

Untersuchungen über die Bleigehalte der Luft, verursacht durch bleihaltiges Autobenzin*

Von Dr. H. Preis

Im Zusammenhang mit der Zulassung bleihaltigen Benzins für den Automobilbetrieb in der Schweiz im Jahre 1947 wurde vom Bundesrat eine Expertenkommission eingesetzt, die sich unter anderem mit den hygienischen Belangen zu befassen hatte, welche die Verwendung gebleiteter Treibstoffe mit sich brachte. Diese Kommission erteilte der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) in Zürich den Auftrag, über die Art der Bleiverbindungen und deren Gehalte in der Atemluft an Orten des öffentlichen Verkehrs und in Räumlichkeiten des Automobilgewerbes anzustellen. Entsprechende Arbeiten wurden in den Jahren 1948 bis 1955 durchgeführt und umfaßten damit einen Zeitraum, innerhalb welchem der jährliche Verbrauch an Bleibenzin in der Schweiz um etwa das 2,2fache anstieg. Von vorneherein erschien es am Platze, die aufgetragenen Untersuchungen vergleichshalber zu ergänzen durch Bestimmungen der Bleigehalte an Orten, wo die Bleigefährdung aus langdauernder Erfahrung bekannt war.

Außer den festzustellenden Bleigehalten der Atemluft interessierte auch die Frage nach dem Retentionsgrad der Bleiverbindungen in den menschlichen Atemwegen und der Lunge. Da im Laufe der eingangs erwähnten Arbeiten eine zur Untersuchung dieser Frage weitgehend geeignete Versuchsmethodik ohnehin schon entwickelt worden war, wurden einige entsprechende Messungen angestellt, obschon derartige Untersuchungen zweifellos nicht in den normalen Aufgabenkreis eines Materialprüfungsamtes fallen.

Im Folgenden wird über die erwähnten Arbeiten berichtet, ohne ihre Ergebnisse in hygienisch-toxikologischer Hinsicht zu kommentieren. Nahezu alle Untersuchungen beziehen sich dabei auf Proben, die in der Stadt Zürich oder ihrer näheren Umgebung gewonnen wurden.

1. Gestalt und Größe der Bleiverbindungen in der Luft

Die dem Benzin zugesetzte Bleiverbindung ist das Bleitetraäthyl, $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ (abgekürzt: Btä), eine Flüssigkeit, die unter Normaldruck bei 183°C siedet und bei Raumtemperaturen Dampfdrucke unter 1 Torr aufweist. Beim Verdampfen von Benzin verflüchtigt sich auch das Btä. Hierbei gelangt es in molekularer Verteilung in die Luft. Es ist anzunehmen, daß es in diesem Zu-

* An den experimentellen Arbeiten waren die Herren A. Kathriner, F. Kislig, F. Arnet, H. Ehrsam und W. Zbinden beteiligt.

stande nicht lange existenzfähig ist, da es insbesondere unter Lichteinwirkung leicht oxydativ abgebaut wird. Dementsprechend dürften die Btä-Teilchen in der Luft, speziell unter dem Einfluß von Tageslicht, über verschiedene Zwischenstufen rasch in Bleioxyd umgewandelt werden, wobei letzteres einen ähnlich hohen Dispersionsgrad aufweisen muß, wie die primär vorhandenen Btä-Teilchen.

Btä wird dem Treibstoff stets zusammen mit Alkylhalogeniden beigemischt. Deren Gegenwart bewirkt, daß sich im Verbrennungsraum des Motors überwiegend aus dem Btä Bleihalogenide bilden, welche bei den daselbst vorherrschenden Temperaturen dampfförmig aus dem Zylinder ausgepufft werden. Ohne den Halogenidzusatz würden ausschließlich Bleioxyd und Bleisulfat entstehen, die, in Form fester Beläge an den Wänden des Verbrennungsraumes und den Ventilen niedergeschlagen, das Funktionieren des Motors bald beeinträchtigen müßten.

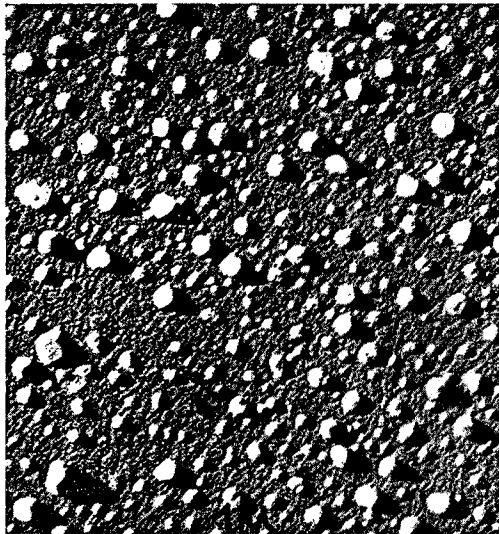


Abbildung 1: Elektronenmikroskopische Aufnahme des Flugstaubes im Auspuffgas eines mit Bleibenzin betriebenen Motors

Zur Bestimmung von Gestalt und Größe der Bleiverbindungen in den Auspuffgasen wurden die auf geeigneten Objektträgern aufgefangenen Partikeln von mit gebleitem und ungebleitem Benzin betriebenen Automotoren vergleichend elektronenmikroskopisch untersucht. Die in den vom Bleibenzin herührenden Auspuffschwaden vorhandenen, in den bleifreien Abgasen nicht auftretenden Partikeln (Bild 1), lagen vorwiegend als Einzelteilchen und nur selten als Agglomerate vor. Ihre Abmessungen bewegten sich zwischen etwa 100 mμ und der bei etwa 2 mμ befindlichen «Sichtbarkeitsgrenze» des Elektronenmikroskopes. Die größeren Teilchen waren deutlich polyedrisch, die kleineren

scheinbar kugelig, was aber bei der mit abnehmender Teilchengröße bei etwa $5\text{ m}\mu$ erreichten Grenze des Auflösungsvermögens des Elektronenmikroskopes nicht mehr sicher erkannt werden konnte. Wahrscheinlich ist, daß auch die kleineren Partikeln von ähnlich polyedrischer Gestalt waren wie die größeren. Auf jeden Fall zeichneten sich alle als Bleiverbindungen anzusprechenden Teilchen durch ähnliche Abmessungen in allen drei Raumkoordinaten aus und unterschieden sich damit deutlich von Rußpartikeln, die in Form meist sehr viel größerer Fragmente scheibchenförmiger, sechseckiger Plättchen gelegentlich im Elektronenmikroskop erschienen.

Daß die elektronenmikroskopisch beobachteten Teilchen wirklich Bleiverbindungen waren, folgte nicht nur aus ihrer Gegenwart im Auspuffschwaden des Bleibenzins, bzw. ihrem Fehlen im bleifreien Auspuffgas, sondern direkt auch aus entsprechenden Elektronenbeugungsdiagrammen. Die letzteren zeigten die Interferenzlinien der Bleihalogenide und des Bleisulfats.

Besonders bedeutsam erscheint die Teilchengröße der Bleiverbindungen. Statistische Auszählungen der Elektronenmikroskopobjekte unter Auftragen der Größenklassen der Teilchen gegen ihre Zahl ergaben Glockenkurven mit flachem Abfall gegen große Teilchenabmessungen und steilem Abfall gegen kleine Dimensionen hin, wobei die Teilchenzahlen sich erst mit Teilchengrößen im Gebiet abnehmender Leistungsfähigkeit des Elektronenmikroskopes wieder verringerten. Aus dieser Kurvenform folgt mit großer Wahrscheinlichkeit, daß die häufigsten Korngrößen der Bleistaubpartikeln tatsächlich im elektronenoptisch nicht mehr erfaßten Bereich und damit in der Größenordnung von $1\text{ m}\mu$ lagen. Vergegenwärtigt man sich, daß die Gitterkonstanten der in Frage kommenden festen Bleiverbindungen zwischen etwa $0,45$ und $0,95\text{ m}\mu$ betragen, so läßt sich schließen, daß die Hauptmenge dieser Verbindungen aus Teilchen besteht, welche nur aus wenigen Molekülen aufgebaut sind. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da ja die betreffenden Partikeln im Verbrennungsraum des Motors in homogener Gasreaktion aus molekular dispergierten Bleiverbindungen entstanden waren und beim Auspuffen außerordentlich rasch aus der Gasphase unter die Erstarrungstemperaturen abgeschreckt wurden, ihnen daher nur sehr beschränkte Zeiten zu ungestörtem Kristallwachstum verblieben.

Nimmt man die mittlere Dichte der betreffenden Bleiverbindungen zu 6 g pro cm^3 an, so errechnen sich die zum Durchfallen einer Strecke von 1 cm in vollkommen ruhiger Luft benötigten Zeiten für Teilchen mit $100\text{ m}\mu$ Korn Durchmesser zu etwa 80 Minuten, für Teilchen mit $5\text{ m}\mu$ auf rund 10 Tage. Diese Sedimentationsneigung verschwindet praktisch vollkommen im Vergleich zu den um viele Größenordnungen höheren Luftgeschwindigkeiten, verursacht durch Fahrzeuge, Wind und Thermik. Die Bleiverbindungen der im Auspuffgas beobachteten Teilchengrößen sind demnach zur Bildung außerordentlich feinteiliger Aerosole befähigt. Ihr überwiegender Anteil wird sich nach dem Ausstoßen in die Luft praktisch wie ein Gas verhalten.

2. Abscheidung der Bleiverbindungen aus der Luft

Eine wesentliche Voraussetzung richtiger Bestimmung von Mikromengen feindisperser Substanzen in Luft ist deren vollständige Abscheidung in den Probenahmegeräten. Soweit dabei reine Btä-Dämpfe in Betracht kommen, ist ihre quantitative Ausbringung in einfacher Weise dadurch zu erreichen, daß man die Luftproben in feiner Zerteilung durch wäßrige Jodlösung saugt, wobei die Bleiverbindung vom Jod oxydiert und vollständig in der Lösung zurückgehalten wird [1].

Leider erwies sich diese Methode nicht als spezifisch zur Probenahme von Btä-Dämpfen. In der Jodlösung wurde auch dann Blei gefunden, wenn Btä-freie, Auspuffgase enthaltende Luft durchgesogen wurde. Augenscheinlich hielt die Jodlösung auch einen Teil der feindispersen Bleiverbindungen anorganischer Art, wie sie im Auspuffgas vorliegen, zurück. Besonders in Garagenluft sind aber recht häufig neben Btä-Dämpfen auch die Bleisalz-Aerosole aus dem Auspuff anzutreffen, so daß eine differenzierte Erfassung von Interesse ist. Experimentell ließ sich diese Unterscheidung nicht erzielen. Dagegen wurde ein Korrekturfaktor ermittelt, indem unter den angewandten Bedingungen der Probenahme die Bleiausbringung der Jodlösung aus Luft mit bekannten Gehalten an feinteiligem Bleisalz-Aerosol bestimmt wurde.

Die außerordentliche Feinheit des bleihaltigen Aerosols ließ zunächst Zweifel an der Möglichkeit seiner quantitativen Abscheidung aufkommen. Die beim Beginn der aufgetragenen Arbeiten vorliegenden Literaturangaben widersprachen sich hinsichtlich der Ausbringungsgrade, welche mit ein und derselben Ausbringungsmethode erreichbar schienen. Fragwürdig erschien hiernach insbesondere die Anwendbarkeit des in den Vereinigten Staaten meist verwendeten Staubsammelgerätes, des Impingers [2]. Als geeignet erwiesen sich schließlich im Experiment zwei nach verschiedenen Prinzipien arbeitende Staubsammelmethoden: die elektrostatische Abscheidung und die Filtration. Für beide wurden Geräte gebaut. Der wesentliche Teil des elektrostatischen Abscheiders bestand aus einem etwa 4 cm weiten und 30 cm langen Glasrohr, in dessen Achse ein Draht gespannt und das mit einer Metallfolie ummantelt war. Zwischen Folie und Draht konnte eine Gleichspannung bis maximal etwa 30 kV angelegt werden. Das Filtergerät wies mehrere an flexibeln Schläuchen sitzende Ansaugetrichter auf, deren Eintrittsöffnung durch Filter abgedeckt werden konnten, wobei die letzteren durch Drahtnetze abgestützt und am Rande festgeklemmt wurden. Als Filter dienten gewöhnliche Analysenfilter (Schleicher und Schüll, 11 cm, Weißband oder Schwarzband), zumeist in doppelter Lage. In beiden Probenahmegeräten wurde die unmittelbar aus dem Freien auf die Stelle der Probeabscheidung gesogene Luft hernach über Staublenden als Dosimeter und Drosselklappen zur Regelung der Strömungsgeschwindigkeit geführt.

Der Ausbringungsgrad der Geräte wurde folgendermaßen geprüft:

Unter einem trichterförmigen Abzug brannte in einer Dochtlampe eine Mischung aus Alkohol und Bleibenzin mit bekanntem Gehalt an Btä. Die gesamten Verbrennungsgase wurden von der Spitze des Abzugstrichters weg durch das Probenahmegerät gesogen. Die im letzteren wiedergefundenen Bleimengen in Relation zum in der verbrannten Sprit-Benzin-Mischung enthaltenen Blei ergaben den Ausbringungsgrad. Bei beiden Geräten lag er im Mittel über 95 %.

Die von der Dochtlampe produzierten Bleistäube erwiesen sich bei elektronenmikroskopischer Betrachtung als von ähnlicher Feinheit, wie die Stäube im Auspuffgas. Es überraschte, daß Filter mit etwa tausendfach größerer Porenweite als die Korngröße des Filtergutes nahezu quantitative Ausbringung des letzteren bewirkten. Offensichtlich kann dafür kein eigentlicher Siebeffekt verantwortlich sein; als Ursache muß vielmehr die Prallwirkung angesehen werden, welcher die Staubteilchen bei hohen Geschwindigkeiten und vielfacher Richtungsänderung auf engstem Raum in der Fasertextur der Filter unterliegen. Das Prinzip des Impingements kommt hierbei in potenziierter Form zur Auswirkung.

Wegen seiner größeren Flexibilität und der handlicheren Form der damit gewonnenen Proben wurde für die weit überwiegende Zahl der Untersuchungen von Schwebestäuben das Filtergerät verwendet.

3. Analyse der bleihaltigen Proben

Wie bei allen analytischen Arbeiten im Milli- und Mikrogrammbereich waren besondere Vorsichtsmaßnahmen hinsichtlich der Sauberkeit von Geräten und Reagenzien erforderlich. So wurden die zum oxydativen Aufschluß der Proben verwendeten Säuren umdestilliert und, wie auch alle anderen ebenfalls speziell gereinigten Reagenzien, auf ihre Bleifreiheit getestet. Alle direkt mit Proben und Reagenzien in Berührung gebrachten Geräte bestanden aus Borosilikatglas oder Quarz. Häufige Blindproben dienten zur Sicherstellung der Reinheit von Geräten und Chemikalien.

Die analytische Bestimmung der kleinen Bleimengen wurde zumeist kolorimetrisch mit Diphenylthiocarbazon (Dithizon) als Farbagens durchgeführt. Die betreffenden Methoden sind bekannt und gut durchgearbeitet [3].

4. Bleigehalte der Luft

Die zur Bestimmung ihrer Bleigehalte entnommenen Luftproben wurden jeweils in Kopfhöhe über dem Fußboden angesogen. Auf Straßen und Plätzen geschah dies an den Orten des Fußgängerverkehrs (Trottoirs, Traminseln) in ein- bis mehrstündiger Dauer. Teilweise umfaßten die Probenahmen den Zeit-

abschnitt der mittäglichen Verkehrsspitzen. Die während der Probenahme an der Entnahmestelle vorbeifahrenden Motorfahrzeuge wurden gezählt. (Heute, 1957, dürften die entsprechenden Verkehrsfrequenzen bedeutend höher liegen, als 1949 und 1950, in welchen Jahren die betreffenden Arbeiten durchgeführt wurden.) Zumeist wurden die Probenahmen an ein und derselben Stelle wiederholt, um aus der Wiederholung ein Bild der durch die Zufälligkeiten der äußeren Bedingungen (Luftbewegung, Wetter usw.) verursachten Streuung zu erhalten. Die Tabelle 1 enthält Resultate der Untersuchung von Zürcher Straßenluft.

Tabelle 1: Bleigehalte von Zürcher Straßenluft

Ort der Probenahme	Anzahl Motorfahrzeuge pro Std.	Blei als Flugstaub μg pro m^3 Luft
Paradeplatz Kiosk	240	1,3
Paradeplatz Kiosk	350	0,8
Bellevue «Sternen»	650	0,9
Bellevue «Sternen»	800	1,7
Bellevue «Sternen»	460	0,7
Zürichbergstraße, Steigung	40	1,8
Zürichbergstraße, Steigung	30	4,9
Ulmergtunnel	620	3,5
Ulmergtunnel	290	4,3
Ulmergtunnel, Mitte	700	18,8
Rämistraße, Stützmauer	480	0,6
Rämistraße, Stützmauer	810	0,8
Bernerstraße Schlieren	350	0,05

Tabelle 2 führt die Bleigehalte in der Luft einiger voll im Betrieb befindlicher Garagen mit Wagenservice, Tankstellen und Reparaturwerkstatt an. Die Dauer der Probenahme von Garagenluft lag zwischen 1 und 8 Stunden.

Tabelle 2: Bleigehalte in der Luft von Garagen

Garage	Blei als Flugstaub μg pro m^3 Luft	Blei als Btä μg pro m^3 Luft
A	24,3	12,0
B	2,7	3,7
C	14,2	37,0
D	9,2	3,7
E	6,6	5,6
F	18,3	20,2
G	29,1	35,4
H	7,5	10,0

Vergleichsweise mögen die Werte der Bleigehalte in der Luft von Flugzeughallen und -werkstätten (Tabelle 3) interessieren. Im Gegensatz zum Automobilbenzin, dessen Verbleiung in der Schweiz erst seit 1947 zugelassen wurde, wies das Flugbenzin schon zwei Jahrzehnte länger Btä-Zusätze auf, wobei seine Gehalte mit etwa 1 ml Btä pro l Benzin und mehr von Anfang an beträchtlich höher lagen, als der im Mittel etwa bei 0,4 ml pro l liegende Btä-Gehalt schweizerischer Autobenzine (behördlich zugelassener Maximalgehalt: 0,6 ml Btä pro l). Dementsprechend erschien a priori die Gefährdung durch Flugbenzin gegenüber demjenigen Personal, das sich mit der Flugzeugbereitstellung und kleinen Revisionen am Motor zu befassen hatte, erhöht im Vergleich zu Garagearbeitern. Auch bot sich die Möglichkeit, diesen Gefährdungsgrad auf Grund vieljähriger Erfahrung abzuschätzen und in Relation zu den vorgefundenen Bleigehalten der Luft zu setzen.

Tabelle 3: Bleigehalte in der Luft von Flugzeughallen und -werkstätten

Ort der Probenahme	Arbeit, Dauer der Probenahme	Blei als Btä μg pro m ³ Luft
Hangar, Platz des Tankwartes	Tanken, 5–10 Min.	111
Hangar, Platz des Tankwartes	Tanken, 5–10 Min.	165
Hangar, Platz des Tankwartes	Tanken, 5–10 Min.	300
Hangar, Platz des Tankwartes	Tanken, 5–10 Min.	123
Hangar, Platz des Tankwartes	Tanken, 5–10 Min.	170
Hangar, Platz des Tankwartes	Tanken, beendet, 10 Min.	30
Hangar, Raummitte	Mittelwert über 1 Stunde	14
Instrumentenprüfraum	1 Stunde	5,5
vom Motorenprüfstand	1 Stunde	8
Vergaserprüfraum A	1 Stunde	229
schlecht belüftet	1 Stunde	238
Vergaserprüfraum B	1 Stunde	42
gut belüftet	1 Stunde	25

Die Zahlen der Tabelle zeigen, wie sich insbesondere beim Tanken örtlich hohe Spitzenwerte der Bleigehalte in der Luft einstellen können, wie diese Spitzen aber nur kurze Zeit andauern und rasch auf Werte abgebaut werden, die im Mittel vergleichbar sind mit denjenigen von Garageluft. Ursache für dieses «Wohlverhalten» ist die Großräumigkeit und die gute Lüfterneuerung in den Hangars. Da wo schlechte Belüftung herrscht, können sich aber enorm hohe Dauerkonzentrationen an Blei in der Luft einstellen. (Z. B. Vergaserprüfraum A, aus welchem ein Fall chronischer Bleivergiftung gemeldet wurde).

5. Bleigehalte im Sedimentstaub

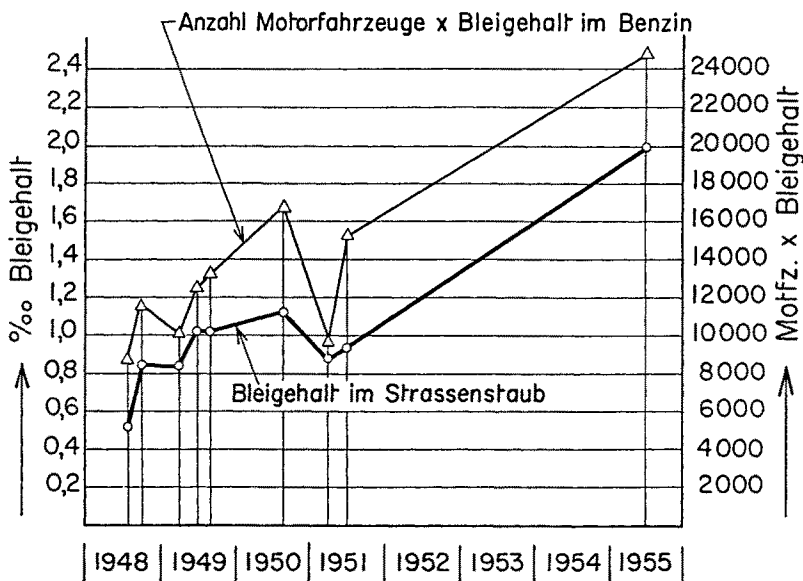
Die Bestimmung der Bleigehalte in sedimentierten Bodenstäuben von Feldstraßen, welche unberührt vom Motorfahrzeugverkehr geblieben waren, ergab Werte von 0,000 bis 0,018‰ Pb. (Bestimmungsfehler etwa $\pm 0,0005\%$.) Demgegenüber fanden sich im Sedimentstaub städtischer Straßen im Juli 1948, 14 Monate nach der Zulassung gebleiten Autobenzins, bis zu 100fach höhere Bleigehalte vor. Zweifellos ließen sich die letzteren nicht allein dem Bleibenzin zur Last legen. Vielmehr mußten schon vor der Einführung des Bleibenzins im Bodenstaub der Stadt gewisse, gegenüber den Werten vom offenen Land deutlich erhöhte Bleigehalte vorgelegen haben, primär herrührend von einer durch Gewerbe und Industrie verursachten Verunreinigung der Stadtluft mit Blei. Anders ließe es sich sonst nicht deuten, daß im Sedimentstaub mancher verkehrsarmer Straßen, an denen aber Blei verarbeitende handwerkliche Betriebe lagen (z. B. Oberdorfstraße), schon 1948 und später wiederholt mehrfach höhere Bleigehalte gefunden wurden wie im Staub maximal frequentierter Straßen. Da die vorliegenden Arbeiten erst etwa ein Jahr nach der Zulassung von Bleibenzin begonnen wurden, ließ sich die vom Autotreibstoff unbeeinflusste Höhe des Bleigehaltes im Sedimentstaub der Stadtstraßen leider nicht mehr ermitteln.

Bei der sehr feinen Dispersion der bleihaltigen Schwebstoffe im Auspuffgas erscheint es zunächst überraschend, daß doch ein merklicher Anteil derselben im sedimentierten Bodenstaub anzutreffen ist. Es ist dies wohl so zu erklären, daß die in die bodennahen Luftschichten oder direkt gegen den Boden ausgepufften Verbrennungsgase mit den daselbst immer vorhandenen Sedimentstäuben in Kontakt kommen, wobei sich Bleistaubpartikeln an den gröberen Teilchen der Straßenstäube anlagern und mit diesen zusammen sedimentieren oder zumindest längere Zeit in bodennahen Luftschichten verbleiben können.

Da die Sedimentstäube vom Fahrwind und der natürlichen Luftbewegung immer wieder aufgewirbelt werden und damit in die Atemluft gelangen, stellte sich die Frage, ob in ihnen nicht mit der Zeit eine Anreicherung an Bleiverbindungen eintritt.

Zur Abklärung dieser Frage wurden an 19 verschiedenen Orten Zürichs auf Straßen und Plätzen in größeren und kleineren Zeitabständen von 1948 bis 1955 jeweils immer an den gleichen Stellen Sedimentstaubproben gesammelt und deren Bleigehalte bestimmt. Der tiefste hierbei beobachtete Einzelwert lag bei 0,10‰, der höchste bei 7,0‰ Blei im Staub. Der zeitliche Gang der Mittelwerte der Bleigehalte im Bodenstaub ist in der Abbildung 2 graphisch wiedergegeben. Die Darstellung enthält einen zweiten Linienzug als angenähertes Maß für den momentanen Bleiausstoß im Zeitpunkt der Probenahme, errechnet als Produkt aus dem jeweiligen Motorfahrzeugbestand im Kanton Zürich und dem mittleren Bleigehalt im Autobenzin, letzterer den laufenden Kon-

trollen der EMPA entnommen. Beide Linienzüge zeigen einen deutlichen Gleichlauf: in der ersten Zeit steilen, später merklich verflachten Anstieg und jahreszeitlich abhängige Schwankungen. Die letzteren lassen sich aus dem verminderten Fahrzeugbetrieb der Wintermonate, teils auch aus dem geringeren Bleigehalt der (alkoholhaltigen) Winterbenzine erklären. Die allgemein steigende Tendenz der Kurve spiegelt die Zunahme des Benzinverbrauchs und damit des Bleiausstoßes wieder. Aus dem Gleichlauf der beiden Linienzüge ergibt sich die folgende Feststellung:



Eine Akkumulierung des Bleis in den Bodenstäuben findet nicht statt. Wäre dies der Fall, so müßte der Linienzug der Bleigehalte in steilem Anstieg von der Kurve des momentanen Bleiausstoßes weglaufen. Regen, Wind und Straßenreinigung sorgen offenbar dafür, daß sich eine Art Gleichgewicht zwischen der ausgepufften und der im Bodenstaub befindlichen Bleimenge ausbildet.

Für geschlossene Räume darf in erster Näherung wohl angenommen werden, daß die Bleigehalte der darin befindlichen Sedimentstäube Proportionalwerte der mittleren Bleigehalte in der betreffenden Raumluft sind. Anders wie die Bodenstäube der Straßen unterliegen die Sedimentstäube geschlossener Räume nicht notwendigerweise einer ständigen Erneuerung, so daß sich in ihnen gewissermaßen ein Integralwert der zeitlich schwankenden Bleigehalte in der Luft der betreffenden Räume widerspiegelt. Es lag daher nahe, die Bleigehalte von Sedimentstäuben aus Garagen und Autoreparaturwerkstätten zu vergleichen mit den Bleianteilen der Stäube aus Handwerker- und Gewerbebetrieben, in welchen sich, herrührend aus dem Umgang mit Blei und seinen

Verbindungen, jedoch ohne Dazutun von Bleibenzin, auf dem Wege über die Raumluft Blei niedergeschlagen hatte. Vergleichbar mit diesen Werten erschienen im weiteren auch die Bleigehalte von Sedimentstäuben, die sich auf wettergeschützten, an Straßen liegenden Fassadenteilen abgesetzt hatten. In allen Fällen wurden diese Staubproben auf etwa kopfhohen Sims an solchen Orten gesammelt, die offensichtlich keiner periodischen Reinigung unterlagen. In Werkstätten wurde hierbei besonders darauf geachtet, daß die Stäube keinen Kehricht von Werkbänken und Böden enthalten konnten. Die Tabelle 4 enthält eine summarische Zusammenfassung der Resultate solcher Sedimentstaubuntersuchungen.

Tabelle 4: Vergleich von Bleigehalten im Sedimentstaub

Ort der Probenahme	Anzahl Proben	% Blei im Staub		
		höchster Einzelwert	niedrigster Einzelwert	Mittelwert
Straßen Zürichs	6	3,2	0,5	1,4
7 Werkstätten	15	120	4,0	18,9
11 Garagen	22	73	1,2	16,1
3 Bleischmelzräume	6	390	195	303

6. Versuche zur Bestimmung des Retentionsgrades von Btä in Atemwegen und Lunge

Es wurde eine Versuchseinrichtung aus zwei Strängen aufgebaut, deren jeder am Anfang einen Frittenabsorber nach Snyder[1], hierauf eine Gasuhr und am Ende eine Saugvorrichtung mit regelbarem Ansauge-Unterdruck umfaßte. Die Eintrittsöffnung des einen Frittenabsorbers wurde mittels einer kurzen Rohrverbindung aus Glas, in welcher ein pfeifenartiger Sack als Speichelabscheider eingefügt war, mit dem Munde der Versuchsperson verbunden. Als eigentliches Mundstück diente ein kurzer Gummischlauch, der beim Einatmen mit den Zähnen oder Lippen zugequetscht oder mit der Zunge verschlossen werden konnte. Eingeatmet wurde frei durch die Nase, ausgeatmet durch den Mund in den einen Meßstrang hinein. Die Eintrittsöffnung des zweiten Absorbers befand sich etwa 10 bis 20 cm von der Nase der Versuchsperson entfernt in Kopfhöhe. Durch sie wurde Raumluft von derselben Art angesogen, wie sie von der Testperson während der Dauer des Versuches eingeatmet werden mußte. Die ganze Versuchsanordnung befand sich in einem etwa 30 m³ großen geschlossenen Raum, in welchem durch Verdampfen von Flugbenzin und Luftumwälzung eine für die Versuchszwecke geeignete, gleichmäßige Konzentration von Btä-Dampf in der Raumluft hergestellt worden war. Nachdem sich die Versuchsperson an das Mundstück des einen Meßstranges

gesetzt hatte, wurde in beiden Meßsträngen mittels der Saugvorrichtung eine gleiche mittlere Durchsatzgeschwindigkeit der Luft einreguliert. Hierbei fiel der Saugvorrichtung in der Ausatemstrecke die Aufgabe zu, den beträchtlichen Luftwiderstand der Fritte praktisch auf Null zu reduzieren. Um den stoßweisen Durchtritt der ausgeatmeten Luft etwas auszugleichen, befanden sich zwischen der Fritte und der Saugvorrichtung mehrere größere, als Puffer wirkende Gefäße, durch welche eine hinreichende Egalisierung des Luftdurchtritts erreicht wurde. Beide Meßstränge waren jeweils innerhalb ein und desselben Versuches praktisch gleich lang im Betrieb und es wurde durch sie auch annähernd die gleiche Luftmenge durchgeschleust.

Tabelle 5: Retentionsgrad von Bt̄-Dampf in Lunge und Atemwegen

Testperson Nr.	körperliche Leistung in Watt	Atem- geschwindigkeit m ³ pro Std.	Bleigehalt der eingeamteten Luft µg pro m ³	Retentions- grad %
1	0		200-300	60,9
2	0		200-300	57,2
3	0		200-300	54,7
3	0		200-300	58,7
4	0		200-300	58,3
4	0		200-300	59,5
5	0		200-300	57,3
				<i>Mittel: 58,0</i>
2	0	0,83	100	54,1
3	0	1,33	100	60,7
1	0	1,36	100	60,0
1	0	1,09	100	62,5
5	0		100	57,1
				<i>Mittel: 58,4</i>
3	100	1,79	100	70,6
1	100	1,50	100	71,5
4	100	1,80	100	68,3
6	100	1,60	100	67,6
				<i>Mittel: 68,8</i>

Es wurden drei Versuchsserien mit insgesamt sechs verschiedenen Testpersonen durchgeführt. Hierbei wurden die Bleikonzentration in der Luft und die Atemtiefe variiert. Zu letzterem Zweck wurde ein Teil der Versuche ausgeführt, während die Testpersonen entspannt saßen. Bei einem anderen Teil der Versuche hatten die Testpersonen auf einem sogenannten Ergometer (stationäres Velo mit gebremster Tretvorrichtung und meßbarer Tretleistung) während des Versuches körperliche Arbeit zu leisten.

Die Versuchsergebnisse sind in der Tabelle 5 zusammengefaßt. Es ergibt sich aus ihnen, daß Änderungen der Bleikonzentration in der Luft im Bereiche zwischen 100 und 300 μg pro m^3 auf den Retentionsgrad praktisch keinen Einfluß ausüben. Dagegen bewirkt gesteigerte Atemtiefe einen merklichen Anstieg des Retentionsgrades.

Zusammenfassung

Durch den Verbrauch bleihaltigen Automobilbenzins gelangen Bleiverbindungen in weiter Verbreitung in die Luft. Teilchengröße und -gestalt dieser Verbindungen wurden bestimmt, Methoden zu ihrer Abscheidung untersucht und Bleikonzentrationen in der Luft von Straßen und Garagen ermittelt. Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch vergleichende Bestimmungen der Bleigehalte in Sedimentstäuben von Straßen, Garagen und autofreien Gewerbebetrieben, wobei die Änderung der Bleigehalte im Straßenstaub über mehrere Jahre verfolgt wurde. Ferner wurden einige Versuche über die Retention von Bleitetraäthyl dampf in Lunge und Atemwegen angestellt.

Summary

Lead compounds are being largely distributed in the atmosphere by the consumption of leaded fuels in combustion engines. The particle size and shape of these compounds were determined, methods for their collection were investigated and lead concentrations in the air of streets and repair shops were tested. These investigations were accomplished by comparative determinations of lead contents in sedimented dusts from streets, repair shops and automotiv-free industrial plants, registering the alteration of lead contents in the dust of streets during several years. Furthermore some tests concerning the retention of tetraethyl lead in the lung and the breathing tract were made.

Literaturzitate

- [1] *Snyder, Barnes and Tokos*: Determination of Lead in Air. Anal. Chem. 20, 772 (1948).
- [2] *Greenburg and Smith*: A new Instrument of Sampling Dust. U.S. Bureau of Mines, Rep. Invest. Nr. 2392 (1922).
Keenan and Fairhall: The absolute Efficiency of the Impinger and of the Electrolytic Precipitation in the Sampling of Air containing Metallic Lead Fume. J. Ind. Hyg. Toxicol. 26, 241 (1944).
M. B. Jacobs: Industrial Poisons, Hazards and Solvents. Interscience Publishers, Inc., New York, 1944.
- [3] Vgl. z. B.: *E. B. Sandell*: Colorimetric Determination of Traces of Metals. Interscience Publishers, Inc., New York, 1944.

Zürich, 7. Juni 1957.