

## Die unvollkommene Verbrennung im Kraftwagenmotor, ihre wirtschaftliche und hygienische Bedeutung.

Von Dr. W. LIESEGANG.

Preußische Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem.

(Eingeg. 22. Mai 1928.)

Es ist eine bekannte Tatsache, daß der dem Kraftwagenmotor zugeführte Betriebsstoff nur sehr unvollkommen ausgenutzt wird. Nach Dieterich<sup>1)</sup> beträgt die Brennstoffausnutzung bei ökonomisch arbeitendem Motor nur 20—23%, der Rest geht als Wärme und Verbrennungzwischenprodukte verloren. Solange das Automobil nur eine untergeordnete Rolle im Straßenverkehr spielte und sich dementsprechend der Gesamtverbrauch an flüssigen Brennstoffen nur in mäßigen Grenzen bewegte, war diesem Verlust wirtschaftlich keine große Bedeutung beizumessen. Das rasche Anwachsen der Kraftwagenzahl und der damit verbundene große Bedarf an flüssigen Brennstoffen hat auf dem Brennstoffmarkt vollkommen neue Verhältnisse geschaffen. Für viele Staaten ist die Frage der Versorgung mit Motorenbetriebsstoffen eine der wichtigsten Lebensfragen geworden, und in fast allen Ländern, die über keine eigenen Erdölvorkommen verfügen, hat man versucht, für das Benzin geeignete Ersatzstoffe zu finden, um sich vom Ausland unabhängig zu machen. Benzol und Spiritus werden heute für sich allein oder als Bestandteile von Brennstoffgemischen in großer Menge verbraucht, dagegen haben die Versuche, durch Änderung der Motorkonstruktion die außerordentlich hohen Brennstoffverluste zu vermeiden, bisher noch zu keinem praktischen Ergebnis geführt.

Diese Tatsache ist um so bedauerlicher, als nicht nur wirtschaftliche, sondern auch hygienische Belange eine Abstellung dieses Mißstandes dringend erfordern. Hand in Hand mit der Unwirtschaftlichkeit der Verbrennung im Kraftwagenmotor geht bei gehäustem Automobilverkehr in den Großstädten eine nicht mehr zu vernachlässigende Belästigung und Gesundheitsschädigung der Großstadtbewohner.

Auf die Auspuffgase der Automobile als einen besonders gesundheitsschädlichen Faktor des großstädtischen Verkehrs wurde bereits im Jahre 1907 auf dem internationalen Hygienekongreß in Berlin hingewiesen. 1911 erschien eine Arbeit von Korff-Petersen<sup>2)</sup>, in der die Giftigkeit der Auspuffgase sowohl durch chemische Untersuchung als auch durch Tierversuche festgestellt wurde. Seitdem hat die Zahl der Kraftfahrzeuge eine kaum gehahnte Steigerung erfahren. In Berlin z. B. waren behördlich gemeldet:

1910 rund 5 500 Kraftfahrzeuge		
am 1. Januar 1926	40 000	"
" 1. " 1927	51 000	"
" 1. " 1928	63 000	"
" 1. Mai 1928	70 000	"

Diese Zahlen geben einen Anhaltspunkt, in welchem Maße mit dauernd sich steigernder Vergiftung der Straßenluft in unseren Großstädten gerechnet werden muß. Hinzu kommt noch, daß die Brennstoffe, die früher auf den Markt kamen, nur geringe Mengen über 100° siedender Bestandteile enthielten, während die heute zur Verwendung kommenden Treibmittel sehr oft in der Hauptsache aus mittleren und Schwerbenzinen bestehen,

<sup>1)</sup> K. Dieterich, Die Analyse und Wertbestimmung der Motoren-Benzine, -Benzole und des Motor-Spiritus des Handels. Berlin 1915.

<sup>2)</sup> A. Korff-Petersen, Gesundheitsgefährdung durch die Auspuffgase der Automobile. Ztschr. Hyg., Infekt.-Krankh. 69, 135—148 [1911].

die naturgemäß viel schwerer und unvollkommener verbrennen und dementsprechend eine größere Menge giftiger Verbrennungsgase liefern müssen.

Um Anhaltspunkte über die Giftigkeit der Automobil-Auspuffgase zu gewinnen, die bei Verwendung der heute gebräuchlichen Betriebsstoffe entstehen, wurden auf Veranlassung des Ausschusses „Hygiene“ der „Studiengesellschaft für Automobilstraßenbau“ und mit Mitteln, die das Reichsverkehrsministerium zur Verfügung stellte, von der „Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene“ Untersuchungen an einem 4-Zylinder-Motor der „Protos-Automobilwerke“ ausgeführt. Der Motor war auf einem Prüfstand mit einem Pendelbremsdynamo direkt gekuppelt, so daß seine jeweilige Leistung leicht festzustellen war.

Bei Verwendung von Matalin, Stellin, Dapolin, Benzin-R., B. V.-Motorenbenzol und Monopolin als Brennstoff wurden Abgasproben bei Leerlauf, Anlauf und einer Geschwindigkeit von 10, 20 und 30 Std./km und 30 Std./km Vollgas entnommen. Die Kohlensäure wurde in der Buntebürette durch Absorption mit Kalilauge, der Sauerstoff mit alkalischer Pyrogallollösung und die schweren Kohlenwasserstoffe mit Bromwasser bestimmt. Im Gasrest vorhandenes Kohlenoxyd, Wasserstoff, Äthan und Methan wurden durch fraktionierte Verbrennung in der Quecksilberbürette von Ubbelohde und Czako festgestellt. Die bei den Einzelbestimmungen gefundenen Werte sind bereits veröffentlicht worden<sup>3)</sup>, es seien darum hier nur die Durchschnittswerte wiedergegeben.

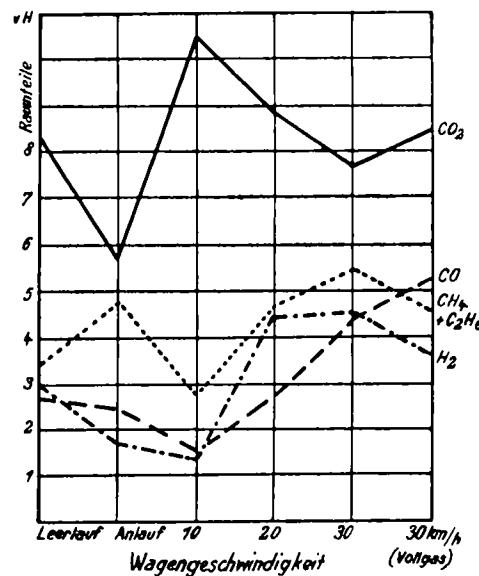


Abb. 1.

Abb. 1 zeigt den durchschnittlichen Gehalt der Abgase an Kohlensäure, Kohlenoxyd, Wasserstoff und Paraffinkohlenwasserstoffen bei verschiedenen Gangarten des Motors. Schwere Kohlenwasserstoffe waren in den Abgasen nur bei leerlaufendem und anlaufendem Motor enthalten und auch dann nur in geringer Menge.

Zu ähnlichen Ergebnissen führten auch andere Untersuchungen, die im Laufe der Zeit bekanntgeworden

<sup>3)</sup> W. Liesegang, Über Automobil-Auspuffgase, ihre Zusammensetzung und ihre gesundheitsschädlichen Eigenschaften. Technisches Gemeindeblatt 30, 86—91 [1927].

sind. Während K orff - Petersen 3,7% Kohlenoxyd und nur geringe Mengen von Methan, schweren Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff feststellen konnte, haben die neueren Untersuchungen übereinstimmend ergeben, daß der Prozentsatz der brennbaren Bestandteile der Automobil-Auspuffgase u. U. sehr hoch sein kann, und es ist anzunehmen, daß dieser Mehrgehalt an brennbaren Abgasbestandteilen wenigstens teilweise auf die schlechtere Beschaffenheit der Betriebsstoffe zurückzuführen ist.

Moeller und Büchting<sup>4)</sup> fanden bei ihren Analysen u. a.:

$$\begin{aligned} 6,3\% \text{ CO}, 3,0\% \text{ H}_2, 0,9\% \text{ CH}_4 &= 10,2\% \text{ brennbare Gase} \\ 7,9\% \text{ CO}, 3,7\% \text{ H}_2, 0,6\% \text{ CH}_4 &= 12,2\% \quad " \quad " \\ 1,6\% \text{ CO}, 1,8\% \text{ H}_2, 1,0\% \text{ CH}_4 &= 4,4\% \quad " \quad " \end{aligned}$$

Eingehend hat sich das Bureau of Mines in Pittsburgh<sup>5)</sup> mit Auspuffuntersuchungen an Automobilen befaßt, als es sich darum handelte, Unterlagen für die Belüftung des Straßentunnels unter dem Hudson zwischen New-York und New-Jersey zu gewinnen. Die Versuche sind an 100 Kraftwagen verschiedenster Art zu verschiedenen Jahreszeiten angestellt worden und zeigten, daß bei belasteten Wagen während der Fahrt bedeutend mehr Kohlenoxyd in den Auspuffgasen enthalten ist als bei Prüfstandversuchen. Die gefundenen Werte bewegen sich

$$\begin{aligned} \text{für Kohlenoxyd zwischen } 5,6 \text{ und } 9,2\%, \text{ Mittel } 7,1\%, \\ \text{ " Methan } 0,5 \text{ " } 2,2\%, \text{ " } 1,0\%, \\ \text{ " Wasserstoff } 2,0 \text{ " } 4,4\%, \text{ " } 3,2\%. \end{aligned}$$

Verhältnismäßig viel Kohlenoxyd wurde bei leerlaufendem Motor gefunden, ferner war der durchschnittliche Kohlenoxydgehalt der Auspuffgase im Sommer höher als im Winter.

Wie aus einer in derselben Arbeit mitgeteilten Versuchsreihe hervorgeht, ist das Vorkommen brennbarer Bestandteile in den Auspuffgasen auf die Einstellung des Vergasers zurückzuführen. Lediglich durch Änderung der Vergasereinstellung konnten an demselben Kraftwagen sehr verschiedene Mengen an brennbaren Abgasbestandteilen erzielt werden. Die niedrigsten und höchsten Werte betrugen:

$$\begin{aligned} \text{bei 5-Personen-Wagen } 0 \text{ bzw. } 5,6\% \text{ brennbare Gase} \\ \text{ " } 7 \text{ " } 1,4 \text{ " } 14,7\% \text{ " } " \\ \text{ " } \frac{3}{4}\text{-t-Lastwagen } 2,4 \text{ " } 16,8\% \text{ " } " \\ \text{ " } 3,5\text{-t- } 3,1 \text{ " } 16,5\% \text{ " } " \end{aligned}$$

Bei guter Vergasereinstellung ist die in den Auspuffgasen enthaltene Menge Wasserstoff und Methan praktisch ohne Bedeutung.

Die Untersuchungen lassen erkennen, daß die hohen Brennstoffverluste sich durch geeignete Maßnahmen wenigstens bis zu einem gewissen Grade vermeiden lassen. Solche Maßnahmen sind um so dringender geboten, da die Brennstoffverluste in den verkehrsreichen Straßen der Städte gleichbedeutend sind mit einer durch das Kohlenoxyd bedingten gesundheitlichen Schädigung.

Nach Fieldner<sup>6)</sup> liefert ein fahrender Kraftwagen bei einem Brennstoffverbrauch von 3,5 l in der Stunde durchschnittlich 1700 l Kohlenoxyd. Aus 1 Liter Brennstoff würden demnach 480 l Kohlenoxyd entstehen, während auf Grund der Prüfstandversuche bei entsprechend niedrigerem Kohlenoxydgehalt der Auspuffgase mit der Entstehung von nur 280 l Kohlenoxyd aus 1 Liter Brennstoff gerechnet werden konnte.

<sup>4)</sup> M. Moeller und Büchting, Die Abgaszusammensetzung von Explosionsmotoren. Der Motorwagen, 639 [1924].

<sup>5)</sup> A. C. Fieldner, A. A. Straub und G. W. Jones, Brennstoffverluste durch unvollkommene Verbrennung in Kraftfahrzeugen. The Journ. of Ind. and Eng. Chemistry 13, 51-58 [1921].

Meldau<sup>7)</sup> schätzt den Verbrauch an Benzin in Berlin bei einem Bestand von 50 000 Kraftfahrzeugen auf monatlich 8000 t, also auf 7 l pro Tag und Motor. Nimmt man diese Schätzung als richtig an, so werden heute in Berlin täglich rund 500 000 l Benzin verbraucht und somit 240 000 cbm Kohlenoxyd erzeugt, die der Straßenluft beigemischt werden.

Auch direkt ist wiederholt der Nachweis erbracht, daß die Straßenluft beträchtliche Mengen Kohlenoxyd enthalten kann. Soper<sup>8)</sup> fand in der Luft einer breiten, auf einer Seite durch einen Park begrenzten Straße 4,5% und im Mittel aus 91 Proben 1,1% Kohlenoxyd. Schlimmer liegen die Verhältnisse naturgemäß auf Straßen, die beiderseitig von hohen Häuserreihen eingeschlossen sind und in denen der Gasaustausch weniger rasch vorstatten geht.

Ganz besondere Vorsicht ist in Tunnels und Garagen geboten. Fieldner<sup>9)</sup> fand im Liberty-Tunnel, in dem stündlich 1000 Kraftwagen verkehren, bei einer Luftgeschwindigkeit von 3 sec/m 4% und zeitweilig 6-10% und einmal sogar 16% Kohlenoxyd. Bei Verkehrsbeamten wurden kollapsartige Erscheinungen und eine Sättigung von 35-45% des Hämoglobins mit Kohlenoxyd festgestellt.

Auch in Philadelphia hat man Blutuntersuchungen an Verkehrspolizisten ausgeführt und gefunden, daß nach achtstündigem Dienst 20-30% des Hämoglobins mit Kohlenoxyd gesättigt wären und die Symptome der Kohlenoxydvergiftung in Erscheinung traten. Ähnliche Untersuchungen sind mit dem gleichen Ergebnis auch in London und anderen Städten ausgeführt worden.

In Paris hat sich der Direktor des städtischen Untersuchungsamtes Kohn - Abrest<sup>10)</sup> mit der Untersuchung von Automobil-Auspuffgasen befaßt und gefordert, daß der Giftigkeitskoeffizient, d. h. das Verhältnis von Kohlenoxyd zur Kohlensäure ( $\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}$ ) in den Auspuffgasen den Wert von 0,01 nicht übersteigen soll. Die von ihm tatsächlich gefundenen Werte bewegen sich jedoch um die Zahl 1,0 herum und bestätigen somit die Annahme, daß bei fahrenden Automobilen bedeutend mehr Kohlenoxyd in den Abgasen vorhanden ist als bei Prüfstandversuchen, bei denen der Giftigkeitskoeffizient die Zahl 0,9 nicht überstieg und im Mittel nur 0,4-0,5 betrug.

Bei der außerordentlich starken Giftwirkung des Kohlenoxyds dürften die mitgeteilten Untersuchungsergebnisse genügen, um die lufthygienische Bedeutung des Kraftwagenverkehrs in den Großstädten hinreichend zu kennzeichnen. Um in Deutschland weitere Kreise in Industrie und Technik anzuregen, nach Mitteln zu suchen, die eine wirtschaftlichere Ausnutzung der Motortreibstoffe gewährleisten, beabsichtigt der „Verein zur Beförderung des Gewerbefleißes“ ein Preisauftschreiben zu veranstalten. Dieses Preisauftschreiben soll sich auch auf praktisch brauchbare Vorschläge erstrecken, die beim Verbrennungsvorgang die Entstehung giftiger Abgase ausschließen oder bereits entstandene giftige Gase vor ihrem Austrreten in die Atemluft vollständig beseitigen.

[A. 90.]

<sup>7)</sup> R. Meldau, Beiträge zur Frage des Rauches und Staubes in Großstädten. Monatsblätter des Berliner Bezirksvereins des VDI, 25-33 [1927].

<sup>8)</sup> A. Soper, Luft und Gesundheit. Proc. of the Amer. soc. of civ. eng., 1160-1165 [1925].

<sup>9)</sup> A. C. Fieldner, Yant und Satler, Natürliche Lüftung in den Liberty-Tunnels. Engineering News-Record 93, 290-291 [1924].

<sup>10)</sup> E. Kohn - Abrest, Nutzt Ihr Auto den Brennstoff richtig aus? Umschau 30, 1016-1018 [1926].