

le cadre de quelques groupes professionnels. Le contrôle permanent a montré que pour ce qui concerne le plomb dans l'industrie céramique, le trichloréthylène dans quelques grandes blanchisseries et le mercure dans les entreprises où l'on utilise des chlorures alcalins, le degré d'exposition est tombé d'une manière décisive. Toutefois les sondages effectués montrent régulièrement la présence de quelques nouveaux cas empêchant une baisse du pourcentage de ceux qui dépassent la teneur maximum autorisée. Lors des examens qui ont été faits dans le cadre de ces mêmes groupes professionnels on a démontré qu'il y a un «rythme semestriel» bien marqué: il est plus élevé au printemps qu'en automne. Il y a lieu d'ajouter que pour les lieux de travail examinés le monoxyde de carbone ne jouait qu'un rôle insignifiant en ce qui concerne l'hygiène du travail.

#### *Literaturverzeichnis*

- [1] *Browning, E.*: «Toxicity of Industrial Metals», London 1961, 160–162, 207–208.
- [2] *Elkins, H.*: «The Chemistry of Industrial Toxicology», New York 1959, 20–21, 40–43, 55–57, 92, 146, 257.
- [3] *Jacobs, M.*: «The Analytical Chemistry of Industrial Poisons, Hazards and Solvents», New York 1949, 192, 223, 403, 586.
- [4] *Teisinger, J.*: «Chemické Methody K Vysetrouání Biologického Materialu u Průmyslové Toxikology», Praha 1956, 46–48, 57–58, 117–120.
- [5] *Williams, R.*: «Detoxication Mechanisms», London 1959, 23, 29.
- [6] «Proceedings of the International Symposium on Maximum Allowable Concentrations of Toxic Substance in Industry» (held in Prague 1959), London 1961, 205–307, 320–325.
- [7] «Proceedings of the Thirteenth International Congress on Occupational Health» (held in New York 1960), New York 1961, 977–980, 983–986, 991–993.

## **Bemerkungen zu den lufthygienischen Untersuchungen**

Von *Ernst Effenberger*<sup>1</sup>

(Herrn Professor Dr. Horst Habs zum 60. Geburtstag gewidmet)

In den letzten Jahren wurde an den Hygieniker immer wieder die Aufgabe herangetragen, den Verunreinigungsgrad der Luft eines Ortes zu beurteilen. Eine derartige Aufgabe setzt aber voraus, daß der Gutachter eine gründliche Kenntnis der Leistungsfähigkeit der verwendeten Meßmethoden, ausreichende Kenntnisse auf dem Gebiete der Meteorologie und eine den modernen Anforderungen entsprechende Auswertefahrung besitzt. Derartige Beurteilungen sollten daher nur von Fachleuten mit hinreichenden Kenntnissen und Erfah-

<sup>1</sup>Adresse: Prof.Dr.Dr.E.Effenberger, Alsterchaussee 7, Hamburg 13

rungen vorgenommen werden. Es soll hier klargelegt sein, daß dem Fachgebiet Lufthygiene mit einer Flut von Publikationen nicht gedient ist, in denen oft die elementarsten Grundsätze bei der Erstellung und Auswertung der Meßergebnisse unberücksichtigt geblieben sind.

Der Verunreinigungsgrad der Luft wurde wohl bisher an einer größeren Zahl von Orten untersucht, dennoch sind unsere Kenntnisse darüber noch sehr mangelhaft. Auch über die direkten und indirekten Auswirkungen der Beimengungen der Außenluft auf den Menschen wissen wir zurzeit noch wenig. Es ist unbefriedigend, wenn in verschiedenen Körperschaften über zulässige Höchstwerte zum Beispiel des Staubaufwurfes diskutiert wird, ohne daß wir wissen, bei welchen Mengen die ersten Schädigungen beim Menschen auftreten und welcher Art diese Schäden sind. Gewisse Ansätze für derartige Untersuchungen finden wir bei *Symon* [20, 21]. Der Forscher und seine Mitarbeiter führten klinische, röntgenologische und hämatologische Reihenuntersuchungen an Kindern durch, wobei u. a. der körperliche Zustand, das Wachstum, der Grad der Zeichnung bei der Thorax-Untersuchung beurteilt und ferner die Zahl der roten Blutkörperchen, der Hb-Gehalt, die Alkaliphosphatase und der Albumin-Globulin-Quotient bestimmt wurden. So wurden zum Beispiel im Industriegebiet nur 13% kräftige, aber 40% schwächliche Kinder, im Vergleichsgebiet dagegen 31% kräftige und nur 26% schwächliche Kinder gefunden. Im Industriegebiet wurden u. a. ein stärkeres Längenwachstum, tiefere Hb- und Albumin-Globulin-Quotienten-Summenkurven und eine höhere Alkaliphosphatase-Summenkurve gemessen. Die Röntgen-Untersuchungen des Thorax ergaben bei den Kindern des Industriegebietes nur 48% o. B., jedoch 27% mit mäßiger und 25% mit ausgeprägter Zeichnung. Bei den Kindern des Vergleichsgebietes wurden aber 78% o. B., 12% mit mäßiger und nur 10% mit stärkerer Lungenzeichnung beobachtet. Ähnliche Untersuchungen liegen u. a. auch von *Trüb* und *Posch* [22] vor.

Zur Beurteilung der indirekten Wirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen, zum Beispiel von Wirkungen als Folge einer Änderung des Ortsklimas (Änderung des Strahlungsklimas, Änderung der Häufigkeiten von Nebel- und Inversionslagen), wird noch viel Forschungsarbeit geleistet werden müssen. Etwas besser sind wir über die Schädigung bestimmter Kulturpflanzen durch Luftverunreinigungen orientiert. Es sind in diesem Zusammenhange besonders die Untersuchungen von *Egle* [9], *Zahn* [24], *van Haut* [13] und *Guderian* [11] zu erwähnen.

## 1. Versuchsplanung in der Lufthygiene

Nach neueren Erkenntnissen ist es erforderlich, daß jede experimentelle Untersuchung statistisch geplant wird, gleichgültig, ob es sich hierbei um Untersuchungen an biologischen Objekten oder um die Bearbeitung rein technischer

Fragen handelt. Dies trifft selbstverständlich auch für jede Art von Erhebungen zu, die in einer modernen Lufthygiene auch immer mehr an Bedeutung gewinnen. Nur durch eine sorgfältige statistische Planung kann gewährleistet werden, daß die spätere statistische Bearbeitung in optimaler Form erfolgen kann. Leider wird heute bei den lufthygienischen Untersuchungen dieser Gesichtspunkt noch kaum berücksichtigt. In vielen Fällen macht sich zum Beispiel der Experimentator nicht einmal Gedanken über die Meßgenauigkeit der verwendeten Methode und diskutiert bei der späteren Auswertung Änderungen der Meßergebnisse, die den Bereich des Meßfehlers gar nicht überschreiten. Auf der anderen Seite kann man oft beobachten, daß mit erheblichem Mehraufwand an Arbeit und Mitteln Meßergebnisse mit einer Genauigkeit erstellt werden, die zur Bearbeitung eines bestimmten Problems gar nicht erforderlich ist. So ist es nicht sinnvoll, wenn zum Beispiel beim Studium der Wirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen die Konzentration einer Luftbeimengung mit einem zusätzlichen Aufwand in einer 100- oder gar 1000-Stufen-Skala gemessen wird, während die am biologischen Objekt zu ermittelnden Veränderungen bestenfalls nur in einer 6- oder 10-Stufen-Skala festgestellt werden können. Dasselbe gilt auch für die Untersuchung des Einflusses des Wettergeschehens auf die Konzentration bestimmter Luftverunreinigungen. Es muß noch berücksichtigt werden, daß zur genauen Bestimmung der meisten Luftverunreinigungen größere Luftvolumina erforderlich sind, was bedeutet, daß die Meßzeit dann relativ groß sein wird. Der gemessene Wert ist dann immer nur ein Durchschnitt über eine längere Meßzeit. Kurzzeitige Änderungen, die nach neueren Vorstellungen ebenso bedeutungsvoll sein können wie die Durchschnitte, werden dabei nicht erfaßt. Mit den weniger genauen Schnellmethoden, wie sie heute bereits für mehrere Luftverunreinigungen entwickelt sind [1], können schnelle Konzentrationsänderungen meistens hinreichend genau erfaßt werden. In derselben Meßzeit können nun mit der Schnellmethode wesentlich mehr Messungen als bei der genauen Bestimmung angestellt werden, so daß die Möglichkeit gegeben ist, gleichzeitig einen relativ guten Durchschnitt zu ermitteln. Heute wird man verständlicherweise eine Registriermethode allen anderen Verfahren vorziehen, auch wenn das Meßergebnis hinsichtlich Genauigkeit hinter den anderen Verfahren zurückbleiben sollte.

Von besonderer Wichtigkeit ist die statistische Planung bei der Erstellung eines lufthygienischen Beobachtungsnetzes. Nach den Grundsätzen der statistischen Planung (*Linder* [16]) und unter Berücksichtigung der Problemstellung bzw. der zu verwendenden Methode muß man die Meßstellendichte des Beobachtungsnetzes festlegen und die gegebenenfalls erforderlichen Blockbildungen von Meßstellen vornehmen. Leider muß man bei derartigen Planungen mit einem beachtlichen Unsicherheitsfaktor rechnen, nämlich mit dem zeitweisen oder gänzlichen Ausfall einiger Meßstationen durch äußere Einwirkung. Während zum Beispiel bei Tierversuchen der Ausfall eines Versuchs- oder Kontroll-

tieres durch Tod keine allzu häufige Erscheinung ist und auch in Kauf genommen werden kann, ist dies bei lufthygienischen Meßreihen in der Regel schwerwiegender. Es ist meistens nicht möglich, die Meßstellen eines Beobachtungsnetzes entsprechender Dichte durch Umzäunungen oder andere Maßnahmen zu sichern. Trotz zahlreicher Aufrufe an die Bevölkerung werden dann immer wieder in sinnloser Weise derartige Meßeinrichtungen beschädigt oder entwendet, so daß oft das Gelingen des Meßvorhabens ernstlich gefährdet sein kann. So wurden zum Beispiel bei Staubbiederschlagsmessungen im norddeutschen Raume, bei denen Staubauffanggeräte in einem abgelegenen Gelände aufgestellt waren, rund 50% der Meßstellen zerstört. Die ursprüngliche Versuchsplanung setzte voraus, daß von jeder Meßstelle ein lückenloses Beobachtungsmaterial über die Dauer eines Jahres anfallen sollte. Infolge des Ausfalles zahlreicher Meßwerte mußte nun eine gänzlich andere Bearbeitung vorgenommen werden, als ursprünglich vorgesehen war. Verschiedene Stationen mußten gestrichen und für mehrere fehlende Werte mußten Näherungswerte umständlich errechnet werden. Durch bestimmte Blockbildungen war es dann möglich, eine Auswertung vorzunehmen, die wenigstens einen Teil der gestellten Fragen beantworten konnte.

## **2. Durchführung der Messungen**

In den meisten Fällen wird man mit der Ermittlung des Staub- und des SO<sub>2</sub>-Gehaltes den Verunreinigungsgrad der Luft hinreichend gut kennzeichnen können. Nur in besonderen Fällen wird es erforderlich sein, weitere Faktoren der Luftverunreinigungen zu bestimmen.

Als zusätzliche Maßnahme kommt häufig die Erfassung von belästigenden Geruchsstoffen in Frage, die heute an vielen Orten ernste Probleme aufgeworfen haben. Einige von diesen Stoffen, wie Schwefelwasserstoff, Mercaptane und andere organische Verbindungen, können die Bewohner eines Gebietes in besonders starkem Maße belästigen. Bei diesen Beurteilungen wird man vor allem eine Aussage über das durchschnittliche Ausbreitungsgebiet belästigender Stoffe, über die Häufigkeit des Auftretens – insbesondere von Höchstkonzentrationen – und über den Grad der Belästigung der Bevölkerung machen müssen. Hierbei werden die genauen chemischen Bestimmungsmethoden meistens keine große Hilfe bedeuten. Durch einfache Geruchsbeobachtungen wird man in der Regel wesentlich schneller das Ausbreitungsgebiet für die Belange des Hygienikers hinreichend genau ermitteln können. Hierbei ist es erforderlich, die Geruchsbeobachtungen in möglichst rascher Folge an einer großen Zahl von Beobachtungsstellen des Ausbreitungsgebietes vorzunehmen. Zur Vermeidung einer Gewöhnung des Geruchsorgans ist es wichtig, daß die Beobachtungen in Form von Querschnitten durch die Geruchsfahnen erfolgen und jeweils bis in die geruchsfreien Abschnitte fortgesetzt werden. Es reicht vollkommen aus,

wenn die Geruchsintensitäten in drei bis sechs Stufen grob geschätzt werden. Mit dieser einfachen Methode konnten schon mehrere lufthygienische Beurteilungen mit Erfolg durchgeführt werden.

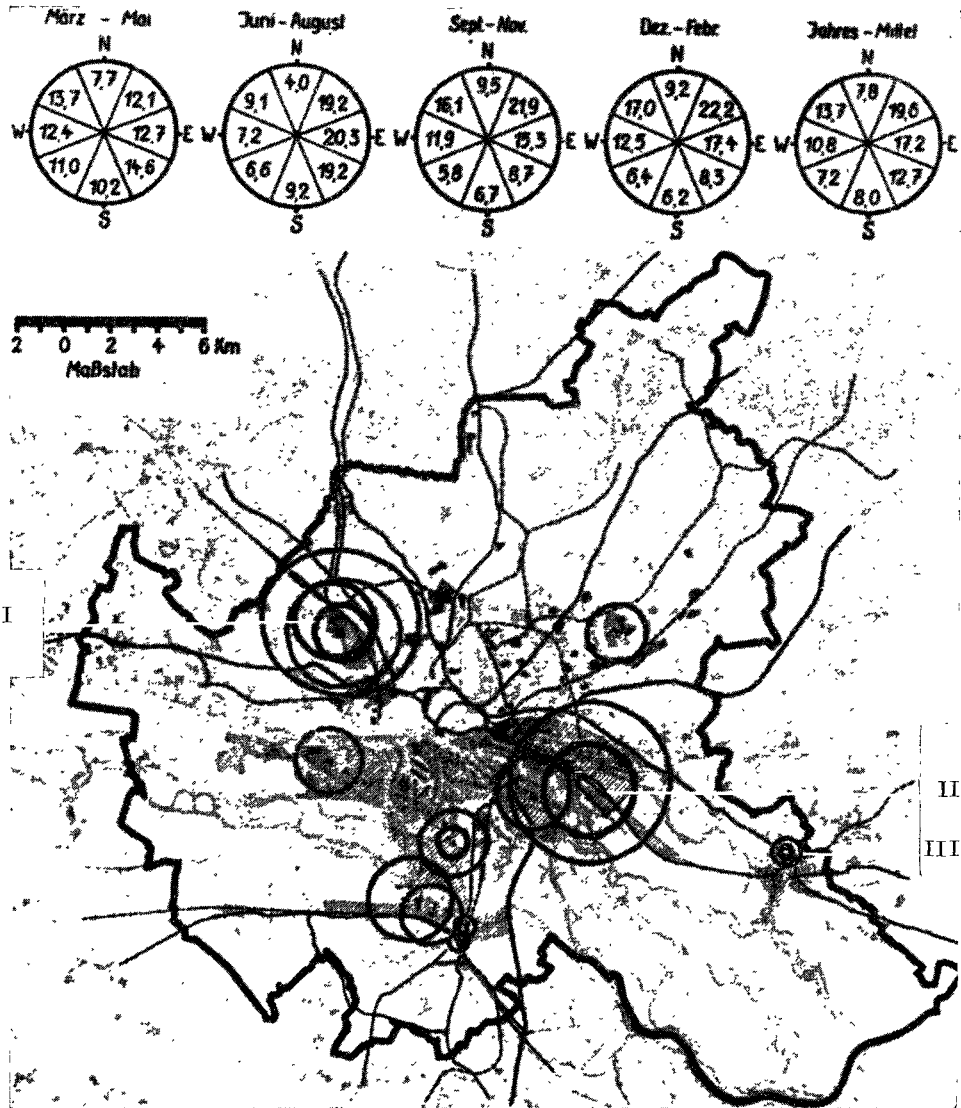


Abbildung 1 Geruchskarte von Hamburg. (Effenberger, Arch. f. Hyg. und Bakt. 139.) Die Industriegebiete (§-16-Gebiete) sind durch Schraffur gekennzeichnet.

In der *Abbildung 1* ist als Beispiel eine Geruchskarte von Hamburg dargestellt, die in der eben beschriebenen Art erarbeitet wurde (*Effenberger* [6]). Die

wichtigsten Geruchsgebiete sind mit I-III bezeichnet. Die mittleren Reichweiten der einzelnen Geruchsqualitäten sind durch ellipsenförmige Flächen dargestellt (dickere Kurven: starke Geruchsbelästigungen, dünne Kurven: mäßige Geruchsbelästigungen). Aus den Windrosen, die oberhalb der Geruchskarte eingezeichnet sind, kann man entnehmen, mit welcher Häufigkeit in einem bestimmten Zeitabschnitt und bestimmten Sektor Geruchsbelästigungen auftreten werden. So gilt für den Zeitabschnitt März bis Mai, daß im Nordsektor der Geruchsgebiete (entspr. einer Windrichtung um S) Geruchsbelästigungen mit einer Häufigkeit von 7,7% der Zeit zu erwarten sind.

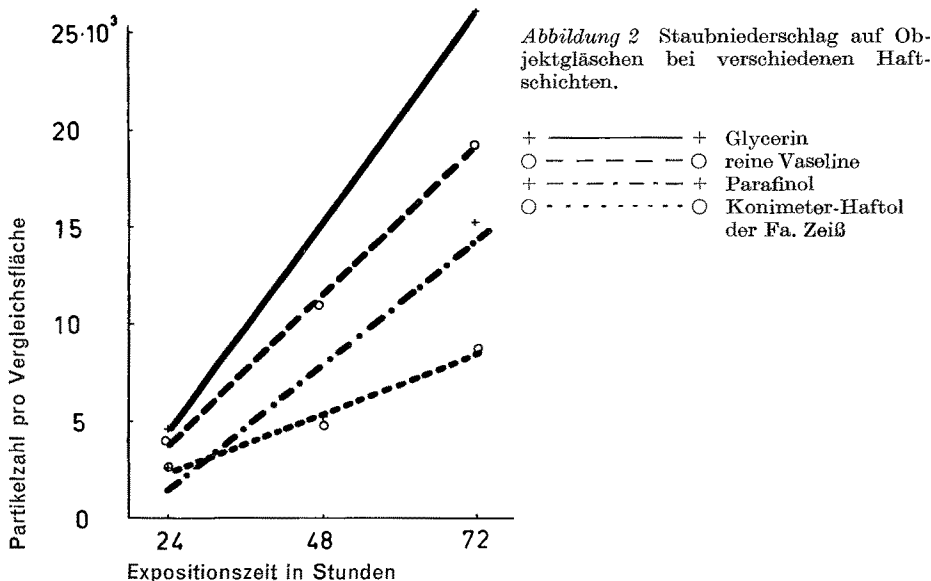
In vielen Fällen wird auch schon der Staubgehalt der Luft allein eine ausreichende Aussage über den Verunreinigungsgrad der Luft gestatten. Dies ist besonders dann der Fall, wenn der Hauptanteil der Luftverunreinigungen durch Verbrennungsprozesse (Kesselfeuerungen, Heizungsanlagen) erzeugt wird, denn dann besteht erfahrungsgemäß eine relativ enge Beziehung zwischen dem Staub- und dem SO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft. Es ist dann möglich, bei Kenntnis des einen Faktors auch den anderen Bestandteil in grober Näherung zu bestimmen.

Wegen der besonderen Wichtigkeit der Staubbmessungen sei hier auf die Meßtechnik kurz eingegangen. Grundsätzlich kann der Staubbiederschlag oder der Staubgehalt der Luft gemessen werden. Die Ergebnisse der beiden Messungen sind nur bedingt miteinander vergleichbar, da vor allem der Staubbiederschlag in starkem Maße vom Zustand der Atmosphäre (Windgeschwindigkeit und Turbulenz, thermische Konvektion, relative Feuchtigkeit der Luft) also vom Wettergeschehen, abhängt.

Der Staubbiederschlag wird mit Auffanggeräten oder durch Auslegen von präparierten Auffangflächen gemessen. Die Engländer verwenden bereits seit 1916 mit gutem Erfolg als Standardgerät den Standard Gauge [15]. Dieses Gerät besteht im wesentlichen aus einem genormten Auffangtrichter, der auf eine Sammelflasche aufgesetzt wird. Nach Expositionszeiten von zwei bis vier Wochen hat sich in der Sammelflasche meistens so viel Staub und Regenwasser angesammelt, daß chemische Analysen und, wenn nötig, auch Korngrößenbestimmungen der wasserunlöslichen Partikelchen vorgenommen werden können. Ein Nachteil dieser Methode ist, daß wegen der relativ langen Expositionszeiten keine Aussagen über die sehr interessierenden kurzzeitigen Änderungen des Staubaufalles gemacht werden können. Es ist bedauerlich, daß nach dem Zweiten Weltkriege bei Aufnahme der lufthygienischen Untersuchungen in Deutschland nicht sofort dieses Gerät in größerem Umfange Verwendung fand. Statt dessen wurde zunächst kostbare Zeit mit Verbesserungen und Neukonstruktionen von ähnlichen Geräten vertan.

Gute Dienste leisten auch die Haftfolienmethode (*Diem* [3]) oder die Ermittlung des Staubaufalles mit Hilfe ausgelegter Objektgläschen. Im ersten Falle wird die Gewichtszunahme dünner Al-Folien ( $\frac{1}{3}$  dm<sup>2</sup> Auffangfläche) nach einer

bestimmten Expositionszeit, die sich aus dem Verunreinigungsgrad der Luft ergibt und zwischen wenigen Tagen und zwei bis drei Wochen liegen kann, bestimmt. Im zweiten Falle ist die mikroskopische Auswertung sinnvoller. Bei beiden Verfahren wird eine große Fehlerquelle nicht immer hinreichend beachtet, nämlich die Abhängigkeit des Haftvermögens des Staubes von der Art und dem Alter der verwendeten Haftschrift. Wie groß die Unterschiede im Haftvermögen der Staubteilchen bei verschiedenen präparierten Objektgläsern sein können, geht aus der Abbildung 2 hervor. Als Maß für das Haftvermögen wurde



hier die Zahl der auf einer bestimmten Fläche abgeschiedenen Partikelchen betrachtet. Bei den Untersuchungen wurden Objektgläser der Größe  $75 \times 16$  mm verwendet und unter gleichen Bedingungen exponiert. Die Auszählung der Präparate erfolgte bei 80facher Vergrößerung, wobei jedesmal neun Quadrate mit einer Seitenlänge von 0.305 mm ausgezählt wurden.

Eine Vergleichbarkeit der Staubniederschlagsmessungen wird somit nur dann gegeben sein, wenn eine einheitliche Haftschrift, die in gleicher Schichtdicke aufgetragen sein muß, verwendet wird. Durch schauerartige Niederschläge werden in der Regel bereits abgeschiedene Teilchen und Teile der Haftschrift abgewaschen. Verschieden starke Regenfälle auf den Meßstellen werden somit auch die Vergleichbarkeit stark beeinträchtigen. Darüber hinaus ist das Meßergebnis noch von der Lage der Meßstelle abhängig. Windgeschützte Meßstellen werden andere Sedimentationswerte ergeben als etwa frei liegende Meßstellen.

Neben der einfachen mikroskopischen Auswertung bei Staubniederschlags-

messungen, bei der die Zahl, die Größe und die Form der Partikelchen und unter Benutzung der Auflichtmikroskopie eventuell noch die Farbe der Teilchen zur Beurteilung herangezogen werden können, bietet die Stereomikroskopie noch zusätzliche Vorteile. Hierbei ist es möglich, weitgehende Aussagen über die qualitative Zusammensetzung des Staubes zu machen. So lassen sich amorphe Partikelchen von kristallinen Teilchen recht gut unterscheiden, und innerhalb der kristallinen Teilchen können noch deutlich verschiedene Strukturen und Farbunterschiede festgestellt werden. Durch diese Auswertung ist es leicht möglich, bei Vorliegen spezifischer Staubarten die Reichweite eines Staubproduzenten festzustellen, auch wenn andere Störer im Beobachtungsbereich vorhanden sind.

Eine Anwendung der Stereomikroskopie zeigt die *Abbildung 3*. Es sind die Reichweiten von korpuskulären Beimengungen und von Geruchsstoffen dargestellt, wie sie bei Untersuchungen in der Umgebung eines in Mitteldeutschland gelegenen chemischen Werkes gemessen wurden. Die Bevölkerung wurde im vorliegenden Falle in erster Linie durch Geruchsstoffe (Schwefelwasserstoff und Mercaptane) und Flugasche belästigt. Darüber hinaus traten Vegetationsschäden durch Schwefeldioxyd auf. Der Betrieb besitzt einen etwa 70 m hohen Schornstein, durch den die Rauchgase und die Flugasche abgeführt werden. Die Geruchsstoffe entweichen mehreren kleinen Abgasschornsteinen. Das umgebende Gelände weist nur unwesentliche Bodenerhebungen auf und ist frei von weiteren Produzenten von Luftverunreinigungen, so daß die Ausbreitung der wichtigsten Bestandteile hier recht gut studiert werden konnte. Im Umkreis von zwei Kilometer wurden der Staubbiederschlag und die  $\text{SO}_2$ -Konzentration der Luft gemessen. Die Ausbreitung der Geruchsstoffe wurde durch Geruchsmeßfahrten ermittelt, die sich bis in Entfernungen von drei Kilometer vom Werk erstreckten. Der Staubbiederschlag wurde mit Hilfe von Al-Folien und Objektgläschen gemessen. Die ausgelegten Folien und Objektgläschen wurden wöchentlich gewechselt. Die in der *Abb. 3* dargestellten Kurven des Konzentrationsabfalles bei zunehmender Entfernung vom Werk wurden auf Grund der Staubbiederschlagsmessungen vom 14. September bis 21. September und der am 21. September 1961 vorgenommenen Geruchsmeßfahrt ermittelt. Nach Logarithmierung der Entfernungs- (Abszisse) und Konzentrationswerte (Ordinate) konnten in einer graphischen Darstellung die Kurven für den Konzentrationsabfall recht gut den Meßwerten angepaßt werden. Auf eine Errechnung der Regressionslinien, die auch nach der Logarithmierung noch nicht linear sind, konnte verzichtet werden. Auf Grund der Staubbiederschlagsmessung mit Hilfe der Haftfolien kann eine Reichweite korpuskulärer Bestandteile nur bis etwa 700 m angenommen werden. Bei der stereomikroskopischen Auswertung wurden große schwarze Partikelchen mit Durchmessern um  $50\mu\text{m}$  (unverbrannte Kohle- und Koksteilchen), die mit Sicherheit aus dem Schornstein des Werkes stammen, noch in 1200 bis 1300 m Entfernung festgestellt.

Kleine weiße amorphe Teilchen (Asche) konnten noch in 1600 m Entfernung nachgewiesen werden. Die Geruchsstoffe waren schließlich noch in einer Entfernung von 3000 m feststellbar.

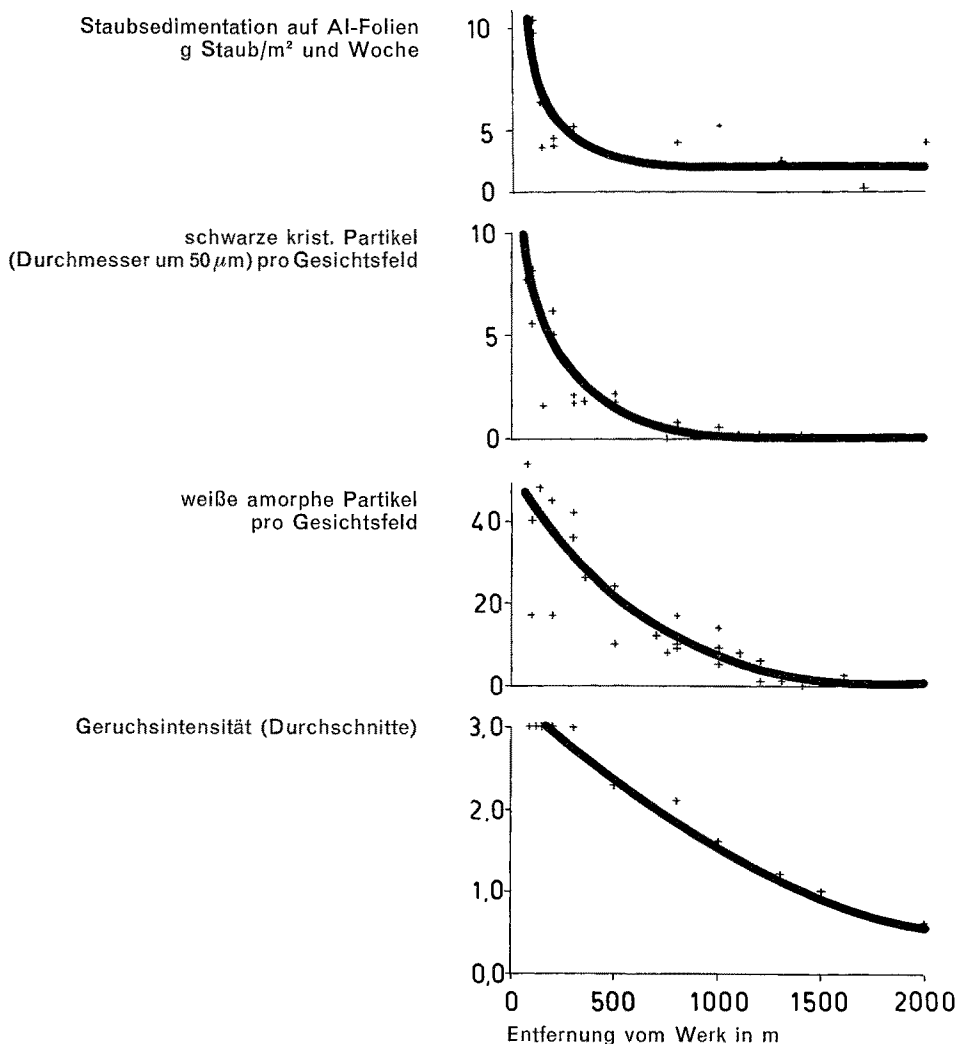


Abbildung 3 Radiale Ausbreitung von korpuskulären Luftverunreinigungen und Geruchsstoffen in der Umgebung eines chemischen Werkes

Hierzu sei ergänzend bemerkt, daß die Ausbreitung der Luftverunreinigungen in der Atmosphäre nach den Gesetzen des Maßenaustausches erfolgt. Dieser ist vom Wettergeschehen abhängig und wird durch den Austauschkoeffizienten gekennzeichnet (Schmidt [19]). Bei korpuskulären Bestandteilen haben darüber hinaus noch das spezifische Gewicht, die Größe und die Form der Partikelchen einen wesentlichen Einfluß auf die Reichweite.

Bei gasförmigen Stoffen hängt die Ausbreitung noch von der Difussionsgeschwindigkeit des Gases und unter Umständen auch von sekundären chemischen Reaktionen in der Luft (zum Beispiel Zerfall von Geruchsstoffen durch chemische Umsetzungen, Oxydations- und Reduktionseffekte) ab. Inzwischen ist auch in Deutschland in der Forschungsgruppe um *Koschmieder* (vergleiche *Barthelt* [2], *Klug* [14], *Wippermann* [23] und andere) wichtige Forschungsarbeit auf diesem Gebiete geleistet worden.

Zur Messung des Staubgehaltes der Luft sind mehrere Verfahren in Gebrauch. Im Prinzip werden Filtermethoden, Elektro-, Thermal-Präzipitation und das Aufprallverfahren verwendet. Während bei den drei erstgenannten Verfahren der Abscheidungsgrad unter Umständen nahe an 100% heranreichen kann, wird bei den Aufprallverfahren nur ein relativ geringer Anteil der Partikel-

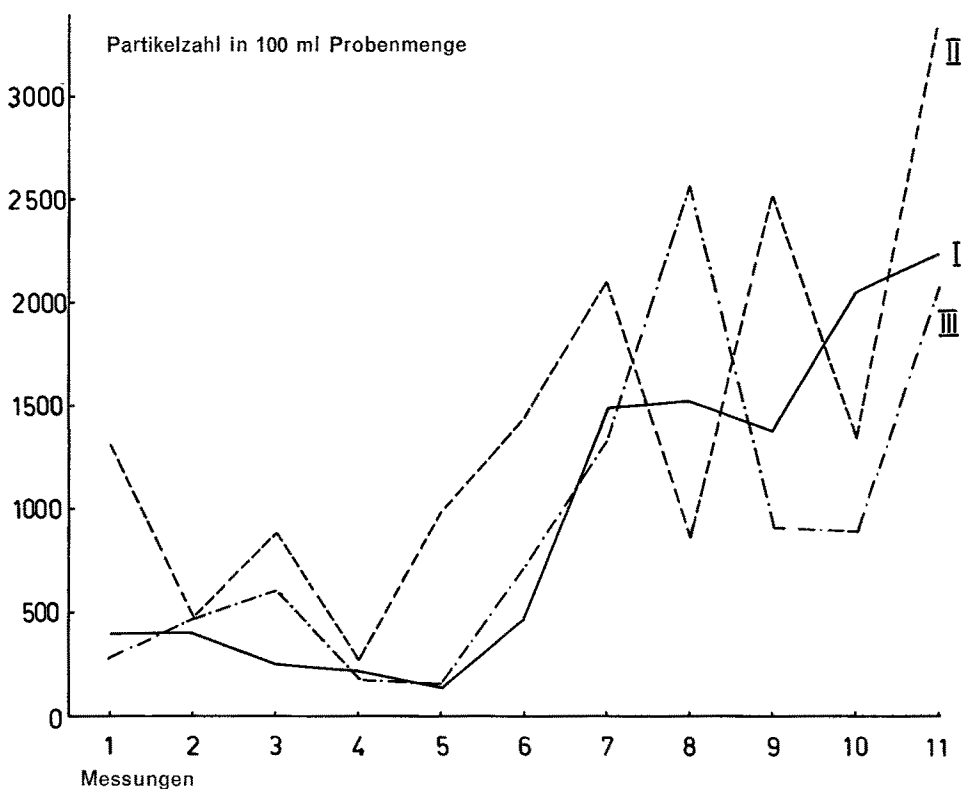


Abbildung 4 Ergebnisse gleichzeitiger Messungen mit den Konimetern I-III.

chen, in den meisten Fällen kaum mehr als 50 bis 60%, erfaßt. Auf diesem Verfahren beruht vor allem das im deutschen Sprachgebiet häufig verbreitete Konimeter. Auf die großen Nachteile dieses Meßgeräts wurde immer wieder hingewiesen (*Hasenclever* [12] *Effenberger* [5] und andere). Dennoch ist die Reaktion falsch, wenn das Konimeter nun rundweg abgelehnt wird. Bei richtiger Handhabung und Berücksichtigung der Bedingungen, die erfüllt sein müssen,

damit die Meßergebnisse vergleichbar sind, kann es wertvolle Dienste leisten. Für Absolutmessungen ist es jedoch nicht geeignet. Es ist bedauerlich, wenn wichtige Beurteilungen mit der Begründung zurückgestellt werden, daß man nur über ein Konimeter und kein weiteres Meßgerät verfüge, während die gestellten Fragen in den meisten Fällen ohne weiteres unter Verwendung eines Konimeters geklärt werden könnten. In den folgenden Ausführungen sei daher etwas näher auf einige Fehlerquellen des Konimeters eingegangen.

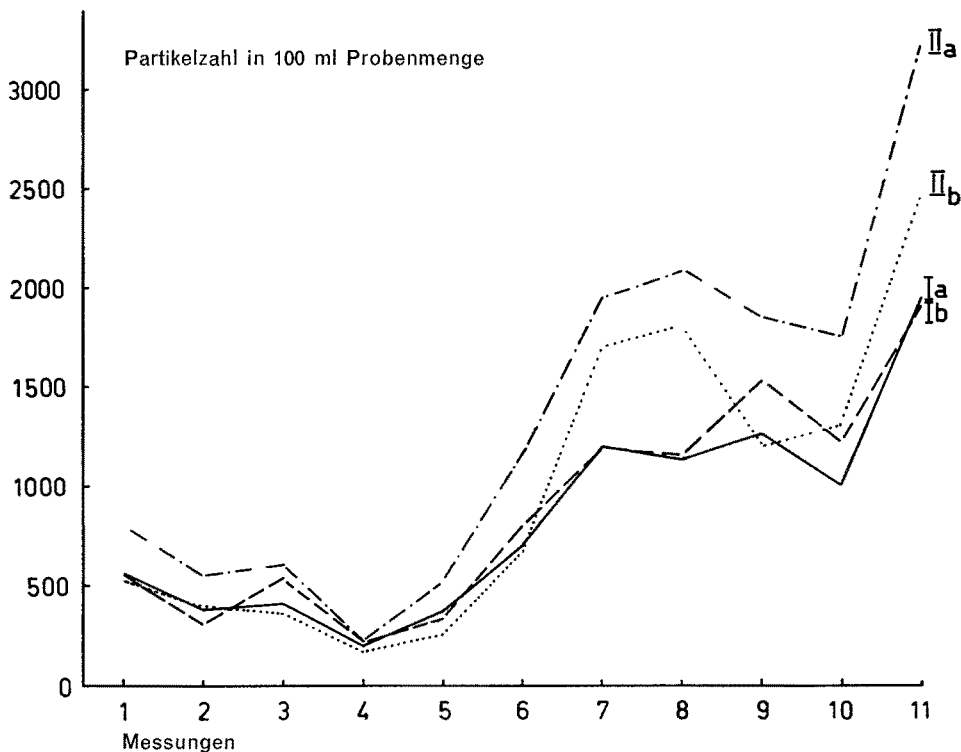


Abbildung 5 Ergebnisse der Auswertung der Präparate durch 4 Auswerter. Ia, Ib gut eingearbeitete Auswerter, IIa, IIb erst kurz vor der Auszahlung angelernete Auswerter.

Meßprinzip des Konimeters: Das Gerät besteht im Hauptteil aus einer flachen Meßkammer, die durch eine auswechselbare Glasscheibe abgeschlossen wird. Die Untersuchungsluft wird mit Hilfe einer Pumpe (Fassungsvermögen bei den neueren Geräten 2,5 bzw. 5,0 ml) durch eine feine Düse in die Meßkammer gesaugt. In der Düse wird der Luftstrom stark beschleunigt und prallt gegen die präparierte Glasscheibe, an der die Staubteilchen abgeschieden werden. Das so gewonnene Präparat kann leicht mikroskopisch oder photometrisch ausgewertet werden. Zurzeit sind bereits mehrere Ausführungen dieses Gerätes in Gebrauch.

Zur Abschätzung der Meßgenauigkeit des Konimeters wurden Vergleichsmessungen mit drei Geräten gleicher Bauart vorgenommen. Die Messungen wurden bei 13 Staubkonzentrationen, die zwischen 300 und 17 000 Partikel

pro 100 ml Untersuchungsluft lagen, durchgeführt. Da die Probenmenge das Meßergebnis ganz wesentlich beeinflußt, wurde sie in den für Außenmessungen in Frage kommenden Bereich zwischen 25 und 250 ml variiert. Die Zuordnung der Probenmengen an die einzelnen Konimeter erfolgte durch zufällige Auswahl. Als Haftschrift wurde reine Vaseline verwendet. Von den Präparaten wurden grundsätzlich Mikroaufnahmen angefertigt, die auf das Format DIN A4 vergrößert wurden. Die Auswertung der Mikrophotographien erfolgte durch radiale Auszählung. Zur gleichzeitigen Abschätzung der Fehlergrenze des Auszählverfahrens wurden sämtliche Präparate von acht Auswertern ausgezählt. Hierzu waren drei Auswerter (Gruppe I) mit längerer Auswerteerfahrung und fünf erst neu angelehrte Auswerter (Gruppe II) ausgewählt.

In der *Abbildung 4* sind die Meßergebnisse der einzelnen Konimeter und in der *Abbildung 5* die Ergebnisse der Auszählungen von je zwei Auswertern der beiden Auswerter-Gruppen graphisch dargestellt.

Auswerter		Partikel pro 100 ml	Konimeter	Partikel pro 100 ml
Gruppe I	1	1566	I . . . . .	2311
	2	1576		
	3	1704		
	$\bar{x}$	1615	II . . . . .	2636
Gruppe II	4	2702	III . . . . .	1536
	5	2605		
	6	2640		
	7	2098	Gesamtdurchschnitt . . .	2161
	8	2397		
	$\bar{x}$	2488		

*Tabelle 1* Durschnitte der Meßergebnisse von Vergleichsmessungen mit drei Konimetern.  
Gruppe I eingearbeitete Auswerter  
Gruppe II neu angelehrte Auswerter

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Durchschnitte der Meßergebnisse zusammengestellt. Wie man sieht, sind beachtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Durchschnitten vorhanden.

Die statistische Bearbeitung der Meßergebnisse wurde mit Hilfe der in der Tabelle 2 angegebenen Streuungserlegung vorgenommen. Die gesamte Streuung wurde in die Anteile «zwischen den Messungen», «zwischen den Aus-

	Streuung	FG	SQ	DQ
M	Zwischen den Messungen . . . . .	12	2 963 789 052	246 982 421
G	Zwischen den Auswerter-Gruppen	1	55 654 231	55 654 321
Ai	Zw. d. Auswertern innerhalb d. Gruppen . . . . .	6	10 011 964	1 668 661
A	Zwischen den Auswertern . . . . .	7	65 666 195	9 380 885
K	Zwischen den Konimetern . . . . .	2	66 495 491	33 247 745
R	Rest (Wechselwirkungen: MxA, MxK, AxK, MxAxK)	290	701 800 612	2 420 021
	Insgesamt . . . . .	311	3 796 751 350	
	Korrektur . . . . .	1	1 457 041 284	
	Summe der Quadrate . . . . .	312	5 154 791 634	

Ergebnisse der Prüfungen

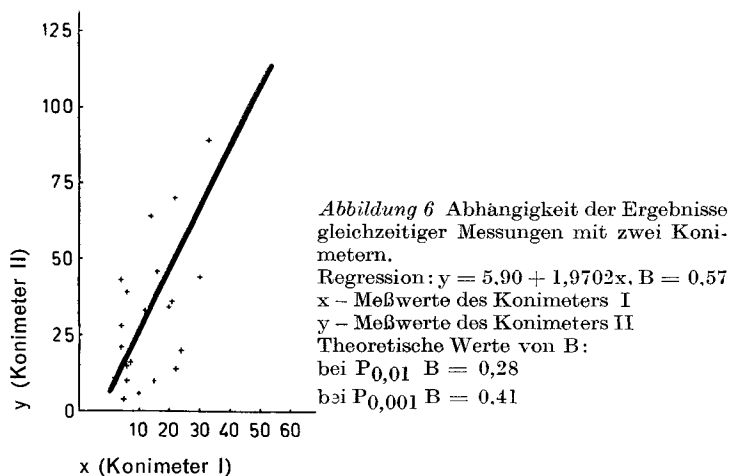
Quotient	F <sub>err.</sub>	F <sub>0,05</sub>	F <sub>0,01</sub>	Ergebnis
$\frac{M}{R}$	102,1	1,8	2,3	stark gesichert
$\frac{G}{R}$	23,0	3,9	6,8	stark gesichert
$\frac{G}{A_i}$	33,4	6,0	13,7	stark gesichert
$\frac{A}{R}$	3,9	2,0	2,7	stark gesichert
$\frac{K}{R}$	13,7	3,0	4,7	stark gesichert
$\frac{K}{A}$	3,5	4,7	9,5	nicht gesichert
$\frac{K}{A_1}$	19,9	5,1	10,9	stark gesichert

Tabelle 2 Streuungszерlegung zur Beurteilung der Ergebnisse von gleichzeitigen Messungen mit 3 Konimetern gleicher Bauart.

wertern», «zwischen den Auswerter-Gruppen», «zwischen den Auswertern innerhalb der Gruppen» und «zwischen den Konimetern» zerlegt. Auf die Darstellung der Wechselwirkungen konnte verzichtet werden, da sie alle von etwa gleicher Größe sind.

Die Ergebnisse der Prüfungen zeigen, daß statistisch stark gesicherte Unterschiede zwischen den Messungen, zwischen den Auswertern, zwischen den Auswerter-Gruppen und zwischen den Konimetern vorhanden sind. Die Unterschiede zwischen den Konimetern sind von gleicher Größe wie die Unterschiede zwischen den Auswertern, jedoch größer als die Unterschiede zwischen den Auswertern innerhalb der Auswerter-Gruppen. Das heißt, daß die Hauptfehlerquelle beim Meßvorgang des Konimeters selbst liegt, vorausgesetzt, daß die Auswertung der Präparate eingearbeitete Auswerter vornehmen.

Wie groß die Ungenauigkeit der Meßergebnisse beim Konimeter ist, geht noch aus der *Abbildung 6* hervor, in der die Ergebnisse gleichzeitiger Messungen mit zwei Konimetern graphisch dargestellt sind. Es handelt sich hier gewisser-



maßen um eine Eichkurve. Die der Beurteilung zugrunde liegenden 22 Messungen wurden bei verschiedenem Staubgehalt der Luft vorgenommen. Darüber hinaus wurden noch die Probenmengen zwischen 25 und 250 ml gleichzeitig für beide Konimeter variiert. Wie das Bestimmtheitsmaß  $B$  zeigt, sind nur 57% der gesamten Streuung durch den Zusammenhang der Meßergebnisse der beiden Geräte erklärbar. Die restlichen 42% der gesamten Streuung müssen auf Meßungenauigkeiten der Konimeter zurückgeführt werden. Wurden jedoch für die Beurteilung auch die Messungen mit verwertet, bei denen mit den Konimetern ungleiche Probenmengen entnommen wurden, so ergab sich nur ein Bestimmtheitsmaß von  $B = 0,41$ . Das heißt, daß in diesem Falle sogar 59% der gesamten Streuung auf Meßungenauigkeiten zurückgeführt werden müssen. Es sei erwähnt, daß die Eichkurven der üblichen Meßgeräte im allgemeinen wesentlich höhere Werte für  $B$  aufweisen.

Die *Abbildung 7* zeigt die Abhängigkeit des Meßergebnisses von der Probenmenge beim Konimeter. Die Messungen wurden bei gleichbleibendem Staubgehalt der Luft vorgenommen. Wie man sieht, wird bei größeren Probenmengen nur noch ein Bruchteil des Staubes der Luft erfaßt. Dieser stark ausgeprägte Effekt ist in erster Linie darauf zurückzuführen, daß durch den Aufprall der Luft die Haftschiicht zum großen Teil weggeblasen wird und somit die Haftbedingungen für die Staubpartikelchen stark herabgesetzt werden. Im vor-



*Abbildung 7* Einfluß der Probenmenge auf das Meßergebnis des Konimeters.

liegenden Falle wurde als Haftschiicht reine Vaseline verwendet. Es muß angenommen werden, daß dieser Effekt je nach Art der verwendeten Haftschiicht verschieden stark ausgeprägt sein wird. Demgegenüber scheint ein Überlagerungseffekt, bei dem Partikelchen verdeckt werden und dadurch der Auszählung entgehen, nur von untergeordneter Bedeutung zu sein.

Diese kurzen Ausführungen zeigen deutlich, daß die Ergebnisse der Konimeter-Messungen mit beachtlichen Fehlern behaftet sein können und daher mit großer Vorsicht beurteilt werden müssen. Einigermaßen vergleichbare Meßergebnisse können nur dann erzielt werden, wenn bei der Messung die folgenden Bedingungen streng erfüllt sind: Verwendung gleicher Konimeter-Typen während eines Meßvorhabens, einheitliche Handhabung der Geräte, Entnahme einheitlicher Probenmengen während eines Meßvorhabens, Verwendung der gleichen Haftschiicht, die bei allen Scheiben in gleicher Schichtdicke aufgetragen werden muß, bei Verwendung mehrerer Konimeter ist eine Eichung der Geräte in Form von Vergleichsmessungen erforderlich, Anfertigung der Mikroaufnahmen und Auszählung der Präparate unter gleichen Bedingungen. Darüber hinaus ist eine häufige Kontrolle und gegebenenfalls eine Überholung der

Entnahmepumpen, insbesondere deren Federspannung, erforderlich, denn nicht gleichartiges Hochschnellen der Pumpenkolben hat naturgemäß Änderungen der Einströmgeschwindigkeit und somit Änderungen der Haftbedingungen zur Folge. Man muß sich darüber im klaren sein, daß das Meßergebnis des Konimeters nur einen Relativwert darstellt, der unter den eben genannten Bedingungen in gewissen Grenzen vergleichbar ist. Es wird sinnvoll sein, auch Meßergebnisse verschiedener Meßvorhaben, die zeitlich etwas auseinander liegen, nur mit besonderer Vorsicht zu vergleichen.

Demgegenüber hat das Konimeter den großen Vorteil der einfachen Handhabung, der schnell durchführbaren Messung und des leichten Transportes. Das Wechseln der Scheiben ist rasch möglich und kann auch im Gelände vorgenommen werden. Diese Vorteile des Geräts werden zurzeit noch von keinem anderen Staubmeßgerät erreicht.

Feste Staubmeßstationen wird man naturgemäß mit Geräten, die einen höheren Abscheidungsgrad des Staubes gewährleisten, ausrüsten. Man sollte bestrebt sein, auf derartigen Stationen täglich einige Absolutwerte des Staubgehaltes der Luft zu messen. Darüber hinaus wird man mit Hilfe geeigneter Registriergeräte, die zurzeit bereits in mehreren Ausführungen hergestellt werden, kontinuierliche Staubmessungen vornehmen.

Ähnliche Probleme liegen bei der Messung des  $\text{SO}_2$ -Gehaltes der Luft vor. Auch hier wird man mit den ungenaueren Schnellmethoden im Gelände arbeiten. Auf festen Meßstationen wird man Registriergeräte einsetzen und zusätzliche Messungen mit einwandfreien chemischen Methoden vornehmen. Es sei erwähnt, daß die größte Fehlerquelle bei den  $\text{SO}_2$ -Messungen wie bei allen luftchemischen Verfahren die zu ungenaue Bestimmung der Luftprobenmenge ist.

### 3. Statistische Bearbeitung der Meßergebnisse

In den meisten Forschungsgebieten ist heute eine sorgfältige statistische Bearbeitung der Meß- oder Beobachtungsergebnisse unter Benutzung der modernen Methoden der mathematischen Statistik zur Selbstverständlichkeit geworden. Abgesehen davon, daß die statistische Bearbeitung das Risiko von Fehlbeurteilungen auf ein Minimum herabsetzt, werden oft dadurch noch Zusammenhänge aufgedeckt, die bei einer elementaren Auswertung nicht erkannt werden können. Leider haben diese Gedankengänge bei den Bearbeitern lufthygienischer und meteorologischer Probleme noch kaum Eingang gefunden, denn immer wieder werden auf diesen Gebieten Arbeiten publiziert, in denen die Bearbeitung des Beobachtungsmaterials in gänzlich unzulänglicher Form vorgenommen wurde.

Welche Vorteile die einwandfreie statistische Bearbeitung auch auf dem Gebiete der Lufthygiene bietet, geht aus Arbeiten von *Effenberger* und *Linder* [7] hervor. Zur Auswertung lagen die Meßergebnisse von Messungen des Staub-

gehaltenes der Luft aus einer Großstadt vor. Während der Dauer eines Jahres wurden an einem bestimmten Orte täglich um 12 und 24 Uhr Messungen mit dem Konimeter vorgenommen. Bei der mikroskopischen Auswertung der Präparate wurden die Partikelzahl und die Partikelgröße bestimmt. Eine elementare Auswertung der Meßergebnisse ergab nur Gesamt- und Monatsdurchschnitte der beiden Meßgrößen, die eine Diskussion nur dahingehend gestatteten, daß die Durchschnitte der Partikelzahlen der 12-Uhr-Werte meistens größer als die der 24-Uhr-Werte sind und daß im Winter wesentlich höhere Monatsdurchschnitte als in den Sommermonaten auftreten. Ähnliche Unterschiede konnten mit gewissen Einschränkungen auch noch bei den Partikelgrößen angenommen werden. Ein Vergleich der Meßwerte mit den Kurven der wichtigsten meteorologischen Elemente ergab nur, daß bei einigen Nebellagen besonders hohe Partikelzahlen auftraten. Demgegenüber ergab die statistische Bearbeitung zusätzlich eine Fülle von wichtigen Erkenntnissen. So konnte gezeigt werden, daß sowohl die Partikelzahlen als auch die Partikelgrößen einen ausgeprägten Wochengang mit niedrigen Werten am Sonntag aufweisen und daß zwischen der Partikelzahl und der Partikelgröße bestimmte Zusammenhänge bestehen. Nachdem das Ausgangsmaterial von der Variabilität zwischen den Wochentagen und zwischen den Monaten bereinigt war, konnten wichtige Aussagen über den Zusammenhang der Partikelzahlen und Partikelgrößen mit den Wetterelementen gefunden werden. Es ergab sich unter anderem eine deutliche Abhängigkeit dieser Größen von der Windrichtung (wichtig für die Ermittlung der Lage der wichtigsten Staubproduzenten), von der Windstärke, von den Luftkörpern, von der Niederschlagsmenge und ein deutlicher Zusammenhang mit der Sichtweite. Darüber hinaus konnte eine deutliche Beziehung zwischen der relativen Feuchtigkeit der Luft und der Partikelgröße festgestellt werden, die als ein weiterer Beweis für den Koagulationseffekt der Staubteilchen bei höherer relativer Feuchtigkeit gewertet werden kann. In weiteren statistischen Bearbeitungen von *Effenberger* und *Linder* [8], bei denen die Ergebnisse mehrjähriger Registrierungen des Staubgehaltes der Luft ausgewertet wurden, konnten zum Beispiel eine Reihe wichtiger Erkenntnisse über den Wochen- und Tagesgang des Staubgehaltes der Luft in einer Großstadt gefunden werden.

Diese Beispiele mögen genügen, die Notwendigkeit und die Vorteile einer sorgfältigen statistischen Bearbeitung der Meßergebnisse auf dem Arbeitsgebiet Lufthygiene zu unterstreichen. Die vielseitigen Problemstellungen erfordern allerdings recht eingehende Kenntnisse der Methoden der modernen mathematischen Statistik. In den meisten Fällen wird man daher sehr bald gezwungen sein, einen guten Fachstatistiker zu Rate zu ziehen oder in Arbeitsgemeinschaft mit diesem die Probleme zu lösen. Auf jeden Fall muß aber erreicht werden, daß der Bearbeiter derartiger Probleme erkennt, wo seine Grenzen liegen und wann er den Rat des erfahrenen Fachmannes einholen muß.

Wegen der Wichtigkeit, die der statistischen Planung zukommt, wird diese Beratung auf jeden Fall schon vor Inangriffnahme der Messungen oder Erhebungen erfolgen müssen.

### *Zusammenfassung*

Trotz zahlreicher lufthygienischer Untersuchungen, die in den letzten zwei Jahrzehnten durchgeführt wurden, sind unsere Kenntnisse über den Verunreinigungsgrad der Luft und über die Wirkung der Luftverunreinigungen auf den Menschen noch sehr lückenhaft. Leider wurden bei den meisten dieser Arbeiten die Grundsätze der statistischen Planung und Bearbeitung kaum berücksichtigt. Die erzielten Ergebnisse stehen daher in keinem Verhältnis zur Größe des Arbeitsaufwandes. Auf die häufigsten Untersuchungen, der Ermittlung von Geruchsstoffen und des Staubgehaltes der Luft, wird eingegangen. Als Beispiel einfacher Geruchsbeobachtungen, die den Anforderungen der Praxis voll genügen, wird eine Geruchskarte des Stadtgebietes von Hamburg gezeigt. Auf die sehr einfach durchzuführenden Staubniederschlagsmessungen mit Haftfolien oder Objektgläschen wird besonders hingewiesen. Dieses Verfahren gestattet mit einem Minimum an finanziellem und Arbeitsaufwand eine relativ gute Beurteilung des Verunreinigungsgrades der Luft durch korpuskuläre Bestandteile. Hierbei ist es möglich, mit Hilfe der Stereomikroskopie noch weitgehende Aussagen über die Zusammensetzung des Staubes zu machen. Eine kritische Beurteilung des Meßverfahrens sollte in allen Fällen vor Beginn der Messungen vorgenommen werden. Als Beispiel wird auf die Meßgenauigkeit des sehr verbreiteten Konimeters eingegangen. Vergleichsmessungen mit drei Konimetern zeigen deutlich den Bereich, in dem die Meßergebnisse streuen. Die starke Abhängigkeit des Meßergebnisses von der Luftprobenmenge wird besonders hervorgehoben. Die Bedingungen, unter denen die Meßergebnisse des Konimeters einigermaßen vergleichbar sind, werden angegeben. Daß das Konimeter nur einen Relativwert für den Staubgehalt der Luft liefert, ist kein Hinderungsgrund für die Verwendung bei lufthygienischen Beurteilungen.

An Beispielen wird gezeigt, welche Bedeutung eine sorgfältige statistische Bearbeitung der Ergebnisse lufthygienischer Messungen hat. Abgesehen davon, daß dadurch das Risiko von Fehlbeurteilungen auf ein Minimum zurückgedrängt wird, lassen derartig bearbeitete Meßergebnisse wesentlich umfassendere Aussagen zu.

### *Résumé*

Bien que de nombreux examens aient été effectués au cours des vingt dernières années en ce qui concerne l'hygiène de l'air, nos connaissances sur le degré d'impureté de l'air et l'action des impuretés de l'air sur l'homme sont encore imparfaites. Malheureusement dans la plupart de ces travaux on a à peine pris en considération certains principes de statistique. C'est pourquoi les résultats obtenus ne sont pas du tout en rapport avec le travail accompli. Les examens les plus fréquents ont trait à des recherches concernant les odeurs de la ville de Hambourg et cela sert d'exemple pour des contrôles simples qui satisfont entièrement les exigences de la pratique. L'auteur montre comment on peut mesurer très simplement des dépôts de poussières à l'aide de verres porte-objets par exemple; ce procédé n'exige que peu de travail, son emploi cause peu de frais et permet d'indiquer relativement bien le degré d'impureté de l'air par des éléments corpusculaires. Il est ainsi possible, à l'aide de la stéréomicroscopie, de faire encore d'intéressants rapports sur la composition de la poussière. Dans tous les cas il faudrait, avant de commencer les mesures, examiner soigneusement la méthode. Le conimètre est très répandu et la précision des mesures qu'il permet d'obtenir est évidente. Des mesures de comparaison à l'aide de trois conimètres montrent clairement la portée des résultats des mesures. Ceux-ci dépendent en grande partie de la quantité d'échantillons d'air. L'auteur indique les conditions auxquelles les résultats des mesures du conimètre sont en quelque sorte comparables. Si le conimètre ne

donne qu'une valeur relative pour ce qui concerne le contenu de l'air en poussière, ce n'est pas un motif suffisant pour le laisser de côté lorsqu'on examine des questions relatives à l'hygiène de l'air.

L'auteur montre à l'aide d'exemples combien est importante l'étude statistique des résultats des mesures concernant l'hygiène de l'air. Une telle étude permet non seulement de réduire à un minimum le risque d'erreurs d'appréciation, mais encore de faire des rapports vraiment circonstanciés.

#### Literatur

- [1] ASTM standards on methods of atmospheric sampling and analysis. – Methods of testing, recommended practices, definitions. American society for testing materials. 1959. Ref.: Staub 21 189–190 (1961).
- [2] *Barthelt, H.-P.*: Über die Messung derjenigen meteorologischen Größen, die die Ausbreitung von Luftverunreinigungen beeinflussen. Staub 21, 112–116 (1961).
- [3] *Diem, M.*: Staubniederschlagsmessungen vor und bei Betrieb eines Dampf-Kraftwerkes. Meteorologische Rundschau 10, 145–150 (1957).
- [4] *Druckrey*: Bericht über die 5. Experten-Konferenz des «Europäischen Forschungs-Komitees für den Schutz der Bevölkerung vor chronisch-toxischen Umweltschäden» (EUROTOX) vom 20. bis 23. April 1960 in Royaumont. Zentralblatt Aereosol-Forsch. 10, 87–92 (1961).
- [5] *Effenberger, E.*: Bemerkungen zu den Staubbuntersuchungen in der Hygiene und Meteorologie. Zeitschr. f. Hygiene und Infektionskrankh. 134, 98–109 (1952).
- [6] *Effenberger, E.*: Gegenwartsprobleme der Stadtelygiene. II. Über die Ausbreitung von Luftverunreinigungen. Arch. f. Hyg. und Bakt. 139, 42–61 (1955).
- [7] *Effenberger, E.* und *A. Linder*: Untersuchungen über das Grobaerosol in einer Großstadt. II. Teil: Statistische Bearbeitung. Arch. f. Hyg. und Bakt. 141, 57–80 (1957). III. Teil: Statistische Untersuchungen über den Einfluß einiger Wetterelemente auf das Grobaerosol. Arch. f. Hyg. und Bakt. 141, 81–103 (1957).
- [8] *Effenberger, E.* und *A. Linder*: Statistische Untersuchungen über den Wochengang des Staubgehaltes der Luft in einer Großstadt. Annalen der Meteorologie 8, 149–162 (1958). Untersuchungen über den Tagesgang der Luft in einer Großstadt. Annalen der Meteorologie 8, 235–255 (1958).
- [9] *Egle, K.*: Die Analyse der Schwefeldioxydwirkung auf Pflanzen im Naturexperiment und im Laboratoriumsversuch. Staub 21, 51–52 (1961).
- [10] *Fisher, Sir Ronald A.*: Statistical methods for research workers. Verlag Oliver and Boyd, Edinburgh/London, 1954.
- [11] *Guderian, R.*: Ergebnisse aus dem Freilandversuch Biersdorf/Sieg zur Ermittlung von Schwefeldioxydwirkungen auf die Vegetation. Staub 21, 60–61 (1961).
- [12] *Hasenclever, D.*: Untersuchungen über die Eignung verschiedener Staubmeßgeräte zur betrieblichen Messung von mineralischen Stauben. Staub, Heft 41, 388–435 (1955).
- [13] *van Haut, H.*: Die Analyse von Schwefeldioxydwirkungen auf Pflanzen im Laboratoriumsversuch. Staub 21, 52–56 (1961).
- [14] *Klug, W.*: Praktische Anwendung der Ausbreitungsrechnung. Staub 21, 109–112 (1961).
- [15] *Liesegang, W.*: Kl. Mitteil. Ver. Wasser-, Boden- und Lufthyg. 9, 306–315 (1933).
- [16] *Linder, A.*: Planen und Auswerten von Versuchen. Verlag Birkhäuser Basel/Stuttgart 1953. Zweite, unveränderte Auflage.
- [17] *Linder, A.*: Statistische Methoden. Verlag Birkhäuser Basel/Stuttgart. 3. erweiterte Auflage 1960.
- [18] *Markusch, H.*: Über Experimente zur Gasausbreitung. Staub 21, 116–118 (1961).
- [19] *Schmidt, W.*: Der Massenaustausch in Luft und verwandte Erscheinungen. Probleme der kosmischen Physik, Hamburg 1915.
- [20] *Symon, K.*: Znecestieni ovdusi a jeho vztah ke zdravotnimu stavu obyvatelstva. Ceskoslovenska Hygiene 5, 72–76 (1960).
- [21] *Symon, K., V. Kaplan, O. Absolonova a L. Moulra*: Studium vlivu znecestieni ovzdusi v Berounu a Kralove dvore na zdravotni stav deti. Ceskoslovenska Hygiene 5, 88–100 (1960).
- [22] *Trub, C. L. Paul und Posch, J.*: Gesundheitsschädigende Einwirkungen der verunreinigten Luft auf den Menschen. Sonderheft Luftverunreinigung 1960. Düsseldorf Kommunal-Verl.
- [23] *Wippermann, F.*: Möglichkeiten einer theoretischen Erfassung des Ausbreitungsvorganges. Staub 21, 104–109 (1961).
- [24] *Zahn, R.*: Wirkungen von Schwefeldioxyd auf die Vegetation. Ergebnisse von Begasungsversuchen. Staub 21, 56–60 (1961).