

Aus dem Gerichtlich-medizinischen Institut der Universität Bern  
(Direktor: Prof. Dr. med. *J. Dettling*)

## Zur hygienisch-toxikologischen Bedeutung von Bleistaub aus dem Auspuff von mit bleitetraäthyl- haltigem Benzin betriebenen Motoren<sup>1)</sup>

Von *J. Dettling*, Bern

### I.

In Amerika wurde äthylisiertes Autobenzin zuerst im Jahre 1923 im Staate Ohio eingeführt und erst im Jahre 1928 in Neuyork, als wiederholte gesundheitliche Untersuchungen und Kontrollen durch das amerikanische Gesundheitsamt die praktische Ungefährlichkeit dieses Gemisches im Betrieb bewiesen hätten.

Die amerikanischen Erfahrungen sind zusammengefaßt in den zahlreichen Publikationen des Kettering-Laboratoriums, Laboratorium für angewandte Physiologie, Medizinische Fakultät der Universität Cincinnati (Ohio) herausgegeben 1939. Es handelt sich hier um fortgesetzte Experimente und Untersuchungen chemischer und medizinischer Art über acht Jahre, durch die Bleispezialisten Dr. med. *A. Kehoe* und Dr. med. *W. F. Machle*. Einerseits wurden von diesen Laboratorien die Vorschriften für die Fabrikation und Mischung aufgestellt, andererseits wurden aber in einer gewaltigen Versuchsanordnung die praktischen Auswirkungen auf die Benutzer studiert und publiziert. Wenn wir diese große, grundlegende Literatur zusammenfassen, können wir folgendes sagen:

1. Dr. *Machle* berichtet, daß die zugelassene Zumischung von Bleitetraäthyl zum Benzin im Verhältnis von höchstens 1:1260 sich in bezug auf die Möglichkeit einer gesundheitlichen Schädigung durch Blei als harmlos erwiesen habe, so daß man sich hygienisch-medizinisch nur mehr mit den Mischern zu beschäftigen habe und den Arbeitern, die mit eventuellen Zersetzungsprodukten zu arbeiten haben.

2. Unter einer Schar von 1700 Leuten, welche in verschiedenen Raffinerien der Vereinigten Staaten von Amerika mit dem Mischen des bleitetraäthylhaltigen Fluids mit Benzin beschäftigt sind, wurde durch die medizinische Abteilung der Ethyl Gasoline Corporation kein Fall von Vergiftung festgestellt. Der amerikanische Bleispezialist Dr. med. *Robert A. Kehoe* hat zusammenfassend zuhanden des amerikanischen Gesundheitsamtes folgende Feststellungen gemacht:

---

<sup>1)</sup> Nachdruck aus: Archiv für Gewerbepathologie und Gewerbehygiene, Bd. 13, S. 624–636 (1955).

a) Gegenwärtig sei kein Grund vorhanden, anzunehmen, daß das Bleibenzin eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit mit sich bringe.

b) Durch zehn Jahre lange Erfahrung und kritische Untersuchung sei das Vorhandensein einer Gefahr, die sich für gewerbliche Tätigkeit oder für das Publikum allgemein aus der Gegenwart von kleinen Mengen Äthylbenzin in Autotreibstoffen ergeben könnte, nicht festgestellt worden.

Nach den Richtlinien der Medizinischen Abteilung der Ethyl Gasoline Corporation New York [enthalten in den Veröffentlichungen des Kettering-Laboratoriums für angewandte Physiologie, Med. Fakultät der Universität Cincinnati (Ohio)] sind spezielle Vorschriften verfaßt für den Umgang mit Ethylfluid und das Mischen aus Ethylfluidfässern sowie damit verknüpften Arbeiten; ferner Sonderbestimmungen für den Transport von Ethylfluid, das Vorgehen bei Tankreinigungen sowie Vorschriften für den Umgang mit Ethylfluid in Laboratorien; Maßnahmen zur Verhütung eines falschen Gebrauches von Bleibenzin, zum Beispiel zu Reinigungszwecken.

Von Anfang an wurde eine Anweisung für eine bestimmte *Färbung* der Bleibenzinarten und Konzentrationen von der Ethylgasoline Corporation herausgegeben, welche Vorschriften in einzelnen Ländern, so zum Beispiel in der Schweiz<sup>1)</sup>, weiterausgebaut wurden.

Bei der Aufnahme der Fabrikation wurden bereits 1924 schwere Vergiftungsfälle bekannt, worauf einzelne europäische Staaten, wie zum Beispiel auch die Schweiz, Zusätze von Bleitetraäthyl verboten; in den USA wurden ausgedehnte Untersuchungen, wie oben angegeben, durchgeführt; die Erzeugerfirma sorgte für Schutz ihrer Arbeiter bis zur Abgabe des gemischten Benzins für den Motorenbetrieb durch Vorschriften und ständige Überwachung durch eine zentrale ärztliche Stelle. Seither ist verbleites Benzin in den Vereinigten Staaten ununterbrochen in Betrieb, ohne daß uns eine größere bzw. beunruhigende Zahl von toxischen Schädigungen aus der Bevölkerung oder Arbeiter-

<sup>1)</sup> Entsprechende Vorschriften stehen in der Schweiz in der «Verordnung über den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen», mit der Ermächtigung des Eidg. Departements des Innern zum Erlaß der Vorschriften zum Schutz der Gesundheit bei der Herstellung, dem Vertrieb und der Verwendung bleihaltigen Benzins; soeben wird von der Eidg. Bleibenzin-Kommission folgende Präzisierung vorgeschlagen: «Um eine Verwechslung bleihaltigen Benzins mit bleifreiem zu verhindern, müssen die aufgeführten bleihaltigen Benzinarten stets deutlich gefärbt sein, und zwar:

Benzine, die bis zu 0,6 cm<sup>3</sup> Bleitetraäthyl je Liter enthalten:  
deutlich gelb (min. 1 $\frac{1}{2}$  NPA-ASTM Methode D 155) oder dann deutlich rötlich oder blau.  
Benzine, die mehr als 0,6 bis zu 1,5 cm<sup>3</sup> Bleitetraäthyl je Liter enthalten: grün, purpur oder braun.

Medizinal- oder Reinstbenzin sowie technisches Reinbenzin müssen wasserhell oder farblos sein. Eine allenfalls eben bemerkbare gelbliche Färbung darf folgende Tönung nicht überschreiten:

Farbe Lovobond (JP Methode 17) Methode «B»	oder	ausgedrückt als
Beim Import	max. 1	mg K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> /Liter Wasser max. 4
im Zeitpunkt der Verwendung	max. 2	max. 10

schaft, welche mit dem *Gemisch* in Berührung kommen, aus der Literatur bekannt wurden.

Hier wird aber nicht berichtet über toxikologische Beobachtungen bei der Erzeugung, der Mischung oder auf dem Transport oder auf Prüfstationen oder Tanks, sondern nur über die *Bleistaubfrage* aus dem Auspuff von mit bleitetraäthylhaltigem Benzin betriebenen Motoren.

In *England* wurde vor der erfolgten Einführung des äthylisierten Benzins eine großangelegte Kommission mit der Begutachtung betraut, worüber ein Finalrapport des britischen Gesundheitsministeriums von 1930 vorliegt (Ministry of Health of Great Britain, Final Report of the Departemental Committee on Ethyl Petrol).

Die Associated Ethyl Comp. Ltd. stellte bestimmte Vorsichtsmaßnahmen auf als Vorbedingung von Bleitetraäthyl und das Ministerium for Fuel and Power wollte durch Lizenzierung den Gebrauch zu allgemeinen gewerblichen Zwecken verhindern.

Wegen der *Frage der Einatmung von Staub* in Reparaturwerkstätten bzw. bei der Reinigung von Motoren usw. wurden 1929/30 in den USA ausgedehnte experimentelle Untersuchungen von 307 Versuchspersonen, darunter auch Autoschlossern, einer ärztlichen Beobachtung unterworfen mit chemischer Kontrolle des Bleigehaltes im Urin (im Vergleich mit Arbeitern, die nicht mit äthylisiertem Benzin in Berührung kamen); es ließen sich klinisch keine Anzeichen von Bleiaufnahme oder Bleivergiftung feststellen, auch nicht bei einer Gruppe von 50 Versuchspersonen aus dem Jahre 1927. Solche Untersuchungen wurden in verschiedenen Ländern durchgeführt, und so bestätigt zum Beispiel *Lind* (Kopenhagen) diese Untersuchungsergebnisse nach Untersuchung von 215 Tankwarten, Schlossern und Kraftwagenführern.

*Humperdinck*, früher Württembergisches Arbeitsmedizinisches Institut in Stuttgart, überwachte seit 1939 selbst 120 Monteure an Großmotoren. Eine Bleitetraäthylvergiftung oder eine Bleivergiftung hatte er jedoch noch nicht festgestellt. Geringe Zeichen eines Bleiträgertums konnte er nur bei solchen Schlossern und Monteuren feststellen, die Motoren auseinanderzunehmen und die sich ablagernde Bleirückstände zu entfernen hatten.

Es blieb und bleibt aber die Frage zu beurteilen, ob aus dem *Auspuff von mit Bleibenzin betriebenen Motoren* Bleipartikelchen zerstreut werden, ob es zu einer hygienisch untolerierbaren Vermehrung von Blei an bestimmten Zonen kommt, so daß wir uns in der Schweiz auch die Frage vorlegten, wie weit sich durch Auspuff eine Gefährdung in mehr oder weniger geschlossenen Räumen (zum Beispiel Souterrainräumen, Höfen, Tunnels usw.), engen Straßen und auf dem Kulturland bilden könnte.

Über Staubuntersuchungen in den USA wird vom Kettering-Laboratorium (bis 1939) mitgeteilt, daß man keine positiven Befunde hatte; es ist aus der zur Verfügung stehenden Literatur nicht ersichtlich, wie weit dieses Problem ver-

folgt werden konnte; eine bemerkenswerte Vermehrung von Blei im Organismus von exponierten Versuchspersonen sei nicht festgestellt worden, was darauf zurückgeführt wurde, daß in der Luft nur ein geringer Bleigehalt entstehe, daß das Blei nicht resorbiert werde und daß nur ein kleiner Teil von Staub in die Lungen gelange.

## II.

Als sich international ein geringer Zusatz von Bleitetraäthyl (in der Regel um etwa  $\frac{1}{2}\%$ ) als technisch zurzeit wirksames und bevorzugtes Antiklopfmittel durchgesetzt hatte, wurde im Jahre 1947 auch die Schweiz (als letztes Land mit größerem Benzinverbrauch) vor die Einführung dieses Treibstoffes für den öffentlichen Motorfahrzeugverkehr gestellt. Durch die vorausschauende Initiative von Prof. *Zangger* und die Vorsorge der Eidg. Gesundheitsbehörde waren aber rechtzeitig Grundlagen geschaffen für eine weitgehende eigene Überprüfung der Verhältnisse und für die Prüfung (und Einführung) ausgedehnter Sicherheitsmaßnahmen, speziell in Garagen und Werkstätten. Durch die zuständige Behörde wurde vorerst eine Expertise verlangt durch Prof. *Schläpfer*, Direktor der Eidg. Materialprüfungsanstalt, als technischem und dem Verfasser dieses Referates als medizinisch-toxikologischem Experten, in Verbindung mit anderen Instanzen. Durch Verordnungen und Richtlinien wurde das Menschenmögliche versucht, um etwa auftretenden Gefahren, die durch Unachtsamkeit oder Unkenntnis insbesondere bei den stärker exponierten Spezialarbeitern auftreten können, zu begegnen. Die Schweiz ist damit ein Land, in welchem weitestgehende Sicherungsmaßnahmen gesetzlich eingeführt wurden. Als die Schweiz «last but not least» die Verwendung von Bleibenzin auch für die zivilen Motorfahrzeuge freigab, setzte sie eine «Eidg. Bleibenzin-Kommission» ein aus Ärzten, Chemikern, aus Kreisen der Armee und des Straßenverkehrswesens, einerseits für Vorsichtsmaßnahmen, andererseits für ein weiteres Studium offengebliebener Fragen in diesem toxikologisch-hygienischen Komplex. Wir mußten uns der Stellungnahme von *Flury* und *Zernik* anschließen, wie sie in deren Lehrbuch «Schädliche Gase» (1931) festgehalten ist: «Die Frage der Schädlichkeit der Verwendung von bleihaltigem Benzin bzw. der Giftigkeit der Auspuffgase eines solchen Benzins ist jedenfalls noch nicht geklärt», nicht zuletzt auch gestützt auf die Warnung von *Heinrich Zangger*<sup>1)</sup>.

Die medizinische Sektion ging seither jeder (auch privaten) Meldung nach, verlangte, wenn nötig, eigene ärztliche Untersuchungen. Bestimmung des Blutbildes, chemische Untersuchungen des Urins usw. Im Zusammenhang mit der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt wurden die Schadenanzeigen gesammelt.

---

<sup>1)</sup> *Zangger, Heinrich*: Schweiz. med. Wschr. 1925.

Die mehr chemisch ausgerichteten Untersuchungen, hauptsächlich vorgenommen an der EMPA (Eidg. Materialprüfungsanstalt), bezweckten, abzuklären, in welchem Ausmaß der Umgang mit Benzin und sein Verbrauch Verunreinigungen durch Dämpfe des Bleitetraäthyls bzw. durch Produkte seiner Verbrennung an solchen Orten verursachen, wo diese Bleiverbindungen auf den menschlichen Organismus zur Einwirkung gelangen können. Sie hatte sich ferner mit der Frage zu befassen, in welcher relativen Menge, Zusammensetzung und Form die Bleiverbindungen beim Motorbetrieb mit den Verbrennungsgasen ausgestoßen werden.

Entsprechend dem Zweck der Untersuchung hatte sich letztere hauptsächlich auf die Orte des öffentlichen Motorfahrzeugverkehrs zu erstrecken, wo ein breiteres Publikum der Einwirkung von Motorabgasen ausgesetzt ist. Ferner waren Versuche durchzuführen an Orten, wo einzelne Berufsgruppen in besonders engen Kontakt mit Benzindämpfen und den Verbrennungsprodukten des Benzins kommen, wie dies insbesondere im Automobilgewerbe und im Benzinhandel der Fall ist. Es war festzustellen, welche Konzentration an Bleiverbindungen sich in der Atemluft dieser Orte befand.

Ferner waren daselbst sedimentierte Stäube auf ihre Bleigehalte zu untersuchen. Vergleichsweise waren analoge Bestimmungen in gewerblichen Betrieben durchzuführen, die normalerweise seit langem mit Blei und seinen Verbindungen arbeiten, um aus den dabei erhaltenen Zahlen eine relative Wertung der aus dem Bleibenzin stammenden Verunreinigungsgrade hinsichtlich ihrer Gefährlichkeit herleiten zu können. Schließlich war dieses Bild noch zu ergänzen durch die Feststellung der Bleigehalte an «bleifreien Orten», das heißt an Orten, welche nicht durch technische Verwendung von Blei oder Bleiverbindungen verunreinigt sind.

Toxikologisch war zu unterscheiden zwischen der Schädigung durch die Reinsubstanz beim Aufmischen von Treibstoffen und der Zumischung zu Benzin (Herstellung von «Äthylfluid»), denn für den Automobilbetrieb kommt zurzeit nur eine Konzentration von etwa  $\frac{1}{2}$  cm<sup>3</sup> je Liter Benzin bzw. eine Konzentration unter 0,6% Bleitetraäthyl in Frage. Über die eigenen Erfahrungen orientierte diese Kommission bis heute periodisch den Bundesrat der Eidgenossenschaft, und sie steht jetzt nach achtjähriger Erfahrung vor einem Schlußbericht mit neuer Antragstellung; dann wird es auch Gelegenheit geben, in der Fachpresse über diese Erfahrung weiterhin zu publizieren. Die vorliegende Mitteilung betrifft also nur einen kleinen, aber unter Umständen sehr bedeutsamen Ausschnitt, indem es sich darum handelte, möglichst eindeutig naturwissenschaftlich darzustellen, wieweit feste Bleipartikelchen aus solchen Motoren verpufft werden, ausgehend von dem medizinischen Prinzip, den Kontakt der Menschen mit Blei möglichst weitgehend zu verhindern; es stellte sich also die Frage, ob sich eine bedrohliche Zunahme von Bleiverbindungen auf der

Oberfläche von Straßen, des umgebenden Geländes, in bestimmten Räumen wie Tunnels, Höfen usw. ergebe.

Über die *chemische Zusammensetzung von Bleitetraäthyl als Reinsubstanz und des sogenannten Äthylfluids* (das «Ethylfluid» des Handels) sei hier zum besseren Verständnis der experimentellen Untersuchung folgendes zusammengefaßt:

1. Dem Auto- und Flugbenzin wird nie reines Bleitetraäthyl BTÄ, sondern sogenanntes Äthylfluid («Ethylfluid») beigemischt, eine Mischung von BTÄ mit Äthylenhalogeniden. Zweck dieser Maßnahme ist, das bei der Verbrennung des BTÄ gebildete PbO von geringem Dampfdruck in das leichter flüchtige PbBr<sub>2</sub> und PbCl<sub>2</sub> überzuführen, damit die Bildung von Belägen im Motor nicht zu groß wird und ein möglichst großer Prozentsatz des Bleis mit dem Auspuff ausgestoßen werde. Der Erfolg dieser Maßnahme ist jedoch (nach eigenen Untersuchungen der EMPA) kein 100%iger, da bestenfalls nur ein Zehntel bis ein Drittel des gesamten mit dem Benzin dem Motor zugeführten Bleis aus dem Auspuff ausgestoßen werden.

2. Die heutige chemische Zusammensetzung der beiden Äthylfluidarten der Praxis für Motoren.

	1-T Aviatonfluid für Flugbenzin	Ethyl (Q) Motorfluid für Autobenzine
Spezifisches Gewicht 20° C . . . . .	1,755	1,65–1,67
Gefrierpunkt ° C . . . . .	—10,5	—23
Bleitetraäthyl . . . . .	61,42 Gew.-%	63,30 Gew.-%
Äthylenbromid . . . . .	35,68 Gew.-%	25,75 Gew.-%
Äthylenchlorid . . . . .	0 Gew.-%	8,72 Gew.-%
Farbstoffpetrol . . . . .	2,90 Gew.-%	2,23 Gew.-%
Gehalt an Blei bzw. Gew.-%	39,40 Gew.-%	40,56 Gew.-%
Reines Bleitetraäthyl:		
Molekulargewicht . . . . .	323,4	
Spezifisches Gewicht 20° C . . . . .	1,66	
Gefrierpunkt ° C . . . . .	—156	
Siedepunkt ° C . . . . .	200	
Gehalt an Blei bzw. Gew.-%	64,07	

Die Angaben über BTÄ-Gehalt von Benzin beziehen sich nicht auf Ethylfluidgehalt, sondern stets auf reines BTÄ.

3. Bleigehalt des Benzins bei verschiedener «Aufbleiung».

BTA-Zusatz resp. Gehalt in cm <sup>3</sup> /Liter	Blei, berechnet je 1 Liter des Bleibenzins	Blei, berechnet je 1 Tonne = 1370 Liter Bleibenzin (d = 0,73)
	g	kg
0,1	0,1062	0,1455

Das Bleitetraäthyl als Reinsubstanz ist eine ölige, farblose, wasserunlösliche (löslich in Alkohol, Azeton, Fetten, Ölen, Lipoiden), relativ schwere Flüssigkeit mit eigenartigem, süßlichem Geruch, nicht unmittelbar ätzend. Bei gewöhn-

licher Temperatur besteht ein merklicher Dampfdruck, so daß 1 l Luft bei Dampfsättigung 5 mg Blei enthält. In der Luft, besonders unter dem Einfluß von Wärme und Licht, zersetzt es sich allmählich, indem durch Oxydation wasserlösliche Triäthyl-oxy-Blei- bzw. bei Gegenwart von Chlor- bzw. Bromkohlenwasserstoffen Triäthylchlorid- oder -bromid-Bleiverbindungen entstehen. Die Besonderheiten der Giftwirkung des Bleitetraäthyls gegenüber anderen (anorganischen) Bleiverbindungen beruhen auf seiner ausgesprochenen Fett- und Lipoidlöslichkeit. Es kann daher die Haut durchdringen und hat eine besondere Affinität zum Zentralnervensystem. Andererseits wird vermutlich Bleitetraäthyl im Gewebe über die schon erwähnten Äthyl-oxy-Verbindungen bis zu anorganischen Bleiverbindungen abgebaut. Nach *Kehoe* ist bereits nach 3 bis 14 Tagen die Verteilung des Bleis im Körper so, wie wir dies bei wasserlöslichen Verbindungen gewöhnt sind.

4. Im Motor verbrennen die 4 Äthylgruppen ( $C^2H^5$ ) des Bleitetraäthyls zu Wasser und Kohlensäure, das Blei zu Bleioxyd. Bleioxyd hat einen Schmelzpunkt von ungefähr  $900^\circ C$  und geht erst bei sehr hohen Temperaturen in Dampf über. Im Bereich der Verbrennungstemperaturen, die der Motor aufweist, könnte es sich daher nicht verflüchtigen, sondern würde sich im Motor ablagern. Deshalb wird Bleitetraäthyl nur in Mischung mit Brom- oder Chlorverbindungen (Äthylenbromid oder Äthylendichlorid) verwendet. Diese besitzen keine klopfhindernde Wirkung, sondern dienen dazu, das Blei als Bleibromid bzw. Bleichlorid zu binden, die bereits bei etwa  $800^\circ C$  verdampfen, so daß sie sich im Zylinder nicht niederschlagen können, sondern zusammen mit den Auspuffgasen den Motor verlassen.

Nach den Erfahrungen scheint nicht ohne weiteres Gefahr zu bestehen, daß etwa im normalen Motorenbetrieb Bleitetraäthyl dämpfe verpufft werden, sondern es kommen in erster Linie die Verpuffung von Bleistaub und die bleihaltigen Rückstände in den Motoren in Frage. Das Blei wird selbstverständlich im Motor nicht zerstört, sondern wird entweder niedergeschlagen im Motor- und Auspuffsystem oder erscheint im Auspuff. Wenn der Bleizusatz auch ein noch so geringer ist, so ergeben sich rechnerisch-theoretisch relativ große Mengen von Bleiverbindungen, welche mit der Zeit verpufft werden. Es stellte sich deshalb für die Öffentlichkeit die Frage, ob es verantwortet werden darf, eine zusätzliche Vermehrung von Blei auf der Erdoberfläche herbeizuführen, abgesehen von Bleiansammlungen in Räumen (Garagen, Tunnels usw.). Dazu kommt die Möglichkeit von Bleistaubentwicklung bei mechanischen Arbeiten an den Motoren. Ferner die Frage, ob das äthylisierte Benzin eine Gefährdung bedeute für die Arbeiterschaft beim Einatmen von Dämpfen beim Umgang mit äthylisiertem Benzin (Tankarbeiten, Defekte, Revisionen, Reparaturen usw.), bzw. es stellt sich eigentlich die Frage: Kann nach der Welterfahrung das äthylisierte Benzin für Motorfahrzeuge gleich behandelt werden wie das gewöhnliche Benzin?

## Elektronenmikroskopaufnahmen (EMPA)

Es handelte sich darum, zu untersuchen, in welchem Zustand (Teilchengröße, Form und Zusammensetzung) die beim Betrieb eines Motors mit Bleibenzin auftretenden Bleiverbindungen *im Flugstaub* mit den Auspuffgasen in die Atmosphäre gelangen. An der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Abteilung für Industriestaube und Abgase des Eidg. Polytechnikums (EMPA) wurden im Auftrage der Eidg. Bleibenzinkommission diese Untersuchungen durchgeführt durch Elektronenmikroskopaufnahmen (mit 10 000- bis 40 000facher Vergrößerung), Elektronenbeugungsdiagrammen (an den Elektronenmikroskoppräparaten), röntgenographischen und chemischen Analysen und Ultramikroskopaufnahmen. Zum Zwecke einer *biologisch-toxikologischen Orientierung über diese Flugstaubfrage* sollen hier die Versuchsergebnisse zusammengestellt werden, da es für die respiratorische Aufnahme von eventuellen «Bleistaubpartikelchen» wichtig ist, ob es tatsächlich gelingt, Blei in Auspuffgasen als festes Partikelchen nachzuweisen (die Frage, ob BTÄ-Dämpfe in die Atmosphäre von Räumen oder Plätzen kommen kann, ist damit nicht betroffen).

Es wurden bei diesen Spezialversuchen der EMPA die Benzinmotorabgase direkt am Auspuff auf einem Elektronenmikroskopobjektträger aufprallen gelassen, um die auf dem Träger haftenden Partikel im Elektronenmikroskop untersuchen zu können (zu diesem Zwecke wurde ein 5 bis 10  $\mu$  dicker Nitrozellulosefilmträger hergestellt. Ein Teil der Präparate wurde für die Aufnahme «beschattet» (s. Abb. 1 von Flugstaub eines Opel-motors, Bleibenzin); dies wurde erreicht, indem diese Präparate im Hochvakuum einem von einer punktförmigen Quelle ausgehenden Chromdampf ausgesetzt wurden. Im Negativ der Bilder erscheinen die belagfreien Partien als dunkle Schatten.

Die Versuche wurden durchgeführt:

1. mit einem Opel-motor auf dem Prüfstand der EMPA,
2. mit einem Armee-Jeep auf dem Rollprüfstand einer Garage.

An dieser Stelle soll hauptsächlich über die Versuchsreihe mit einem Opel-motor für die Festschrift von Herrn Prof. *Zangger* orientiert werden.

Der Opel-motor lief im dritten Gang mit etwa ein Viertel Vollgas und 1000 T/min, verbrauchte für 1 kg Benzin 14,2 kg Luft («mager» eingestellt); nach einem Betrieb von etwa einer halben Stunde wurde außen an der etwa 4 m langen Auspuffleitung ein vorbereiteter Elektronenmikroskopobjektträger während einer Minute in die Schwaden der Auspuffgase hineingehalten. Es wurde mit *Reinbenzin* ein *Kontrollversuch* eingeschaltet.

Ein elektronenmikroskopischer Befund der EMPA ist in nebenstehender Photographie (Abb. 1) festgehalten; es zeigen sich zahlreiche kugelförmige Partikel, seltener Aggregate von Teilchen; vereinzelt größere, weiße Flächen, ohne Schlagschatten.

Beim Blindversuch mit Reinbenzin fehlen die kugeligen Teilchen vollkommen!

Die kugeligen Partikel zeigen häufig Kanten bzw. Ecken; durch die Halbschatten wird visuell der Eindruck der Kugelform erweckt; es handelt sich

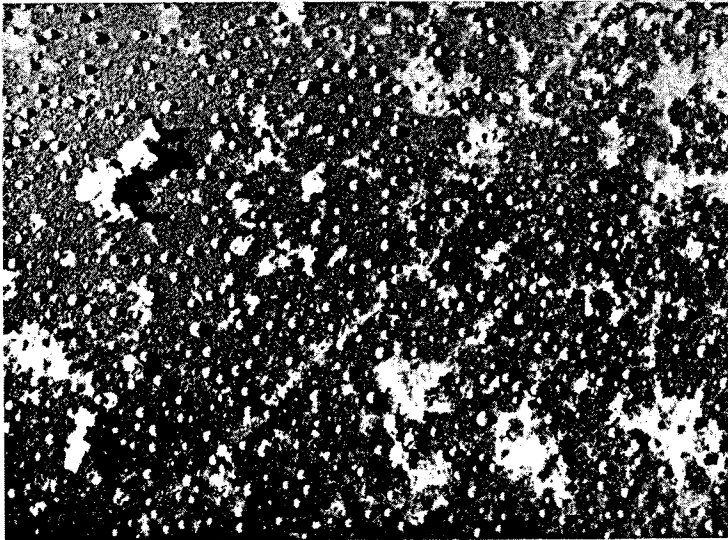


Abb. 1. Elektronenmikroskopaufnahme der EMPA, Auspuff aus Opelmotor, Bleibenzin: beschattet. Vergrößerung 40 000 : 1.

vielmehr um kleine, polyedrische Teilchen; es zeigen sich die Unschärfen des Randeffektes des Elektronenmikroskops; die Aufnahmen der EMPA ergeben, daß diese Partikel mit Sicherheit als *feste* Teilchen angesprochen werden müssen, bestätigt durch die Elektronenbeugungsaufnahmen. Da diese kugeligen Partikel in den Aufnahmen mit Reinbenzin fehlen, spricht dies für die Annahme, daß es sich um Bleipartikel handeln muß.

Die Teilchengrößen liegen im Bereich zwischen 10 und 100  $\mu$  (die flachen Partikelchen bestehen vermutlich aus Graphitteilchen – Ruß und Öltupfen).

Es wurden aus dem Opelmotor total 1349 Teilchen ausgezählt auf sieben Aufnahmen.

Bei den Versuchen mit einem «Jeep» wurde der Vergaser «sehr fett» eingestellt (0,18 cm<sup>3</sup> BTÄ je Liter Benzin. Auffangträger etwa 30 cm hinter der Auspufföffnung). Die Korngröße war zwischen 25 bis etwa 100  $\mu$ .  
Durchschnitt der Teilchen Durchmesser:

Opelmotor 30,6  $m\mu$  (Teilchenzahl 1349).  
Jeep 35,4  $m\mu$  (Teilchenzahl 1041).

Es bestand aber eine sehr große Streuung, was auf die verschiedenen Bedingungen des Niederschlages auf den Träger zurückzuführen ist.

Die Flugstaubproben wurden fernerhin röntgenographisch durch Elektronenbeugung und mikrochemisch untersucht; die Anwesenheit von  $PbSO_4$  (Anglesit, nicht wasserlöslich), ist durch diese Untersuchung sichergestellt (Befund 23,2% beim «Jeep»);  $PbBr^2$  (wasserlöslich) ist wahrscheinlich (etwa 9% chemisch erfaßbar); wahrscheinlich ist aber auch  $PbO$  vorhanden.

Es war versucht worden, mit Hilfe von Filtern aus Abgasen (gemessen mit dem Rotameter hinter dem Filter), aufgelöst in Azeton bzw. Benzol, Flugstaub zu fixieren (unter Verwendung von Kunstwachsfiltren oder Filtern aus Nitrosezellulose).

Die Gesamtmenge des auf den verwendeten Filtern (Kunstwachs und Nitrozellulose) erfaßten Flugstaubes lag im Bereich von 1,25 bis 1,5 mg Flugstaub je Kubikmeter.

Bei einem Bleigehalt (Mikroanalyse) von 21 bis 23% ergibt sich eine Bleimenge von 0,3 bis 0,6  $mg/m^3$ .

Die gefundenen Bleimengen waren wesentlich geringer als die in den früheren Untersuchungen (EMPA-Bericht Nr. 18886 vom 15. März 1950) chemisch bestimmten Gesamtbleimengen, welche im Bereiche von 3,7 bis 8,3  $mg Pb/m^3$  lagen.

Von der EMPA wird dieser wichtige Unterschied darauf zurückgeführt, daß mit der angewandten Filtermethode *nur* Partikel des Flugstaubes im Bereiche über etwa 5  $m\mu$  Durchmesser erfaßt wurden; abwärts muß die Filterleistung stark abgenommen haben. Der aus den Elektronenmikroskopbildern geschätzte Abscheidungsgrad der Filter von etwa 95% bezieht sich auf die in diesen Aufnahmen sichtbaren Teilchen; Auflösungsvermögen des Mikroskops etwa bei 5  $m\mu$ ; es muß deshalb der logische Schluß gezogen werden, daß der *Hauptanteil* des Flugstaubes noch wesentlich feiner ist als die isolierten Körner im Bereiche von etwa 5 bis 125  $m\mu$  (in diesem Bereiche lagen die Korngrößen auf den Elektronenmikroskopobjektträgern).

Die orientierenden chemischen Analysen der EMPA im Auftrage der Eidg. Bleibenzin-Kommission ergaben im abgeschiedenen Flugstaub einen Gehalt von etwa 30% Bleiverbindungen neben Ruß, Öl und anderen Verunreinigungen.

Die festgestellten Partikelgrößen im Bereiche unter 125  $m\mu$  Korndurchmesser weisen Sedimentationsgeschwindigkeiten unter  $5 \cdot 10^{-4}$  auf. Der Fallweg der größten Partikel (125  $m\mu$  Durchmesser) in absolut ruhiger Luft würde in einer Stunde 1,8 cm betragen. Der Bleigehalt von Autobenzinmotorabgasen direkt aus dem Auspuff in ein luftleeres Gefäß, von bestimmtem Inhalt ein-

gesogen, ergab bei den Bestimmungen der EMPA im Durchschnitt 17% des im Benzin zugeführten Bleis (der von Bau- und Betriebsart abhängige Bleiausstoß wird in der Literatur zwischen 15 und 35% angegeben).

Wie vorsichtig aber solche experimentellen Befunde auszuwerten sind, ergeben die Feststellungen der EMPA über den Bleigehalt in Sedimentstäuben auf motorisierten Straßen im Vergleich zu wenig befahrenen Feldstraßen: Eine Vergleichsbestimmung zeigte, daß die Bleigehalte im Sedimentstaub der Stadtstraße im Mittel rund hundertmal höher lagen als an bleifreien Orten (15 Monate nach Zulassung der BTÄ). Weitere Kontrolluntersuchungen wurden durchgeführt auf Gesimsen, in Arbeitsräumen, in Straßenluft, in Straßentunnels usw.

Um unbegründeten Beunruhigungen vorzubeugen, sei hier doch erwähnt, daß sich die Sedimentstäube in den Straßen (immer noch) als verhältnismäßig bleiarm erwiesen, gemessen an Sedimentstäuben aus metallverarbeitenden, nicht als bleigefährdet angesehenen Werkstätten. Sedimentstäube in effektiv bleigefährdeten Betrieben hatten um rund 2 Zehnerpotenzen, Garagestäube um rund 1 Zehnerpotenz mehr Blei.

Diese Befunde bleiben hygienisch-toxikologisch zu diskutieren wegen der Möglichkeit der respiratorischen Aufnahme solcher feiner bis feinsten (subelektronenmikroskopischen) Stäube, im Zusammenhang mit dem Studium der Anreicherung von Blei durch den motorisierten Straßenverkehr im Milieu der Straße, der Umgebung und der Werkstätten (ein Vergleich mit der Silikose drängt sich auf; in den Broncheolen, wo kein Flimmerepithel vorhanden ist, werden nach der Literatur Staubpartikel von Phagozyten aufgenommen, wenn Größen unter  $10 \mu$  vorliegen, am gefährlichsten zwischen 2 und  $0,5 \mu$ ; bei so feinen Stäuben des Motorenauspuffs ist naturgemäß eine relativ hohe Haftung im Bronchialsystem zu erwarten (es ergeben sich auch Gesichtspunkte in bezug auf cancerogene Wirkung). Aber diese feinsten Bleistaubpartikelchen im Auspuff von Motoren sind naturgemäß in äußerstem Grade den dreidimensionalen atmosphärischen Bewegungen unterworfen; noch weit mehr trifft dies zu für die noch feineren Anteile im Bereiche unter  $5 m\mu$ ; diese feinen Stäube müssen sich weitgehend gleich verhalten wie Gasschwaden (Verwirbelung, Verfrachtung über große Strecken).

Sedimentation einzelner Partikel ist nur in ganz geringem Maße vorstellbar; aber ein Aufprall der Auspuffschwaden auf den Boden kann zum Haften von Partikeln auf der Oberfläche der Straße führen, wie dies gerade auch die Elektronenmikroskopobjektträger zeigen; wenn auch die Abgase tangential verpuffen, so können Wirbel zum Niederschlagen führen; dann kommt die Möglichkeit des Wiederaufwirbelns, des Abregnens usw.; diese Befunde führen zu nötigen weiteren Sedimentuntersuchungen in mehr oder weniger geschlossenen Räumen von Gebäuden, von Hallen, Höfen, Gesimsen, Tunnels usw.

Solche Versuche wurden im Auftrage der Eidg. Bleibenzin-Kommission in einem Speziallabor der EMPA weitergeführt. Weitere Publikationen sind erst nach dem Vorliegen des offiziellen Gesamtberichtes zu erwarten.

#### Literatur

*Detting, J.*: Um die Einführung von bleitetraäthylhaltigem Benzin für Benzinmotoren, spez. des Automobils. *Ärztli. Mh.* 1948. – *Flury, F.* und *F. Zernik*: Schädliche Gase. 1931. – *Heim de Balsac, Agasse-Lafont et Feil*: Progrès méd. 1928 II, 1275–1276. – *Kehoe, R. A.*: *J. Clin. Med.* 6, 427 (1921). – *Kettering-Laboratorium*: Bleiaufnahme und Bleiausscheidung (in deutscher Sprache herausgegeben von der Ethyl GmbH, Berlin 1939, Springer-Verlag), mit Mitteilungen von *R. A. Kehoe* und *W. F. Machle*. Gutachten von *R. A. Kehoe, F. Thalmann* und *J. Cholak* über die Gefährdungsmöglichkeiten. *J. Ind. Hyg.* 16 (1934); 18 (1936). – *Römpp*: Chemie Lexikon. Stuttgart: Francksche Verlags-handlung 1950. – *Sayers, R. R., A. C. Fieldner, W. P. Yant* and *B. G. H. Thomas*: Experimental studies of the effect of ethyl gasoline and its combustions products. U. S. Bureau Mines, 1928. – *Zangger, H.*: Schweiz. med. Wschr. 1925. – In *Flury-Zangger*, Lehrbuch der Toxikologie, S. 260. 1928. – The use of tetra ethyl gasoline in its relation of public health (report committee). Publ. Health Service Bull. No. 163, 1926. – Final report of the department committee on ethyl petrol. Ministry of Publ. Health, London 1930. – Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA) Zürich. Bericht über Bleiverbindungen im Flugstaub aus Auspuff von Motoren (mit Bleibenzinbetrieben), 1951. Noch nicht publiziert. – Lit.-Übersicht in *Slg. Vergift.fälle, Arch. Toxikol.* 14, 490 (1955).

## Mitteilungen

### II. Internationaler Kongreß für Sozialmedizin

31. Mai bis 2. Juni 1957 in Wien

Das Thema des Kongresses lautet:

#### Universität und öffentliche Gesundheitspflege

Stellung und Aufgabe der Universität

Verschiedene einschlägige Fragen sollen auf dem internationalen Kongreß von weltbekanntesten Fachexperten diskutiert werden. Es ist beabsichtigt, nur einleitende Kurzreferate halten zu lassen und der freien Diskussion breitesten Raum zu geben.

Anfragen an das Sekretariat der Österreichischen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Sozialmedizin, Klinik *Prof. Dr. T. Antoine, Wien 9., Spitalgasse 23, Österreich.*

### 2<sup>nd</sup> International Congress for Social Medicine

31st May—2nd June 1957 in Vienna

The theme of the congress is as follows:

#### University and Public Health

The Place and Task of the University

Various questions concerning the above subject will be discussed at this meeting by world renowned experts. The aim for the program is to have only brief lectures and to devote the greater part of the time to discussion of the subject in question.

Informations can be obtained from: *Prof. Dr. T. Antoine, Spitalgasse 23, Vienna 9, Austria.*