

Schwebestaub-, Blei- und Benzpyrenimmissionen in der Stadt Zürich

Verena Turrian, H. U. Wanner, B. Magyar, M. Suter und A. Deuber

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
(Dir. Prof. Dr. med. E. Grandjean)

1. Einleitung

Das Ausmass der Schadwirkungen von Luftverunreinigungen ist nicht allein von den Emissionsquellen abhängig. Die klimatischen und topographischen Verhältnisse der exponierten Gegenden spielen eine ausschlaggebende Rolle für die Luftverfrachtungen und dementsprechend auch für die Verdünnung der verschmutzten Luft. Ebenso wichtig sind die meteorologischen Einflüsse, die vor allem bei austauscharmen Wetterlagen (Inversionslagen) zu kritischen Fremdstoffgehalten der bodennahen Luft führen können.

In der vorliegenden Arbeit haben wir uns die Frage gestellt, welche Luftverunreinigungsverhältnisse über Zürich vorliegen, welche allgemeinen Trends erkennbar sind und ob bedrohliche Situationen zu befürchten sind. Zu diesem Zweck wurden Schwebestaubkonzentrationen gemessen und der Gehalt des Schwebestaubes an kanzerogenen polyaromatischen Kohlenwasserstoffen sowie an Blei wurde bestimmt. Die Bleibestimmungen der Messperiode 1975/76 stehen u. a. im Zusammenhang mit den Blutuntersuchungen bei Schulkindern, die in der gleichen Zeitperiode von Hotz et al. [5] durchgeführt wurden.

Im Gegensatz zu den hauptsächlich von Heizungen stammenden Schwebestaub und polyaromatischen Kohlenwasserstoffen kann der Bleigehalt der Luft fast ausschliesslich auf Motorfahrzeuge zurückgeführt werden. So wurde in den USA der Anteil der Bleiemissionen aus Ottomotoren für das Jahr 1968 auf 98 % der Gesamtbleiemission geschätzt (zit. Pott et al. [10]); andere Emittenten können allerdings lokal eine grosse Bedeutung haben. Publierte Messdaten für den Bleigehalt der Atmosphäre beziehen sich nach Pott et al. [10] fast immer auf anorganisch gebundenes Blei, welches partikelförmig vorliegt. Das dem Benzin zugesetzte Bleitetraäthyl ist leicht flüchtig, ausserdem schwierig messbar, doch soll organisch gebundenes Blei nur ca. 3–10 % des Bleigehaltes der Grossstadluft ausmachen.

Für die Untersuchungen in Zürich wurden Messstellen mit unterschiedlichem Umgebungscharakter gewählt, um örtliche, aber auch zeitliche Einflüsse auf die Immissionskonzentration erfassen zu können. Langzeitmittelwerte ergeben die besten Anhaltspunkte für Belastungen durch Schadstoffe und können andererseits einen Hinweis auf allgemeine Entwicklungstendenzen geben.

Kenntnisse über das Vorkommen und die Zusammensetzung von Schwebestaub sind notwendig zur Beurteilung gesundheitlicher Schädigungen durch die Luftverunreinigung. Die seit 1971 in Zürich gemessenen Staubkonzentrationen sind zum Teil ziemlich hoch, und es sind gezielte Massnahmen zur Reduktion der verschiedenen Emissionen erforderlich.

2. Die Situation der Stadt Zürich

Die Stadt Zürich liegt zwischen 2 Höhenzügen am Ende des Zürichsees. Häufigste Windrichtungen sind SW und W, häufig auch NO. Im Durchschnitt lagen bei 30 % aller Beobachtungen während der Jahre 1901–1960 Calmen vor (geringe Windstärken unter 2 km/h). Das Stadtgebiet umfasst eine Gesamtfläche von 9186,8 Hektaren, ca. 30 % davon gehören der Wohnzone, weniger als 10 % der Industrie- und Gewerbezone an. Die Bevölkerung beträgt ca. 390 000 Personen (1975), ein Rückgang von ca. 11,5 % zugunsten der Vorortgemeinden war in den letzten Jahren zu verzeichnen. Diese Entwicklung bedingt einen verstärkten Zupendlerverkehr, ca. 30 % der Berufstätigen sind Zupendler [12]. Der Motorfahrzeugbestand der Stadt ist ebenfalls leicht zurückgegangen, 1975 wurden 117 794 Personenfahrzeuge gezählt. Der Benzinverbrauch bezifferte sich nach Schätzungen des Gesundheitsinspektorats der Stadt Zürich auf 138 000 t, daraus wurde ein Schadstoffausstoss von 24 700 t Kohlenmonoxid, 2200 t Stickstoffmonoxid, 2400 t Kohlenwasserstoffen und 70 t Blei berechnet (zit. [8]). Der Gesamtverbrauch an Heizöl extra leicht erreichte 1974/75 ca. 477 000 000 l [4]. Es bestehen rund 26 000 Ölfeuerungsanlagen, die 89 % sämtlicher Heizungen ausmachen. Auch hier ist dank besserer Kontrollen eine Reduktion des Heizölverbrauchs möglich geworden [8].

3. Messungen

3.1 Wahl der Messstellen und Untersuchungsdauer

Es wurde versucht, repräsentative Messstellen zu wählen, die sich bezüglich der Emissionsquellen Heizung, Verkehr und Industrie deutlich unterscheiden. Über eine Zeitspanne von 1971–1976 liegen drei Untersuchungen vor, die sich wie folgt aufteilen:

Untersuchung A:

Bleibestimmungen in Schwebestaubproben aus einer Untersuchung von *Waibel et al.* [15] aus den Jahren 1971/72 über Immissionen von Schwebestaub und polyzyklischen Aromaten an 6 charakteristischen Messstellen im Raume Zürich.

Untersuchung B:

Eine seit 1972 durchgezogene Longitudinalstudie an einer Messstelle in Zürich, mit Messungen von Schwebestaub und dessen Gehalt an Blei und polyzyklischen Aromaten.

Untersuchung C:

Messungen von Schwebestaub, Blei und polyzyklischen Aromaten an 4 typischen Messstellen der Stadt Zürich und an 2 Messstellen in Netstal (Ortschaft mit ca. 3000 Einwohnern).

3.2 Messnetz

In *Abbildung 1* sind die verschiedenen Messstellen im Raume Zürich eingezeichnet.

Die Bezeichnungen A1–A5 beziehen sich auf die *Untersuchung A* aus den Jahren 1971/72. Die Messstellen können folgendermassen charakterisiert werden:



Abbildung 1. Lage der Messstellen in der Stadt Zürich für die Untersuchungen A (Messperiode 1971/72), B (Longitudinalstudie 1972–1976) und C (Messperiode 1975/76). Kartenausschnitt der Landeskarte 1 : 25 000 reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 13. 4. 1977

A1 – Escher-Wyss: Die Messstelle liegt im Industriequartier, im Areal des Wasserwerkes Zürich, und ist durch mehrstöckige Gebäude von den beiden in der Nähe vorbeiführenden, stark befahrenen Ausfallstrassen abgeschirmt.

A2 – Paradeplatz: Ein verkehrsreicher Platz im Stadtzentrum, mit Automobil- und Tramverkehr, jedoch praktisch ohne Lastwagen.

A3 – Albisriederplatz: Ein ausgesprochen verkehrsreicher Platz am Stadtrand, mit grossem Anteil an Diesellastwagen.

A4 – Untere Zäune: Ein Altstadtwohnquartier im Zentrum mit minimalem Autoverkehr. Die nächste, in 200 m Distanz liegende Durchgangsstrasse ist durch höhere Häuser abgeschirmt.

A5 – Triemli: Ein neues Aussenwohnquartier ohne Autoverkehr in unmittelbarer Umgebung. In ca. 200 m Distanz befindet sich eine stark befahrene Ausfallstrasse (abgeschirmt durch mehrstöckige Gebäude).

A6 – Uetliberg: Backgroundmessung in ca. 2 km Entfernung von der Stadtgrenze, rund 400 m höher in Waldnähe gelegen. Es handelt sich um ein Erholungsquartier mit generellem Fahrverbot.

Für die *Untersuchung B* (Longitudinalstudie) wurde die Messstelle Escher-Wyss (Industriequartier) ausgewählt. Sie ist identisch mit den Messstellen A1 und C1.

Für die *Untersuchung C* (Messperiode 1975/76) wurden ebenfalls Messstellen ausgewählt, die typischen städtischen Verkehrs- und Wohnsituationen entsprechen (C1–C4). Als Vergleich zu diesen städtischen Messstellen dienen 2 Messstellen in Netstal (Kanton Glarus), einer Ortschaft mit ca. 3000 Einwohnern.

C1 – Escher-Wyss: entspricht der Messstelle A1 (Industriequartier) und dient gleichzeitig auch der Longitudinalstudie.

C2 – Oerlikon-Tramstrasse: sehr wenig befahrenes städtisches Wohnquartier, vor allem mit kleinen, von Gärten umgebenen Einfamilienhäuschen. Stark befahrene Ausfallstrassen liegen ringsum in einer Entfernung von ca. 300–600 m vom Messort. Verkehr am Messort: 100 Autos/h (24-Std.-Durchschnitt).

C3 – Wehntalerstrasse: Ein Wohnquartier mit starkem gemischtem Verkehr von ca. 400 Autos/h (24-Std.-Durchschnitt) auf einer 4spurigen Ausfallstrasse.

C4 – Langstrasse: Eine typische 2spurige städtische Strassenschlucht von geringer Breite, mit starkem gemischtem Verkehr von ca. 900 Autos/h (24-Std.-Durchschnitt).

C5 – Netstal-Wiese: In einem kleinen Wohnquartier mit hauptsächlich Einfamilienhäusern, welches durch einen höheren Hügel vom Dorzentrum abgetrennt ist.

C6 – Netstal-Strasse: Im Dorzentrum an der durch den Kanton Glarus führenden Hauptstrasse mit gemischtem Verkehr von 7000–8000 Fahrzeugen pro Tag (durchschnittlich rund 300 Autos/h).

3.3 Probenahme

Für die Probenahmen wurde das in Deutschland entwickelte LIB-Staubsammelgerät eingesetzt. Es besteht in der Hauptsache aus einem Saugaggregat und einer Filtervorrichtung. Diese ist, für die Abscheidung des Grobstaubes, mit einem Vorsatztubus versehen. Die untere Abscheidengrenze ist durch das Filtermaterial bedingt, sie beträgt für die benutzten Glasfaserfilter ca. 0,1–0,2 Mikron [15].

Bei wöchentlichen Messperioden wurde in alternierendem Betrieb insgesamt während 24 Stunden Luft angesaugt, mit einem Gesamtvolumen 350–500 m³, bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,5 m/sec. Alle Filter waren in einer Höhe von 4–5 m über Boden montiert, auf Dächern von Tramhaltestellen oder anderen niedrigen Gebäuden in Abständen von wenigen Metern vom Strassenrand.

3.4 Analysen

Der *Schwebestaubgehalt* der Filterproben wurde nach vorherigem Trocknen der Filter im Exsikkator gravimetrisch bestimmt.

Die Bestimmung von 3,4-Benzpyren und der gesamten polyaromatischen Kohlenwasserstoffe erfolgte nach einer von *Waibel* [15] ausgearbeiteten Analysenmethode. Die mit Cyclohexan extrahierten polyaromatischen Kohlenwasserstoffe können fluoreszenzspektrophotometrisch gemessen und mit einem Computerprogramm berechnet werden.

Die *Bleibestimmungen* der Untersuchungen A und B wurden am Laboratorium für anorganische Chemie (ETH Zürich) durchgeführt, zur Bestimmung wurde eine kombinierte Methode von Atomabsorption und Röntgenfluoreszenz verwendet [6]. Der Bleigehalt in den Proben der Untersuchung C wurde am Laboratorium für Kernphysik (ETH Hönggerberg) durch Messung der protoneninduzierten Röntgenstrahlung bestimmt [1].

4. Ergebnisse der Messungen

4.1 Untersuchung A (Messperiode 1971/72)

Die Mittelwerte je eines Sommer- und Wintermonates für die 6 Messstellen sind in *Abbildung 2* zusammengestellt. Die Einflüsse der Jahreszeiten, aber auch die örtlichen Einflüsse der verschiedenen Messstellen sind die folgenden:

Schwebestaub: Im Sommer lassen sich nur geringe Unterschiede zwischen den Schwebestaubkonzentrationen der Messstellen erkennen; der Umgebungscharakter kommt kaum zum Ausdruck und die Abhängigkeit vom Verkehr ist wenig ausgeprägt. Die gemessenen Staubmengen scheinen einer ziemlich ausgeglichenen Gesamtbelastung über der Stadt Ausdruck zu geben.

Im Winter hingegen steigen die Konzentrationen bis auf über die doppelten Mengen an, bedingt von der Emission her durch die Heizungen, aber auch durch häufigere Inversionslagen. Die Zusammenhänge zwischen Inversionslagen und erhöhten Staubgehalten konnten in der Arbeit von *Waibel* [15] deutlich gezeigt werden.

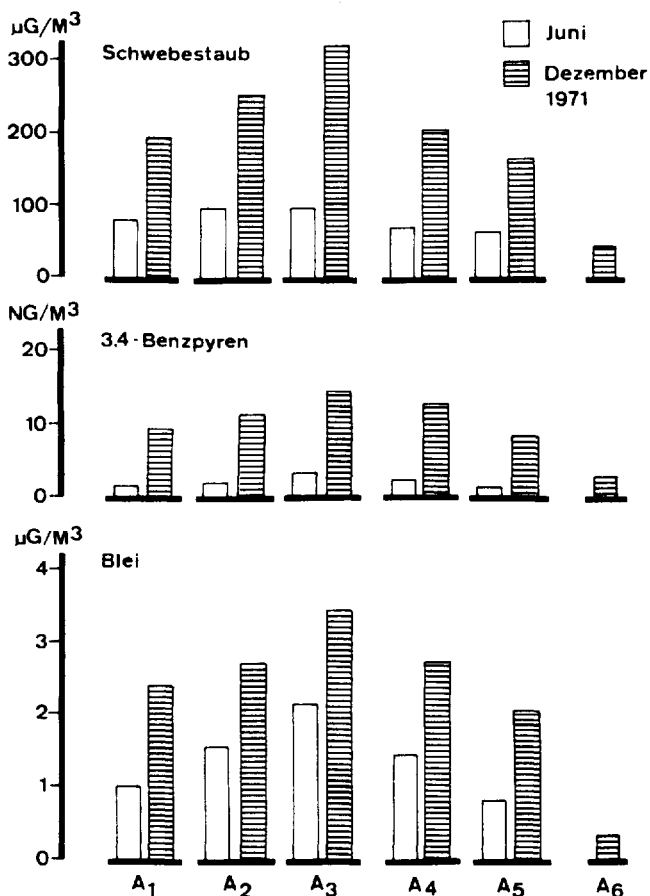


Abbildung 2. Stadt Zürich, Messperiode 1971/72. Mittelwerte der Monate Juni und Dezember 1971 an 6 Messstellen (Lage siehe *Abbildung 1*)

3,4-Benzpyren: Das 3,4-Benzpyren verläuft ähnlich wie der Schwebestaub. Im Sommer sind die Konzentrationsschwankungen gering, während im Winter die Werte bis auf das 5fache ansteigen. Man nimmt an, dass durch die Heizungen viele polyaromatische Kohlenwasserstoffe gebildet werden; andererseits werden diese im Sommer durch vermehrten Einfluss von ultravioletter Strahlung (Sonne) zersetzt.

Blei: Ein deutlicher Anstieg des Bleigehaltes in Abhängigkeit von Verkehr, mit einem Maximum am Albisriederplatz – der verkehrsreichsten Stelle –, ist sowohl im Sommer wie im Winter erkennbar. Erhöhungen des Bleigehaltes im Winter verlaufen gleichmässig, das heisst, sie sind an allen Messstellen ungefähr gleich gross, so dass man annehmen darf, dass diese Erhöhungen – bei gleichbleibendem Verkehr – vor allem auf Inversionslagen zurückzuführen sind.

Das Blei und das Benzpyren korrelierten an allen Messstellen hoch signifikant mit dem Schwebestaub.

Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte der 5 Messstellen im Sommer und im Winter. Am verkehrsreichen Albisriederplatz wurden durchwegs die höchsten Bleiwerte gemessen, wie beim Schwebestaub und Benzpyren; die niedrigsten Werte wurden im verkehrsarmen Aussenquartier, dem Triemli (A₅) festgestellt. Auffallend ist, dass sich die Werte im Stadtzentrum (Escher-Wyss-Platz, Paradeplatz, Untere Zäune) trotz sehr unterschiedlicher Verkehrsbelastung nicht signifikant unter-

Tabelle 1. Blei-Immissionen in der Stadt Zürich, Messperiode 1971/72. Mittelwerte der Messstellen A1–A5. Die nicht gemeinsam unterstrichenen Werte sind mit $p < 0,05$ verschieden (Duncan-Test)

Jahreszeit	Bleiimmission ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
Sommer (Juni und Sept. 71)	0.90 (A5)	1.13 (A1)	<u>1.62 (A2)</u>	<u>1.62 (A4)</u>	2.35 (A3)
Winter (Dez. 71 u. Feb. 72)	1.76 (A5)	2.23 (A1)	<u>2.66 (A4)</u>	<u>2.84 (A2)</u>	3.35 (A3)

scheiden. An allen Messstellen waren die Winterwerte signifikant höher als die Sommerwerte.

Der Tagesverlauf der Verunreinigungskonzentrationen ist in *Abbildung 3* dargestellt. Die Konzentrationskurven über die 4 Wochen verlaufen durchwegs in ähnlichem Sinn, was in den hohen Korrelationen zwischen den einzelnen Substanzen zum Ausdruck kommt. Auch hier sind die höheren Winterwerte – vor allem von Benzpyren und Schwebestaub – erkennbar. Die durchwegs an den gleichen Tagen auftretenden Spitzen nach oben wie nach unten weisen auf den Einfluss der Wetterbedingungen, d. h. der Inversionslagen, Regen, Wind etc. hin (vgl. dazu auch *Waibel et al.* [15]).

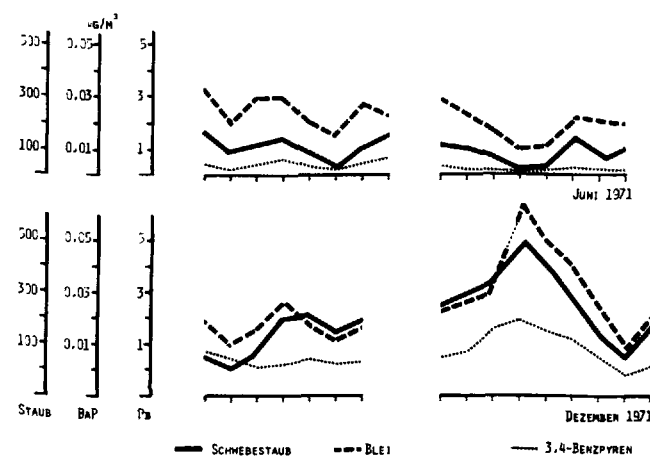


Abbildung 3. Stadt Zürich, Messperiode 1971/72. Verlauf der Schwebestaub-, Benzpyren- und Bleikonzentrationen während je 2 mal 8 Tagen im Sommer und im Winter

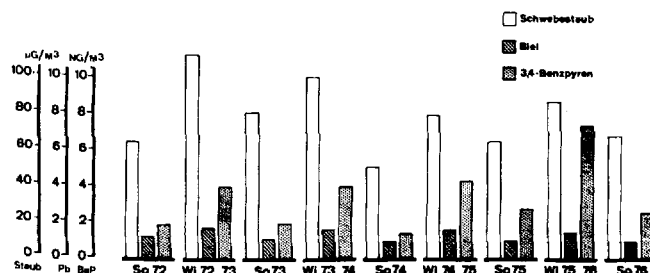


Abbildung 4. Stadt Zürich, Longitudinalstudie 1972–1976. Mittelwerte der Sommer- und Winterhalbjahre von Schwebestaub, Blei und Benzpyren; Lage der Messstelle B siehe Abbildung 1

4.2 Untersuchung B (Longitudinalstudie)

Die Sommer- und Wintermittelwerte der Schwebestaub-, Benzpyren- und Bleigehalte an der Messstelle Escher-Wyss sind für die Zeit von 1971–1976 in *Abbildung 4* dargestellt. Auch hier sind die deutlichen Unterschiede zwischen den Sommer- und den Wintermonaten zu erkennen. Die Schwebestaubkonzentrationen im Winter scheinen auf eine eher absinkende Tendenz hinzuweisen. Bei den Benzpyrenwerten ist diese Tendenz nicht vorhanden, während die Bleiwerte sowohl im Sommer wie im Winter in der gleichen Grössenordnung blieben.

4.3 Untersuchung C (Messperiode 1975/76)

Die Mittelwerte der Schwebestaub-, Benzpyren- und Bleikonzentrationen im Winter (Oktober 1975–März 1976) und im Sommer (April–September 1976) sind in *Abbildung 5* zusammengestellt. Die Einflüsse der Jahreszeiten und die örtlichen Einflüsse der verschiedenen Messstellen lassen folgendes erkennen:

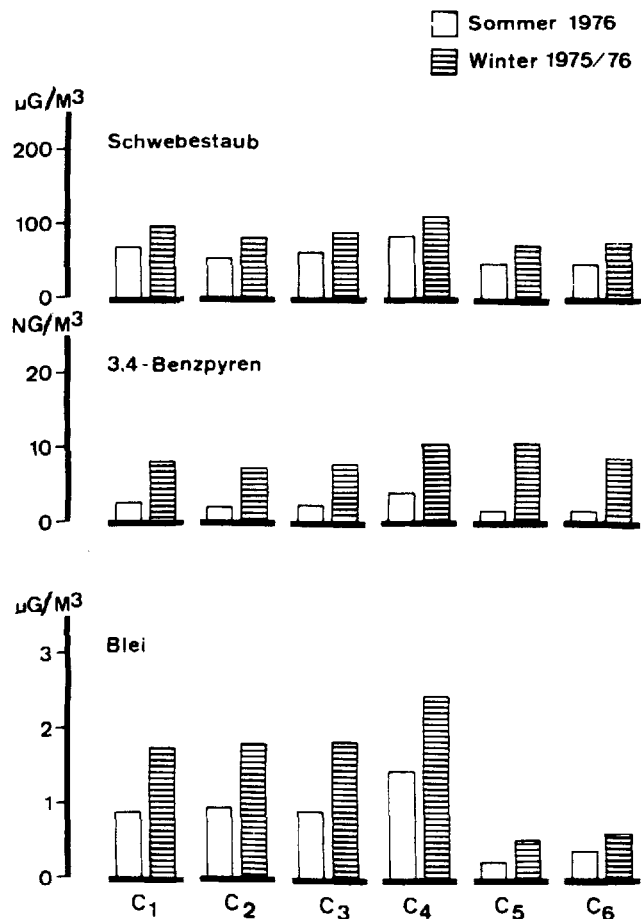


Abbildung 5. Stadt Zürich und Netstal, Messperiode 1975/76. Mittelwerte für das Sommer- und Winterhalbjahr an 6 Messstellen (Lage siehe Abbildung 1)

Schwebestaub: Im Sommer liegen die Messwerte durchwegs niedriger als im Winter. Eine Konzentrationszunahme mit steigendem Verkehr mit einem Maximum an der verkehrsreichen Langstrasse ist schwach ausgeprägt. Die Werte in Netstal liegen unter den Zürcher Werten, ein Einfluss der Kantonsstrasse

gegenüber der Messstelle im Aussenquartier ist nicht feststellbar. Die Winterwerte in der Stadt weisen ungefähr gleich grosse Erhöhungen auf; die Heizungen dürften somit zu einem gleichmässigen Anstieg der Schwebestaubkonzentrationen über der ganzen Stadt führen. Auch in Netstal sind an beiden Messstellen die Winterwerte gegenüber den Sommerwerten gleichmässig erhöht.

Benzpyren: Die Benzpyrenwerte sind im Sommer durchwegs niedrig, nur die Langstrasse ist etwas höher. Die Konzentrationen in Netstal lagen teilweise an der Grenze der mit unserer Analysenmethode noch erfassbaren Mengen. Erwartungsgemäss ergeben sich im Winter deutliche Benzpyren erhöhungen, die auf die Heizungen zurückzuführen sind. Es fällt auf, dass die Winterwerte in Netstal in der gleichen Grössenordnung liegen wie diejenigen der Zürcher Messstellen. Bei den Werten von Netstal handelt es sich um die ersten Ergebnisse einer noch laufenden Untersuchung; die hier vorliegenden Verhältnisse sollen deshalb erst nach Abschluss dieser Untersuchung genauer erörtert werden.

Blei: Die Bleikonzentration der 3 Messstellen Escher-Wyss-Platz, Wehntalerstrasse und Oerlikon sind kaum verschieden und scheinen einer Grundbelastung zu entsprechen, die offenbar in der ganzen Stadt vorhanden ist. *Tabelle 2* zeigt die Ergebnisse der statistischen Prüfung der Bleiemissionen der 6 Messstellen. Die Konzentrationen an der Langstrasse sind im Sommer und im Winter signifikant höher als an den drei andern Zürcher Messstellen, die sich nicht unterscheiden. Die Werte in Netstal hingegen sind signifikant niedriger. Gesamthaft gesehen sind die Zürcher Bleiwerte im Winter signifikant höher als die Sommerwerte und zeigen ein ähnliches Bild wie die Ergebnisse der Messperiode 1971/72. Während beiden Messperioden waren diese Erhöhungen im Winter gleichmässig. Man muss deshalb annehmen, dass bei durch das Jahr hindurch gleichbleibenden Bleiemitteln durchwegs die häufigeren austauscharmen Wetterlagen dafür verantwortlich sind.

5. Diskussion

Die Messresultate der seit 1971 in Zürich durchgeführten Untersuchungen ermöglichen insgesamt folgende Aussagen:

Tabelle 2. Blei-Immissionen in der Stadt Zürich und in Netstal, Messperiode 1975/76. Mittelwerte der Messstellen C1–C6. Die nicht gemeinsam unterstrichenen Werte sind mit $p < 0,05$ verschieden (Duncan-Test)

Jahreszeit	Bleimission ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Stadt Zürich				Netstal	
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
Winter (Okt. 75– März 76)	1.72	1.77	1.78	2.40	0.53	0.61
Sommer (April– Sept. 76)	0.86	0.92	0.88	1.42	0.24	0.36

Die *Schwebestaubkonzentrationen* im Raume Zürich zeigen im Sommer zwischen den einzelnen Messstellen nur geringe Unterschiede, während im Winter in der City deutlich höhere Werte gemessen werden als in den Aussenquartieren. Gesamthaft sind im Winter die Werte etwa doppelt so hoch wie im Sommer. Dasselbe Bild ergab sich beim *Benzpyren*: die Winterwerte waren bis zu 5mal höher als die Sommerwerte, die als ausgesprochen tief bezeichnet werden können.

In den niedrigen Sommerwerten von Schwebestaub und Benzpyren kommt der Umgebungscharakter nur wenig zum Ausdruck; diese Werte scheinen eher einer allgemeinen Grundbelastung über der Stadt zu entsprechen. Die starken Erhöhungen im Winter sind eine Folge der um ein Vielfaches erhöhten Emissionen durch die Heizungen. Ausserdem sind die häufigen austauscharmen Wetterlagen im Winter – vor allem die Inversionslagen, aber auch häufige Situationen mit wenig Wind für die hohen Staubkonzentrationen mitverantwortlich.

Die *Bleiwerte* zeigen im Sommer wie im Winter eine eindeutige Abhängigkeit vom Verkehr. Auffallend ist, dass die Konzentrationserhöhungen im Winter an allen Messstellen in der Stadt ungefähr gleich gross sind (vgl. *Abbildungen 2* und *5*). Die Ursache für die erhöhten Winterwerte dürften wie bei den Schwebestaub- und Benzpyrenimmissionen die häufigen Inversionslagen sein.

In *Tabelle 3* sind die Messwerte aus Zürich den Schwebestaub-, Blei- und Benzpyrenwerten verschiedener

Tabelle 3. Jahresmittelwerte für Schwebestaub, Blei und Benzpyren in Zürich, Netstal und einigen deutschen Städten [2, 3]

Messort	Schwebestaub $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Blei $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Benzpyren ng/m^3
<u>Zürich</u> (1971/72)			
- City (A_2)	180	3.1	6.2
- Wohnquartier (A_5)	110	1.3	4.5
- Uetliberg (A_6)	59	0.3	1.9
<u>Zürich</u> (1975/76)			
- City (C_4)	93	1.9	7.0
- Wohnquartier (C_2)	66	1.3	4.7
<u>Netstal</u> (1975/76)	56	0.5	5.5
<u>Frankfurt</u> (1972/73)			
- City	-	2.8	-
- Wohnquartier	-	1.1	-
- Feldberg	-	0.2	-
<u>Mannheim</u> (1970-73)	-	-	10.5
<u>Schauinsland im Schwarzwald</u> (1970-73)	-	-	0.4
Grenzwert-VDI (1974)	100	1.5	-

Städte gegenübergestellt. Bei einem solchen Vergleich muss jedoch beachtet werden, dass nicht immer die gleichen Staubsammelgeräte verwendet wurden. Unterschiedliche Staubfraktionen und Analysemethoden können die Resultate beeinflussen, sowie auch die jeweiligen Orte der Probenahme. Solche Unterschiede können die Resultate beeinflussen und sind deshalb bei Vergleichen soweit möglich zu berücksichtigen.

Trotz diesen Vorbehalten kann man festhalten, dass die *Schwebestaub- und Bleibelastungen* in Zürich in der Grössenordnung der Konzentrationen ausländischer Städte liegen. Auffallend ist die Übereinstimmung der Bleiwerte in Zürich (1971/72) und Frankfurt (1972/73) an ziemlich gut vergleichbaren Messstellen. In der gleichen Grössenordnung liegen auch die von 1973–1975 in Duisburg ermittelten Werte [7]. Ein Vergleich mit den VDI-Grenzwerten [14] zeigt, dass die im Zentrum von Zürich gemessenen Schwebestaubmengen im Bereich der als zulässig erachteten Jahresmittelwerte liegen – für das Blei werden diese sogar überschritten. In den Aussenquartieren sowie auch in Netstal liegen die Werte jedoch noch unterhalb dieser kritischen Bereiche.

Die ziemlich grossen Differenzen zwischen den Zürcher Werten der Messperiode 1971/72 und der Messperiode 1975/76 dürften vor allem auf die nicht identischen Messstellen sowie wahrscheinlich auch auf die unterschiedlichen Wetterlagen zurückzuführen sein. Eine Verbesserung der Luftqualität – wie dies auf Grund der 1975/76 niedrigeren Werte vermutet werden könnte, hätte sich jedoch vor allem bei der Longitudinalstudie (Untersuchung B) zeigen sollen.

Der Vergleich des *Benzpyrengehaltes* mit ausländischen Werten ergibt – soweit dies möglich ist – gesamthaft ein ähnliches Bild wie beim Schwebestaub und Blei. Für einen Grenzwert fehlen hier ausreichende Grundlagen; Pott [9] nennt als wünschenswerten höchstzulässigen Wert 10 ng/m^3 , wobei dem Benzpyren die Funktion einer Leitsubstanz für kanzerogene polyzyklische Aromaten zukommt. Zu beachten sind allerdings auch die von Schlipköter [11] festgestellten möglichen kokanzerogenen Wirkungen von Blei, die auf einer Beeinflussung des Benzpyrenabbaus beruhen könnten.

Wie sind nun die in den Jahren 1971–1975 in Zürich gemessenen Verunreinigungen durch *Schwebestaub* aus hygienischer Sicht zu beurteilen? Epidemiologische Untersuchungen in den Vereinigten Staaten ergaben einen Zusammenhang zwischen den Schwebestaub-Immissionen einerseits und der Morbidität und Mortalität andererseits; dabei zeigte sich insbesondere ein Einfluss auf die Häufigkeit der Erkrankung der *Atmungsorgane*. Auf Grund dieser heute bekannten Zusammenhänge muss bei den Schwebestaubbelastungen, wie sie in Zürich während der Wintermonate auftreten, mit gesundheitlichen Schädigungen gerechnet werden. Zu beachten sind auch die *Belästigungen*: Studien in St. Louis [16] haben ergeben, dass die Anzahl Personen, welche die Luftverschmutzung als Be-

lästigung empfindet, mit zunehmendem Staubgehalt grösser wird.

Bekannt sind auch die möglichen gesundheitlichen Gefährdungen durch die *Blei-Immissionen*. Wie die von Hotz et al. [5] kürzlich in Zürich durchgeführten Erhebungen bei 11- bis 16jährigen Schülerinnen zeigen, bestehen hier keine Anzeichen zu hoher Bleibelastungen. Das heisst natürlich keineswegs, dass Massnahmen zur Reduktion der Luftverunreinigungen durch Blei nicht notwendig wären. Aus präventivmedizinischer Sicht ist die *Reduktion des Bleigehaltes im Benzin*, wie sie nun auch in der Schweiz schrittweise vorgenommen wird, auf alle Fälle zu befürworten.

Unserlänglich sind auch gezielte Massnahmen, um die verschiedenen Emissionen von Schwebestaub soweit wie möglich einzuschränken: die *Hausfeuerungen* sind trotz den bereits nachweisbaren Verbesserungen noch vermehrt zu überwachen und zu kontrollieren; in neuen Siedlungen sind zentrale Heizanlagen an geeigneten Stellen einzurichten; durch niedrigere Raumtemperaturen im Winter sowie bessere Isolationen und Abdichtungen der Räume kann der Verbrauch an Heizöl und Kohle reduziert werden und damit auch die Luftverschmutzung; ferner sind vor allem die Dieselfahrzeuge vermehrt zu kontrollieren, um die oft stark belästigenden Russbildungen zu verhindern.

Zusammenfassung

Von 1971–1976 wurden in Zürich an verschiedenen Stellen die Schwebestaub-, Blei- und Benzpyren-Immissionen gemessen. In den städtischen Quartieren lagen die Jahresmittelwerte für Schwebestaub zwischen 90 und $180 \mu\text{g/m}^3$, für Blei zwischen 2 und $3 \mu\text{g/m}^3$ und für Benzpyren zwischen 6 und 7 ng/m^3 . In den Aussenquartieren sowie in der Ortschaft Netstal lagen die Schwebestaub- und Bleikonzentrationen 2–3mal niedriger, und die Benzpyrenwerte waren ungefähr gleich hoch. An allen Messstellen wurden im Winter höhere Werte gemessen als im Sommer; besonders deutlich waren die Anstiege bei austauscharmen Wetterlagen. Die im Zentrum der Stadt gemessenen Schwebestaub- und Blei-Immissionen erreichen die Grössenordnung von Werten in deutschen Städten und liegen im Bereich der Grenzwerte. Notwendig sind in erster Linie Massnahmen zur Reduktion der Emissionen wie Kontrollen der Hausfeuerungen und Herabsetzung des Bleigehaltes im Benzin.

Résumé

Immissions de poussière suspendue, de plomb et de benzopyrène dans la ville de Zurich

Pendant les années 1971–1976 on a mesuré à Zurich dans différents endroits les immissions de poussière suspendue, de plomb et de benzopyrène. Dans le centre de la ville, les valeurs annuelles moyennes pour la poussière suspendue se trouvent entre 90 et $180 \mu\text{g/m}^3$; pour le plomb elles se trouvent entre 2 et $3 \mu\text{g/m}^3$ et pour le benzopyrène entre 6 et 7 ng/m^3 . Dans la périphérie de la ville ainsi qu'à Netstal les concentrations sont 2–3 fois inférieures. Dans tous les lieux de mesure les valeurs en hiver étaient plus élevées que les valeurs en été; l'augmentation des valeurs est particulièrement frappante pendant les inversions atmosphériques. Les valeurs des immissions de poussière suspendue et de plomb mesurées dans le centre de la ville atteignent les valeurs de mesure dans des villes allemandes et sont dans la grandeur des limites tolérables. En premier lieu on voit la nécessité de prendre des mesures pour réduire les émissions: d'effectuer des contrôles des chauffages et d'abaisser la teneur en plomb dans l'essence.

Summary

Ambient Air Concentrations of Particulate Matter, Lead and Benzo(a)pyrene in Zurich

Levels of particulate matter, lead and benzo(a)pyrene were measured during 1971–1976 at different monitoring stations in Zurich. Annual averages in city proper ranged between 90 and 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for particulate matter, 2 and 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for lead and between 6 and 7 ng/m^3 for benzo(a)pyrene. Corresponding values for the suburbs as well as for the village of Netstal were about $1/3$ to $1/2$. Winter levels were higher than the summer ones at all the sites. These differences were more obvious in case of calms. Ambient concentrations of particulate matter and lead measured in the city center were similar to those measured in German cities and were in the same range as air quality standards. Primary attention should be paid to the reduction of emissions, as surveillance of space heating and incineration equipment, and the reduction of lead in fossil fuels.

Literatur

- [1] Bonani, G., Woelfli, W., Stoller, Ch., Suter, M., Hochempfindliche Elementaranalyse durch Messung der durch protoneninduzierten charakteristischen Röntgenstrahlung, Laboratorium für Kernphysik, ETHZ, Jahresbericht 1974, 201–214.
- [2] Brockhaus, A., Rönicke, G., Weisz, H., Benzpyrenpegel des Luftstaubs in der Bundesrepublik Deutschland, Arbeiten an dem Messstellenprojekt, Bonn Bad Godesberg, Deutsche Forschungsgemeinschaft 1975 – Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung, Mitt. XIII.
- [3] Georgii, J.-W., Müller, J., Schwermetallaerosole in der Grossstadtluft, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 42, 39–50 (1974).
- [4] Gesundheitsinspektorat der Stadt Zürich, mündliche Mitteilung.
- [5] Hotz, Ph., Russenberger, H. J., Wanner, H. U., Mesure d'exposition au plomb dans un collectif de jeunes filles, Sozial- und Präventivmedizin 22 (1977).
- [6] Magyar, B., Vonmont, H., Kombinierte Anwendung der Atomsorption und der Röntgenfluoreszenz bei der Bestimmung von Blei in atmosphärischem Staub, Z. Anal. Chem. 280, 115–120 (1976).
- [7] Matter, L., Schenker, D., Schneider, W., Schwermetallkonzentrationen in partikelförmigen Luftbeimengungen in der Atmosphäre von Industrieballungsgebieten, Umwelthygiene 8, 232/233 (1975).
- [8] Neue Zürcher Zeitung 30, 5./6. Feb. 1977.
- [9] Pott, F., Kanzerogene Stoffe, Medizinisches Institut für Lufthygiene und Silikoseforschung, Jahresbericht 1971 (Michael Tritsch Verlag, Düsseldorf).
- [10] Pott, F., Schlipkötter, H.-W., Die Bleibelastung des Menschen, Medizinisches Institut für Lufthygiene und Silikoseforschung, Jahresbericht 1975, Band 8 (Verlag W. Girardet, Essen).
- [11] Schlipkötter, H.-W., Probleme der Kombinationswirkung, Medizinisches Institut für Lufthygiene und Silikoseforschung, Jahresbericht 1975, Band 8 (Verlag W. Girardet, Essen).
- [12] Statistische Berichte des Kantons Zürich 26, 1 (1976).
- [13] Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich: 1975.
- [14] Verein Deutscher Ingenieure (VDI), VDI-Richtlinien, Maximale Immissionswerte VDI 2310, VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft (VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1974).
- [15] Waibel, M., Wanner, H. U., Schwebestaubmessungen und Bestimmungen des 3,4-Benzpyrengehaltes in Zürich, Zbl. Bakt. Hyg., 1. Abt. Orig. B 159, 169–177 (1974).
- [16] Williams, J. D., Bunyard, F. L., Interstate Air Pollution Project Phase II Project Report, Vol. VII-Opinion Surveys and Air Quality Statistical Relationships, U.S. Dept. Health, Education and Welfare, 1966. zit.: Air Quality Criteria for Particulate Matter (U.S. Dept. Health, Education and Welfare, Washington D.C. 1969).

Adressen der Autoren

Dr. Verena Turrian, PD Dr. H. U. Wanner und Dr. A. Deuber, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich
 PD Dr. B. Magyar, Laboratorium für anorganische Chemie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich
 Dr. M. Suter, Laboratorium für Kernphysik, ETH Höggerberg, CH-8093 Zürich