

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 69 (1977)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Die räumliche Verteilung von Motorfahrzeugabgasen in Situationen unterschiedlicher Bebauung  
**Autor:** Deuber, A. / Meier, M. / Satish, J. / Satish, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941480>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 08.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Die räumliche Verteilung von Motorfahrzeugabgasen in Situationen unterschiedlicher Bebauung

Von A. Deuber, M. Meier, J. Satish, H. J. Sommer und H. U. Wanner

DK 621.43.068:614.71:351.777

## 1. Problematik

### 1.1 Einführung

Auf Grund bisheriger Untersuchungen ist bekannt, dass die bauliche Situation an einer Strasse für die atmosphärischen Pegel der Verkehrsabgase eine entscheidende Rolle spielt [1, 4, 7]. Je enger, tiefer und geschlossener eine Strassenschlucht ist, desto stärker stauen sich die Abgase und desto weniger wird sie der Wind verdünnen.

Gerade in einem Land wie der Schweiz, das viele kleine Städte mit erhaltenem historischem Kern aufweist, können sich so punktuell Abgaskonzentrationen bilden, welche diejenigen in viel grösseren ausländischen Städten erreichen. Aber nicht nur alte, sondern auch neue Stadtteile werden oft von stark befahrenen Verkehrsadern durchschnitten, wobei diejenigen Bewohner am meisten unter den Immissionen leiden, die den Verkehr unmittelbar vor den Fenstern haben. Meist macht sich dabei der Lärm am brutalsten bemerkbar, während die Luftverunreinigung weniger ins Bewusstsein der Betroffenen dringt. Wohnt bzw. arbeitet man aber auf der vom Verkehr abgewandten Seite oder im Hinterhof, so ist man vor dem Lärm und der sichtbaren Staubimmission verhältnismässig gut geschützt. Wenig ist aber bekannt darüber, wie gut man dort vor den gasförmigen Luftverunreinigungen aus dem Verkehr abgeschirmt ist.

Die praktische Untersuchung dieses Fragenkomplexes erfordert einen grossen materiellen und personellen Aufwand, weil an mehreren Punkten eines Messortes gleichzeitig gemessen werden muss. Hinzu kommt, dass die Abgase aus dem Verkehr ein Mehrstoffsystem mit komplexem physikalischem und chemischem Verhalten sind, das über die in Frage stehenden Entfernungen von meist etwa 100 m mathematisch bisher nur schwer modelliert werden konnte. Diese Schwierigkeiten dürften die Hauptgründe dafür sein, dass das Problem bisher kaum je in einer Gesamtheit bearbeitet wurde, obwohl die Kenntnis der Ausbreitung von Verkehrsabgasen in die unmittelbare Umgebung zusammen mit der Kenntnis über die Zusammensetzung des Luftfremdstoffgemisches für die Beurteilung der hygienischen Verhältnisse der betroffenen Bevölkerung wichtig wäre.

### 1.2 Durchgeführte Arbeiten

Die geschilderte Problematik konnte im Rahmen eines Projektes «Luftverunreinigung in der Umgebung von Strassen» bearbeitet werden, das vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanziert wurde. Ziel der Arbeit war es, Angaben über die Belastung der unter verschiedenen baulichen Verhältnissen wohnenden und arbeitenden Bevölkerung durch Immissionen aus dem Verkehr zu gewinnen.

Das Projekt umfasste Arbeiten zur Messmethodik, über atmosphärische Ausbreitung, über das Ausmass der Luftverunreinigung im Freien und im Inneren der Häuser sowie epidemiologische Untersuchungen und Befragungen der Bevölkerung. Ueber die Methodik und erste Messresultate sowie ein mathematisches Ausbreitungsmodell liegen bereits Veröffentlichungen vor; weitere sind in Vorbereitung [2, 6, 8, 11, 14].

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Konzentrationen

gasförmiger Luftfremdstoffe als Funktion folgender Faktoren: Art der Bebauung, Distanz von der Emissionsquelle, Lage bezüglich Höhe und Hindernisse, Verkehr, atmosphärische Bedingungen.

## 2. Methodik

### 2.1 Messung der Luftfremdstoffe

Folgende Aufgabe war zu lösen: im Umkreis eines Messortes bis zu einer Entfernung von etwa 100 m mussten an rund 10 Messpunkten gleichzeitig Proben für die Bestimmung mehrerer Halbstundenmittel gewonnen werden. Dazu wurden Luftsäcke aus FEP-Teflon von ca. 40 Liter Inhalt in einem Schutzbehälter durch kleine batteriebetriebene Ventilatoren innerhalb von 30 Minuten gefüllt. Bild 1 zeigt die Ausrüstung eines Messpunktes und den Behälter während der Probenahme. Die Ansaug-Oeffnung befand sich 1,5 m über Boden. Innerhalb von 2 Stunden nach der Probenahme wurde der Inhalt der Luftsäcke in einem Messwagen analysiert.

Die analysierten Substanzen und die Bestimmungsmethoden waren:

1. Kohlenmonoxid (CO), automatische coulometrische Titration;
2. Stickstoffoxid (NO), Chemilumineszenz;
3. Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Chemilumineszenz;
4. Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe (NMKW), FID;
5. Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), automatische coulometrische Titration;
6. Formaldehyd (CH<sub>2</sub>O), Farbreaktion mit Chromotropsäure und automatische Spektrophotometrie.

Bild 1. Probenahmeverrichtung und Behälter während des Messvorgangs. Innerhalb von 2 Stunden nach der Probenahme wurde der Inhalt der Luftsäcke in einem Messwagen analysiert.



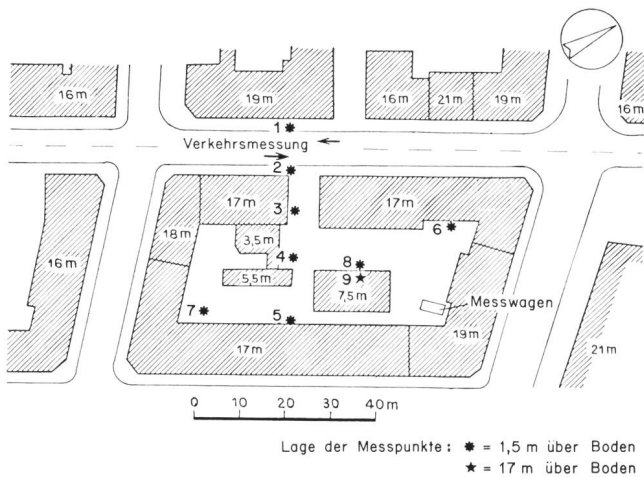


Bild 2a. Strassenschlucht (Langstrasse, Zürich). Die in den Häuserblöcken angegebenen Meterzahlen geben die Höhe der Gebäude an.

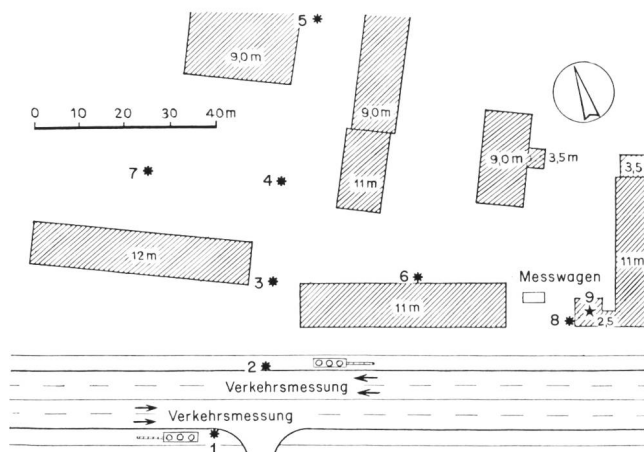


Bild 2b. Ausfallstrasse (Wehntalerstrasse, Zürich). Die in den Häuserblöcken angegebenen Meterzahlen entsprechen den Gebäudehöhen.



Bild 2c. Wohnquartier (Oerlikon). Gemessen wurde in den Punkten 1 bis 5 in 1,5 m über Boden, im Punkt 1a in 10 m über Boden.

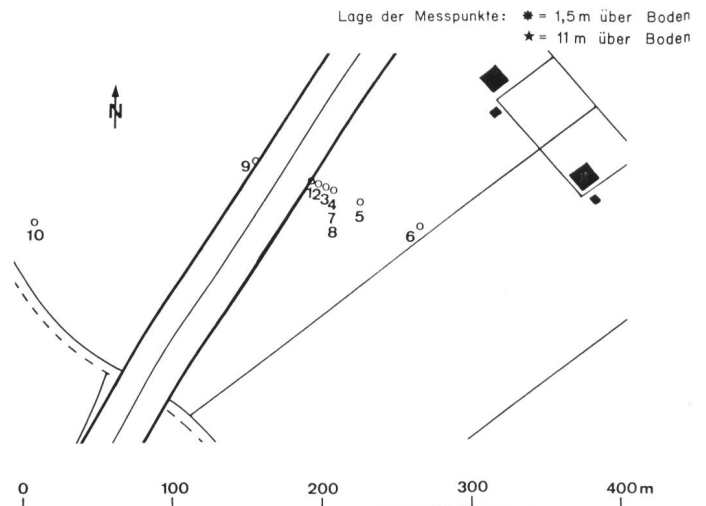


Bild 2d. Autobahn (Oensingen). Die Messpunkte 1 bis 6, 9, 10 liegen 1,5 m über Boden. Punkt 7 liegt 5 m und Punkt 8 liegt 11 m über Boden.

## 2.2 Atmosphärische Parameter

1. Wind: Geschwindigkeit [ $\text{m s}^{-1}$ ], Azimut [Grad] und Elevation [Grad], je mit «Sigma»-Werten [Gauss'sche 95 % Vertrauensgrenzen].
2. Lufttemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ] mit zwangsbelüfteten, vor Strahlung abgeschirmten Widerstandsthermometern.
3. Relative Feuchtigkeit [%] mit zwangsbelüftetem Faserhygrometer und Dehnungsmessstreifen.
4. Globalstrahlung [ $\text{W m}^{-2}$ ] nach Eppley.

Diese Parameter wurden gleichzeitig mit den Luftprobenahmen gemessen, und zwar auf freiem Feld 10 m über Grund, an städtischen Messorten auf mittlerer Dachfirsthöhe. Ferner wurden mesoklimatische Daten den Aufzeichnungen der Meteorologischen Zentralanstalt entnommen.

## 2.3 Verkehr

Die Erkennung der Fahrzeuge erfolgte getrennt nach Fahrspuren durch 4 m lange Induktionsschleifen, die an eine Elektronik angeschlossen waren; diese zeigte durch das Umschalten eines Relais an, ob die betreffende Schleife gerade von einem Fahrzeug besetzt war oder nicht.

Zur Auswertung der Verkehrsmessungen wurde ein neuer Weg beschritten, der es ermöglichen sollte, auch die Fahrweise bzw. die mittlere Geschwindigkeit des Verkehrs zu bestimmen, denn diese ist besonders unter städtischen Verhältnissen für die Emission von Abgasen wichtiger als

die bloße Anzahl der Fahrzeuge. Zu ihrer Erfassung wurde die Tatsache ausgenützt, dass jedes Fahrzeug auf der Induktionsschleife eine bestimmte Belegungsdauer verursacht, welche in dem Moment beginnt, wo der vorderste Teil des Fahrzeugs die Schleife berührt (und damit die Anzeige auslöst) und endet, wenn das Heck die Schleife verlässt. Die Belegungsdauer ist also die Zeit, die ein Fahrzeug braucht, um die Strecke zu passieren, welche der Summe aus Fahrzeug- und Schleifenlänge entspricht.

In einem Datensortierer eigener Konstruktion wurde nun nicht nur gezählt, wie oft jede Schleife befahren wurde, sondern auch aufaddiert, wie lange jede Schleife belegt war. Das Resultat wurde am Ende der vorgewählten Messzeit automatisch nach Fahrbahnen getrennt ausgedruckt.

Wird der erhaltene Messwert durch die Messdauer und dieser Wert wiederum durch die Summe aus mittlerer Fahrzeug- und Schleifenlänge dividiert, so erhalten wir die relative Verweilzeit mit der Dimension [ $\text{m}^{-1}$ ], die angibt, während welchen Zeitanteils ein Meter jeder Fahrbahn von einem Fahrzeug belegt war. Diese Verweilzeit ist umgekehrt proportional zur Fahrgeschwindigkeit.

## 3. Messorte und Messzeiten

Für die Messungen wurden vier Typen von Messorten ausgewählt, an denen zweimal während je eines Sommer- und Wintermonates gemessen wurde. An allen Messorten wur-

Gesamtmittel der Luftfremdstoffe an 5 Messpunkten in 0 bis 40 m Entfernung von der Strasse (Wohnquartier: Umkreis von 300 m), in 1,5 m Höhe über Boden.

Tabelle 1

Messort	Verkehr		Wind- stärke m/s	CO ppm	NO ppb	NO <sub>2</sub> ppb	NMKW ppb	SO <sub>2</sub> ppm	CH <sub>2</sub> O ppb
	Anzahl (min <sup>-1</sup> )	%-Ver- weilzeit (m <sup>-1</sup> )							
Strassenschlucht (Langstrasse, 2 Fahrbahnen)	20	6,0	0,9	7,9	167	44	1,7	46	10
Ausfallstrasse (Wehntalerstrasse, 4 Fahrbahnen)	21	5,3	1,7	2,7	105	35	0,56	17	10
Autobahn (Oensingen, 4 Fahrbahnen)	37	3,1	3,3	1,5	114	25	0,26	19	10
Wohnquartier (Oerlikon, Lokalverkehr)	2,5	0,4	1,6	0,8	33	21	0,50	11	9,3

(Etwa 50 Messungen von Verkehrs- und Winddaten; etwa 250 Messungen der Schadstoffkonzentrationen)

Verteilung der Luftfremdstoffe als Funktion der Entfernung von der Strasse (0 m=Strassenrand), Höhe und Lage bezüglich Hindernissen.

Tabelle 2

Entfernung (m)		0	0	5	10	10	10	20	20	20	20	20	40	40	80	120
Höhe über Boden (m)		1,5	1,5	1,5	1,5	11	1,5	1,5	5	10	1,5	17	1,5	1,5	1,5	1,5
Lage		opp	dir	dir	dir	dir	obs	dir	dir	dir	obs	dir	dir	obs	dir	opp
Strassen- schlucht (Langstr.)	CO (ppm)	13,6	13,4	—	6,5	—	3,1	3,5	—	—	—	2,5	2,3	2,1	—	—
	NO (ppb)	282	300	—	134	—	67	67	—	—	—	57	52	50	—	—
	NO <sub>2</sub> (ppb)	51	53	—	43	—	35	39	—	—	—	38	36	35	—	—
	NMKW (ppm)	2,5	2,6	—	1,5	—	1,0	1,0	—	—	—	0,7	0,7	0,6	—	—
	SO <sub>2</sub> (ppb)	53	55	—	48	—	31	42	—	—	—	37	31	40	—	—
		CH <sub>2</sub> O (ppb)	13	12	—	8	—	8	9	—	—	10	9	10	—	—
Ausfall- strasse (Wehn- talerstr.)	CO (ppm)	5,4	4,2	—	1,6	1,3	—	1,2	—	—	0,9	—	1,0	0,9	0,9	—
	NO (ppb)	218	185	—	61	40	—	33	—	—	28	—	29	24	24	—
	NO <sub>2</sub> (ppb)	52	48	—	29	29	—	26	—	—	19	—	21	20	20	—
	NMKW (ppm)	1,0	0,8	—	0,4	0,4	—	0,3	—	—	0,3	—	0,3	0,3	0,3	—
	SO <sub>2</sub> (ppb)	24	21	—	13	16	—	14	—	—	8,6	—	11	9,9	8,4	—
		CH <sub>2</sub> O (ppb)	12	12	—	10	11	—	8,1	—	9,6	—	7,9	9,6	8,1	—
Autobahn (Oensin- gen)	CO (ppm)	1,7	2,0	1,8	1,6	—	—	1,3	1,2	1,0	—	—	1,0	—	0,9	0,7
	NO (ppb)	173	151	135	105	—	—	82	64	44	—	—	59	—	39	33
	NO <sub>2</sub> (ppb)	31	30	26	24	—	—	22	25	20	—	—	20	—	18	14
	NMKW (ppm)	0,3	0,3	0,2	0,2	—	—	0,4	0,2	0,1	—	—	0,1	—	0,1	0,2
	SO <sub>2</sub> (ppb)	24	21	19	20	—	—	18	22	8,1	—	—	15	—	15	15
		CH <sub>2</sub> O (ppb)	10	11	9,3	9,9	—	10	5,2	5,9	—	—	9,4	—	7,8	8,9

Lage der Messstellen (vgl. Bild 2): opp auf der gegenüberliegenden Strassenseite; dir ohne Hindernis zwischen Strasse und Messpunkt; obs hinter einem Gebäude.

den während der Messperiode an Werktagen täglich 2 bis 3 Halbstundenmittel aller Substanzen an allen Messpunkten gemessen. Die Messzeiten lagen um 8, 12 und 17 Uhr, erfassten also generell die verkehrsreichen Zeiten. Im ganzen wurden an jedem Messort rund 50mal an 5 bis 10 Messpunkten gleichzeitig je 6 Substanzen sowie Verkehrs- und atmosphärische Parameter gemessen.

Die Messorte waren:

#### 1. Strassenschlucht (Bild 2a, Langstrasse)

Enge, zweispurige Strassenschlucht, nur von schmalen Einfahrten zu Hinterhöfen durchbrochen; viel Durchgangsverkehr auf der Langstrasse, wenig Verkehr auf den Nebenstrassen; häufige Stauungen. Messpunkte: 9, wovon einer (Nr. 9) auf mittlerer Dachfirsthöhe. Messperioden: September 1975 und Februar 1976.

#### 2. Ausfallstrasse (Bild 2b, Wehntalerstrasse)

Aufgelockerte Blockbebauung beidseits einer vierspurigen verkehrsreichen Ausfallstrasse; Verkehrsampeln in der «grünen Welle», trotzdem oft Warteschlangen. Messpunkte: 9, wovon einer (Nr. 9) auf mittlerer Dachfirsthöhe. Messperioden: August 1975 und Januar 1976.

#### 3. Wohnquartier (Bild 2c, Oerlikon)

Bebauung ähnlich wie an der Ausfallstrasse; das Quartier ist in 300 bis 600 m Distanz vom Messpunkt 1 aus ringsum von stark befahrenen Ausfallstrassen (in Bild 2c gestrichelt eingezeichnet) umgeben, weist aber selbst nur geringen

Verkehr an den Messpunkten 1 und 6 auf. Messpunkte: 6 wovon einer (Nr. 1a) auf mittlerer Dachfirsthöhe. Messperioden: Juni und November 1975.

#### 4. Autobahn (Bild 2d, Oensingen)

Vierspurige, stark befahrene Autobahn (N1 Zürich und Basel—Bern); auf freiem Feld, ohne Hindernisse, Landwirtschaftsgebiet; Stauungen selten. Messpunkte: 10, wovon einer (Nr. 7) auf 5 m und einer (Nr. 8) auf 10 m Höhe über Boden. Messperioden: Mai und Dezember 1975, ergänzende Messungen im Juni/Juli 1976.

## 4. Resultate

### 4.1 Verteilung auf die Messorte

Tabelle 1 zeigt die Gesamtmittel aller Messungen an den vier Messorten, und zwar

- die Verkehrsdichte als Anzahl Fahrzeuge pro Minute und als prozentuale, relative Verweilzeit pro Meter — über alle Fahrspuren summiert;
- die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in m/s;
- die Konzentrationen der Luftfremdstoffe in ppm bzw. ppb als Mittel aller vergleichbaren Messpunkte 1,5 m über Boden.

Betrachten wir zunächst die mittlere CO-Konzentration: in der Umgebung der Strassenschlucht ist sie mit rund 8 ppm etwa dreimal höher als an der Ausfallstrasse, die ihrerseits

noch etwa den doppelten Wert der Autobahn aufweist. Das Wohnquartier mit nur wenig eigenem Verkehr erreicht den niedrigsten Pegel.

Setzen wir diese CO-Konzentrationen nun in Beziehung zur Verkehrsdichte, so sehen wir, dass kein direkter Zusammenhang mit der Anzahl der Fahrzeuge (pro min) besteht. Hingegen lässt sich eine Abhängigkeit von der relativen Verweilzeit erkennen.

Der Einfluss der Windstärke auf die CO-Konzentration ist ebenfalls klar ersichtlich: die beiden Messgrößen sind gegenläufig, was auf Grund der Verdünnungswirkung des Windes zu erwarten war. Im Wohnquartier überwiegt allerdings die geringe Verkehrsdichte die Wirkung des Windes. Diese Zusammenhänge werden in einer anderen Arbeit näher untersucht [3].

Was über die CO-Konzentration und ihre Zusammenhänge mit anderen Messgrößen gesagt wurde, gilt mit wenigen Abweichungen auch für NO, NO<sub>2</sub> und NMKW. SO<sub>2</sub> und CH<sub>2</sub>O hingegen zeigen eine ganz andere Verteilung. Besonders auffallend sind die für städtische Verhältnisse relativ niedrigen SO<sub>2</sub>-Konzentrationen an der Ausfallstrasse und im Wohnquartier, die an der Ausfallstrasse zum Teil sogar kleiner sind als auf dem Land an der Autobahn. Wir werden darauf bei der Betrachtung der Verteilung innerhalb der Messorte noch zurückkommen. Auffallend ist ferner die fehlende Differenzierung beim CH<sub>2</sub>O.

#### 4.2 Verteilung innerhalb der Messorte

Tabelle 2 zeigt die Konzentrationsverteilung auf die einzelnen Messpunkte innerhalb der Messorte mit definierter Quelle. Diese Tabelle erlaubt einen Quervergleich zwischen den Messorten, da die Messpunkte nach Distanz und Lage aufgeschlüsselt sind, wie in den Lageplänen angegeben. Alle Entfernungen sind auf die nächsten 5 m gerundet.

Erwartungsgemäss zeigen sich die höchsten Konzentrationen an den Strassenrändern (0 m und 0 m opp., das heisst auf der gegenüberliegenden Strassenseite), und zwar auf beiden Seiten der Strasse ungefähr in gleicher Höhe, da bei der Mittelung die Windrichtung nicht berücksichtigt wurde. Nur die Ausfallstrasse zeigt als Besonderheit deutlich höhere Konzentrationen auf der entfernteren Strassen-

seite (0 m opp.), was damit erklärt werden kann, dass dieser Messpunkt etwas dichter bei einer Verkehrsampel liegt als der nähere (0 m) (vgl. Bild 2b).

Die Konzentrationen nehmen erwartungsgemäss mit zunehmender Entfernung von der Strasse ab; ebenso zeigen die erhöhten und die hinter Gebäuden liegenden Messpunkte eine Erniedrigung der Konzentration gegenüber den Messpunkten am Boden und ohne Hindernis.

Tabelle 3 zeigt die Konzentrationsverteilung innerhalb des Wohnquartiers. Hier liegen nur die Messpunkte 1 und 1a im Bereich der schwach befahrenen Quartierstrasse, was in den etwas höheren Pegeln beim Messpunkt 1 zum Ausdruck kommt. Sonst aber haben die Nummern der Messpunkte nichts mit Distanzen von einer definierten Quelle zu tun. Die Verteilung innerhalb des Wohnquartiers ist demgemäss bei allen Luftfremdstoffen wenig differenziert. Wir betrachten daher das Wohnquartier als typisch für einen städtischen Grundpegel.

#### 4.3 Abnahmefunktion und Grundpegel

Etwas übersichtlicher als Tabelle 2 zeigen die Bilder 3a bis 3c die Verteilung an den Messorten. Dargestellt ist die Abnahme der Konzentrationen am Boden als Funktion der Distanz von der Quelle, und zwar für die Komponenten CO, NO, NO<sub>2</sub> und NMKW. Bei der Betrachtung des Bildes ist zu beachten, dass der Massstab der Ordinate von Messort zu Messort wechselt.

Die Konzentrationen wurden mit Grundpegeln verglichen, die im Bild ganz rechts aufgeführt sind. Für die städtischen Messorte wurden die Konzentrationen am Messpunkt 2 des Wohnquartiers als Grundpegel gewählt; für die Autobahn wurde er aus dem entferntesten Messpunkt in Gegenwindrichtung berechnet. Die gestrichene Linie in Bild 3 gibt das Niveau an, unter welchem die Konzentration nicht mehr signifikant vom Grundpegel verschieden ist.

In der Umgebung der Strassenschlucht (Bild 3a) bleibt bis 40 m Abstand von der Strasse die Konzentration aller Komponenten signifikant über dem Grundpegel. Dies kann damit erklärt werden, dass dort wegen des allgemein stärkeren Verkehrs und wegen der engen Bebauung auch der lokale Grundpegel gegenüber dem Wohnquartier erhöht ist.

An der Ausfallstrasse (Bild 3b) hingegen ist die Lage anders: trotz starkem Verkehr ist bereits in 20 bis 40 m Distanz von der Strasse in den meisten Fällen der gleiche Pegel wie im Wohnquartier erreicht.

Noch anders ist die Lage an der Autobahn (Bild 3c): Weil die Autobahn in weitem Umkreis die einzige Quelle für CO, NO und NO<sub>2</sub> ist, bleibt die Konzentration dieser Stoffe auch in 80 m Distanz höher als der lokale Grundpegel. Eine Ausnahme bilden die NMKW: Durch lokale landwirtschaftliche Quellen wurde die Abnahme überlagert und der Grundpegel so stark erhöht, dass bereits in 40 m Entfernung kein Unterschied mehr feststellbar ist.

Auch die Abnahmefunktionen sind an den verschiedenen Messorten nicht gleich: an den städtischen Messorten (Strassenschlucht und Ausfallstrasse) nehmen die Konzentrationen rascher ab als an der Autobahn.

#### 4.4 Statistische Auswertung

Die statistische Signifikanz der Unterschiede innerhalb der Messorte wurde mit Varianzanalysen und Duncan-Tests untersucht. Auf ihre Darstellung im einzelnen wurde verzichtet, da sie recht umständlich wäre, dafür gibt Tabelle 4 einen Ueberblick über die Höhe und Signifikanz der F-Werte für die Streuungsursache «Messpunkte». Man kann erkennen, dass die F-Werte um so höher und signifikanter

Verteilung der Luftfremdstoffe innerhalb des Wohnquartiers (Oerlikon)

Tabelle 3

Komponente	Messpunkte (Nummer und Höhe über Grund)					
	1 1,5 m	1a 10 m	2 1,5 m	3 1,5 m	4 1,5 m	5 1,5 m
CO (ppm)	1,3	0,8	0,7	0,9	1,0	0,8
NO (ppb)	44	27	27	31	35	29
NO <sub>2</sub> (ppb)	24	24	19	19	20	21
NMKW (ppm)	0,8	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
SO <sub>2</sub> (ppb)	22	20	24	24	22	24
CH <sub>2</sub> O (ppb)	9,7	12	9,1	10	10	9,3

Für die genaue Lage der Messpunkte vgl. Bild 2c

F-Werte für die Unterschiede zwischen den Messpunkten innerhalb der Messorte

Tabelle 4

Messort	Substanz					
	CO	NO	NO <sub>2</sub>	NMKW	SO <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> O
Strassenschlucht (Langstrasse)	67**	104**	13**	44**	10**	11**
Ausfallstrasse (Wehntalerstrasse)	69**	72**	64**	36**	22**	9**
Autobahn (Oensingen)	27**	40**	10**	5**	7**	3*
Wohnquartier (Oerlikon)	7**	3*	2*	2*	<1	<2

\*\* signifikant mit  $p \leq 0,01$

\* signifikant mit  $p \leq 0,05$



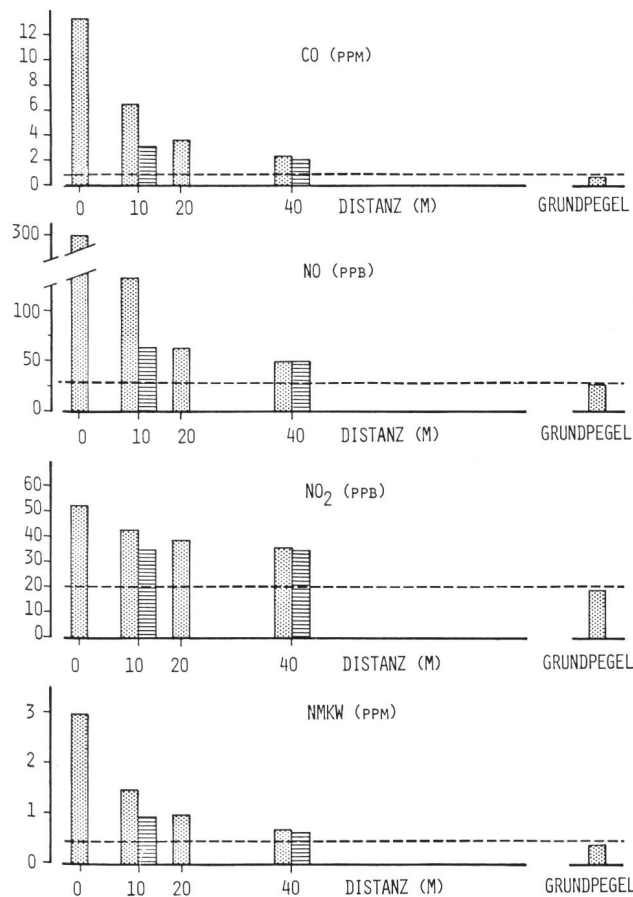


Bild 3a. Strassenschlucht (Langstrasse, Zürich). Bis in 40 m Distanz von der Strasse bleibt die Konzentration aller Komponenten signifikant über dem Grundpegel.

ausfallen, je genauer die Quelle an dem betreffenden Messort definiert ist und je eindeutiger die betreffende Substanz der Emissionsquelle «Verkehr» zugeordnet werden kann (Näheres über diese Zuordnung siehe Abschnitt 4.5). Die höchsten F-Werte zeigen somit die Komponenten CO und NO an den Messorten Strassenschlucht, Ausfallstrasse und Autobahn, die niedrigsten die Komponenten SO<sub>2</sub> und CH<sub>2</sub>O sowie der Messort «Wohnquartier» insgesamt. Eine Ueberprüfung ergab zudem, dass die im Wohnquartier noch vorhandenen Signifikanzen ausschliesslich durch den Messpunkt 1 bedingt waren. Die Konzentrationen an den anderen Messpunkten dieses Messortes können deshalb als typisch für städtische Grundpegel bezeichnet werden (vgl. Abschnitt 4.3).

Interessant ist, dass die F-Werte an der Autobahn — wenn auch immer noch mit  $p \leq 0,01$  signifikant — doch viel niedriger sind als an der Strassenschlucht und der Ausfallstrasse, obwohl die Autobahn die am eindeutigsten definierte Quelle ist. Der Grund dafür ist die bereits erwähnte Tatsache, dass dort die Abnahmefunktionen flacher verlaufen und die Differenzen zwischen den Messpunkten somit kleiner sind als an den städtischen Messorten (vgl. Bild 3).

Bilder 3a bis c. Abnahme der Luftfremdstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Distanz und der Lage. Punktierte Säulen: Messpunkte in gerader Linie. Schraffierte Säulen: Messpunkte hinter Gebäuden. Die Konzentrationen werden mit den Grundpegeln verglichen, die im Bild ganz rechts aufgeführt sind. Die gestrichelte Linie ist die obere 95%-Vertrauensgrenze der zugeordneten Grundpegelkonzentration.

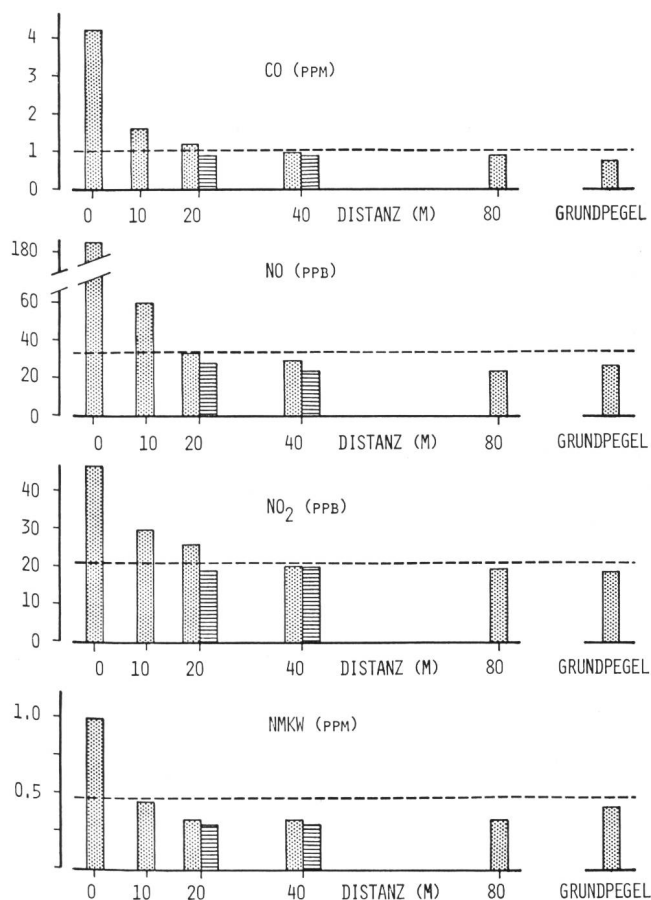


Bild 3b. Ausfallstrasse (Wehntalerstrasse, Zürich). Bereits in 40 m Distanz von der Strasse ist in den meisten Fällen der gleiche Pegel wie im Wohnquartier erreicht.

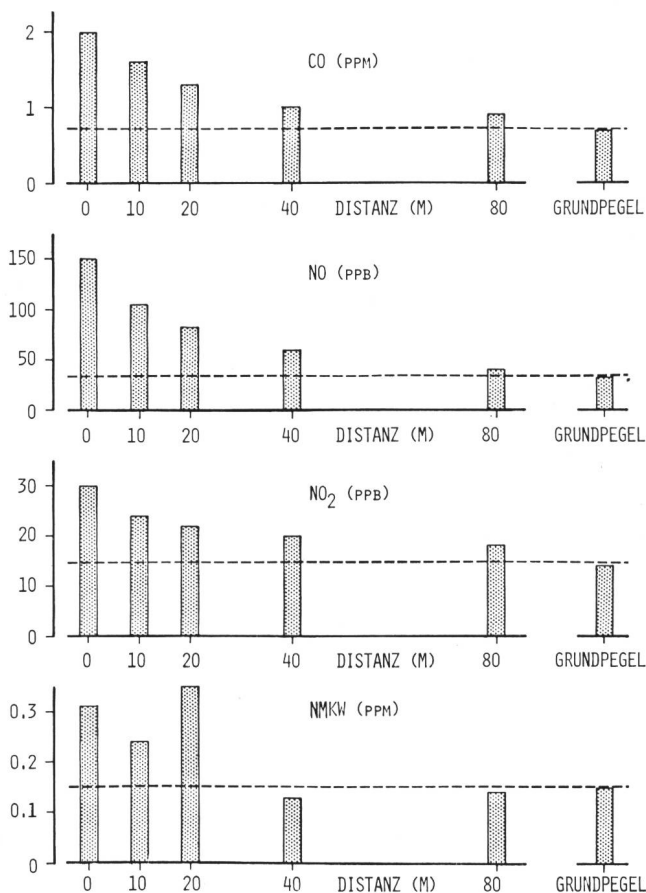


Bild 3c. Autobahn (Oensingen). Die Konzentrationen von CO, NO und NO<sub>2</sub> sind auch noch in 80 m Distanz höher als der lokale Grundpegel, weil die Autobahn in weitem Umkreis die einzige Quelle von Luftfremdstoffen ist; die Kohlenwasserstoff-Werte (NMKW) sind durch landwirtschaftliche Quellen beeinflusst.

#### 4.5 Zuordnung der Komponenten

Betrachten wir noch einmal Tabelle 2, so sehen wir, dass die Konzentrationen aller gemessenen Luftverunreinigungs-komponenten am Strassenrand (0 m und 0 m opp.) am grössten sind. Bei CO, NO und NMKW ist dies selbstverständlich, denn wir wissen, dass dies die hauptsächlichen Abgaskomponenten sind. Betrachten wir aber Bild 3, so sehen wir, dass NO<sub>2</sub> bereits eine viel flachere Abnahme zeigt als die anderen Stoffe. Noch stärker gilt dies — wie aus Tabelle 2 ersichtlich — für SO<sub>2</sub> und CH<sub>2</sub>O.

Unter Berücksichtigung aller aus Tabelle 2 und Bild 3 ersichtlichen Ergebnisse sind wir zu folgender Klassierung der verschiedenen Substanzen gekommen:

##### CO

Leitkomponente der Verkehrsabgase, stammt kaum aus anderen Quellen.

##### NO

Ebenfalls aus dem Verkehr. Als weitere Quellen kommen Heizungen in Frage.

##### NO<sub>2</sub>

Die flachere Abnahme als bei CO und NO lässt sich daraus erklären, dass NO<sub>2</sub> kaum als solches emittiert wird, sondern erst sekundär aus NO entsteht. Entferntere, auch nicht-motorische Emissionen von NO könnten in unseren Messungen zum Teil als NO<sub>2</sub>-Grundpegel registriert worden sein.

##### NMKW

Hier sind die Verhältnisse ähnlich wie bei CO und NO, aber an der Autobahn überlagern sich NMKW aus landwirtschaftlichen Quellen.

##### SO<sub>2</sub>

Die langsame, aber stetige Abnahme mit der Entfernung von der Strasse bestätigt, dass auch SO<sub>2</sub> zum Teil von Motorfahrzeugen emittiert wird. Diese Emission überlagert sich aber mit einem Grundpegel ähnlicher Grössenordnung, der aus anderen Quellen stammt. Wir schätzen den vom Verkehr verursachten Immissionsanteil am Strassenrand auf etwa 10 bis 15 ppb.

##### CH<sub>2</sub>O

Stammt vorwiegend aus nichtmotorischen Quellen. Die Emission durch Motorfahrzeuge lässt sich nur unmittelbar am Strassenrand in der Grössenordnung von etwa 2 bis 4 ppb nachweisen.

### 5. Diskussion

#### 5.1 Einfluss der Bebauungsdichte

Vergleicht man die Abnahme der Motorfahrzeugabgase in Bild 3a, b und c miteinander, so sieht man folgendes: die Ausgangskonzentration am Strassenrand (0 m) ist um so höher, je dichter die Bebauung ist. Die Abnahmen sind jedoch bei Bebauung grösser als bei der Autobahn. Besonders deutlich zeigt sich dies bei den Substanzen CO und NO.

Vergleichen wir ferner die Windgeschwindigkeiten auf Tabelle 1, so stellen wir eine Abnahme der Windstärke bei dichter Bebauung fest. Diese kleinere Windstärke dürfte aber nicht eine nur zufällige Erscheinung, sondern eine direkte Folge der Bebauung sein. Diese kann den Wind verlangsamen und viele lokale kleine Wirbel verursachen, also die Turbulenz erhöhen.

Ginge diese Erhöhung der Turbulenz mit der Bebauungsdichte linear parallel, so müsste an der Strassenschlucht bei weitem die schnellste Abnahme festzustellen sein. Dies ist nicht der Fall, sondern die Abnahme von CO und NO

ist dort ähnlich wie an der Ausfallstrasse mit ihrer viel geringeren Bebauungsdichte. Wir müssen daher unsere Vermutung in dem Sinne einschränken, dass die Bebauung nur bis zu einer gewissen Dichte die Verdünnung von Abgasen fördert, denn von einer bestimmten Bebauungsdichte an schliessen sich die Fassadenfluchten zu Kanälen, wobei auch das zur Verfügung stehende Luftvolumen verkleinert wird. Damit wird die Wirkung der stärkeren Turbulenz wieder aufgehoben.

#### 5.2 Wirkung einzelner Gebäude

Neben der generellen Wirkung der Bebauungsdichte kann anhand der durchgeführten Messungen auch die Feinstruktur der Verteilung und damit die Wirkung einzelner Gebäude bis zu einem gewissen Grad beurteilt werden. Wir vergleichen zu diesem Zweck in Tabelle 2 die Konzentrationen der Messpunkte in direkter Linie von der Strasse mit denjenigen, die wir in gleicher Distanz, aber hinter einem Gebäude erhielten («obstacle»-Messpunkte). Zur besseren Uebersicht wurden die Werte der «obstacle»-Messpunkte in Prozent der «direkten» Messpunkte in Tabelle 5 zusammengefasst. Die genaue Lage der verglichenen Messpunkte ist aus Bild 2a und 2b ersichtlich. Wiederum zeigen die Leitkomponenten CO und NO die Wirkung am deutlichsten: in 10 m Abstand von der Strasse bewirkte das Hindernis eine Konzentrationsabnahme um rund 50 %, in 20 m Distanz um ca. 20 % und in 40 m Distanz noch um ca. 10 %. Von den anderen Komponenten zeigten die NMKW noch ähnliche Abnahmen, bei SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und CH<sub>2</sub>O waren diese hingegen erwartungsgemäss anders.

Die genannten Zahlenwerte gelten nur für Strömungshindernisse in den bei uns vorhandenen Dimensionen. Trotzdem kann der Befund im folgenden Sinne verallgemeinert werden: je näher an der Quelle das Hindernis gelegen ist und je mehr die Strassenrandkonzentration über dem Grundpegel liegt, desto grösser ist auch seine Abschirmwirkung.

#### 5.3 Vertikale Verteilung

Neben der horizontalen Verteilung wurde auch an einzelnen Punkten untersucht, was für Konzentrationen in Dachfirsthöhe gegenüber dem Boden zu erwarten waren. An der Autobahn wurde an einem Mast in 5 und 10 m Höhe über Boden gemessen. Die Absolutkonzentrationen können aus Tabelle 2 entnommen werden; die entsprechenden Werte in Prozent der am Boden gemessenen Konzentrationen wurden in Tabelle 6 zusammengestellt.

Schutzwirkung von Gebäuden in verschiedener Distanz von der Strasse. Die Konzentrationen hinter dem Gebäude sind in % der Konzentrationen neben dem Gebäude angegeben (Absolutwerte vgl. Tabelle 2).

Entfernung	Komponente					
	CO %	NO %	NO <sub>2</sub> %	NMKW %	SO <sub>2</sub> %	CH <sub>2</sub> O %
10 m	48	50	81	65	61	98
20 m	75	85	73	88	62	119
40 m	91	90	96	90	110	118

Änderungen der Konzentrationen mit der Höhe. Die Werte auf Dachhöhe sind in % derjenigen am Boden angegeben. (Absolutwerte vgl. Tabelle 2).

Messort und Höhe	Komponente					
	CO %	NO %	NO <sub>2</sub> %	NMKW %	SO <sub>2</sub> %	CH <sub>2</sub> O %
Strassenschlucht (17 m)	74	84	97	67	92	120
Ausfallstrasse (11 m)	81	71	100	88	116	105
Autobahn (5 m)	92	78	114	51	126	50
Autobahn (10 m)	77	54	91	37	46	67
Wohnquartier (10 m)	64	61	100	46	89	128

Betrachten wir wiederum vor allem die für die Motorfahrzeugabgase typischen Substanzen CO, NO und NMKW an den städtischen Messorten, dann stellen wir an der Strassenschlucht und an der Ausfallstrasse in Dachfirsthöhe gegenüber dem Boden eine Reduktion um 20 bis 30 % fest. Im Wohnquartier sind die Reduktionen sogar noch etwas grösser (vgl. Tabelle 3).

Die viel geringere Abnahme von NO<sub>2</sub> in der Höhe kann mit sekundärer Bildung dieses Stoffes aus NO erklärt werden. SO<sub>2</sub> wird aus Heizungen in der Regel auf Dachhöhe emittiert, womit sich die geringere Abnahme bzw. sogar Zunahme an der Ausfallstrasse erklärt. Für die unregelmässige Verteilung des SO<sub>2</sub> an der Autobahn (grösste Konzentration 5 m über Boden) sowie des CH<sub>2</sub>O an den städtischen Messorten (Konzentrationen auf Dachhöhe grösser als am Boden) konnte auf Grund der vorliegenden Daten keine Erklärung gefunden werden.

## 6. Hygienische Beurteilung

Zu den Fragestellungen der durchgeführten Messungen gehörte auch eine Beurteilung der Belastung der Anwohner stark frequentierter Strassen durch Motorfahrzeugabgase. Solche Beurteilungen sind einerseits für bereits bestehende, wenn nötig zu sanierende Situationen erforderlich, und andererseits für die mutmasslichen Belastungen an geplanten Strassen. Mittels Modellrechnungen ist es nämlich mit einer guten Annäherung möglich, auf Grund der zu erwartenden Verkehrsbelastung, der Art der Bebauung sowie der mittleren Windgeschwindigkeiten Prognosen für die Abgaskonzentrationen im Nahbereich der Strassen zu erstellen [2] [3].

Im folgenden sollen zunächst die an den drei Messorten Langstrasse, Wehntalerstrasse und Oerlikon gemessenen Konzentrationen von Kohlenmonoxid mit den heute in den USA und in der BRD geltenden Grenzwerten verglichen werden [9] [13]. Bei einem solchen Vergleich sind allerdings gewisse Vorbehalte anzubringen, da unsere Messwerte ausschliesslich auf Halbstundenmittelwerten während der verkehrsreichen Tageszeiten basieren. Auf Grund weiterer in der Stadt Zürich bereits durchgeführten Messungen sind jedoch mit den ermittelten Werten Abschätzungen der Gesamtbelastungen durch Kohlenmonoxid möglich [5].

Wie aus der Tabelle 2 und den Bildern 3a, b und c hervorgeht, betrugen die durchschnittlichen CO-Konzentrationen am Strassenrand in der Strassenschlucht (Langstrasse) 13,5 ppm, an der Ausfallstrasse (Wehntalerstrasse) 4,8 ppm und im Wohnquartier (Oerlikon) 1,3 ppm; in 10 bis 40 m Entfernung von der Fahrbahn waren es im Durchschnitt in der Strassenschlucht noch 3,5 ppm, an der Ausfallstrasse 1,1 ppm und im Wohnquartier 0,8 ppm. Der höchste Halbstundenmittelwert betrug 35,5 ppm in der Strassenschlucht. Der US-Primary-Standard für Kohlenmonoxid schreibt vor, dass ein 8-Stunden-Mittel von 9 ppm und ein Stundenmittel von 35 ppm im Jahr höchstens einmal überschritten werden darf; die Immissionsgrenzwerte der BRD liegen in der gleichen Grössenordnung (24 Stunden 9 ppm, 30 Minuten 45 ppm). Die am Rand der Strassenschlucht (Langstrasse) vorkommenden CO-Konzentrationen liegen somit im Bereich der US- und BRD-Grenzwerte.

Massgebendes Kriterium dieser Grenzwerte ist ein präventiver Schutz der gesamten Bevölkerung — also auch von Kindern, Alten und Kranken — vor gesundheitlichen Schädigungen mit einer genügend grossen Sicherheitsmarge. Eine Gefährdung für akute und chronische Wirkungen von Kohlenmonoxid besteht vor allem für Herz- und Kreislauf-

krankte; für diese Risikogruppen sind somit die im Nahbereich der Langstrasse vorkommenden CO-Konzentrationen bereits an der Grenze der noch als zumutbar erachteten Belastungen. Ein solches erhöhtes Risiko gilt für Personen, die sich während verkehrsreicher Zeiten während mindestens 1 Stunde am Strassenrand aufhalten. Innerhalb der Gebäude ist mit geringeren Belastungen zu rechnen: wie bisherige Messungen ergeben haben, erreichen die CO-Konzentrationen in den an einer Strasse gelegenen Geschäften und Wohnräumen durchschnittlich 50 bis 70 % der Aussenluftwerte [10]. Dabei ist zu beachten, dass das Verhältnis Aussenluft zu Raumluft von zahlreichen Faktoren abhängig ist, u. a. von den Lüftungsverhältnissen, von den Temperaturunterschieden sowie von der Bauart der Gebäude. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang auch die Abnahme der CO-Konzentrationen mit zunehmender Höhe: beim Messpunkt im Hinterhof an der Strassenschlucht betrug die Reduktion vom Boden (1,5 m) bis zum Dachfirst (17 m) rund 25 % (vgl. Tabelle 6).

An den Messpunkten in 10 bis 40 m Entfernung von der Strassenschlucht sowie an allen Messpunkten der Ausfallstrasse und im Wohnquartier wurden in keinem Fall CO-Werte gemessen, die eine erhöhte Gefährdung bedeuten. Diese Schlussfolgerung gilt jedoch ausschliesslich für das Kohlenmonoxid, das auf keinen Fall als alleinige Komponente zur Beurteilung gesundheitlicher Gefährdungen durch die Autoabgase herangezogen werden darf. CO-Messungen sind jedoch nach wie vor sinnvoll, da diese chemisch sehr stabile Abgaskomponente für Aussagen über das Ausmass sowie auch bezüglich der Anteile der Luftverunreinigung durch Motorfahrzeuge die geeignetste «Leitkomponente» ist.

Die im Bereich der Fahrbahnen gemessenen Stickoxidkonzentrationen liegen gesamthaft ebenfalls im Bereich der Grenzwerte, die zu einem Vergleich herangezogen werden können. Für Stickstoffmonoxid wurde der VDI-Kurzzeitwert (30 Minuten) von 800 ppb in der Strassenschlucht einmal erreicht. Hingegen dürfte der Tagesgrenzwert von 400 ppb — auf Grund der vorliegenden 30 Minuten-Werte zu den verkehrsreichen Zeiten — nicht überschritten worden sein.

Für Stickstoffdioxid wurden bei den Messungen am Strassenrand sowohl in der Strassenschlucht sowie an der Ausfallstrasse durchschnittliche Konzentrationen gemessen, die im Bereich des Grenzwertes von 50 ppb liegen (USA-Jahresmittel, BRD-Tagesmittel); in 10 bis 40 m waren es in der Strassenschlucht im Durchschnitt immer noch 38 ppb, gegenüber 20 bis 25 ppb an der Ausfallstrasse und an den Messpunkten im Wohnquartier.

Deutliche Unterschiede zwischen den Messorten ergaben auch die Werte der Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe — etwa im gleichen Verhältnis wie beim Kohlenmonoxid. Grenzwerte, die zu einem Vergleich herangezogen werden könnten, liegen hier nicht vor. Für eine Beurteilung allfälliger Reizwirkungen von Kohlenwasserstoffverbindungen wären noch differenziertere Analysen erforderlich.

Die Kohlenwasserstoffe sowie auch die Stickoxide sind auch Verbindungen im Zusammenhang mit dem Ablauf photochemischer Reaktionen und der Bildung oxidierender Reizgase von Bedeutung. Ob die gemessenen Werte Hinweise auf das Vorkommen solcher sekundärer Luftverunreinigungen geben, soll die detaillierte Auswertung aller NO- und NO<sub>2</sub>-Werte zeigen — unter Berücksichtigung der gemessenen atmosphärischen Parameter [11].

Als ziemlich hoch sind die Schwefeldioxid-Konzentrationen an der Strassenschlucht einzustufen. Auf Grund



des durchschnittlichen Halbstundenmittelwertes von 46 ppb (alle Messpunkte, Winter- und Sommermessungen) muss man annehmen, dass in diesem Wohn- und Geschäftsquartier der US-Jahresgrenzwert von 30 ppb und auch der VDI-Grenzwert von 40 ppb überschritten wird. Diese Feststellung wird auch durch die seit 1970 vom Gesundheitsinspektorat der Stadt Zürich an der Beckenhofstrasse durchgeführten Messungen bestätigt, wo Jahresmittel von rund 40 ppb gemessen wurden [12]; die höchsten Tagesmittel an dieser Messstelle erreichten 250 ppb und während der genannten Messperiode wurde der US-Tagesgrenzwert von 140 ppb mehrmals überschritten. Die Belastung durch Schwefeldioxid stammt in erster Linie von den Oelfeuerungen; dass der Anteil von den Motorfahrzeugen nicht sehr hoch sein kann, zeigen die geringen Unterschiede der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen zwischen den Messpunkten an der Strasse und denjenigen in 10 bis 40 m Entfernung.

Als gesamthaft niedrig sind an allen Messorten die Formaldehyd-Konzentrationen zu bezeichnen. Da auch keine Unterschiede zwischen den Messorten auftraten, ist das Formaldehyd als Luftfremdstoff in der Aussenluft von untergeordneter Bedeutung. Anders liegen erfahrungsgemäss die Verhältnisse im Innern von Gebäuden: hier führen verschiedene Quellen wie Tabakrauch und Rückstände von Lösungsmitteln zu weit höheren Konzentrationen [10]. Für eine Gesamtbeurteilung der lufthygienischen Situation in einem städtischen Quartier sind auch noch weitere Schadstoffe zu berücksichtigen; ein massgebender Faktor für gesundheitliche Gefährdungen sind die Schwebestaub-Konzentrationen — insbesondere des atembaren Anteiles mit dem Gehalt an Sulfat und an Blei. Entsprechende Messungen sind an den drei städtischen Messorten zur Zeit noch im Gange. Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die Geruchsbelastungen durch die Vielzahl der Kohlenwasserstoffe in den Abgasen. Hier bleibt die Frage, welche Bestandteile für die Belästigungen massgebend sind. Wie eine Befragung der Anwohner ergeben hat, klagen an der Langstrasse 47 % über starke Belästigungen durch die Luftverschmutzung; an der Wehntalerstrasse waren es 27 % und in Oerlikon 8 %. Es ergab sich somit eine Abhängigkeit der Klagen von den an den drei Messorten gesamthaft gemessenen Schadstoff-Konzentrationen [15].

## Zusammenfassung

Im Rahmen eines vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Forschungsprojektes wurden Messungen der Luftverunreinigung in verschiedenen Entfernungen von Strassen durchgeführt. Die Luftprobenahmen erfolgten mit Kunststoffsäcken gleichzeitig an verschiedenen Messpunkten. Zur Analyse wurden folgende Methoden verwendet: für CO und  $\text{SO}_2$  Coulometrie, für NO/ $\text{NO}_2$  Chemilumineszenz, für  $\text{CH}_2\text{O}$  Chromotropsäure und für die Kohlenwasserstoffe Flammenionisation.

Messungen der verschiedenen Komponenten erfolgten bei einer typischen Strassenschlucht (Langstrasse, Zürich), bei einer Ausfallstrasse (Wehntalerstrasse, Zürich), in einem Wohnquartier (Oerlikon, Zürich) und bei einer Autobahn (Oensingen). Die gleichzeitigen Probenahmen bis in Entfernungen von 80 m von der Fahrbahn zeigten eine deutliche Abhängigkeit von der Verkehrsfrequenz, von der Art der Bebauung längs der Strasse und von der Windstärke. Die durchschnittlich höchsten Werte wurden bei der Strassenschlucht gemessen, wo im Nahbereich der Strasse die für Dauerbelastungen geltenden Grenzwerte teilweise überschritten wurden.

## Literaturhinweis:

- [1] Deuber A., Müller Th. und Meier M.: Luftverunreinigung und Verkehr in der Schweiz. «Neue Zürcher Zeitung», Nr. 185, Seite 37 (13. 8. 1975).
- [2] Deuber A.: An atmospheric diffusion model for short distances and complicated topography. In «Atmospheric Pollution», Proceedings of the 12th International Colloquium, Paris, Elsevier, Amsterdam (1976).
- [3] Deuber A.: Gasförmige Emissionen von Motorfahrzeugen und Luftfremdstoff-Konzentrationen in Strassennähe unter variablen Bedingungen (im Druck).
- [4] Georgii H. W., Busch E. und Weber E.: Untersuchungen über die zeitliche und räumliche Verteilung der Immissions-Konzentrationen des Kohlenmonoxids in Frankfurt am Main. Berichte des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main, Nr. 11, Mai 1967.
- [5] Hess W. und Martin W.: Die Belastung der Zürcher Stadtluft durch Motorfahrzeugabgase. «Gesundheitstechnik» 8, 303—310 (1974) und 9, 11—15 (1975).
- [6] Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETHZ: Luftverunreinigung in der Umgebung von Strassen; Zwischenbericht zu einem Nationalfonds-Projekt. «Chem. Rundschau» 28, Nr. 42, 15. 10. 1975.
- [7] Johnson W. B., Ludwig F. L., Dabberdt W. F. and Allen R. J.: An urban simulation model for carbon monoxide. «Journal of the Air Pollution Control Association» 23 (6), 490—498 (1973).
- [8] Meier M.: Die gleichzeitige Probenahme mehrerer gasförmiger Luftverunreinigungen mit Kunststoffsäcken; Einsatz der Methode an einer Autobahn. Diss. ETHZ (im Druck).
- [9] National primary and secondary ambient air quality standards. Fed. Register 36, 8186—8201 (1971).
- [10] Satish J. et Wanner H. U.: Source et importance de la pollution de l'air à l'intérieur des bâtiments. «Sozial- und Präventivmedizin» 21 (4), 124—125 (1976).
- [11] Sommer H. J.: Luftverunreinigung durch Stickoxide in der Umgebung von Strassen. Diss. ETHZ (im Druck).
- [12] Statistisches Amt der Stadt Zürich: Jahrbuch 1974.
- [13] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinien, Maximale Immissionswerte, VDI 2310. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1974.
- [14] Wanner H. U., Deuber A., Satish J., Meier M. und Sommer H. J.: Luftverunreinigung in der Umgebung von Strassen. «Sozial- und Präventivmedizin» 21 (4), 122—123 (1976).
- [15] Wanner H. U., Wehrli B., Nemecek J. und Turrian V.: Die Belästigung der Anwohner verkehrsreicher Strassen durch Lärm und Luftverschmutzung «Sozial- und Präventivmedizin» (in Druck).

## Verdankung

Die vorliegende Arbeit ist ein Teil des Projektes «Luftverunreinigung in der Umgebung von Strassen», welches dank der finanziellen Unterstützung durch den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung durchgeführt werden konnte.

Innerhalb des Institutes für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETHZ haben — ausser den Autoren — folgende Mitarbeiter zum Gelingen der Arbeit wesentlich beigetragen (in alphabetischer Reihenfolge): Fr. B. Brändli, Fr. C. Denzler und Fr. M. Diggelmann vom Sekretariat, sowie die Herren A. Fischer, R. Gierer, B. von Känel, A. Rhiner und A. Zwyssig.

Unser Dank gilt ferner den Hauseigentümern und Mietern, die uns erlaubten, bei ihren Häusern, Parkplätzen und Wiesen die Messapparate zu installieren; insbesondere danken wir Herrn E. Stalder für seine unermüdliche Hilfsbereitschaft.

Adresse der Autoren: Dr. A. Deuber, M. Meier, Dr. J. Satish, H. J. Sommer und PD Dr. H. U. Wanner, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Eidg. Techn. Hochschule, CH - 8092 Zürich.