

# SCHADSTOFFEMISSION DES DIESELMOTORS UND DIE ABGAS-PRÜFVERFAHREN

Von

A. MEGGYES

Lehrstuhl für Kalorische Maschinen, Technische Universität Budapest

Eingegangen am 27. Oktober 1981

Vorgelegt von Prof. Dr. G. BASSA

## 1. Einleitung

Über die Luftverschmutzung durch Abgase der Fahrzeugmotoren wird oft und ausführlich berichtet. Die Luftverunreinigung durch Fahrzeuge entsteht in erster Linie durch Abgase von Ottomotoren, dem Dieselmotor fällt eine geringere Bedeutung zu.

Bei den Ottomotoren haben sich instationäre Prüfverfahren (z. B. Europäischer Fahrzyklus-Abgastest) durchgesetzt. Bei den Dieselmotoren wird aber wegen der Einfachheit angestrebt, die instationären Zustandsänderungen durch stationäre Betriebszustände zu ersetzen.

Durch stationäre Prüfungen kann auf den sehr großen Aufwand spezieller Fahrzyklus-Prüfstände für Großfahrzeuge verzichtet werden. Darum soll die Frage geklärt werden, wie weit die stationären Prüfverfahren die Genauigkeit der Abgas-Prüfung beeinflussen.

## 2. Die Abgas-Prüfverfahren der Dieselmotoren

Das bekannteste Prüfverfahren ist das sogenannte „Kalifornische Prüfverfahren“, wo die Abgasemission nach 13 Punkten bei bestimmter Reihenfolge untersucht wird [1].

Das Prüfprogramm des Kalifornischen Prüfverfahrens ist folgendes:

Prüfpunkt	Drehzahl	Last	Bewertungsfaktor
		„	„
		„	„
1; 7; 13;	Leerlauf	0	20
2	Drehzahl des	2	8
3	maximalen Dreh-	25	8
4	momentes oder	50	8
5	wenn höher, 60° „	75	8
6	der Nenndrehzahl	100	8

Prüfpunkt	Drehzahl	Last %	Bewertungsfaktor %
8	Nenndrehzahl	100	8
9		75	8
10		50	8
11		25	8
12		2	8

Das in der USA entwickelte Kalifornische Prüfverfahren hat sich in der ganzen Welt — nicht zuletzt durch die USA Exportorientierung der Hersteller — verbreitet.

Die weiteren Prüfverfahren basieren meist auf dem Kalifornischen.

So wird in der *ECE* (Europäische Wirtschaftskommission) ein Prüfverfahren nach den obigen 13 Punkten ausgearbeitet. Die *Empfehlung* von den zuständigen Organen *des RGW* (Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe) basiert auch auf den kalifornischen 13 Punkten. Nur die Bewertungsfaktoren sind entsprechend den europäischen Verhältnissen andere.

Auf Grund der gemessenen Emissionen und der Bewertungsfaktoren werden Schadstoffemissionen in g/PSh oder in g/kWh berechnet und können mit den angegebenen Grenzwerten verglichen werden. So sind z. B. die Grenzwerte nach der RGW-Empfehlung

für CO . . . 10 g/PSh (7,35 g/kWh)

CH + NO<sub>x</sub> . . . 16 g/PSh (11,76 g/kWh).

Die Prüfverfahren berücksichtigen die CO-, CH- und NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die Untersuchung der Rauchdichte wird meistens getrennt behandelt.

### 3. Das Emissionsverhalten von Dieselmotoren bei stationärem und instationärem Betrieb

Die Schadstoffemission ändert sich bei instationärem Betrieb oftmals bedeutend. Es wurde darüber in der Literatur [2; 3; 4; 5; 6] ausführlich berichtet. Hier werden nur die wichtigsten Schlußfolgerungen wiederholt.

Die Schadstoffemission ändert sich bei instationärem Betrieb in erster Linie infolge der Änderung der Brennraumtemperatur (Brennraumwandtemperatur). Die Brennraumtemperatur folgt der Last- und Drehzahländerung

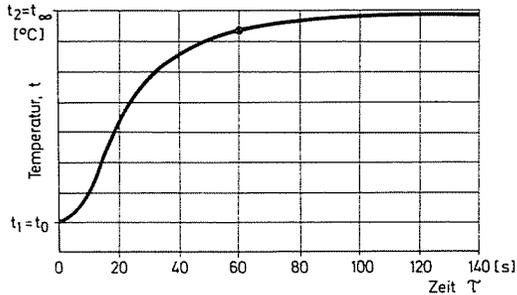


Abb. 1. Typische Änderung der Brennraumtemperatur bei Last- und Drehzahländerung

des Motors nur verspätet. Einen typischen Verlauf der Temperaturänderung bei plötzlicher Last- und Drehzahländerung zeigt Abb. 1. 90% der Endtemperatur wird in ca. 60 s erreicht.

Die Last- und Drehzahländerungen dauern nur wenige Sekunden, so daß die Brennraumtemperatur sich nur wenig ändert. So ist die Brennraumtemperatur bei instationärem Betrieb eine andere — meistens niedriger — als bei stationärem Betrieb.

Die niedrigere Brennraumtemperatur verursacht eine niedrigere  $\text{NO}_x$ -Emission, eine größere CH-Emission und etwas größere oder niedrigere CO-Emission. Die Unterschiede sind in der Nähe der Vollastkennlinie besonders deutlich.

#### 4. Betriebsverhältnisse des Fahrzeugdieselmotors und die Schadstoffemission

Für die Fahrzeugdieselmotoren gibt es kein instationäres Prüfverfahren. Deshalb wird angenommen, daß der allgemein anerkannte Europäische Fahrzyklus für Fahrzeugdieselmotoren auch gültig ist. Im Stadtverkehr sollen nämlich die LKW und Autobusse die Fahrweise von PKW annähern. Man kann dann auf Grund der Fahrzeugdaten (Masse, Beschleunigung usw.) und der Emissionskennfelder die „stationäre Abgasemission“ nach dem Europäischen Fahrzyklus berechnen. Die instationäre Abgasemission kann auf dem Fahrzyklus-Prüfstand ermittelt und mit der berechneten Emission verglichen werden. Der Nachteil dieser Methode ist, daß man nur den gesamten Unterschied ohne die einzelnen Ursachen sieht.

Eine andere Methode ist, daß man die instationäre Abgasemission auch berechnet, wozu die Brennraumtemperatur-Unterschiede und die dadurch entstehenden Emissions-Unterschiede bekannt sein müssen.

Abb. 2. und 3. zeigen den Verlauf einer Zylinderkopftemperatur während des Europäischen Fahrzyklus. Zum Vergleich wurden die größten und

niedrigsten stationären Temperaturen auch eingetragen, die während der Beschleunigung und des Leerlaufes auftreten. Aus den Diagrammen folgt, daß die Zylinderkopftemperatur während der Beschleunigung entsprechend Abb. 1. nur wenig steigt und bis zur nächsten Beschleunigung fast bis zum Leerlaufwert sinkt.

Im weiteren wird es angenommen, daß die Brennraumtemperatur sich ähnlich zur Zylinderkopftemperatur verhält.

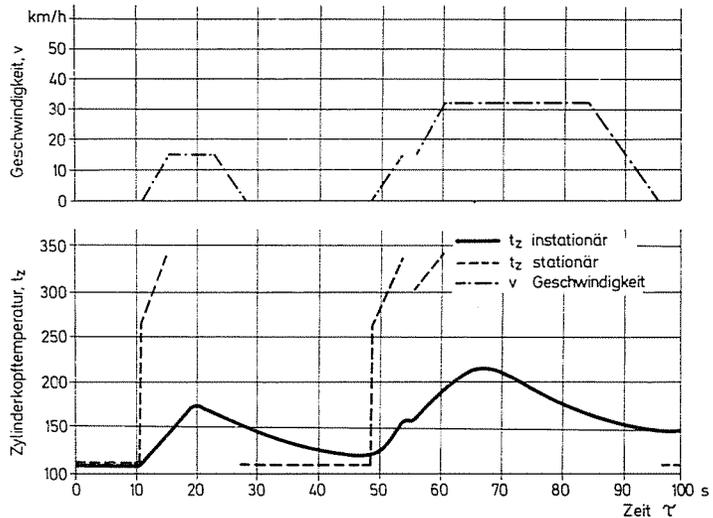


Abb. 2. Zylinderkopftemperatur während des Europäischen Fahrzyklus

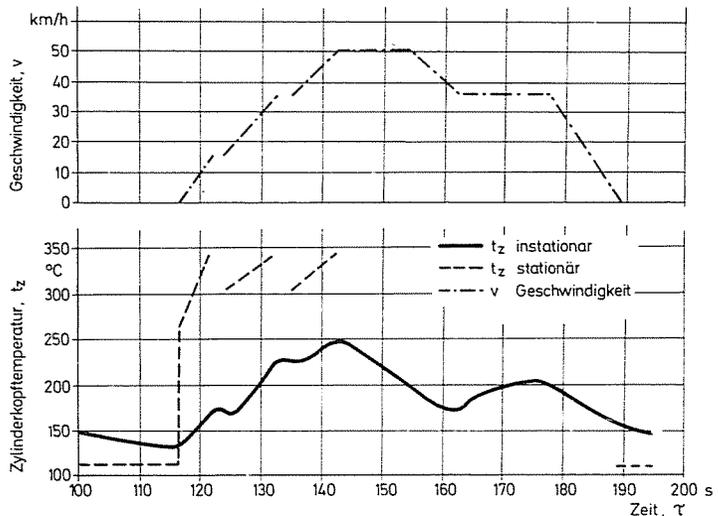


Abb. 3. Zylinderkopftemperatur während des Europäischen Fahrzyklus

## 5. Vergleich der stationären und instationären Emissionen

Sofern die instationären Temperaturen und ihre Auswirkungen für die Schadstoffemissionen [2] bekannt sind, können die instationären Abgasemissionen berechnet werden. Folgende Berechnung wurde auf Grund von Prüfstandmessungen durchgeführt. Motordaten:

Bohrung: 121 mm  
 Hub: 150 mm  
 Hubvolumen: 10,35 dm<sup>3</sup>

Sechszylinder, 4-Takt, Wasserkühlung, MAN-HM-Verfahren, Direkteinspritzung.

Für die Fahrzeugdieselmotoren ist die Vollastbeschleunigung typisch. Sogar die Dieselmotor-Fahrzeuge können die vom Europäischen Fahrzyklus vorgeschriebene Beschleunigung nicht erreichen. Bei Teillast und bei

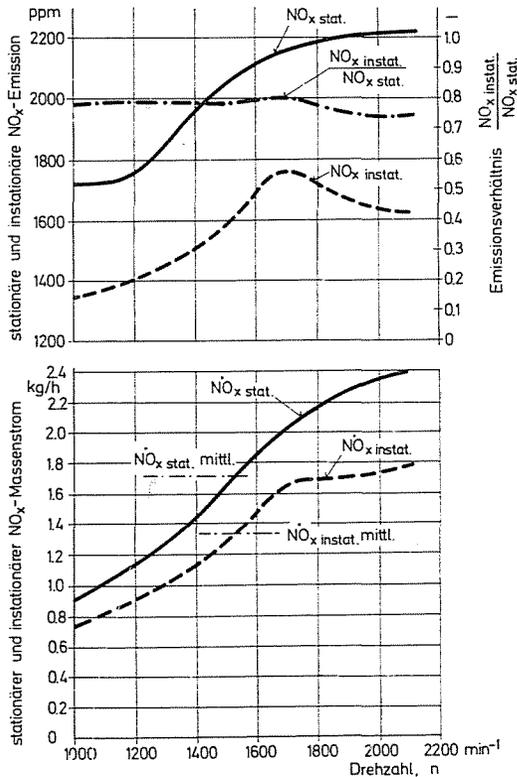


Abb. 4. NO<sub>x</sub>-Emission bei stationärem und instationärem Betrieb

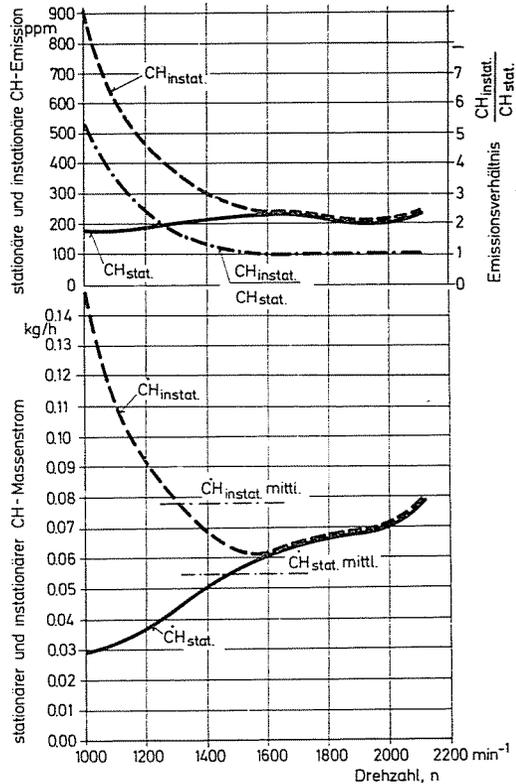


Abb. 5. CH-Emission bei stationärem und instationärem Betrieb

konstanter Geschwindigkeit sind die Emission-Unterschiede relativ klein, weil die Temperaturunterschiede auch relativ klein sind. Man verursacht also keinen großen Fehler, wenn man annimmt, daß die stationären und instationären Emissionen im obigen Fall gleich sind.

Während der Verzögerungsphase und des Gangwechsels wird kein Kraftstoff zugeführt, so daß keine Schadstoffemission entsteht.

Aus dem Obigen folgt, daß die Unterschiede bei instationärem Betrieb hauptsächlich während der Beschleunigungsphase entstehen. Deshalb ist die Emission während der Beschleunigung näher zu betrachten.

Abb. 4., 5. und 6. zeigen die  $\text{NO}_x$ -, CH- und CO-Emissionen bei stationärem und instationärem Betrieb für die Beschleunigungsphase, ferner ihr Verhältnis. Im unteren Teil der Diagramme sind die Massenströme zu sehen. Der Massenstrom sagt für die Umweltverschmutzung meistens mehr als der Momentanwert aus.

Die Diagramme zeigen bedeutende Unterschiede während der Beschleunigung. Die Beschleunigungsphasen bilden zwar einen sehr wichtigen

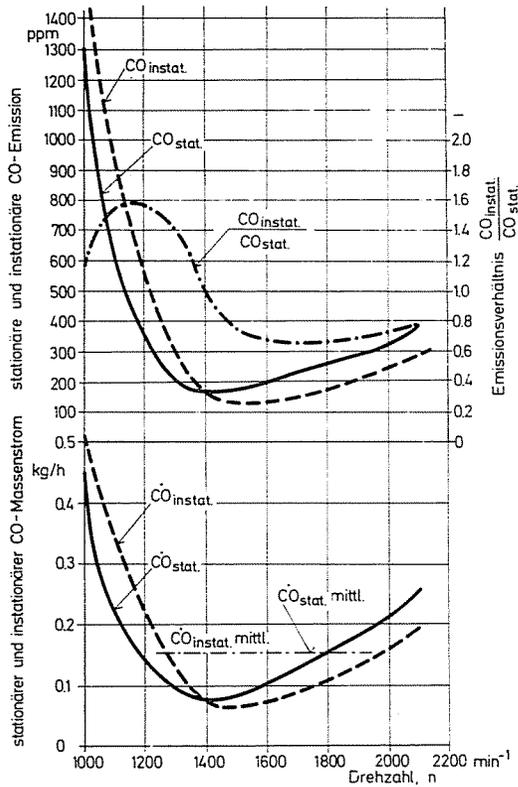


Abb. 6. CO-Emission bei stationärem und instationärem Betrieb

Teil des Europäischen Fahrzyklus aber sie betragen zeitgemäß nur 36 s von insgesamt 195 s, d. h. weniger als 19%. Weil die Emissionen der weiteren Phasen des Zyklus beim stationären und instationären Betrieb praktisch gleich sind, verursachen die Unterschiede während der Beschleunigung für die gesamte Schadstoffemission während des Zyklus viel weniger. Die Ergebnisse der Berechnung der Schadstoffemission zeigt folgende Tabelle:

	NO <sub>x</sub>	CH	CO
Emissionsverhältnis			
instationär/stationär	0,75-0,8	1-5,3	0,65-1,58
während der Beschleunigung			
Änderung der gesamten			
Schadstoffemission	-10%	+13,6%	0%
während des Zyklus			

Aus der Tabelle folgt, daß der Fehler weniger als 15% wird, wenn man die instationären Messungen durch stationäre ersetzt.

Zwar wurde in diesem Artikel nur ein Motor behandelt, der Verfasser hat jedoch bei anderen Motoren ähnliche Ergebnisse ermittelt.

### Zusammenfassung

Wenn die instationären Zustandsänderungen durch stationäre Betriebszustände ersetzt werden, verursacht man voraussichtlich weniger als 15% Fehler. Deshalb ist es zur Zeit nicht zweckmäßig, das Fahrzyklus-Prüfverfahren, d. h. spezielle teure Fahrzyklus-Prüfstände, für Großfahrzeuge einzuführen. Zuerst sollen die Fahrzeugdieselmotoren, die die Luft überdurchschnittlich verunreinigen, ermittelt werden, und danach darf an die Verfeinerung des Prüfverfahrens gedacht werden. Die Verfeinerung bedeutet aber nicht unbedingt instationäres Prüfverfahren. Man kann die instationären Verhältnisse z. B. durch Faktoren berücksichtigen. Es ist viel wichtiger, die Prüfpunkte und die dazu gehörenden Bewertungsfaktoren richtig zu bestimmen. Im speziellen Fall können sogar verschiedene Bewertungsfaktoren verwendet werden.

### Literatur

1. Federal Register Vol. 41, No. 101-Monday, May 24, 1976, p. 21292-21313 Control of air pollution from new motor vehicles and new motor vehicle engines: Certification and test procedures.
2. MEGGYES, A.: Beitrag zum Emissionsverhalten von Dieselmotoren bei instationärem Betrieb. MTZ 36 111 (1975)
3. MEGGYES, A.: Beitrag zur Messung der Abgastrübung von Fahrzeugdieselmotoren. Vortrag auf der XVII. FISITA-Konferenz Budapest, 1978.
4. MEGGYES, A.: Dieselmotorenrauch und die ECE-Regelung Nr. 24. Vortrag auf der Konferenz „KONMOT-78“ Polen.
5. MEGGYES, A.: Stationär eingestellte Dieselmotoren im instationären Betrieb. Vortrag auf der Konferenz „MOTOR SYMPO '79“ Tschechoslowakei.
6. MEGGYES, A.: Schadstoffemission von Dieselmotoren bei stationärem und instationärem Betrieb. Dissertation, Budapest 1978

Dr. Attila MEGGYES, H-1521 Budapest