Zeitschrift: Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung für Landesplanung

Band: 29 (1972)

Heft: 3

Artikel: Luftverunreinigung und Städtebau

Autor: Müller, Th. / Gilgen, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-782458

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: 11.08.2025

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

Von Th. Müller und A. Gilgen, ETH-Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Zürich

Luftverunreinigung und Städtebau

Einleitung

Die zunehmende Industrialisierung, das rasche Wachsen von Siedlungen und die damit verbundene Luftverunreinigung wecken heute in breiten Bevölkerungskreisen ein reges Interesse an der Erhaltung einer reinen Atmosphäre. Vielenorts denkt man an die unerfreuliche Verschmutzung unserer Gewässer, und man ist nun bestrebt, es mit der Luft nicht so weit kommen zu lassen. Während das lebensnotwendige Wasser zwar mit erheblichem Aufwand von Verschmutzungen befreit werden kann, besteht in bezug auf die Luft die unangenehme Tatsache, dass die Verunreinigungen nicht wie im Abwasser gleich an den Entstehungsorten gefasst und in einer zentralen Anlage wieder beseitigt werden können. Vielmehr sind die Quellen von luftfremden Stoffen über weite Gebiete verteilt und teilweise sogar beweglich, und die Verunreinigung breitet sich in der gesamten Atmosphäre aus. Massnahmen gegen die Verunreinigung der Aussenluft sind also an den verschiedenen Quellen selbst vorzunehmen.

Die heute möglichen technischen Massnahmen zur Bekämpfung der Luftverunreinigung sind wie folgt zusammenfassbar:

— Aenderungen von Apparaturen,
— Aenderungen von Verfahren,
— Abgasreinigung,
— Atmosphärische Verdünnung (Hochkamine),
— Brennstoffwahl (Schwefelarme Brennstoffe) usw.

Einige dieser technischen Massnahmen erfordern oft einen stark vermehrten Kostenaufwand und werden demzufolge in der Regel erst dann getroffen, wenn durch entsprechende Gesetze ein gewisser Zwang besteht und wenn die Wirkung der amtlichen Kontrollorgane gewährleistet ist.

Als Ergänzung zu den technischen Massnahmen kann die Orts- und Regionalplanung einen wesentlichen Beitrag zur Reinhaltung der Luft leisten, indem sie bei der Siedlungs- und Verkehrsplanung die neuesten Kenntnisse auf diesem Gebiet berücksichtigt. Industriegebiete sind beispielsweise in angemessenem Abstand von Wohngebieten und in klimatisch günstigen Regionen zu planen. Dann lässt sich der Streueffekt der Hausfeuerungen dadurch vermeiden, dass man die verschiedenen Anlagen in Fernheizungen zusammenfasst, so dass die Abgase durch Hochkamine in die oberen Luftschichten entweichen können. Ebenso soll der Motorfahrzeugverkehr, der in den Siedlungen möglichst flüssig ablaufen muss, durch grosszügige Umfahrungsstrassen und Autobahnen von den Wohngebieten ferngehalten werden.

Zur Ausarbeitung von planerischen Massnahmen, die eine Reduktion der Luftverunreinigung zum Ziel haben, bedarf es der Kenntnisse über die Zusammensetzung von Abgasen und über die Wirkung von verschiedenen Abgaskomponenten und deren Mischungen auf den menschlichen Organismus. Ferner muss der mengenmässige Anteil der verschiedenen Quellen und die Verbreitung der Abgase in der Atmosphäre bekannt sein.

Die hygienische Bedeutung verschiedener Luftverunreinigungen

In der folgenden Uebersicht sind nur jene luftfremden Stoffe aufgeführt, die in Siedlungsgebieten in bedeutend höheren Konzentrationen auftraten als in der natürlichen Frischluft und die auch vom hygienischen Standpunkt aus betrachtet von einer gewissen Bedeutung sind.

Quelle	*Stoff*		*Wirkung*
Motorfahrzeuge	Pb-Verbindungen		Blutgift
	CO		
	RCH_2O *	Reizstoffe:	Augen, Nase
	NO_2		Lungen
Hausbrand, Industrie	SO_2		Atemwege, Lungen

* RCH_2O = Aldehyde, hauptsächlich Formaldehyd

Die hygienische Bedeutung dieser Stoffe ist heute teilweise bekannt und soll im folgenden kurz zusammengefasst werden:

Kohlenmonoxid (CO) bildet im Blut das stabile Carboxyhämoglobin und vermindert dadurch die zum Stauerstofftransport erforderliche Menge Hämoglobin. Nach einer bestimmten Zeit stellt sich ein konstanter Gehalt an Carboxyhämoglobin ein, dessen Höhe von der CO-Konzentration in der eingeatmeten Luft abhängig ist. Ein konstanter Gehalt von etwa 16 % Carboxyhämoglobin stellt sich bei normaler Arbeit in einer CO-Konzentration von 100 ppm [1] nach etwa vier Stunden ein. Dies ist die Grenze, oberhalb der beim gesunden Menschen erste Vergiftungserscheinungen wie Kopfweh und Kurzatmigkeit auftreten können. Bei einer

[1] 100 ppm : 1 ppm = 0,001 ‰ = 0,0001 %

zehnmal höheren Konzentration, also bei 1000 ppm CO, ist die Sättigung im Blut nach vier Stunden noch nicht erreicht, aber es tritt dennoch bereits der Tod ein [1].

Ueber die chronische Wirkung von tiefen CO-Konzentrationen, etwa von 4 bis 8 ppm, wie sie in grossen amerikanischen Städten gemessen werden [2], kann heute noch nichts mit Sicherheit ausgesagt werden. *Hechter* [3] hat auf Grund statistischer Analysen festgestellt, dass das Kohlenmonoxid der Aussenluft in Los Angeles keinen Einfluss auf die Mortalität der Stadtbewohner hat.

Formaldehyd (CH_2O) gelangt primär durch unvollständige Verbrennung von Motorfahrzeugtreibstoffen, sekundär durch fotochemische Oxidation von ungesättigten aliphatischen Benzinbestandteilen in die Aussenluft. Erste Belästigungen durch Formaldehyddämpfe äussern sich bei Konzentrationen von 2 bis 3 ppm durch Beissen in den Augen und Nase, und 4 bis 5 ppm verursachen bereits einen deutlichen Tränenfluss. Noch höhere Konzentrationen können zu Schleimhautentzündungen der oberen Atemwege führen. Die Wirkung von Formaldehydkonzentrationen unter 0,1 ppm, wie sie in der Stadtluft auftreten, ist zurzeit noch nicht restlos abgeklärt.

Stickstoffdioxid (NO_2) hat unter den nitrosen Gasen die grösste Bedeutung. Als schlecht wasserlösliches Reizgas wirkt es vor allem auf die eher tiefen Teile des Respirationstraktes. Die Geruchsschwelle liegt bei 0,1 bis 0,4 ppm. 10 bis 20 ppm ergeben bei kurzfristiger Exposition geringe Reizung der Schleimhäute von Augen und Nase. *Patty* [4] hat festgestellt, dass beim Menschen bei Expositionen von 5 bis 30 ppm während 18 Monaten an 6 bis 8 Stunden im Tag keine bedeutenden Krankheitszeichen zu beobachten sind. Ueber die chronische Wirkung kleinster Konzentrationen von 0,02 bis 0,05 ppm, wie sie in der Stadtluft amerikanischer Städte gemessen wurden [2], ist zurzeit noch nichts mit Sicherheit auszusagen.

Schwefeldioxid (SO_2) ist ein Reizgas mit guter Wasserlöslichkeit und besitzt deshalb eine starke Affinität zu den Schleimhäuten des oberen Respirationstraktes, wo es bei Ungewohnten schon in Konzentrationen von 4 bis 5 ppm akute Reizwirkungen hervorrufen kann. Die chronische Wirkung tiefer Konzentrationen von 0,05 bis 0,1 ppm, wie man sie in ziemlich grossen Siedlungsgebieten beobachtet [2], ist gegenwärtig noch nicht restlos abgeklärt. Wichtige Hinweise geben jedoch retrospektive epidemiologische Untersuchungen von Luftkatastrophen. So konnte bei der Luftkatastrophe von London im Dezember 1952, als die mittlere SO_2-Konzentration auf das Sechsfache des normalen Wertes (0,07 ppm) anstieg, festgestellt werden, dass innert weniger Tage 4000 Menschen mehr starben, als auf Grund der normalen Sterblichkeit zu erwarten war. Auch bei weiteren, geringeren Luftkatastrophen konnte in London ein Sterblichkeitsüberschuss von 250 bis 1000 Personen beobachtet werden [5]. Die Feststellung von *McCarroll* [6], dass in New York ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der SO_2-Konzentration und dem Mortalitätsüberschuss besteht, zeigt deutlich, dass unter den gasförmigen Luftverunreinigungen dem Schwefeldioxid eine besondere Wichtigkeit zukommt. Berücksichtigt man noch die Tatsache, dass das Schwefeldioxid, das ja vorwiegend aus Hausfeuerungen stammt, ausgerechnet die Luftschichten verunreinigt, in denen sich der Mensch während 24 Stunden aufhält, so gewinnt das SO_2 gegenüber jenen Komponenten, die zeitlich und örtlich eher begrenzt vorkommen, noch weiter an Bedeutung.

Bleiverbindungen gelangen vorwiegend durch die Atemwege in das Innere des Körpers, wo sie im Blut sehr gut gelöst und transportiert werden. Ein grosser Teil der aufgenommenen Bleiverbindungen wird im Urin und im Kot wieder ausgeschieden. Die nicht ausgeschiedenen Bleimengen werden in den Knochen als tribasisches Phosphat gespeichert und bewirken eine Denaturierung von Eiweissen, was sich durch einen Hämoglobinzerfall und einer daraus resultierenden Anämie äussert. Solche Vergiftungserscheinungen wurden allerdings nur bei Arbeitern von gewissen bleiverarbeitenden Betrieben festgestellt. Ueber die Wirkung tiefster Bleikonzentrationen, wie sie in der Stadtluft auftreten, ist bis heute noch nicht viel bekannt. Sicher ist, dass bisher trotz zunehmender Bleikontamination der Umwelt durch die Auspuffgase weder beim Menschen noch bei Tieren oder Pflanzen Bleivergiftungen beobachtet wurden, ja dass nicht einmal der Blutbleigehalt des Menschen angestiegen ist.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe sind teilweise als krebserregende Stoffe identifiziert worden (z. B. 3,4-Benzpyren). Eine Beziehung zwischen Luftverunreinigung und Sterblichkeit an Lungenkrebs ist bis heute statistisch allerdings nicht nachgewiesen worden, da sozioökonomische Faktoren die Resultate solcher Mortalitätsstudien stark verfälschen können. Immerhin kann festgestellt werden, dass polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe meist in Begleitung von partikulärem Material auftreten und demzufolge oft auch eine direkte Belästigung durch Sichtverminderung und unangenehmen Geruch verursachen.

Damit sind wir, von streng physiologischen Gesichtspunkten ausgehend, beim subjektiven Kriterium der Belästigung angelangt. Gerade weil bei den meisten luftverunreinigenden Stoffen — mit Ausnahme von Schwefeldioxid — heute genaue Angaben über deren chronische Wirkung fehlen und über deren Zusammenwirken völlige Unklarheit herrscht, muss das Kriterium der Belästigung vermehrt berücksichtigt werden. Der Mensch hat neben dem Recht auf gesunde Luft ebenso das Recht darauf, durch luftfremde Stoffe nicht belästigt zu werden.

Die Zusammensetzung verschiedener Abgase

Wie bereits erwähnt, lassen sich die Quellen luftfremder Stoffe in drei Gruppen einordnen:

1. Industrie
2. Hausfeuerungen
3. Motorfahrzeuge

Durch industrielle Prozesse werden verschiedenartige, aber für die verschiedenen Zweige typische Abgase produziert. Bekannt sind die hochgiftigen Fluorabgase von Aluminiumhütten, die übelriechenden Merkaptane von Raffinerien oder die trüben Staubfahnen, die die Zementwerke weithin kenntlich machen. Allen drei Gruppen sind aber die Verbrennungsprozesse gemeinsam, die der Gewinnung von Wärme oder mechanischer Energie dienen. Mit diesen Verbrennungsprozessen und deren Abgaszusammensetzung wollen wir uns im folgenden kurz auseinandersetzen.

Die Verbrennungsprozesse der Industrie und der Hausfeuerungen unterscheiden sich einmal grundsätzlich von jenen der Motorfahrzeuge: die ersteren bedürfen keines hochraffinierten Brennstoffes und die Abgase werden langsam abgekühlt; die Motorfahrzeuge hingegen werden mit hochraffinierten und mit Zusätzen versehenen Brennstoffen betrieben, wobei die Verbrennung unter hohem Druck abläuft und die Abgase rasch abgekühlt werden. Diese Unterschiede zeigen sich auch in der Zusammensetzung der Abgase.

Industrie- und Hausfeuerungsabgase sind durch den Gehalt an Schwefeldioxid gekennzeichnet, das durch Oxidation des im Brennstoff enthaltenen Schwefels entsteht. Neben dieser äusserst giftigen Abgaskomponente treten aber auch noch unvollständig verbrannte Produkte sowie Russ und Oelnebel auf. Durch richtiges Einregulieren der Brenneraggregate lässt sich allerdings der Gehalt an Russ und Oelnebel in den Abgasen — im Gegensatz zum Schwefeldioxidgehalt — wesentlich verringern. Die bedeutendste Komponente von Feuerungsabgasen ist also das Schwefeldioxid.

Bei *Motorfahrzeugen* wird Art und Menge der mit den Auspuffgasen in die Atmosphäre gelangenden Verunreinigungen durch verschiedene Faktoren, wie Hubvolumen, Luftzahl, Art der Gemischbildung, Zündungsart und insbesondere durch die Belastung des Motors, beeinflusst. Leider treten die höchsten Fremdstoffgehalte im Autoabgas besonders bei der für dicht bebaute Gebiete typischen unregelmässigen Fahrweise auf. Wie aus *Tabelle 1* ersichtlich ist, erreicht gerade das hochgiftige Kohlenmonoxid die höchsten Konzentrationen im Leerlauf und im Schub, den beiden häufigsten Betriebszuständen im Stadtverkehr.

Die Beteiligung verschiedener Quellen an der Luftverunreinigung

Ueber die mengenmässige Beteiligung der verschiedenen Quellen an der Luftverunreinigung lassen sich keine allgemeingültigen Aussagen machen, da je nach topographischen, klimatischen und städtebaulichen Gegebenheiten der Typ von Luftverunreinigung sehr unterschiedlich sein kann. Dies zeigt der folgende Vergleich der Regionen von London, Pittsburgh, dem Ruhrgebiet und Los Angeles.

Komponente	Leerlauf	Konzentration im Abgas bei konstanter Beschleunigung Belastung		Schub
CO	64 000	24 000	24 000	45 000
CH_x	1 400	620	810	5 700
NO_x	Spuren	1 400	1 700	Spuren

Tabelle 1. Einfluss des Betriebszustandes auf die Abgaszusammensetzung beim Benzinmotor [8]

London, das durch seinen besonders in den kälteren Jahreszeiten häufig auftretenden Nebel und der daraus folgenden Sichtverminderung bekannt ist, erlebte im Dezember 1952 eine Luftkatastrophe grossen Ausmasses. Wie bereits erwähnt, konnte durch retrospektive epidemiologische Untersuchungen ein Zusammenhang zwischen ansteigender SO_2-Konzentration und dem Mortalitätsüberschuss festgestellt werden. Damit wurden auch eindeutig die Hausfeuerungen als Hauptquelle von Londons Luftverunreinigung ermittelt. Die gesetzlichen Massnahmen (Clean Air Act) konzentrierten sich demzufolge auf die Hausfeuerungen, die früher grösstenteils mit Kohle oder Holz betrieben wurden. Der Erfolg dieser Massnahmen zeigte sich auch bald in einer deutlichen Verbesserung der Sichtverhältnisse und im Rückgang des Mortalitätsüberschusses.

Als Beispiele für Regionen, in denen die Hauptbelastung der Luft durch die Industrie erfolgt, seien hier das Ruhrgebiet und Pittsburgh (USA) erwähnt. In beiden Regionen wurden gegen die Luftverunreinigung durch die Industrie unterschiedliche Massnahmen getroffen. Im Ruhrgebiet hat man die Industrie durch Auflagen gezwungen, die technisch möglichen Massnahmen zur Emissionsverminderung zu treffen. Dies hatte zur Folge, dass in fast allen Stadt- und Landkreisen des Landes Nordrhein-Westfalen die Immissionsbelastung durch Staub und Schwefeldioxid abgenommen hat [9]. Pittsburgh, das in den USA als qualmende Stadt bekannt war, hat sein Smogproblem gemeistert, indem die abgasproduzierende Industrie weitgehend aus dem Stadtquartier «Golden Triangle» wegziehen musste.

Eine ausgeprägte Belästigung fast ausschliesslich durch Mortorfahrzeugabgase kennt eigentlich nur Los Angeles. Das Smogproblem dieser Region rührt von den rund 3 Mio Fahrzeugen und den ungünstigen klimatischen und topographischen Verhältnissen her.

Die oben aufgeführten Beispiele veranschaulichen sehr deutlich, dass den verschiedenen Quellen nicht ein allgemeingültiger Anteil an der Gesamtluftverunreinigung zugeordnet werden kann. Durch lufthygienische Untersuchungen in verschiedenen Siedlungsgebieten können aber doch einige wichtige generelle Zusammenhänge zwischen den städtebaulichen Faktoren und der Luftverunreinigung ermittelt werden. Die Ermittlung solcher Zusammenhänge war das Ziel umfangreicher Luftuntersuchungen in der Region Zürich, die in den Jahren 1963 bis 1967 durchgeführt wurden [7]. Im speziellen sollten durch diese Luftmessungen folgende Fragenkomplexe behandelt werden:

1. Bestehen gesetzmässige Zusammenhänge zwischen Siedlungsgrösse und Luftverunreinigung?
2. In welchem Masse sind in der Region Zürich die Hausfeuerungen an der Luftverunreinigung beteiligt?
3. In welchem Masse ist der Motorfahrzeugverkehr an der Luftverunreinigung beteiligt?

In den folgenden Abschnitten sollen nun der Messplan und die wichtigsten Resultate dieser Untersuchungen zusammengefasst, diskutiert und für den Planer wichtige Zusammenhänge hervorgehoben werden.

Messplan der Luftuntersuchungen im Raume Zürich

Die gesamten Untersuchungen erstreckten sich über die Jahre 1963 bis 1967 und wurden in den folgenden Gemeinden durchgeführt:

Zürich (3 Messstellen)	450 000 Einwohner
Baden	15 000 Einwohner
Spreitenbach	5 000 Einwohner
Turbenthal	3 000 Einwohner

Um die jahreszeitlichen Einflüsse auf die Konzentration von Luftverunreinigungen ermitteln zu können, wurden mit Ausnahme von Baden jeweils gleich viele Sommer- und Wintermessungen durchgeführt. Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid wurde in Zürich ab Sommer 1963 bestimmt, so dass sich für diese Stoffe zwei Sommer- und zwei Winterserien ergaben. Kohlenmonoxid wurde erst ab Winter 1964/65 gemessen. An den ausserhalb Zürichs liegenden Messorten Turbenthal und Spreitenbach hat man nur im Sommer 1965 und im Winter 1965/66 gemessen.

Eine Messserie umfasste jeweils vier nicht aufeinanderfolgende Tage, die man so wählte, dass die chemische Analyse der Proben am folgenden Tag durchgeführt werden konnte. Weiter achtete man darauf, dass keine Sonn- und Feiertage in eine Messserie fielen. Aus diesen Gründen fiel die Wahl auf die beiden Wochentage Dienstag und Donnerstag.

In Zürich, Turbenthal und Spreitenbach wurden an einem Messtag sechs regelmässig verteilte Messungen zwischen 07.30 und 18.00 Uhr durchgeführt. In Baden erfolgten die Messungen fünfmal täglich zwischen 09.20 und 18.00 Uhr. Um eine möglichst sinnvolle Auswertung der Messdaten zu gewährleisten, hat man jeweils gleichzeitig Messungen über Windgeschwindigkeit, Temperatur und Verkehrsdichte durchgeführt.

Siedlungsgrösse und Luftverunreinigung

Untersucht man den Einfluss verschiedener Faktoren wie beispielsweise Klima, Industrialisierung oder Verkehrsdichte auf den Grad der Luftverunreinigung, so gelangt man zu Ergebnissen, die für einen Typ oder für eine Gruppe von Siedlungen zutreffen mögen. Ob aber ein genereller Zusammenhang zwischen Siedlungsgrössen und Luftverunreinigung besteht, ist bisher noch kaum untersucht worden. Diese Frage stellten wir uns bei der Auswertung der Messdaten unserer Zürcher Untersuchungen, und beim Vergleich derselben mit Resultaten von ausländischen Grossstädten. Klimatische Faktoren, Industrialisierungsgrad oder Verkehrsintensität liessen wir bei der Beantwortung dieser Frage bewusst weitgehend unberücksichtigt. Die Wahl der zu vergleichenden Luftverunreinigungen ist beschränkt durch die Art der Untersuchungen im Ausland, wo nur über NO_2, CO und SO_2 umfangreiche systematische und vergleichbare Messungen in verschiedenen Grossstädten durchgeführt wurden. In *Tabelle 2* sind die für NO_2 und SO_2 von uns bestimmten und jene von amerikanischen Autoren [10, 11] angegebenen Messwerte verschiedener Siedlungen und deren Einwohnerzahlen zusammengefasst.

Ein Vergleich dieser Werte ergibt, dass in Siedlungen bis rund 500 000 Einwohner die NO_2-Konzentration sehr rasch zunimmt, während bei Siedlungen von mehr als 10 Mio Einwohnern eine weitere Zunahme der NO_2-Konzentration kaum feststellbar ist. Diese Zunahme lässt sich aus der Steigung der Geraden, die in *Abbildung 1* dargestellt ist, berechnen und ergibt einen Wert von 0,23 ppb pro 100 000 Einwohner.

Ein ganz anderes Bild ergibt der Vergleich der SO_2-Konzentration von Siedlungen unterschiedlicher Grösse (Abb. 2). Eine ähnliche Abhängigkeit zeigt sich nur bei Siedlungen bis zu einer Grösse von etwa einer halben Mio Einwohner. Bei Siedlungen von mehr als 10 Mio Einwohnern nimmt die SO_2-

Konzentration hingegen wesentlich stärker, nämlich um 3,16 ppb pro 100 000 Einwohner zu. Die Zunahme der SO_2-Konzentration pro 100 000 Einwohner ist also rund 14mal stärker als jene der NO_2-Konzentration!

Eine Erklärung dieses Unterschiedes kann darin gefunden werden, dass die Verkehrsdichte pro Flächeneinheit in den meisten Grossstädten von derselben Grössenordnung ist und somit auch das von Motorfahrzeugen stammende NO_2 eine gewisse Höchstkonzentration kaum übersteigt. Die Bevölkerungsdichte steigt jedoch in der Regel auch mit der Grösse einer Siedlung, so dass also der SO_2-Ausstoss pro Flächeneinheit mit der Grösse einer Stadt zunimmt.

Siedlung	Einwohner	NO_2 (ppm)	SO_2 (ppm)	Bezeichnung in Abb. 1 und 2
Spreitenbach	3 000	0,006	0,003	a
Turbenthal	5 000	0,009	0,003	b
Baden	15 000	0,016	0,013	c
Zürich	450 000	0,023	0,032	d
Cincinnati	503 000	0,030	0,029	e
New Orleans	628 000	0,019	0,010	f
San Francisco	740 000	0,042	0,008	g
Washington	764 000	0,032	0,051	h
Philadelphia	2 003 000	0,038	0,076	i
Chicago	3 550 000	0,042	0,135	k
New York	rund 10 Mio	0,050	0,316	—

Tabelle 2. Siedlungsgrösse und Luftverunreinigung

Motorfahrzeugverkehr und Luftverunreinigung

In einem vorangehenden Kapitel wurde erwähnt, dass das Schwefeldioxid fast ausschliesslich durch den Hausbrand und nicht durch den Motorfahrzeugverkehr in die Atmosphäre gelange. Dass dies tatsächlich der Fall ist, zeigen die Ergebnisse der Untersuchung der Streuung der Messwerte innerhalb eines Jahres und innerhalb eines Tages. Die in *Tabelle 3* aufgeführten Mittelwerte zeigen deutlich den Unterschied zwischen den tiefen Sommer- und den hohen Winterwerten der SO_2-Konzentration. Bei den übrigen, fast ausschliesslich aus Motorfahrzeugen stammenden Verunreinigungen ist kaum eine deutliche Konzentrationsschwankung innerhalb eines Jahres festzustellen.

Messstelle	NO_2(ppb)		CH_2O(ppb)		SO_2(ppb)	
	So	Wi	So	Wi	So	Wi
Nr. 1 Zürich	14	23	21	20	6	48
Nr. 2 Zürich	23	24	27	15	13	66
Nr. 3 Zürich	17	37	45	32	17	71

Tabelle 3. Streuung der Immissionsmesswerte innerhalb eines Jahres

Einen weiteren Anhaltspunkt für die Herkunft des SO_2 liefert die Analyse des Tagesganges der SO_2-Konzentration, der in *Abbildung 3* dargestellt ist. Typisch sind die hohen Messwerte der frühen Morgenstunden, die die intensive Heiztätigkeit widerspiegeln. Aber auch der jahreszeitlich bedingte Unterschied ist aus derselben Abbildung deutlich erkennbar. Obenstehende Vergleiche ergeben, dass die Luftverunreinigung durch Motorfahrzeuge in ihrer Bedeutung zumindest im Winter deutlich hinter jener der Hausfeuerungsanlagen zurücksteht.

Der quantitative Zusammenhang zwischen Verkehrsdichte und Luftverunreinigung wird am besten durch die im folgenden beschriebenen Luftuntersuchungen in Baden demonstriert.

In Baden bewegte sich bis zum Jahre 1965 der gesamte Nord—Süd-Durchgangsverkehr auf einer schmalen Strasse mitten durch die Altstadt, wo der Verkehr mit einer Signalanlage alternierend durch den engen Bogen eines alten Stadtturmes geleitet werden musste. Ab 1966 stand für diesen Durchgangsverkehr ein Umfahrungstunnel zur Verfügung, so dass von diesem Zeitpunkt an im Stadtzentrum mit einer wesentlichen Verminderung der Fahrzeugdichte gerechnet werden konnte.

Tatsächlich zeigt sich bereits bei einer oberflächlichen Betrachtung der Resultate ein Unterschied zwischen den Werten, die wir im Sommer 1965 gemessen haben, und jenen des Sommers 1966, und zwar zugunsten der letztgenannten *(Abb. 4)*.

Diese Reduktion der Luftverunreinigung in Baden scheint sich vorerst eindeutig auf die Abnahme der Verkehrsdichte zurückführen zu lassen, die durch die Verkehrsumleitung durch den Schlossbergtunnel von 17,4 Fahrzeugen/min im Jahre 1965 auf 7,1 im Jahre 1966 und 8,1 im Jahre 1967 sank. Die Abnahme der mittleren Verkehrsdichte betrug also 9,8 Fahrzeuge/min oder 56,4 %. Da jedoch die mittlere Windgeschwindigkeit im Sommer 1966 (2,01m/sec) rund doppelt so hoch lag wie im Sommer 1965 (1,13 m/sec), waren wir im ungewissen, wieweit die gemessene Verminderung der Luftverunreinigung in Baden auf den stärkeren Wind und wieweit auf den reduzierten Verkehrsstrom zurückzuführen sei. Dieser Umstand veranlasste uns, im Sommer 1967 eine weitere Messserie

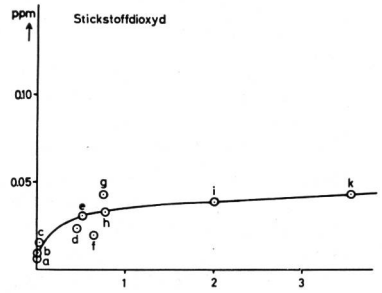


Abb. 1. NO_2-Konzentration in Abhängigkeit von der Siedlungsgrösse
(Legende in Tabelle 2, Spalte 5)

Abb. 2. SO_2-Konzentration in Abhängigkeit von der Siedlungsgrösse
(Legende in Tabelle 2, Spalte 5)

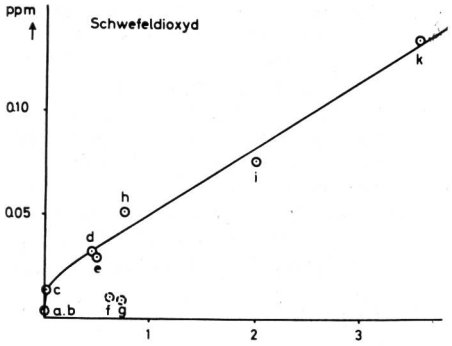
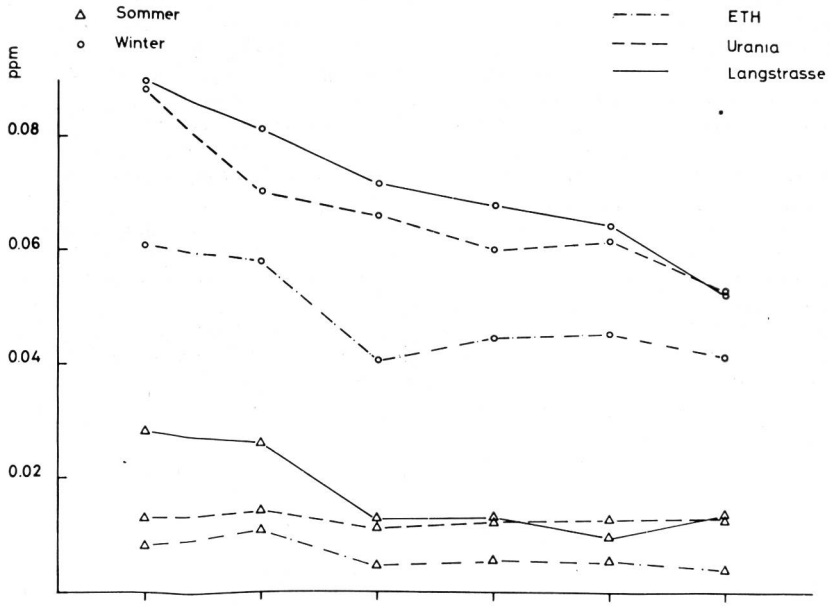


Abb. 3. Tagesgang der SO_2-Konzentration



durchzuführen. In diesem Jahre war dann die mittlere Windgeschwindigkeit (1,09 m/sec) annähernd gleich jener der Messserie vom Sommer 1965 (1,13 m/sec), so dass ein Einfluss des Windes auf die Messergebnisse des Jahres 1966 ausgeschlossen werden konnte.
Die Reduktion um 56 % des Motorfahrzeugverkehrs in der Innenstadt von Baden bewirkte eine statistisch signifikante Abnahme der Konzentration von NO_2 um 52 %, von Formaldehyd um 55 % und von CO um 42 %. Die Konzentrationsunterschiede beim SO_2 erwiesen sich als statistisch nicht signifikant. Interessant an diesen Resultaten ist nun die Tatsache, dass ausgerechnet die CO-Konzentration am wenigsten stark reduziert wurde, dass mit anderen Worten der Zusammenhang zwischen Verkehrsdichte und CO-Konzentration nicht so ausgeprägt ist wie beim NO_2 und Formaldehyd. Ein ähnliches Bild ergab die Korrelationsanalyse zwischen Verkehrsdichte und CO-Konzentration anderer Messstellen.
Diese Korrelationsanalysen ergaben in drei von vier Fällen einen signifikanten Korrelationskoeffizienten, nämlich für die Werte der Messstelle Turbenthal in beiden Jahreszeiten und für die Werte der Messstelle ETH in Zürich im Sommer. Auffallend ist nun, dass die Messstelle Langstrasse mit der höchsten mittleren CO-Konzentration von 22,6 ppm keine, die Messstelle Turbenthal mit der tiefsten mittleren CO-Konzentration von 2,6 ppm eine hoch signifikante Abhängigkeit der CO-Konzentration von der Verkehrsdichte zeigt.

Die statistische Analyse der verschiedenen Werte ergbit, dass die Schwankung der CO-Konzentration an der Langstrasse viel grösser ist als in Turnbenthal, umgekehrt aber die Schwankung der Verkehrsdichte in Turbenthal ausgeprägter ist als an der Langstrasse *(Tab. 4)*.
Vorerst scheint es unverständlich, dass jene Messstelle mit den stärkeren Schwankungen des Verkehrsstroms geringere Schwankungen der CO-Konzentration aufweist als die Messstelle mit weniger ausgeprägten Schwankungen des Verkehrsstroms. Vergleicht man nun aber auch den Verkehrsfluss an den beiden Messstellen, so kann man in Turnbenthal einen flüssigen, und an der Langstrasse einen nur zeitweise flüssigen Verkehrs beobachten. Die erwähnte geringe Abweichung von der hohen mittleren Verkehrsdichte lässt nun darauf schliessen, dass der Verkehrsstrom an der Langstrasse dauernd an der oberen Grenze der Kapazität dieser Verkehrsader liegt. Uebersteigt der Fahrzeugandrang diese Kapazität, so führt dies besonders am Morgen von 7 bis 8 Uhr und am Abend von 17 bis 18 Uhr zu länger andauernden Stauungen, die immer von einem sprunghaften Anstieg der CO-Konzentration begleitet sind. In Turbenthal, wo keine Stauungen beobachtet werden konnten, trat auch nie ein sprunghafter Anstieg der CO-Konzentration auf. Diese Erscheinungen konnten bei allen übrigen aus Motorfahrzeugen stammenden Luftverunreinigungen nicht beobachtet werden. Offensichtlich spiegelt sich in diesem Befund die Tatsache, dass Benzinmotorfahrzeuge im Leerlauf bedeutend höhere CO-Konzentrationen (etwa 7 %) aufweisen als bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h (etwa 1 %).
Diese Ergebnisse zeigen, dass die CO-Konzentration wesentlich von der Viskosität des Verkehrsflusses abhängt, das heisst, es ist vom Standpunkt der Lufthygiene aus betrachtet nicht in erster Linie von Bedeutung, wieviel Verkehr auf den Strassen rollt, sondern dass er flüssig rollt.

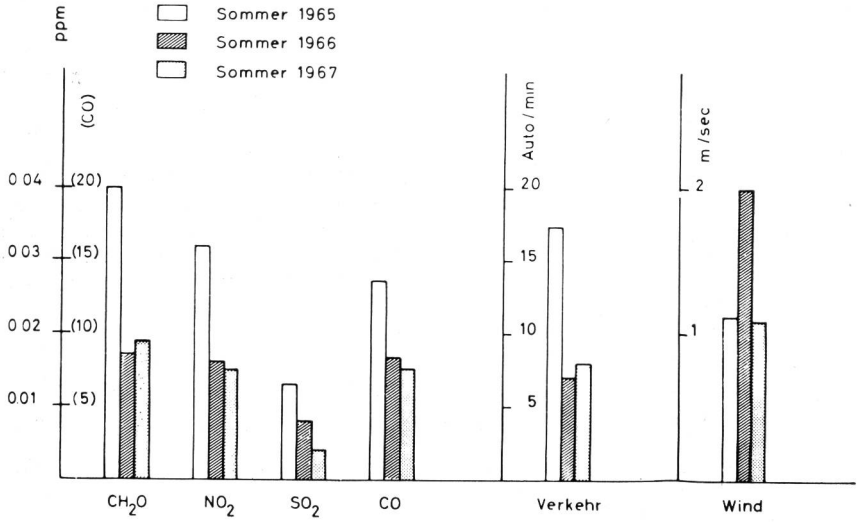


Abb. 4. Einfluss einer grosszügigen Verkehrssanierung auf die Luftqualität im Innern einer Stadt

Tabelle 4. Zusammenhang zwischen Verkehrsdichte und CO-Konzentration

	Turbenthal	Langstrasse
Verkehrsdichte	3,4 FZ/min	15,6 FZ/min
Standardabweichung	0,79 (23,3 %)	0,24 (15,4 %)
CO-Konzentration	2,6 ppm	22,6 ppm
Standardabweichung	0,75 (28,5 %)	10,14 (44,5 %)
Korrelationskoeffizient	0,43	0,05

Zusammenfassung
Im ersten Teil der Arbeit wird die hygienische Bedeutung verschiedener wichtiger gasförmiger Komponenten von Abgasen eingehend besprochen und die Zusammensetzung verschiedener Abgase summarisch dargestellt. Im zweiten Teil werden einige generelle Zusammenhänge zwischen städtebaulichen Faktoren und der Luftverunreinigung ermittelt. Zu diesem Zwecke werden die Resultate eigener Untersuchungen nach verschiedenen Gesichtspunkten statistisch untersucht und auch mit Messwerten ausländischer Untersuchungen verglichen.

Literatur

[1] *Wirth, W., Hecht, G., Gloxhuber, C.,* Toxikologie-Fibel, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 1967.
[2] *Lynn, D. A., McMullen, Th. B.,* Air Pollution in Six Major Cities as Measured by the Continuous Air Monitoring Program. Japca *16,* 186—190 (1966).
[3] *Hechter, H. H., Goldschmith, J. R.,* Air Pollution and Daily Mortality. Am. J. Med. Sci. *241,* 581—588 (1961).
[4] *Patty, F. A.,* Industrial Toxicology and Hygiene. Interscience Publishers, New York 1963.
[5] Public Health Medical Service, Morbidity and Mortality during the London Fog of December 1952. Publication Nr. 95, 1954.
[6] *McCoralli, J.,* Measurements of Morbidity and Mortality Related to Air Pollution. Japca *17,* 203—209 (1967).
[7] *Müller, Th. Th.,* Lufthygienische Untersuchungen in Siedlungsgebieten der Region Zürich. Dissertation ETH, 1969.
[8] *WHO,* Technical Rep. Ser. Nr. 410 (1969).
[9] Kongress «Reinhaltung der Luft», Düsseldorf. Verlag Hubert Wingen, Essen, 1969.
[10] *Lynn, D. A., McMullen, Th. B.,* Air Pollution in Six Major Cities as Measured by the Continuous Air Monitoring Program. Japca *16,* 186—190 (1966).
[11] *Jacobs, M. B., Hochheiser, B.,* Continuous Sampling and Ultramicrodetermination of Nitrogen Dioxide in Air. Anal. Chem. *30,* 426—428 (1958).