

## 3,4-Benzpyren im Staubsediment von Zürich

R. Schaad und A. Gilgen

Aus dem Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH, Zürich

Artikel eingegangen am 7. September 1969

### Zusammenfassung

Für den Zürcher Sedimentstaub ergaben sich Mittelwerte von 13,0  $\mu\text{g}$  3,4-Benzpyren pro g Staub im Sommer und 20,6  $\mu\text{g/g}$  Staub im Winter. Auf dem Land betragen die Sommer- und Winterwerte 6,1 bzw. 9,0  $\mu\text{g/g}$  Staub.

Bezogen auf Fläche und Saison wurden im Sommer Stadtmittel von 238,8, im Winter von 369,0  $\mu\text{g/m}^2 \times 180$  Tage abgelagert. Auf dem Land wurden im Sommer 94,8 und im Winter 76,2  $\mu\text{g/m}^2 \times 180$  Tage festgestellt. Meßstellen mit «viel Verkehr» (745,7  $\mu\text{g/m}^2 \times \text{Jahr}$ ) wiesen gegenüber denjenigen mit «wenig Verkehr» (488,8  $\mu\text{g/m}^2 \times \text{Jahr}$ ) einen um 52 % größeren Benzpyrenniederschlag auf.

Die kritische Erörterung ergab, daß Zürich, international gesehen, hinsichtlich der Gesamtmenge sedimentierten Staubes als saubere Stadt bezeichnet werden darf, während dieses Privileg in bezug auf die sedimentierte Benzpyrenmenge nicht mehr gilt. Immerhin darf Zürichs Industrie in bezug auf Benzpyrenausswurf als sauber bezeichnet werden, wird doch in der Industriezone nicht mehr Benzpyren sedimentiert als in den übrigen Stadtzonen.

Die Benzpyrenmenge, die ein Individuum in Zürich pro Jahr einatmet, dürfte etwa derjenigen entsprechen, die ein Raucher aufnimmt, der täglich 5 bis 6 Zigaretten konsumiert.

Als einer der biologisch aktivsten, beständigsten und daher häufigsten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe ist seit langem 3,4-Benzpyren bekannt, welches im Boden, im Grund- und Oberflächenwasser und im Staub der Atmosphäre nachgewiesen wurde. Besonders das Vorkommen als Luftverunreinigung in dichtbesiedelten, verkehrs- und industriereichen Städten zog im Zusammenhang mit dem Ansteigen der Lungenkrebsmortalität die Aufmerksamkeit auf sich. In den letzten Jahren wurden denn auch Meßergebnisse über die Präsenz von 3,4-Benzpyren in der Atmosphäre verschiedener Großstädte veröffentlicht.

3,4-Benzpyren und andere polyzyklische Kohlenwasserstoffe entstehen bei unvollständiger Verbrennung von organischem Material, welche in Heizungen, Motoren und verschiedenen industriellen Prozessen auftreten kann. Diese drei hauptsächlichen

Quellen sind je nach Ort, Jahreszeit und meteorologischen Bedingungen unterschiedlich am Ausmaß der Luftverunreinigung durch polyzyklische Kohlenwasserstoffe beteiligt. Die vorliegende Untersuchung hatte zum Ziel, den 3,4-Benzpyrengehalt des sedimentierten Staubes in verschiedenen Zonen Zürichs zu ermitteln. Aus dem Gehalt des Staubes an 3,4-Benzpyren und aus der gemessenen Menge sedimentierten Staubes konnte das abgelagerte 3,4-Benzpyren pro Fläche und Zeit für die verschiedenen Zonen berechnet werden.

### Methodik

Untersucht wurde der wasserunlösliche Anteil des in der Zeit vom Juni 1965 bis Mai 1966 in fünf charakteristischen Zonen Zürichs und in einer ländlichen Gegend (Klotener Ried) mit Bergerhoff-Geräten monatlich gesammelten Sedimentstaubes [1, 2].

Nach Deuber und Mitarb. [1] wurde die Stadt Zürich in folgende Zonen eingeteilt: in die City mit einer Wohn- und Arbeitsdichte von 350 und mehr Personen pro Hektare, in drei Wohnzonen mit 101 bis 120, 121 bis 200 und 200 bis 350 Personen pro Hektare und in eine Industriezone und eine Landzone.

In jeder der fünf Zonen wurden drei Meßstellen auf Hausdächern eingerichtet, welche je drei Bergerhoff-Geräte umfaßten, gesamt also 45 Bergerhoff-Geräte. Die von uns angegebenen Zonenwerte sind somit Mittelwerte von insgesamt 9 Geräten an 3 Meßstellen. Um spätere Vergleiche mit ausländischen Untersuchungen zu ermöglichen, in denen oft gesonderte Werte für Wohnzonen und Industriezonen angegeben werden, faßten wir die Zonen 2, 3 und 4 zur «Wohnzone» zusammen.

Um auch den Verkehr als Quelle des Benzpyrens erfassen zu können, wurde nicht nur mit der erwähnten Zoneneinteilung gearbeitet, sondern zusätzlich eine Einteilung der

15 Meßstellen in zwei Kategorien mit «viel» und «wenig» Straßenverkehr in ihrer unmittelbaren Umgebung vorgenommen.

Als Kriterium für «wenig Verkehr» gilt eine stark frequentierte Straße im Bereich von weniger als 200 m Distanz von der Meßstelle; in die Kategorie «viel Verkehr» wurden alle Meßstellen mit mehr als einer stark frequentierten Straße innerhalb von 200 m Distanz eingereiht. Diese Einteilung schien nicht sehr genau zu sein. Zur Sicherheit legten wir deshalb den Verkehrsspezialisten der städtischen Verwaltung einen Stadtplan mit unseren 15 Meßstellen vor und ersuchten sie, nach ihren eigenen Kriterien die Zuweisung der Meßstellen in die zwei Kategorien mit «viel Verkehr» und «wenig Verkehr» vorzunehmen. Zu unserem nicht geringen Erstaunen stimmte unsere Einteilung der Meßstellen mit derjenigen der städtischen Verkehrsexperten bis auf eine Meßstelle (Kaserne) überein, welche wir in der Folge gemäß den Vorschlägen der städtischen Experten zuwiesen. Die Einteilung der Meßstellen in die zwei Kategorien unterschiedlicher Verkehrsbelastung ist in Tab. 3 wiedergegeben.

Das 3,4-Benzpyren wurde aus den Staubproben drei Stunden bei Zimmertemperatur mit Zyklohexan extrahiert. Anschließend wurde es mit Hilfe eines Spektralphotometers (Beckman DU) mit Fluoreszenzzusatz bei einer Wellenlänge von 405 nm fluorometrisch bestimmt [3, 4]. Als Vergleichsstandard diente eine frisch zubereitete Lösung von 3,4-Benzpyren (0,5 µg/ml). Die Zonenwerte des Sommer- und Winterhalbjahres wurden jeweils nach dem Rangsummentest von Wilcoxon [5] statistisch auf signifikante Unterschiede geprüft.

## Resultate

**A. Der Benzpyrengehalt des Staubes:** In Abb. 1 und 2 sind die während der Monate Juni 1965 bis Mai 1966 erhobenen Jahresmit-

tel des 3,4-Benzpyrengehaltes des sedimentierten Staubes für Stadt und Land angegeben.

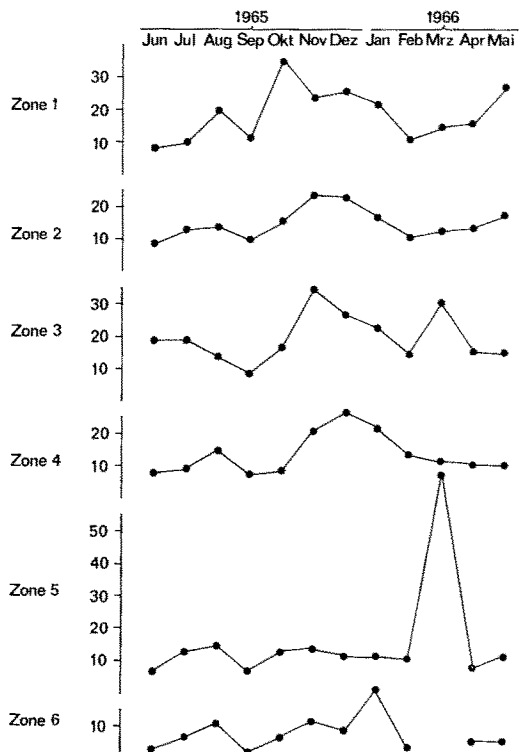


Abb. 1 Monatsgang des 3,4-Benzpyrengehaltes des Staubes in den verschiedenen Zonen (µg/g Staub). Auf dem Land (Zone 6) konnte im März 1966 kein Wert ermittelt werden.

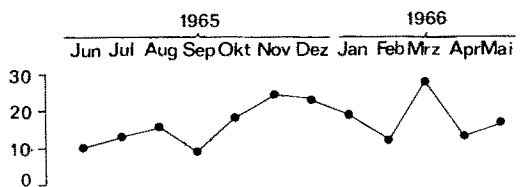


Abb. 2 3,4-Benzpyrengehalt des Staubes in verschiedenen Zonen nach Monaten: Mittelwert Stadt (µg/g Staub).

Es zeigt sich, daß der Benzpyrengehalt des Staubes im Jahresmittel in der Stadt Zürich 16,8  $\mu\text{g/g}$  Staub beträgt. Im ländlichen Bezirk (Klotener Ried) dagegen weist der Staub im Jahresmittel einen Benzpyrengehalt von nur 7,5  $\mu\text{g/g}$  Staub auf. Der Benzpyrengehalt des städtischen Staubes ist demnach mehr als doppelt so hoch wie derjenige des auf dem Land sedimentierten Staubes.

Nach *Stadtzonen* betrachtet erreichten gemäß Abb. 1 die Zone 3 (Wohnquartiere mit gemischter Bauweise) mit 20,1  $\mu\text{g/g}$  Staub und die Zone 1 (City) mit 18,6  $\mu\text{g/g}$  Staub die höchsten Jahresmittelwerte der Stadt Zürich im Gehalt des Staubes an Benzpyren. Die drei übrigen Zonen weisen alle geringere Jahresmittelwerte auf, nämlich 16,0  $\mu\text{g/g}$  Staub in Zone 5 (Industriezone), 15,3  $\mu\text{g/g}$  Staub in Zone 2 (alte Wohnquartiere) und 13,8  $\mu\text{g/g}$  Staub in Zone 4 (neue Außenquartiere)

Es fällt auf, daß sich der Benzpyrengehalt des Staubes in der Industriezone im gleichen Rahmen hält wie derjenige der «Wohnzone». Die *saisonale* Betrachtung der Tab. 1 zeigt, daß die Monate März, November, Dezember und Januar die höchsten Werte des Benzpyrengehaltes im Mittel aller Zonen der Stadt Zürich («Mittelwert Stadt») aufweisen. Die niedrigsten Werte finden sich in den Monaten September, Juni, Februar und Juli. Es zeigt sich, daß – von Ausnahmen abgesehen – die Maxima im Winter, die Minima dagegen im Sommer auftreten.

Es ist deshalb naheliegend, eine generelle Aufteilung nach Sommer- und Winterhalbjahr vorzunehmen. Dabei zählen zum Sommerhalbjahr die Monate April bis September, zum Winterhalbjahr die Monate Oktober bis März.

In Tab. 1 ist der Benzpyrengehalt des Staubes für das Sommer- und Winterhalbjahr für Stadt und Land und für die verschiedenen Zonen in der Stadt angegeben. Im einzelnen zeigt diese Tabelle: i) Im *Mittel der ganzen*

| Zone                                    | Wohn- und Arbeitsdichte (Personen/ha) | $\mu\text{g}$ 3,4-Benzpyren/g |        | Staub Mehrwert Winter (%) |
|---|---------------------------------------|-------------------------------|--------|---------------------------|
|   |                                       | Sommer                        | Winter |                           |
| 1 City                                  | 350                                   | 15,6                          | 22,3   | 43                        |
| 2 alte Wohnquartiere                    | 201–350                               | 13,2                          | 17,3   | 31                        |
| 3 Wohnquartiere mit gemischter Bauweise | 121–200                               | 15,6                          | 24,0   | 54                        |
| 4 neue Außenquartiere                   | 101–120                               | 10,0                          | 17,5   | 75                        |
| 5 Industrie                             | –                                     | 10,6                          | 21,4   | 102                       |
| Mittelwert «Wohnzone» (Zonen 2, 3, 4)   | 101–350                               | 12,9                          | 19,6   | 52                        |
| Mittelwert Stadt (Zonen 1–5)            | –                                     | 13,0                          | 20,6   | 58                        |
| 6 Land (Klotener Ried)                  | –                                     | 6,1                           | 9,0    | 48                        |

Tab. 1 3,4-Benzpyrengehalt des Staubes nach Zonen im Sommer und Winter.

*Stadt* ist der Benzpyrengehalt im Winter (20,6  $\mu\text{g/g}$ ) gegenüber dem Sommer (13,0  $\mu\text{g/g}$ ) um 58 % höher. Dieser Unterschied ist für  $p < 0,05$  gesichert. ii) Auf dem *Land* ist der Benzpyrengehalt im Winter (9,0  $\mu\text{g/g}$ ) gegenüber dem Sommer (6,1  $\mu\text{g/g}$ ) ebenfalls erhöht. Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant. iii) Der Staub der *Stadt* ist sowohl im Sommer als auch im Winter um mehr als das Doppelte benzpyrenreicher als der Staub der *Landzone*. Diese Differenzen sind im Sommer für  $p < 0,01$  und im Winter für  $p < 0,02$  signifikant. iv) In jeder *einzelnen Zone der Stadt* ist der Benzpyrengehalt des Staubes im Winter höher als im Sommer; der größte Unterschied ist in der Zone 5 (Industriezone) mit 102 % Zunahme im Winter, der kleinste dagegen in Zone 2 (alte Wohnquartiere) mit 31 % zu finden. Die statistische Prüfung zeigt, daß die Zunahme des Benzpyrengehaltes im Winter nur in Zone 4 (neue Außenquartiere) mit  $p = 0,05$  signifikant ist. In allen anderen Zonen ergibt sich keine Si-

gnifikanz. v) Im Sommer und im Winter weisen die Zonen 1 (City) und 3 (Wohnquartiere mit gemischter Bauweise) die höchsten Werte der fünf Zonen auf.

**B. Die pro Flächeneinheit sedimentierte Benzpyrenmenge:** Das Jahresmittel der sedimentierten Benzpyrenmenge wurde aus dem Benzpyrengehalt des Staubes und aus der Menge des Sedimentstaubes für *Stadt und Land* errechnet und wird in  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  angegeben.

In Abb. 3 und 4 sind die im Laufe der Monate Juni-1965 bis Mai 1966 sedimentierten Benzpyrenmengen festgehalten. Das Jahresmittel des Benzpyrens beträgt in der Stadt 50,6 Mikrogramm pro Quadratmeter und Monat ( $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$ ), auf dem Land

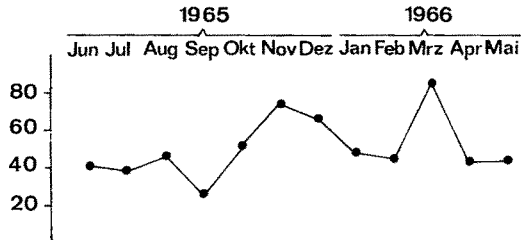


Abb. 4 Sedimentierte Menge 3,4-Benzpyren. Mittelwert Stadt ( $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$ ).

14,3  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$ . Die sedimentierte Benzpyrenmenge ist in der Stadt nahezu viermal größer als auf dem Land. Der Benzpyrengehalt des Staubes ist zwar nur doppelt so hoch wie auf dem Land; die viermal größere Menge sedimentierten Benzpyrens ergibt

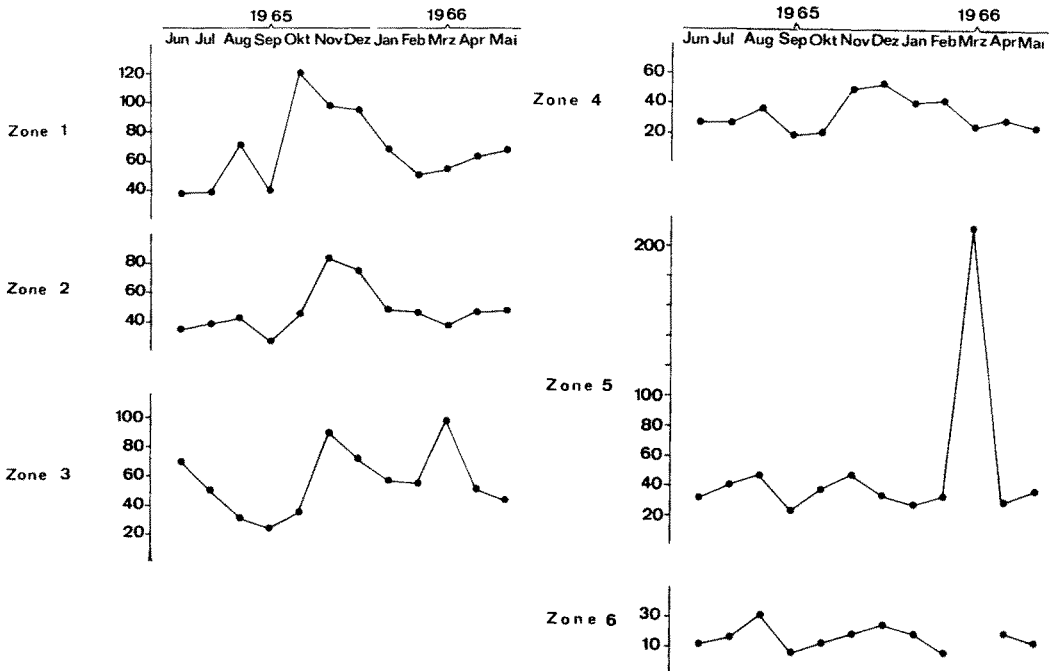


Abb. 3 Sedimentierte Menge 3,4-Benzpyren in den verschiedenen Zonen ( $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$ ). 1966 konnte der Märzwert auf dem Land (Zone 6) nicht ermittelt werden.

sich aber aus der Tatsache, daß die Menge des Staubsedimentes in der Stadt Zürich beinahe doppelt so groß ist wie auf dem Land. Bei der Aufteilung nach *Stadtzonen* finden wir den weitaus höchsten Wert an sedimentiertem Benzpyren gemäß Tab. 2 mit  $67,5 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$  in der Zone 1 (City). Ihr folgen die Zonen 3 (Wohnquartiere mit gemischter Bauweise) mit  $56,4 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$ , 5 (Industrie) mit  $49,5 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$  und 2 (alte Wohnquartiere) mit  $48,3 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$ . Am wenigsten weist die Zone 4 (neue Außenquartiere) mit  $31,3 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$  auf; hier ist die sedimentierte Benzpyrenmenge nicht einmal halb so groß wie in der City. In der «Wohnzone» ist die sedimentierte Benzpyrenmenge im Mittel nahezu gleich groß wie in der Industriezone.

Nach Jahreszeiten finden wir ohne Ausnahme die sechs höheren Werte der sedimentierten Benzpyrenmenge in den Wintermonaten Oktober bis März, die sechs niedri-

geren Werte in den Sommermonaten April bis September.

In Tab. 2 sind die Werte für das Sommer- und das Winterhalbjahr für die Stadt und für das Land und für die einzelnen Zonen der Stadt angegeben. Die wichtigsten Fakten dieser Tabelle sind: i) Im *Mittel der ganzen Stadt* ist die sedimentierte Benzpyrenmenge im Winter ( $369,0 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times 180 \text{ Tage}$ ) um 54 % höher als im Sommer ( $238,8 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times 180 \text{ Tage}$ ). Dieser Unterschied ist für  $p < 0,01$  gesichert. ii) Auf dem *Land* dagegen ist die sedimentierte Benzpyrenmenge im Winter ( $76,2 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times 180 \text{ Tage}$ ) etwas niedriger als im Sommer ( $94,8 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times 180 \text{ Tage}$ ). Da im Sommer auf dem Land die Menge des gesamten Staubsedimentes höher ist als im Winter, sedimentiert trotz des höheren Benzpyrengehaltes des Winterstaubes auf dem Land mehr Benzpyren. Dieser Unterschied weist aber keine Signifikanz auf. iii) Beim *Vergleich zwischen Stadt und Land* zeigt sich, daß in der Stadt mehr Benzpyren abgelagert wird als auf dem Land; im Sommer handelt es sich um etwas mehr als die doppelte Menge, im Winter sogar um die fünffache. Diese Differenzen sind für  $p < 0,01$  signifikant. iv) In *jeder einzelnen Zone* ist die sedimentierte Benzpyrenmenge im Winterhalbjahr größer als im Sommerhalbjahr. Der größte Unterschied ist in Zone 5 (Industriezone) mit 85 % Zunahme im Winter, der kleinste mit 41 % in der Zone 2 (alte Wohnquartiere) zu verzeichnen. Die statistische Analyse zeigt, daß die Unterschiede zwischen Sommer- und Winterwerten in keiner Zone signifikant sind. v) In Zone 1 (City) lagert sich sowohl *im Sommer als auch im Winter* die größte Benzpyrenmenge ab. In Zone 4 (neue Außenquartiere) findet man dagegen sowohl im Sommer als auch im Winter die niedrigste Menge sedimentierten Benzpyrens.

| Zone                                    | Wohn- und<br>Arbeitsdichte<br>Personen/ha | $\mu\text{g}$ 3,4-Benzpyren/ $\text{m}^2 \times 180 \text{ Tage}$ |        | Mehrwert<br>Winter (%) |
|---|---|---|--------|------------------------|
|   |   | Sommer  | Winter |                        |
| 1 City                                  | 350                                       | 320,5   | 489,6  | 53                     |
| 2 alte Wohnquartiere                    | 201-350                                   | 240,1   | 339,0  | 41                     |
| 3 Wohnquartiere mit gemischter Bauweise | 121-200                                   | 270,6   | 406,2  | 50                     |
| 4 neue Außenquartiere                   | 101-120                                   | 157,6   | 223,4  | 42                     |
| 5 Industrie                             | -   | 209,4   | 387,0  | 85                     |
| Mittelwert «Wohnzone» (Zonen 2, 3, 4)   | 101-350                                   | 222,6   | 322,8  | 45                     |
| Mittelwert Stadt (Zonen 1-5)            | -   | 238,8   | 369,0  | 54                     |
| 6 Land (Klotener Ried)                  | -   | 94,8  | 76,2   | -20                    |

Tab. 2 Sedimentierte Menge 3,4-Benzpyren nach Zonen im Sommer und Winter.

C. *Der Einfluß des Verkehrs:* In Tab. 3 sind die Zuweisung der einzelnen Meßstellen zu

| viel Verkehr |      |  | wenig Verkehr |      |  |
|--------------|------|--|---------------|------|--|
| Meßstelle    | Zone | 3,4-Benzpyren<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Jahr}$ ) | Meßstelle     | Zone | 3,4-Benzpyren<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Jahr}$ ) |
| Parade       | 1    | 1322,0   | MFO           | 5    | 896,4  |
| Klus         | 3    | 1059,6   | Kaserne       | 1    | 784,0  |
| Seefeld      | 2    | 660,0  | MZA           | 4    | 436,8  |
| Altstetten   | 3    | 553,8  | Oerlikon      | 3    | 417,0  |
| Hard         | 2    | 543,6  | Höngg         | 4    | 351,0  |
| Escher Wyss  | 5    | 547,2  | Shell         | 5    | 345,6  |
| Wipkingen    | 2    | 534,0  | Albisgüetli   | 4    | 355,2  |
|              |      |  | ETH           | 1    | 324,4  |
| Mittelwert   |      | 745,7<br>152,6 %   | Mittelwert    |      | 488,8<br>100,0 %   |

Tab. 3 Einteilung der Meßstellen nach Verkehrsbelastung (sedimentierte Menge 3,4-Benzpyren pro Jahr).

den Kategorien «viel Verkehr» und «wenig Verkehr» und die im Laufe eines Jahres sedimentierten Benzpyrenmengen wiedergegeben. Die Meßstellen-Mittelwerte der Kategorie «viel Verkehr» betragen  $745,7 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Jahr}$  und der Kategorie «wenig Verkehr»  $488,8 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Jahr}$ . Die Kategorie «viel Verkehr» weist demnach um 52,6 % mehr sedimentiertes Benzpyren auf als die Kategorie «wenig Verkehr». Die statistische Auswertung ergibt einen für  $p < 0,05$  gesicherten signifikanten Unterschied zwischen den beiden Kategorien.

### Diskussion

Hinsichtlich des Benzpyrengehaltes des Staubes ist festzustellen, daß der Benzpyrengehalt des in der Stadt Zürich gesammelten Staubes doppelt so hoch ist wie derjenige des ländlichen Staubes. Angesichts der viel größeren Zahl von Verbrennungsprozessen in der Stadt überrascht diese Feststellung nicht. Sie deckt sich mit allen ausländischen

Erfahrungen. Der Benzpyrengehalt des Staubes in der Stadt Zürich ist im Winter um 58 % höher als im Sommer. Diese Zunahme findet sich auch bei allen zum Vergleich herangezogenen ausländischen Städten und ist eindeutig auf die Heizungen zurückzuführen. Die Verwendung rußreicherer Brennstoffe führt nach Hettche [6] zur Erhöhung des Benzpyrengehaltes des Staubes. Die Mittelwerte des Benzpyrengehaltes der verschiedenen Zonen der Stadt Zürich unterscheiden sich nur geringfügig voneinander. Auffällig ist, daß der Staub der Industriezone keinen größeren Benzpyrengehalt aufweist als der Staub der «Wohnzone». Man ersieht daraus, daß Zürich bezüglich Benzpyrenauswurf eine saubere Industrie hat, die nur wenig Ruß in die Außenluft abgibt.

Vergleicht man die in Zürich erhaltenen Werte für den Benzpyrengehalt des Staubes mit denjenigen des Auslandes (Tab. 4), so muß festgestellt werden, daß relativ wenig vergleichbare Sedimentationsmessungen vorliegen. Die Ursache liegt darin, daß – vor allem in den Vereinigten Staaten von Amerika – häufiger der Schwebestaub und weniger das Staubsediment gemessen wird. Unter der berechtigten Annahme, daß Benzpyren an allen Partikelgrößen adsorbiert wird – Untersuchungen, welche diese Annahme als abwegig erscheinen ließen, sind uns nicht bekannt – und daß deshalb auch Vergleiche mit Untersuchungen über den Benzpyrengehalt des Schwebestaubes zulässig sind, wurden in Tab. 4 auch die Resultate von Schwebestaubanalysen aufgeführt. (Direkt vergleichbar mit unseren Sedimentstaub-Analysen sind auch ausländische Untersuchungen an Staub, der auf Schnee sedimentierte.)

Die Werte für den Benzpyrengehalt des Zürcher Staubes liegen im unteren Bereich der Vergleichsskala mit ausländischen Städten. In Nashville (Tenn., USA), das nach den Untersuchungen von Sawicki und Mitarb. [8]

| Stadt                | Einwohner<br>100 000 | µg 3,4-Benzpyren/g Staub |                    |          | Methode        | Lit. |
|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------|----------|----------------|------|
|                      |                      | Sommer                   | Winter             | Mittel   |                |      |
| Zürich «Wohnzone»    | 4,36                 | 12,9                     | 19,8               | 16,4     | A              |      |
| Industrie            |                      | 10,6                     | 21,8               | 16,2     | A              |      |
| ganze Stadt          |                      | 13,0                     | 20,6               | 16,8     | A              |      |
| Land                 |                      | 6,1                      | 9,0                | 7,6      | A              |      |
| Bonn                 | 1,45                 |                          | 153,4 <sup>1</sup> |          | C <sup>2</sup> | [6]  |
| Bochum               | 3,65                 |                          | 382,3 <sup>1</sup> |          | C <sup>3</sup> | [6]  |
| Düsseldorf           | 6,92                 |                          | 232,5 <sup>1</sup> |          | C <sup>3</sup> | [6]  |
| Rom                  |                      |                          | 255,7              |          |                | [11] |
| Budapest             | 18,07                |                          |                    | 0,6–26,0 | B              | [12] |
| Irkutsk              | 19,77                |                          |                    | 0,6–13,5 | B              | [12] |
| Moskau               | 112,04               |                          |                    | 2,5– 8,0 | B              | [12] |
| London               | 31,95                |                          | 280                |          | C              | [13] |
| Salford              | 1,55                 |                          | 425                |          | C              | [14] |
| Richmond (Virginia)  |                      |                          | 410                |          | C              | [8]  |
| Atlanta              | 4,85                 | 26,4                     | 69,4               | 47,9     | C              | [8]  |
| Birmingham (Alabama) | 3,39                 | 44,8                     | 132,7              | 88,7     | C              | [8]  |
| Cincinnati           | 9,55                 | 22,0                     | 132,5              | 77,3     | C              | [8]  |
| Detroit              | 16,73                | 37,8                     | 157,5              | 97,7     | C              | [8]  |
| Los Angeles          | 24,48                | 5,7                      | 14,4               | 10,1     | C              | [8]  |
| Nashville            | 1,67                 | 33,4                     | 177,5              | 105,5    | C              | [8]  |
| New Orleans          | 6,28                 | 41,0                     | 45,3               | 43,2     | C              | [8]  |
| Philadelphia         | 20,03                | 19,2                     | 48,8               | 34,0     | C              | [8]  |
| San Francisco        | 7,43                 | 10,8                     | 30,0               | 20,4     | C              | [8]  |
| Tokio                | 102,61               |                          | 75,2 <sup>4</sup>  |          |                | [15] |
| Sapporo              | 5,24                 |                          | 584                |          |                | [16] |

A Sedimentstaub <sup>1</sup> Februar  
B Sedimentstaub auf Schnee gesammelt <sup>2</sup> auf ebener Erde  
C Schwebestaub <sup>3</sup> 8 m über Boden  
<sup>4</sup> Januar/Februar

Tab. 4 3,4-Benzpyrengengehalt des Staubes in verschiedenen Städten.

den höchsten Jahresmittelwert der zum Vergleich herangezogenen Städte aufweist und einen Extremfall darstellt, ist der Benzpyrengengehalt des Staubes sechsmal höher als in Zürich. Die russischen Städte Irkutsk und Moskau haben dagegen einen niedrigeren Benzpyrengengehalt im Staub als Zürich. Eine Sonderstellung unter den ausländischen Städten nehmen Los Angeles und San Francisco mit ihrem tiefen Benzpyrengengehalt ein. Die Ursache des niedrigen Benzpyrengehaltes in diesen beiden Städten ist darauf zurückzuführen, daß in beiden Städten eine oxidierende Atmosphäre herrscht, im Ge-

gensatz zu den meisten europäischen Städten, in denen reduzierende Luftverunreinigungen vorherrschen. Da 3,4-Benzpyren durch oxidierende Stoffe leicht und schnell zersetzt wird, wird es durch die Oxidantien in der Stadtluft von Los Angeles und San Francisco zerstört.

In bezug auf die *pro Flächeneinheit sedimentierte Benzpyrenmenge* ist der Unterschied zwischen Sommer und Winter sehr eindrucklich. Er ist auf den höheren Benzpyrengengehalt des Winterstaubes im Gefolge der Heiztätigkeit zurückzuführen. Auch in den ausländischen Städten sind die im Win-

| Stadt                       | Einwohner<br>100 000 | Zone        | $\mu\text{g}$ 3,4-Benzpyren/m <sup>2</sup> × Tag |        |        | × Monat<br>Mittel | Lit. |
|-----------------------------|----------------------|-------------|--|--------|--------|-------------------|------|
|                             |                      |             | Sommer   | Winter | Mittel |                   |      |
| Zürich                      | 4,36                 | «Wohnzone»  | 1,2  | 1,7    | 1,5    | 45                |      |
|                             |                      | Industrie   | 1,1  | 2,2    | 1,7    | 51                |      |
|                             |                      | ganze Stadt | 1,3  | 2,1    | 1,7    | 51                |      |
|                             |                      | Land        | 0,5  | 0,4    | 0,45   | 13,5              |      |
| Prag                        | 10,03                | Wohnzone    |  | 0,1    |        | 3                 | [21] |
|                             |                      | Industrie   |  | 1,2    |        | 36                | [17] |
|                             |                      | Industrie   |  | 2,8    |        | 84                | [17] |
| Budapest                    | 18,07                | Stadt       |  | 2,3    |        | 69                | [17] |
| Moskau                      | 112,04               | Industrie   |  |        | 1,8    | 54                | [18] |
| Kolpino                     | 0,34                 | Industrie   |  |        | 1,7    | 51                | [19] |
| Pokhvistnevo                |                      | Industrie   |  |        | 0,2    | 6                 | [19] |
| Irkutsk                     | 19,77                | Stadt       |  | 4,1    |        | 123               | [19] |
| Angorsk                     |                      | Industrie   |  | 1,0    |        | 30                | [20] |
| Ashridge<br>(Hertfordshire) |                      |             |  | Spuren |        |                   | [20] |

Tab. 5 Sedimentierte Menge 3,4-Benzpyren in verschiedenen Städten.

ter sedimentierten Benzpyrenmengen größer als im Sommer (Tab. 5). Hinsichtlich der absoluten Menge sedimentierten Benzpyrens sind die für Zürich erhobenen Werte mit durchschnittlich  $51,0 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Monat}$  von gleicher Größenordnung wie diejenigen der zum Vergleich herangezogenen ausländischen Städte. Deuber und Mitarbeiter [1] haben festgestellt, daß Zürich hinsichtlich der Gesamtmenge sedimentierten Staubes im Vergleich zu ausländischen Städten sehr niedrige Werte aufweist und in dieser Hinsicht als saubere Stadt zu bezeichnen ist. Diese ausgesprochene Privilegierung der Stadt Zürich ist in bezug auf die sedimentierte Benzpyrenmenge nicht vorhanden.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß den Heizungen wesentliche Bedeutung als Benzpyrenquelle zukommt, findet man doch in der Stadt im Winter 54 % mehr sedimentiertes Benzpyren als im Sommer. Allerdings ist zu beachten, daß in der Stadt Zürich der Verkehr in bezug auf Benzpyren von größerer Bedeutung ist als die Heizungen. Diese Feststellung ergibt sich daraus, daß schon im Sommer – wenn die Heizungen nicht in Be-

trieb sind –  $238,8 \mu\text{g}/\text{m}^2 \times 180$  Tage sedimentieren. Die im Sommer sedimentierte Benzpyrenmenge entspricht ungefähr zwei Dritteln des Winterwertes. Auch die Tatsache, daß der Mittelwert der Meßstellen mit «viel Verkehr» gegenüber dem derjenigen mit «wenig Verkehr» einen statistisch gesicherten Unterschied aufweist, erhärtet den entscheidenden Einfluß des Verkehrs. Auch andere Autoren, wie Sullivan und Cleary [7], haben darauf hingewiesen, daß in manchen Städten wie in Zürich dem Verkehr das Primat als Benzpyrenquelle zukommt.

Aus präventivmedizinischen Überlegungen könnte man versuchen, den Gehalt der Stadtluft an kanzerogenem Benzpyren mit der Benzpyrenexposition durch Zigarettenrauchen zu vergleichen. Einen solchen Vergleich haben bereits Sawicki und Mitarb. [8] angestellt. Dabei wurde angenommen, daß der Mensch im Durchschnitt pro Jahr 7000 Kubikmeter Luft einatme und daß alles aufgenommene Benzpyren absorbiert werde. Die Unterschiede von Geschlecht, Arbeit und Rauchverhalten wurden bewußt vernachlässigt. Auf Grund der Benzpyrenmenge

in 1000 Kubikmeter Luft, die in neun amerikanischen Städten gemessen wurde, konnte gefolgert werden, daß in San Francisco (Calif.) ein Mensch 14  $\mu\text{g}$  Benzpyren pro Jahr aufnimmt, in Atlanta (Georgia) 44, in Cincinnati (Ohio) 79 und in Nashville (Tenn.) 120. Ein Zigarettenraucher, der pro Tag ein Paket Zigaretten konsumiert, käme auf ungefähr 60  $\mu\text{g}$  Benzpyren pro Jahr. (Nach Cooper und Lindsey [9] erhält man aus 100 Zigaretten 0,8  $\mu\text{g}$  3,4-Benzpyren. 7200 Zigaretten — d. h. ein Paket pro Tag — ergeben somit 57,6  $\mu\text{g}$ .) Da wir keine Schwebstaub-Analysen durchgeführt haben, können wir den Gehalt der Zürcher Stadtluft pro 1000 Kubikmeter nicht angeben. Dagegen läßt sich der Benzpyrengehalt pro Gramm Staub gemäß Tab. 4 gut zum Vergleich heranziehen. Im Vergleich zu den neun amerikanischen Städten, die Sawicki und Mitarb. [8] untersucht haben, käme die Stadt Zürich hinsichtlich des Benzpyrengehaltes pro Gramm Staub ziemlich genau in die Mitte zwischen San Francisco und Los Angeles zu liegen. Da in den neun amerikanischen Städten in den von Sawicki und Mitarb. gemessenen Monaten zwischen dem Benzpyrengehalt pro Gramm Staub und der Benzpyrenmenge pro 1000 Kubikmeter Luft eine von uns nach Spearman [10] berechnete statistisch hoch signifikante Korrelation besteht ( $R = 0,91666$ ), kann man die Stadt Zürich auch in bezug auf die von einem Menschen pro Jahr eingeatmete Benzpyrenmenge zwischen San Francisco und Los Angeles einreihen. Auf diese Weise kommen wir zum Schluß, daß ein Mensch in der Stadt Zürich auf Grund der Verunreinigung der Außenluft ungefähr 17  $\mu\text{g}$  Benzpyren pro Jahr einatmet oder eine Menge, die dem Konsum von 5 bis 6 Zigaretten pro Tag entspricht.

#### Literaturverzeichnis

[1] A. Deuber, A. Gilgen, E. Grandjean: Staubniederschlag in Zürich. *Städtehygiene* 18, 277 (1967).

- [2] R. Schaad: Der Benzpyrengehalt des Staubniederschlags in Zürich. *Z. Präventivmedizin* 13, 217 (1968).
- [3] J. L. Monkman, G. E. Moore, M. Katz: Analysis of polycyclic hydrocarbons in particulate pollutants. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 23, 487 (1962).
- [4] R. Schaad, R. Bachmann, A. Gilgen: Dünnschichtchromatographische Trennung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, die als Luftverunreinigungen auftreten können. *J. Chromatog.* 41, 120 (1969).
- [5] Geigy-Tabellen, 6. Aufl., S. 170.23. J. R. Geigy AG, Basel 1960.
- [6] H. O. Hettche: Messung polyzyklischer Aromaten in der Atmosphäre. *Staub* 25, 365 (1965).
- [7] J. L. Sullivan, G. J. Cleary: A comparison of polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from diesel- and petrol-powered vehicles in partially segregated traffic lanes. *Brit. J. Ind. Med.* 21, 117 (1964).
- [8] E. Sawicki, W. C. Elbert, T. R. Hauser, F. T. Fox, T. W. Stanley: Benzo(a)pyrene content of the air of American communities. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 21, 443 (1960).
- [9] R. L. Cooper, A. J. Lindsey: 3,4-Benzpyrene and other polycyclic hydrocarbons in cigarette smoke. *Brit. J. Cancer* 9, 304 (1955).
- [10] Geigy-Tabellen, 6. Aufl., S. 170.11. J. R. Geigy AG, Basel 1960.
- [11] P. Valori, C. Melchiorri, N. Vescia: Ricerca e determinazione degli idrocarburi policiclici nel pulviscolo atmosferico della città di Roma. I. Determinazione del 3,4-benzpirene. *Nuovi Annali Ig. Microbiol.* 14, 434 (1963).
- [12] M. Saringer, Z. Morlin: Budapest levegőjének 3,4-benzpiren tartalma (3,4-Benzpyrengehalt der Luft von Budapest). *Időjaras* 5, 277 (1967).
- [13] R. E. Waller: Benzpyrene content of town air. *Brit. J. Cancer* 6, 8 (1952).
- [14] R. L. Cooper: The determination of polycyclic hydrocarbons in town air. *Analyst* 79, 573 (1954).
- [15] H. Sakabe, H. Matsushita, H. Hayashi, K. Nozaki, Y. Suzuki: Mineral components and 3,4-benzpyrene in air pollutants of Tokyo. *Ind. Health* 3, 126 (1965).
- [16] F. Tsunoda, J. Northern Occup. Health 29, 21 (1963), japanisch, zit. nach [14].
- [17] V. Skramovsky: The determination of 3,4-benzpyrene in the atmosphere of Prague. *Acta unio int. cancer.* 19, 733 (1963).
- [18] K. M. Saringer: Budapest levegőjének 3,4-benzpirenrel való szennyezettsege 1963 telen, haviszgalatok alapjan (3,4-Benzpyrengehalt der Luft von Budapest im Winter 1963, Schätzung aus Schnee-proben). *Egeszegtudomány* 9, 247 (1965).
- [19] N. N. Litvinov, M. S. Goldberg, S. N. Kimina: Morbidity and mortality in man caused by pulmonary cancer and its relation to the pollution of the

atmosphere in the areas of aluminum plants. Acta unio int. cancr. 19, 742 (1963).

- [20] *J. M. Gruschko*: Vergleichende Untersuchungen der Verunreinigung der atmosphärischen Luft mit cancerogenen Stoffen (3,4-Benzpyren) in Irkutsk und Angarsk. Gig. i San. 23, 7 (1958), zit. n. Staub 18, 385 (1958).
- [21] *R. L. Cooper, A. J. Lindsey*: Atmospheric pollution by polycyclic hydrocarbons. Chem. and Ind. 1953, 1177.

Die Untersuchungen wurden mit finanzieller Hilfe der Schweizerischen Krebsliga und der Kantonal-Zürcher Liga für Krebsbekämpfung durchgeführt.

Adresse der Autoren:

Dr. sc. nat. *Rainer Schaad*, dipl. Ing.-Chem. ETH, und Dr. med. *Alfred Gilgen*, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH, Clausiusstr. 25, 8006 Zürich.



# S. Barenholz

Atelier für Dekorations-  
und Flachmalerei  
8600 Dübendorf  
Stettbachstraße 1  
Telefon 85 18 86 / 88  
Gegründet 1908

Übernahme  
von Neu- und Umbauten  
Renovationen