

Die Verunreinigungen der Stadtluft*)

Von E. Grandjean

Der auf einer Fensterscheibe abgelagerte Staub, die weit sichtbaren Rauchfahnen über Haus- und Fabrikkaminen, oder die an kalten Tagen besonders gut sichtbaren Abgase von Automobilen können bei jedem Stadtbewohner gelegentlich die Frage aufkommen lassen, ob wohl die in der Stadtluft enthaltenen Verunreinigungen auf die Dauer nachteilige Folgen haben könnten.

Die Kenntnis, daß die Einatmung verunreinigter Luft zu Gesundheitsschäden führen kann, ist so alt wie die Medizin selbst. Zu systematischen Untersuchungen über die Beschaffenheit der Verunreinigungen der Außenluft und ihre Auswirkungen auf Mensch, Tier und Material ist es erst in den letzten zehn Jahren gekommen, da mit der Vergrößerung der Städte und mit der Zunahme aller Verbrennungsprozesse in unserm technischen Zeitalter die Luftverunreinigung in den Städten stark zugenommen hat. Ärzte und Behörden sind vor allem durch die sogenannten Nebelkatastrophen alarmiert worden, bei denen jeweilen die Luftverunreinigungen ein solches Ausmaß angenommen hatten, daß die Morbidität und die Mortalität der städtischen Bevölkerungen in signifikanter Weise erhöht wurden.

Die Luft, in der wir leben, ist ein Aerosol, in welchem die disperse Phase aus den verschiedensten flüssigen oder festen Partikelchen besteht. Wir sprechen dabei von Staub, wenn die schwebenden Teilchen aus festem Material, von Nebel, wenn sie aus flüssigen Stoffen, und von Dunst, wenn sie aus einem Gemisch von flüssigen und festen Teilchen bestehen.

Man kann die Luftverunreinigungen nach ihren physikalischen Eigenschaften, nach ihrer chemischen Natur, nach ihrer Herkunft oder auch nach ihrer Pathogenität klassieren. Da es sich bei den Stadtluftverunreinigungen um ein unübersehbares Gemisch verschiedener Gase, Dämpfe und Stäube handelt, kann im Zusammenhang mit den vorliegenden Fragen auf eine Klassifikation verzichtet werden, da keines der bekannten Systeme das Verständnis des ganzen Fragenkomplexes erleichtern wird.

Während die Gase und Dämpfe den physikalischen Gesetzen der Diffusion gehorchen und sich innerhalb gewisser Grenzen relativ gleichmäßig in der Luft verteilen, müssen wir bei Stäuben und Rauch feststellen, daß die festen Partikel um so schneller sedimentieren und aus der Außenluft verschwinden, je schwerer sie sind. Wir können als allgemeine Richtlinie annehmen, daß Teilchen, die größer sind als 10μ , in verhältnismäßig kurzer Zeit sedimentieren; Teilchen

*) Nach einem Vortrag, gehalten an der Jahresversammlung der Gesellschaft schweizerischer Amtsärzte am 16. November 1956, in Basel.

zwischen 1 und 10 μ haben eine Sedimentationsgeschwindigkeit von 5 bis 10 m pro Stunde, Teilchen von 0,01 bis 1 μ eine solche von einigen Zentimetern pro Stunde.

Je kleiner die Staubteilchen, um so unsichtbarer werden sie. Ist der größte Teil der Staubpartikel kleiner als einige μ , dann sind diese nur noch bei größten Konzentrationen sichtbar, wie etwa beim Austritt aus einem Fabrikamin. Eine klare Luft kann aus diesen Gründen nur scheinbar rein sein und dabei möglicherweise noch sehr viel Luftverunreinigungen enthalten.

Wegen der Filterwirkung der Nase und der Luftwege kommt dem Durchmesser der eingeatmeten Staubpartikel eine entscheidende Bedeutung zu. Wir wissen heute, daß Teilchen größer als 3 bis 5 μ nahezu zu 100 % von den Schleimhäuten der Nase und der Luftröhre abgefangen werden. Dagegen gelangen Teilchen zwischen 0,3 und 2 μ in sehr großer Zahl in die Alveolen, während noch kleinere Teilchen in überwiegendem Maße wieder ausgeatmet werden. Die in den Alveolen abgeschiedenen Teilchen gelangen entweder als gelöste Stoffe direkt in die Kapillaren, oder sie werden phagozytiert, zu den Lymphdrüsen transportiert und, wenn sie löslich sind, ebenfalls allmählich ins Blut abgegeben. Die in den Bronchien aufgefangenen Verunreinigungen werden zum Teil dort resorbiert, zum größeren Teil jedoch, dank dem Flimmerepithel, mit dem Schleim in den Rachen befördert, von wo ein wesentlicher Teil den Weg in die Verdauungsorgane findet.

Meßmethoden

Bei den heute verwendeten Verfahren zur Erfassung des Ausmaßes der Luftverunreinigung können wir zwei grundsätzlich verschiedene Meßmethoden unterscheiden:

1. die Messung der sedimentierten Luftverunreinigungen,
2. die Messung der in der Luft enthaltenen Gase oder schwebenden Stoffe.

Zur erstgenannten Gruppe gehören die in England entwickelten Auffanggeräte, die sogenannten *British Standard Deposit Gauges* [1]. Diese bestehen im wesentlichen aus einem Behälter mit einer Öffnung von ungefähr 900 cm², der alle Niederschläge und sedimentierenden flüssigen und festen Luftverunreinigungen auffängt. In ganz England sollen heute mehr als 600 solcher Geräte in Betrieb stehen, wobei deren Inhalt monatlich analysiert wird. Für die festen und unlöslichen Schwebstoffe werden die Resultate in Gramm/100 m²/Monat angegeben.

Diese Methoden haben den Vorteil, ohne großen Aufwand den Grad der Luftverunreinigung über große Zeiträume angeben zu können. Bei trockenem und windigem Wetter wird der feine Staub jedoch nur in geringem Maße aufgefangen, so daß die meteorologischen Bedingungen die Meßgrößen recht stark

beeinflussen können. Außerdem sagen die Meßresultate nichts aus über die gasförmigen Luftverunreinigungen und nur sehr wenig über die kleinsten und dauernd schwebenden festen und flüssigen Teilchen.

In Holland und Deutschland sind ähnliche Geräte verwendet worden, bei denen entweder Flaschen oder Aluminiumplättchen, mit Vaseline bestrichen, die sedimentierenden Luftverunreinigungen auffangen [2, 3].

Zur Messung der in der Luft schwebenden Verunreinigungen sind mit Vorteil *Elektropräzipitatoren* [4] verwendet worden, bei denen sowohl die festen als auch die flüssigen Schwebstoffe in einem hohen elektrischen Spannungsfeld aus der zu untersuchenden Luft mit einem sehr guten Wirkungsgrad abgeschieden werden.

Die gasförmigen Luftverunreinigungen werden in der Regel mit Hilfe von Waschflaschen unter Verwendung geeigneter Absorptionsflüssigkeiten abgeschieden und hernach im Laboratorium mit chemischen Methoden quantitativ analysiert (*Impinger-Verfahren*).

Das Ausmaß der Rauchbildung wird seit vielen Jahren schon mit Hilfe der sogenannten *Ringelmann-Methode* gemessen. Es handelt sich dabei um fünf normierte Schattenkarten, die, in einer Distanz von 15 m vom Auge aufgestellt, mit der Rauchdichte des Kamins verglichen werden. Auf diese Weise kann man in vier Abstufungen in grober Annäherung die Rauchdichte an einem Kaminaustritt bestimmen. Neuerdings sind modernere optische Geräte zur Rauchmessung entwickelt worden, von denen hier das *Smokescope* der Mine Safety Appliance Company in Pittsburgh genannt sei.

Die Quellen der Luftverunreinigungen

Wir wissen heute, daß die Rauchgase aus Fabrik- und Hauskaminen und die Auspuffgase der Automobile die wichtigsten Quellen der Luftverunreinigung darstellen. Alle Verbrennungsprozesse, bei denen Kohle, Öl und ihre Zwischenprodukte verbrannt werden, sind somit die wesentlichen Quellen der Luftverunreinigung.

Für England nimmt man an [1], daß mehr als die Hälfte des Rauches von den Industrien und den Eisenbahnen her stammt. Der sedimentierende Flugstaub soll nahezu nur von den Industrien und Eisenbahnen her kommen. An andern Orten neigt man eher dazu, das Ausmaß der Luftverunreinigungen ziemlich gleichmäßig auf die Industrie, die Haushaltungen und die Kraftfahrzeuge zu verteilen. *Littman und Magill* [5] berechneten für Los Angeles, daß täglich 1600 t unvollständig verbrannten organischen Materials in die Außenluft abgegeben werden. Dabei sollen ungefähr 850 t allein von den Kraftfahrzeugen herrühren, während die Industrien für 300 bis 400 t verantwortlich seien. Aus dem Schwefeldioxyd Gehalt der Luft, das überall dort freigesetzt wird, wo Kohle, Öle oder ihre Produkte verbrannt werden, hat *Cholak* [6] den

Schluß gezogen, daß in Wohnquartieren der Anteil der Haushaltungsheizungen an den Luftverunreinigungen ungefähr 30% betrage.

Die Abgase aus Fabrikaminen enthalten, je nach den Arbeitsprozessen, die verschiedensten chemischen Stoffe, unter denen aber meistens neben Rauchpartikeln, Kohlenmonoxyd, Kohlensäure, Schwefeldioxyd, Stickstoffdioxyd, Aldehyden und Ammoniak, die diversesten Salze und Metalle vorkommen. Fabrikamine werfen Staubmengen aus, die oft die Größenordnung von *mehreren Tonnen pro Tag* erreichen, und die ins Freie gelangenden Gase betragen *mehrere hundert Kubikmeter pro Minute*.

Besser bekannt und viel einheitlicher sind die Luftverunreinigungen, die durch die Auspuffgase von Benzin- und Dieselmotoren freigesetzt werden. Die den Hygieniker und Toxikologen interessierenden Bestandteile der Auspuffgase sind in *Tabelle 1* zusammengestellt.

Tab. 1 Zusammensetzung der Auspuffgase von Benzin- und Dieselmotoren

Benzinmotor im Leerlauf; Tourenzahl: 1000	CO ₂	7,0 %
	CO	6,5 %
	O ₂	0,8 %
	H ₂	2,9 %
	CH ₄	0,2 %
	Kohlenwasserstoffe	0,25%
	schwer flüchtige organische Stoffe (Schwefelverbindungen, Säuren, Phenole usw.)	0,10%
	Stickoxyde (bei Vollast)	0,05%
	hochsiedende Kohlenwasserstoffe . .	Spuren
	Alkohole	Spuren
	Aldehyde	Spuren
	Blei	Spuren
Dieselmotor im Leerlauf	CO ₂	4 - 7 %
	CO	0,03 - 0,4 %
	Aldehyde	0,05 %
	Stickstoffoxyde	0,06 - 0,13%
	SO ₂	0,002-0,01 %
Daneben in stark wechselnden Mengen unvollständig verbrannte Kohlenwasserstoffe		

Da ruhig laufende Benzinmotoren einige Hundert Liter und auf Hochtouren laufende Motoren leicht ein Vielfaches davon an Auspuffgasen pro Minute freisetzen, kann mit Leichtigkeit ermessen werden, wie bei großen Verkehrsichten außerordentlich große Gasvolumen und auch viele feste und flüssige Luftverunreinigungen in die Straßenluft gelangen.

Untersuchungen der Stadtluft

Die Angaben, die man in der Literatur über die gemessenen sedimentierten Staubmengen findet, weichen nicht stark voneinander ab. Neben den örtlichen meteorologischen Verhältnissen, dem Grad der Industrialisierung, der Art der verwendeten Brennstoffe, spielen für die Meßergebnisse sicherlich auch meßtechnische Verschiedenheiten eine gewisse Rolle.

Nach *Liesegang* [7] soll man in der Ruhr in unmittelbarer Nachbarschaft der dortigen Industrien Staubmengen zwischen 1,3 und 1,5 kg/100 m²/Monat finden; in andern deutschen Städten betrage diese sedimentierte Flugaschenmenge 0,3 bis 0,9 kg/100 m²/Monat.

Nach verschiedenen Autoren ergaben Messungen der Staubsedimentation in den USA folgende Werte:

	Sedimentierte Staubmengen in kg/100 m ² /Monat	
	Winter	Sommer
ländliche Bezirke	0,2–0,6	0,4–0,8
Wohnviertel in Städten . .	0,4–1,2	0,8–2,3
Industrieviertel	0,6–2,3	0,8–4,8

In der besonders stark industrialisierten Stadt Pittsburgh schwankten die durchschnittlichen sedimentierten Staubmengen in den Jahren 1938 bis 1950 zwischen 1,9 und 2,3 kg/100 m²/Monat [8]. *Cholak* [9] gibt als Durchschnitte für die Jahre 1946 bis 1951 folgende Werte an:

In Cincinnati:	Sedimentierte Staubmengen in kg/100 m ² /Monat
Universitätsviertel	0,31
Wohnviertel	1,07
Industrie- und Geschäftsviertel .	3,62
ausgesprochenes Industrieviertel.	4,71

Für die hygienische Beurteilung der Stadtluft sind die Messungen der Konzentrationen der in der Luft schwebenden festen Staubteilchen von größerer Bedeutung als die sedimentierten Luftverunreinigungen. Diese Schwebstoffe sind in Amerika in der Regel mit dem Elektropräzipitator gemessen worden. Die mikroskopische Analyse der Staubproben ergab, daß weitaus der größte Teil der schwebenden Staubpartikel Durchmesser von weniger als 3 μ aufweist. In *Tabelle 2* sind einige Meßergebnisse aus der amerikanischen Literatur [6] zusammengestellt.

First und *Drinker* [10] ziehen aus einer Übersicht bisheriger Messungen den Schluß, daß eine als sauber bezeichnete Landluft zwischen 0,1 und 0,2 mg/m³ feste Schwebstoffe enthält. Dies entspreche 5 bis 10 Mio Partikeln/m³ Luft. Für eine Industriestadt fordern die Autoren, daß die Luft weniger als 2 mg/m³ Schwebstoffe enthalte.

Tab. 2 Konzentrationen von staubförmigen Schwebstoffen in der Luft einiger amerikanischer Städte

Stadt	Konzentrationen von schwebenden Staubteilchen in mg/m ³	
	Durchschnittswert	Extremwerte
Baltimore, Stadtzentrum	0,87	0,21–1,72
Donora	0,70	0,26–1,90
Baltimore, Boston, Chicago, Pittsburgh, St. Louis . .	0,63	0,51–0,72
Buffalo, Cleveland, New Orleans, New York, Philadelphia	0,52	0,38–0,68
Cincinnati	0,37	0,01–1,98

Mit Hilfe eines Filtergerätes maßen wir in der Schweiz, in der Umgebung von einigen hundert Metern um ein Eisenwerk, die Konzentrationen der in der Luft enthaltenen Schwebstoffe. Wir fanden dabei Werte zwischen 0,08 und 1,94 mg/m³. Zehn an einer und derselben Meßstelle (260 m Distanz vom Kamin) an verschiedenen Tagen durchgeführte Staubbestimmungen ergaben einen Durchschnittswert von 0,4 mg/m³, wobei die Extremwerte zwischen 0,14 und 0,73 mg/m³ schwankten.

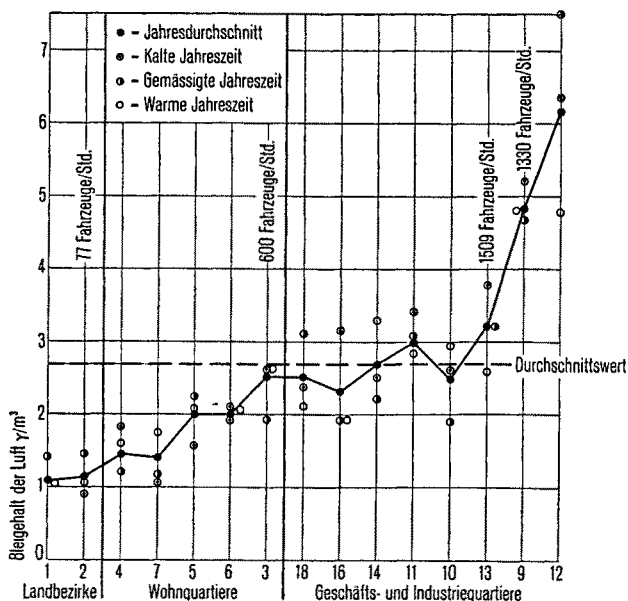


Abb. 1 Bleigehalt der Luft in verschiedenen Stadtvierteln. Nach J. Cholak [6]

Die chemische Analyse der Schwebstoffe hat ergeben, daß sie aus den verschiedensten Stoffen zusammengesetzt sind. Neben größeren Mengen an organischem Material, neben Karbonaten, Sulfaten, Phosphaten, findet man auch nahezu alle Metalle. In *Tabelle 3* sind die von *Cholak* [6] gefundenen Werte für die Stadtluft von Cincinnati wiedergegeben.

Tab. 3 Durchschnittliche Zusammensetzung der schwebenden Staubteilchen in der Stadtluft von Cincinnati

Stoff	Gewichtsanteile in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft	
	Durchschnittswert	Extremwerte
Aluminium	4,4	0,1–25
Antimon	0,2	—
Arsen	0,06	—
Beryllium	0,0095	0,0001–0,6
Cadmium	0,22	0,1–0,42
Kalzium	16	0,4–65
Kupfer	0,86	0,01–32
Eisen	12,5	0,1–110
Blei	2,7	0,1–11,5
Magnesium	7	5–10
Mangan	0,3	0,0–2,0
Quecksilber	0,10	0,03–0,21
Kalium	48	3,0–230
Silber	0,1	0,1–0,8
Natrium	28	10–84
Zinn	0,2	0,0–12
Titan	1,0	0,1–20
Vanadium	0,2	0,2–0,4
Zink	2,0	0,1–14
F^-	0,93	0,1–2,9
SO_4^{--}	2,7	0,1–8,5
Cl^-	1,9	0,24–6,6

Die Anteile der einzelnen Stoffe weichen von Stadt zu Stadt nicht sehr stark voneinander ab. Hingegen findet man von Stadtteil zu Stadtteil, je nach dem Verkehr und je nach dem Grad der Industrialisierung, recht große Unterschiede. In *Abbildung 1* ist der Gehalt der Luft an Blei nach Messungen von *Cholak* [6] in Cincinnati angegeben. Wir sehen, daß der durchschnittliche Bleigehalt der Außenluft in den Geschäfts- und Industrievierteln höher ist als in den ländlichen und Wohndistrikten, was zum Teil auch mit dem höheren Verkehr in Zusammenhang steht.

Sowohl bezüglich der Belästigung als auch der Gesundheitsschäden kommt den in der Stadtluft enthaltenen Gasen und Dämpfen eine größere Bedeutung

zu als den festen Staubteilchen. Auch hier finden wir chemische Stoffe sowohl organischen als auch anorganischen Ursprungs. Viele dieser Stoffe kommen sowohl als Gase als auch in flüssigem oder festem Zustand unter den Schwebstoffen vor. Die wichtigsten sind zweifelsohne das Schwefeldioxyd, Chloride, Ammonium und seine Salze, Fluor, und Aldehyde. Ausschließlich in Gasform kommen das Kohlenmonoxyd und das Stickstoffoxyd vor. In *Tabelle 4* sind einige Durchschnittswerte für diese Stoffe aus der amerikanischen Literatur zusammengestellt.

Tab. 4 Luftverunreinigungen in einigen amerikanischen Städten
(Die Zahlen geben die Durchschnittswerte in ppm [cm^3/m^3 Luft] an)

Stoffe	Landluft	Cincinnati	Baltimore	Los Angeles	Andere Städte
CO ₂	0,033	0,058			Salt Lake City 0,033
CO	< 5	7,5	10		
NO ₂		0,23	0,16	0-0,25	Donora 0,15
Aldehyde . . .		0,07	0,067	0,15	Charleston 0,04
SO ₂	0,037	0,061	0,074	0,10	St. Louis 0,25
Cl.	0,026	0,033	0,037		Charleston 0,016
Ammonium und Ammoniumsalze		0,023	0,018	0,10	Charleston 0,04
Fluoride	0,0047	0,005	0,018	0,008	Charleston 0,003

Wegen seinen biologischen Wirkungen hat man vor allem dem Schwefeldioxyd große Bedeutung beigemessen. Da es außerdem nahezu immer als Endprodukt der verschiedensten Verbrennungsvorgänge vorkommt, haben zahlreiche Autoren vorgeschlagen, den Schwefeldioxydgehalt der Luft als Maß der Verunreinigung heranzuziehen.

Das englische Komitee für Luftverunreinigungen [1] schätzt, daß jährlich $5\frac{1}{4}$ Mio Tonnen Schwefel als Verbrennungsprodukte in die Außenluft abgegeben werden. Wie aus *Abbildung 2* hervorgeht, findet man während der Heizperiode im Winter höhere Konzentrationen von Schwefeldioxyd als im Sommer. Erwartungsgemäß weisen auch die Industrie- und Geschäftsviertel höhere Schwefeldioxyd-Konzentrationen auf als die Wohnquartiere.

Auch dem Kohlenmonoxyd hat man bei den Analysen der Stadtluft immer große Beachtung geschenkt. Auf Grund bisheriger Erfahrungen nimmt man an, daß tägliche Konzentrationen, die 100 ppm (0,01%) nicht überschreiten, ohne Risiko eines chronischen Kohlenmonoxydschadens ertragen werden können,

Die bisherigen Messungen zeigten, daß Kohlenmonoxyd auf offener Landstraße nur in unbedeutenden Spuren vorkommt, daß es aber in verkehrsreichen von Häusern umgebenen Straßen im Durchschnitt in Konzentrationen von 20 bis 40 ppm (= 0,002 bis 0,004 %) auftritt. Auf Verkehrsinseln, auf Plätzen mit großem dauerndem Verkehr, sind je nach den herrschenden Windverhältnissen auch Werte gefunden worden, die die oben angegebene Sicherheitsgrenze deutlich überschreiten [11, 12, 13, 14, 15].

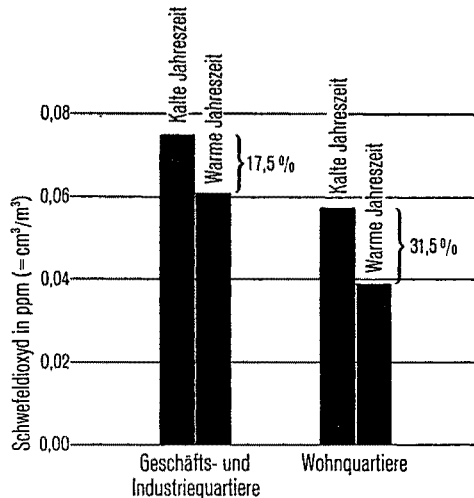


Abb. 2 Jahreszeitliche Unterschiede der Schwefeldioxydkonzentrationen in der Luft zweier Gebiete von Cincinnati. Nach J. Cholak [6]

Der Smog von Los Angeles

Ein besonders interessantes und aufschlußreiches Beispiel sind die Luftverunreinigungen von Los Angeles, die sich wegen den örtlichen klimatischen Verhältnissen zu einer eigenartigen Mischung von Nebel und Dunst verdichten. Diesen Luftverunreinigungen hat man den Namen «Los Angeles Smog» gegeben, der aus den Wörtern smoke und fog zusammengesetzt ist. Dieser Smog verursacht bei den Einwohnern sehr unangenehme Reizungen und Tränenfluß der Augen und gelegentlich auch stechende Schmerzen in den Atmungsorganen. Die Behörden haben deshalb in den letzten Jahren mehrere wissenschaftliche Studiengruppen mit der Erforschung der Zusammensetzung und der Wirkungen des Los Angeles Smog beauftragt. Dabei zeigte sich, daß neben dem Schwefeldioxyd vor allem Aldehyde, Ammoniak, Stickoxyde, Ozon und nicht verbrannte Kohlenwasserstoffe für die Augenreizungen verantwortlich seien. In Los Angeles scheint der überwiegende Anteil dieser Luftverunreinigungen durch die Abgase der Benzinmotoren bedingt zu sein. Beim Vergleich der Zahlen in Tabelle 4 fällt tatsächlich auf, daß die Konzentrationen

für Aldehyde und Schwefeldioxyd in Los Angeles höher sind als in andern Städten. Daß insbesondere die Aldehyde eine deutliche Abhängigkeit von der Verkehrsdichte aufweisen, geht aus der von *Cholak* [6] übernommenen *Abbildung 3* hervor.

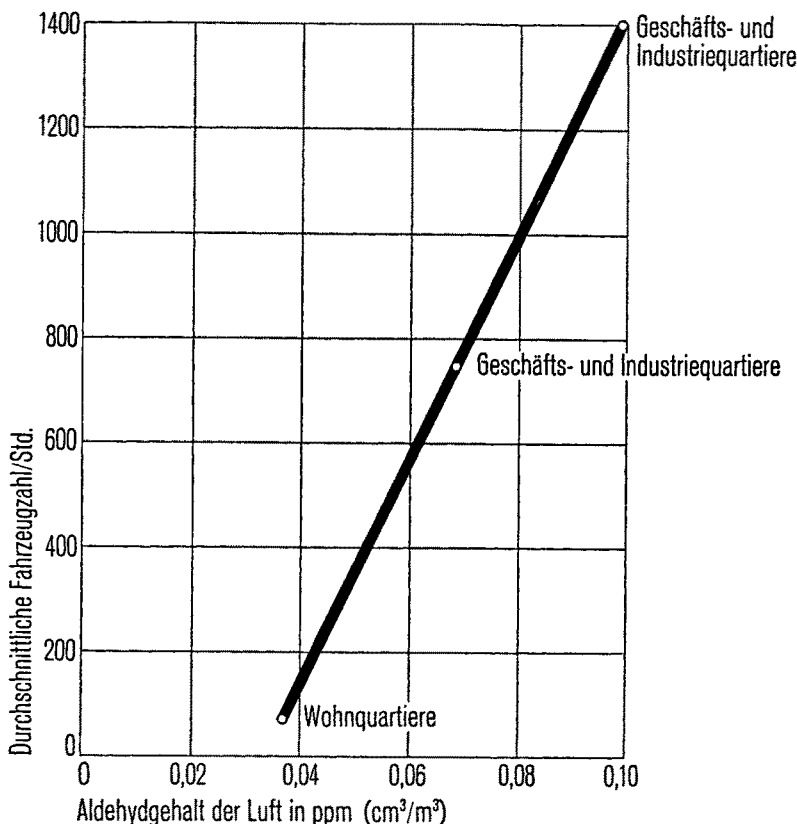


Abb. 3 Aldehydgehalt der Stadtluft von Cincinnati in Abhängigkeit der Verkehrsdichte und der Stadtgebiete. Nach J. Cholak [6]

In neuerer Zeit hat man auch der Anwesenheit von *Ozon* in der Luft größere Bedeutung beigemessen. So haben *Littman und Magill* [5] in Los Angeles Ozonkonzentrationen gemessen, die 0,5 ppm erreichten, und insbesondere beobachtet, daß die Ozonkonzentrationen immer zur Mittagszeit einen deutlichen Höhepunkt aufwiesen, was sie als Resultat einer photochemischen Reaktion interpretierten. Auch *Renzetti und Romanovsky* [28] fanden bei ihren Untersuchungen der Außenluft von Los Angeles zur Mittagszeit Werte um 0,2 ppm für Ozon und um 0,4 ppm für andere, nicht genau definierte Oxydationsstoffe.

Man vermutet heute, daß die Reizwirkungen des Los Angeles Smog auch durch Oxydationsprodukte von organischem Material, insbesondere von Koh-

lenwasserstoffen, verursacht werden. Wie neuere Messungen von *Cholak* [6] zeigen, schwanken die Ozonkonzentrationen in andern amerikanischen Städten zwischen 0 und 0,1 ppm; diese Werte liegen deutlich unter den Ozonkonzentrationen der Luft von Los Angeles. Der Autor stellte ferner fest, daß sich die Ozonkonzentrationen umgekehrt proportional zu den Konzentrationen von Schwefeldioxyd verhielten, und kam deshalb zum Schluß, daß Los Angeles möglicherweise ein Sonderfall sei, und daß jedenfalls in andern Städten weder dem Ozon noch andern Oxydationsstoffen eine besondere biologische Wirksamkeit beigemessen werden könne.

Die Nebelkatastrophen und die Ursachen der Gesundheitsschäden

In den letzten dreißig Jahren kam es mehrere Male zu ausgedehnten Gesundheitsschäden und Vergiftungen in ganzen Städten oder Landstrichen infolge besonders hoher Grade von Verunreinigungen der Außenluft. Dabei soll in der Regel eine Kaltluftmasse unter einer wärmeren Luftschicht abgeschlossen und zum Stillstand gekommen sein. Im Nebel dieser stagnierten Luftmassen häuften sich dann die verschiedenen Luftverunreinigungen an, wobei offensichtlich Konzentrationen erreicht wurden, die zu schweren Gesundheitsschäden führten. So kam es 1930 im Maastal zu einer derartigen Nebelkatastrophe, bei der 60 Menschen starben.

Besonders eingehend wurde die Nebelkatastrophe von Donora, USA, im Jahre 1948 durch eigens dafür eingesetzte Laboratorien mit Physiologen, Chemikern, Meteorologen und Pathologen untersucht [17]. Donora ist ein kleines Städtchen von rund 14 000 Einwohnern, mit mehreren Fabriken und Hochöfen. Rund 6000 Personen (42,7%) erkrankten in diesen Nebeltagen, vorwiegend an Reizerscheinungen in den Atemwegen leichter bis schwerster Art. Von diesen wurden 1440 Personen (10%) sehr stark betroffen und 20 Personen starben. Die allermeisten Erkrankungen traten am zweiten Tag des starken Nebels auf. Drei Todesfälle, die in jenen Tagen autopsiert wurden, zeigten akute pathologische Veränderungen in den Lungen mit Dilatation der Kapillaren, Hämorrhagien, Lungenödeme, purulente Bronchitis und Bronchiolitis. Bei 16 dieser Todesfälle sollen Erkrankungen der Kreislauf- und Atmungsorgane bereits vorbestanden haben.

Im Dezember 1952 kam es zu einer ähnlichen katastrophalen Situation in London, bei der ein starkes Ansteigen der Mortalität nahezu parallel mit dem Ansteigen der Verunreinigungen in der Außenluft beobachtet wurde. In *Abbildung 4* sind diese Zusammenhänge graphisch dargestellt. Wir sehen, daß der Rauchgehalt der Luft von ungefähr 0,4 auf über 1,5 mg/m³, und die Schwefeldioxydkonzentration von 0,2 auf nahezu 0,7 ppm stiegen; fast parallel dazu stieg die Zahl der Todesfälle von etwa 300 auf 900 an. Im ganzen sollen da-

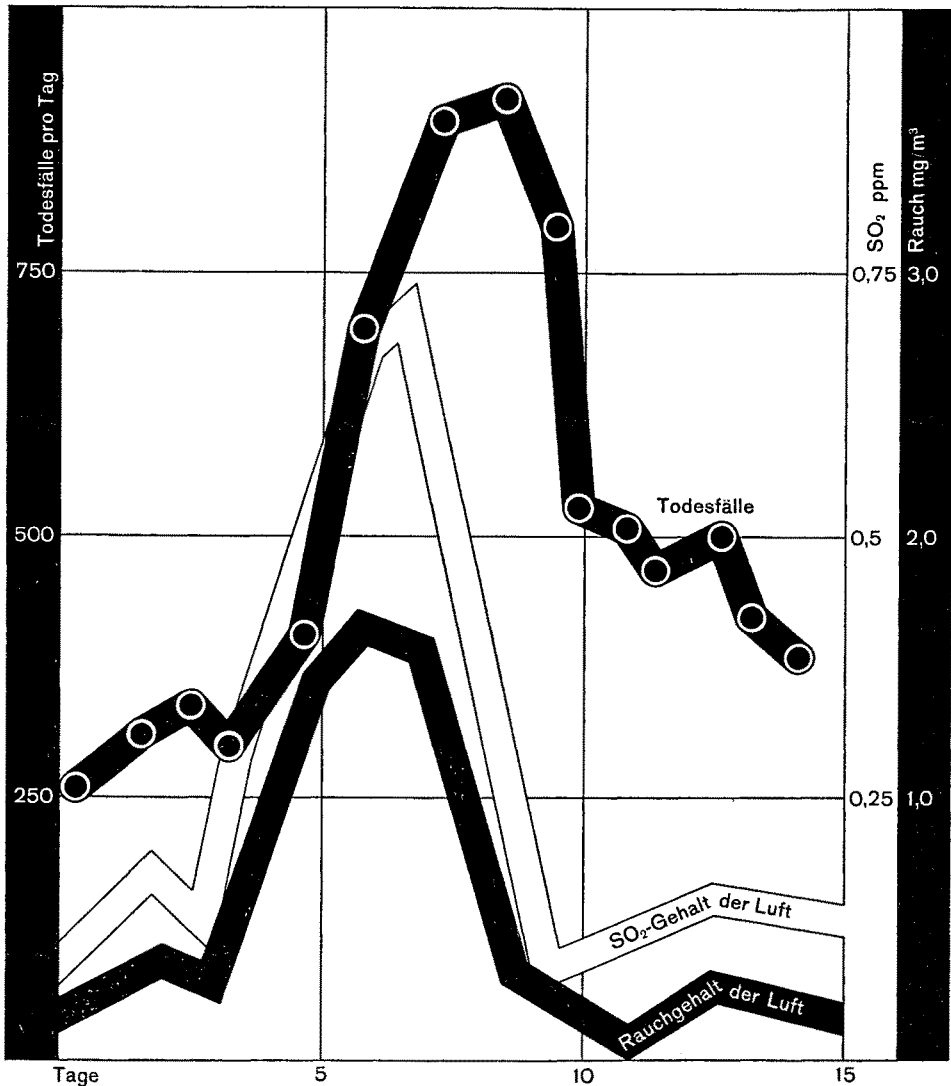


Abb. 4 Die Nebelkatastrophe in London im Dezember 1952, während welcher die Mortalität nahezu parallel mit den Verunreinigungen der Außenluft verlief

mals rund 4000 Personen mehr gestorben sein als normalerweise zu erwarten gewesen wäre.

In der dem Nebel folgenden Woche stiegen die Todesfälle infolge Bronchitis auf 872 an, gegenüber 121 in der dem Nebel vorangegangenen Woche, und diejenigen infolge Herz- und Kreislauferkrankungen auf 801 gegenüber 318. Die Todesfälle von Kindern unter einem Jahr waren in der Nebelperiode zweimal häufiger als üblich. Die Mortalitätsziffern während der Nebelkatastrophe

1952 wurden in der neueren Geschichte Londons nur während der Influenza 1918 und während der Choleraepidemie 1866 erreicht oder übertroffen.

Die im Anschluß an die Nebelkatastrophe von Donora durchgeführten chemischen Untersuchungen der Luft zeigten, daß in der Außenluft dieser Ortschaft unter anderem auch die als Reizstoffe bekannten Fluoride, Chloride, Stickstoffoxyde, Wasserstoffsulfid, Cadmiumoxyd und Schwefeldioxyd enthalten waren. Für keinen dieser Stoffe konnte jedoch eine Konzentration berechnet werden, die an und für sich für die pathologischen Wirkungen hätte verantwortlich gemacht werden können. Es wurde deshalb vermutet, daß die Summation der Wirkungen der einzelnen Reizstoffe die Erkrankungen der Atmungsorgane verursacht hatten. Dabei soll das Schwefeldioxyd zusammen mit festen Schwebstoffen eine ausschlaggebende Rolle gespielt haben.

Die Analysen der sedimentierten Luftverunreinigungen während des Londoner Nebels haben ergeben, daß 30 Gewichtsprozent der festen Rauchpartikel wasserlöslich waren und insbesondere SO_2 , Ammoniumchlorid und Calciumsulfat enthielten. *Hemeon* [18] glaubt, daß in erster Linie die in den festen Rauchpartikeln enthaltenen Ammoniumsulfate und Ammoniumchloride für die Reizwirkungen in den Atemwegen verantwortlich seien. Das Schwefeldioxydgas ist, nach seiner Ansicht, nur insofern von Bedeutung, als es durch Ammonium neutralisiert und in ein metallisches Salz umgewandelt werde.

Neuerdings ist von verschiedenen Autoren darauf hingewiesen worden, daß auch das organische Material Reizwirkungen in den Schleimhäuten verursachen könnte. Die Annahme findet eine gewisse Stütze durch neuere Untersuchungen im Gebiet von *Detroit* [19], aus denen hervorgeht, daß ein durch meteorologische Faktoren bedingter Anstieg von Luftverunreinigungen von einer bedeutend stärkeren Erhöhung der Konzentration an organischem Material als an anorganischem begleitet wird.

Die Wirkungen der Luftverunreinigungen auf den Menschen

Die Verunreinigungen der Stadtluft führen zu Belästigungen und gelegentlich sicherlich auch zu Gesundheitsschäden.

Unter Belästigung verstehen wir eine Störung des Menschen, die er mit Überlegung oder vorsätzlich bagatellisieren kann, so daß sie nicht notwendigerweise zu einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens führen muß. Nach der Definition der Weltgesundheitsorganisation ist die Gesundheit ein Zustand körperlichen und seelischen Wohlbefindens. Eine Beeinträchtigung oder ein Schaden der Gesundheit liegt somit vor, wenn das körperliche oder seelische Wohlbefinden gestört ist. Der Übergang von der subjektiven Belästigung zur Beeinträchtigung des Wohlbefindens, also zum Gesundheitsschaden, ist fließend und kann mit keinem objektiven Maß abgegrenzt werden. Wenn wir diesen Betrachtungen die Definition der Gesundheit zugrunde legen, müssen wir sagen,

daß die Verunreinigung der Außenluft nicht nur in den stark industrialisierten Gebieten, sondern auch in den meisten größeren Städten zu Beeinträchtigungen der Gesundheit führen können.

Aus der Literatur geht hervor, daß folgende Wirkungen auseinandergehalten werden können:

1. *Belästigungen durch Beeinträchtigung der Sicht und durch Gerüche.*
2. *Reizwirkungen auf die Schleimhäute der Augen und der Atmungsorgane, mit gelegentlichen Pneumonien.*
3. *Begünstigung der Entstehung von Lungenkrebs.*
4. *Akzidentelle Schäden und Vergiftungen durch besondere Noxen, wie zum Beispiel Blei, Fluor, Lösungsmittel, radioaktive Schwebstoffe usw., die durch grobe Fahrlässigkeiten oder Unglücke verursacht werden.*

In den letzten Jahren ist wiederholt die Frage geprüft worden, ob Bevölkerungen von Stadtbezirken mit hohen Luftverunreinigungen andere Morbiditätsziffern aufweisen als entsprechende Bevölkerungskollektive mit niedrigen Luftverunreinigungen. In einer solchen Untersuchung konnte *Heimann* [20] zeigen, daß von einem Gesamtkollektiv von 2670 Personen die Krankheitsfrequenzen für banale Erkältungen in einem Quartier mit hohen Luftverunreinigungen höher waren als in einem Quartier mit geringer Luftverunreinigung. Dabei sollen die Unterschiede weder auf sozialen Differenzen noch auf dem Alter, Beruf oder Geschlecht beruhen. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in *Abbildung 5* graphisch dargestellt.

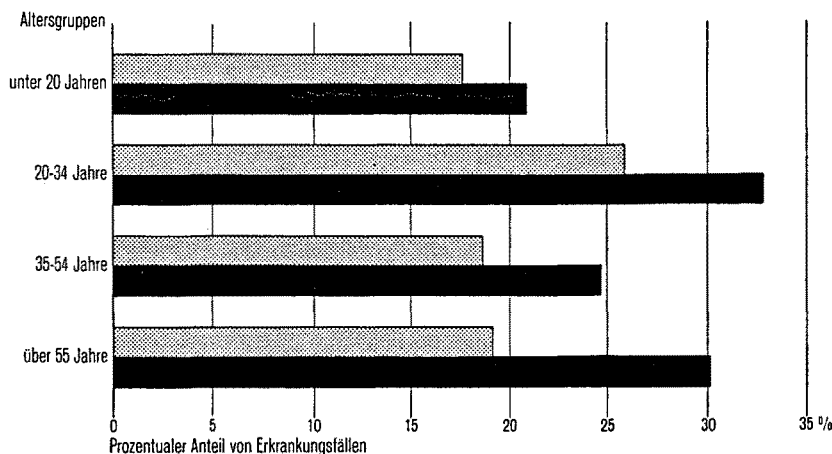


Abb. 5 Häufigkeit banaler Erkältungskrankheiten in Abhängigkeit der Luftverunreinigung. Die schwarzen Kolonnen entsprechen den Morbiditätsfrequenzen für ein Bevölkerungskollektiv, das in einem Quartier mit hoher Luftverunreinigung lebt, die gestreiften Kolonnen einem solchen mit niedriger Luftverunreinigung

Das englische Komitee für Luftverunreinigungen [1] hat Statistiken veröffentlicht, wonach die Mortalität für Bronchitis in England 20 bis 50 mal höher sei als in den skandinavischen Ländern Dänemark, Norwegen und Schweden. Eine andere Statistik ist in *Tabelle 5* wiedergegeben.

Tab. 5 Mortalität bezogen auf 100 000 Personen in England

Todesursache	Städte mit Bevölkerungen von			Land- bezirke
	100 000 und mehr	50 000 bis 100 000	weniger als 50 000	
Lungenentzündungen	47,90	39,22	35,75	31,55
Bronchitiden	61,56	53,82	48,77	36,94
Andere Erkrankungen der Atmungsorgane	11,19	9,71	10,60	9,66
Total	120,65	102,75	95,12	78,15

Diese statistischen Ergebnisse sind wohl kein endgültiger Beweis für den kausalen Zusammenhang zwischen Luftverunreinigung und Häufigkeit von Erkrankungen der Atmungswege; sie müssen vorläufig als ein schwer belastendes Indizium aufgefaßt werden.

Luftverunreinigungen und Krebs

Wir wissen, daß Bestandteile von Rohöl, Petrol und Teer (Benzpyrene und andere aromatische Kohlenwasserstoffe mit hohen Siedepunkten, und neuerdings auch aliphatische Kohlenwasserstoffe) sowohl beim Laboratoriumstier als auch beim Menschen Haut- und Lungenkrebs erzeugen können. Die bekannten Untersuchungen des englischen Gesundheitsdienstes [21] über die zunehmende Häufigkeit des Lungenkrebses haben ergeben, daß, außer den Rauchern, auch die Stadtbewohner eine signifikant höhere Frequenz an Lungenkrebsen aufweisen als die Landbevölkerung. Zu analogen Ergebnissen kamen amerikanische Statistiken [22], wobei unter anderem auch eine besondere Häufung von Lungenkrebsen bei Arbeitern, die Benzin- und Öldämpfen ausgesetzt sind, festgestellt wurde [23]. Neuerdings fanden *Kotin und seine Mitarbeiter* [24, 25] carcinogene Stoffe sowohl in den Auspuffgasen von Benzinmotoren als auch in den Verunreinigungen der Stadtluft von Los Angeles. Diese Ergebnisse sind von *Tebbens* [29] auch für die Abgase anderer Verbrennungsprozesse bestätigt worden. Wenn wir zwar auch noch nicht wissen, bei welchen Konzentrationen diese Stoffe karzinogen werden, so ist doch die Gesamtheit dieser Befunde als ernst zu bewerten. Sie stützen die Auffassung, daß die Zunahme des Lungenkrebses in den Stadtbevölkerungen in einem kausalen Zusammenhang mit der Zunahme der Luftverunreinigungen steht.

Die Wirkungen auf Pflanzen und Materialien

Die schädlichen Wirkungen der sedimentierten festen und flüssigen Luftverunreinigungen auf die Pflanzen und ihre Früchte sind wohlbekannt und bereits eingehend untersucht worden. Besondere Giftwirkungen sollen von den Fluor enthaltenden Luftverunreinigungen ausgehen, die im Innern der Pflanzen akkumuliert werden und zu schweren Schäden der Pflanzenzellen führen [26]. Daneben sollen aber auch das Schwefeldioxyd und das Schwefeltrioxyd wesentliche Noxen für die Vegetation darstellen. *Adams* [27] gibt am Schluß seiner umfassenden Übersichtsarbeit über die Wirkungen der Luftverunreinigungen auf die Pflanzen der Meinung Ausdruck, daß man anhand der Pflanzenschäden das Ausmaß und die besonderen Wirkungsweisen von Luftverunreinigungen messen und analysieren könnte. Nach seinen Untersuchungen soll der Los Angeles Smog nicht nur zu Schäden an den Blättern führen, sondern auch das Wachstum der Pflanzen beeinträchtigen.

In England [1] hat man den Versuch unternommen, die Kosten, die durch die Luftverunreinigungsschäden entstehen, zu berechnen. Dabei wurden die direkten Kosten von den Schäden, die durch die Herabsetzung der Produktivität entstehen, getrennt.

Zu den direkten Kosten müssen gezählt werden: der Mehraufwand für die Reinigung von Wäsche und für Haushaltsarbeiten, die Reinigungs- und Malerarbeiten an Häusern, die Korrosionen und Abnutzungen von Metallen und Baumaterialien, die notwendigen Schutzmaßnahmen gegen Korrosionen und andere Materialschäden, die zusätzliche Beleuchtung und die zusätzlichen Kosten für ärztliche Behandlung.

Die schädlichen Wirkungen der Luftverunreinigungen auf die Pflanzen, das Getreide, die Früchte und die Tiere bewirken eine Herabsetzung der Produktivität in der Landwirtschaft. Analog^e Auswirkungen müssen auf den Verkehr, den Tourismus und auf die individuelle Leistungsfähigkeit der arbeitenden Menschen angenommen werden. Die Kosten, die durch diese Schäden entstehen, werden für England auf jährlich 250 Mio Pfund veranschlagt. Dazu kommen zahlreiche andere Schäden und Werteinbußen, die sich nicht in Zahlen ausdrücken lassen.

Maßnahmen zur Bekämpfung der Luftverunreinigungen

Die Entwicklung und Einführung von wirksamen Rauch- und Staubabscheidungen bei den industriellen Verbrennungsprozessen sind heute die bekanntesten technischen Maßnahmen gegen die industriellen Luftverunreinigungen. In den meisten Ländern bestehen diesbezügliche Gesetzesvorschriften, die den höchstzulässigen Rauch- und Staubausswurf aus Fabrikkaminen vorschreiben. So wird beispielsweise in Frankreich ein höchstzulässiger Gesamtstaubausswurf von 300 kg/Stunde vorgeschrieben, wobei die Staubkonzen-

tration in der Kaminluft 1,5 g/m³ nicht überschreiten darf. England schreibt für die Flugasche eine höchstzulässige Konzentration von 0,9 g/m³ Kaminluft vor. Die holländische Gesetzgebung berücksichtigt in ihren Vorschriften sowohl die Kaminhöhe als auch die höchstzulässigen Staubkonzentrationen im Rauchgas.

In der modernen Literatur werden diese gesetzlichen Vorschriften stark kritisiert und von den meisten Autoren als unwirksam und überholt bewertet. Tatsächlich wissen wir, daß die Staubkonzentrationen in der freien Atmosphäre nicht so sehr von den Staubkonzentrationen in der Kaminluft als vielmehr von der totalen Auswurfmenge und von der Höhe des Kamins abhängt.

Das englische Komitee für Luftverunreinigungen [1] stellt sehr hohe Forderungen an den Gesetzgeber: es schlägt unter anderem vor, in den Städten rauchfreie Zonen und Zonen mit kontrollierter Rauchbildung festzulegen. In den rauchfreien Zonen sollten nur rauchfreie Brennstoffe gestattet, in den andern Zonen die Verwendung von Kohle begrenzt werden. Das Komitee schlägt außerdem vor, daß die Ausgaben für Installationen zur Verhütung von Luftverunreinigungen in angemessener Weise von den Steuern abgezogen werden dürften; für den Eisenbahnverkehr soll die Kohle durch Elektrizität oder Dieselöle ersetzt werden.

*

Die Gesamtheit der heutigen Kenntnisse über die Wirkung der Luftverunreinigungen zeigt uns, daß wir dieses Problem nicht mehr bagatellisieren dürfen. Wie der Mensch vor hundert Jahren die Fragen der Reinhaltung des Trinkwassers und der Versorgung der Abwässer lösen mußte, so werden wir in naher Zukunft für die Erhaltung einer reinen Luft und für die Ausscheidung der Verunreinigungen sorgen müssen. Die Auseinandersetzung mit diesen Problemen drängt sich auf, wenn wir unsere Gesundheit und die uns umgebende Vegetation vor Schäden bewahren wollen.

Zusammenfassung

Die Verunreinigung der Außenluft in Städten und größeren Ortschaften hat in den letzten Jahrzehnten immer größere Ausmaße angenommen, so daß sich Ärzte und Behörden der Auseinandersetzung mit den aufgeworfenen Problemen nicht mehr entziehen dürfen. Die vorliegende Arbeit gibt eine Übersicht über die auf diesem Gebiet durchgeführten Forschungen.

Nach einer kurzen Beschreibung der wichtigsten Methoden, die sich zur Messung der Außenluftverunreinigungen durch Staube, Gase und Dämpfe eignen, werden die Hauptquellen der Verunreinigung angegeben: die Rauchgase aus Fabrik- und Hauskaminen und die Auspuffgase der Automobile. In mehreren Tabellen und Abbildungen werden die wesentlichen Ergebnisse bisheriger Luftanalysen in amerikanischen und englischen Städten angegeben. Neben den Schwebstoffen kommt vor allem dem Schwefeldioxyd, den Aldehyden, dem Stickstoffdioxyd wesentliche Bedeutung zu, da ihre Summenwirkung für

die Reizerscheinungen und entzündlichen Erkrankungen der Schleimhäute der Augen und der Atemwege verantwortlich sein soll. Unter den zahlreichen in der Luft gefundenen Metallen ist das Blei von besonderem Interesse, dessen Konzentration in der Straßenluft direkt von der Verkehrsdichte abhängt.

Am meisten wurde bis dahin wohl nach dem Kohlenmonoxyd geforscht, das in verkehrsreichen Straßen Werte von 0,002 bis 0,004 Prozent erreichen kann. Besonders aktuell sind die neuerdings gemachten Beobachtungen über die Anwesenheit von karzinogenen Substanzen, die sowohl in den Auspuffgasen von Benzinmotoren als auch in den Verunreinigungen der Außenluft nachgewiesen worden sind.

Die Nebelkatastrophen von Donora (USA) und London sowie der spezifisch wirk-same Dunst von Los Angeles haben aufschlußreiche Ergebnisse über die Wirkungen der Luftverunreinigung auf den menschlichen Organismus gezeitigt. Unter diesen Wirkungen kann man auseinanderhalten: die Belästigungen durch Beeinträchtigung der Sicht und durch Gerüche, die Reizwirkungen auf Augen und Atmungsorgane mit gelegentlichen Pneumonien und die Begünstigung der Entstehung von Lungenkrebs.

Abschließend werden einige Bemerkungen über die materiellen Schäden infolge der Luftverunreinigung und über die wichtigsten Maßnahmen zu deren Bekämpfung gemacht.

Résumé

La pollution de l'air dans les villes est surtout due aux poussières, aux gaz et aux vapeurs émanant des cheminées d'usines et de maisons d'habitation, ainsi qu'aux gaz d'échappement des moteurs à explosion.

Le travail résume les résultats des recherches entreprises dans les villes anglaises et américaines sur la composition chimique des pollutions de l'air. A côté des poussières, ce sont avant tout l'oxyde de soufre, l'oxyde d'azote, les aldéhydes, le plomb, l'oxyde de carbone et les substances carcinogènes qui intéressent la médecine.

Certaines périodes de brouillard à Donora (USA) et à Londres, ainsi que la brume particulière de Los Angeles nous ont révélé que la pollution de l'air était susceptible de déclencher, outre divers désagréments, des irritations des yeux et des organes respiratoires, parfois suivies de pneumonies mortelles. Pendant ces périodes de brouillard, la mortalité de la population a excédé considérablement les valeurs des temps normaux.

La présence de substances carcinogènes dans les gaz d'échappement des moteurs ainsi que dans l'air des villes soulève le problème de l'étiologie du cancer pulmonaire chez les citoyens.

Pour terminer, l'auteur donne un aperçu sur les conséquences économiques dues aux dommages des constructions, du bétail et de la végétation.

Literatur

- [1] *Committee on Air Pollution: Report 1954.* London: H. M. Stationery Office 1955.
- [2] *Hartogensis F. et van Ebbenhorst Tengbergen H. J.:* L'activité actuelle aux Pays-Bas dans le contrôle de l'atmosphère des ateliers et des villes. *Revue universelle des Mines* 10/5 (1954).
- [3] *Trappenberg R.:* Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Staubverteilung einer Rauchfahne. *Staub* 40, 189-220 (1955).
- [4] *Cholak J., Schafer L. J. and Hoffer R. F.:* Collection and analysis of solids in urban atmospheres. *Arch. industr. Hyg.* 2, 443-453 (1950).
- [5] *Littman F. E. and Magill P. L.:* Some unique aspects of air pollution in Los Angeles. *Air Repair* (1953).

- [6] *Cholak J.*: The nature of atmospheric pollution in a number of industrial communities. Proc. 2nd National Air Pollution Symposium (1952).
- [7] *Liesegang W.*: Der Flugascheauswurf vom Standpunkt des Nachbarschutzes. Staub 31, 29-36 (1953).
- [8] *Bureau of Smoke Prevention, Pittsburgh Department of Public Health*: Report on stationary stacks (1950).
- [9] *Cholak J., Schafer L. J. and Hoffer R. F.*: Results of a five-year investigation of air pollution in Cincinnati. Arch. industr. Hyg. 6, 314-325 (1952).
- [10] *First M. W. and Drinker Ph.*: Concentrations of particulates found in air. Arch. industr. Hyg. 5, 387-388 (1952).
- [11] *Bartsch G.*: Untersuchungen über den Gehalt an Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffen und Kohlensäure in der Luft von Straßen, Autobussen, Garagen und Betrieben Dresdens. Hygienisches Institut der Technischen Hochschule Dresden (1931).
- [12] *Keeser E., Froboese V. und Turnau R.*: Toxikologie und Hygiene des Kraftfahrzeugwesens (Auspuffgase und Benzine). Berlin: Springer 1930.
- [13] *Sievers R. F., Edwards T. I. and Murray A. L.*: A medical study of men exposed to measured amounts of carbon monoxide in the Holland Tunnel for 13 years. Washington: U. S. Public Health Bulletin 278 (1942).
- [14] *von Ottingen W. F.*: Carbon monoxide: its hazards and the mechanisms of its action. Washington: U. S. Public Health Bulletin 290 (1944).
- [15] *Portheine F.*: Kohlenoxyd und Verkehr. Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg. 13, 253-261 (1954).
- [16] *Cholak J., Schafer L. J. and Yeager D. W.*: The concentration of ozone in the atmosphere of certain american cities. J. Air Pollution Control Ass. 5 (1956).
- [17] *Schrenk H. H., Heimann H., Clayton G. D., Gajfer W. M. and Wexler H.*: Air pollution in Donora, Pa. Washington: U. S. Public Health Bulletin 306 (1949).
- [18] *Hemeon W. C. L.*: The estimation of health hazards from air pollution. Arch. industr. Hlth. 13, 397-402 (1955).
- [19] Control of air contaminants. Publ. Hlth. Rep. (Wash.) 70, 194-198 (1955).
- [20] *Heimann H., Reindollar W. F., Brinton H. P. and Sitgreaves R.*: Health and air pollution. Arch. industr. Hyg. 3, 399-407 (1951).
- [21] *Stocks P.*: 13th Annual Report of the British Empire Cancer Campaign. London: Royal College of Surgeons (1946).
- [22] *Mills C. A. and Mills-Porter M.*: Health costs of urban air pollution. Occup. Med. 5, 614-633 (1948).
- [23] *Wynder E. L. and Graham E. A.*: Etiologic factors in bronchogenic carcinoma with special reference to industrial exposures. Arch. industr. Hyg. 4, 221-235 (1951).
- [24] *Kotin P., Falk H. L. and Thomas M.*: Aromatic hydrocarbons. Presence in the particulate phase of gasoline engine exhausts and the carcinogenicity of exhaust extracts. Arch. industr. Hyg. 9, 164-177 (1954).
- [25] *Kotin P., Falk H. L., Mader P. and Thomas M.*: Aromatic hydrocarbons. Presence in the Los Angeles atmosphere and the carcinogenicity of atmospheric extracts. Arch. industr. Hyg. 9, 153-163 (1954).
- [26] *Bursche E. M.*: Vegetationsschäden durch Fluor. In: Beiträge zur Außenlufthygiene, von O. Beyreis, A. Heller und E. M. Bursche. Stuttgart: Gustav Fischer 1955.
- [27] *Adams D. F.*: The effects of air pollution on plant life. Arch. industr. Hlth. 14, 229-242 (1956).
- [28] *Renzetti N. A. and Romanovsky J. C.*: A comparative study of oxidants and ozone in Los Angeles atmosphere. Arch. industr. Hlth. 14, 458-467 (1956).
- [29] *Tebbens B. D., Thomas J. F. and Mukai M.*: Aromatic hydrocarbon production related to incomplete combustion. Arch. industr. Hlth. 14, 413-425 (1956).