

## **Luftverunreinigung und Städtebau**

*Ernst Effenberger*

### *Zusammenfassung*

Die Ursachen der Luftverunreinigung in Städten sind industrielle Prozesse (Kessel- feuerung), Haushalt, Kleingewerbe und Verkehrsmittel. Maßnahmen zur Verminderung sind Bekämpfungsmaßnahmen am Entstehungsort (Verbesserung der Verbrennungsanlagen, Filter, Abgaswäsche u.a.) und die schnelle Verteilung und Verdünnung in der Luft, die durch städtebauliche Maßnahmen gefördert werden kann. In Frage kommen: Placierung industrieller Emittenten im Sektor mit der geringsten Windhäufigkeit und Abschirmung durch Grünanlagen, Steigerung des Belüftungseffektes einer Stadt durch sinnvolle Anlage der Straßenzüge, Förderung der aufgelockerten Bauweise, Mindesthöhen für die Schornsteine großer Emittenten, Ausbau sich nicht kreuzender Verkehrsstraßen, Umleitstraßen für den Durchgangsverkehr u.a.

### *Résumé*

Les causes de la pollution atmosphérique dans les villes sont les suivantes :

Procédés industriels (chaudières), ménages, artisanat et moyens de transport. Afin de diminuer la pollution, on prend des mesures à l'endroit où la pollution prend naissance (amélioration des installations de combustion, filtres, épuration des gaz d'échappement, etc.); en même temps, des mesures d'urbanisme visent à obtenir une diffusion et une dilution rapides de l'air.

Entrent en ligne de compte :

- disposer les émetteurs industriels dans des secteurs subissant peu les vents et abrités par des zones de verdure;
- accroître les effets d'« aération » par une disposition judicieuse des rues;
- espacer les immeubles;
- imposer des hauteurs minimum pour les cheminées des grands émetteurs;
- éviter les croisements des voies de circulation principales;
- dévier les voies de transit loin des grands centres, etc.

Luftverunreinigungen sind alle festen, flüssigen und gasförmigen Stoffe, die neben den normalen Bestandteilen Sauerstoff (21 Vol. %), Stickstoff (78 Vol. %), Edelgase (etwa 1 Vol. %) und Kohlendioxid (etwa 0,03 Vol. %) in der Luft vorkommen. In bestimmten Konzentrationen wirken diese Stoffe schädigend auf Mensch, Tier und Pflanze. Aber auch Sachwerte (Bauten, Metalle, Kautschuk, Textilien, Leder u.a.) können dadurch beschädigt oder zerstört werden.

## I. Entstehung von Luftverunreinigungen

Luftverunreinigungen können durch Vorgänge in der Natur oder technische Prozesse entstehen. Unter *natürlichen Vorgängen* sollen hier zum Beispiel Waldbrände, Vulkanausbrüche, Aufwirbelung und Verfrachtung mit Luftmassen von Staub, Pollen, Blütenstaub und Bakterien, Zufuhr kosmischen Staubes aus dem interplanetaren Raum, biologische Abbauprozesse und andere Vorgänge verstanden werden.

Zu den *technischen Prozessen* gehören die künstlichen Verbrennungsvorgänge zur Energiegewinnung (Kesselfeuerungen, Ofenheizungen und Kraftfahrzeugmotoren) und die industrielle Produktion (chemische Industrie, Metallindustrie, Bauindustrie u. a.). Für die Städtehygiene sind diese Prozesse von größter Bedeutung. Bei der vollständigen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe entstehen grundsätzlich Kohlendioxid und Wasserdampf. Bei der unvollständigen Verbrennung darüber hinaus noch Kohlenoxid und verschiedene Zwischenprodukte sowie unverbrannte Kohlenstoffreste. Kohle und Öl enthalten geringe Mengen von Schwefel, so daß bei der Verbrennung noch Schwefeloxide entstehen. Die unverbrennbaren Anteile der Brennstoffe bleiben z. T. in den Verbrennungsanlagen zurück oder gelangen als Flugasche in die Atmosphäre. Derartige Rückstände verursachen eine graue bis leicht weißliche Verfärbung der Rauchfahnen. Dagegen ist schwarzer Qualm immer ein Zeichen für eine unvollständige Verbrennung. Dies ist häufig beim Anheizen oder Beschießen bzw. bei unzureichender Kontrolle und Wartung der Verbrennungsanlage der Fall.

Die bei der Gewinnung von Kernenergie (Reaktoren) entstehenden Luftverunreinigungen sollen hier nicht betrachtet werden.

Die wichtigsten Ursachen für die Verunreinigung der Luft in den Städten sind die industrielle Energiequelle in Form der Großkesselfeuerungen, der Hausbrand und die Auspuffgase der Kraftfahrzeuge. Hierbei werden Kohle, Öl oder Produkte aus diesen Ausgangsstoffen verbrannt. Welches gewaltige Ausmaß diese Verbrennungsprozesse heute angenommen haben, geht aus der Abbildung 1 hervor. Als besonders starke Luftverunreiniger treten die Kohlenstaubfeuerungen und die veralteten Feuerungsanlagen in Erscheinung. Gelegentlich konnte man an derartigen Anlagen Staubausswürfe bis zu 3000 kg in der Stunde messen (*Kegel, 1957*).

Nach Berichten des Committees on Air Pollution in England stammen über 50% der Rauchgase und der größte Teil des sedimentierten Staubes von der Industrie und der Eisenbahn (*Grandjean, 1957*). In der Bundesrepublik Deutschland kann man wegen der großen örtlichen Unterschiede keine allgemeinen Angaben machen. In den Ballungszentren der Industrie produziert diese etwa 90% der Luftverunreinigungen, während in den meisten Großstädten mit Industrie etwa gleiche Anteile von der Industrie, dem Hausbrand und den Kraftfahr-

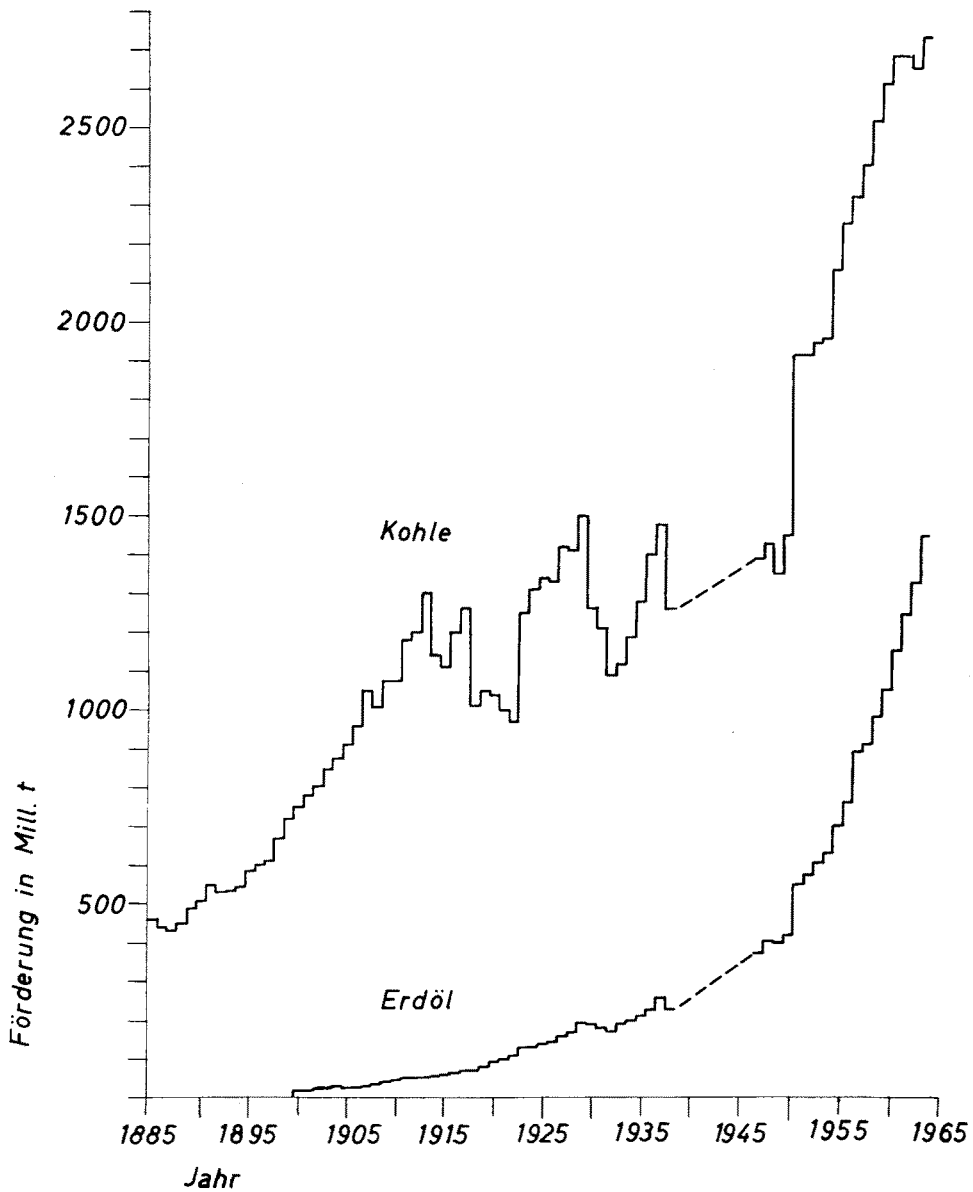


Abb. 1 Zunahme der Kohle- und Erdölförderung der Welt seit der Jahrhundertwende (Statistisches Jahrbuch des Deutschen Reiches bzw. der Bundesrepublik Deutschland)

zeugen und in den industriearmen Städten etwa 55% vom Hausbrand, 30–40% von den Kraftfahrzeugen und der Rest von 5–15% von der Industrie geliefert werden. In Hamburg sind zum Beispiel die Industrie mit schätzungsweise 45%, das Kleingewerbe und der Haushalt mit 22% und die Verkehrsmittel mit 33% an der Verunreinigung der Luft beteiligt.

Eine bedeutende Staub- und Abgasquelle sind ferner die Kokereien. Beim stoßartigen Löschen des heißen Kokes werden große Mengen von Partikelchen und Gasen in die Luft geschleudert. Beachtliche Luftverunreiniger findet man auch in der chemischen Industrie, zum Beispiel Betriebe der Schwefelsäureherstellung, der Stickstoff- und Düngemittelchemie, der Teerchemie und der Zellstoff- und Kunstfaser-Industrie. Die von der gesamten Industrie erzeugten Luftverunreinigungen nehmen ein breites Spektrum von festen und gasförmigen Stoffen ein. Neben stark belästigenden Geruchsstoffen findet man auch toxisch wirkende Substanzen. Die große Zahl dieser Stoffe wird je nach der Aufgabenteilung entweder nach der Art der Gesamtfabrikation eines Betriebes, nach der Art des Verfahrens oder nach der Art der Verunreinigung eingeteilt. Nach der Fabrikation ist die Einteilung sehr allgemein, zum Beispiel in Raffinerien, bestimmte chemische Fabriken, Hüttenwerke usw. Nach dem Verfahren wird eine arteigene Einteilung getroffen. Sie ist sinnvoll bei der Durchführung von Vergleichsverfahren und der Untersuchung über die Wirksamkeit von Reinigungsanlagen. Die größte Bedeutung hat aber die Einteilung nach der Art des Schmutzstoffes. Hier unterteilt man weiter nach dem Aggregatzustand bei den üblichen Außentemperaturen in feste, flüssige und gasförmige Stoffe. Oft ist es sinnvoll, darüber hinaus organische oder anorganische, toxisch wirkende oder unschädliche Bestandteile zu unterscheiden.

Erhebliche Mengen von Luftverunreinigungen werden durch den Straßenverkehr, die nichtelektrifizierte Eisenbahn, besonders auf den in Stadtgebieten liegenden Bahnhöfen, und in den Hafenstädten durch den Schiffsverkehr erzeugt. Durch die fortschreitende Elektrifizierung der Bahnstrecken treten die früher als Hauptstauberzeuger bekannten Bahnhöfe nicht mehr in Erscheinung. Auch die Modernisierung der Schiffe, insbesondere der Übergang zur Ölfeuerung bzw. zum Motorschiff, bedeutet eine erhebliche Verminderung der in diesem Bereich produzierten Luftverunreinigungen. Das große Sorgenkind bleibt somit der Straßenverkehr. Trotz anlaufender und geplanter Verbesserungsmaßnahmen muß damit gerechnet werden, daß der Straßenverkehr auch in den nächsten zwei Jahrzehnten noch eine sehr ernst zu nehmende Ursache von Luftverunreinigungen bleiben wird.

Bei den Kraftfahrzeugen haben wir es grundsätzlich mit zwei verschiedenen Motorentypen zu tun, dem vorwiegend für die leichteren Personenwagen verwendeten Otto-Motor und dem in erster Linie beim Lastkraftwagen zu findenden Dieselmotor. Die Auspuffgase dieser beiden Motortypen zeigen verschiedene Zusammensetzung. Während beim Otto-Motor das Kohlenoxid im Vordergrund steht, tritt es beim Dieselmotor stark in den Hintergrund. In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Bestandteile der Auspuffgase für diese beiden Motortypen zusammengestellt. Die Unterschiede sind bedingt durch den verschiedenen Treibstoff und durch unterschiedliche Arbeitsweise der Motoren.

Welche Bedeutung der Kraftfahrzeugverkehr in den letzten Jahrzehnten für

Abgasbestandteile	Otto-Motor		Dieselmotor	
	Leerlauf	normale Fahrt (50 km/Std.)	Leerlauf	normale Fahrt (50 km/Std.)
Kohlenoxid Vol. %	bis 14	5	Spuren	Spuren
Stickoxide ppm	bis 60	1600	60	240
Aldehyde ppm	bis 90	260	10	10
Kohlenwasserstoffe Vol. %	bis 0,53	0,10	0,4	0,01

Tabelle 1 Die wichtigsten Bestandteile der Auspuffgase von Otto- und Dieselmotoren im Leerlauf und bei normaler Fahrt (nach Effenberger, 1962)

die Verunreinigung der Luft erlangt hat, geht aus der Abbildung 2 hervor. Dar- gestellt ist die Zahl der Kraftfahrzeuge auf 100 000 Einwohner für die USA, Schweiz und Deutschland.

Durch die Kraftfahrzeuge wird außerdem Straßenstaub aufgewirbelt. Die Menge hängt vom Zustand der Straßendecke ab und ist naturgemäß bei nicht asphaltierten Straßen besonders groß. Hier können große Mengen von Sandstaub aufgewirbelt werden, der durch die Lüftungsanlage in das Fahrzeug eindringt und zu starken Belästigungen der Verkehrsteilnehmer führt. Durch die eintretende Sichtbehinderung steigt darüber hinaus die Unfallgefährdung. In der Bundesrepublik und der Schweiz sind nichtasphaltierte Straßen nur noch selten zu finden. Aber auch auf den Straßen mit Steinpflaster kann die Staubaufwirbelung noch recht beachtlich sein, da sich in den Fugen Sandstaub in größeren Mengen ablagern kann. Dies ist besonders bei nicht hinreichend gereinigten Straßendecken der Fall. Dagegen ist die Staubentwicklung bei den fugenlosen Asphalt- oder Betondecken stark vermindert. Ein gewisser Abrieb entsteht aber auch hier noch.

An manchen Orten kann die Aufwirbelung und der Herantransport von Staub aus der Umgebung eine Ursache von Staubbelästigungen sein. Dies ist der Fall, wenn in der näheren Umgebung einer Stadt unbebaute kahle Flächen oder Schutthalden, nicht ausreichend kontrollierte Müllabladepätze, Sandgruben oder größere Baupätze vorhanden sind. Bei entsprechenden Windstärken können hier beachtliche Staubmengen aufgewirbelt und über weite Strecken verfrachtet werden. Als Musterbeispiel kann immer wieder die Sedimentation von Saharastaub in Mittel- und Nordeuropa bei intensiven Warmluftadvektionen angeführt werden (*Effenberger*, 1955). In deutschen Städten, die durch den Bombenkrieg stark beschädigt wurden, konnte in den ersten Nachkriegsjahren der lokale Staubsturm häufig beobachtet werden. *Reifferscheid* (1950) hat im Sommer 1947 Untersuchungen in Frankfurt am Main hierüber angestellt. Zu diesem Zeitpunkt waren in Frankfurt noch kaum eine industrielle Tätigkeit und nur wenig Kraftfahrzeuge vorhanden, so daß neben den Bahnhofanlagen und

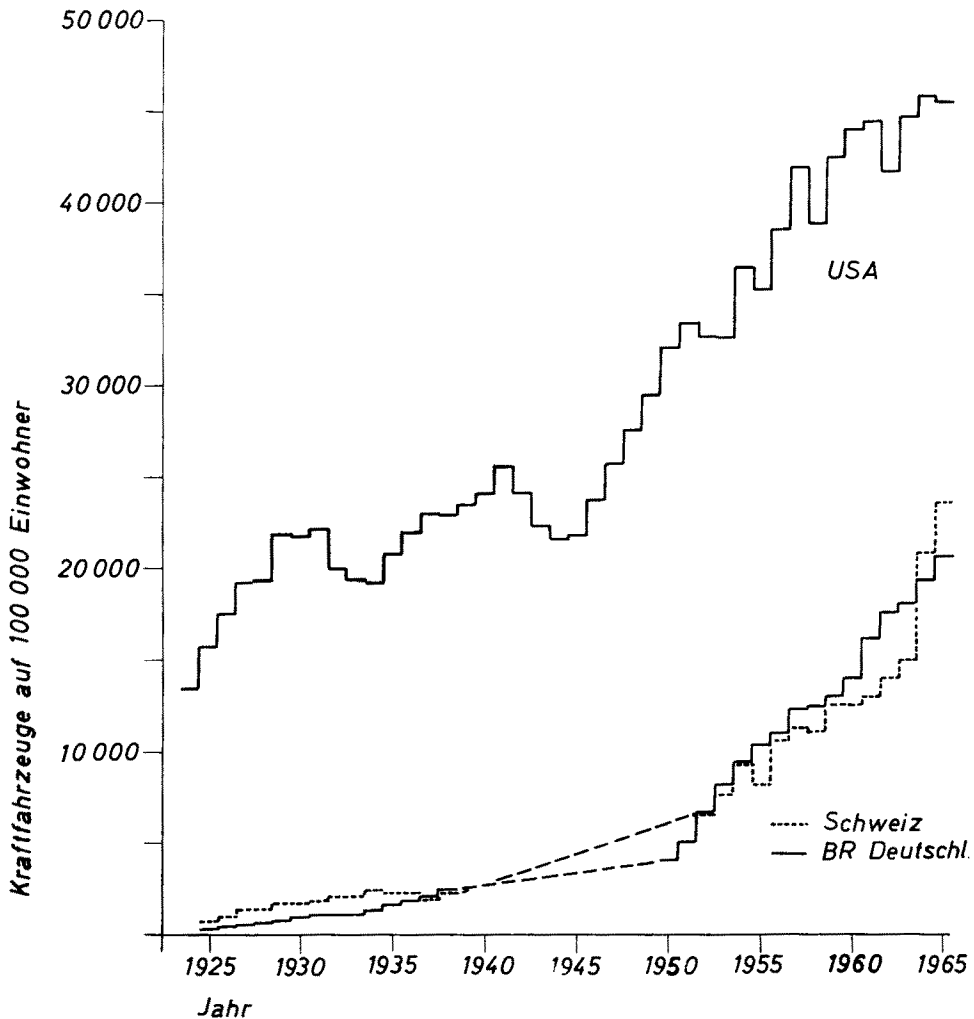


Abb. 2 Anstieg der Anzahl der gesamten Kraftfahrzeuge auf 100 000 Einwohner in den USA, der Schweiz und Deutschland seit 1924 (Statistisches Jahrbuch des Deutschen Reiches bzw. der Bundesrepublik Deutschland)

dem Straßenstaub die Trümmerflächen die Hauptquelle für die Verunreinigung der Luft durch Staub waren. Bei Windstärken über Beaufort 4 erfolgte bereits ein starker Anstieg des Staubgehaltes der Luft, und bei noch höheren Windstärken traten Sandstürme auf. Es sei betont, daß dieser Staub wegen des hohen Anteiles an Kieselsäure nicht ungefährlich war. Mangels Beobachtungen kann heute nicht angegeben werden, ob in dieser Zeit bei dem besonders exponierten Bevölkerungsteil spezifische Schädigungen gesetzt wurden.

Der Einzelofen für feste Brennstoffe steht beim Hausbrand an der Spitze der Produktion von Luftverunreinigungen. Häufig werden Braunkohlenbriketts

mit einem hohen Schwefelgehalt verheizt, so daß beachtliche Mengen von Schwefeloxiden und Schwefelwasserstoff entstehen. Die oft schlecht gewarteten Anlagen - zum Beispiel schlecht ziehende Schornsteine - führen zu einer unvollständigen Verbrennung der Kohle, so daß Kohlenoxid und Ruß gebildet werden. Die zunehmende Verwendung von Heizöl zur Einzelofen- und Zentralheizung bringt wohl eine Verminderung des Staubauswurfes, Schwefeloxide werden jedoch hierbei auch produziert.

Eine nicht zu vernachlässigende Ursache von Luftverunreinigungen können auch falsch angelegte und schlecht gewartete Müll- und Schuttablageplätze sein.

## II. Konzentration der wichtigsten Luftverunreinigungen

Für eine allgemeine Beurteilung der Verunreinigung der Luft wird man meistens mit Angaben über den Staubgehalt und den Schwefeldioxidgehalt auskommen. Nur in Sonderfällen wird man darüber hinaus, etwa bei der Beurteilung der Verunreinigung der Luft durch Kraftfahrzeuge, den Gehalt an Kohlenoxid, 3-4-Benzpyren oder anderer Stoffe angeben. Ein guter Indikator für die Verunreinigung der Luft ist auch die Zahl der Kondensationskerne. Mit den üblichen Kernzählern werden die Partikelgrößen von etwa  $5 \cdot 10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  cm erfaßt. Während in einer ländlichen Gegend nur etwa  $8-10 \cdot 10^3$  Kerne pro ml Luft gemessen werden, findet man in Städten 20-50 und in Groß- und Industriestädten  $100-200 \cdot 10^3$  Kerne pro ml Luft und mehr.

### 1. Staubgehalt der Luft

In der älteren deutschen Literatur findet man meistens Angaben über die Staubkonzentration der Luft auf Grund von Messungen mit dem Konimeter. Wenn diese Messungen auch nur Relativwerte liefern, so gestatten sie doch Vergleiche bei gleichartig angestellten Messungen. Insbesondere verdanken wir den Konimetermessungen von *Löbner* (1935), *Rötschke* (1937) u. a. die ersten eingehenden Untersuchungen über den Staubgehalt der Luft in Städten und über die Filterwirkung von Baumbepflanzungen. In ländlichen Gegenden wurden mit Konimetern 7-10, in mittleren, nur mäßig verschmutzten Städten bis 100 und in Industriestädten 200-300 Partikel pro ml Luft gemessen.

Heute mißt man die Staubkonzentration in der Luft mit Filtergeräten (*Effenberger*, 1966). *Katz* (1964) gibt als ungefähre Staubkonzentration für verhältnismäßig reine Luft unter 100, für stark verschmutzte Städte 500 und mehr und für Smog-Situationen über  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft an. *Symon* (1960) schlägt unter Berücksichtigung des Staubniederschlages die folgende Eingruppierung vor: Saubere Orte bis 150 (= 0,41), schwach verunreinigte Orte bis 300 (= 0,82), mäßig verunreinigte Orte bis 500 (= 1,37), stark verunreinigte Orte bis 1000 (= 2,74)

und sehr stark verunreinigte Orte über 1000 t/km<sup>2</sup> und Jahr (= 2,74 g/m<sup>2</sup> · Tag). In Deutschland wird zum überwiegenden Teil noch die Staubbiederschlagsmessung angestellt. Es sei gleich bemerkt, daß erhebliche Schwierigkeiten bei der Umrechnung der Meßwerte von Konzentrations- auf Niederschlagsmessungen bestehen. Es ist daher bei den folgenden Angaben keine Umrechnung vorgenommen, sondern die Originalangabe verwendet worden. Als durchschnittliche Verunreinigung mit Staub, die nicht überschritten werden soll, werden in den USA für Wohngebiete 0,15 und für Industriegebiete 0,25 mg/m<sup>3</sup> Luft angegeben. In der UdSSR werden für Wohngebiete als Durchschnittswert über 24 Stunden höchstens 0,15 mg/m<sup>3</sup> verlangt. Kurzzeitig können aber auch Konzentrationen bis zu 0,5 mg/m<sup>3</sup> zugelassen werden (*Kettner*, 1957). In der Bundesrepublik erarbeitet die VDI-Kommission «Reinhaltung der Luft» die maximalen Immissionskonzentrationen (MIK) für die wichtigsten Luftverunreinigungen (*Stephany*, 1965). Hinsichtlich des MIK-Wertes für die Staubkonzentration können zur Zeit noch keine Angaben gemacht werden, da die VDI-Richtlinie «Staubkonzentrationsmessungen» noch nicht fertiggestellt werden konnte. Man bezieht daher den MIK-Wert auf die Staubbiederschlagsmessungen. Nach der VDI-Richtlinie 2305 (Entwurf 1965) soll der Jahresmittelwert des Staubbiederschlags in einer nichtindustriellen Gegend 0,32 und in einem Industriegebiet 0,65 g/m<sup>2</sup> · Tag nicht überschreiten. Der Monatsmittelwert sollte im ersten Falle 0,50 und im Industriegebiet 1,00 g/m<sup>2</sup> · Tag nicht erreichen. Diese Angaben beziehen sich auf das Liesegang-Löbner-Gerät (VDI-Richtlinie 2119, Staubbiederschlagsmessungen). Die Werte können ohne Umrechnung nicht mit den weiter oben gemachten Vorschlägen von *Symon* verglichen werden, da letzterer ein anderes Staubbiederschlags-Meßgerät benutzt hat. *Liesegang* (1953) hatte als noch erträglichen Jahresmittelwert für den Staubbiederschlag 3 kg/100 m<sup>2</sup> · Monat, das entspricht 1 g/m<sup>2</sup> · Tag, vorgeschlagen.

## 2. Gehalt der Luft an Schwefeldioxid und anderen Gasen

In den letzten Jahren wurden an vielen Stellen in der Bundesrepublik Meßstellen zur Messung der Schwefeldioxidkonzentration der Luft eingerichtet. Besonders intensiv wurde dieses Arbeitsprogramm im Lande Nordrhein-Westfalen in Angriff genommen (*Stratmann* und *Buck*, 1966). Auf dem Überwachungsgebiet mit einer Größe von rund 5000 km<sup>2</sup> wurden 4799 Meßstellen errichtet. Pro km<sup>2</sup> fielen im Jahr 104 Einzelmessungen des SO<sub>2</sub>-Gehaltes der Luft an. Die große Anzahl der Meßergebnisse mußte einer elektronischen Datenverarbeitung unterzogen werden. Die Ergebnisse zeigen, daß zum Beispiel in Essen, Dortmund, Krefeld, Düsseldorf und Solingen an mehreren Meßstellen SO<sub>2</sub>-Maximalkonzentrationen um und über 1 mg/m<sup>3</sup> Luft auftreten. *Schwarz* (1961) konnte in der unmittelbaren Umgebung von niedrigen Immissionsquellen noch wesentlich höhere Werte messen.

Über den Kohlenoxidgehalt der Luft in Städten liegen zahlreiche Messungen vor (*Keeser* und Mitarbeiter [1930], *Effenberger* [1957], *Georgii* [1960], *Bäumler* und *Müller* [1961], *Gräfe* und *Peters* [1964] und andere). Hierbei wurden je nach Verkehrsfrequenz und Wetterlage Durchschnittswerte des Kohlenoxidgehaltes der Luft gemessen, die an 0,010 Vol.% heranreichen. Untersuchungen über andere Luftverunreinigungen wurden von Fall zu Fall an verschiedenen Orten vorgenommen. Zu erwähnen wären auch mehrere Untersuchungen über den 3-4-Benzpyren-Gehalt der Luft (*Waller* [1952], *Thomas* [1959], *Hettehe* [1964] und andere). Im Durchschnitt wurden Werte für die 3-4-Benzpyren-Konzentration um  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gefunden, jedoch liegen zahlreiche Messungen vor, die Spitzenwerte von über  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft ergaben. Großes Interesse wurde auch den Untersuchungen über den Bleistaubgehalt der Luft entgegengebracht. Nach den Untersuchungen von *Cholak* (1952) und *Jecklin* (1955 und 1956) sind in zahlreichen Städten weitere Untersuchungen über den Bleigehalt der Luft durchgeführt worden. Mit wenigen Ausnahmen liegen die Maximalwerte unter  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft. Auf die zahlreichen Meßergebnisse und die Bewertung dieser Ergebnisse kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden.

In der Tabelle 2 sind die MIK-Werte für besonders interessierende Gase, wie sie von der VDI-Kommission «Reinhaltung der Luft» erarbeitet wurden, zusammengestellt.

Gas	mg/m <sup>3</sup> Luft	mg/m <sup>3</sup> Luft
Schwefeldioxid	0,4	0,75 (nur 1mal ½ Std. in 2 Std.)
Nitrose Gase (berechnet als NO <sub>2</sub> )	1,0	2,0 (nur 1mal ½ Std. in 8 Std.)
Schwefel- wasserstoff	0,15	0,3 (nur 1mal ½ Std. in 8 Std.)
Chlor	0,3	0,6 (nur 1mal ½ Std. in 8 Std.)

Tabelle 2 Immissionsgrenzwerte für Gase nach der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 8. September 1964

### III. Auswirkungen der Luftverunreinigungen

Luftverunreinigungen können direkt schädigend auf Mensch, Tier, Pflanze und Sachwerte und indirekt schädigend über eine Verminderung der Strahlung wirken. In Gebieten mit starker Verunreinigung der Luft ist im allgemeinen die Sichtweite erheblich vermindert.

Die Auswirkungen einiger Reiz- und Geruchsstoffe und toxisch wirkender Substanzen werden häufig gesondert betrachtet. Dies ist zum Beispiel bei Kohlenoxid, Schwefelwasserstoff, Chlor und anderen Stoffen der Fall. Diese

Betrachtungsweise wird meistens nur in der unmittelbaren Umgebung bestimmter Betriebe, beim Studium der Auswirkungen des Kraftfahrzeugverkehrs, beim Studium der schädigenden Wirkung des Schwefeldioxids auf die Vegetation oder auf Bauten und Stahlkonstruktionen und bei ähnlich gelagerten Fällen ange stellt.

Von großem Interesse sind die unspezifischen Auswirkungen des Gesamtkomplexes «Luftverunreinigung» auf die Bevölkerung. Auch hierüber sind verschiedene Untersuchungen angestellt worden. Zu erwähnen wären die Arbeiten von *Faerber* und Mitarbeiter (1959), *Prindle* und *Landau* (1962), *Langmann* (1960 und 1962), *Burn* und *Pemberton* (1963), *Symon* (1960), *Symon* und Mitarbeiter (1960), *Ulmer* (1963) und anderer Autoren. Derartige Untersuchungen gestalten sich besonders schwierig, da es kaum möglich ist, die Bedingungen, die auf Grund einer sorgfältigen statistischen Versuchsplanung herausgeschält werden können, zu erfüllen. So ist es sehr schwierig, in dem nichtverunreinigten Vergleichsgebiet eine Bevölkerungsgruppe für die Untersuchungen auszuwählen, die hinsichtlich der sozialen Zusammensetzung, der Arbeitsgewohnheiten, der Ernährungsgepflogenheiten und vieler anderer Bedingungen mit dem eigentlichen Beobachtungskollektiv des starkverunreinigten Meßgebietes übereinstimmen. Die Untersuchungen von *Symon* und Mitarbeiter erfüllen einigermaßen diese Bedingungen. Die Untersuchungen wurden an Kindern durchgeführt. Sie ergaben u. a., daß bei den Kindern stark verunreinigter Industriegebiete Bindehautentzündungen zwanzigmal häufiger und die Erkrankungen der Luftwege um 20 bis 25% höher lagen als im nichtverunreinigten Vergleichsgebiet. Unterschiede ergaben sich noch hinsichtlich des Wachstums, des Hb-Gehaltes, des Färbeindex, des Albumin-Globulin-Quotienten und der Alkaliphosphatase. Einen deutlichen Unterschied zeigten auch die Röntgenbefunde. Ohne Befund waren im Industriegebiet nur 48%, im Vergleichsgebiet aber 78% der Kinder. Ausgeprägte Lungenzeichnungen wurden bei 25% der Kinder des Industriegebietes und nur bei 10% der Kinder des Vergleichsgebietes festgestellt. Im Industriegebiet waren bereits 20% der Kinder an einer Pneumonie erkrankt, in der Kindergruppe des Vergleichsgebietes war aber kein Fall bekannt geworden.

#### **IV. Maßnahmen zur Verminderung der Luftverunreinigungen**

Wie das Abwasser, so zeigt auch die Luft eine gewisse Selbstreinigung. Organische Stoffe werden oxidiert, wobei zum Beispiel unangenehm riechende Stoffe in geruchsfreie Verbindungen übergeführt werden können. Durch die Kondensation des Wasserdampfes an den Staubpartikelchen erhalten diese eine größere Sinkgeschwindigkeit und sedimentieren rascher. Auch der Effekt der Koagulation, also der Zusammenballung von Partikelchen, führt zu einer schnelleren Sedimentation und somit zur Selbstreinigung der Luft.

Die grundsätzlichen Möglichkeiten zur Verminderung der Luftverunreinigungen bestehen darin, Schadstoffe gleich am Entstehungsort zu konzentrieren und zu entfernen oder dafür zu sorgen, daß eine schnelle Verteilung und Verdünnung der Stoffe in der Atmosphäre erfolgt. Auf der ersten Möglichkeit sind sämtliche Reinigungsanlagen der Betriebe, die oft recht kostspielig sind, aufgebaut. Von der zweiten Möglichkeit macht man Gebrauch, indem man für besondere Produzenten von Luftverunreinigungen Mindestschornsteinhöhen vorschreibt. Dadurch gelangen die Schornsteinabgänge in eine Luftschicht mit höheren Austauschkoeffizienten und werden rasch auf einen größeren Raum verteilt. Auch einige städtebauliche Maßnahmen beruhen auf dem Effekt der schnellen Verdünnung und Verteilung und der späteren Selbstreinigung der Atmosphäre.

In der vorliegenden Arbeit kann nur zum Problem Stellung genommen werden, durch schnelle Verdünnung und Verteilung der Schadstoffe in der Atmosphäre die Verunreinigung der Luft in einem Stadtgebiet möglichst klein zu halten, wobei die städtebaulichen Maßnahmen besonders berücksichtigt werden sollen.

## **1. Maßnahmen zur Verminderung der Schadstoffe am Entstehungsort**

### *a) Verminderung der Luftverunreinigungen, die durch Heizungsanlagen (Hausbrand) entstehen*

Eine Kontrolle und Ausbesserung der bestehenden Heizungsanlagen, insbesondere der Einzelöfen für feste Brennstoffe, könnte bereits zu einer Verminderung der Luftverunreinigungen beitragen. Oft wird es möglich sein, schon durch einfache Maßnahmen einen schlechten Schornsteinzug zu verbessern. Die Verwendung schlacken- und schwefelarmer fester Brennstoffe anstelle der Braunkohle müßte gefördert werden. Der teilweise Übergang zu elektrischer Heizung, der allerdings in der Bundesrepublik Deutschland bei den hohen Strompreisen nur in beschränktem Umfange möglich sein wird, könnte eine weitere Verminderung der Luftverunreinigungen bringen. Auch die stärkere Förderung der Gasheizung, insbesondere des Gaseinzelofens, ist zu befürworten. Die Verbrennungsgase bestehen hier praktisch nur noch aus Stickstoff, Kohlendioxid und Wasserdampf. Beim Gaseinzelofen können die Abgase ohne Schornstein direkt durch die Wand des beheizten Raumes nach außen abgeleitet werden.

Eine erhebliche Verbesserung ist durch die Etagen- bzw. Zentralheizung zu erwarten. Die Statistiken der letzten Jahre zeigen, daß bei Neubauten der Trend in Richtung der Zentralheizungsanlage geht und Einzelöfen nur noch zu einem kleinen Prozentsatz erstellt werden. Derartige Anlagen können besser gewartet werden und liefern schon deshalb, da zur Heizung nur Koks oder Öl verwendet wird, wesentlich weniger Luftverunreinigungen als Einzelöfen gleicher Leistung.

Die Situation wird noch weiter verbessert, wenn die Anlagen mit Gas oder Strom geheizt werden. Zur Zeit ist der Anteil der offenbeheizten Wohnungen in der Bundesrepublik noch sehr hoch. Er betrug im Jahre 1956 90,2 und im Jahre 1960 noch 87,9<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Die beste Lösung im Sinne der Lufthygiene ist die Fernheizung. In mehreren Großstädten werden bereits heute ganze Stadtgebiete bzw. sogar Trabantenstädte durch Fernheizung versorgt. Die zentrale Verbrennungsanlage kann dabei nach den modernsten technischen Möglichkeiten und mit einem entsprechend hohen Schornstein erstellt werden. Im Jahre 1956 waren erst 0,2 und im Jahre 1960 etwa 0,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der Wohnungen in der Bundesrepublik an eine Fernheizungsanlage angeschlossen.

Nach *Kühn* (1963) ist die Fernheizung auch der einzige Ausweg aus einer kritischen Situation, die bei modernen Siedlungen mit unterschiedlicher Bauhöhe, also bei einem Wechsel von hohen und niedrigen Wohnhäusern, eingetreten ist. Die Bewohner der höher gelegenen Stockwerke werden durch die Schornsteinabgase der niedrigen Bauten belästigt. Das gleiche Problem tritt bei den Wohnungshochhäusern auf, auch dann, wenn sie von Siedlungen weiter entfernt sind. Schon *Löbner* (1935) konnte zeigen, daß sich in der vertikalen Staubverteilung in einer Großstadt ein Maximum des Staubgehaltes der Luft im Niveau der Schornsteine der Wohnhäuser zeigt.

*b) Verminderung der Luftverunreinigungen, die durch den Kraftwagenverkehr entstehen*

Zur Zeit laufen mehrere Forschungsarbeiten zur Verbesserung der Verbrennung in den Otto- und Dieselmotoren. Darüber hinaus ist, besonders bei den Ottomotoren, an eine katalytische Nachverbrennung gedacht, wodurch Kohlenoxid und andere Bestandteile der Auspuffgase noch weiter oxidiert werden sollen. Es ist bekannt, daß Nachlässigkeiten in der Wartung des Motors, zum Beispiel eine fehlerhafte Einstellung der Brennstoff- bzw. Luftzufuhr, ein starkes Ansteigen schädlicher Stoffe in den Auspuffgasen zur Folge haben. Es sollte daher eine wirkungsvolle Kontrolle der sich im Verkehr befindlichen Fahrzeuge vorgenommen werden. Fahrzeuge mit unzulässig hohen Konzentrationen von Kohlenoxid und anderen Bestandteilen in den Auspuffgasen sollten aus dem Verkehr gezogen werden. Derartige Kontrollen könnten in Form von sinnvoll geplanten Stichproben vorgenommen werden. Mit einfachen Methoden wäre es zum Beispiel möglich, rußende Dieselfahrzeuge zu erkennen und zu beanstanden.

Auch an städtebaulichen Maßnahmen kann hier noch vieles getan werden. Der Ausbau von Straßen zur Umleitung des Fernverkehrs wird nicht nur eine spürbare Entlastung des Straßennetzes einer Stadt, sondern auch eine erhebliche Verminderung der Luftverunreinigungen bringen. Der Flächenverkehr sollte möglichst in einen Linienverkehr umgewandelt werden (*Kühn*, 1963). Der Verkehr würde sich dann nur in einzelnen Verkehrsbändern abwickeln, zwischen

denen verkehrsfreie Flächen liegen. Der reibungslose Verkehr in Form grüner Wellen ist unbedingt anzustreben. Hierdurch wird das häufige Anhalten und Wiederanfahren vermieden, das bei allen Fahrzeugen einen Anstieg der nicht gewünschten Stoffe in den Auspuffgasen zur Folge hat. Dies erfordert aber den Ausbau eines sich nicht kreuzenden Straßennetzes. Die Verkehrsstraßen sollten grundsätzlich fugenloses Pflaster haben. Die aufgelockerte Bauweise, verbunden mit dem Dazwischenschalten kleiner Grünanlagen, auch wenn es nur einzelne Bäume sind, wird die Situation gegenüber der Reihenbauweise wesentlich verbessern. Bei Neuplanungen und Sanierungen von Städten sollten nur entsprechend breite Straßen mit Baumbepflanzung vorgesehen werden. Damit wird man sowohl der Bekämpfung der Luftverunreinigungen als auch der Lärmbekämpfung entgegenkommen. Eine Trennung der Verkehrswege in Auto-, Fuß- und Radwege sollte unbedingt vorgenommen werden. Sinnvoll wäre auch eine räumliche Trennung des Last- und Personenkraftwagen-Verkehrs. Die Verkehrserschließung der neuen Wohnsiedlungen sollte so erfolgen, daß von den befahrbaren Straßen aus die Wohnblocks nur durch unbefahrene Wege zu erreichen sind. Auch damit würde man nicht nur eine wesentliche Verbesserung der lufthygienischen Situation, sondern auch eine wirksame Verminderung des Verkehrslärms erreichen.

Eine wirksame Maßnahme zur Verminderung der Luftverunreinigungen durch Kraftfahrzeuge wäre auch der weitgehende Ersatz der herkömmlichen Fahrzeuge durch Elektrofahrzeuge im Stadtverkehr. Sowohl in England (*Godard*, 1966) als auch in der Bundesrepublik Deutschland (*Wilke*, 1966) sind vielversprechende Entwicklungsarbeiten zur Erreichung dieses Zieles im Gange. In England wird die Milchzustellung bereits heute zu 75% mit Elektrofahrzeugen durchgeführt. Nach *Wilke* (1966) werden zurzeit schon Akubusse mit 50 Plätzen, einer maximalen Geschwindigkeit von 75 km/Std. und einer Reichweite von 100 km entwickelt.

### *c) Verminderung der Emission durch Maßnahmen des Betriebes*

Auf diese speziellen Fragen kann hier nicht eingegangen werden. Durch Filteranlagen, Abgas-Waschanlagen, Rückgewinnungsanlagen und durch die Entschwefelung der Brennstoffe können heute die Schadstoffe in den Schornsteinabgängen stark reduziert werden. Forschungsarbeiten zur weiteren Verbesserung derartiger Anlagen sind im Gange.

## **2. Verteilung und Verdünnung der Luftverunreinigungen in der Atmosphäre**

### *a) Städtebauliche Maßnahmen*

Trotz häufigem Windrichtungswechsel zeigt im Durchschnitt eines Jahres jeder Ort eine bestimmte Windrichtung, die häufiger als andere vertreten ist. Diese

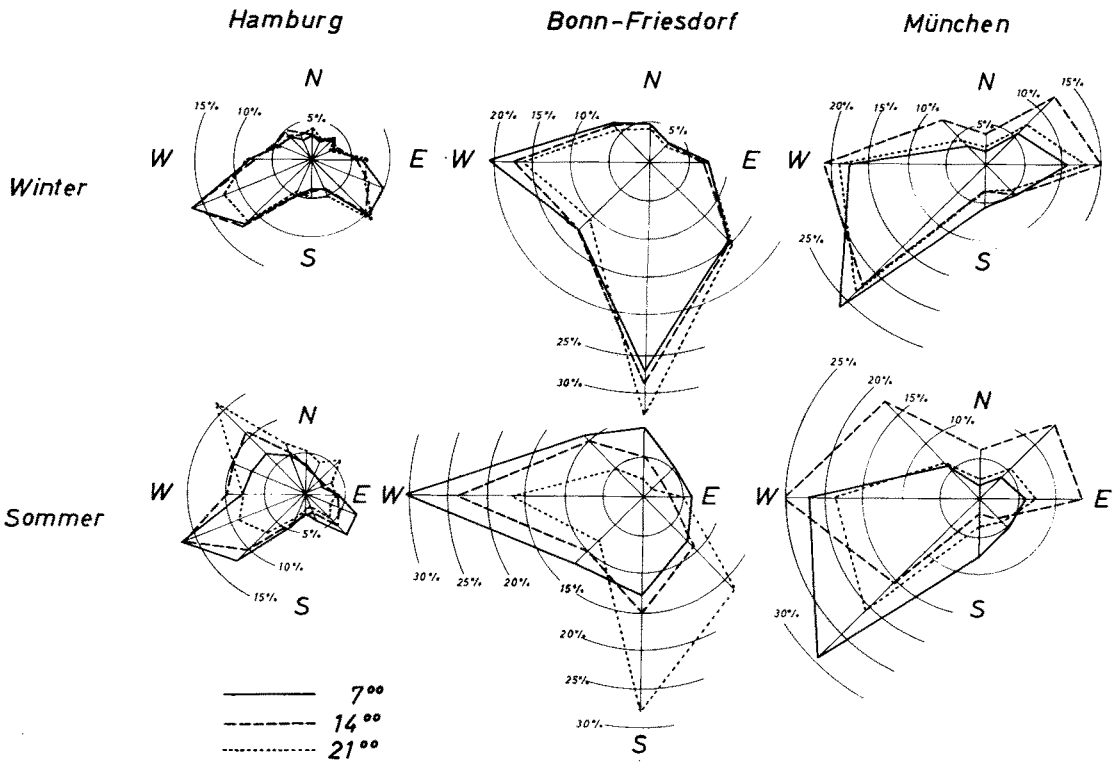


Abb. 3 Windrosen für die Städte Hamburg, Bonn und München

Tatsache muß bei einer modernen Städteplanung berücksichtigt werden. Wie groß die Unterschiede der Häufigkeit einzelner Windrichtungen sind, geht aus der Abbildung 3 hervor. Dargestellt sind hier Windrosen für die Städte Hamburg, Bonn und München.

Für die Luftströmung bedeutet eine Stadt ein erhebliches Hindernis. Der Wind wird nicht nur abgebremst, sondern auch umgelenkt. Je nach der Lage der einzelnen Straßenzüge kann er belüften, das heißt im Sinne einer Verringerung der Luftverunreinigungen oder durch Staueffekte auch im ungünstigen Sinne wirken, das heißt eine Zunahme der Luftverunreinigungen verursachen. Es ist daher sinnvoll, Überlegungen anzustellen, welche bevorzugte Straßenrichtung einzuplanen ist, damit ein optimaler Belüftungseffekt erreicht wird. Hierbei wird man in erster Linie die Jahreszeit mit dem stärksten Anfall an Luftverunreinigungen, also den Winter, berücksichtigen müssen. Zur Abschätzung des Ventilationsgrades kann man nicht allein die Häufigkeit der Windrichtung betrachten, sondern muß das Produkt Häufigkeit mal Windgeschwindigkeit heranziehen. Windgeschwindigkeiten unter 2 m/sec. wird man in den meisten Fällen vernachlässigen können. Bei der Sanierung von Städten und auch bei Neuplanungen wird heute leider noch nicht in ausreichendem Maße die Kom-

ponente «Selbstlüftung» berücksichtigt. Schon im alten Babylon waren die Hauptstraßen so angeordnet, daß die erfrischenden Winde aus dem Zweistromland und von den Bergen Zutritt hatten, hingegen eine Abschirmung gegen die unangenehmen Wüstenwinde vorhanden war (*Kühn*, 1963). Für eine Stadt der Gegenwart schlägt *Kühn* kammartig angeordnete, schmale und dichtbebaute Stadtgebiete mit breiten Grünzonen vor, die auf einen langgestreckten Mittelbereich stoßen. Dadurch entsteht eine große Berührungsfläche zwischen Stadt und umgebender Landschaft, und die schmalen, langgestreckten Stadtteile werden gut durchlüftet.

Bei der Sanierung und Neuplanung von Städten würden Strömungsversuche an Stadtmodellen im Windkanal wichtige Hinweise geben.

Durch das Temperaturgefälle zwischen Stadt und Umgebung kommt es zeitweise zur Ausbildung von Flurwinden. Diese Luftbewegungen werden erst von einer wetterbedingten Mindestwindgeschwindigkeit an unterbrochen oder verändert. In einem hügeligen Stadtgelände kann hierdurch ein recht kompliziertes Strömungsbild entstehen und die Verteilung der Luftverunreinigungen empfindlich gestört werden. Man kann daher hierzu keine allgemeinen Regeln angeben, sondern wird von Fall zu Fall die einzelnen Strömungskomponenten gegeneinander abschätzen müssen.

### **Der Einfluß von Baumgruppen und Grünflächen auf die Luftverunreinigungen**

Nach *Diem* (1951) bilden Laub- und Nadelbäume pro Quadratmeter Boden eine Filterfläche von 5 bis 8 m<sup>2</sup>, die je nach Baumbestand bis 15 m hoch reichen kann. Während des Sommers werden zwischen Laub- und Nadelbäumen kaum Unterschiede in der Filterwirkung bestehen. Durch die Verminderung der Windgeschwindigkeit infolge der Bremswirkung und die Änderung der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit der Luft in der Baumgruppe sinkt der Austauschkoeffizient sehr stark ab. Dadurch verstärkt sich die Sedimentation der korpuskulären Verunreinigungen, und der Reinigungseffekt steigt an. Baumbestände sind somit die einfachste Maßnahme zur Reinigung der Atmosphäre. Der Wirkungsgrad dieses Reinigungseffektes hängt von der Windrichtung ab und ist am stärksten bei senkrechtem Anblasen des Baumbestandes. Schutzstreifen sollten daher so angebracht sein, daß sie senkrecht zur häufigsten Windrichtung stehen. Auch Büsche und Gräser wirken in der gleichen Art reinigend auf die Atmosphäre. Nach *Herbst* (zit. nach *Kühn*, 1963) haben Grünflächen eine starke Filterwirkung auf radioaktive Aerosole. Schon durch einzelne Bäume und Gräser wird die Gesamtradioaktivität der Luft auf 20–25% reduziert.

Von der Filterwirkung und der Erholungskomponente der Baumbestände und Grünflächen auf den Menschen sollte beim Städtebau reichlich Gebrauch gemacht werden. Grundsätzlich sollte jeder größere Emittent, Verkehrswege und Eisenbahnanlagen, durch einen Grüngürtel abgeschirmt werden. Aber auch die

eigentlichen Wohngebiete sollten unter Einbeziehung von Grünflächen aufgelockert werden.

### *Die Standortwahl eines Betriebes oder eines Industriegebietes einer Stadt*

Bei der Standortwahl sind mehrere Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Wenn auch in der Praxis jedes Problem anders geartet ist, so kann man doch gewisse Grundsätze aufstellen. Die nachfolgende Aufzählung soll dabei nicht eine Rangordnung bedeuten.

Die Wasserversorgung eines Betriebes: Oft werden dabei bestimmte Anforderungen hinsichtlich Güte und Ergiebigkeit an ein Grundwasservorkommen gestellt.

Der Vorfluter: Viele Betriebe sind an das Vorhandensein eines hinreichend leistungsfähigen Vorfluters gebunden. Lange Abwasserkanäle verteuern ein geplantes Projekt ganz erheblich.

Der Verkehrsanschluß: Bei Anfall größerer Transportleistungen müssen Anschlußgleise oder entsprechend ausgebaute Straßen vorhanden sein. Heute scheint dieser Punkt bei modernen Industrieanlagen gelegentlich untergeordneter Bedeutung zu sein, zumal nach *Scheffer* (1966) in Österreich oft Betriebe mitten auf Feldern und Wiesen entstehen, wobei der Vorteil guter und billiger Arbeitskräfte, die aus der ländlichen Bevölkerung zur Verfügung stehen, wahrgenommen wird. In derartigen Gebieten ist außerdem die Grundbelastung hinsichtlich der Verunreinigung der Luft noch klein, so daß meistens auf die Erstellung aufwendiger Reinigungsanlagen verzichtet werden kann.

Standort in der Nähe des Rohstoffvorkommens: Manche Betriebe wird man möglichst in unmittelbare Nähe eines Rohstoffvorkommens legen, da sonst die hohen Transportkosten des Rohstoffes (Gestein, Kies, Sand, Öl, Kohle und andere Stoffe) das Endprodukt zu sehr verteuern würden.

Besondere Berücksichtigung der lufthygienischen Anforderungen in einem Gebiete.

Aus dieser Aufzählung der wichtigsten Bedingungen für die Standortwahl geht schon hervor, daß ein Unternehmen, wenn es dazu nicht besonders aufgefordert wird, von sich aus kein Interesse zeigen wird, erschwerende Bedingungen hinsichtlich der lufthygienischen Anforderungen in Kauf zu nehmen.

Um den Effekt des Verdünnens und Verteilens von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre zu fördern, hat man gelegentlich vorgeschlagen, die Emittenten auseinanderzuziehen bzw. ein Industriegebiet zu dezentralisieren (*Taylor* und *Mitarbeiter*, 1964). Das bedeutet, daß in die Wohngebiete kleinere oder größere Industriebetriebe eingelagert werden. Diese Maßnahme ist nicht im Sinne einer schönen und lärmfreien Stadt. Besser scheint die Lösung zu sein, wie sie zum Beispiel in der Bundesrepublik schon seit langer Zeit angestrebt wird, daß Betriebe, die Luftverunreinigungen oder Lärm emittieren, in sogenannte §-16-Ge-

biere der Gewerbeordnung (*Stephany* und *Oels*, 1960) zusammengefaßt werden. Die häufigste Windrichtung eines Ortes wird meistens die Lage eines Industrieviertels in der Stadt bestimmen. Ein Industriegebiet sollte, wenn nicht andere Gründe, wie zum Beispiel eine Mulden- oder Tallage, dagegen sprechen, vom Zentrum der Stadt aus gesehen in Richtung der kleinsten Windhäufigkeiten liegen.

Das Industriegebiet sollte auf jeden Fall durch einen entsprechend breiten und hinreichend dicht bepflanzten Grüngürtel von dem übrigen Stadtgebiet getrennt sein. Ferner kann es nur von Vorteil sein, wenn darüber hinaus das Industriegebiet noch durch dazwischen gelagerte Grünflächen aufgelockert wird.

Es ist bekannt, daß durch topographische Gegebenheiten eines Ortes die Luftströmung stark beeinflußt werden kann. Gebirgsketten und auch kleinere Erhebungen lenken die Abgasfahnen oft um, zum Beispiel in Täler, Pässe oder Mulden. Wenn dazu noch eine örtliche Windkomponente in Richtung eines bebauten Tales besteht, wird dieser Abschnitt besonders häufig durch Luftverunreinigungen belastigt werden. An solchen Stellen sollte man daher einen Industriebetrieb möglichst nicht ansiedeln (*Taylor* und Mitarbeiter, 1964). In kleinen Niederungen oder entlang von Flußläufen ist oft eine große Häufigkeit von tiefliegenden Inversionen (Nebelfelder) zu beobachten. Ein derartiges Gebiet wäre keinesfalls als Standort für einen Industriebetrieb geeignet.

Aus diesen Bemerkungen geht hervor, daß für die sorgfältige Auswahl eines Standortes für einen Industriebetrieb nach lufthygienischen Gesichtspunkten eine eingehende Kenntnis der klimatologischen Daten unter besonderer Berücksichtigung der lokalen Windverhältnisse und der Inversionshäufigkeiten vorliegen muß. Zur Erstellung dieser Daten werden oft die Registrierungen der nächstgelegenen meteorologischen Station nicht ausreichen. In den meisten Fällen wird es daher erforderlich sein, an Ort und Stelle längere Untersuchungen, die sich mindestens über ein Jahr erstrecken müssen, anzustellen.

#### *b) Beeinflussung der Verteilung von Luftverunreinigungen durch die Schornsteinhöhe*

##### *Die Ausbreitung der Luftverunreinigungen*

Die von Industrieanlagen oder den Kaminen der Wohn- und Geschäftshäuser ausgeworfenen Luftverunreinigungen breiten sich je nach den atmosphärischen Bedingungen verschieden schnell aus. Hierbei können Gase und kleine Partikelchen über weite Strecken verfrachtet werden. Nur die größeren Staubpartikelchen mit Durchmessern über 50 bis 100  $\mu$  werden in der nächsten Umgebung des Produzenten ausfallen.

*W. Schmidt* (1925) hat in einer grundlegenden Arbeit dieses Problem eingehend behandelt und führte auch die ersten Untersuchungen über Staubwolken

in der Atmosphäre und ihre Ablagerung durch. Er bezeichnete die physikalische Ursache für den Transport der Luftverunreinigungen als Massenaustausch und definierte den Austauschkoeffizienten. *Sutton* (1947) erweiterte die theoretischen Grundlagen der Austauschrechnung. Inzwischen sind zahlreiche Arbeiten zu diesem Thema erschienen (*Holland* [1953], *Stümke* [1961], *Wippermann* und *Klug* [1962], *Pasquill* [1962], *Wippermann* [1963] und andere) und das Austauschproblem ist ein Spezialgebiet der Meteorologie geworden.

#### *Berechnung der Schornsteinhöhe*

Auch die VDI-Kommission «Reinhaltung der Luft» hat sich in der Bundesrepublik frühzeitig des Austauschproblems angenommen und die VDI-Richtlinie 2289, Schornsteinhöhen in ebenem, unbebautem Gelände, herausgegeben. Die Aufgabe war, ein für den Bereich der Bundesrepublik gültiges einheitliches Bestimmungsverfahren zu ermitteln. Die Aufgabe der Austauschrechnung ist, die erforderliche Mindesthöhe eines Schornsteines zu errechnen, damit in Bodennähe unzulässige hohe Gas- oder Staubkonzentrationen vermieden werden. Die Behandlung der Materie ist mathematisch überaus schwierig und konnte nur unter vereinfachenden Annahmen (idealisierte Ausbreitungsverhältnisse) gelöst werden. Die vereinfachenden Annahmen sind: 1. Der emittierte Stoff soll gasförmig sein oder aus Staubpartikelchen unter  $10\mu$ Größe bestehen. In diesem Falle kann die Sinkgeschwindigkeit vernachlässigt werden. 2. Das emittierte Gas darf sich während der Ausbreitung nicht physikalisch oder chemisch verändern. 3. Es wird eine kontinuierliche Emission hinsichtlich der gesamten Abgasmenge des Schadgases vorausgesetzt, und die Abgastemperatur soll zeitlich konstant bleiben. 4. Das Ausbreitungsgelände soll eben sein und darf keinen stärkeren Bewuchs aufweisen. Die Ausbreitzzone einer Luftverunreinigung hängt von den Emissionsverhältnissen und den meteorologischen Gegebenheiten ab, die durch die mittlere Windgeschwindigkeit und einen Parameter für die Turbulenz gekennzeichnet sind.

Die Berechnung der Schornsteinhöhe erfolgt mit Hilfe eines Nomogramms. Die erforderliche Schornsteinhöhe muß die Bedingung erfüllen, daß die Bodenkonzentrationen unterhalb des höchstzulässigen Wertes bleiben.

Durch die vereinfachenden Annahmen ist die Anwendungsmöglichkeit dieses Nomogramms eingeschränkt, und die ermittelten Schornsteinhöhen können nur als Anhalt betrachtet werden. Unter Umständen sind Korrekturen erforderlich, die die tatsächlichen Ausbreitungsverhältnisse besser berücksichtigen. Darüber hinaus liegen zur Zeit noch zu wenig Messungen für die verwendeten meteorologischen Parameter vor. Ein Mangel, der erst nach Vorliegen weiterer mehrjähriger Meßreihen behoben werden kann. Darüber hinaus ist es sehr schwierig, die Grundbelastung hinreichend genau zu ermitteln. Die einschränkende Annahmen und die erwähnten weiteren Mängel sind die Ursache für eine gewisse Unsicherheit des Ergebnisses.

### 3. Einschränkung der industriellen Emission bei bestimmten Wetterlagen

Im Industriegebiet mit einer hohen Grundbelastung und topographisch ungünstigen Verhältnissen wird man zur Vermeidung von Katastrophenfällen auf die Notlösung zurückgreifen müssen, bei austauscharmen Wetterlagen die Emission einzuschränken. Dies wird unter Umständen der Fall sein bei tiefliegenden Inversionen, besonders dann, wenn das Industriegebiet in einem Tal liegt. Bei einigen Emittenten wird man in dieser Situation eine Einschränkung des Betriebes oder gar eine vorübergehende Stilllegung verlangen. Es ist nicht von der Hand zu weisen, daß derartige Maßnahmen wirtschaftliche Folgen haben. Sie bedeuten auf jeden Fall einen starken Eingriff in einen Betrieb und können daher nur als Übergangslösungen für Notzeiten betrachtet werden. Früher oder später wird man aber die endgültige Lösung dieses Problems in der Form treffen müssen, daß die besonders starken Emittenten verlegt werden. Der Erfolg dieser Notlösung hängt wesentlich von der Güte des Warnsystems ab. Eine selbstverständliche Voraussetzung ist eine hohe Treffsicherheit der meteorologischen Prognose. Diese verantwortungsvolle Entscheidung wird somit nur von einem entsprechend erfahrenen Meteorologen getroffen werden können.

#### Literaturverzeichnis

- Bäumler J. und Müller R.: Zur Bestimmung von Autoabgasen in der Straßenluft. Z. Präv.-Med. 6, 10–23 (1961).
- Becker W.: Ursachen und Herkunft der Luftverunreinigung durch die Mineralölindustrie. Staub 21, 88–89 (1961).
- Burn J. L. und Pemberton J.: Air Pollution, Bronchitis and Lung Cancer in Salford. Int. J. Air Wat. Poll. 7, 5–16 (1963).
- Cholak J.: The nature of atmospheric pollution in a number of industrial communities. Proc. 2nd National Air Pollution Symposium 1952.
- Diem M.: Staubausbreitung in der freien Atmosphäre in Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen. Staub Heft Nr. 26, 342–355 (1951).
- Diem M.: Messung des Staubniederschlages im Bereich eines einzelnen niedrigen Kamins. Mitteilung der VGB, H. 52, 30–33 (1958).
- Effenberger E.: Gegenwartsprobleme der Städtehygiene. II. Über die Ausbreitung von Luftverunreinigungen. Arch. f. Hygiene und Bakteriologie 139, 42–61 (1955).
- Effenberger E.: Das Kohlenoxyd und dessen Bedeutung in der Hygiene. Med.-met. Hefte 12, 1–128 (1957).
- Effenberger E.: Gefährdung des Menschen durch Abgase der Verbrennungsmotoren. Fortschritte der biologischen Aerosol-Forschung in den Jahren 1957–1961. Herausgegeben von Dipl.-Phys. Dr. med. H. Nüchel. Verlag: Friedrich-Karl Schattauer, Stuttgart 1962.
- Effenberger E.: Staubkonzentrationsmessungen zur Ermittlung des Verunreinigungsgrades der Luft durch korpuskuläre Beimengungen. In: Beiträge zum Problem der Luftreinhaltung. Haus der Technik e. V., Essen, Vortragsveröffentlichungen. Heft 68, 35–56 (1966). Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, Essen.
- Einbrodt H. J., Klosterkötter W. und Reploh H.: Untersuchungen über Menge und chemische Zusammensetzung des Schwebstaubes in einer Wohn Großstadt. Arch. f. Hygiene u. Bakteriologie 149, 400–407 (1965).
- Faerber K.-P., Hoffmann A. und Schmitz G.: Untersuchungen zum Nachweis schädigender Einflüsse von Luftverunreinigungen auf die Gesundheit des Menschen an größeren Bevölkerungsgruppen. Der Öffentliche Gesundheitsdienst 20, 493–510 (1959).
- Fitzek J. und Einbrodt H. J.: Die chemische Analyse von Luftstaubproben. Arch. f. Hygiene u. Bakteriologie 149, 394–400 (1965).

- Georgii H.-W.*: Erforschung und Bekämpfung der Luftverunreinigung in den Vereinigten Staaten. Staub 20, 329–333 (1960).
- Georgii H.-W.*: Erste Ergebnisse fortlaufender Registrierungen des Kohlenoxydgehaltes der Luft im Zentrum einer Großstadt. Städtehygiene 11, 71–74 (1960).
- Goddard A.P.*: Elektrofahrzeuge im Straßenverkehr. Vortrag auf dem IV. Internationalen Kongreß für Lärmbekämpfung, Baden-Baden 1966.
- Gräfe K. und Peters K.-H.*: CO-Registrierungen in ihrer Abhängigkeit vom Straßenverkehr und vom Wind. Städtehygiene 15, 129–134 (1964).
- Grandjean E.*: Die Verunreinigungen der Stadtluft. Z. Präventivmedizin 2, 1–19 (1957).
- Hettche H.O.*: Pflanzenschäden durch Kraftfahrzeugabgase. Städtehygiene 11, 238–239 (1960).
- Hettche H.O.*: Vergleichende Betrachtung zur Belastung der Luft durch Ruß und Kohlenstoffverbindungen in der Bundesrepublik und anderen Ländern. Staub 23, 136–140 (1963).
- Hettche H.O.*: Benzopyrene und Spurenelemente in Großstadtluft. Int. J. Air Wat. Poll. 3, 185–191 (1964).
- Hettche H.O.*: Gesundheitsgefährdung durch Kraftfahrzeugabgase. Der Öffentliche Gesundheitsdienst 26, 480–488 (1964).
- Holland J.Z.*: A meteorological survey of the Oak-Ridge area. AEC-Report ORO 99, Atomic Energy Commission, Washington 1953.
- Jecklin L.*: Bleistaub in der Luft. Schweiz. med. Wschr. 2, 685–686 (1955).
- Jecklin L.*: Untersuchungen über den Bleigehalt der Auspuffgase beim Benzinmotor. Arch. Gewerbepathol. Gewerbehyg. 14, 626–630 (1956).
- Katz M.*: Die physikalische und chemische Natur der Luftverunreinigung. In: Die Verunreinigung der Luft, S. 91. Herausgegeben von der World Health Organization. Verlag Chemie. Weinheim 1964.
- Keeser F., Froboese V. und Turnau R.*: Toxikologie und Hygiene des Kraftfahrwesens (Auspuffgase und Benzine). Springer, Berlin 1930.
- Kegel S.*: Luftverunreinigung im Handbuch Medizin und Städtebau. 2, 571–580. Verlag Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien 1957.
- Kettner H.*: Höchstzulässige Konzentrationen der atmosphärischen Verunreinigungen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 12, 30, (1957).
- Kettner H.*: Entwicklung und Stand der Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft in England. Gesundheits-Ingenieur 83, 133–140 (1962).
- Kühn E.*: Stadtplanung und Reinhaltung der Luft. Staub 23, 214–217 (1963).
- Langmann R.*: Die Wirkung von Luftverunreinigungen auf ausgesuchte Bevölkerungsgruppen. Der Öffentliche Gesundheitsdienst 22, 179–184 (1960).
- Langmann R.*: Die Bronchitis als Kriterium der Luftverunreinigungen. Der Öffentliche Gesundheitsdienst 24, 261–272 (1962).
- Langmann R.*: Über den Anteil des Schwebstaubes an der Luftverunreinigung. Der Öffentliche Gesundheitsdienst 24, 560–561 (1962).
- Langmann R. und Kettner H.*: Schwebstaubgehalt der Luft in Mülheim/Ruhr. Gesundheits-Ingenieur 84, 247–250 (1963).
- Liesegang W.*: Der Flugascheauswurf v. Standpunkte des Nachbarnschutzes. Staub 31, 29–36 (1953).
- Löbner A.*: Horizontale und vertikale Staubverteilung in einer Großstadt. Veröffentlichungen des Geophysikalischen Instituts der Universität Leipzig, II. Serie, Bd. XII, S. 53 (1935).
- Martin A.E.*: Atmospheric Pollution in Great Britain the London Fog of 2–5 December, 1957. Int. J. of Air Pollution 2, 84–86 (1959).
- Pasquill F.*: Atmospheric diffusion. S. 204/14. London 1962. D. van Nostrand Comp. Ld.
- Pistor R.*: Emissionen in der chemischen Industrie Staub 21, 84–87 (1961).
- Primavesi C.A., Hoffmann A. und Eikmanns K.-H.*: Untersuchungen über die örtliche und zeitliche Schwefeldioxydbelastung einer Großstadt des Ruhrgebietes. Arch. f. Hygiene u. Bakteriologie 147, 81–93 (1963).
- Prindle R.A. und Landau E.*: Gesundheitsschädliche Folgen wiederholter Einwirkungen niedriger Konzentrationen von Luftverunreinigungen. Staub 22, 392–398 (1962).
- Rassow L.*: Zunahme der Immissionen in einem mitteldeutschen Industriort. Ztschr. f. Meteorologie 13, 1–2 (1959).
- Reifferscheid H.*: Staub in Trümmerstädten. Umschau 50, 566–567 (1950).
- Rötschke M.*: Untersuchungen über die Meteorologie der Staubatmosphäre. Veröffentlichungen des Geophysikalischen Instituts der Universität Leipzig, II. Serie, Bd. XI, S. 1 (1937).
- Ruhland E.*: Auswurf von Staub und Gasen bei der Zementindustrie. Staub 21, 91–94 (1961).
- Scheffer E.*: Die Erneuerung unserer Städte, Märkte und Dörfer vom Blickpunkt industrieller Standortwahl. Wohnungsbauforschung in Österreich 11, 77–80 (1966).
- Schinzl A.*: Flechten und Moose als biologische Indikatoren der Luftverunreinigung. Städtehygiene 11, 64–74 (1960).

- Schmidt W.*: Der Massenaustausch in Luft und verwandte Erscheinungen. Probleme der kosmischen Physik, Hamburg 1925. Storm van Leuwen. Münch. med. Wschr. 78, 49 (1931).
- Schwarz K.*: Schwefeldioxidemissionen. Staub 21, 71–77 (1961).
- Stephany H. und Oels H.*: VO über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 GewO. Reinhaltung der Luft, Abwehr von Arbeitslärm und anderen betrieblichen Emissionen. Verlag Carl Heymanns, Köln-Berlin-München-Bonn 1960.
- Stephany H.*: Reinhaltung der Luft und VDI. Städtehygiene 16, 49–54 (1965).
- Stratmann H. und Buck M.*: Schwefeldioxid-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen, Heft 3. Verlag W. Girardet, Essen 1966.
- Stümke H.*: Zur Berechnung der Aufstiegshöhe von Rauchfahnen. VDI-Forschungsheft 483, Ausgabe B 27, 38–49 (1961). VDI-Verlag GmbH., Düsseldorf.
- Sutton O.G.*: The theoretical distribution of airborne pollution from factory chimneys. Quart. Journ. R. Met. Soc. 73, 26 (1947).
- Symon K.*: Znečištění ovzduší a jeho vztah ke zdravotnímu stavu obyvatelstva. Československá Hygiena 5, 72–76 (1960).
- Symon K., Kapalín V., Absolonová a Moudrá L.*: Studium vlivu znečištění ovzduší v Berouně a Králově dvorě na zdravotní stav dětí. Československá Hygiena 5, 88–100 (1960).
- Taylor J. R., Hasegawa A. und Chambers L. A.*: Beeinflussung der Luftverunreinigung durch Standortwahl und Gebietseinweisung. Die Verunreinigung der Luft, herausgegeben von der World Health Organization, Verlag Chemie, Weinheim 1964.
- Thomas M.D.*: New understandings from current atmospheric pollution research. Amer. J. publ. Hlth. 49, 1664–1669 (1959). Ref.: Staub 20, 7565 (1960).
- Trappenberg R.*: Die Ausbreitung von Staub und Gas nach Sutton. Int. Journ. of Air Pollution 2, 27–41 (1959).
- Ulmer W.T.*: Die Wirkung der Luftverunreinigung auf die menschliche Gesundheit. Staub 23, 141–147 (1963).
- Waller R.E.*: The benzpyrene content of town air. Brit. J. Cancer 6, 8–21 (1952).
- Weber E.*: Jahresübersicht Reinhaltung der Luft (1. Folge). Gießerei 52, 206/11 (1965).
- Weber E.*: Jahresübersicht Reinhaltung der Luft (2. Folge). Gießerei 53, 405/10 (1966).
- Wilke G.*: Fortschritte in der Entwicklung von Elektrofahrzeugen. Vortrag auf dem IV. Internationalen Kongreß für Lärmbekämpfung, Baden-Baden 1966.
- Wippermann F. und Klug W.*: Ein Verfahren zur Bestimmung von Schornsteinmindesthöhen. Int. Air and Water Pollution Vol. 6, 27–48 (1962).
- Wippermann F.*: Diagramme zur Beurteilung der Eignung von Schornsteinhöhen für die Luftreinhaltung. Staub 23 (1963).
- Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). Gemeinsames Ministerialblatt, Bonn, 15, 433–448 (1964).
- Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich. Herausgegeben vom Statistischen Reichsamt. Verlag von Reimar Hobbing, Berlin, 1929 bis 1938.
- Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Herausgegeben vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden. Verlag: W. Kohlhammer, Stuttgart und Mainz, 1952 bis 1966.
- VDI-Richtlinie 2119: Staubbiederschlagsmessungen. Gerätebeschreibungen und Gebrauchsanweisungen. Beuth-Vertrieb Berlin, Köln 1962.
- VDI-Richtlinie 2289, Blatt 1: Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre. Zusammenhang zwischen Emission und Immission. Schornsteinhöhen in ebenem, unbebautem Gelände. Beuth-Vertrieb Berlin, Köln 1963.
- VDI-Richtlinie 2305, Entwurf: Maximale Immissions-Konzentrationen (MIK) Staubbiederschlag. Gründruck-Verein Deutscher Ingenieure (1965).

Adresse des Autors: Prof. Dr. Dr. *E. Effenberger*, Institut für Arbeitsmedizin und Industriehygiene, Gorch-Fock-Wall 15/17, Hamburg