emissionswerten festzustellen, ebenso bei der von den Fahrzeugen zurückgelegten Fahrtstrecke.

Diese Unterschiede im Emissionsverhalten können qualitativ durch die im folgenden dargelegten Einflußparameter hervorgerufen werden:

- Laufleistung

Etwa 23 % der Fahrzeuge der britischen Untersuchung weisen eine Laufleistung von weniger als 5.000 km auf und können als "gerade eingefahren" bezeichnet werden. In dieser Phase kann davon ausgegangen werden, daß das Fahrzeug aufgrund des Neuzustandes aller für das Emissionsverhalten relevanten Bauteile optimal ist.

- Starthilfe

Von den nach Einstellung von Zündung und Vergaser in Großbritannien untersuchten Fahrzeugen weisen 61,5 % eine handbetätigte Starthilfe (Choke) auf, bei den vom TÜV Rheinland untersuchten Fahrzeugen waren dies rund 43 %. Dieser Unterschied ist von besonderer Bedeutung, da es sich um einen Vergleich von Testergebnissen mit Kaltstart handelt.

- Gestaltung des Brennraumes

Die Gestaltung des Brennraumes hat wegen der sogenannten Quencheffekte einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Emission von unverbrannten Kohlenwasserstoffen. Inwieweit bei den verglichenen Stichproben hierin nennenswerte Unterschiede bestehen, kann anhand der vorliegenden technischen Daten nicht ermittelt werden.

Die quantitativen Auswirkungen der aufgeführten Einflußfaktoren auf das Abgasemissionsverhalten können nicht angegeben werden. In diesen Zusammenhang muß auch darauf hingewiesen werden, daß bei Vergleichen von auf verschiedenen Abgasprüfständen ermittelten Abgasemissionen systematische Abweichungen bis zu 40 % festgestellt wurden.

Der Einfluß einer Wartung von Zünd- und Gemischbildungssystem auf die Schadstoffemissionen zeigt bei beiden Untersuchungen quantitativ teilweise starke Unterschiede. So nahmen die CO-Emissionen um 43 % (MIRA) bzw. um 21 % (TÜV) ab, während sich die entsprechenden NO_x -Werte um 17 % verschlechterten bzw. konstant blieben. Die CH-Werte der britischen Untersuchungen nahmen nach der Wartung um 10 % ab, wogegen bei den Messungen des TÜV Rheinland keine Veränderung festzustellen war.

4.2 Dieselmotoren

Als Antriebsmotor für Lastkraftwagen werden nahezu ausschließlich Dieselmotoren mit direkter Einspritzung eingesetzt. Gegenüber Vorkammer- bzw. Wirbelkammermotoren (Motoren mit geteiltem Brennraum) weisen Direkteinspritzer (Motoren mit ungeteiltem Brennraum) einen um 10 bis 20 % günstigeren Kraftstoffverbrauch auf. Für den Einsatz als PKW-Antrieb sind bisher nur Kammermotoren entwickelt worden, da diese insbesondere Vorteile hinsichtlich Verbrennungsgeräusch aufweisen und höhere Drehzahlen ermöglichen. In bezug auf das Emissionsverhalten liegen Kammermotoren ebenfalls günstiger als Direkteinspritzer.

Im Vergleich zu Ottomotoren weisen Dieselmotoren mit Vor- bzw. Wirbelkammer vor allem die im folgenden aufgezählten Nachteile auf:

- geringere Leistungsdichte, d.h. größere Masse und größeres Volumen bei gleicher

Leistung und damit höhere Herstellungskosten

- höhere Feststoffemissionen (Ruß)
- stärkere Geruchs- und Geräuschemissionen

Trotz dieser zum Teil erheblichen Nachteile hat sich der Dieselmotor als PKW-Antrieb einen bestimmten Anteil am Kraftfahrzeugbestand gesichert, was in erster Linie auf seinen Ruf als robuster, langlebiger Antrieb mit sparsamem Kraftstoffverbrauch zurückzuführen sein dürfte.

Personenkraftwagen mit Dieselmotor unterliegen nicht der Prüfung nach ECE R 15, sondern müssen bezüglich der Rußemission die Vorschriften nach ECE R 24 erfüllen (siehe Kapitel 2).

Beim gegenwärtigen Entwicklungsstand sind Dieselmotoren in der Lage, die in Diskussion befindlichen sehr strengen Emissionsstandards der USA und Japans für die Komponenten CO und CH zu unterbieten. Die Stickoxid-Emissionen überschreiten hingegen die Größenordnung der in Diskussion befindlichen NO_x -Grenzwerte der USA und Japans (siehe Tabelle 4.7). Aufgrund der hohen Sauerstoffkonzentrationen im Abgas ist eine katalytische Nachbehandlung zur Reduzierung der NO_x -Emissionen nicht möglich, so daß motorinterne Maßnahmen zur Absenkung der Verbrennungsspitzentemperaturen ergriffen werden müssen (siehe Kapitel 5.4).

Das Emissionsverhalten eines modernen Dieselmotors soll durch die in Tabelle 4.8 zusammengestellten Emissionsmeßwerte gekennzeichnet werden. Die Messung wurde an einem Fahrzeug des Typs VW Golf Diesel auf der Basis des Europatestzyklus durchgeführt. Da das in ECE R 15 vorgeschriebene Sammelbeutelverfahren zur Ermittlung der Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen von Dieselmotoren nicht geeignet ist (siehe Kapitel 3), wurde eine CVS-Anlage eingesetzt.

Tabelle 4.7: Testergebnisse auf der Basis des CVS-Testes und Abgas-Emissionsgrenzwerte für Personenkraftwagen mit Dieselmotoren [2.7, 5.2]

	CO [g/mi]	CH [g/mi]	NO _x [g/mi]
Interimstandards	15	1,5	2,0
Grenzwerte ab 1978 (Muskie-Standards)	3,4	0,41	0,4
Daimler-Benz			
240 D	1,0	0,2	1,3
Daimler-Benz			
300 D	1,0	0,2	1,8
VW Golf Diesel	1,0	0,2	1,2
Peugeot 504	1,0	0,4	1,0

Tabelle 4.8: Abgas-Emissionswerte im Europatest mit Kaltstart für einen VW Golf Diesel (Baujahr 1976) [2.7]

	CO	CH	NO _x
g/Test	5,1	1,3	3,0
g/km	1,3	0,3	0,7

Der dargestellte Entwicklungsstand heutiger Otto- und Dieselmotoren zeigt, daß die derzeitigen Emissionsgrenzwerte für europäische Personenkraftwagen zum gegenwärtigen Zeitpunkt mit konventionell ausgerüsteten Motoren erfüllt werden können. Der Einsatz von Abgasnachbehandlungsanlagen oder weiterentwickelten Motor-konzepten, wie z.B. Schichtladungsmotoren, ist selbst bei Inkrafttreten der Stickoxidgrenzwerte am 1.10.1977

noch keinesfalls notwendig. Die wesentlich schärferen Abgasbestimmungen in den USA und Japan haben jedoch dazu geführt, daß Konzepte entwickelt wurden, die in der Lage sind, selbst sehr strenge Emissionsstandards zu erfüllen. Diese Konzepte sollen im Kapitel 5 beschrieben werden.

5. Technische Maßnahmen und Konzepte zur Reduzierung der Schadstoffe im Abgas unter besonderer Berücksichtigung der Stickoxidemissionen

Wegen der nach 1980 für den Bereich der EG geplanten weiteren Absenkung der Abgas-Emissionsstandards unter Einbeziehung der Stickoxidemissionen und wegen der starken Exportabhängigkeit der europäischen Automobilindustrie war diese ebenso wie die japanischen und amerikanischen Automobilhersteller gezwungen, an Lösungen für die Erfüllung sehr strenger Emissionsgrenzwerte zu arbeiten. Vor allem aufgrund des noch vorhandenen großen Entwicklungspotentials, des hohen Entwicklungsstandes und der bestehenden Produktionsanlagen erscheint der von der Automobilindustrie eingesetzte Aufwand zur Weiterentwicklung von Otto- und Dieselmotor gerechtfertigt. Die wichtigsten Konzepte werden qualitativ beschrieben und diskutiert. Abgas-Emissionswerte von einigen Konzepten sind in Kapitel 7 angegeben. Eine technisch detaillierte Beschreibung der einzelnen Konzepte ist einer, im Auftrag der EG erstellten Studie von RICARDO zu entnehmen [5.1].

5.1 Thermische und katalytische Abgasnachbehandlung und Abgasrückführung

Eine Möglichkeit, die im Kraftfahrzeugabgas enthaltenen Schadstoffe zu verringern, bieten Abgasnachbehandlung und Abgasrückführung. Beide Maßnahmen können jeweils in Verbindung mit anderen Konzepten (siehe Kapitel 5.2, 5.3, 5.4) eingesetzt werden.

Die Entscheidung über den Einsatz eines Katalysators oder Thermoreaktors hängt von den Randbedingungen ab, unter denen ein Fahrzeug eingesetzt werden soll. Im folgenden werden unter Berücksichtigung der in Europa gültigen Randbedingungen die Vor- und Nachteile der

möglichen Nachbehandlungskonzepte aufgezeigt.

5.1.1 Thermische Reaktoren

Thermische Reaktoren werden im Kraftfahrzeugbereich zur Nachverbrennung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid eingesetzt. Der Grad der Konvertierung von Schadstoffen wird durch Bauart des Reaktors (Verweilzeit), durch die Abgastemperatur und durch die vorhandene Sauerstoffkonzentration im Abgas bestimmt. Als Richtwert für den Beginn der Oxidation von unverbrannten Kohlenwasserstoffen kann eine Abgastemperatur von ca. 600°C angegeben werden. Die für die Umwandlung von Kohlenmonoxid notwendige Abgastemperatur liegt ca. 100°C höher.

Zur Erreichung befriedigender Konvertierungsraten auch im unteren Teillastbereich des Motors ist eine Anhebung der Abgastemperaturen durch Einstellung eines entsprechend verspäteten Zündzeitpunkts vorzunehmen. Eine derartige Maßnahme hat jedoch gleichzeitig eine Erhöhung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs zur Folge. Aus einem Vergleich von Fahrzeugen mit Thermoreaktor einerseits und Katalysator andererseits ergibt sich ein Kraftstoffmehrverbrauch der Fahrzeuge mit Thermoreaktoren in der Größenordnung von 15 % [5.2, 5.3]. Um diesen Wirkungsgradverlust so klein wie möglich zu halten, ist es erforderlich, durch geeignete Maßnahmen die Wärmeverluste des Abgases zwischen Auslaßkanal und Thermoreaktor zu minimieren. In diesem Zusammenhang sind u.a. zu erwähnen:

- Isolierung der Abgaskanäle und Abgasrohre
- Anbringung des Thermoreaktors in Zylinderkopfnähe

Die für den Konvertierungsprozeß optimale Sauerstoffkonzentration im Abgas kann ohne zusätzlichen Aufwand, wie z.B. den Einbau einer Luftpumpe, realisiert werden, wenn der Motor im mageren Bereich des Kraftstoff-Luftgemisches betrieben wird (optimales Verbrennungs-Luftverhältnis: 1,1 bis 1,2).

Die Umsetzungsrate des Thermoreaktors in Abhängigkeit von der Laufzeit des Motors bleibt unter der Voraussetzung konstant, daß die motorischen Parameter sich nicht verändern. Das mechanische Standzeitverhalten des Reaktors kann durch Begrenzung der Wärmefreisetzung im Reaktor, die wiederum von der Rohemission an Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen abhängt, günstig beeinflußt werden.

5.1.2 Katalytische Reaktoren

Der Einsatz von Katalysatoren zur Oxidation von CO und CH bzw. Reduktion von NO_x dient der zeitlichen Beschleunigung der chemischen Reaktionen auch bei abgesenkten Prozeßtemperaturen. Als Katalysatorträger werden Monolithe und Schüttgut-Körper auf keramischer Basis verwendet. Schüttgut-Katalysatoren haben gegenüber monolithischen Katalysatoren Vorteile in bezug auf Schlagfestigkeit und Eignung für eine Massenproduktion. Dagegen weist der monolithische Katalysator eine niedrigere Wärmekapazität und einen niedrigeren Abgasgegendruck auf. Das Trägermaterial wird mit Edelmetallen, wie Platin, Rhodium, Palladium etc., bzw. auf Nichtedelmetallbasis mit Schwermetalloxiden, wie Kupfer-, Chrom- und Eisenoxid, beschichtet. Gegenüber dem Thermoreaktor stellt der katalytische Reaktor höhere Anforderungen an die Kraftstoffzusammensetzung, da Kraftstoffbestandteile, wie Blei, Schwefel und Phosphor, zu einer schnellen Herabsetzung der Aktivität führen. Während Katalysatoren auf Edelmetallbasis

den Einsatz von bleifreien Kraftstoffen erfordern, können Unedelmetallkatalysatoren auch bei niedrig verbleiten Kraftstoffen verwendet werden. Andererseits weisen Edelmetallkatalysatoren höhere Umsetzungsraten und größere Hitzebeständigkeit als Unedelmetallkatalysatoren auf [5.4, 5.5, 5.6].

Gegenwärtig werden Edelmetallkatalysatoren im wesentlichen auf der Basis von Platin und Palladium hergestellt. Die Hauptförderländer für diese Rohstoffe sind die UdSSR, die Republik Südafrika und mit einigem Abstand an dritter Stelle Kanada. Die Hauptverbraucher sind die USA an erster und die EG an zweiter Stelle. Eine Rohstoffverknappung ist aus der Sicht der Weltreserven an Platin und Palladium nicht zu erwarten. Einem bis 1990 auf 241 kg ansteigenden jährlichen Weltbedarf an diesen Edelmetallen stehen Reserven von 11.000 kg gegenüber, so daß die Rohstoffversorgung auf diesem Sektor beim gegenwärtigen Explorationsstand auf Jahrzehnte hinaus als gesichert bezeichnet werden kann [5.7].

Oxidationskatalysator

Zur Einleitung der Verbrennung von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen in Oxidationskatalysatoren ist ein sauerstoffhaltiges Abgas notwendig. Dies kann durch Motorbetrieb mit mageren Kraftstoff-Luft-Gemischen oder durch Sekundärluft-Einblasung in das Abgassystem erreicht werden. In Abb. 5.1 ist das Prinzip der katalytischen Oxidation in Verbindung mit einer Abgasrückführung dargestellt (siehe Kapitel 5.1.4).

Im Vergleich zum Thermoreaktor liegen die Anspringtemperaturen mit 300 bis 400°C wesentlich niedriger, so daß schon im unteren Teillastbereich bei optimal ein-

gestelltem Zündzeitpunkt ausreichende Abgastemperaturen erreicht werden (Abb. 5.2). Prinzipiell weist so-

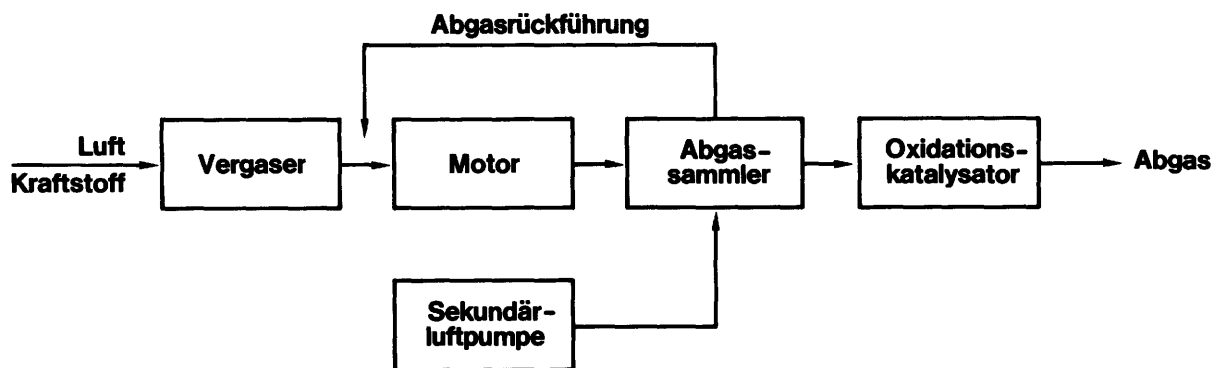


Abb. 5.1: Prinzip der kataytischen Oxidation [5.8]

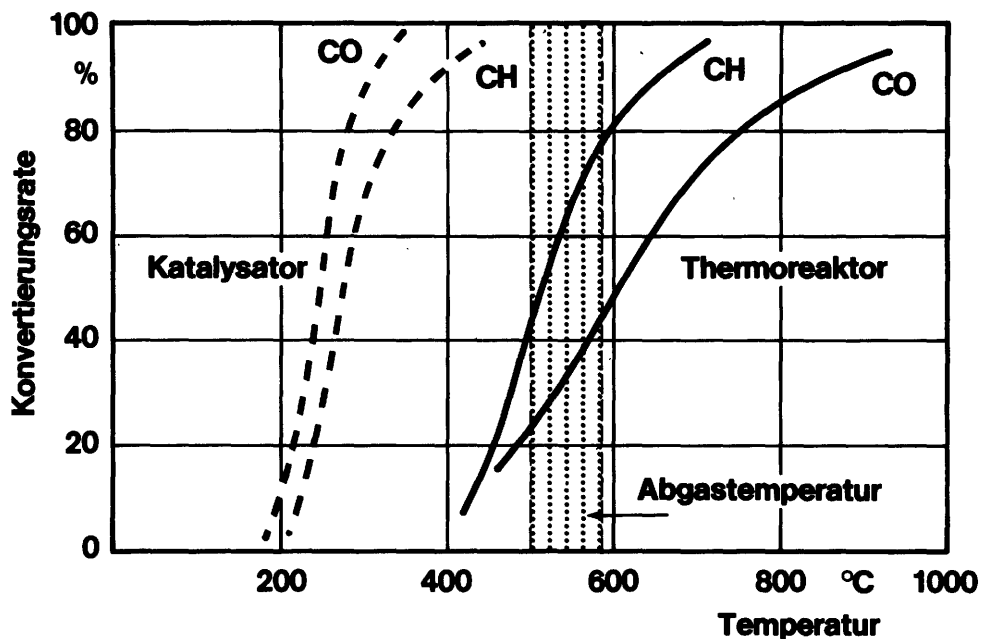


Abb. 5.2: Vergleich der Konvertierungsraten von Oxidationskatalysatoren und Thermoreaktoren [5.6]

mit der Katalysator gegenüber dem Thermoreaktor Kraftstoffverbrauchsvorteile auf (siehe Kapitel 5.1.1). Die maximale Dauertemperatur beträgt etwa 1000°C. Der Nachweis einer ausreichenden Standzeit des Katalysators ist in den in USA vorgeschriebenen 50.000-Meilen-Tests bereits nachgewiesen worden.

Wegen der im Vergleich zum Unedelmetallkatalysator wesentlich höheren Umsatzraten in Verbindung mit einer größeren Hitzebeständigkeit werden in den USA ausschließlich Edelmetallkatalysatoren eingesetzt, wenn eine katalytische Abgasnachbehandlung angewandt wird. Für den Bereich der EG kann der Einsatz von Edelmetallkatalysatoren solange nicht in Erwägung gezogen werden, wie die Bereitstellung von bleifreiem Kraftstoff nicht sichergestellt ist.

Um Überhitzungsschäden am Katalysator zu vermeiden, müssen Maßnahmen ergriffen werden, die die Oberflächentemperatur in den zulässigen Grenzen halten. Ein für Vergaser-Ottomotoren in dieser Hinsicht kritischer Betriebszustand ist z.B. der Schubbetrieb wegen des starken Anstiegs an CH-Emissionen. Die erhöhte Wärmefreisetzung kann durch entsprechende Sekundärlufteinblasung kompensiert werden.

Ein für Oxidationskatalysatoren spezifisches Problem stellen die Emissionen von Schwefelverbindungen dar. Die Gesamtschwefelemission ist lediglich abhängig vom im Kraftstoff enthaltenen Schwefel, der im Motor zu SO_2 oxidiert wird. In Oxidationskatalysatoren wird SO_2 teilweise zu SO_3 aufoxidiert. In Verbindung mit dem im Abgas vorhandenen Wasser entsteht dann schweflige und Schwefelsäure. Aufgrund von Unsicherheiten besonders in bezug auf Speichervorgänge in den Katalysatoren können quantitative Aussagen über die tatsächliche Höhe dieser Säureemissionen nicht gemacht werden [5.6].

Reduktionskatalysatoren

Die Reduktion von NO_x zu N_2 und O_2 mittels eines Katalysators wird bei Anwesenheit der Reduktionsgase CO , H_2 und CH begünstigt. Demzufolge muß der Motor bei Einsatz eines Reduktionskatalysators mit einem reichen Kraftstoff-Luftgemisch betrieben werden. Die durch diese Betriebsweise ansteigenden CO - und CH -Emissionen müssen in einem nachgeschalteten Oxidationskatalysator nachverbrannt werden. Das sich aus dieser Forderung ergebende Konzept zur Abgasnachbehandlung ist in Abb. 5.3 schematisch dargestellt.

Der Ablauf der chemischen Reaktionen im Reduktionskatalysator stellt hohe Anforderungen an das Gemischbildungsorgan. Zu hohe O_2 -Konzentrationen ($> 0,5 \%$) im Abgas lassen die Konvertierungsraten von NO_x schlagartig abfallen, auch wenn CO vorhanden ist. Günstige NO_x -Umsatzraten werden erreicht, wenn die CO -Konzentration auf einem Niveau von etwa 1 bis 2 % gehalten wird bei einem Verhältnis von CO/O_2 von 2 bis 10. Demzufolge darf das Verbrennungsluftverhältnis eine Schwankungsbreite von $\lambda = \pm 0,03$ nicht überschreiten [5.8].

Reduktionskatalysatoren weisen im Vergleich zu Oxidationskatalysatoren ungünstigere Standzeiten auf. Es konnte festgestellt werden, daß die Konvertierungsrate nach relativ kurzer Laufzeit deutlich abfällt (Abb. 5.4). Trotz dieser noch nicht befriedigend gelösten Probleme werden Reduktionskatalysatoren, z.B. für den Einsatz in Japan und USA (Kalifornien), serienmäßig verwendet [5.9].

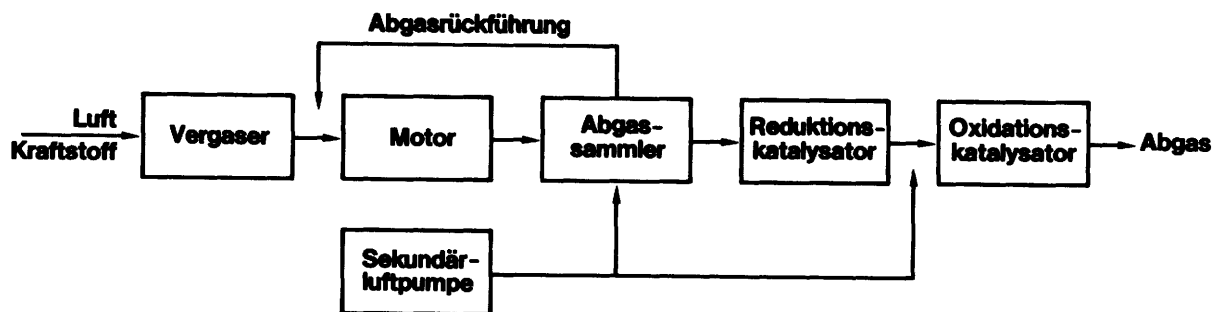


Abb. 5.3: Prinzip der katalytischen Stickoxidreduzierung [5.8].

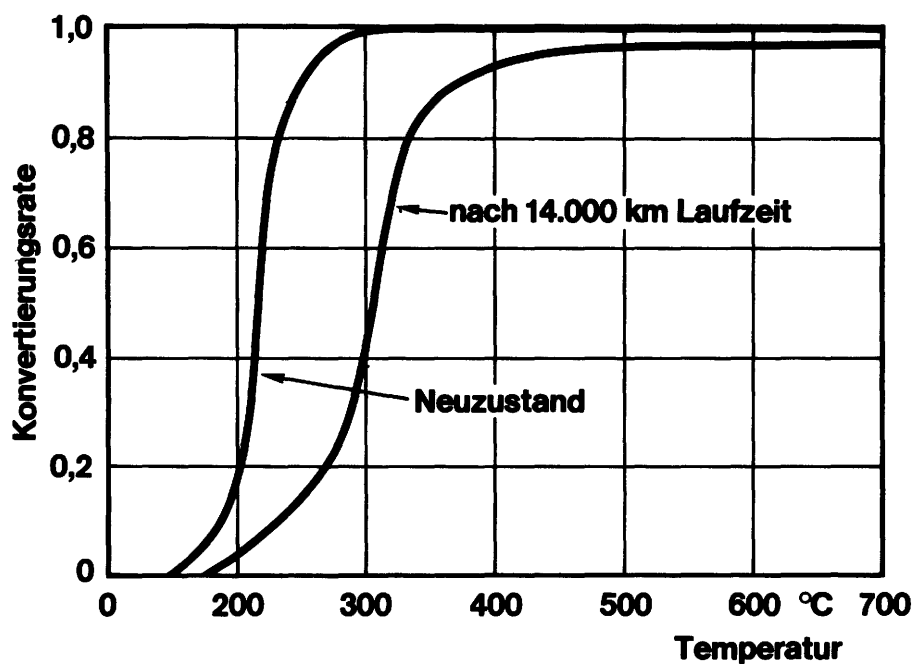


Abb. 5.4: Konvertierungsraten für NO_x in Abhängigkeit von Temperatur und Alter des Katalysators [5.8].

Ein Problem besonderer Art stellt die NH_3 -Bildung in Reduktionskatalysatoren dar, da im nachgeschalteten Oxidationskatalysator NH_3 wiederum zu NO_x umgewandelt und dadurch die Gesamtkonvertierungsrate für die Stickoxide verschlechtert wird. Diese Abhängigkeiten sind in Abb. 5.5 dargestellt.

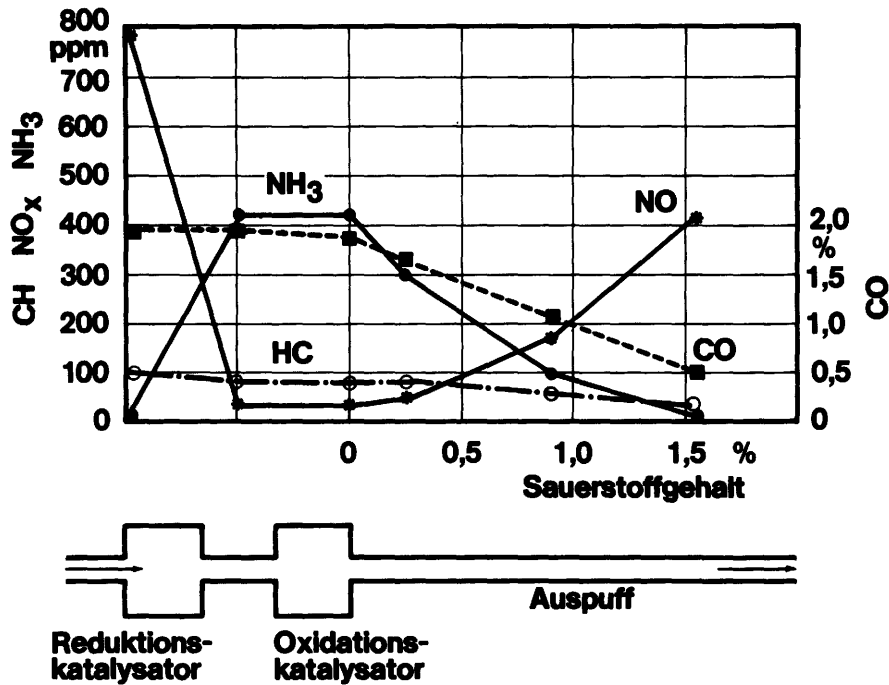
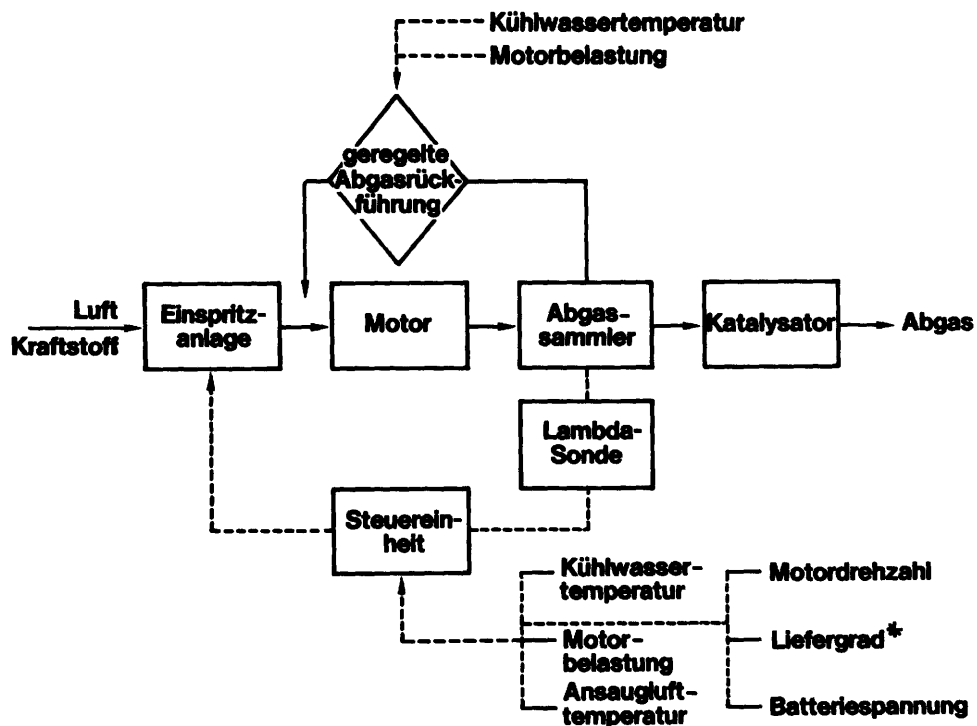


Abb. 5.5: Verlauf der NO_x , NH_3 -, CO - und CH -Konzentrationen im Reduktions- und Oxidationskatalysator [5.8]

5.1.3 Katalytische Abgasnachbehandlung mit geregelter Gemischaufbereitung

Bei einem Luftverhältnis von $\lambda = 0,99 - 1,0$ ist es möglich, die Konzentrationen aller drei im Abgas enthaltenen Schadstoffkomponenten (CO , CH , NO_x) in einem Katalysator zu verringern. Das Prinzip dieses Katalysators ist in Abb. 5.6 dargestellt.



* Der Liefergrad ist ein Maß für die im Zylinder nach Abschluß des Ladungswechsels verbleibende Frischladung

Abb. 5.6: Prinzip der katalytischen Abgasnachbehandlung mit geregelter Gemischbildung [5.8]

Mittels einer sogenannten Lambda-Sonde (O_2 -Sensor) wird der Sauerstoffgehalt im Abgas ermittelt. Über ein Regelglied wird der Istwert des Luftverhältnisses mit dem Sollwert verglichen und bei Einspritzanlagen die Kraftstoffmenge bzw. bei Vergasermotoren die Luftmenge entsprechend korrigiert. Dieser geschlossene Regelkreis ermöglicht die Einhaltung des Luftverhältnisses in dem geforderten Bereich.

Einer Studie der japanischen Umweltbehörde zufolge untersuchen nahezu alle auf dem japanischen Markt vertretenen europäischen Hersteller die Einsatzfähigkeit dieses Konzeptes in bezug auf die Einhaltung der 1978 in Kraft tretenden Abgas-Emissionsstandards (siehe Kapitel 2). Aus anderen Veröffentlichungen geht her-

vor, daß der schwedische Automobilhersteller Volvo mit diesem System bereits den für die USA vorgeschriebenen 50.000-Meilen Test erfüllt und dabei die Muskiewerte unterboten hat. Es muß jedoch einschränkend festgestellt werden, daß es sich bei dem Fahrzeug um einen Prototyp handelt. Der hohe technische Entwicklungsstand von Lambda-Sonde und Katalysator läßt bereits einen serienmäßigen Einsatz zu. So hat die Firma Saab (Schweden) angekündigt, ihre Exportfahrzeuge des Modelljahres 1978 für die USA mit diesem System auszurüsten. Voraussetzung für den Einsatz dieses Konzeptes ist allerdings die Verwendung von bleifreien Kraftstoffen, da Lambda-Sonde und Katalysator auf Edelmetallbasis aufgebaut sind [5.9, 5.10, 5.11].

5.1.4 Abgasrückführung

Die Abgasrückführung hat sich als wirksame Maßnahme zur Absenkung der Stickoxidemissionen erwiesen. Die Stickoxidbildung im Motorbrennraum hängt im wesentlichen vom Sauerstoffpartialdruck und den auftretenden Verbrennungstemperaturen ab. Beide Parameter können durch den im Zylinder vorhandenen Restgasanteil beeinflusst werden. Der Restgasanteil läßt sich wiederum durch gezielte Maßnahmen dosieren. Es wird von äußerer Abgasrückführung gesprochen, wenn das Abgas last- und drehzahlabhängig der Ansaugluft des Motors beige-mischt wird. Eine innere Abgasrückführung kann durch entsprechende Auslegung der Ventilsteuerzeiten erreicht werden.

Zur Vermeidung eines ungünstigen Fahr- und Betriebsverhaltens des Motors und eines erhöhten Kraftstoffverbrauchs ist es bei hohen Stickoxid-Reduktionsraten erforderlich, die Abgasrückführung auf bestimmte Kennfeldbereiche, die z.B. für das Bestehen eines gesetz-

lich vorgeschriebenen Abgastests ausschlaggebend sind, zu beschränken.

Die in Japan und den USA auf dem Markt befindlichen Steuereinrichtungen zur äußeren Abgasrückführung erfüllen im allgemeinen die Grundforderung, nur im Teillastbereich Abgas zurückzuführen. Ziel der Weiterentwicklung ist es, durch konstruktive Maßnahmen ohne unzulässige Beeinträchtigung des Fahr- und Betriebsverhaltens und des Kraftstoffverbrauchs die jeweils maximal mögliche Abgasrückführtrate in den für die Abgas-Testzyklen relevanten Teillastbereichen zu erreichen.

Die Anwendung der äußeren Abgasrückführung ermöglicht die Einhaltung dieser Forderung trotz des teilweise erheblichen Steuerungsaufwandes mit den besten Ergebnissen. Die innere Abgasrückführung wirkt sich aufgrund der Ventilüberschneidung moderner Motoren vor allem in Bereichen hoher Saugrohrunterdrücke aus, die ein Rücksaugen von Abgas in das Ansaugsystem bewirken.

5.2 Weiterentwicklung von Ottomotoren

Grundlage für die Weiterentwicklung von Ottomotoren sind die in Abb. 5.7 dargestellten Abhängigkeiten der Schadstoffkonzentrationen und des Kraftstoffverbrauchs vom Luftverhältnis

Aufgrund dieser Abhängigkeiten ist eine gleichzeitige Verringerung der Rohemissionen an CO, CH und NO_x bei gleichzeitig verringertem Kraftstoffverbrauch äußerst schwierig. Eine Verschiebung des Verbrennungsluftverhältnisses in den zur Verminderung der CO- und CH-Emissionen optimalen Bereich von $\lambda = 1,1$ bis 1,2 führt zu sehr hohen NO_x-Konzentrationswerten (vergleiche hierzu Kapitel 4.1). Eine weitere Abmagerung über $\lambda = 1,2$ hin-

aus ist daher zur Reduzierung der NO_x -Emissionen erforderlich.

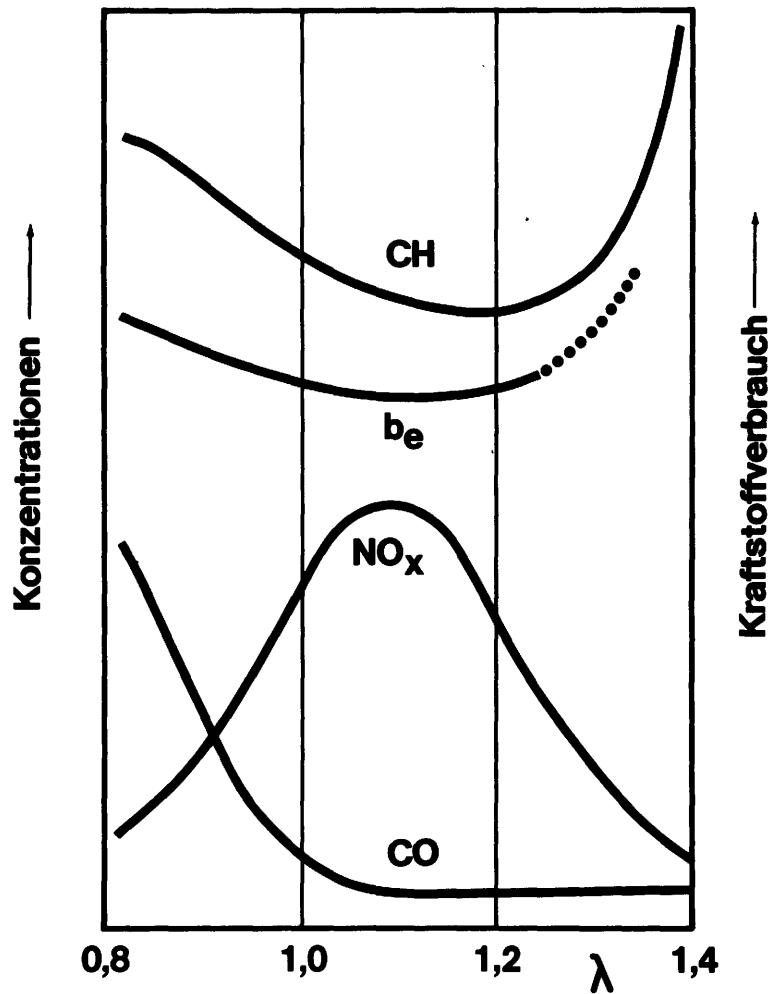


Abb. 5.7: Schadstoffkonzentrationen und spezifischer Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit des Luftverhältnisses

In den folgenden Abschnitten werden Maßnahmen beschrieben, um Ottomotoren heutiger Bauart mit stark abgemagerten Gemischen betreiben zu können.

5.2.1 Maßnahmen zur Abmagerung bei homogener Gemischbildung

Gute Gemischbildung und -verteilung sind eine wesentliche Voraussetzung für niedrige Abgasemissionen und Kraftstoffverbräuche. Als Gemischbildungsorgane stehen mit

- Vergaser und
- Einspritzung

zwei bewährte Konzepte zur Verfügung. Besonders aus Kostengründen werden im europäischen PKW-Motorenbau fast ausschließlich Vergaser eingesetzt. Einspritzanlagen sind überwiegend Fahrzeugen der gehobenen Klasse vorbehalten.

Besonders bei Einsatz von Vergasern müssen auch die Ansaugrohre in die Maßnahmen zur Verbesserung von Gemischaufbereitung und Verteilung einbezogen werden. Durch nicht zu vermeidende Ansaugrohrkrümmer kommt es infolge Fliehkraft zur Anlagerung von Kraftstofftröpfchen an die Saugrohrwand und damit zu einer Kraftstofffilmbildung. Dieser Effekt verhindert eine gleichmäßige Gemischverteilung auf die einzelnen Motorzylinder. Da aber das Luftverhältnis im Zylinder mit dem magersten Gemisch noch einen ausreichenden Abstand zur Magerlaufgrenze aufweisen muß, wird insgesamt ein fetteres Gemisch eingestellt, als dies bei idealer Gleichverteilung notwendig wäre.

Die Kraftstoff-Abscheideraten im Ansaugrohr hängen u.a. von den physikalischen Kenndaten des Kraftstoffes (Siedelage) und von den Zustandsgrößen im Ansaugrohr (Druck und Temperatur) ab. Daraus folgt als wesentliche Maßnahme zur Reduzierung der Kraftstofffilmbildung eine dosierte Aufheizung des Kraftstoff-Luft-Gemisches. Als besonders geeignet hat sich die Saugrohrbodenheizung unmittelbar hinter dem Vergaser herausgestellt. Prin-

ziell besteht noch die Möglichkeit, das Drosselklappenteil und die Drosselklappe zu beheizen. Als Heizmedien kommen in erster Linie Motorabgas oder Kühlwasser in Frage [5.12].

Eine weitere Maßnahme zur Herabsetzung der Wandniederschlagsraten und damit zur gleichmäßigeren Verteilung des Gemisches ist die Verbesserung der Kraftstoffzerstäubung im Vergaser, die insbesondere durch hohe Luftgeschwindigkeiten erreicht werden kann. Im Vergasermotorenbau haben sich überwiegend Vergaser mit konstantem Lufttrichterquerschnitt durchgesetzt, in denen sich jedoch die Luftgeschwindigkeit und damit die Zerstäubungsgüte in Abhängigkeit von Last und Drehzahl des Motors stark ändert.

Mit Hilfe von Gleichdruckvergasern, bei denen als Funktion des Luftdurchsatzes eine Querschnittsänderung vorgenommen wird, kann in allen Betriebsbereichen eine hohe Luftgeschwindigkeit eingestellt und dadurch eine im gesamten Betriebsbereich des Motors gleichmäßige Zerstäubungsgüte erreicht werden. In neueren Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß durch Kombination der angeführten Maßnahmen, wie Gemischvorwärmung, Gleichdruckvergaser und optimale Gestaltung des Ansaugsystems, eine nahezu ideale Gemischverteilung erreicht werden kann [5.12].

Bei Einsatz gasförmiger Kraftstoffe kann eine optimale Gemischhomogenität erreicht werden. Allerdings muß gegenüber der Einbringung von flüssigem Kraftstoff ein Füllungsverlust und damit eine Leistungseinbuße hingenommen werden. Eine ideale Art der Gemischaufbereitung scheint daher die Erzeugung von Kraftstoffnebel zu sein, die bei Vorteilen in bezug auf Abgasemissionen und Kraftstoffverbrauch eine vernachlässigbare Leistungseinbuße aufweist, wie in Untersuchungen der Daimler-Benz AG nachgewiesen wurde [5.13].

Die Erzeugung eines Kraftstoffnebels mit einem Spektrum des Tröpfchendurchmessers von $< 10 \mu\text{m}$ mit einem 92,5-Perzentil unter $3 \mu\text{m}$ kann z.B. durch eine Nebeldüse erreicht werden, die durch Aufheizung des Kraftstoffes und anschließende Expansion einen Kraftstoffnebel bildet. Der Einsatz von Ultraschallschwingern hat sich beim gegenwärtigen Stand der Technik wegen unzureichender Standzeiten als wenig sinnvoll erwiesen. Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung einer Kraftstoffzerstäubung der oben beschriebenen Qualität ist der Einsatz von Vergasern, die mit Schall- bzw. Überschallgeschwindigkeit arbeiten. Es muß jedoch betont werden, daß die hier aufgeführten Maßnahmen zur Erzeugung eines Kraftstoffnebels in serienmäßiger Ausführung in den nächsten Jahren nicht zur Verfügung stehen werden [5.4].

Mit Einspritzanlagen kann prinzipiell eine genauere Kraftstoffzumessung und Gemischverteilung sowie aufgrund der besseren Liefergrade eine höhere Motorleistung erreicht werden. Ein weiterer Vorteil ist die relativ problemlos mögliche Einbeziehung in einen geschlossenen Regelkreis, wie dies z.B. bei Anwendung der katalytischen Nachverbrennung mit Gemischregelung erforderlich ist (siehe Kap. 5.1.3).

Neben den für den Motorbetrieb mit extrem mageren Gemischen erforderlichen Verbesserungsmaßnahmen bezüglich Gemischbildung und -verteilung ist die Entwicklung von Zündanlagen erforderlich, die auch bei solchen Gemischen eine ausreichende Zündsicherheit ermöglichen.

Übliche Zündanlagen liefern eine Zündspannung von 20 bis 30 kV und eine Energie von 20 bis 100 mWs. Weitere charakteristische Merkmale stellen die Anstiegsgeschwindigkeit der Spannung an der Zündkerze und die Zündfunkendauer dar. Bisher wurde in Kraftfahrzeugen

im wesentlichen die Spulenzündanlage eingesetzt. Nachteileig bei diesem Zündsystem ist der relativ langsame Spannungsanstieg und die Benutzung eines Unterbrecherkontaktes zum Schalten des Zündspulenstromes von etwa 5 Ampere. Der langsame Spannungsanstieg kann bei Nebenschlüssen durch Nässe und Verschmutzung zu Fehlzündungen führen. Die Belastung des Unterbrecherkontaktes mit dem Zündspulenstrom macht eine dauerhafte Einstellung des Zündzeitpunktes, bedingt durch den Kontaktabbrand, unmöglich [5.14].

Bei Transistor-Spulenzündungen schaltet der Unterbrecherkontakt nur noch einen Steuerstrom von 0,3 A, ist daher einem niedrigeren Verschleiß unterworfen und erfordert einen geringeren Wartungsaufwand. Bei kontaktlos gesteuerten Transistorzündanlagen wird das Zündsignal durch Feldplattenfühler, Hallgeneratoren oder induktive Geber erzeugt. Derartige berührungslos arbeitende Anlagen sind wartungsfrei, weisen jedoch bei Einsatz üblicher Zündspulen keinen Vorteil in bezug auf den Hochspannungsanstieg auf. Durch Entwicklung von Vorfunkenstrecken (8 bis 14 kV), die in Kerzen oder Kerzensteckern eingebaut sind, kann die Empfindlichkeit von Spulenzündungen gegen Verschmutzungen vermindert werden [5.15].

Kondensatorzündanlagen weisen außerordentlich kurze Zeiten bis zum Erreichen der Zündspannung auf. Sie haben daher eine geringe Nebenschlußempfindlichkeit und arbeiten auch noch bei geringen Batteriespannungen sicher. Bedingt durch den steileren Spannungsanstieg verkürzt sich jedoch die Funkenbrenndauer bei Verwendung üblicher Schaltungen erheblich, so daß Zündaussetzer bei Motoren entstehen können, die zum Verrußen neigen oder deren Gemisch im Teillastbereich sehr inhomogen ist. Dieser Nachteil könnte durch Parallelschalten einer Spulenzündung bzw. durch Einschaltung zusätzlicher elektronischer Bauelemente beseitigt werden [5.16].

Um magere Kraftstoff-Luftgemische zuverlässig entzünden zu können, müssen zukünftige Zündsysteme sehr energiereiche Zündfunken mit einer Funkenstromzeit von wenigstens 1 ms erzeugen. Da es für jede Motordrehzahl und Drosselklappenstellung nur einen optimalen Zündzeitpunkt hinsichtlich eines hohen Wirkungsgrades und geringer Schadstoffemissionen gibt, ist dieser Zeitpunkt sehr genau zu bestimmen. Hierzu sind in Anbetracht der hohen Anforderungen allein elektronische Regler geeignet. Zukünftige Zündsysteme sollten wartungsfrei sein, den optimalen Zündwinkel sehr genau bestimmen und zusätzlich energiereiche Zündfunken mit einem schnellen Spannungsanstieg sowie eine lange Funkendauer erzeugen können. Um trotz Einsatz sehr energiereicher Zündanlagen den Kontaktabbrand bei den Zündkerzen gering halten zu können, muß die Funkenenergie in Abhängigkeit von dem jeweiligen Betriebszustand des Motors steuerbar sein [5.17, 5.18].

Turbulenzen haben sich als wesentlicher Faktor zur Beeinflussung der Abgasemissionen herausgestellt, da sie in der Verdichtungsphase die Aufbereitung des Kraftstoff-Luft-Gemisches begünstigen und während der Verbrennung das aus den Spalträumen reexpandierende Frischgas der Flamme zuführen. Durch hohe Turbulenzen läßt sich die Dicke der nicht abbrennenden Grenzschicht verringern. In Verbindung mit einer Vergleichmäßigung der Arbeitsspiele bei kürzerer Brenndauer lassen sich die CH-Emissionen vermindern, bei jedoch gleichzeitigem Anstieg der NO_x -Emissionen durch das zwar zyklisch weniger streuende, aber insgesamt höhere Druck- und Temperaturniveau.

Turbulenzen können beim Ansaugvorgang durch Hilfsmittel wie Schirmventile, Einsätze im Ansaugrohr oder durch einen Drallkanal erzeugt werden. Die Intensität dieser Turbulenzen fällt allerdings sehr schnell ab, so daß sie besonders bei niedrigen Drehzahlen wäh-

rend der Verbrennung kaum wirksam werden können. Zur Unterstützung der Verbrennung sind im wesentlichen die während der Kompression durch Quetschspalte erzeugten Turbulenzen geeignet.

5.2.2 Schichtladungskonzepte

Der Beeinflussung der Stickoxid-Emissionen durch den Verbrennungsablauf sind bei Motoren mit homogenem Gemisch, d.h. konventionellen Ottomotoren, Grenzen gesetzt (siehe Kapitel 5.2.1). Eine Erweiterung der Möglichkeiten stellt die Abkehr vom homogenen Kraftstoff-Luft-Gemisch dar. Bei den sogenannten Schichtladungsverfahren wird bewußt eine Inhomogenität der Zylinderladung erzeugt, womit auch das Dieserverfahren grundsätzlich in dieser Kategorie einzuordnen wäre.

Bei fremdgezündeten Schichtladungsmotoren wird in der Nähe der Zündkerze ein fettes, gut zündfähiges Gemisch vorgesehen, das eine sichere Zündung unter allen Betriebsbedingungen garantiert. Im übrigen Teil des Brennraumes befindet sich ein sehr mageres und demzufolge zündunwilligeres Gemisch, das jedoch wegen des hohen Gesamtluftverhältnisses den Vorteil geringer Stickoxidemissionen bietet (Abb. 5.7, Seite 13). Die in diesem Bereich des Gesamtluftverhältnisses bereits wieder ansteigenden Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen bedürfen allerdings einer Abgasnachbehandlung (siehe Kapitel 5.1). Die Zylinderladung wird ausgehend vom Zündfunken, über das fette Gemisch im Sinne einer Initialzündung in allen Kennfeldbereichen des Motors sicher entflammt.

Selbstzündende Schichtladungsmotoren (Diesel) werden in einem gesonderten Abschnitt behandelt (siehe Kapitel 5.3).

Schichtladungsverfahren mit Fremdzündung können aufgrund konstruktiver Gegebenheiten grundsätzlich in zwei Gruppen unterteilt werden:

- Verfahren mit ungeteiltem Brennraum
- Verfahren mit geteiltem Brennraum

Bei ersteren wird durch konstruktive Maßnahmen am Einlaßsystem ein Drall in der angesaugten Luft erzeugt, durch den die für die Gemischbildung erforderliche Energie bereitgestellt wird. Vertreter dieser Konzepte mit wandnaher bzw. zentraler Kraftstoffeinspritzung sind u.a. die von Vielstoff-Verbrennungsverfahren für Dieselmotoren abgeleiteten und auf Benzinbetrieb optimierten Schichtladungsverfahren der Firmen MAN AG (FM-Verfahren) und der KHD AG (AD-Verfahren), sowie das FORD Proco-Verfahren und das Texaco-Verfahren.

Eine schematische Darstellung des KHD- und des Proco-Motors zeigen die Abbildungen 5.8 und 5.9.

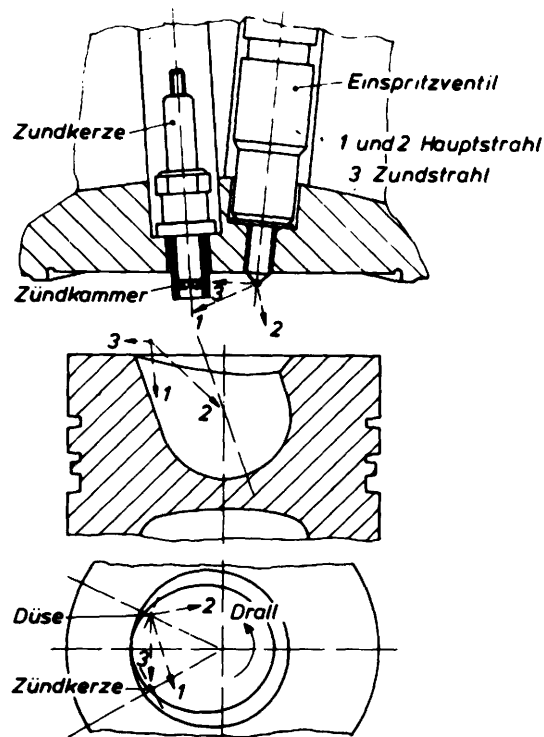


Abb. 5.8: KHD AD-Verfahren (schematisch)

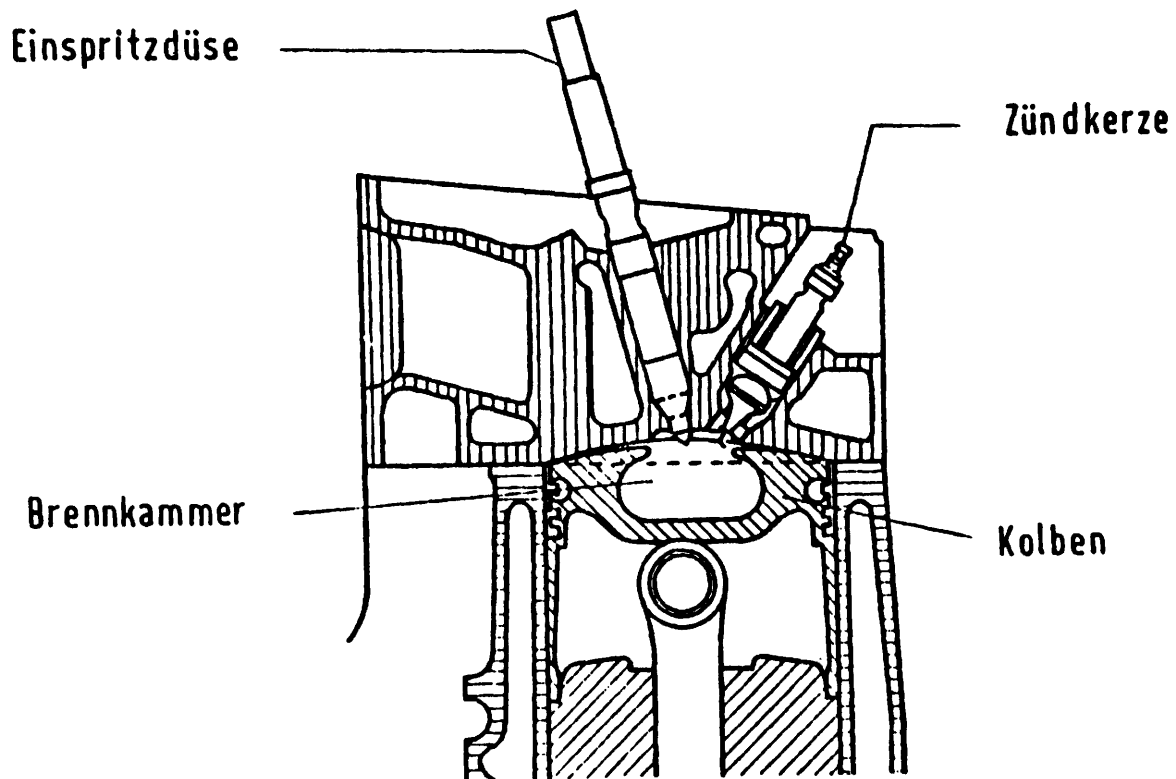


Abb. 5.9: FORD Proco-Verfahren (schematisch)

Schichtladungsmotoren mit ungeteiltem Brennraum und wandnaher Kraftstoffeinspritzung weisen noch keinen Entwicklungsstand auf, der einen Einbau in ein Fahrzeug rechtfertigen würde. Der hohe Bauaufwand und die unzureichende Leistungsdichte dieser Schichtladungsmotoren läßt Einsatzchancen bestenfalls auf dem Nutzfahrzeugsektor erkennen.

Proco-Motoren sind dagegen für den Einsatz im PKW bereits seriennah entwickelt, werden jedoch aus Kostengründen erst dann auf breiter Basis zum Einsatz kommen, wenn Emissionsstandards vorgeschrieben werden, die mit konventionellen Dieselmotoren und weiterentwickelten Ottomotoren nicht mehr erfüllt werden können (z.B. 0,4 g/mi NO_x im CVS Test oder Begrenzungen der Feststoffemissionen).

Aufgrund des relativ hohen Verdichtungsverhältnisses von $\xi = 11$ und einer thermodynamisch günstigen Brennraumgestaltung wird ein spezifischer Kraftstoffverbrauch in der Größenordnung heutiger Dieselmotoren mit direkter Einspritzung erreicht. Die Feststoffemissionen sind um einen Faktor 5 kleiner, allerdings immer noch ungefähr doppelt so hoch wie bei Ottomotoren.

Bei der zweiten Gruppe, den Verfahren mit geteiltem Brennraum, wird die Möglichkeit der Aufteilung des Gemisches in fette und magere Regionen durch eine Vorkammer geschaffen. Diese Kammer wird mit dem zur sicheren Zündung notwendigen fetten Kraftstoff-Luft-Gemisch versorgt. Dieses entflammt in Form eines durch den sogenannten "Schußkanal" austretenden Zündstrahls das im Hauptbrennraum befindliche magere Gemisch. Einige wichtige Verfahren werden im folgenden dargestellt.

Honda CVCC

Das den höchsten Entwicklungsstand aufweisende Verfahren ist das CVCC-System der Firma Honda, das bereits serienmäßig für den japanischen und amerikanischen Markt produziert wird und durch entsprechende Patente abgesichert ist. Es handelt sich hierbei um ein Verfahren mit gespülter Vorkammer, d.h. ein drittes Ventil pro Zylinder kommt zum Einsatz (Abb. 5.10). Durch diese Maßnahme ist es möglich, Hauptbrennraum und Vorkammer mit Hilfe von Vergasern mit unterschiedlichen Kraftstoff-Luft-Gemischen zu versorgen und somit auf eine zumindest zum heutigen Zeitpunkt noch teurere Benzineinspritzung zu verzichten. Nach dem von der EPA veröffentlichten "Gas Mileage Guide" ergibt sich für einen Honda Civic CVCC im CVS-Test ein Minderverbrauch von über 20 % im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug. Die produzierten Motoren bewegen sich in Hub-

raum und Leistung in der Größenordnung der europäischen Mittelklasse.

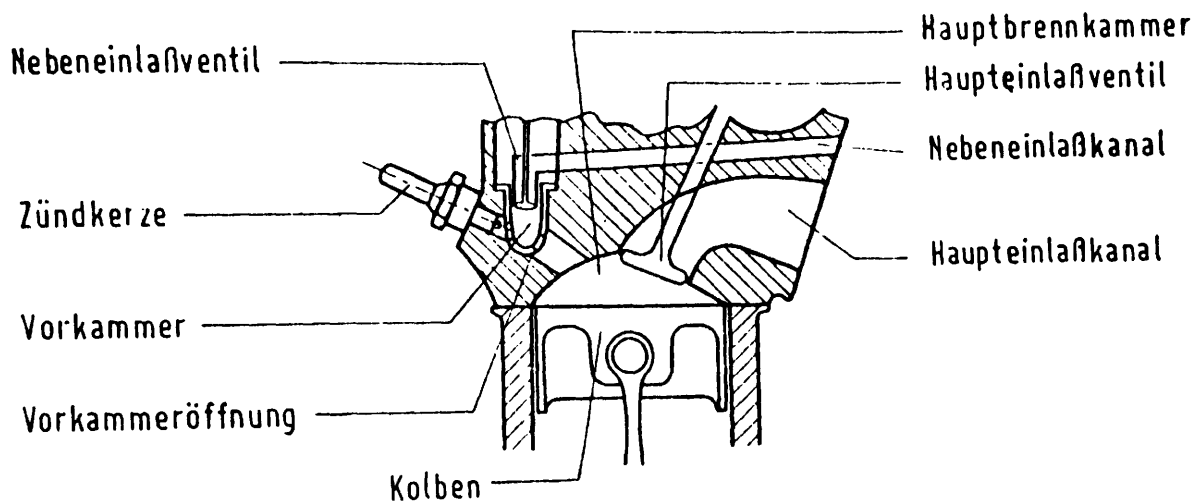


Abb. 5.10: Honda-CVCC-Verfahren (schematisch)

Porsche SKS

Die Firma Porsche entwickelt ein Schichtladesystem mit ungespülter Vorkammer, das im Versuch bereits auf Vollmotoren der Baureihe 911 übertragen wurde (Abb. 5.11). Der Hauptbrennraum wird mit Hilfe einer mechanischen Niederdruck-Einspritzanlage (Bosch K-Jetronic) mit Kraftstoff versorgt. Da es sich um eine ungespülte Vorkammer handelt, muß der Kraftstoff hier mit erhöhtem Druck eingespritzt werden. Es wird eine unregelmäßige Sechszylinder-Reihenpumpe mit einer Fördermenge von ca. 2 mm^3 pro Hub und einem Abspritzdruck von ca. 35 bar eingesetzt. Da das Abgas-Emissionsverhalten sehr stark von dem Verhältnis der Luftverhältnisse in Vorkammer und Hauptbrennraum abhängt, werden an die Gleichförderung dieser Pumpe hohe Anforderungen gestellt,

die sich natürlich auf die Herstellungskosten auswirken. Der technische Stand des SKS-Systems ist als relativ weit fortgeschritten einzustufen, so daß bei Bedarf - d.h. Verschärfung der Emissionsgrenzwerte - die Serien-Entwicklungsphase kurzfristig anlaufen kann.

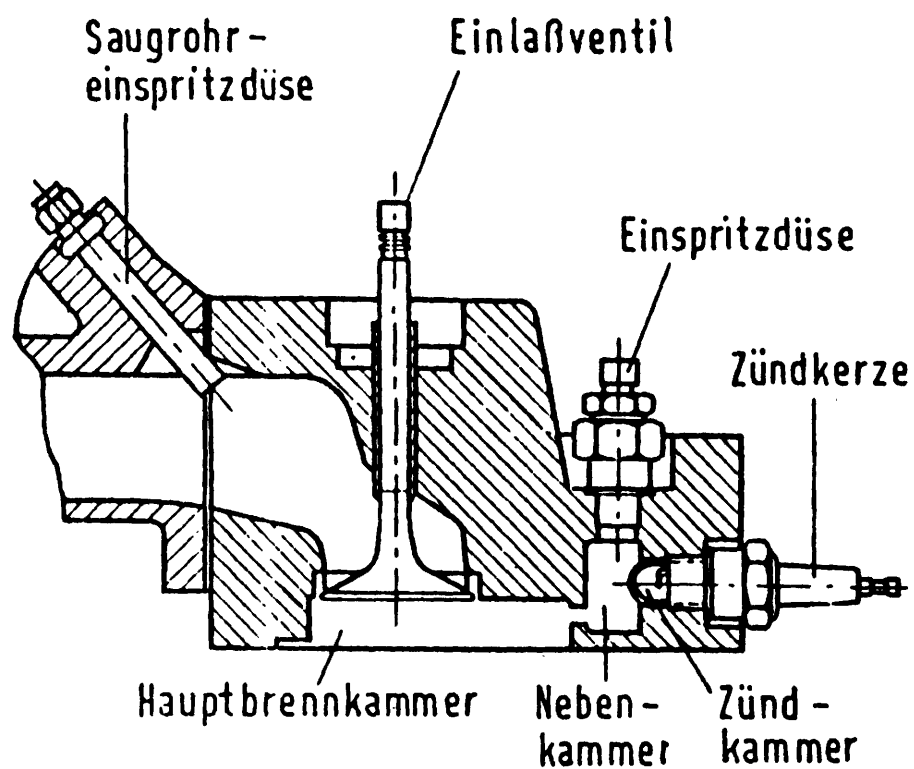


Abb. 5.11: Porsche SKS-Verfahren (schematisch)

VW PCI

Das Schichtladungskonzept der VW AG ist in seiner Grundkonzeption mit dem SKS-Verfahren identisch - ausgenommen die Kraftstoffversorgung des Hauptbrennraumes. Hierzu wird aus Kostengründen ein modifizierter Serienvergaser verwendet. Der Entwicklungsstand ist dem des Porsche-Verfahrens vergleichbar. Eine schematische Darstellung der konstruktiven Gestaltung zeigt Abb. 5.12.

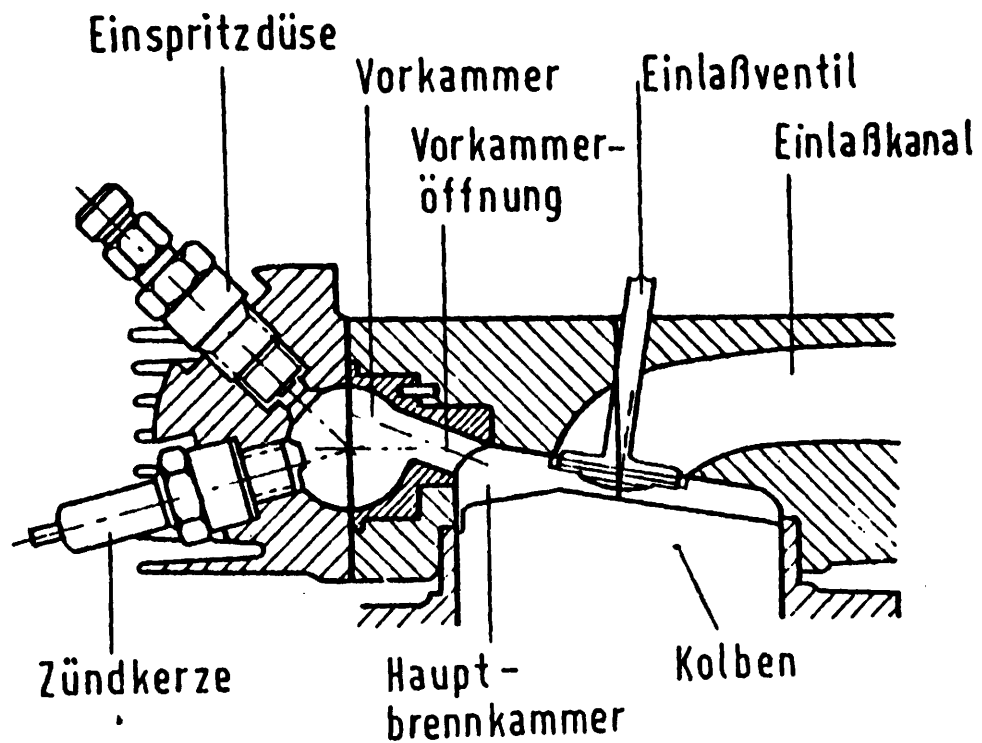


Abb. 5.12: VW PCI-Verfahren (schematisch)

Abschließend kann festgestellt werden, daß Schichtladeverfahren eine geeignete Möglichkeit darstellen, den Betriebsbereich fremdgezündeter Motoren zu so mageren Luftverhältnissen ($\lambda > 1,2$) zu verschieben, daß der Ausstoß an Stickoxiden die z.Zt. schärfsten Grenzwerte unterbieten kann (siehe Abb. 5.7). Andererseits werden zur Reduzierung der in diesem Bereich des Luftverhältnisses bereits wieder ansteigenden Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen Maßnahmen zur Abgasnachbehandlung notwendig.

Bezüglich des Kraftstoffverbrauchs sind die Verfahren mit ungeteiltem Brennraum in der Größenordnung heutiger Dieselmotoren mit Direkteinspritzung einzuordnen (siehe Seite 5.29), während bei den Systemen mit geteiltem Brennraum aus thermodynamischen Gründen der Kraftstoffverbrauch höher sein muß als bei heutigen konventionellen Ottomotoren. Diese Aussage gilt allerdings exakt nur bei jeweils verbrauchsoptimierten Motoren. Kommt als weitere Randbedingung das Abgas-Emissionsverhalten hinzu, so kann sich diese Tendenz durchaus verschieben, da Schichtladungsmotoren prinzipbedingt hier die günstigere Ausgangsbasis haben und deshalb mit weniger Maßnahmen zur Schadstoffreduzierung auskommen.

5.3 Weiterentwicklung von Dieselmotoren

Vorkammer- bzw. Wirbelkammer-Dieselmotoren (Motoren mit geteiltem Brennraum) für den Einsatz als PKW-Antrieb weisen im Vergleich zu Ottomotoren mit gleichem Hubvolumen eine um ca. 30 - 40 % geringere Leistung auf. Ein weiterer Nachteil sind die höheren Herstellungskosten, die vor allem durch das Kraftstoff-Einspritzsystem und die für eine ausreichende Lebensdauer notwendige Verbesserungen an Bauteilen, wie Kurbelge-

häuse, Kurbelwelle, Zylinderkopf etc. bedingt sind. Das stark klopfende Verbrennungsgeräusch insbesondere nach dem Kaltstart des Motors erfordert Maßnahmen zur Geräuschkämpfung, wenn ein bei Ottomotoren übliches Geräuschniveau erzielt werden soll.

Trotz dieser nicht unerheblichen Nachteile gegenüber dem Ottomotor, die bisher die Erringung höherer Marktanteile im PKW-Bereich verhindert haben, müssen dem Dieselmotor bei einer Verschärfung der Abgasgesetzgebung in den Mitgliedstaaten der EG auch für den Einsatz als PKW-Antrieb größere Chancen eingeräumt werden. Bezüglich der CO-Emissionen erreichen heutige Motoren bereits Testergebnisse (ermittelt auf der Basis des Europatests), die deutlich unterhalb der für 1982 und später geplanten Emissionsstandards liegen (UBA-Vorschlag und Vorschlag der Schweiz, siehe Kapitel 2. und 4.2). Auch an unverbrannten Kohlenwasserstoffen emittiert der Dieselmotor ca. 80 % weniger als ein vergleichbarer Ottomotor. Die Stickoxidemissionen liegen dagegen nur geringfügig unter denen des Ottomotors. Der vom Umweltbundesamt vorgeschlagene Summengrenzwert für CH und NO_x von 10 g/Test dürfte jedoch bereits von heutigen Motoren zumindest in Verbindung mit leichteren Fahrzeugen eingehalten werden können.

Obwohl die hier geschilderte Ausgangslage in bezug auf das Emissionsverhalten recht günstig erscheint, müssen erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um die Ruß- und Geruchstoffemissionen zu senken, da bei einer Ausweitung des Marktanteils von Personenwagen mit Dieselmotor diesem Problemkreis verstärkte Bedeutung zukommen wird.

Zur weiteren Absenkung der Stickoxid-Emissionen bieten sich beim Dieselmotor im wesentlichen zwei Maßnahmen an:

- spätere Einstellung des Einspritz- bzw. Förderbeginns
- gesteuerte Abgasrückführung

Beide Maßnahmen wirken sich kraftstoffverbrauchserhöhend aus. Eine katalytische Abgasnachbehandlung zur Reduzierung der Stickoxide ist wegen der hohen Sauerstoff-Konzentration im Abgas nicht möglich.

Desweiteren werden Modifikationen von Verbrennungsverfahren untersucht, die das Emissionsverhalten des Dieselmotors insgesamt verbessern sollen. Die Untersuchungen erstrecken sich insbesondere auf unterschiedliche Brennkammerformen und -volumina sowie auf die Variation von Düsenspritzbild und Einspritzgesetz.

Im Rahmen einer Untersuchung über Ruß- und Geruchsbe-seitigung durch thermische oder katalytische Abgasnach-behandlung wurde die Möglichkeit einer intermittierenden Rußoxidation als aussichtsreich bezeichnet [5.19]. Dabei wird der Ruß mittels eines Filters im Abgasstrom gesammelt. Die zur Oxidation des Rußes erforderliche Energie wird ausschließlich dem Abgas entnommen. Jedoch darf auch bei für die Rußoxidation ungünstigen Drehzahl-/Lastkollektiven der Abgasgegendruck nicht zu schnell ansteigen, da dann die Anforderungen an das Standzeitverhalten nicht erfüllt würden. Die Randbe-dingungen zur Geruchsstoffverminderung konnten in die-sem Vorhaben nicht geklärt werden.

Die zur Erfüllung sehr strenger Abgas-Emissionsstandards notwendige Verringerung der Stickoxid-Emissionen läßt sich ohne eine erhebliche Verschlechterung des Kraftstoffverbrauchs und Einbuße an Leistung nicht realisieren. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors soweit herabgesetzt, daß er als Antriebsalter-native gegenüber dem Ottomotor nicht mehr ernsthaft in Betracht gezogen werden kann. Unter den Konzepten,

die zur Erfüllung der Zielwerte der Abgasgesetzgebung der USA und Japan von der Automobilindustrie entwickelt werden, befindet sich daher auch folgerichtig kein Dieselmotor in den Entwicklungsprogrammen der Industrie.

Bisher sind keinerlei Arbeiten bekannt geworden, die sich mit der Entwicklung eines Dieselmotors mit direkter Einspritzung (ungeteilter Brennraum) für den Einsatz im PKW befassen. Nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse kann davon ausgegangen werden, daß diese Motoren ungünstigere Geräusch- und Schadstoffemissionen aufweisen. Der effektive Wirkungsgrad liegt jedoch im Vergleich zu Motoren mit geteiltem Brennraum um ca. 15 % höher. Die von verschiedenen Seiten zur Diskussion gestellten Zielwerte der Abgasgesetzgebung können von Motoren mit Direkteinspritzung eingehalten werden.

Direkteinspritzer haben jedoch für den PKW-Einsatz nur eine Chance, wenn neben einem befriedigenden Emissionsverhalten ausreichend hohe Drehzahlen erreicht werden können, um eine den Motoren mit indirekter Einspritzung vergleichbare Leistungsdichte zu erzielen. Mit einer kurzfristigen Realisierung eines solchen Motors kann nicht gerechnet werden.

5.4 Nichtkonventionelle Antriebssysteme

Weltweit wird heute an der Entwicklung nichtkonventioneller, also neuer Antriebskonzepte gearbeitet, wobei die Forschungsprogramme zum Teil von recht unterschiedlichen Schwerpunkten ausgehen. Es wurden Entwicklungen eingeleitet, denen zumindest längerfristig gute Chancen eingeräumt werden müssen. Die Realisierungsaussichten der nichtkonventionellen Antriebe müs-

sen jedoch im Vergleich zu den ständig weiterentwickelten konventionellen Verbrennungskraftmaschinen betrachtet und gewertet werden.

Aus heutiger Sicht erscheint bei keinem der z.Zt. diskutierten alternativen Antriebssysteme ein Einsatz auf breiter Basis in absehbarer Zeit, d.h. bis ungefähr 1990, gegeben. Hinsichtlich einer Verbesserung der Emissionssituation bei den Stickoxiden ist also von dieser Gruppe der Antriebe vorläufig kein Beitrag zu erwarten.

Der Vollständigkeit halber werden im folgenden trotzdem die z.Zt. aussichtsreichsten Alternativantriebe vorgestellt und kurz beschrieben [5.20].

5.4.1 Elektroantriebssysteme

Für spezielle Anwendungsbereiche können Elektro-Antriebe in Zukunft eine begrenzte Bedeutung erlangen. Vor allem im Stadtverkehr kann ihr Wirkungsgrad durch relativ einfache Rückgewinnung eines Teils der kinetischen Energie beim Bremsen verbessert werden. Elektromobile sind zwar abgasfrei, lärmarm und wartungsfreundlich, jedoch stehen diesen Eigenschaften die für die Elektrizität typischen Probleme der Speicherung und der langsamen Batterieaufladung gegenüber. Beim heutigen Stand der Technik sind die Fahrzeugmassen zu hoch und der Aktionsradius der Fahrzeuge zu klein. Auf die Problematik des Gesamtwirkungsgrades bzw. der Wirkungsgradkette sei an dieser Stelle nur kurz hingewiesen. Dem Elektroantrieb kann für den Individualverkehr erst dann eine Chance gegeben werden, wenn leistungsfähige Batterien zur Verfügung stehen.

5.4.2 Hybridantriebssysteme

Hybridantriebssysteme nutzen durch Kopplung verschiedener Antriebsformen die mitgeführte Energie besser aus und erzeugen geringere Schadstoff-Emissionen. Sie besitzen mindestens zwei Speicher für unterschiedliche Energieformen mit den dazugehörigen Wandlern. Den theoretischen Vorteilen dieser Systeme, wie günstiger Energieverbrauch, Verringerung des Schadstoffausstoßes und die Möglichkeit des vorübergehend emissionsfreien Betriebes in Belastungsgebieten, stehen der hohe Kosten- und Bauaufwand gegenüber, an denen die erreichbaren Verbesserungen gemessen werden müssen. Aufgrund der Ergebnisse von Kosten-/Nutzenanalysen kann heute bereits festgestellt werden, daß der Einsatzbereich der Hybridantriebe auf spezielle Anwendungsfälle, wie Taxis und Linienbusse begrenzt sein wird.

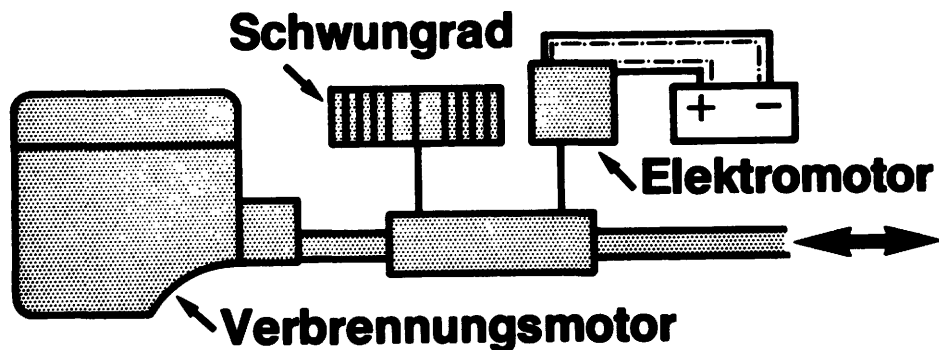


Abb. 5.13: Hybridantrieb

5.4.3 Gasturbine

Gasturbinen können Vorteile bezüglich Masse, Geräusch, Vibrationsniveau und Emissionen bieten. Ihre Nachteile sind im ungünstigen Kraftstoffverbrauch im Teillastbereich, dem Regelaufwand und den vergleichsweise hohen Herstellungs- und Entwicklungskosten zu sehen. Größere Verbesserungen für den Kraftfahrzeugantrieb erfordern den Einsatz preisgünstiger, hochhitzebeständiger Materialien, damit höhere Prozeßtemperaturen als bisher zugelassen werden können. Relativ günstig stellen sich die Verhältnisse beim Einsatz von Gasturbinen in Lastkraftwagen dar, da sich bei den geforderten hohen Leistungen ein besserer spezifischer Kraftstoffverbrauch ergibt und durch die überwiegend konstante Fahrweise im Überlandverkehr der verbrauchsungünstige Teillast- und Instationärbereich vermieden wird. Es ist jedoch zu bedenken, daß der Gasturbine auf dem Lkw-Sektor der sehr wirtschaftlich arbeitende Dieselmotor als Konkurrent gegenübersteht.

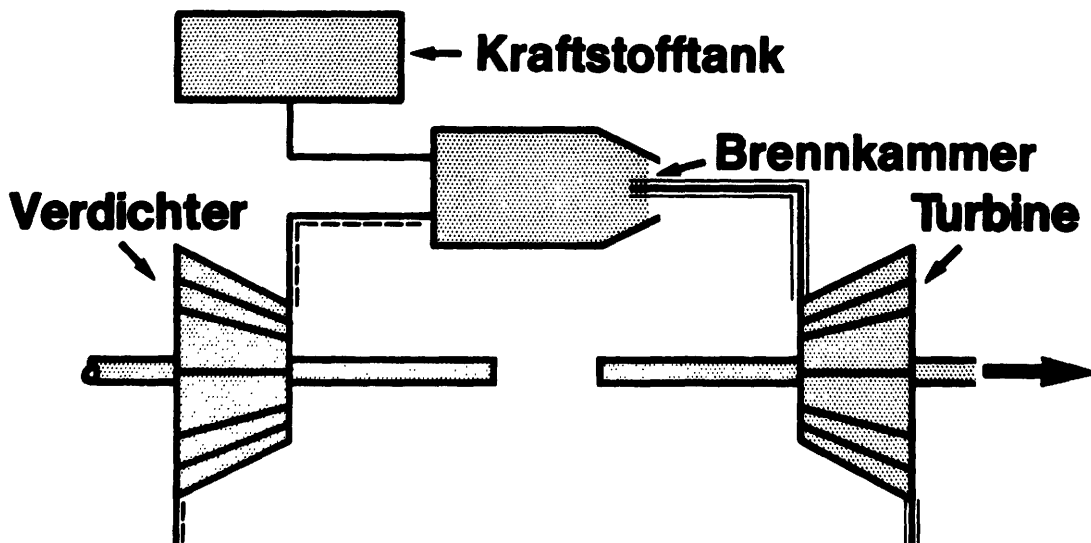


Abb. 5.14: Gasturbine

5.4.4 Dampfmotor (Rankine-System)

Neben der Gasturbine wurde in den USA im Rahmen eines Entwicklungsprogramms der EPA die Einsatzfähigkeit des Dampfantriebs für Kraftfahrzeuge untersucht. Unbestrittene Vorteile des Dampfmotors sind seine niedrigen Abgas- und Geräuschemissionen. Die Hauptprobleme liegen im großen Bauvolumen, besonders des Kondensators, und im ungünstigen Wirkungsgrad. Außerdem ergeben sich Schwierigkeiten bei der Wahl des Arbeitsmediums: bei Verwendung von Wasser sind der hohe Gefrierpunkt und Schmierungsprobleme, bei organischen Medien Temperaturbeständigkeit, Toxizität usw. zu beachten. Dampfmotoren sind aufgrund ihres hohen Bauaufwandes, der Kosten und des schlechten Kraftstoffverbrauchs bis heute für den Kfz-Antrieb kaum geeignet.

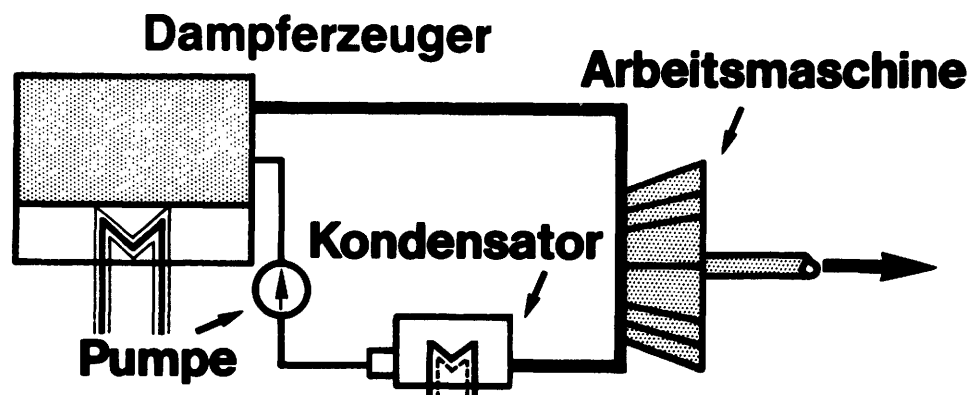


Abb. 5.15: Dampfmotor

5.4.5 Stirling-Motor

Stirling-Motoren erreichen vergleichsweise gute Kraftstoffverbrauchswerte und sehr niedrige Abgas- und Geräuschemissionen. Problematisch ist das Teillastverhalten. Nachteilig für den Kraftfahrzeugantrieb sind auch die hohe Leistungsmasse, das Bauvolumen und die durch den größeren Kühler bedingten Strömungsverluste. Der hohe thermische Prozeßwirkungsgrad kommt dadurch nicht voll zum Tragen. Der bedeutende Bauaufwand und die Verwendung teurer Materialien lassen in absehbarer Zeit noch keine Einsatzmöglichkeit für den Kfz-Bereich erkennen. Nach dem derzeitigen Entwicklungsstand ist zu erwarten, daß sich erste Realisierungsmöglichkeiten wahrscheinlich im Nutzfahrzeugbereich ergeben werden.

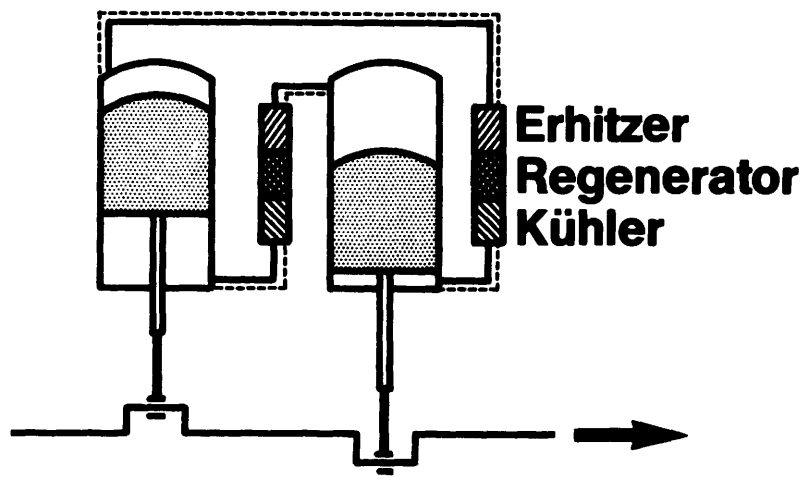


Abb. 5.16: Stirling-Motor

5.4.6 Arbeitsraumbildende Maschinen mit innerer, kontinuierlicher Verbrennung (IKV)

Arbeitsraumbildende Maschinen mit innerer kontinuierlicher Verbrennung können in Anwendungsbereichen Vorteile bieten, in denen häufiger Teillastbetrieb mit niedrigen Schadstoff- und Geräuschemissionen bei günstigem Verbrauch gefordert werden (z.B. Standardlinienbus). Die auftretenden Schwierigkeiten, insbesondere bei der Steuerung des Hochdruckladungswechsels und bei den Dichtelementen, erfordern wegen der hohen Betriebstemperaturen den Einsatz von Keramikmaterialien. Zur Zeit ist keine realistische Lösung in Sicht, die es erlaubt, die theoretischen Vorteile derartiger Maschinen in die Praxis umzusetzen.

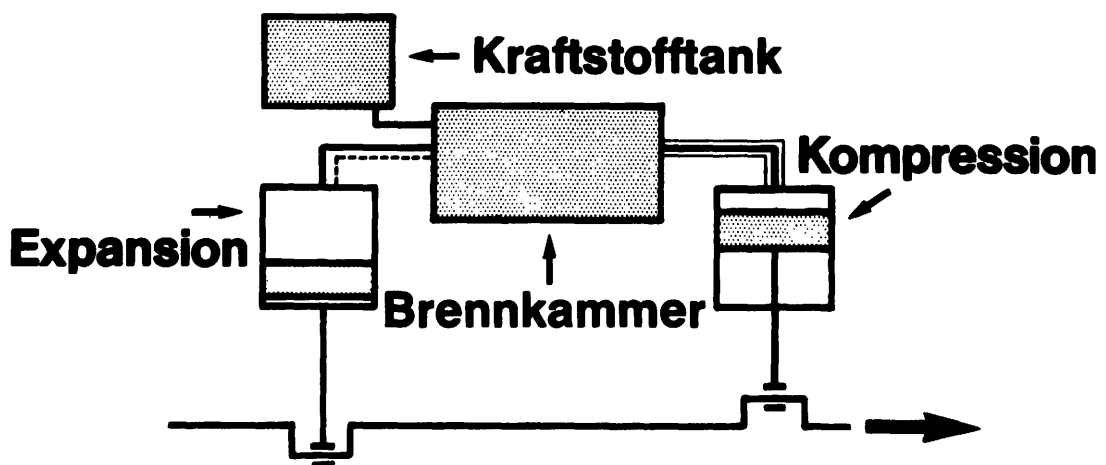


Abb. 5.17: IKV-Motor

6. Alternative Energieträger

Hauptsächlich aus Gründen einer sicheren Energieversorgung bei sich abzeichnenden Grenzen der Rohölvorkommen und erst in zweiter Linie aus umweltpolitischen Gesichtspunkten, wird z.Zt. über die Einsatzchancen alternativer Energieträger diskutiert. Dabei treten vor allem kurz- bis mittelfristig niedere Alkohole und langfristig Wasserstoff in den Vordergrund [6.1].

Elektrizität ist ebenfalls als alternativer Energieträger anzusehen, wird jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht mehr behandelt (siehe Kapitel 5.4.1).

Eine langfristig angelegte Strategie zur Substitution konventioneller Kraftstoffe auf Mineralölbasis wäre mit gleitenden Übergängen in folgender Form denkbar:

1. Methanolzumischung zum konventionellen Kraftstoff mit steigenden Zumischraten evtl. bis zum Reinmethanolbetrieb
2. Wasserstoffzumischung zu konventionellen Kraftstoffen bzw. Methanol
3. reine Wasserstoffversorgung

Inwieweit eine Kraftstoffversorgung auf der Basis fossiler Alternativen als Zwischenstufe bis zur Einführung einer Wasserstofftechnologie verwirklicht wird, hängt hauptsächlich von der Intensität ab, mit der die Wasserstoffforschung vorangetrieben, bzw. von der Zeitspanne bis die zur Wasserstoffherzeugung notwendige Energie bereitgestellt werden kann.

6.1 Alkohole

Eine Alternative zu den heute üblichen Kraftstoffen auf Mineralölbasis stellen die niederen Alkohole - speziell Methanol und Äthanol - dar. Sie bieten die Möglichkeit der Herstellung aus dem heimischen Rohstoff Kohle (Vergasung), aber auch aus Torf und allen organischen Abfällen (Pyrolyse). Besonders letzteres Verfahren wäre im Sinne der immer weiter in den Vordergrund tretenden Forderung nach Recycling ein sehr interessanter Aspekt. Weiterhin kann Methanol durch spezielle Raffinerieprozesse aus Schweröl und Rohölrückständen hergestellt werden. Auf diese Weise wäre zumindest eine Streckung der Welterdölvorräte möglich [6.2].

Ein interessanter Vorteil der niederen Alkohole ist die Möglichkeit des Mischbetriebs mit konventionellen Kraftstoffen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des BMFT konnte der problemlose Einsatz einer 15-prozentigen Methanolbeimischung zu Vergaserkraftstoff nachgewiesen werden. Zwar ergibt sich mit diesem Mischkraftstoff im Europatest ein volumetrischer Mehrverbrauch von 2,5 %. Bezogen auf den Energieinhalt des Kraftstoffes entspricht dies jedoch einem Minderverbrauch von etwa 6,3 %. [6.3]

Bei Umstellung eines Fahrzeugs von Benzin auf Kraftstoff aus 85 % Benzin und 15 % Methanol (M 15) ohne gleichzeitige Anpassung der Gemischbildnereinstellung erfolgt eine Abmagerung des Verbrennungsluftverhältnisses um ca. 7 %. Dadurch bedingt ergibt sich eine Verringerung der CO-Emission und, wenn das Kraftstoff-Luftverhältnis noch weit genug von der Aussetzergrenze entfernt ist, auch der CH-Emission. Die Stickoxidemission kann dabei aufgrund der Abmagerung leicht zunehmen, wenn das Luftverhältnis bei Benzinbetrieb unter ca. 1,02 lag. Andererseits ist theoretisch bei

konstantem Luftverhältnis aufgrund der Absenkung der Verbrennungsspitzen­temperatur, hervorgerufen durch die hohe Verdampfungswärme des Methanols, eine Verringerung der NO_x -Konzentration möglich, und zwar in einer Relation, die in etwa der Methanolkonzentration entspricht. Diese beiden Effekte machen eine sorgfältige Abstimmung des Gemischbildungsorganes notwendig. Wird dann noch die Möglichkeit eines gegenüber Benzinbetrieb späteren Zündzeitpunkts ausgenutzt, ist sowohl bezüglich CO und CH als auch bezüglich NO_x eine Emissionsverminderung zu erzielen.

Die für einen Mischbetrieb notwendigen Kapazitäten zur Methanolerzeugung sind zur Zeit noch nicht vorhanden. Die westeuropäische Methanolerzeugung betrug im Jahre 1974 nur 3,7 Mio. t [6.4]. Dem stünde ein Bedarf von ca. 12 Mio. t gegenüber, wenn der gesamte in der EG verbrauchte Ottokraftstoff heute durch M 15 ersetzt würde. Nach Aussage der chemischen Industrie der Bundesrepublik Deutschland können jedoch entsprechende Kapazitäten mittelfristig bereitgestellt werden.

Dem Einsatz von Reinmethanol bzw. Methylkraftstoff mit seinen signifikanten Vorteilen bezüglich Abgasemissionen und Energieverbrauch steht der hohe Methanolbedarf von 125 Mio. t entgegen, wenn heute eine vollständige Umstellung des PKW-Bestandes der EG auf Reinmethanolbetrieb erfolgen würde. Allein aus Kapazitätsgründen scheidet daher der Reinmethanolbetrieb für den Individualverkehr aus. Lediglich in bestimmten Fuhrparks, z.B. von Behörden oder im Öffentlichen Nahverkehr, ist die Verwendung von Reinmethanol bzw. Methylkraftstoff denkbar.

6.2 Wasserstoff

Wasserstoff ist als Energieträger für den Betrieb heutiger Motoren grundsätzlich geeignet, wie in weltweiten Forschungsvorhaben nachgewiesen werden konnte [6.2, 6.5].

Einer der wesentlichen Vorteile der Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff ist der geschlossene Stoffkreislauf bei der Verbrennung mit Luft. Als Reaktionsprodukte entstehen im wesentlichen Wasserdampf und Stickoxide. Der Wasserdampf wird sofort in den natürlichen Wasserkreislauf der Erde aufgenommen und steht zu einer erneuten Spaltung in Wasserstoff und Sauerstoff zu Verfügung. Ein weiterer Aspekt ist die mengenmäßig unbegrenzte Verfügbarkeit des Rohstoffes Wasser. Nachteilig wirken sich der z.Zt. noch unwirtschaftlich hohe Energieeinsatz zur Erzeugung von Wasserstoff, die noch nicht ausreichende Kapazität mobiler Speicher und das fast völlige Fehlen einer geeigneten Infrastruktur aus [6.2].

Eine Möglichkeit der NO_x -Reduzierung stellt die Einspritzung von Wasser, das aus dem Motorabgas gewonnen werden kann, in den Brennraum dar. Die mit dieser Maßnahme zu erreichende Absenkung der Verbrennungstemperatur wirkt sich günstig auf das Abgas-Emissionsverhalten aus, da die Bildung von Stickoxiden stark temperaturabhängig ist.

Sowohl aus Gründen der Energie- als auch der Umweltpolitik wäre eine Technologie auf Wasserstoffbasis durchaus wünschenswert, jedoch ist eine Realisierung nur langfristig denkbar. Insofern ist von Wasserstoff als alternativem Energieträger in absehbarer Zeit keine positive Beeinflussung der Emissionssituation zu erwarten.

6.3 Flüssiggas

Durch Verwendung von Flüssiggas als Alternativkraftstoff ist eine nahezu ideale Gemischhomogenität und dadurch eine gute Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder zu erzielen. Dadurch bedingt ist eine starke Verschiebung der Magerlaufgrenze zu höheren Luftverhältnissen möglich. Daher ist bei einem Flüssiggasmotor eine Abnahme der CO-, CH- und NO_x-Emissionen festzustellen.

Einer weiteren Verbreitung von Flüssiggas als Alternativkraftstoff für Kraftfahrzeuge stehen jedoch mehrere Gründe entgegen:

Zunächst ist auf den durch den niedrigeren Liefergrad bedingten Leistungsverlust hinzuweisen. Weiterhin könnten sich bei verschiedenen Fahrzeugen Einbauprobleme besonders der Gasflaschen ergeben. Nicht zuletzt fehlt eine für die Versorgung des gesamten Kraftfahrzeugverkehrs geeignete Infrastruktur, so daß die Verwendung von Flüssiggas als Alternativkraftstoff auf einige wenige Fälle, z.B. Taxi und Linienbusse, beschränkt bleiben wird.

7. Erreichbare Stickoxidemissionen und Zeitplan der Realisierung

Ziel dieser Studie ist es, Möglichkeiten zur Verminderung der Stickoxidemissionen von Personenkraftwagen aufzuzeigen. Auf der Basis der im Kapitel 5 beschriebenen theoretischen Möglichkeiten zur Schadstoffreduzierung im Abgas sind von verschiedenen Herstellern Prototypfahrzeuge realisiert worden. Einige Verfahren werden bereits serienmäßig, allerdings nicht auf dem europäischen Markt, angewandt.

Die Bewertung der einzelnen Konzepte erfolgt, sofern Meßergebnisse für den Europa-Test vorliegen, anhand der vom UBA* und von der Schweiz vorgeschlagenen Zielwerte für die europäische Abgasgesetzgebung (siehe Kapitel 2.3.1). Diese nationalen Zielwerte werden deshalb als Beurteilungsbasis herangezogen, da sie die schärfsten gegenwärtig in Diskussion befindlichen Emissionsstandards für den Bereich der EG darstellen. Der inzwischen angenommene GRPA-Kompromißvorschlag wird von verschiedenen Mitgliedsstaaten lediglich als Übergangsstufe zu noch zu definierenden europäischen Zielwerten angesehen. Die Grenzwerte des GRPA-Vorschlags werden teilweise von heutigen Serienmotoren, wie z.B. VW Passat, Porsche 911, VW Golf Diesel, erfüllt (siehe auch Kapitel 8). Für eine differenzierte technische Beurteilung weiterentwickelter Konzepte zur Reduzierung der Schadstoff-Emissionen sind diese Grenzwerte daher ungeeignet.

* Umweltbundesamt (Bundesrepublik Deutschland)

	Abgasnachbehandlung	Prüfmasse [kg]	Abgas-Emissionen		Zielwerte erreichbar		Kraftstoffverbrauch			Entwicklungsstand	Quelle		
			CVS	ET			ET	CVS [mpg]					
			[g/mi]	[g/Test]	UBA	Schweiz	[g/Test]	City	High			City/Highway	
Serienfahrzeuge 1975/1976	Europa	Abgas-Emissionsmittelwerte (ECE R 15) Basis 84 Kfz	-	Mittelwert 1045	175.0 6.7 6.6	nein	nein	435			Serie	TÜV Rhld	
		VW Passat 1500	-	980	54.5 4.5 9.8	nein	nein	368			Serie	TÜV Rhld	
		PORSCHE 911 Europa	-	1195	89.8 2.2 5.1	nein	nein	628			Serie	TÜV Rhld	
	USA	VW Golf Diesel	-	900	1.0 0.2 1.2	5.1 *0.7 3.0	ja	ja	39	52	44	Serie	UBA
		VW Dasher (Passat) Einspritzung	THR	980	6.0 0.9 2.0	23.5 *1.2 6.2	ja	nein	24	37	29	Serie	UBA
		VW Dasher (Passat) AGR, Einspritzung	-	980	4.0 1.3 1.9							Serie	EPA
		VW Dasher (Passat) California AGR, Einspritzung	CAT	980	3.4 0.3 1.5							Serie	EPA
		PORSCHE 911 California	THR	1195	34.3 2.4 3.9	nein ja nein		766				Serie	TÜV Rhld
		HONDA CIVIC CVCC	THR	910	2.4 0.2 1.4	31.5 1.3 4.0	nein ja nein		32	43	36	Serie	UBA
		fortgeschrittene Entwicklungskonzepte	SAAB λ-Sonde	TWC	1350	8.1 0.9 2.2						19	Serie USA ab 1978
PORSCHE SKS	CAT		1195	1.3 1.0 0.7	5.0 5.5 2.0	ja ja nein	ja ja ja	660		21	Vorentwicklung	PORSCHE	
VW Passat PCI	THR		980	26.8 1.3 3.6		ja	nein ja nein	464			Vorentwicklung	TÜV Rhld	
MB 240 D Schichtlader	US-Mod. mit CAT		1475	0.5 0.5 1.3	25.6 5.9 4.5	ja nein	ja nein nein	478	20		Vorentwicklung	Daimler-Benz	

CH_F unverbrannte Kohlenwasserstoffe gemessen mit FID
 CH_N unverbrannte Kohlenwasserstoffe gemessen mit NDIR
 * umgerechnet nach CH_F = 1.8 · CH_N

THR Thermoreaktor
 CAT Katalysator
 TWC Einbett-Katalysator (three-way catalyst)
 ET: Abgasemissionen im Europatest nach ECE R 15
 CVS: Abgasemissionen im in den USA vorgeschriebenen CVS-Test

Tabelle 7.1: Vergleichende Zusammenstellung ausgewählter Konzepte zur Abgas-Emissionsverminderung

7.1 Entwicklungsstand ausgewählter Konzepte zur Schadstoffreduzierung

Im folgenden werden die in Tabelle 7.1 enthaltenen Konzepte zur Schadstoffverminderung anhand der vorliegenden Meßergebnisse unter Berücksichtigung europäischer Randbedingungen, wie Kraftstoffspezifikation und vorgeschriebenes Abgas-Prüfverfahren, bewertet.

Aufgrund der physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten bei der Schadstoffentstehung im Verbrennungsmotor müssen Konzepte, die mit dem Ziel eines niedrigen Stickoxidausstoßes entwickelt wurden, auch im Hinblick auf die Komponenten CO und CH sowie bezüglich des Kraftstoffverbrauchs beurteilt werden. Daher werden, soweit vorhanden, in der Tabelle 7.1 die Abgas-Emissionen im Europatest für die Komponenten CO, CH_{NDIR}* und NO_x sowie der Kraftstoffverbrauch angegeben.

Als Vergleichsbasis enthält die Tabelle Abgas-Emissionsmittelwerte auf der Basis des Europatests als vorläufige Ergebnisse eines z.Zt. laufenden Forschungsvorhabens im Auftrag des UBA [4.7.] zur Charakterisierung des Niveaus des mittleren Abgas-Emissionsverhaltens von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland. Die Einzelwerte für den PORSCHE 911 und den VW Passat 1500 werden nur aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den auf diesen Motoren basierenden weiterentwickelten Konzepten ausgewählt. Zusätzlich tritt in dieser Gruppe der VW Golf mit Dieselmotor auf, um einen Vergleich von Abgasemissionen und Kraftstoffverbrauch eines modernen Dieselmotors mit den anderen Motoren zu ermöglichen.

Desweiteren wurden als "Serienwerte USA" die Daten von fünf in die USA exportierten Fahrzeugen in die Tabel-

* in Tabelle 7.1. als CH_N bezeichnet

le aufgenommen, da diese Fahrzeuge schon heute wegen der strengeren Abgasvorschriften in den USA weitergehende Modifikationen an den Antriebssystemen erfordern. In diesem Zusammenhang ist beispielhaft der Einsatz von Abgasnachbehandlungsanlagen, wie Thermoreaktoren (siehe Kapitel 5.1.1) und Katalysatoren (siehe Kapitel 5.1.2), und die Anwendung der Abgasrückführung (siehe Kapitel 5.1.4) zu nennen.

Für einige Konzepte liegen Ergebnisse nur für den in den USA vorgeschriebenen CVS-Test (siehe Kapitel 2.1) vor. Diese Daten sind mit den im Europatest erzielten Werten jedoch nicht vergleichbar. Der Grund hierfür ist in den unterschiedlichen Testzyklen zu suchen, in denen verschiedene Motorkennfeldbereiche überstrichen werden. Ein Vergleich des US-Testzyklus und des Europatestzyklus im Motorkennfeld ist in Abbildung 7.1 und 7.2 dargestellt [7.1.]. Deutlich zu erkennen sind die durchweg höheren Drehmomentanforderungen im CVS-Test, die teilweise das Drehmomentangebot kleinerer europäischer Fahrzeugmotoren überschreiten können. Dies ist besonders für die Stickoxidemissionen von Bedeutung, da diese mit zunehmender Last ansteigen. Daher werden die Fahrzeuge für den US-Markt anders ausgerüstet und abgestimmt als für den europäischen Markt.

Abgasnachbehandlung und Abgasrückführung

Die Abgasnachbehandlung mittels Edelmetallkatalysatoren zur Verringerung der CO- und CH-Emissionen befindet sich bereits großserienmäßig in den USA und Japan im Einsatz. Zur Reduzierung der NO_x-Emissionen kommen, gegenwärtig noch in kleiner Serie, Reduktionskatalysatoren auf Edelmetallbasis zum Einsatz, obwohl die zeitliche Konstanz der Konvertierungsrate beim gegenwärtigen Entwicklungsstand noch nicht befriedigend ist. Da zur Anwendung dieser Edelmetall-

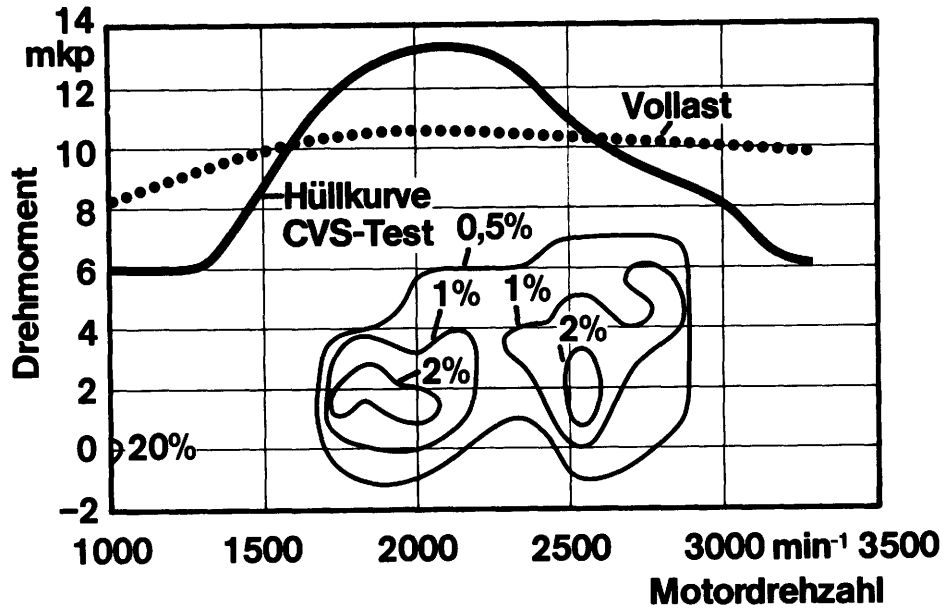


Abb. 7.1: CVS-Test im Motorkennfeld mit Linien konstanter Gesamttestzeit

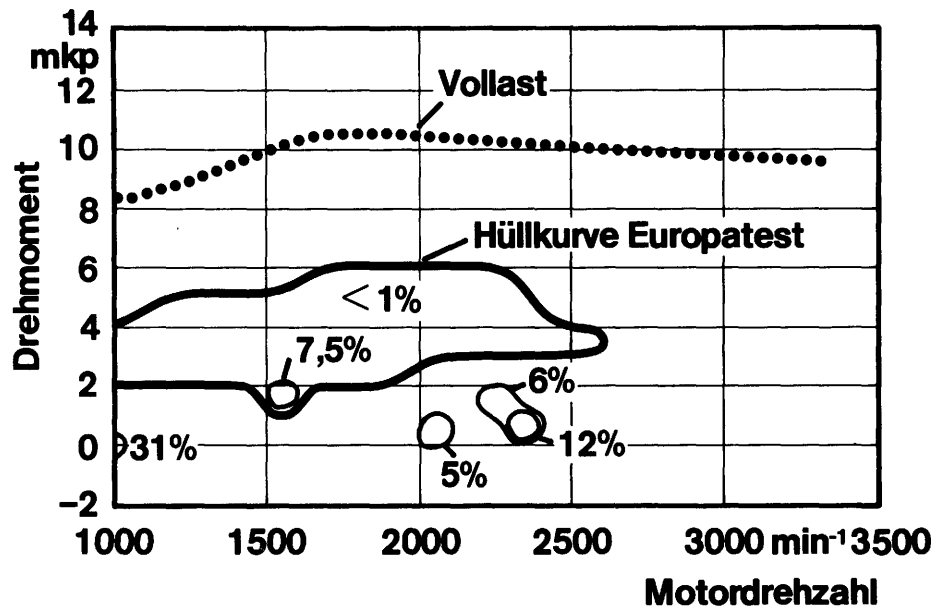


Abb. 7.2: Europäischer Fahrzyklus im Motorkennfeld mit Linien konstanter Gesamttestzeit

katalysatoren bleifreie Kraftstoffe erforderlich sind, müssen sie vorerst für den europäischen Markt ausklammert werden.

Als Alternativen bieten sich Katalysatoren auf Unedelmetallbasis und Thermoreaktoren an. Oxidations-Katalysatoren auf Unedelmetallbasis zur Nachverbrennung von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen befinden sich gegenwärtig noch in einem für den Serieneinsatz nicht ausreichenden Entwicklungsstadium.

Nach Angaben der Firmen Degussa und Hoechst AG konnten unter Einhaltung der vom UBA vorgeschlagenen Grenzwerte bei Verwendung niedrig verbleiter Kraftstoffe (0,15 g Blei pro Liter Kraftstoff) Standzeiten von 30.000 km ohne nennenswerte Verschlechterung der Konvertierungsraten nachgewiesen werden. Die Katalysatorhersteller sind der Ansicht, daß Standzeiten von 50.000 km erreicht werden können. Es erscheint möglich, die noch anstehenden Probleme bezüglich Verpackung, Abgasgegen- druck, Katalysatorabrieb und der Adaption an die verschiedenen Motortypen bis 1982 zu lösen.

Bisher bekannt gewordene Untersuchungsergebnisse über Reduktionskatalysatoren auf Unedelmetallbasis lassen einen serienmäßigen Einsatz derartiger Katalysatoren in absehbarer Zeit als unwahrscheinlich erscheinen.

Thermoreaktoren zur Oxidation von CO und CH werden serienmäßig für den amerikanischen und japanischen Markt angeboten und können, da keinerlei Ansprüche an die Kraftstoffzusammensetzung gestellt werden, prinzipiell auch in Europa eingesetzt werden. Gegenüber der katalytischen Abgasnachbehandlung ist bei Verwendung von Thermoreaktoren aufgrund der notwendigerweise höheren Abgastemperaturen eine Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs um ca. 15 % zu verzeichnen (siehe Kapitel 5.1.1).

Abgasrückführungssysteme bieten die Möglichkeit, die Stickoxidemissionen stark herabzusetzen und werden daher in den USA und Japan in Verbindung mit Abgasnachbehandlungsanlagen weitverbreitet eingesetzt. Die Anwendung einer geregelten äußeren Abgasrückführung erscheint zur Einhaltung der vom UBA vorgeschlagenen Grenzwerte nicht zwingend erforderlich.

Für schärfere Emissionsstandards bezüglich der Komponente NO_x , wie sie von der Schweiz gefordert werden, erscheint die Anwendung der Abgasrückführung wahrscheinlicher.

Wie bereits in Kapitel 5.1.4 erwähnt, führen hohe Abgasrückführraten zu einem ungünstigen Fahr- und Betriebsverhalten. Um im Europatest niedrige Stickoxidemissionen zu erreichen, ist nach Abb. 7.2 die Rückführung des Abgases lediglich im unteren Teillastbereich erforderlich. Im Gegensatz zum CVS-Test dürfte eine derartige Regelung der Abgasrückführung die Realisierung eines befriedigenden Fahr- und Betriebsverhaltens ermöglichen.

Geregelte Gemischbildung (λ -Sonde) mit Abgasnachbehandlung

Für das von der Firma SAAB für die USA-Serie ab Modelljahr 1978 geplante Verfahren mit λ -Sonde und Einbettkatalysator (engl.: Three-way Catalyst) liegen keine Messungen nach dem europäischen Meßverfahren vor. Da aber dieses Konzept allgemein als geeignet angesehen wird, die Zielwerte der Abgasgesetzgebung in den USA und in Japan zu erfüllen, kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, daß hiermit auch die Grenzwertvorschläge des UBA und der Schweiz erfüllt werden können. Voraussetzung für den Einsatz von λ -Sonde und Einbettkatalysator ist jedoch die Verwendung von bleifreien Kraftstoffen.

Dieselmotor

Wie aus Tabelle 7.1 hervorgeht, sind Dieselmotoren, wie sie heute schon zur Verfügung stehen, in der Lage, die in Diskussion befindlichen Zielwerte für die europäische Abgasgesetzgebung zu erfüllen. Eine Steigerung des Anteils an Dieselmotoren im Pkw-Sektor zieht allerdings eine stärkere Umweltbelastung durch Ruß-, Geruchs- und Geräuschemissionen nach sich, wenn es nicht gelingt, diese Schwachstellen des Dieselmotors durch Weiterentwicklung abzubauen.

Ein stärkerer Einsatz von Dieselmotoren im Pkw-Bereich wird am ehesten in den Ländern erfolgen, in denen durch die niedrigere Besteuerung des Dieselkraftstoffes gegenüber dem Ottokraftstoff eine schnelle Amortisation des sehr hohen Mehrpreises aufgrund des niedrigen Kraftstoffverbrauchs möglich ist (siehe Kapitel 9). Jedoch weist die Mineralölindustrie der Bundesrepublik Deutschland darauf hin, daß eine Erhöhung des Dieselkraftstoffanteils auf beispielsweise 50 % des gesamten Kraftstoffverbrauchs im Straßenverkehr einen Übergangszeitraum von 5 bis 8 Jahren erfordern würde.

Magermotoren

Es ist z.Zt. bei der europäischen Automobilindustrie keine Motorentwicklung auf der Basis extremer Gemischabmagerung ($\lambda > 1,2$) bekannt, die eine zeitliche Abschätzung einer Freigabe für die Großserie zuließen. Alle entsprechenden Konzepte befinden sich noch im Vorentwicklungsstadium. Unter der Bezeichnung "Fireball-System" ist jedoch in jüngster Zeit ein Konzept für einen Magermotor mit hoher Verdichtung bekannt geworden. Diesem Konzept werden von RICARDO durchaus Einsatzchancen eingeräumt. Andere Stellen stehen diesem Konzept skeptisch gegenüber.

Japanische Hersteller dagegen produzieren Magermotoren bereits in Serie. Das erforderliche "know-how" kann also als bekannt angenommen werden. Allerdings weisen diese Fahrzeuge ein schlechteres Fahrverhalten als entsprechende konventionelle Ottomotoren auf. Obwohl für derartige Motoren keine Meßergebnisse für den Europatest bekannt sind, kann davon ausgegangen werden, daß die für den Bereich der EG vorgeschlagenen Grenzwerte mit diesem Konzept erfüllt werden können.

Schichtlademotoren

Schichtlademotoren wurden bzw. werden von nahezu allen Automobilherstellern der Welt untersucht. Das Prinzip der Schichtladung wird eingesetzt, um schärfste Emissionsstandards bezüglich der Komponente NO_x erfüllen zu können.

Während sich die Schichtladekonzepte von VW, PORSCHE und DAIMLER-BENZ noch im Stadium der Vorentwicklung befinden, wird das von HONDA entwickelte CVCC-System bereits serienmäßig eingesetzt. Im Jahre 1976 wurden 279.000 Honda-Motoren mit dem CVCC-Verbrennungsverfahren produziert und ausgeliefert.

Von den in Tabelle 7.1 enthaltenen Fahrzeugen mit Schichtlademotoren erfüllt lediglich der mit dem VW-PCI-Motor ausgerüstete Passat die vom UBA vorgeschlagenen Grenzwerte. Die anderen liegen immer bei mindestens einer Komponente außerhalb des gesteckten Rahmens, obwohl es sich, abgesehen vom HONDA-CVCC, um Prototypfahrzeuge handelt, die bei einer evtl. Serienproduktion mit Sicherheit noch ungünstigere Emissionswerte aufweisen werden. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß diese Fahrzeugmotoren speziell für den Einsatz in den USA entwickelt wurden und demzufolge auf den CVS-Test abgestimmt sind. Nach Abstimmung der Mo-

toren auf den europäischen Fahrzyklus kann davon ausgegangen werden, daß die in Entwicklung befindlichen Schichtladungskonzepte geeignet sind, die vorgeschlagenen Zielwerte zu erfüllen.

7.2 Zeitliche Realisierung zukünftiger Abgas-Emissionsgrenzwerte

Die in Tabelle 7.1 aufgeführten Konzepte zur Verringerung der Schadstoffemissionen erscheinen insgesamt geeignet, die für die EG vorgeschlagenen Emissionsstandards zu erfüllen. Die Beurteilung der serienmäßigen Einführung dieser Konzepte in für den europäischen Markt bestimmte Fahrzeuge muß insbesondere unter Berücksichtigung der folgenden Randbedingungen vorgenommen werden:

- Notwendigkeit der Anwendung aufgrund der vorgeschriebenen Grenzwerte
- Zeitbedarf bis zum Anlaufen der Großserie

Dem aus legislativer Sicht notwendigen Einsatztermin steht der aus produktionstechnischer Sicht frühest mögliche Einsatztermin gegenüber, der von der benötigten Zeit zur Umstellung bestehender Produktionsanlagen bzw. zur Neuerrichtung von Fertigungsstraßen abhängig ist. Hinzu kommt die Dauer für noch notwendige Entwicklungsarbeiten bis zur Prototyperstellung. Dieser Zeitraum kann für die in Tabelle 7.1 beschriebenen Konzepte als relativ kurz angesetzt werden, da sie mit Ausnahme der Unedelmetall-Katalysatoren bereits in Serie produziert werden.

Abgesehen von Kapazitätsproblemen ist bei einer Ausdehnung der Exportmodifikationen auf die Serien für den europäischen Markt eine Umrüstzeit der Produktionsanlagen von ein bis zwei Jahren zu veranschlagen. Nach

erfolgreichem Abschluß der Vorentwicklung eines Konzeptes muß ein Zeitraum von drei bis fünf Jahren bis zum Anlaufen der Großserie in Betracht gezogen werden.

In einer Veröffentlichung der National Academy of Sciences der USA [entnommen 5.8] werden detaillierte Angaben bezüglich der zeitlichen Realisierung eines schadstoffarmen Antriebs ab dem Zeitpunkt der Entscheidung für die Großserie gemacht. Eine Zusammenstellung der einzelnen Phasen zeigt Tabelle 7.2.

Aufgrund dieser notwendigen Zeiträume erscheint es aus der Sicht der zuständigen Behörden in der Bundesrepublik Deutschland (Bundesministerium des Innern, Umweltbundesamt) z.B. möglich, die für 1982 vom UBA vorgeschlagenen Grenzwerte mit den in dieser Studie diskutierten Konzepten, wie Dieselmotor, Gemischabmagerung und Schichtladung unter Umständen in Verbindung mit einer thermischen oder katalytischen Abgasnachbehandlung und/oder der geregelten äußeren Abgasrückführung, zu erfüllen, wenn die entsprechenden Vorschriften noch im Jahre 1977 verabschiedet werden.

Demgegenüber steht die Feststellung der Kraftfahrzeughersteller in der Bundesrepublik Deutschland, daß die Erfüllung der Vorschriften des GRPA-Kompromißvorschlages für 1979 die Kapazitäten der Industrie in einem so hohen Maße beansprucht, daß erst nach 1979 mit den weitergehenden Entwicklungsarbeiten begonnen werden kann, die zur Erreichung der in Diskussion befindlichen Zielwerte für notwendig gehalten werden.

Tabelle 7.2: Zeitplan der Realisierung eines neuen Motorkonzeptes in Großserie nach Abschluß der Entwicklung

Zeitraum [Monate]	Phasen zur Realisierung der Großserie
0	Vorläufige Auslegung der Werkzeugmaschinen, vorläufige konstruktive Auslegung des Motorkonzeptes, Prototyperstellung und Emissionstests
7	Auslegung neuer Produktionsanlagen bzw. Modifikation bestehender Anlagen, konstruktive Modifikation des Motorkonzeptes
12	Vorbereitung der Ausschreibungen, Endphase der Entscheidung für die Einrichtungen
15	Endgültige Konstruktion des Motorkonzeptes
18	Verträge mit Zulieferfirmen sowie Herstellern der Werkzeugmaschinen und Ausrüstung, Testprogramm mit Prototypfahrzeugen
24	Materialbestellungen, endgültige Konstruktion der Werkzeuge, Modifikation der Fertigung
30	Beginn der Versuchsproduktion bestimmter Bauteile, Zulassungsläufe, vorläufige Produktionspläne, Beginn der Fahrerprobung im Feldversuch
36	Fertigstellung der Komponentenproduktionseinrichtungen, Beginn der Komponentenproduktion, Vorbereitung für die Produktion der Nullserie
42	Beginn der Großserie
48	Abschätzung des Feldverhaltens von Fahrzeugen aus der Großserie, erste Änderungen der Großserie

8. Abgas-Emissionsprognosemodell

Die zukünftige Abgas-Emissionsbelastung durch den Kraftfahrzeugverkehr kann auf der Basis vorhandener Verkehrsdaten und Abgas-Emissionsuntersuchungen unter Einbeziehung äußerer Einflußfaktoren wie Abgasgesetzgebung und Verkehrsplanung prognostiziert werden.

Im Auftrag der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen wurde im Jahre 1976 vom TÜV Rheinland eine solche Abgas-Emissionsprognose für das Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" erarbeitet [8.1]. Die geografischen Gegebenheiten können den Abbildungen 8.1 und 8.2 entnommen werden. Am Beispiel dieser Untersuchung soll die Vorgehensweise und Systematik zur Erstellung einer Abgas-Emissionsprognose sowie deren Ergebnisse dargestellt werden.

Die im folgenden angegebenen Ergebnisse sind mit denen des zitierten Berichts nicht mehr vergleichbar, da zum damaligen Zeitpunkt vorläufige und somit statistisch nicht genügend abgesicherte Teilemissionsfaktoren aus einem laufenden Forschungsvorhaben in die Rechnung aufgenommen werden mußten, die zwischenzeitlich durch besser abgesicherte Werte ersetzt werden konnten.

8.1 Verkehrsanalyse

In der Verkehrsanalyse wird die Planungsregion Köln als Verkehrsgebiet herangezogen, die aus den Städten Köln, Leverkusen, Bonn sowie den Kreisen Köln, Bergheim, Euskirchen, dem Rhein-Sieg-Kreis, dem Rheinisch-Bergischen-Kreis und dem Oberbergischen Kreis besteht.

Damit wird gewährleistet, daß auch jene Verkehrsteilnehmer miterfaßt werden, die im Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" ihren Arbeitsplatz haben, deren Fahrzeuge aber im Umland gemeldet sind und die in nicht unerheblichem Maße zum Verkehrsaufkommen in diesem Gebiet beitragen.

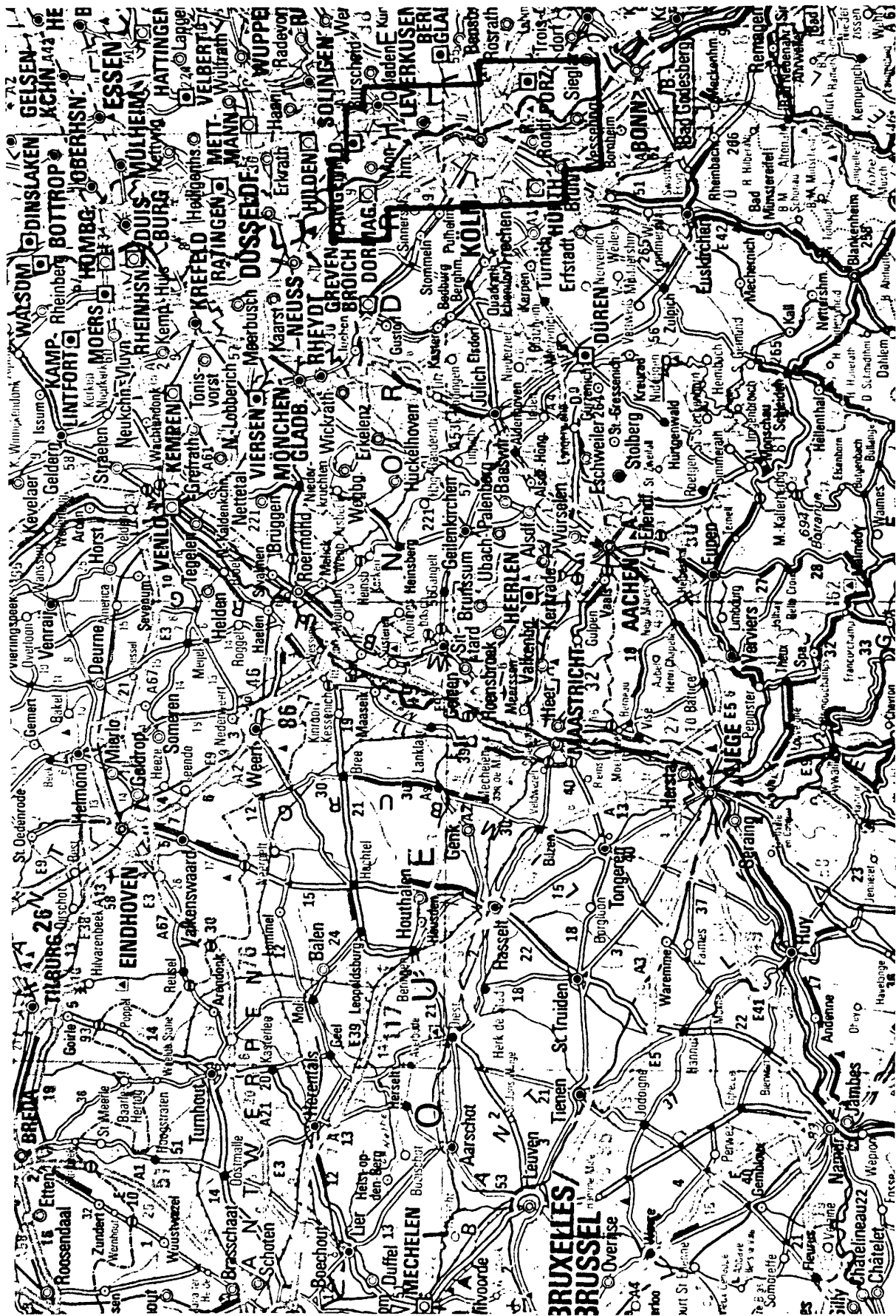


Abb. 8.1: Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd"

Maßstab 1:1.000.000

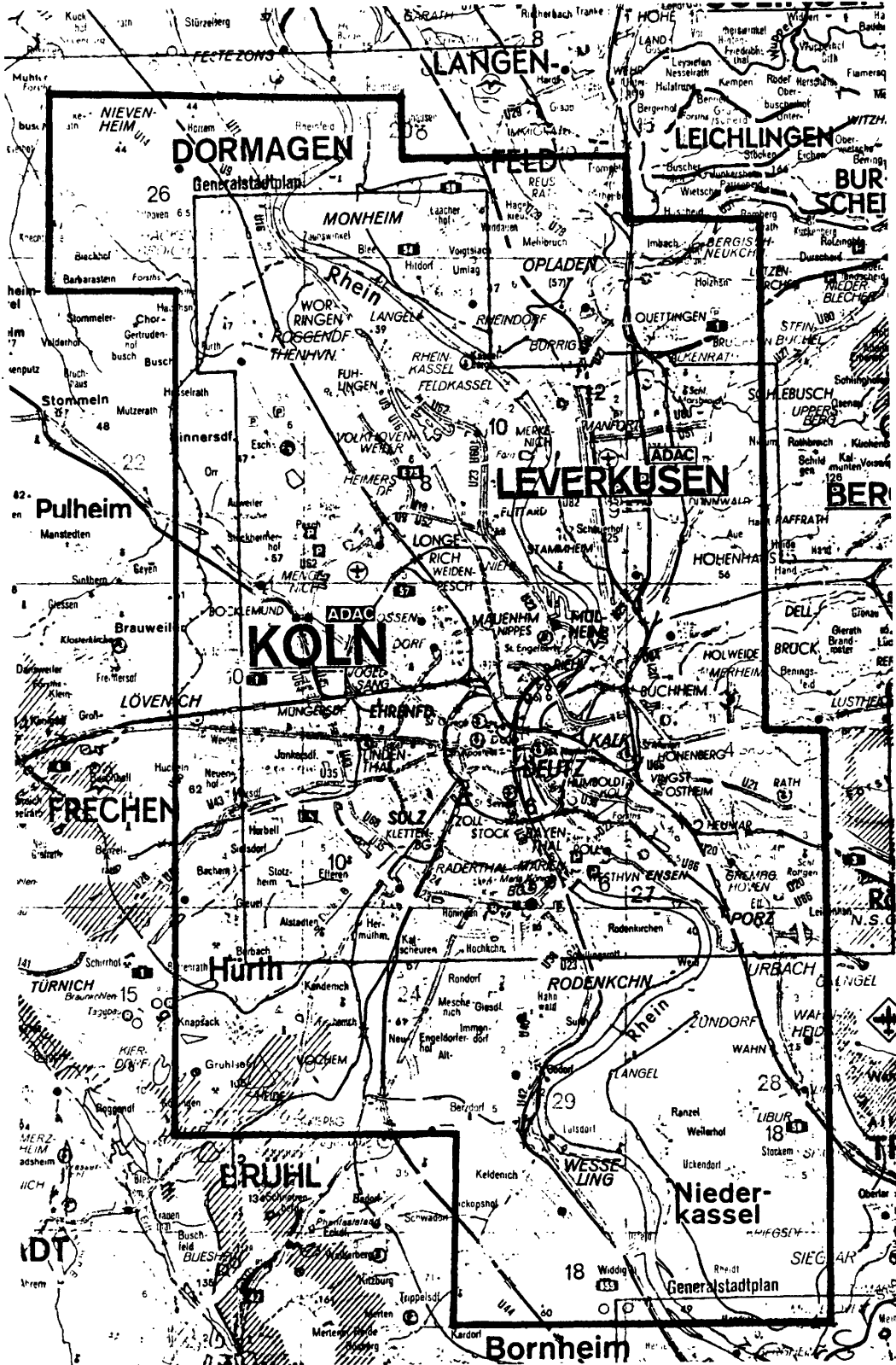


Abb. 8.2: Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd"
Maßstab 1:200.000

Die Notwendigkeit, das Verkehrsgebiet größer zu wählen als das Belastungsgebiet wird u.a. dadurch deutlich, daß z.B. in Frankfurt bei ca. 675.000 Einwohnern täglich über 200.000 Erwerbstätige einpendeln, hiervon etwa die Hälfte im Individualverkehr, also mit eigenem Kraftfahrzeug. Entsprechende Daten für die Planungsregion Köln liegen gegenwärtig nicht vor.

Nach einer Analyse des Binnen- und Quellverkehrs der Planungsregion Köln entfallen auf den Individualverkehr 70 %, auf den öffentlichen Straßenpersonenverkehr 27 % und auf den Eisenbahn- und Straßenbahnverkehr 3 %.

Diese Zahlen verdeutlichen, daß der weitaus größte Teil der Verkehrsleistung vom Individualverkehr und damit vom Pkw-Verkehr erbracht wird.

Die Verkehrsleistung kann als Summe aller von Kraftfahrzeugen auf Linien- und Flächenquellen erbrachten Fahrleistungen beschrieben werden. Mit Hilfe der im Emissionskataster Köln ermittelten Verkehrsstärken (Kfz/h) in Form repräsentativer Tagesgänge für die Linien- und Flächenquellen kann nun die modusspezifische Fahrleistung und daraus die Gesamtjahresfahrleistung im Erhebungsgebiet bestimmt werden.

Für die "Rheinschiene-Süd" ergab sich 1974 eine Pkw-Fahrleistung von rund 4.600×10^6 km/a und eine Lkw-Fahrleistung von etwa 500×10^6 km/a.

Einige für das Verkehrsaufkommen charakteristische Strukturdaten der Planungsregion (PR) Köln sind in Tabelle 8.1 den entsprechenden Daten Nordrhein-Westfalens und der Bundesrepublik Deutschland gegenübergestellt.

Es läßt sich ablesen, daß sich für die Planungsregion Köln ein im Vergleich zum Land Nordrhein-Westfalen und zur Bundesrepublik erheblich höherer Motorisierungsgrad

ergibt. Insbesondere die für die Emissionsbelastung relevante Anzahl der Pkw je km² (Motorisierungsgrad III) liegt im Vergleich zur Bundesrepublik annähernd um den

Strukturmerkmal	Einheit	1970			1990					
		PR Köln	NW	BRD	PR Köln		NW		BRD	
Fläche	km ²	4051	34 038	248 564	4051	100	34 038	100	248 564	100
Einwohner	10 ³ E	2520	16 915	60 651	2598	103	16 450	97	59 777	98
Wohndichte	E/km ²	622	497	244	641	103	483	97	240	98
Haushalte	10 ³ H	947	6 093	21 991	1069	113	6 556	108	23 545	107
Erwerbstätige	10 ³ ET	1077	6 957	26 494	1106	103	6 970	100	26 369	99
Beschäftigungsgrad	ET/10 ³ E	427	411	437	426	100	427	103	441	101
PKW-Bestand	10 ³ Pkw	622	3 762	13 913	1048	168	6 228	165	23 000	165
Motorisierungsgrad I	Pkw/10 ³ E	247	222	229	403	163	379	171	385	168
Motorisierungsgrad II	Pkw/10 ³ H	657	617	633	980	149	950	154	977	154
Motorisierungsgrad III	Pkw/km ²	154	111	56	259	168	183	165	93	166

Tabelle 8.1: Strukturdatenvergleich 1970 - 1990

Faktor 3 höher. Diese Zahlen verdeutlichen, daß es nicht sinnvoll ist, zu große, heterogen zusammengesetzte Belastungsgebiete zur Ermittlung der Gesamtemissionen zu definieren.

Zur besseren Einordnung in den internationalen Rahmen zeigt Tabelle 8.2 Strukturdaten europäischer Staaten sowie der USA.

Tabelle 8.2: Strukturdaten ausgewählter Staaten [8.2]
Stand: 1.1.1975

Land	Fläche in qkm	Einwohner in 1000	Ein- wohner je qkm	Straßen in 1000 km	Dichte des ge- samten Straßen- netzes in km pro qkm	km Straße auf 1000 Ein- wohner	Auf 1000 Ein- wohner entfallen		Anzahl an Lkw pro 1000 Pkw
							Lkw	Pkw	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BRD	248 553	62 000	249	462,2	1,86	7,5	20,1	279,9	71,7
Belgien	30 507	9 788	321	92,9	3,04	9,5	23,5	252,8	92,9
Dänemark	43 074	5 054	117	65,7	1,52	13,0	41,6	249,5	166,6
Finnland	337 032 ¹⁾	4 692	14	73,3	0,22	15,6	26,6	199,6	133,3
Frankreich	551 000	52 700	96	794,1 ²⁾	1,44	15,1	39,4	288,0	136,7
Griechenland	131 944	8 900	67	36,4	0,27 ³⁾	4,1	19,2	42,7	449,3
Großbritannien ⁴⁾	229 894	54 421	237	358,0	1,56	6,6	32,4	250,6	129,2
Italien	301 226	55 644	185	288,4 ³⁾	0,96 ³⁾	5,2 ³⁾	19,4	256,9	75,6
Jugoslawien	255 804	20 960 ³⁾	82 ³⁾	96,2 ³⁾	0,37 ³⁾	4,6 ³⁾	11,8 ³⁾	47,7 ³⁾	248,4 ³⁾
Luxemburg	2 600	352	135	4,5	1,70	12,7	29,9	363,2	82,4
Niederlande	41 160	13 550	329	82,9	2,04	6,1	23,6	253,9	93,0
Norwegen	324 219	3 998	12	76,1	0,24	19,0	36,3	222,7	162,8
Österreich	83 849	7 482	89	102,7	1,22	13,7	19,2	218,6	87,9
Polen	312 677	33 846	108	299,6	0,96	8,9	11,4	27,2	419,5
Schweden	411 258	8 177	20	97,4	0,24	11,9	18,8	322,7	58,3
Schweiz	41 288	6 500	157	61,3	1,50	9,4	25,4	265,9	95,7
Spanien	504 750	35 099	70	142,6	0,28	4,1	27,1	122,8	220,6
Tschechoslowakei	127 877	14 635	114	73,5	0,58	5,0	16,5	84,3	195,6
Ungarn	93 030	10 509	113	100,6	1,08	9,6	10,2	46,7	218,4
USA	9 363 396	213 135	23	6 126,6	0,65 ³⁾	28,7	110,6 ³⁾	484,6 ³⁾	228,3 ³⁾

¹⁾ Gesamte Landfläche 303 999 qkm - ²⁾ ohne 690 000 km Landwirtschaftliche Wege - ³⁾ Stand vom 1.1.1974

⁴⁾ Stand vom 1.4.1974

QUELLE: IRF GENÈVE/WASHINGTON

Wie aus Tabelle 8.2 hervorgeht, sind die westeuropäischen Industriestaaten hinsichtlich Einwohnerdichte und Motorisierungsgrad, angegeben in Pkw/1000 Einwohner, durchaus vergleichbar. Es kann daher mit einiger Sicherheit davon ausgegangen werden, daß sich auch in diesen Ländern Belastungsgebiete mit vergleichbaren Strukturdaten wie die "Rheinschiene-Süd" definieren lassen.

8.2 Verkehrsprognose

Eine geeignete Parameterkombination zur Hochrechnung der Verkehrsentwicklung ist gegeben durch das Produkt aus Kraftfahrzeugbestand und durchschnittlicher Jahresfahrleistung. Diese Parameterkombination bedarf jedoch einer Überprüfung und eventueller Korrektur anhand sozio-ökonomischer Strukturrendzahlen (Entwicklung der Erwerbstätigenzahl, der Haushalte, der Infrastruktur, usw.). Bestand und spezifische Fahrleistung zeigen entgegengesetzte Entwicklungstendenzen. Während der Bestand an Personenkraftwagen noch langsam zunehmen wird, ist die spezifische Jahresfahrleistung rückläufig, da

- der Trend zum Zweitwagen mit sehr viel niedrigerer Jahresfahrleistung noch länger anhalten wird und
- mit zunehmender Verkehrsdichte auf den Straßen die Bewegungsfreiheit der einzelnen Fahrzeuge begrenzt wird, was sich zumindest in den Ballungszentren auf die Gesamtfahrleistung auswirken wird.

Da das Kraftfahrzeug-Verkehrsaufkommen nicht im gleichen Maße zunimmt wie der Bestand, liefert die Entwicklung des regionalen Verkehrsaufkommens und daraus abgeleitet die Zunahme des Individualverkehrs, nicht aber die Entwicklung des Kraftfahrzeugbestandes, den Eckwert für das Wachstum des Pkw-Verkehrs für den Prognosezeitraum. Die Trendfunktion der Gesamtfahrleistung (ermittelt aus Bestandsprognose und spezifischer Fahrleistungsprognose) wird daher mittels der Wachstumsrate des Individualverkehrs korrigiert. Dieses Verfahren führt zur maßgebenden Prognosefunktion für die Gesamtfahrleistung.

Für das Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" ist demnach von der in Tab. 8.3 dargestellten Fahrleistungsentwicklung im Prognosezeitraum auszugehen.

Tab. 8.3: Entwicklung der Fahrleistungen für Personenkraftwagen im Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" für die Jahre 1974 - 1990

Jahre	Fahrleistungen [km/a]
1974	$4,60 \times 10^9$
1980	$5,19 \times 10^9$
1985	$5,47 \times 10^9$
1990	$5,62 \times 10^9$

8.3 Emissionsprognose

Eine Möglichkeit der Prognose von Abgas-Emissionen ergibt sich auf der Grundlage des jährlichen Kraftstoffverbrauchs. Hierzu muß eine repräsentative Korrelation zwischen dem mittleren Kraftstoffverbrauch des der Prognose zugrunde liegenden Fahrzeugbestandes und den Schadstoffemissionen versuchsmäßig ermittelt bzw. angenommen werden. Die auf diese Weise bestimmten jährlichen Emissionen geben jedoch bestenfalls eine Globalabschätzung der zu erwartenden Verhältnisse wieder und sind keinesfalls im Detail zur emissionsmäßigen Beurteilung eines Belastungsgebietes geeignet. Insbesondere bleiben hierbei die gebietsspezifischen Fahr- und Betriebsbedingungen, die zu erheblichen Unterschieden im Schadstoffausstoß führen können, unberücksichtigt.

Weiterhin ist keine exakte Zuordnung der Emissionen zum jeweiligen Entstehungsort möglich. Somit ist dieses Verfahren für verkehrsplanerische Maßnahmen wenig geeignet.

Die pauschale Ermittlung der Abgas-Emissionen auf der Basis des Kraftstoffverbrauchs ist nur sinnvoll bei

ausreichender Größe des zu untersuchenden Gebietes und bei bewußtem Verzicht auf Detailinformation. Das im folgenden beschriebene Abgas-Emissionsprognosemodell bietet dagegen die Möglichkeit, für begrenzte Belastungsgebiete in Abhängigkeit verschiedener Parameter die zukünftige Emissionsbelastung abzuschätzen. Dazu ist die Kenntnis folgender Daten grundlegend:

- gebietsspezifischer Kraftfahrzeugbestand
- für diesen Bestand repräsentative Teilemissionsfaktoren, d.h. Abgas-Emissionen in Abhängigkeit von mittlerer Fahrgeschwindigkeit und Baujahr (siehe Kapitel 1.1.1, 4.1.2)
- Jahresfahrleistungen
- Anteil der einzelnen Bereiche der mittleren Fahrgeschwindigkeit an der Jahresfahrleistung (modusspezifische Fahrleistungen)

Zum Aufbau eines Prognosemodells wird weiterhin benötigt:

- Entwicklung der Fahrleistungen (absolut und modusspezifisch) im Prognosezeitraum
- äußere Randbedingungen (z.B. Abgasgesetzgebung)

Aufgrund dieser Forderung nach detaillierten Basisdaten wäre eine Abgas-Emissionsprognose in dieser Form für europäische Belastungsgebiete nur durchführbar, wenn die entsprechenden Werte einheitlich zur Verfügung ständen. Dies ist jedoch nicht der Fall.

Im folgenden werden beispielhaft für das deutsche Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" neuere Prognoseergebnisse aufgezeigt. Es muß allerdings nochmal darauf hingewiesen werden, daß diese mit den Werten des oben zitierten Berichtes nicht mehr vergleichbar sind, da damals vorläufige und somit statistisch nicht genügend abgesicherte Teilemissionsfaktoren aus einem laufenden

Forschungsvorhaben in die Rechnungen aufgenommen werden mußten.

Zur Abschätzung der Trendentwicklung der Abgas-Emissionsfaktoren wurden die in Tabelle 8.4 angegebenen Daten zur europäischen Abgasgesetzgebung als Randbedingungen in die Berechnungen aufgenommen.

Die Abb. 8.3, 8.4 und 8.5 zeigen die prozentualen Änderungen der Jahresemissionen der Schadstoffkomponenten CO, CH (gemessen mit NDIR) und NO_x bezogen auf das Ausgangsjahr 1973. Es werden zwei Fälle unterschieden:

Fall 1: Die in Tabelle 8.4 angegebenen Stufen der Abgasgesetzgebung treten wie angenommen in Kraft und wirken sich voll und gleichmäßig im gesamten Bereich der mittleren Fahrgeschwindigkeit auf das reale Abgas-Emissionsverhalten der im Verkehr befindlichen Fahrzeuge aus.

Fall 2: Es treten nur die Stufen 1 und 2 der Abgasgesetzgebung in Kraft. Nach 1975 werden keine weiteren legislativen Restriktionen wirksam.

Tabelle 8.4: Entwicklung der Abgasgesetzgebung im Bereich der EG für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Ottomotor

Stufen	Datum	legislative Maßnahmen
1	1.10.1971 in Kraft	Begrenzung: CO CH
2	1.10.1975 in Kraft	Verringerung: CO um 20 % CH um 15 % gegenüber Stufe 1
3	1.10.1977 in Kraft	Begrenzung: NO _x
4	1.10.1979 GRPA-Vorschlag	Verringerung: CO um 35 % (19 %) gegenüber Stufe 1 (2) CH um 25 % (12 %) NO _x um 15 % gegenüber Stufe 3

Für die Komponente CO ergibt sich schon für den Fall 2 im Zeitraum von 1970 - 1985 eine stetige Abnahme bis unter das Emissionsniveau von 1970. Bei Inkrafttreten des GRPA-Vorschlages wird diese Tendenz noch weiter verstärkt (Abb. 8.3).

Die Gründe für diese Entwicklung sind im folgenden dargestellt:

- Die mittleren CO-Emissionen der im Verkehr befindlichen Personen- und Kombinationskraftwagen des Bezugsjahres 1975 liegen auf dem Niveau des zugehörigen Seriengrenzwertes im Europatest (siehe hierzu Kap. 4).
- Es wird angenommen, daß sich eine Verschärfung des CO-Emissionsstandards in voller Höhe gleichmäßig im gesamten, für den Stadtverkehr zu betrachtenden Bereich der mittleren Fahrgeschwindigkeit auswirkt.
- Durch die neu in den Verkehr gelangenden und diesem verschärften Grenzwert unterliegenden Fahrzeuge ergibt sich somit eine Verringerung der mittleren CO-Emission des PKW- und Kombibestandes. Diese Verringerung der mittleren CO-Emission wird auch bei Annahme eines weiteren Anstiegs der Gesamtfahrleistung, wie für das Untersuchungsgebiet prognostiziert wurde, nicht kompensiert, so daß sich eine Verringerung der Gesamtemissionen ergibt.

Zum Verständnis der in der Abb. 8.4 und 8.5 dargestellten Verläufe der relativen Jahresemissionen müssen die im folgenden aufgeführten Feststellungen berücksichtigt werden:

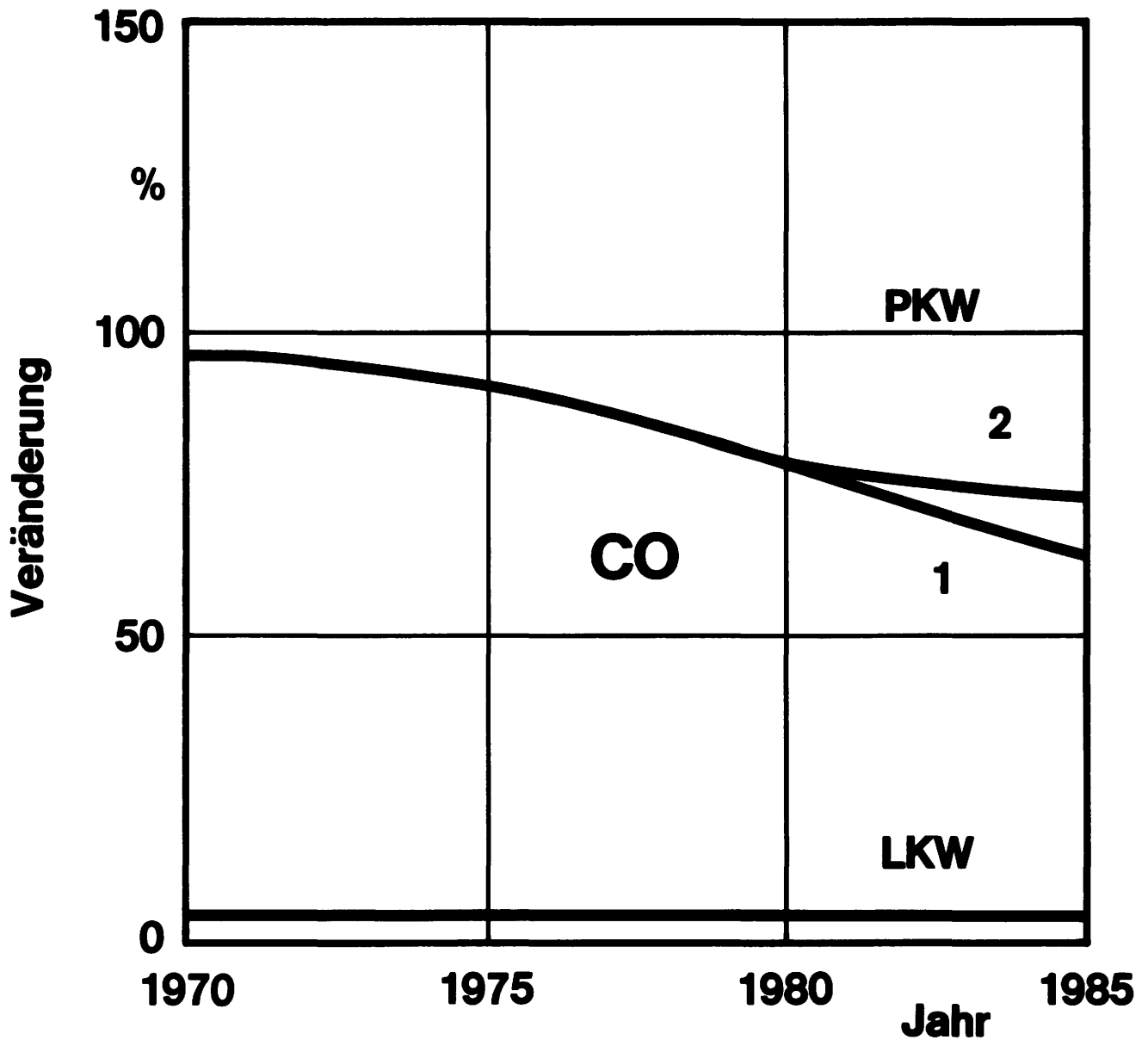
- Die Emissionen der den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten der Stufe 1 (bzw. 3) unterliegenden Fahrzeugen betragen im Mittel um 48 % (CH) bzw. 51 % (NO_x) der jeweiligen Grenzwerte (siehe Kap. 4.1.2.1).

- Die am 1.10.1975 in Kraft getretene Stufe 2 der Abgasgesetzgebung sah eine Verminderung der CH-Grenzwerte um nur 15 % vor. Die realen Emissionen werden hiervon also nicht berührt.
- Der GRPA-Vorschlag (Inkrafttreten am 1.10.1979) vermindert die CH-Grenzwerte um weitere 12 % gegenüber Stufe 2 und die NO_x -Grenzwerte um 15 % gegenüber Stufe 3. Sieht man von einer zahlenmäßig nicht erfaßbaren Beeinflussung dieser beiden Komponenten durch Maßnahmen zur CO-Reduzierung ab, so haben die GRPA-Grenzwerte ebenfalls keinen Einfluß auf das reale Emissionsverhalten bei den Abgaskomponenten CH und NO_x .

Unter diesen Randbedingungen ergeben sich die in Abb. 8.4 und 8.5 dargestellten Verläufe für CH und NO_x . Die Abnahme der CH-Emissionen ist dadurch bedingt, daß durch die 1971 in Kraft getretenen Emissionsstandards eine Verringerung der mittleren CH-Emission erzielt wurde. Durch neu in den Verkehr gelangende Fahrzeuge bzw. durch Ausscheiden unbehandelter Fahrzeuge mit hohen CH-Emissionsniveau ergibt sich somit eine Absenkung des CH-Ausstoßes, obwohl für die 2. Stufe der Abgasgesetzgebung sowie den GRPA-Vorschlag kein Einfluß auf die CH-Emissionen angenommen wurde. Da diese bereits mit Inkrafttreten der 1. Stufe der Abgasgesetzgebung eingetretene Verringerung stärker ist als die Zunahme der Fahrleistungen, ist insgesamt eine Verringerung der CH-Gesamtemissionen bis 1985 um 10 % zu verzeichnen.

Für die Komponente NO_x bewirkte dagegen das Inkrafttreten der 1. Stufe der Abgasgesetzgebung ein Ansteigen der effektiven Emissionen der neuen gegenüber den unbehandelten Fahrzeugen. Das reale Emissionsniveau liegt jedoch immer noch so weit unter den Grenzwerten der Stufe 3 bzw. des GRPA-Vorschlags, daß eine Verringerung der NO_x -Emissionen des einzelnen Fahrzeugs nicht

erwartet werden kann. Durch die neu in den Verkehr gelangenden Fahrzeuge und das Ausscheiden der alten Fahrzeuge mit niedrigeren NO_x-Emissionen ergibt sich bis 1985 in Verbindung mit der zunehmenden Fahrleistung eine beträchtliche Erhöhung der Gesamtemissionen um 75 %.



Fall 1 Die in Tabelle 8.3 angegebenen Stufen der Abgasgesetzgebung treten wie angenommen in Kraft und wirken sich voll und gleichmäßig im gesamten Bereich der mittleren Fahrgeschwindigkeit auf das reale Abgas-Emissionsverhalten der im Verkehr befindlichen Fahrzeuge aus.

Fall 2 Es treten nur die Stufen 1 und 2 der Abgasgesetzgebung in Kraft. Nach 1975 werden keine weiteren legislativen Restriktionen wirksam.

Abb. 8.3: Prozentuale Änderung der CO-Jahresemissionen bis 1985 im Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" bezogen auf 1970

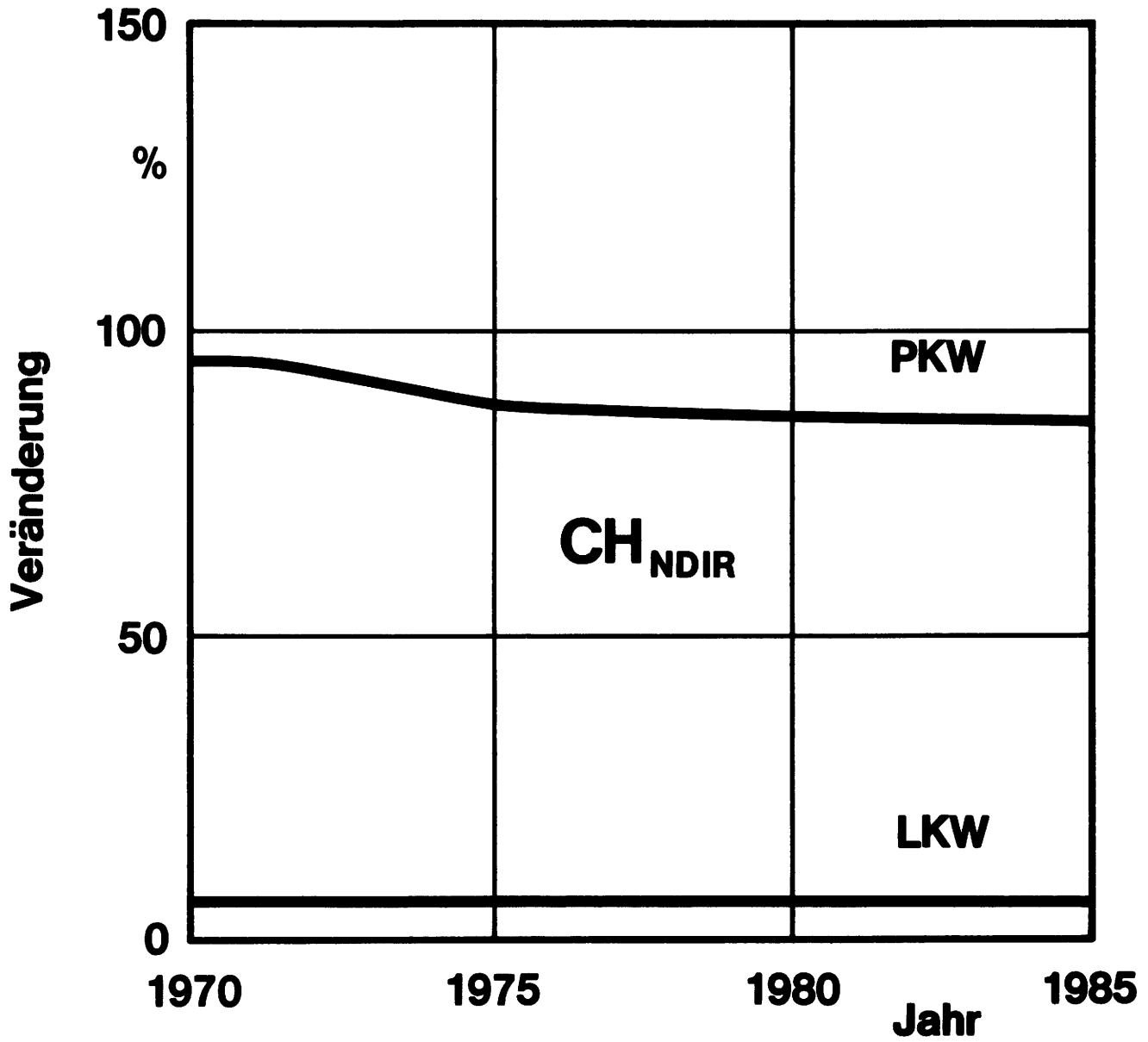


Abb. 8.4: Prozentuale Änderung der CH-Jahresemissionen bis 1985 im Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" bezogen auf 1970

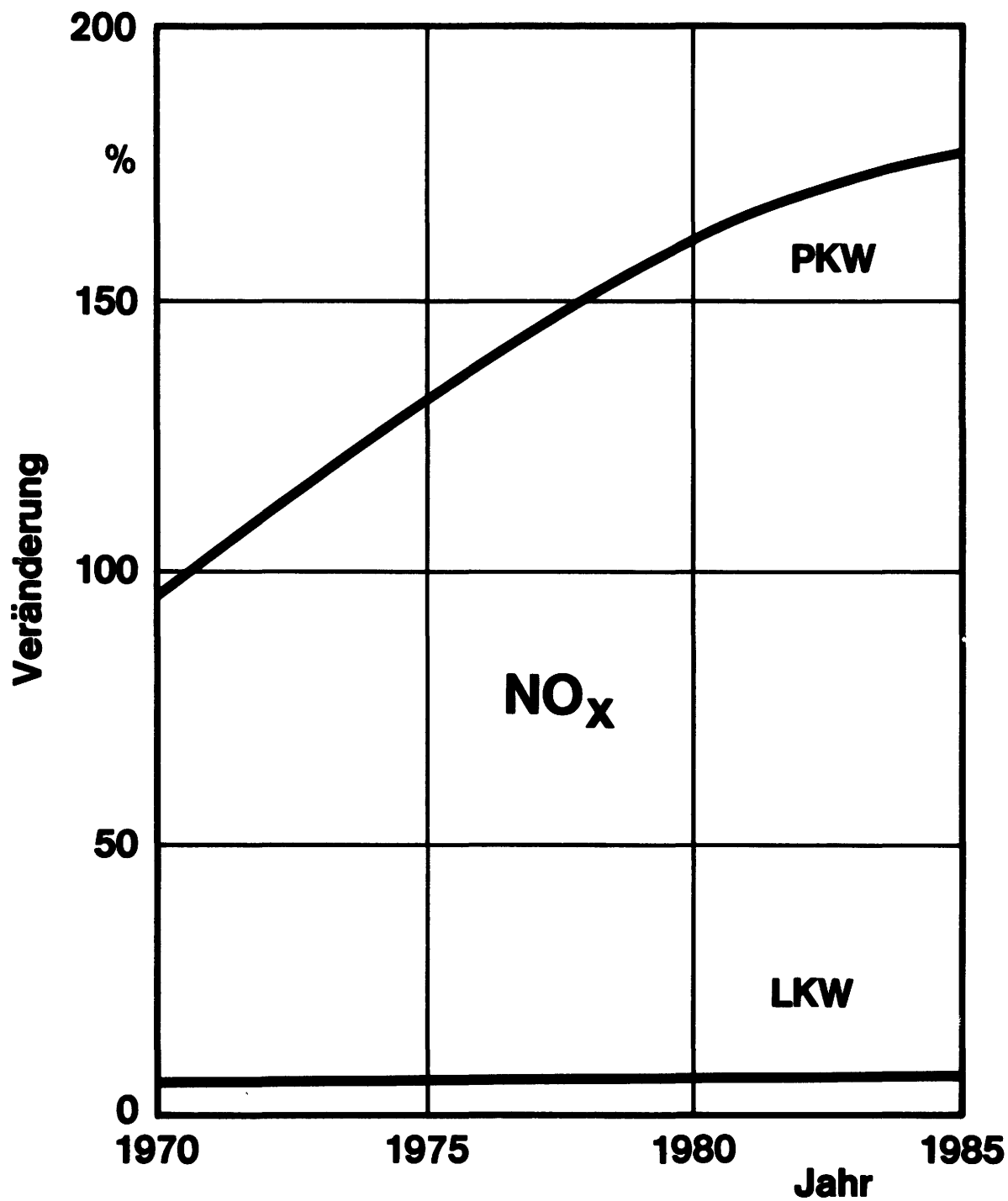


Abb. 8.5: Prozentuale Änderung der NO_x-Jahresemissionen bis 1985 im Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" bezogen auf 1970

9. Kostenabschätzung für verschiedene Alternativen

Die im Kapitel 5 beschriebenen Maßnahmen und Konzepte zur Reduzierung der Schadstoffe im Abgas verursachen sowohl Produktions- als auch Wartungsmehrkosten gegenüber den heutigen Ottomotoren. Von verschiedenen Institutionen wurden in der Vergangenheit bereits Kostenanalysen für schadstoffarme Antriebe durchgeführt. Ein Vergleich zeigt, daß die Analysen teilweise von sehr unterschiedlichen Voraussetzungen ausgehen. Die folgenden Ausführungen zur Kostenabschätzung stützen sich weitgehend auf eine von der Firma PORSCHE im Auftrag des Bundesministeriums des Innern im Jahre 1976 erstellten Studie [9.1].

Bei den im folgenden angegebenen Kosten handelt es sich nur um die Herstellungsmehrkosten, da diese einer wesentlich höheren Objektivität als die von der Verkaufspolitik der einzelnen Hersteller beeinflussten Verkaufspreise unterliegen. Die ebenfalls in den Verkaufspreis eingehenden und vom Verbraucher zu tragenden Kosten für die Modifikation der Produktionsanlagen und die Entwicklungskosten sind nicht berücksichtigt. Die Preise entsprechen dem Stand vom Dezember 1975 und dürfen nicht als verbindliche Angaben verstanden werden. Sie sollen lediglich als Anhaltspunkt über die entstehenden Herstellungsmehrkosten dienen.

Als Bezugsbasis wurde ein Mittelklassefahrzeug (Prüfmassenklasse 1020 - 1250 kg) mit einem Vierzylinder-Vergasermotor ohne Abgasentgiftungsmaßnahmen gewählt. Gegenüber diesem Aggregat ergeben sich für verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung des Abgas-Emissionsverhaltens die im folgenden aufgeführten Mehrkosten.

9.1 Verbesserte Gemischaufbereitung und Zündung

Die im Bereich der EG in Kraft befindliche Abgasgesetzgebung hat eine Gemischabmagerung notwendig gemacht, die wiederum zu höheren Ansprüchen bei der Kalibrierung des Vergasers führt, wenn ein befriedigendes Fahr- und Betriebsverhalten erreicht werden soll.

Eine verbesserte Gemischverteilung und damit eine Verschiebung der Magerlaufgrenze hin zu höheren Luftverhältnissen läßt sich bei Vergasermotoren durch die Anwendung einer Ansaugluftvorwärmung (ALV) bzw. durch den Einsatz von mechanischen oder elektronischen Saugrohrreinspritzanlagen erreichen.

Zur Erhöhung der Sicherheit gegen Verbrennungsaussetzer müssen Zündanlagen mit energiereicheren Zündfunken eingesetzt werden. Hierfür kommen Hochspannungskondensatorzündanlagen (HKZ) oder Transistorzündanlagen (TSZ) in Betracht.

Je nach Kombination dieser einzelnen Elemente ergeben sich unterschiedlich hohe Mehrkosten. Die Tabelle 9.1 enthält neben diesen Mehrkosten die erreichbaren Emissionswerte und die Änderung des Kraftstoffverbrauchs im Europatest.

Tabelle 9.1

Konzept	Mehr- kosten DM	Emissionswerte im Europatest g/Test			Verbrauch im Europatest (1968 $\hat{=}$ 100 %) %
		CO	HC	NO _x	
Vergaser + Ansaug- luftvorwärm. + HKZ	95	107	8	10	95 - 97
Vergaser + ALV + HKZ + SL*	195	50	6	10	100
Einspritzung + HKZ	435	107	8	10	95 - 97
Einspritzung + HKZ + SL*	535	50	6	10	97 - 100

* Sekundärlufteinblasung

Die mit diesen Maßnahmen erreichbaren Emissionswerte lassen sich durch die Anwendung von thermischen (Reaktor) oder katalytischen (KAT) Abgasnachbehandlungsanlagen weiter verringern. Die Kostenschätzungen für die katalytische Nachbehandlung sind für Edelmetallkatalysatoren durchgeführt worden.

Wegen des bleihaltigen Kraftstoffes in Europa kommen als Abgasnachbehandlungsanlagen neben thermischen Reaktoren nur Unedelmetall-Katalysatoren in Frage, deren Kosten aufgrund des noch unbefriedigenden Entwicklungsstandes nur schwer abzuschätzen sind. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß die Mehrkosten deutlich unterhalb derer für Edelmetallkatalysatoren liegen werden.

Noch niedrigere NO_x -Werte lassen sich bei zusätzlicher Anwendung der Abgasrückführung (AGR) erreichen. Tabelle 9.2 enthält die Mehrkosten, die Emissionswerte und den Kraftstoffverbrauch der in Tabelle 9.1 genannten Konzepte mit Abgasnachbehandlung und Abgasrückführung.

Tabelle 9.2

Konzept	Mehr- kosten DM	Emissionswerte im Europa-Test g/Test			Verbrauch 1968 $\hat{=}$ 100 % %
		CO	HC	NO_x	
Vergaser + ALV + HKZ + SL + Reak- tor	393	30	3	10	105 - 108
Vergaser + ALV + HKZ + SL + Kat	345	15	2	10	103 - 105
Vergaser + ALV + HKZ + SL + Kat + AGR	415	15	2	6	107 - 120
Einspritzung + HKZ + SL + Reaktor	735	30	3	10	100 - 103
Einspritzung + HKZ + SL + Kat	680	15	2	10	100
Einspritzung + HKZ + SL + Kat + AGR	750	15	2	6	105 - 110

9.2 Geregelte Gemischbildung mit Abgasnachbehandlung

Obwohl ein Einsatz dieses Konzeptes aufgrund des bleihaltigen Kraftstoffes in Europa für die absehbare Zukunft nicht möglich erscheint, sollen die Mehrkosten für dieses Konzept vollständigheitshalber angegeben werden. Sie setzen sich aus den Kosten für das Gemischbildungsorgan, den Katalysator, die λ -Sonde und die Steuerelektronik zusammen. Beim gegenwärtigen Stand der Entwicklung ist als Gemischbildungsorgan die Einspritzung am besten geeignet, so daß sich die in Tabelle 9.3 angegebenen Mehrkosten ergeben dürften.

Tabelle 9.3

Konzept	Mehr- kosten DM	Emissionswerte im Europa-Test g/Test			Verbrauch 1968 $\hat{=}$ 100 % %
		CO	HC	NO _x	
Motor mit λ -Regelung	750	15	2	3	95 - 100

9.3 Extreme Gemischabmagerung

Bei Motoren mit extrem magerem Kraftstoff-Luft-Gemisch kommen zu den unter 9.1 angegebenen Kosten für die Verbesserung von Gemischbildung und Zündung weitere Kosten, die durch engere Herstellungstoleranzen bedingt sind. Gegebenenfalls hinzuzurechnen sind noch die Kosten für Abgasnachbehandlungsanlagen, so daß die in Tabelle 9.4 angegebenen Mehrkosten angesetzt werden können.

Tabelle 9.4

Konzept	Mehr- kosten DM	Emissionswerte im Europa-Test g/Test			Verbrauch 1968 $\hat{=}$ 100 % %
		CO	HC	NO _x	
Magerkonzept Einspritzung	550	50	6	6	88 - 92
Magerk. + Einsprit- zung + Reaktor	750	30	3	6	93 - 97
Magerk. + Einsprit- zung + Kat	700	15	2	6	90 - 93

9.4 Schichtladung

Die Mehrkosten von Schichtlademotoren mit unterteiltem Brennraum sind stark abhängig vom Gemischbildungssystem. Zur Auswahl stehen hierfür Einspritzung und Vergaser. Die in Tabelle 9.5 angegebenen Mehrkosten setzen sich aus den Kosten der für die Gemischversorgung der Nebenkammer notwendigen zusätzlichen Gemischbildungsorgane und den ggf. anfallenden Kosten für eine Ventilgruppe für die Nebenkammer (HONDA CVCC-System) zusammen. Werden zur Absenkung der CO- und CH-Emissionen noch Abgasnachbehandlungsanlagen (Thermoreaktor oder Katalysator) notwendig, so erhöhen sich die Mehrkosten für einen solchen Motor entsprechend.

Tabelle 9.5

Konzept	Mehr- kosten DM	Emissionswerte im Europa-Test g/Test			Verbrauch 1968 $\hat{=}$ 100 % %
		CO	HC	NO _x	
Schichtlademotor Vergaser gespülte Vorkammer	170	30	6	3	90 - 95
Schichtlademotor Einspritzung ungespülte Vorkammer	500	30	6	3	88 - 92
Schichtl. Vergaser + Reaktor	370	15	3	3	97 - 100
Schichtl. Vergaser + Katalysator	320	15	2	3	92 - 100
Schichtl. Einspritz. + Reaktor	700	15	3	3	95 - 100
Schichtl. Einspritz. + Katalysator	650	15	2	3	90 - 100

9.5. Dieselmotor

Der wesentliche Anteil der Mehrkosten für einen Dieselmotor wird durch das Einspritzsystem bestimmt. Weiterhin trägt die insgesamt stabilere Auslegung des Motors, die leistungsfähigere Batterie und der stärkere Anlasser zu den in Tabelle 9.6 angegebenen Mehrkosten bei.

Eine Verringerung der NO_x -Emissionen durch Abgasrückführung erscheint zur Erfüllung der vorgeschlagenen Zielwerte für die europäische Abgasgesetzgebung zwar nicht notwendig (siehe hierzu Kapitel 7.1), jedoch werden die hierfür notwendigen Kosten aus Vergleichsgründen mit angegeben.

Tabelle 9.6

Konzept	Mehr- kosten DM	Emissionswerte im Europa-Test g/Test			Verbrauch 1968 = 100·% %
		CO	HC	NO_x	
Dieselmotor	700	15	2	4	85 - 90
Dieselmotor + AGR	800	15	2	3	90 - 95

Die angegebenen Kosten spiegeln in ihrer Höhe das Kosten- und Preisniveau der Bundesrepublik Deutschland wider. Eine Übertragung dieser Abschätzung auf den Bereich der EG ist aus den im folgenden genannten Gründen nicht möglich. Wird davon ausgegangen, daß im EG-Raum die Materialkosten für die einzelnen Bauteile der Konzepte in gleicher Höhe liegen, wäre für eine derartige Übertragung die Kenntnis des Personalkostenanteils der einzelnen Bauteile nötig. Diese Daten sind jedoch im Rahmen der Untersuchung nicht speziell ermittelt worden.

Weiterhin ist an der Herstellung der Bauteile eine Vielzahl verschiedener Zulieferer beteiligt, deren Preise jeweils Landespreise sind.

Die im Kapitel 5.4 angesprochenen alternativen Antriebssysteme lassen Kostenschätzungen zum heutigen Zeitpunkt nicht zu, da Realisierungsaussichten bestenfalls langfristig gesehen werden können und somit Grundlagen für Kostenabschätzungen nicht gegeben sind. Es wird jedoch allgemein davon ausgegangen, daß die Kosten dieser Antriebssysteme etwa das 3 bis 8fache der heutigen Kosten von Ottomotoren betragen werden.

Abbildung 9.1 stellt zusammenfassend die zu erwartenden Herstellungsmehrkosten für ein Mittelklassefahrzeug für verschiedene Stufen der Abgasgesetzgebung dar.

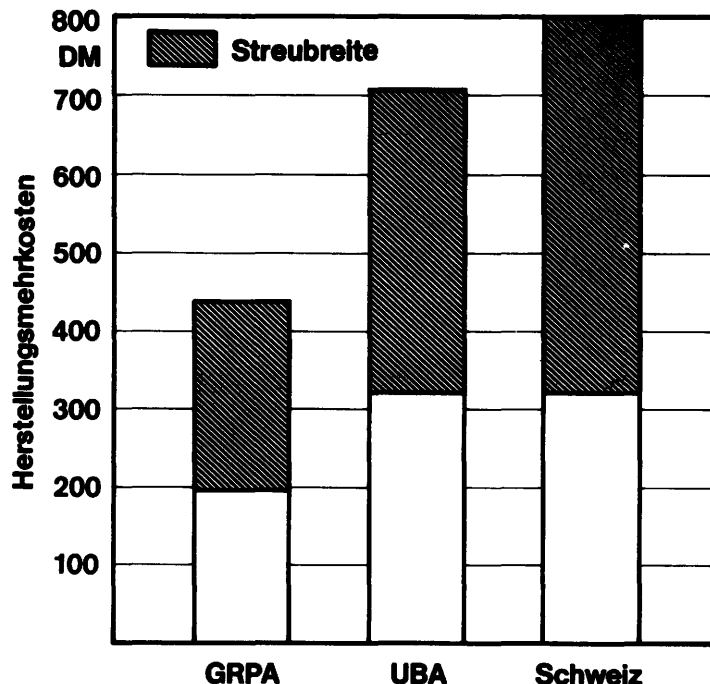


Abb. 9.1: Herstellungsmehrkosten für ein Mittelklassefahrzeug für verschiedene Grenzwertvorschläge

Es muß nochmals darauf hingewiesen werden, daß sich diese Mehrkosten auf ein Fahrzeug des Baujahres 1968, also ohne jegliche Maßnahme zur Verbesserung des Abgasemissionsverhaltens, beziehen. Einige der in den angegebenen Mehrkosten (Tab. 9.1 - 9.6) enthaltenen Maßnahmen sind jedoch schon heute verwirklicht, so daß sich die Mehrkosten um etwa DM 100,-- verringern dürften. Daraus ergibt sich, daß zur Einhaltung der GRPA-Grenzwerte nur noch relativ geringe Mehrkosten (etwa DM 100,-- bis DM 300,--) notwendig erscheinen, wogegen zur Erfüllung der Grenzwertvorschläge des Umweltbundesamtes und der Schweiz immer noch Mehrkosten in Höhe von DM 200,-- bis DM 700,-- gegenüber den heutigen Kosten angesetzt werden müssen. Auch diese Mehrkosten beruhen, wie schon eingangs erwähnt, auf der Kosten- und Preisbasis vom Dezember 1975.

Bei einigen in den Tabellen 9.1 bis 9.6 beschriebenen Konzepten können die anfallenden Mehrkosten durch die Verringerung der Kraftstoffkosten aufgrund einer Kraftstoffverbrauchsverbesserung ausgeglichen werden. Hierzu sind jedoch teilweise recht hohe Kilometerleistungen erforderlich. Eine Gegenüberstellung der Mehrkosten und der zum Ausgleich dieser Kosten notwendigen Fahrtstrecken ist in Tabelle 9.7 angegeben. Zugrundegelegt wurde ein mittlerer Kraftstoffverbrauch im Europatest-Zyklus von 14,5 l/100 km und ein für Otto- und Dieselkraftstoff gleicher Preis von DM 0,90. Zinsverluste, Abschreibungssätze etc. wurden bei dieser vereinfachten Rechnung nicht berücksichtigt, da diese Daten im Bereich der EG sehr stark unterschiedlich sind. Die angegebenen Laufleistungen werden sich daher mit Sicherheit noch verlängern, da zudem davon ausgegangen werden muß, daß sich das praktische Fahrverhalten beträchtlich vom Europatest unterscheidet und die im Europatest ermittelten Kraftstoffverbrauchsverbesserungen im gemischten Stadt- und Überlandverkehr nicht erreicht werden.

Weiterhin ziehen die teilweise sehr hohen zum Mehrkostenausgleich notwendigen Fahrstrecken noch Folgekosten (Wartung, Verschleiß) nach sich. Eine Abschätzung von Folgekosten für verschiedene Konzepte enthält die Tabelle 9.8.

Die Werte der Tabelle 9.7 ergeben sich, wie schon eingangs erwähnt, aus dem Vergleich des Kraftstoffverbrauchs eines Fahrzeugs des Baujahres 1968 mit dem der diskutierten Konzepte. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß in den letzten Jahren in der Modellpolitik einiger Hersteller gravierende Änderungen vorgenommen wurden, die zu einer z.T. erheblichen Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs führten. Diese Veränderungen machen sich jedoch bei einem Vergleich von repräsentativen Fahrzeugkollektiven der Bezugsjahre 1970 und früher sowie 1972 - 1975 noch nicht bemerkbar, da diese Fahrzeuge noch einen zu geringen Anteil am Fahrzeugbestand aufweisen.

Tabelle 9.7: Mehrkosten und Laufleistung zum Ausgleich der Mehrkosten durch Kraftstoffverbrauchersparnis

Konzept	Mehrkosten DM	Laufleistung km
Vergaser + Ansaugluftvorwärm + HKZ	95	15 - 24.000
Einspritzung + HKZ	435	67 - 110.000
Einspritzung + HKZ + SL	535	> 140.000
Magerkonzept Einspritzung	550	35 - 53.000
Magerk. + Reaktor Einspritzung	750	82 - 190.000
Magerk. + Katalysat. Einspritzung	700	54 - 78.000
Schichtlademotor Vergaser gespülte Vorkammer	170	13 - 26.000
Schichtlademotor Einspritzung ungespülte Vorkammer	500	32 - 48.000
Schichtl. Vergaser + Reaktor	370	> 95.000
Schichtl. Vergaser + Katalysator	320	> 31.000
Schichtl. Einspritz. + Reaktor	700	> 108.000
Schichtl. Einspritz. + Katalysator	650	> 50.000
Dieselmotor	700	36 - 54.000
Dieselmotor + AGR	800	60 - 120.000

Tabelle 9.8: Folgekosten alternativer Antriebssysteme in DM.

Laufleistung	50.000 km	150.000 km
Dieselmotor	0	0
Schichtlademotor	+ 50,--	+ 150,--
Schichtlademotor mit Abgasnachbe- handlung	+ 250,--	+ 500,-
Ottomotor mit Oxidationskataly- sator	+ 300,--	+ 850,--
Ottomotor mit λ -Regelung	+ 450,--	+ 1.200,--

10. Literaturhinweise

zu Kapitel 1

- [1.1] Gesetz zum Schutz von schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
(Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
Bundesgesetzblatt Teil I vom 21. März 1974
- [1.2] May, H., Pläßmann, E.:
Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen in Großstädten und industriellen Ballungsgebieten
Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1973
- [1.3] Bericht über den Stand der Modelluntersuchungen im Großraum Köln zur Aufstellung eines Emissionskatasters für luftverunreinigende Stoffe
Herausgegeben vom Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen
1972
- [1.4] Zwischenbericht über die Ermittlung der Luftverunreinigungen im Raum Duisburg-Mülheim-Oberhausen
Herausgegeben vom Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen
1975
- [1.5] Emissionskataster Mainz
Bericht über die Aufstellung und die Auswertung eines Katasters der Emissionen luftfremder Stoffe in der Atmosphäre für den Raum Mainz
Interner Bericht im Auftrag des Ministers für Soziales, Gesundheit und Sport des Landes Rheinland-Pfalz

- [1.6] Emissionskataster Rhein-Main (Wiesbaden-Ginsheim-Gustavsburg),
Abschlußbericht über den Bereich Kraftfahrzeugverkehr
Erstellt im Auftrag der Hessischen Landesanstalt für
Umwelt
1976
- [1.7] Fortak, H.:
Anwendungsmöglichkeiten von mathematisch-meteorologischen Diffusionsmodellen zur Lösung von Fragen der Luftreinhaltung
Herausgegeben vom Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen
1973
- [1.8] Mahoney, J. R.:
Bericht über Modelle zur Vorhersage von Luftverunreinigungen
OECD-Studie
1971
- [1.9] Jost, D., Rudolf, W.:
NO/NO₂-Konzentrationen in der Bundesrepublik Deutschland
Staub-Reinhaltung der Luft
1975
- [1.10] Universitätsinstitut für Meteorologie und Geophysik,
Frankfurt
Wissenschaftliche Arbeiten zur Luftreinhaltung
1972
- [1.11] Deimel, H., Gableske, R.:
5. Bericht über die im Raum Köln durchgeführten Luftuntersuchungen
Herausgegeben vom Institut für Lebensmittel,- Wasser- und Luftuntersuchungen der Stadt Köln
1975

- [1.12] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-
Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur
Reinhaltung der Luft- TA Luft-) vom 28. August 1974
Gemeinsames Ministerialblatt
Herausgegeben vom Bundesministerium des Innern
1974
- [1.13] Kuhlmann, A. u.a.:
Das Auto der 80er Jahre
Köln, 1975
- [1.14] Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden-
und Lufthygiene Nr. 42
1974
- [1.15] Empfehlungen durch Schadstoffverminderung
- Kraftfahrzeugabgase -
Bericht 7/76 des Umweltbundesamtes Berlin
- zu Kapitel 2
- [2.1] Environmental Protection Agency
Control of Air Pollution From New Motor Vehicles
and Engines
Federal Register Vol. 40, No 126, 30.6.1975
Washington, D.C.
- [2.2] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
VDA-Mitteilungen Nr. 4/76, S. 24f
Frankfurt 1976
- [2.3] Environment Agency, Japan
Air Pollution and Motor Vehicle Emission Control
in Japan
1975
- [2.4] Richtlinie des Rates 74/290/EWG vom 28.5.1974
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften
Nr. L 159 vom 15.6.1974, S. 61ff

- [2.5] Richtlinie des Rates 77/102/EWG vom 30.11.1976
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften
Nr. L 32 vom 3.2.1977, S. 32ff

- [2.6] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
VDA-Mitteilungen Nr. 2/77, S. 23
Frankfurt 1977

- [2.7] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
VDA-Mitteilungen Nr. 4/76, S. 17ff
Frankfurt 1976

- [2.8] Richtlinie des Rates 72/306/EWG vom 2.8.1972
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften
Nr. L 190 vom 20.8.1972, S. 1ff

zu Kapitel 3

- [3.1] VW AG
Meß- und Prüfverfahren für Automobilabgase
-Übersicht und Kritik
VW Forschungsbericht Nr. MT-F5-76/6
Wolfsburg 1976

- [3.2] Engelhardt, H., Schäfer, W.
Die Schadstoffemission des Ottomotors, ihre Messung
und die Möglichkeit ihrer Verminderung
Chemie Ingenieur Technik 44, Heft 10, 1972

zu Kapitel 4

- [4.1] Technische Daten deutscher Personenkraftwagen
1976
AK Chemie
Biebesheim/Rhein 1976

- [4.2] Brief British Passenger Car Data 1976
The Associated Octel Company, Ltd.
London 1976

- [4.3] Caractéristiques Techniques des Voitures
Particulières Français
Octel S.A.
Paris 1976

- [4.4] Dati tecnici delle autovetture italiane 1976
Società Italiana Additivi Per Carburanti
S.p.A.-S.I.A.C.
Mailand 1976

- [4.5] Kraftfahrt-Bundesamt
Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern
am 1. Juli 1955
Kirschbaum Verlag
Bonn-Bad Godesberg

- [4.6] Kraftfahrt-Bundesamt
Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern
am 1. Juli 1975
Kirschbaum Verlag
Bonn-Bad Godesberg

- [4.7] TÜV Rheinland
Ermittlung des realen mittleren Emissionsverhaltens
von Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren in der Bundesre-
publik Deutschland
im Auftrag des Bundesministeriums des Innern
(noch nicht veröffentlicht)

- [4.8] Motor Industry Research Association
In-Service Emissions of Cars Manufactured
to Meet E.C.E. Regulation 15
im Auftrag des Department of Environment
1976

zu Kapitel 5

- [5.1] Ricardo & Company Engineers (1927) Ltd.
Control of Nitrogen Oxides Emission from
European cars
(noch nicht veröffentlicht)
- [5.2] 1976 Gas Mileage Guide for New Car Byers
Federal Energy Administration
Washington, D.C.
- [5.3] Environmental Protection Agency
Air Pollution from New Motor Vehicles and Engines
Test Results for 1976 Model Year
Federal Register Vol. 41, No. 46
1976
- [5.4] Jet Propulsion Laboratory - California Institute
of Technology
Should We Have A New Engine?
-An Automobile Power Systems Evaluation
Studie im Auftrag der EPA
1975

- [5.5] Committee on Motor Vehicle Emissions
Commission on Sociotechnical Systems
National Research Council
Consultant Report on Emissions Control of Engine
Systems
Studie im Auftrag der EPA
National Technical Information Service (NTIS)
U.S. Department of Commerce
Washington 1974
- [5.6] Committee on Motor Vehicle Emissions
Commission on Sociotechnical Systems
National Research Council
Consultant Report on an Evaluation of Catalytic
Converters for Control of Automobile Exhaust
Pollutants
Studie im Auftrag der EPA
National Technical Information Service (NTIS)
U.S. Department of Commerce
Washington 1974
- [5.7] Southwest Research Institute
A Literature Search and Analysis of Information
Regarding Sources, Uses, Production, Consumption,
Reported Medical Cases, and Toxicology of Pt and Pd
Studie im Auftrag der EPA
1974
- [5.8] Motor Vehicle Emissions - Report on Motor Vehicle
Nitrogen Oxides Emission Control Technology
Studie im Auftrag der Environment Agency
Automotive Pollution Control Division, Air Quality
Bureau of the Environment Agency
Tokyo 1975

- [5.9] Motor Vehicle Emissions - Final Report on Motor Vehicle Nitrogen Oxides Emission Control Technology
Studie im Auftrag der Environment Agency
Automotive Pollution Control Division, Air Quality Bureau of the Environment Agency
Tokyo 1976
- [5.10] Guiles, R.:
Three-way Catalyst Prep for Auto-exhaust Cleanup
Z. chemical Engineering 13
1976
- [5.11] Bjorklund, St.:
'77 Saab With Three-way Catalyst to be Sold in California
Automotive News 30
1976
- [5.12] Deutsche Vergaser Gesellschaft
Zusammenhänge zwischen erreichbarer Gemischaufbereitung, Abgasrückführung, Abgasemission und Kraftstoffverbrauch am Ottomotor
im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie
Neuss, 1976
- [5.13] Daimler-Benz AG
Kraftstoffvernebelung
im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie
Stuttgart 1976
- [5.14] Haisenko, P.:
Verbesserte Automobil-Zündanlagen,
Elektronik 1975, Heft 3, S. 95 - 98

- [5.15] Everding, H.:
Magnetisch gesteuerter Auslöser für Zündanlagen,
Elektronik 1971, Heft 7, S. 225 - 229,
- [5.16] Everding, H.:
Elektronisches Zündsystem reduziert schädliche Abgase,
Elektronik 1976, Heft 1, S. 61 - 64
- [5.17] Lucke, H.:
Neue Sensoren für die Kraftfahrzeugelektrik
Siemens Zeitschrift 47, Heft 8, S. 603 - 608, 1973
- [5.18] Albrecht, H., Bloss, W.H., Herden, W., Maly, R.,
Saggauß, Wagner, E.:
Neue Ergebnisse über die Entflammung durch den elek-
trischen Funken
im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung
und Technologie
aus Entwicklungslinien in der Kraftfahrzeugtechnik
Verlag TÜV Rheinland
Köln 1977
- [5.19] Daimler Benz AG
Ruß- und Geruchsbeseitigung bei Dieselmotoren
Forschungsvorhaben des Bundesministers für Forschung
und Technologie, Förderungskennzeichen NTO 109
- [5.20] Kuhlmann, A.:
Entwicklungstendenzen zukünftiger Antriebssysteme
unter besonderer Berücksichtigung von Umweltschutz
und Energieeinsatz
aus Entwicklungslinien in der Kraftfahrzeugtechnik
Verlag TÜV Rheinland
Köln 1977

zu Kapitel 6

- [6.1] Neuen Kraftstoffen auf der Spur - Alternative Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge
Studie im Auftrag des Bundesministeriums für
Forschung und Technologie
Gersbach & Sohn Verlag, München
Bonn 1974
- [6.2] Kuhlmann, A., May, H., Pischinger, F.:
Methanol und Wasserstoff - Automobilkraftstoffe
der Zukunft
Köln 1976
- [6.3] Lee, W.:
Großversuch mit Methanol-Benzin-Mischkraftstoff M 15
im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung
und Technologie
aus Entwicklungslinien in der Kraftfahrzeugtechnik
Verlag TÜV Rheinland
Köln 1977
- [6.4] König, A.:
Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zur Einführung der
Methanoltechnologie für Automobile
im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung
und Technologie
aus Entwicklungslinien in der Kraftfahrzeugtechnik
Verlag TÜV Rheinland
Köln 1977
- [6.5] Buchner, A.:
Ergebnisse der Hydridforschung und ihre Konsequenzen
für die Hydridfahrzeugentwicklung
im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung
und Technologie
aus Entwicklungslinien in der Kraftfahrzeugtechnik
Verlag TÜV Rheinland
Köln 1977

zu Kapitel 7

- [7.1] Brandstetter, W., Hoffmann, E.:
Analyse des CVS- und des Europa-Abgastests
Automobiltechnische Zeitschrift 78 (1976)
Heft 3, S. 121 - 125

zu Kapitel 8

- [8.1] TÜV Rheinland e.V.
Abgas-Emissionsprognose für den bodengebundenen Verkehr
im Belastungsgebiet "Rheinschiene-Süd" für die Jahre
1980 und 1985
Teil II: Kfz-Verkehrsprognose
Teil III: Abgas-Emissionsprognose
Studie im Auftrag der Landesanstalt
für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- [8.2] Verkehrswirtschaftliche Zahlen 1976
Herausgegeben vom Bundesverband des Deutschen
Güterfernverkehrs (BDF) e.V.

zu Kapitel 9

- [9.1] Porsche AG
Studie über Kosten schadstoffarmer Antriebskonzepte,
im Auftrag des Bundesministeriums des Innern
Stuttgart 1976

Europäische Gemeinschaften — Kommission

EUR 6030 — Möglichkeiten zur Verringerung der Stickoxidemissionen von europäischen Personenkraftwagen

TÜV Rheinland e.V., Zentralabteilung Verbrennungskraftmaschinen

Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften

1979 — I-XXVIII, 166 S. — 21×29,7 cm

Serie „Umweltschutz und Lebensqualität“

DE

ISBN 92-825-0770-X

Katalognummer: CD-NO-78-020-DE-C

BFR	DKR	DM	FF	LIT	HFL	UKL	USD
900	157,30	57	127	24 100	62	14.80	29

Die vorliegende Studie befaßt sich mit den Möglichkeiten zur Verringerung der Stickoxidemissionen europäischer Personenkraftwagen. Ein Schwerpunkt der Ausführungen liegt auf der Darstellung der heutigen Immissionssituation und des Abgas-Emissionsverhaltens des Bestandes an Personen- und Kombinationskraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland. Dabei werden auch die Auswirkungen der im Jahre 1971 in Kraft getretenen Abgasgesetzgebung untersucht und die in der Zukunft zu erwartende Belastung der Umwelt durch Kraftfahrzeugabgase abgeschätzt.

Darauf aufbauend werden Konzepte zur Abgasentgiftung beschrieben, die geeignet erscheinen, die für die Zukunft diskutierten Schadstoffgrenzwerte zu erfüllen.

Anhand der Literatur werden für verschiedene Konzepte die zu erwartenden Herstellungsmehrkosten angegeben. Es wird abgeschätzt, inwieweit diese Mehrkosten durch eine Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs ausgeglichen werden können.

**Salgs- og abonnementskontorer · Vertriebsbüros · Sales Offices
Bureaux de vente · Uffici di vendita · Verkoopkantoren**

Belgique - België

Moniteur belge — Belgisch Staatsblad

Rue de Louvain 40-42 —
Leuvensestraat 40-42
1000 Bruxelles — 1000 Brussel
Tél. 512 00 26
CCP 000-2005502-27
Postrekening 000-2005502-27

Sous-dépôts — Agentschappen:

Librairie européenne — Europese
Boekhandel
Rue de la Loi 244 — Wetstraat 244
1040 Bruxelles — 1040 Brussel

CREDOC

Rue de la Montagne 34 - Bte 11 —
Bergstraat 34 - Bus 11
1000 Bruxelles — 1000 Brussel

Danmark

J.H. Schultz — Boghandel

Møntergade 19
1116 København K
Tlf. (01) 14 11 95
Girokonto 200 1195

Underagentur:

Europa Bøger
Gammel Torv 6
Postbox 137
1004 København K
Tlf. (01) 14 54 32

BR Deutschland

Verlag Bundesanzeiger

Breite Straße — Postfach 10 80 06
5000 Köln 1
Tel. (0221) 21 03 48
(Fernschreiber: Anzeiger Bonn
8 882 595)
Postscheckkonto 834 00 Köln

France

*Service de vente en France des publica-
tions des Communautés européennes*

Journal officiel
26, rue Desaix
75732 Paris Cedex 15
Tél. (1) 578 61 39 — CCP Paris 23-96

Sous-agent

D.E.P.P. — Maison de l'Europe
37, rue des Francs-Bourgeois
75004 Paris
Tél.: 887 96 50

Ireland

Government Publications

Sales Office
G.P.O. Arcade
Dublin 1

or by post from

Stationery Office

Beggar's Bush
Dublin 4
Tel. 68 84 33

Italia

Libreria dello Stato
Piazza G. Verdi 10
00198 Roma — Tel. (6) 8508
Telex 62008
CCP 1/2640

Agenzia

Via XX Settembre
(Palazzo Ministero del tesoro)
00187 Roma

**Grand-Duché
de Luxembourg**

*Office des publications officielles
des Communautés européennes*

5, rue du Commerce
Boîte postale 1003 — Luxembourg
Tél. 49 00 81 — CCP 19190-81
Compte courant bancaire:
BIL 8-109/6003/300

Nederland

Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf

Christoffel Plantijnstraat, 's-Gravenhage
Tel. (070) 62 45 51
Postgiro 42 53 00

United Kingdom

H.M. Stationery Office

P.O. Box 569
London SE1 9NH
Tel. (01) 928 69 77, ext. 365
National Giro Account 582-1002

United States of America

*European Community Information
Service*

2100 M Street, N.W.
Suite 707
Washington, D.C. 20 037
Tel. (202) 862 95 00

Schweiz - Suisse - Svizzera

Librairie Payot

6, rue Grenus
1211 Genève
Tél. 31 89 50
CCP 12-236 Genève

Sverige

Librairie C.E. Fritze

2, Fredsgatan
Stockholm 16
Postgiro 193, Bankgiro 73/4015

España

Librería Mundi-Prensa

Castelló 37
Madrid 1
Tel. 275 46 55

Andre lande · Andere Länder · Other countries · Autres pays · Altri paesi · Andere landen

Kontoret for De europæiske Fællesskabers officielle Publikationer · Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften · Office for
Official Publications of the European Communities · Office des publications officielles des Communautés européennes · Ufficio delle pubblicazioni
ufficiali delle Comunità europee · Bureau voor officiële publikaties der Europese Gemeenschappen

Luxembourg 5, rue du Commerce Boîte postale 1003 Tél. 49 00 81 · CCP 19 190-81 Compte courant bancaire BIL 8-109/6003/300

HINWEIS FÜR DEN LESER

Alle von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten wissenschaftlichen und technischen Berichte werden in der Monatszeitschrift „**euro-abstracts**“ angezeigt. Das Abonnement (1 Jahr : BFR 1 500) ist bei der unten angegebenen Anschrift erhältlich.

BFR
900

DKR
157,30

DM
57

FF
127

LIT
24 100

HFL
62

UKL
14.80

USD
29



AMT FÜR AMTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN
DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

ISBN 92-825-0770-X

Boîte postale 1003 – Luxembourg

Katalognummer: CD-NO-78-020-DE-C