

Schriftenreihe des Vereins für
Wasser-, Boden- und Lufthygiene

41

Herausgegeben von Prof. Dr. F. Meinck

Lufthygiene 1974



Gustav Fischer Verlag · Stuttgart · 1974

Schriftenreihe des Vereins für
Wasser-, Boden- und Lufthygiene

41

Herausgegeben von Prof. Dr. F. Meinck

Lufthygiene

1974



Gustav Fischer Verlag · Stuttgart · 1974

Der 1902 gegründete gemeinnützige Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene E.V. fördert das gleichnamige Institut des Bundesgesundheitsamtes.

Außerdem tritt er über das Institut mit wissenschaftlichen Veranstaltungen auf den einschlägigen Gebieten der Umwelthygiene und der Gesundheitstechnik an die Öffentlichkeit.

Er gibt für seine Mitglieder die Schriftenreihe und die Literaturberichte für Wasser, Abwasser, Luft und feste Abfallstoffe (Gustav Fischer Verlag, Stuttgart) heraus.

Geschäftsführender Vorstand:

Oberstadtdirektor Hans-Diether Imhoff, Dortmund,
Reg.-Baumeister a.D. Dr.-Ing. Erich Knop, Essen,
Direktor Dr.-Ing. Heinz Tessendorff, Berlin,

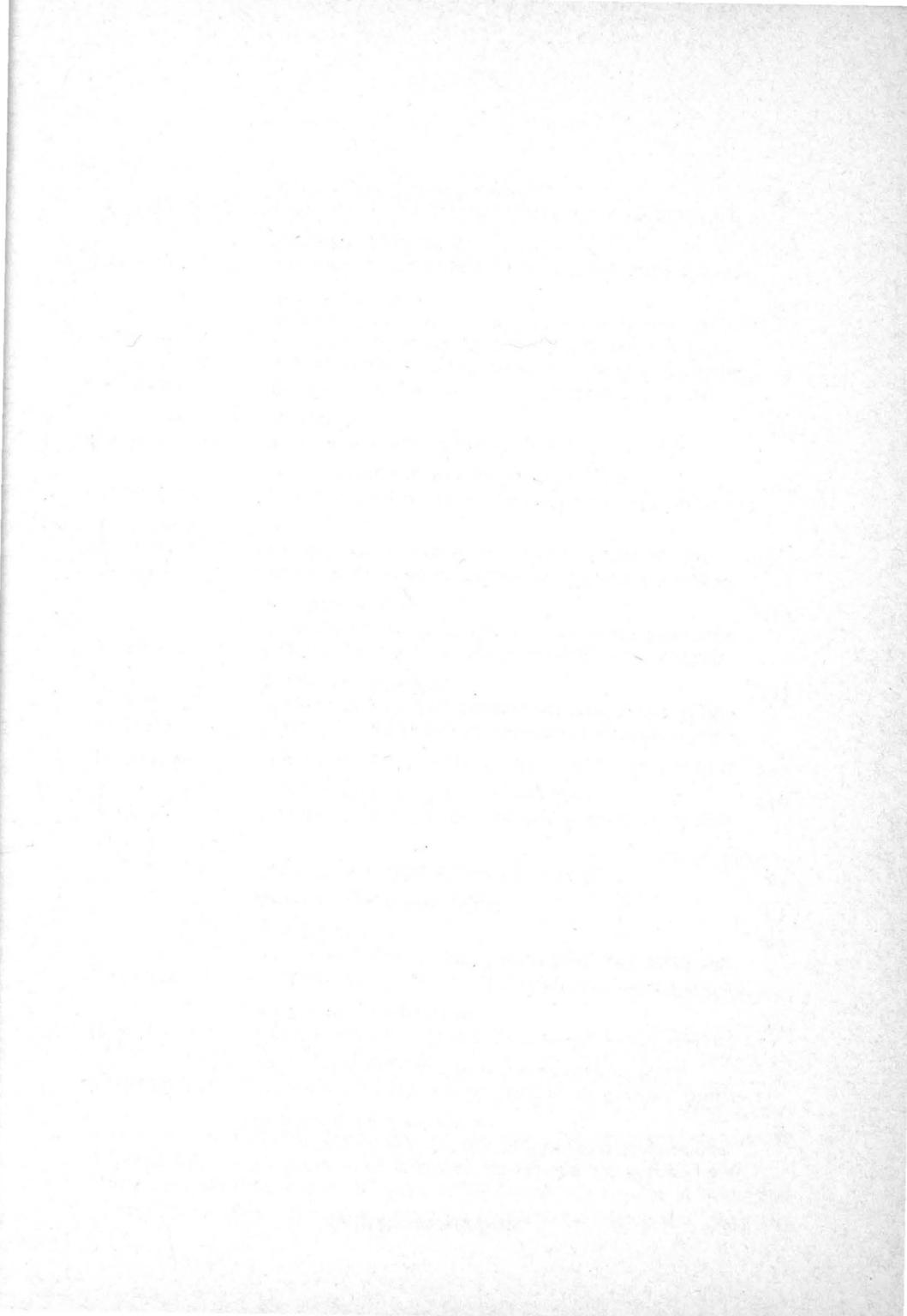
Geschäftsführung:

Dipl.-Ing. Helmut Schönberg, 1 Berlin 33, Postfach

Alle Rechte der Übersetzung vorbehalten
Copyright by Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem
Printed in Germany
ISBN-3-437-30208-6

Inhaltsverzeichnis

H.-D. Imhoff	50 Jahre „Lufthygiene“ im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Begrüßung der Teilnehmer	5
F. Höffken	50 Jahre Lufthygiene im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes	9
H.-W. Georgii	Langfristige Aspekte der großräumigen und regionalen Immissionssituation	19
A. Heller	50 Jahre Arbeitsgebiet „Lufthygiene“ beim Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes	35
	Literaturzusammenstellung	61
E. Lahmann	Schwefeldioxid-Immissionen in Berlin	83
K.-E. Prescher		
W. Fett	Simulation der Ausbreitung von Luftverunreinigungen mittels einer Tischrechenanlage	115
H. Kettner	„Gaspermeator“ - eine Variation des „Gasdiffusors“	145
L. Laskus	Windrichtungsabhängige Auswertung automatischer Messungen von Bleistaubimmissionen in der Umgebung einer Bleihütte	153
D. Kasiske		
L. Laskus	Ein Meßgerät zur automatischen, gravimetrischen Bestimmung der Staubkonzentration im Rauchgas von Kraftwerken	171
O. Maier		
H. Schnitzler	Wirkungsweise einer Anlage zur Datenerfassung für die Kalibrierung registrierender Emissionsgeräte	201
G. Liedigk		
H.M. Wagner	Tierexpositionseinrichtungen für Untersuchungen zur Wirkung von Luftverunreinigungen	217
H.M. Wagner	Retention einiger Kohlenwasserstoffe bei der Inhalation	225
R. Schiele		
K.-H. Schaller	Die Bestimmung der freien Erythrozytenporphyrine als schneller Suchtest einer erhöhten Bleiexposition und seine Validität im Vergleich zum Blutbleispiegel und zur Delta-Aminolävulinsäure-Dehydratase-Aktivität	231
H.M. Wagner		
W. Sinn	Technische und experimentelle Praxis umwelt simulierender Gasbelastung	241
C. Hülsenberg	Einwirkung von gasförmigem Chlorwasserstoff auf gärtnerische Nutzpflanzen	267



**50 Jahre „Lufthygiene“ im
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
des Bundesgesundheitsamtes**

Begrüßung der Teilnehmer

von H.-D. Imhoff

Meine sehr geehrten Damen und Herren!

Ich freue mich sehr, daß Sie unserer Einladung gefolgt sind, um gemeinsam mit dem Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene sowie dem Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes das 50jährige Bestehen des Fachgebietes Lufthygiene festlich zu begehen.

Mein besonderer Gruß gilt dem Präsidenten des Umweltbundesamtes, Herrn Dr. Freiherr von Lersner, der als Vertreter von Herrn Bundesminister Genscher und Herrn Staatssekretär Dr. Hartkopf unter uns weilt. Als Vertreter der Frau Bundesministerin für Jugend, Familie und Gesundheit begrüße ich Herrn Regierungsmedizinaldirektor Dr. Holl. Vom niederländischen Reichsamt für Volksgesundheit in Bilthoven kann ich Herrn Generaldirektor Dr. Spaander willkommen heißen. Vom Hygieneinstitut der Universität Innsbruck weilt Herr Prof. Dr. Dr. Benger in unserer Mitte.

Besonders herzlich begrüße ich den Referenten des heutigen Tages, Herrn Prof. Dr. Georgii, vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt am Main, der in seinem Festvortrag über „Langperiodische Aspekte der Luftverunreinigung“ zu uns sprechen wird. Wir dürfen ihm dafür im voraus unseren herzlichen Dank sagen.

Der Präsident des Bundesgesundheitsamtes, Herr Prof. Henneberg ist leider verhindert. Er hat uns ein Schreiben übersandt mit sehr freundlichen Worten für den Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene und vielen guten Wünschen für die heutige Veranstaltung.

Meine Damen und Herren, unser aller Umweltbewußtsein ist wohl erst in den letzten Jahren richtig geweckt - zumindest aber doch erheblich geschärft - worden. Heute ist jeder „in“, wenn er sich für die Reinhaltung des Wassers und der Luft einsetzt. Um so bemerkenswerter erscheint daher das Jubiläum, das wir jetzt feiern können: Schon seit 50 Jahren beschäftigt sich das Institut, in dem wir uns heute befinden, unter anderem damit, wie die Verunreinigung der Luft durch Staub, Rauch- und Abgase bekämpft werden kann. Was in den letzten 5 Jahrzehnten insbesondere auf diesem

Gebiet an beachtlicher Forschungsarbeit geleistet wurde, wird Ihnen gleich Herr Prof. Dr. Höffken im einzelnen darlegen.

Ich möchte mich deshalb darauf beschränken, Ihnen etwas über die Geschichte des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene zu berichten, der seit nun gut 71 Jahren mit dem Institut so eng verbunden ist. Ich tue das um so lieber, weil Sie bei mir - als dem gerade vor 5 Monaten neu gewählten Vorsitzer des Vereins - genügend Unbefangenheit voraussetzen können. Ich habe mich übrigens - wenn ich mir diese persönliche Bemerkung erlauben darf - über die Wahl sehr gefreut, weil damit nach langer Pause gewissermaßen auch wieder die durch mich vertretene Stadt Dortmund in die Leitung des Vereins berufen worden ist. Wir werden in unserer Ruhrgebiestadt tagtäglich mit den Problemen des Umweltschutzes konfrontiert und wissen daher ganz besonders die bedeutende Tätigkeit des Instituts auf diesem Gebiet zu würdigen.

Wenn ich sagte, daß Dortmund wieder in der Spurze des Vereins vertreten ist, dann wollte ich daran erinnern, daß schon einmal ein Dortmunder dem Verein vorstand, und zwar von 1924 - 1934 unser damaliger Oberbürgermeister Dr. Eichhoff, der auch Ehrenmitglied des Instituts wurde. Verzeihen Sie, daß ich Dortmund als Aufhänger benutzt habe. Damit bin ich schon mitten in der Vereinsgeschichte, die 1902 begann, knapp 10 Monate nach Gründung der „Königlichen Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“. Interessenten aus Kreisen der Gemeinden, Gemeindeverbände und Industrie fanden sich zusammen, um die Anstalt ideell und finanziell zu unterstützen. Gleichzeitig konnten sich so Praxis und wissenschaftliche Forschung erfreulich ergänzen.

Der damals gegründete Verein für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, der seinen Namen stets der Entwicklung und Aufgabenerweiterung des Instituts anpaßte und heute daher den Namen Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene trägt, betrachtete es stets als sein einziges Ziel - ich zitiere -, „bei den Aufgaben und Arbeiten des Instituts mitzuwirken und deren Durchführung mit Geldmitteln zu fördern“. So entstand eine fruchtbare Wechselwirkung zwischen Theorie und Praxis, zwischen Forschung und Anwendung: Die aus der Sicht der Kommunen und der Industrie vorhandenen Probleme wurden vordringlich wissenschaftlich erforscht und die Arbeiten des Instituts konnten jeweils mit den Erfordernissen der Praxis abgestimmt werden.

Ein wichtiger Bestandteil des Institutslebens waren dabei wohl auch die finanziellen Hilfen, die der Verein stets gern gewährte. Bis 1945 konnten so insgesamt 1,3 Millionen Mark für die Durchführung von Arbeiten und als Vergütung für junge wissenschaftliche Mitarbeiter zur Verfügung gestellt werden.

Vielleicht darf ich auch noch darauf hinweisen, daß der Verein sich ener-
gisch - und erfolgreich - für die Erhaltung dieser wissenschaftlichen Ein-
richtung einsetzte, als man 1924 im damaligen Preußischen Ministerium
für Volkswohlfahrt ernstlich erwog, im Zuge der Sparmaßnahmen nach
der Inflation die Anstalt aufzulösen. Wie in so vielen Fällen unterbrach
auch hier der 2. Weltkrieg die gute Zusammenarbeit zwischen Institut und
Verein, die aber gleich 1946 wieder aufgenommen wurde. Allerdings war
das Vereinsvermögen verlorengegangen, so daß bis heute - was ich als der-
zeitiger Vereinsvorsitzender wirklich bedauere - unsere finanzielle Unterstü-
zung des Instituts noch nicht wieder das Vorkriegsniveau erreichen konnte.
Gleichwohl aber übernahm der Verein bald wieder Unterweisungslehrgänge
für Mitglieder; Fortbildungskurse für Hoch- und Fachschulabsolventen, die
in Wasserversorgungsunternehmen, Fachbehörden und Fachfirmen tätig
sind; führte wissenschaftliche Vortragsveranstaltungen durch und unterstüt-
zte auch wieder bestimmte Forschungsarbeiten des Instituts. Insbesondere
konnten an Stelle der von 1924 - 1943 erschienenen, bekannten und ge-
schätzten „Kleinen Mitteilungen“ seit 1950 zusammen mit dem Institut
die „Literaturberichte über Wasser, Abwasser, Luft und Boden“ herausge-
geben werden.

Neu eingerichtet wurde nach dem Kriege außerdem die „Schriftenreihe
des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene“, die ich Ihrer Aufmerk-
samkeit empfehle, meine Damen und Herren, wenn Sie sich eingehender,
als ich das hier tun kann, über die Geschichte des Instituts und des Ver-
eins informieren möchten. Dabei ist es mir eine Verpflichtung, zwei ein-
schlägige Publikationen besonders zu nennen, weil ich ihnen selbst wertvolle
Anregungen verdanke. Ich meine die Schrift 18, die der frühere Insti-
tutsleiter, Herr Professor Dr. Naumann, aus Anlaß des 60jährigen Instituts-
bestehens verfaßte, und eine Veröffentlichung von Herrn Prof. Dr. Höffken
in Heft 27 mit dem Titel „Der Verein und das Institut für Wasser-, Boden-
und Lufthygiene“.

Meine Damen und Herren, die im Institut praktizierte Zusammenarbeit
der Vertreter verschiedenster Fakultätsbereiche, z.B. von Chemikern, Bo-
tanikern, Medizinern, Physikern und Meteorologen, die zudem noch durch
Erfahrungsaustausch auf nationaler und internationaler Ebene bereichert
wird, ist eine Form der „team-works“, die auch den heutigen, ständig stei-
genden Anforderungen an die Wissenschaft gewachsen ist. So gesehen, dür-
fen wir das heutige Jubiläum auch nicht losgelöst von den übrigen Insti-
tutszweigen betrachten. Der Zusammenhang zwischen den Arbeitsgebieten
Wasser, Abwasser, Boden und Luft muß erhalten bleiben. Die moderne
Bezeichnung „Umwelthygiene“, die ohne interdisziplinäre Zusammenarbeit
nicht denkbar wäre, ist die verbindende Klammer, die die verschiedenen

Fachbereiche zusammenhält.

Von diesem Institut gehen theoretisch fundierte Impulse aus, die Hinweise darauf sein wollen, wie die uns alle bedrängenden Umweltprobleme gelöst werden könnten. Leider werden manchmal noch die Ergebnisse der Forschungsarbeit von den Praktikern nicht in dem ihnen gebührenden Maße gewürdigt. Das darf jedoch kein Anlaß für das Institut sein, in seiner Tätigkeit nachzulassen, die letztlich dem Wohlbefinden, ich möchte fast sagen dem Überleben der Menschen im Kampf mit den Umwelteinflüssen dient.

Aufgabe des Vereins wiederum wird es bleiben, die wahrlich segensreiche Arbeit dieses in Europa, vielleicht in der Welt, einzigartigen Instituts - wie bisher - nach Kräften zu unterstützen. Damit unterstreiche ich den Wunsch nach weiterer guter Zusammenarbeit und wünsche darüber hinaus im Namen des Vereins dem WaBoLu, wie man in Fachkreisen so schön salopp sagt, daß auch zukünftig erforderliche, jeweils notwendige finanzielle Hilfe der öffentlichen Hand nicht ausbleiben wird - zu unser aller Nutzen.

Oberstadtdirektor
H.-D. Imhoff

46 Dortmund, Südwall 2-4

50 Jahre Lufthygiene im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes*)

von *F. Höffken*

Meine sehr verehrten Damen, meine Herren!
Meine lieben Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter!

I. Einführung

Als Leiter des Institutes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene habe ich die hohe Ehre, Sie heute zu der Festveranstaltung anlässlich des 50jährigen Bestehens des Fachgebietes „Lufthygiene“ im Institut sehr herzlich begrüßen zu dürfen. Es sei mir gestattet, Ihnen einige mir wichtig erscheinende Daten aus der 50jährigen Geschichte der Fachabteilung „Lufthygiene“ zu vermitteln.

Bevor ich dies aber tue, möchte ich mich auch im Namen aller meiner Mitarbeiter bei Ihnen, Herr Oberstadtdirektor Imhoff als dem Vorsitzenden des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, sehr herzlich für Ihre guten Wünsche bedanken und dafür, daß Sie es uns ermöglicht haben, die heutige Festveranstaltung durchzuführen. Sie haben eben in Ihrer Begrüßung auf die enge Verbindung des Vereins zum Institut hingewiesen. Wenn auch in früheren Jahrzehnten die materielle Hilfe des Vereins für das Institut stärker als heute hervorgetreten ist, so sind wir auch jetzt für die vielfache Unterstützung und insbesondere für die ideelle Förderung dem Verein sehr dankbar.

So konnten von der Abteilung Lufthygiene mit Hilfe des Vereins 1968 ein Kolloquium über „Meteorologie und Lufthygiene“, 1969 ein botanisch-ökologisches Kolloquium, 1970 ein Kolloquium über „Methoden der Luftüberwachung und der Wirkungsbestimmung von atmosphärischen Schadstoffen“, 1971 in Düsseldorf ein Kolloquium über „Geruchsbelästigende Stoffe“ und gestern und heute Vormittag mit der Forschungsvereinigung Automobiltechnik eine Arbeitssitzung zur „Bestandsaufnahme der Immissionssituation durch den Kraftverkehr“ durchgeführt werden.

Nun zur Lufthygiene! Ich meine, die Luft und damit das Klima muß im Institut stets recht gut gewesen sein, denn sämtliche Institutsleiter, die seit 1950, also seit 23 Jahren die Geschichte dieses Hauses bestimmt haben, kann ich zu meiner großen Freude als unsere heutigen Gäste begrüßen. Ich heiße herzlich willkommen die Herren Kollegen Liese, Nehring und Naumann. Ferner begrüße ich ebenso herzlich Herrn Kollegen Meinck als langjährigen

Leiter der Abteilung Abwasserchemie, Abgas und Staub.

Nach dem 1. Weltkrieg Anfang der 20er Jahre traten im Reich mit seinen mißlichen wirtschaftlichen, währungspolitischen und vielschichtigen innen- und außenpolitischen Gegebenheiten neue gesundheitstechnische Probleme auf. Durch den Krieg war die Industrialisierung mächtig vorangetrieben worden. Mitarbeiter des Instituts, *R. Weldert und E. Tiegs*, hatten in einer Denkschrift ausführlich die „Hygiene der Luft“ dargestellt. Sie forderten, das Gebiet der Reinhaltung der Luft an einer staatlichen Stelle zu zentralisieren. Von dort aus sollten die im einzelnen und von Einzelnen gewonnenen Erfahrungen der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden. Auch der damalige Anstaltsleiter, Geheimer Medizinalrat *Dr. Beninde*, hat sich in der „Klinischen Wochenschrift“ im Juni 1922 für den Ausbau der Lufthygiene ausgesprochen, die dem Institut anzugliedern sei.

II. Aera Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene

Die Denkschrift und die Veröffentlichung hatten zur Folge, daß die Preußische Staatsregierung die Landesanstalt für Wasserhygiene in den Stand gesetzt hat, vom 1. April 1923 ab Aufgaben zu erfüllen, die - wie auf dem Gebiete der Wasserhygiene und der Beseitigung der festen und flüssigen Abfallstoffe - nunmehr auch auf dem Gebiet der Lufthygiene an sie herantraten. Die Anstalt führte vom 1. April 1923 die Bezeichnung „Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene“. Ich zitiere aus dem sehr umfangreichen Gründungserlaß: „Das Nebelmeer, in das an vielen Tagen des Jahres Großstädte und Industriezentren getaucht sind, ist mit einer Wirkung von Luftverunreinigungen. Die Rauchfahne von Berlin dient bei klarem, windstillem Wetter den Luftschiffen auf 100 und mehr Kilometern als Wegweiser. – Die Anstalt für Lufthygiene soll niemals polizeiliche Befugnisse haben. Sie darf vielmehr nichts anderes sein und sein wollen als eine wissenschaftliche Forschungsanstalt, deren Ziele auf das Praktische gerichtet sind.“

Das Gebiet der Lufthygiene konnte indessen erst erfolgversprechend bearbeitet werden, nachdem eine entsprechende Stellenvermehrung im Etat genehmigt war. 1927 begann dann eine äußerst fruchtbare Arbeit in dieser Fachgruppe. Die wachsenden Aufgaben führten zwangsläufig auch hier zu der traditionellen interdisziplinären Zusammenarbeit von Chemikern, Botanikern, Medizinern und Physikern.

Es war *W. Liesegang*, der mit schöpferischer Phantasie und mit leidenschaftlicher Hingabe diese Grundlagen erarbeitet hat. Seine Arbeiten über „Die Bestimmung des Staubes in der Straßenluft“ und „Über die Verteilung schwefelhaltiger Abgase in freier Luft“ waren richtungweisend.

Er war sich bewußt, daß die von ihm entwickelte „Glockenmethode“

unvollkommen war. Immer konnten nur Mittelwerte gewonnen werden. Das vollkommene Gerät der Luftuntersuchung im Freien mußte seines Erachtens ein Gerät sein, das mutmaßlich auf physikalischer Grundlage arbeitet und eine fortlaufende Registrierung der Konzentration eines Fremdstoffes in der Luft gestattet. „Ein solches Gerät würde für die Bearbeitung von Fragen der Luftverunreinigung eine Patentlösung bedeuten“. Diese seine Vorahnung ist in der Zwischenzeit durch die Einführung kontinuierlicher Meßverfahren für SO_2 , CO , CO_2 verwirklicht worden.

Das Ziel der Untersuchungen der Fachgruppe „Lufthygiene“ war nicht ausschließlich die Erfassung von chemischen oder botanischen oder gesundheitlichen Abgasschäden. Die Bekämpfung der staub- und gasförmigen Luftverunreinigungen war nur an der Emissionsquelle - also an der Quelle des Entstehens der Verunreinigung - möglich. Die Vielzahl der Gutachten wurde daher nicht allein durch Messungen von Luftfremdstoffen in der Umgebung des in Frage kommenden Emittenten, sondern in Zusammenarbeit mit der Gewerbeaufsicht durch Begehung der Betriebe erstattet. Die Bemühungen waren zielstrebig darauf gerichtet, durch technische Maßnahmen die staub- und gasförmigen Emissionen einzuschränken. Auch setzte man sich bewußt mit der damaligen Rechtsprechung auseinander, um praktische Maßstäbe für das „Ortsübliche“ und für das „Zumutbare“ zu erarbeiten.

Daß eine solche wissenschaftlich schöpferische Persönlichkeit, wie *W. Liesegang* es war, auch jüngere Mitarbeiter an sich zog, ist nicht verwunderlich. Es ist mir daher eine besondere Freude, neben seinem ersten Mitarbeiter, Herrn Kollegen *Teschner*, zwei seiner langjährigen Mitarbeiter und Schüler, Herrn Kollegen *Heller* und Herrn Kollegen *Löbner*, besonders herzlich begrüßen zu dürfen. Einige aus der Vielzahl der Arbeiten von *A. Heller* erscheinen mir in diesem Zusammenhang erwähnenswert. Es sind „Die Bestimmung von Salzsäure in der Luft“, „Die Erkennung von Eisen, Blei und Teer in Staubpräparaten“, „Die Bestimmung des Staubniederschla- ges in der Umgebung von staubauswerfenden Industriewerken“. Diese Arbeiten erweiterten die meßtechnischen Erkenntnisse von besonderen Fremdstoffen in der atmosphärischen Luft. *A. Löbner* hat sich vornehmlich mit Fragen der Staubverteilung, mit dem Staubgehalt der Großstadtluft im Sommer und Winter und mit speziellen Staubmeßgeräten beschäftigt. Für die jüngere Generation meiner Mitarbeiter scheint es mir in diesem Zusammenhang besonders erwähnenswert, daß damals die Wissenschaftler und ihre Mitarbeiter nicht mit dem Kraftfahrzeug durch die Gegend fuhren, sondern daß sie sich mit der Eisenbahn zum Standort begaben, an dem sie die Untersuchungen durchzuführen hatten. In den meisten Fällen haben sie die Meßgeräte zu den Meßpunkten getragen. Und das oft über mehrere Kilometer!

Durch die Entwicklung verbesserter chemischer und physikalischer Meßverfahren konnten die Schadensursachen der Luftverunreinigungen erkannt werden. Die von *W. Liesegang* in Gang gesetzten Aktivitäten hatten zur Folge, daß er 1939 Leiter einer besonderen chemischen Luftabteilung im Institut wurde. Die Arbeiten dieser Abteilung verstärkten zwangsläufig auch die der anderen Fachbereiche, wie Botanik und Medizin. Obwohl eine umfangreiche Rauchschadensforschung bereits vorlag, hat sich *E. Tiegs* eingehend mit Rauchschäden, vor allem über den Schwefelgehalt der Blätter, beschäftigt. Seine Schüler, insbesondere *H. Zinkernagel*, den ich heute hier ebenfalls herzlich begrüße, haben seine Arbeiten fortgesetzt. Im medizinischen Bereich hat sich neben *O. Ulsamer* *H. Lehmann*, der spätere Leiter des Instituts, mit Bleischäden und mit der Wirkung von Reizgasen auf den menschlichen Organismus (Kohlensäure, Schweflige Säure, Schwefelsäure, Salpetersäure, Nitrosegase, Salzsäure, Chlor und Fluorwasserstoff) auseinandergesetzt.

Fortbildungskurse wurden ab 1930 für Gewerbeaufsichts- und Medizinalbeamte und für Mitglieder des Vereins durchgeführt.

III. Aera Reichsanstalt für Wasser- und Luftgüte

Am 1. April 1942 wurde die Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene wieder verselbständigt und erhielt den Namen „Reichsanstalt für Wasser- und Luftgüte“. Der Reichsanstalt oblag vor allem, die wissenschaftlichen Grundlagen für die Bestimmung der Wasser- und Luftgüte zu erarbeiten. Um sie von der vielfältigen Routinearbeit zu befreien, sollten Außenstellen eingerichtet werden, die nach Flusseinzugsgebieten ihren Wirkungskreis zugewiesen erhalten sollten. 5 solcher Außenstellen wurden sogar während des Krieges etabliert und eine wurde noch eingerichtet.

Lassen Sie mich noch auf das erste Großraum-Gutachten - ich darf wohl sagen der Welt - hinweisen. Es ist im oberschlesischen Raum, einem Gebiet von etwa 100 qkm, unter der Leitung von *W. Liesegang*, von den Kollegen *Heller* und *Löbner* in den Jahren 1939 - 1942 erarbeitet worden. Mit heute einfachen, aber für die damalige Zeit optimalen Mitteln wurde ein Zusammenhang hergestellt zwischen der Gesamtemission von Hausbrand, Industrie und Eisenbahn und den Emissionswerten, die man unter den verschiedenen meteorologischen Bedingungen fand. Damals ist zum ersten Mal ein Abgas-Kataster über die Menge von Flugasche, Schweflige Säure, Schwefelwasserstoff und Zink aufgestellt worden. Ich selbst habe als der damals zuständige Referent für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in der Medizinalabteilung des Reichsministeriums des Innern als erster dieses Gutachten gelesen. Es war so beeindruckend und so faszinierend, daß mit *W. Liesegang* auch die Einrichtung von Luftuntersuchungsämtern in

entsprechend belasteten industriellen und großstädtischen Gebieten in Aussicht genommen wurde.

Nach dem Kriege hat dankens- und anerkennungswerterweise die Stadt Berlin sich der Reichsanstalt angenommen und dann später im Rahmen des „Robert Koch-Institutes für Hygiene und Infektionskrankheiten“ weiter betreut. Dem Geschick von *E. Tiegs*, der das Institut von 1945 bis 1949 leitete, war es zu verdanken, daß wichtige hygienische Aufgaben bearbeitet werden konnten. Durch seinen mutigen persönlichen Einsatz - so fuhr er z.B. einmal mit dem Fahrrad zur sowjetischen Kommandantur nach Potsdam - blieb dem Institut u.a. auch die wertvolle Bibliothek einschl. der Sonderdrucke erhalten.

Da die industrielle Tätigkeit in den ersten Nachkriegsjahren darniedergelaß, spielte damals für die Luftbeschaffenheit die Verstaubung in den zerstörten Städten die größte Rolle. Die Luftuntersuchungen beschränkten sich daher auf die Bestimmung des Staubes bzw. des Staubniederschlages, worüber *A. Löbner* mehrfach berichtet hat. Im Zuge des Wiederaufbaues der Industrie ist dann seit 1950 die gutachtliche Tätigkeit, insbesondere im Rahmen des Genehmigungsverfahrens, wieder aufgenommen worden. Durch einen Erlaß des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung war dies Amtsaufgabe für die Fachgruppe Lufthygiene.

IV. Aera Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene

Als Institut des 1952 errichteten **Bundesgesundheitsamtes** wurde auch ihm als Aufgabe die „Forschung auf dem Gebiet der öffentlichen Gesundheitspflege“ übertragen. Die Überwachungsaufgaben, die früher im Mittelpunkt der Arbeit gestanden hatten, traten nunmehr zurück zugunsten der Erstattung von Grundsatz- und Obergutachten. Es wurden etwa 50 Gutachten - teils als Genehmigungs- teils als Großraumgutachten - erstellt, z.B. für die Bezirke Hannover und Braunschweig, für die Städte Duisburg, Köln, Frankfurt, Wiesbaden, Mannheim-Ludwigshafen.

Seit Anfang 1961 ist die Lufthygiene auch in der Außenstelle des Instituts in Düsseldorf vertreten, um praxisnahe Forschung und Begutachtung in Verbindung mit staatlichen und kommunalen Dienststellen des Landes Nordrhein-Westfalen durchzuführen.

1962 haben einige Länder eigene Institutionen zur Überwachung und Beratung im Rahmen der neuen gewerberechtlichen Bestimmungen eingerichtet. Dadurch konnte im Sinne der Amtsaufgabe die „Forschung auf dem Gebiet der öffentlichen Gesundheitspflege“ intensiviert werden. In Grundsatzgutachten wurden z.B. in Bayern vor Errichtung der petrochemischen Werke in Ingolstadt und Neustadt die Grundbelastung für diejenigen Fremdstoffe in der Luft ermittelt, die später als Immissionen zu er-

warten sind. Daneben wurden Erhebungen für Großraumgutachten an einigen der oben erwähnten Gebiete erweitert und durch neue Fragestellung mit zum Teil neuen Meßverfahren fortgesetzt und abgeschlossen.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/M., dessen Leiter, Herr Kollege Georgii, dankenswerterweise den Festvortrag übernommen hat und mit dem uns eine vertrauliche Zusammenarbeit verbindet, sowie mit der Prüfstelle der Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen in Kassel werden seit 1971 spezielle lufthygienische Untersuchungen in der Region Untermain durchgeführt.

In den Laboratorien sind chemische und physikalisch-chemische Verfahren zur Emissions- und Immissionsuntersuchung entwickelt und bekannte Methoden überprüft worden. Auf dem Gebiete kontinuierlich registrierender Meßverfahren, der Datenübertragung auf eine Entfernung von etwa 10 km, sind ebenso wie auf den Gebieten der Eich- und Prüfgase, der spektroskopischen Methoden sowie der Gaschromatographie Fortschritte erzielt worden.

1962 ist zum ersten Mal ein selbständiges Gesundheitsministerium eingERICHTET worden. Die eingetretene Verschmutzung der Luft machte die Errichtung einer besonderen Unterabteilung „Luftreinhaltung“ notwendig. Diese Tatsache sowie die rasch wachsenden Aufgaben des Arbeitsgebietes im Institut führten 1964 zur selbständigen Abteilung unter Leitung von *A. Heller*.

Der Aufgabenbereich, Immissionsuntersuchungen, Meteorologie und Botanik, wurde bald durch Emissionsmessungen, spezielle Analysenverfahren, sowie Toxikologie der Luftverunreinigung, Pathophysiologie und Aerosolphysiologie erweitert. Neben der Bearbeitung botanischer Fragen in der Außenstelle Düsseldorf werden seit 1970 auf dem Versuchsfeld Hattersheim bei Frankfurt/M. die Wirkungen von Luftfremdstoffen auf Kulturpflanzen, zuletzt verschiedener Konzentrationen von Chlorwasserstoff, erforscht. Im Laufe des Jahres 1970 hat sich im Hinblick auf die Bedeutung der Wirkungen von Luftschaadstoffen für die Umwelthygiene die Trennung der Arbeitsgebiete Analytik der Luftreinhaltung von der Wirkungsgruppe als zweckmäßig erwiesen. Es gibt seitdem in der Abteilung Lufthygiene zwei Fachgruppen.

Dank der technischen Hilfe der Berliner Elektrizitätswerke können seit mehreren Jahren wichtige Untersuchungen auf Abgasbestandteile, insbesondere die Messung von Staub- und Schwefeldioxidemissionen, in den Kraftwerken Rudow und demnächst auch am Barnackufer in Lichtenfelde vorgenommen werden. Die Außenstelle Düsseldorf ist an dem Luftmeßprogramm des Landes Nordrhein-Westfalen beteiligt und hat viele Jahre lang wichtige analytische und botanische Untersuchungen gemeinsam mit ört-

lichen Dienststellen, u.a. in Duisburg, durchgeführt. Die Bedeutung der Meteorologie sowohl für die Außenluftanalytik als auch für die Wirkung der Fremdstoffe konnte anhand neuer Modelluntersuchungen dargestellt werden. Mit den Untersuchungen von Luftverunreinigungen durch Kraftfahrzeuge wurde Mitte der 60er Jahre in Berlin begonnen. Über die Wirkung der verschiedenen Fremdstoffe in den Kfz-Abgasen sind in einer besonders für diesen Zweck erstellten Versuchsanlage umfangreiche Untersuchungen in Angriff genommen worden. Besonders sei auch auf die Blei- und Stickoxiduntersuchungen hingewiesen. Durch die enge Zusammenarbeit zwischen den Angehörigen der beiden Fachgruppen konnten insgesamt mehr als 30 Veröffentlichungen über die Analytik, das Auftreten und die Wirkung der Kfz-Abgasbestandteile herausgebracht werden.

In einem Untersuchungsprogramm mit dem Land Niedersachsen und Instituten der Universitäten Aachen, Berlin und Erlangen, mit Staatlichen Untersuchungsämtern und der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, Neuherberg bei München, werden die Auswirkungen von industriellen Bleiimmissionen auf die Bevölkerung untersucht. Durch kontinuierliche Immissionsmessungen und Erfassung der meteorologischen Gegebenheiten sind die Voraussetzungen geschaffen, eine ökologische Analyse zur Erfassung der Bevölkerungsbelastung durch Blei zu erstellen. Auch diese Studie führte wieder zu einer weitgehenden Kooperation der Mitarbeiter der verschiedenen Abteilungen des Instituts.

V. Künftige Entwicklung des Arbeitsgebietes

Bereits im Mai 1971 wurde vom Bundesfinanzministerium der im Institut vor Jahren ausgearbeitete Ausbauplan dem Haushaltsausschuß des Deutschen Bundestages vorgelegt. Nachdem nunmehr durch Erlass des Bundeskanzlers die Fachaufsicht über die WaBoLu und die Zuständigkeit für die Umwelthygiene beim Bundesministerium des Innern liegen, kann endlich am morgigen Tage in der Ad-Hoc-Kommission des Deutschen Bundestages der bereits seit Jahren konzipierte Ausbauplan beraten werden.

Nach diesem Ausbauplan obliegt der Abteilung „Lufthygiene“ mit ihren beiden Fachgruppen „Lufthygienische Umweltbelastung“ und „Wirkungen der Luftverunreinigungen“ folgende Aufgabe: Erforschung der medizinischen, biologischen, chemischen, physikalischen und bioklimatischen Faktoren zur Gewinnung von Unterlagen für die gesundheitsbezogenen Anforderungen an die Beschaffenheit der Luft und an die Maßnahmen zu deren Reinhaltung.

Die Fachgruppe „Lufthygienische Umweltbelastung“ stellt hierfür das spezielle analytische und untersuchungstechnische Instrumentarium zur Erfassung hygienisch bedenklicher Gase und Stäube in atmosphärischer

Luft, in Expositionsgasen und in speziellen Abgasen zur Verfügung. Sie ermittelt im Rahmen der gesundheitsbezogenen Aufgabenstellung Belastungen mit lufthygienisch relevanten Stoffen durch Untersuchungen und Auswertungen sowie durch Erfassung und Bewertung von Daten und Informationen. Ein wichtiges Ziel dieser Arbeiten ist die gegenseitige Umsetzung von Wirkungskriterien und Methodiken der Luftuntersuchung. Ohne auf die Arbeiten der einzelnen Laboratorien dieser Fachgruppe einzugehen, möchte ich Sie doch auf das Laboratorium für Ermittlung hygienischer Wechselwirkungen zwischen Luft, Wasser sowie Boden hier besonders hinweisen, das sich mit den komplexen Schadwirkungen durch Luftverunreinigungen auf andere Umweltbereiche und - indirekt - auch auf die Bevölkerung befassen soll. Die Forschungen dieses Laboratoriums verknüpfen die Arbeiten der Fachgruppe eng mit den Aufgaben der anderen Abteilungen des Instituts.

In der Fachgruppe „Wirkungen der Luftverunreinigungen“ wird die umwelthygienische Bedeutung von Luftfremdstoffen beurteilt. Die Ergebnisse von Laboratoriumsversuchen und von Feldversuchen sowie die lufthygienisch-ökologische Korrelation dienen als Unterlagen für eine solche Bewertung. Zur Beurteilung der direkten und indirekten Wirkungen auf den Menschen werden auch die Ergebnisse von Untersuchungen herangezogen, die bei der Erforschung der Einwirkungen des betreffenden Luftschadstoffes auf Tier und Pflanzen gewonnen worden sind. Ein wichtiges Ziel der Forschungen dieser Fachgruppe ist die Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Aufstellung von Grenzwerten für bestimmte, als Luftverunreinigung in Betracht kommende Stoffe. Weitere Ziele sind die Erfassung und Bewertung der Wirkung von Schadstoffkombinationen zur Klärung möglicher synergistischer Effekte. Dazu bedarf es der Verwendung bekannter, aber auch der Entwicklung neuer Untersuchungsverfahren. Neben besonderen biochemischen Untersuchungsverfahren handelt es sich dabei u.a. um kardio-angiologische, pneumologische, hämatologische und elektrophysiologische Untersuchungsmethoden. In enger Zusammenarbeit der beiden Fachgruppen miteinander und mit den anderen Abteilungen des Instituts sollen somit in der Abteilung „Lufthygiene“ die Unterlagen für den möglichst weitgehenden Gesundheitsschutz der Bevölkerung vor Luftfremdstoffen erforscht werden.

Mit dem im Aufbau befindlichen Umweltbundesamt in Berlin ist eine enge Kooperation vorgesehen. Ich bin der festen Überzeugung, daß durch diese Zusammenarbeit für die vielschichtigen und vielseitigen Probleme des Umweltschutzes und der Umwelthygiene optimale Lösungen erarbeitet werden können.

Wegen der Vielfalt der Probleme auf dem Gebiete der lufthygienischen

Wirkungsforschung erscheint mir eine Abstimmung mit den auf diesem Gebiet sonst noch tätigen Institutionen sinnvoll, wie z.B. Medizinisches Institut für Lufthygiene und Silikoseforschung in Düsseldorf, Deutsches Krebsforschungszentrum in Heidelberg und Hygiene-Institut Hamburg.

VI. Zusammenfassung

Ich fasse zusammen: Da die Luftverunreinigung in steter Beziehung zu Abwasser und Abfall steht, lag es nahe, sie in den Institutsbereich zu integrieren. Die integrierte Bearbeitung von Fragen der Umwelthygiene durch das Institut wird auch Maßstab sein für den weiteren Ausbau, wobei hier von vornherein an die enge Wechselbeziehung der verschiedenen Umweltbereiche durch die verschiedenen Verursacher gedacht wird. Mögen im allgemeinen Organisationspläne der eigentliche Maßstab für die Arbeitsweise eines Instituts sein, so möchte ich doch darauf hinweisen, daß in diesem Institut gerade die vielfältigen Veröffentlichungen in den letzten Jahrzehnten die enge Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Umweltbereichen und der Wissenschaftler der verschiedenen Arbeitsgebiete dargetan haben. So ist der heutige Tag nicht allein für die Mitarbeiter der Abteilung Lufthygiene von besonderer Bedeutung, sondern für alle im Institut auf dem Gebiete der Umwelthygiene Tätigen ein besonderer Freudentag. Gerade die Diskussionen der letzten Monate haben gezeigt, daß die Einheit Wasser-, Boden- und Lufthygiene eine ganz besonders wertvolle Organisationsform ist. Sie muß auch bei der weiteren Planung unbedingt erhalten bleiben, um eine sinnvolle Umwelthygiene-Forschung betreiben zu können.

Es ist mir auch eine besondere Ehre, am heutigen Tag den in- und ausländischen Gästen zu danken. Nur durch die enge Zusammenarbeit mit anderen Instituten wird es in Zukunft möglich sein, der Lösung der vielschichtigen Probleme der Umwelthygiene im Rahmen von nationalen und internationalen Abstimmungen näherzukommen. Von den vielen nationalen und internationalen Verbindungen der Lufthygiene sei beispielhaft hier aufgeführt:

Die niederländisch-deutsche Zusammenarbeit, die sich nicht nur auf die Reinhaltung der Luft beschränkt, sondern auch die des Wassers einschließt.

Am Schluß meiner Ausführungen möchte ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der beiden Fachgruppen in der Abteilung sehr herzlich für die geleistete Arbeit danken. Sie haben jeder an dem Platz, auf den Sie gestellt waren, zum Arbeitserfolg beigetragen. Außerdem möchte ich an dieser Stelle nicht versäumen, für die freundlichen Grußworte in der Feierstunde zu danken den Herren:

RegMedDirektor Dr. Holl, im Auftrage des Bundesministers für Jugend, Familie und Gesundheit

Präsident (Umweltbundesamt) Dr. von Lersner, im Auftrage des
Bundesministers des Innern

Generaldirektor Dr. J. Spaander, Rijksinstituut voor de Volksgezond-
heid, Bilthoven/Niederlande

Prof. Dr. Dr. Benger, Universität Innsbruck/Österreich

Ich schließe mit dem Wunsche, daß auch künftig der Abteilung auf dem
ihr bestimmten Gebiet der Umwelthygiene Erfolg in reichem Maße
beschieden sei.

Erster Direktor und Professor
beim Bundesgesundheitsamt
Dr. med. F. Höffken
1 Berlin 33, Corrensplatz 1

Langfristige Aspekte der großräumigen und regionalen Immissionssituation

von H.-W. Georgii

50 Jahre praxisbezogene Forschung auf dem Gebiet der Lufthygiene fordern in einem Bericht über einen langperiodischen Trend der Immissionssituation zunächst zu einer Betrachtung des „Trends“ der Institutsarbeit heraus. Wenn man die Reihe der Institutspublikationen auch nur oberflächlich anschaut, so muß man sie ganz fraglos, um ein heutiges Modewort zu gebrauchen, als „progressiv“ bezeichnen. In in die Zukunft weisenden Arbeiten hat sich *Liesegang* bereits in den zwanziger Jahren mit so aktuellen Themen wie der Zusammensetzung und den gesundheitlichen Eigenschaften der Automobilabgase oder mit der Chemie der Niederschläge beschäftigt, hat *Ulsamer* über die Großstadtluft und ihre Bedeutung für die menschliche Gesundheit gearbeitet. „Die Luft, die der Berliner atmet“ lautet der Titel einer Veröffentlichung von *Lehmann* aus dem Jahre 1932. Dieses Problem ist auch heute, 40 Jahre später, noch aktuell und steht im Vordergrund von Untersuchungen, die *E. Lahmann* über die Verteilung der Kohlenmonoxidkonzentration im Berliner Stadtgebiet durchführte.

Ein „Trend“ ist auch in der Zahl der jährlich erschienenen Publikationen aus dem Arbeitsgebiet „Luft“ des Institutes für Wasser-, Boden und Lufthygiene zu erkennen. Wie Fig. 1 zeigt, wird nach einer konstant produktiven Phase bis etwa zum Beginn des zweiten Weltkrieges eine durch Krieg und Nachkriegszeit bedingte Stagnation abgelöst durch eine Phase zunehmender Produktivität ab etwa Mitte der Fünfziger Jahre, die einmündet in einen seit einigen Jahren erfreulich steilen Anstieg der Zahl der Veröffentlichungen. Es liegt mir fern, die Leistung eines Institutes und seine wissenschaftliche Qualität an der Zahl der Publikationen zu messen, aber die Produktivität der Institutsangehörigen, der Ausbau der Kapazität und damit Bedeutung und Resonanz der Institutsarbeit finden in diesen Zahlen einen gewissen meßbaren Ausdruck. Es bleibt zu hoffen und zu wünschen, daß diese Produktivität erhalten bleibt, sich mit weiterer notwendiger Expansion des Arbeitsfeldes noch steigert, denn Aktualität und Gesellschaftsrelevanz des Arbeitsgebietes „Lufthygiene“ stellen es in die erste Reihe förderungswürdiger Forschungsgebiete.

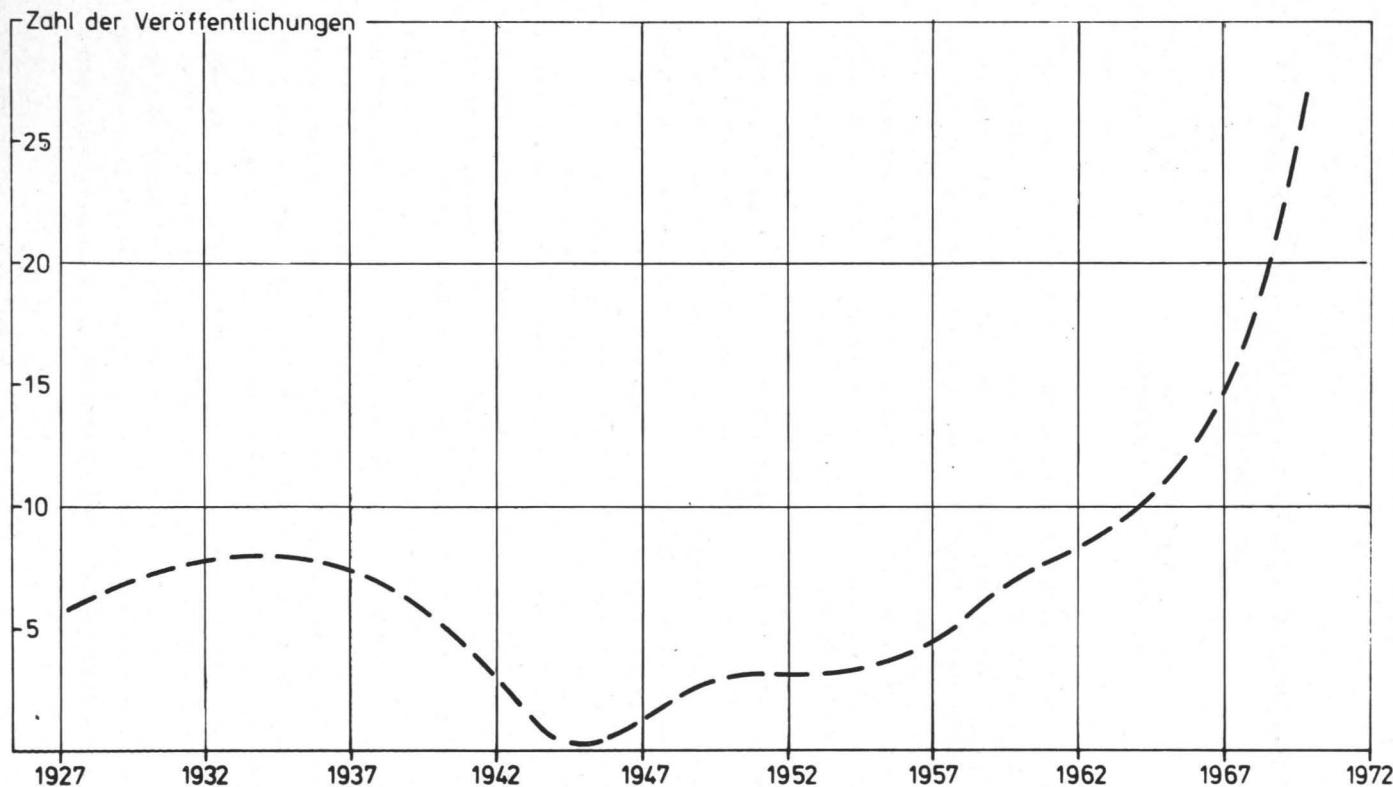


Fig. 1: Trend der Publikationen aus dem Arbeitsgebiet „Luft“ des Institutes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene

In meinen Ausführungen über langfristige Aspekte der Immissionssituation möchte ich auf zwei Probleme eingehen, die eng miteinander verknüpft sind, einmal die Anzeichen für eine weltweite Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre, zum anderen die zeitliche Tendenz der Veränderung der Belastung der Atmosphäre mit Luftverunreinigungen in Ballungsgebieten. Es wird dabei nicht möglich sein, beide Probleme umfassend zu behandeln, sondern mehr die Tendenz zu skizzieren.

Die Bevölkerung der Großstädte sieht die lufthygienische Situation meist dann ohne Besorgnis, wenn durch die natürliche Horizontal- und Vertikalverfrachtung der Luftmassen ein ausreichender natürlicher Luftwechsel aufrecht erhalten wird und die von den ausgedehnten Flächenquellen produzierten und in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe genügend rasch aus den Quellgebieten abtransportiert werden und sich nicht über den Ballungsgebieten akkumulieren. Es ist jedoch zu bedenken, daß diese luftfremden Beimengungen damit noch nicht endgültig aus der Atmosphäre entfernt sind, sondern mit den Luftpartikeln über große Entfernungen mitdriften können.

Wenn wir den Haushalt verschiedener Spurenstoffe in der Atmosphäre betrachten, so haben wir folgende Grundtatsachen im Auge zu behalten:

1. Die atmosphärische Verweilzeit verschiedener Komponenten ist unterschiedlich. Dies hat seine Ursache in einer unterschiedlichen Verteilung von Quellen und Senken, insbesondere von Senken innerhalb der Atmosphäre, sowie von Gasreaktionen, photochemischen Reaktionen oder Reaktionen von gasförmigen Spurenstoffen mit Aerosolen und Wolken- und Niederschlagslementen. Daraus ergibt sich bspw., daß die troposphärische Verweilzeit von CO in der Größenordnung eines Jahres liegt, die des SO₂ oder NH₃ jedoch nur von Tagen.
2. Emissionen, die in den gemäßigten Breiten der Nord- oder Südhemisphäre produziert werden, werden in der Westdrift gleichsam in einem Band um die Erde geführt, dringen jedoch nur relativ langsam in polare oder tropische Zonen vor.
3. Luftmassen und in ihnen mitgeführte Luftverunreinigungen treten erst nach Durchdringen der innertropischen Konvergenzzone von der Nord- auf die Südhemisphäre über. In dem tropischen Konvergenzbereich werden jedoch leicht reagierende Spurenstoffe, wie z.B. SO₂ oder Aerosole, in den tropischen Niederschlägen ausgewaschen. Daraus folgt, daß Spurenstoffe mit kurzer atmosphärischer Verweilzeit, deren Quellen sich vorwiegend in der Nordhemisphäre befinden, kaum den Äquator überschreiten können.
4. Anthropogene Emissionen, die an der Erdoberfläche produziert werden, breiten sich im allgemeinen nur in der Troposphäre aus, nur geringe Anteile gelangen in die Stratosphäre.

Zwei Immissionsprobleme von globaler Bedeutung und möglicherweise langfristiger Auswirkung auf das Klima möchte ich exemplarisch behandeln. Das sind 1. der weltweite Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration und 2. die zumindest auf der Nordhalbkugel zunehmende Trübung der Atmosphäre durch den Anstieg der Aerosolkonzentration. Der CO₂-Gehalt der Atmosphäre wird seit 1958 an einer Reihe von Reinluftstationen laufend verfolgt. An der Existenz der langsam globalen Zunahme der CO₂-Konzentration und an ihrem kausalen Zusammenhang mit der Zunahme fossiler Verbrennungsprozesse besteht heute kein Zweifel mehr. Nach verlässlichen Messungen aus den Jahren 1880-1900 betrug der atmosphärische CO₂-Gehalt danach 290 ppm, er stieg bis zum Jahre 1971 auf 323 ppm. Wir erwarten im Jahre 2000 einen CO₂-Gehalt von 375 ppm. Ein Teil der zusätzlich emittierten CO₂ wird von den Ozeanen aufgenommen und in der Biosphäre gespeichert, doch etwa die Hälfte verbleibt in der Atmosphäre. Die klimatische Auswirkung des CO₂-Anstieges besteht in einem Temperaturanstieg in der unteren und mittleren Troposphäre als Folge der Ultrarotabsorption und damit verminderten Ausstrahlung der Erde in den Weltraum. Modellrechnungen ergeben für eine Verdoppelung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre einen Temperaturanstieg von 2,2° C für den bis zum Jahre 2000 erwarteten Konzentrationsanstieg eine weltweite Erwärmung von 0,5° C. Dies allerdings unter Voraussetzung, daß alle anderen Parameter wie Wolkenbedeckung, Wasserdampfgehalt der Atmosphäre unverändert bleiben. Eine Zunahme der Wolkenbedeckung bspw. hätte eine abkühlende Wirkung. Man erkennt aus dieser gestrafften Schilderung, daß Klimaänderungen kaum durch die Änderung einer einzelnen Bezuggröße herbeigeführt werden, sondern meist die Folgen einer Vielzahl komplex miteinander verknüpfter Parameteränderungen sind. Bisher liegt das Ausmaß des CO₂-bedingten Temperaturanstieges unterhalb der natürlichen langperiodischen Temperaturschwankungen, deren Größenordnung etwa ±1° C ist.

Auf der Nordhalbkugel wird seit Jahren eine Zunahme der Trübung der Atmosphäre beobachtet, deren Umfang auf etwa 50 % geschätzt wird. Dieser Trübungszunahme liegt eine Zunahme der Aerosolkonzentration nicht nur in industriellen Ballungsgebieten, sondern weltweit zugrunde. Hierbei sind die Teilchen im Größenbereich um 0,5 µm, d.h. im optimal wirksamen Bereich für die Trübungszunahme verantwortlich zu machen.

Bei Teilchen dieser Größe handelt es sich außerdem um eine Komponente des atmosphärischen Aerosols mit besonders langer Verweilzeit in der Atmosphäre. Wir sind heute der Auffassung, daß diese Mehrzahl der Aerosolteilchen Sekundärpartikel sind, die aus Gasreaktionen zwischen NH₃, SO₂, NO₂ und organischen Komponenten teils unter Einfluß des

Sonnenlichts gebildet werden. Die atmosphärische Verweilzeit dieser Partikel beträgt etwa 10-20 Tage, lange genug, um sich über Kontinente und Ozeane auszubreiten.

Flohn hält folgende Werte der Aerosolproduktion für realistisch:

Produktion von Aerosolteilchen in 10^6 to/Jahr

		(Radius 20 μm)	
Seesalz	300		
Mineralstaub	250		
Vegetationsbrände	80		
Vulkanstaub	30		Natürliches Aerosol
Partikel aus Gasreaktionen	700		
davon: Sulfate	150		
Ammoniumverbindungen	170		
Nitrate	240		
Kohlenwasserstoffe	140		
	1360		
Partikel von Emissionen	60		Anthropogenes
Partikel aus Gasreaktionen	250		Aerosol
davon: Sulfate	160		
Nitrate	30		
Kohlenwasserstoffe	60		
	310		

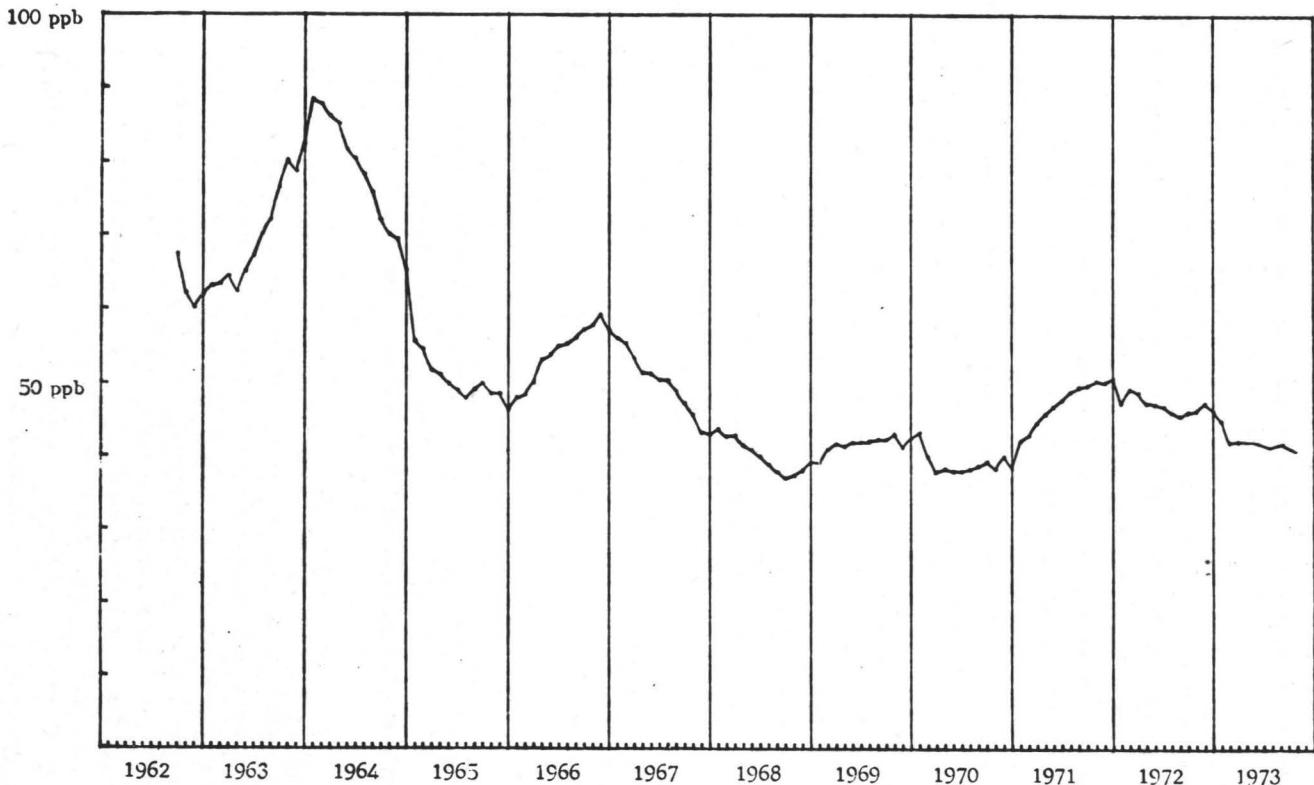
Gesamtaerosolproduktion: 1670×10^6 to/Jahr

Wir können daraus ersehen, daß etwa 20 % des Gesamtaerosols anthropogener Herkunft sind und etwa 50 % der Sulfatteilchen, die über Gasreaktionen entstanden sind, ihren Ursprung in SO_2 -Emissionen aus Verbrennungsvorgängen haben. Ohne Frage wird der zunehmende Partikelgehalt der Atmosphäre Auswirkungen auf das Klima haben. Das atmosphärische Aerosol im Größenbereich zwischen $0,3 \mu\text{m}$ und $10 \mu\text{m}$ Radius wirkt auf den Strahlungs- und Wärmehaushalt durch Streuung und Absorption der Sonnenstrahlung und Absorption der langwelligen Ausstrahlungen der Erde. Dabei ist für die kleineren Teilchen der Streueffekt dominierend, während bei den Teilchen im Größenbereich über $1 \mu\text{m}$ die Absorption vorherrschend wird. Die atmosphärische Verweilzeit dieser „Riesenkerne“ ist allerdings auch kürzer, da sie dem Einfluß der Sedimentation unterworfen sind. Mit zunehmender Höhe in der Atmosphäre nimmt die Verweilzeit für Aerosolteilchen zu und dürfte in der unteren Stratosphäre bereits mehrere Monate bis 1 Jahr betragen. Wir glauben daher annehmen zu können,

daß nicht das gasförmige SO_2 von globaler Bedeutung ist, sondern die aufgrund von Reaktionen mit SO_2 gebildeten Aerosolteilchen. Es erhebt sich somit die Frage, wie wirkt sich eine in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre erhöhte Partikelkonzentration aus?

Ein Beispiel hierfür bot der Ausbruch des Mt. Agung auf der Insel Bali im Jahr 1963. Durch diesen natürlichen mit dem Auswurf großer Staubmengen verbundenen eruptiven Vorgang war der atmosphärische Strahlungshaushalt auf Jahre gestört. Das 20 Breitenkreise breite Band der Staubteilchen in der Stratosphäre führte zu einer Erwärmung der unteren Stratosphäre und möglicherweise zu einer gleichzeitigen Abkühlung der unteren Troposphäre. Die gleiche Wirkung haben auch Partikel, die ständig von hochfliegenden Düsenflugzeugen in die obere Troposphäre und untere Stratosphäre emittiert werden. Die projektierten und sich bereits in Erprobung befindlichen Überschallflugzeuge werden ausschließlich in der Stratosphäre fliegen. Ihre Emissionen werden sich aufgrund der langen stratosphärischen Verweilzeit möglicherweise in diesen Höhen akkumulieren und zu Dauerscheinungen führen, wie sie als Folgen von Vulkanausbrüchen auftreten. Diese Konsequenzen lassen es angeraten scheinen, dem Überschallflugverkehr mit großer Zurückhaltung entgegenzusehen.

Diese Beispiele zeigen, daß der Mensch heute bereits in globalem Maßstab in das Umweltgeschehen eingreift, wenn auch die Auswirkungen erst an der Grenze der Nachweismöglichkeit liegen und erst für kommende Generationen voll wirksam werden. Im regionalen und lokalen Bereich ist die Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre durch den Eingriff des Menschen jedoch schon weit fortgeschritten, und die Auswirkungen sind deutlich wahrnehmbar. Langfristige Aspekte der Immissionssituation sollten hier auf ein „roll-back“, auf eine Verbesserung der derzeitigen Situation abzielen, die auf lange Sicht auch globale Effekte abschwächen könnte. Als Beispiel für die regionale Entwicklung der Immissionssituation möchte ich den Trend der SO_2 -Konzentration im Untermaingebiet heranziehen, ihm die Entwicklung im Ruhrgebiet gegenüberstellen und auf Ursachen des Trends hinweisen. Fig. 2 zeigt den Verlauf der SO_2 -Konzentration in Frankfurt/M. ab 1962, dargestellt in übergreifenden Jahresmitteln. Man erkennt einen Konzentrationsanstieg mit einem Maximum im Winter 1963/64, einen Konzentrationsrückgang bis 1969 unterbrochen von einem sekundären Maximum 1966/67 und seit 1970/71 wiederum einen leichten Anstieg. Die übergreifenden Mittelwerte gestatten es durch Eliminierung des Jahresganges den langjährigen Gang der SO_2 -Immission besser zu erfassen. Es ist zu erwähnen, daß auch eine getrennte Betrachtung der Sommer- und Winterhalbjahre kein signifikant unterschiedliches Bild ergibt. Es sei weiterhin darauf aufmerksam gemacht, daß der mehrjährige Gang der CO_2 -



Schwefeldioxid - Trend (übergreifende Jahresmittel) an der Zentralstation — Pilotstation Frankfurt/Main

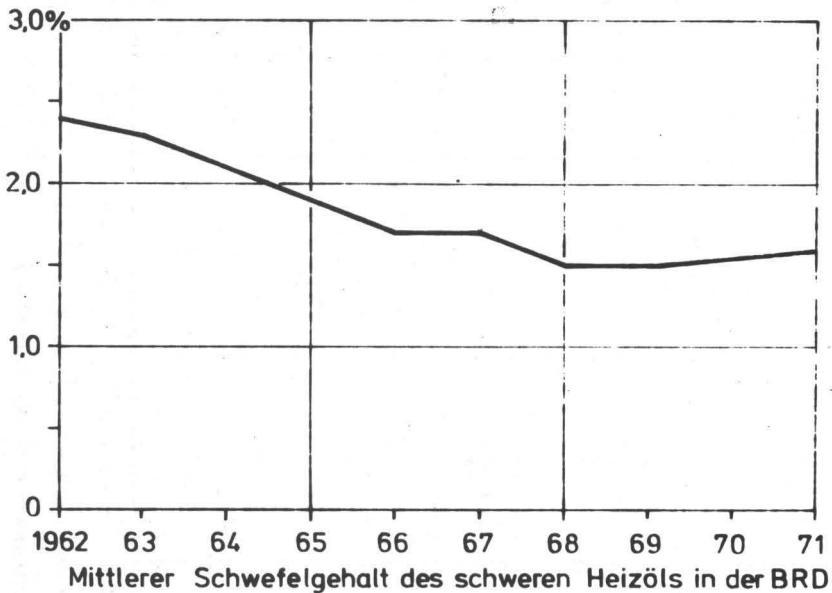
Fig. 2: Trend der SO_2 -Konzentration in Frankfurt/Main

Konzentration - er wird seit 1966 überwacht - einen ganz anderen Verlauf zeigt, nämlich einen langsamem und kontinuierlichen Anstieg, der sicher auf die zunehmende Verkehrsdichte zurückgeführt werden kann.

Die Aufklärung der Ursachen der in Fig. 2 wiedergegebenen Variation der SO₂-Konzentration stößt zunächst auf zwei Einflußgruppen:

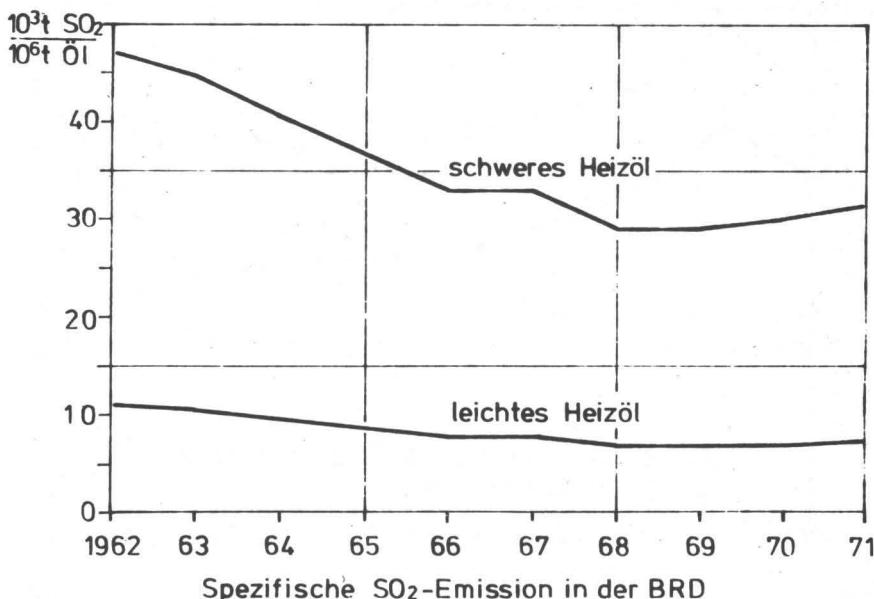
1. Änderung der Zusammensetzung und des Umfanges der Emissionen und
2. Schwankungen der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen.

Zunächst ist ein Rückgang des Schwefelgehaltes des schweren Heizöls in den Jahren 1962-1971 festzustellen, der nach einer Esso-Studie immerhin von 2,5 % auf 1,6 % (Fig. 3a) beträgt. Fig. 3b zeigt die daraus resultierenden spezifischen SO₂-Emissionen für schweres und leichtes Heizöl.



Figur 3a.

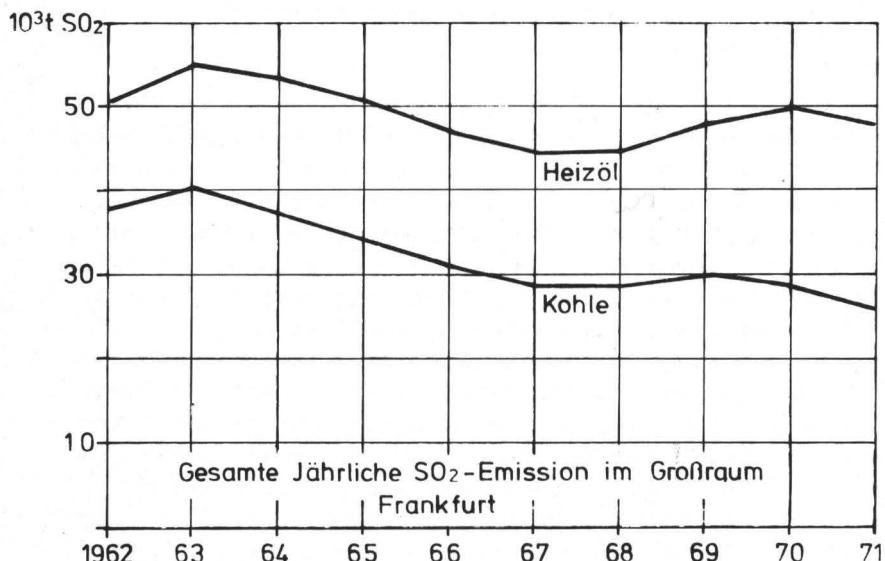
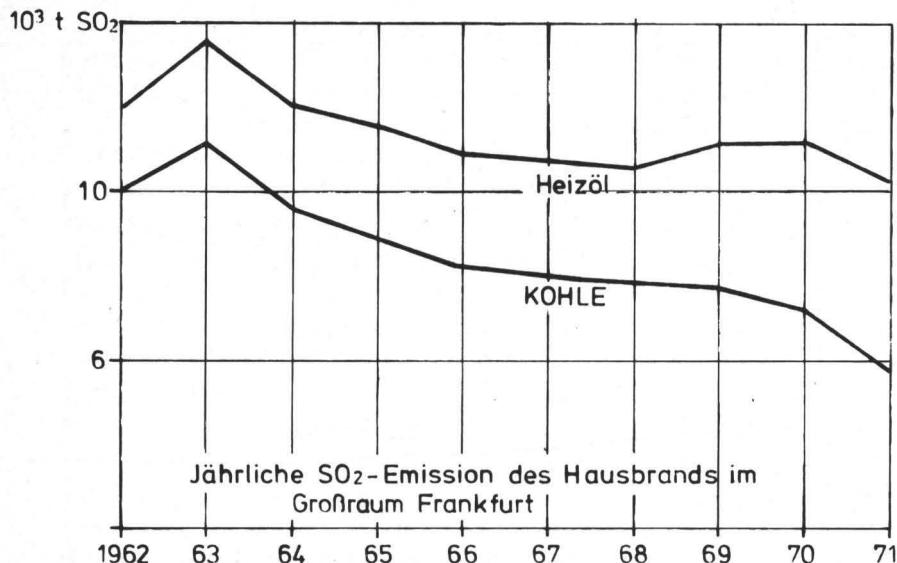
In einer Arbeit über die Ursachen des Trends der SO₂-Konzentration im Untermaingebiet hat *G. Müller* am hiesigen Institut die SO₂-Emissionswerte für Hausbrand und Gesamtemission im Großraum Frankfurt/M. berechnet, die in Fig. 4a und 4b eingezeichnet sind. Hierbei wurden insbesondere die für den Frankfurter Raum gegenüber der Gesamtsituation der Bundesrepublik abweichenden Anteile an festen und flüssigen Brennstoffen berücksichtigt. Fig. 3 und 4 machen deutlich, daß unter Berücksichtigung des beträchtlichen Anstieges des Verbrauchs von leichtem Heizöl auf Kosten fester Brennstoffe die Hausbrandemission an SO₂ seit 1963 leicht zurückgegangen ist trotz einer Zunahme der Zahl der Emittenten.



Figur 3b

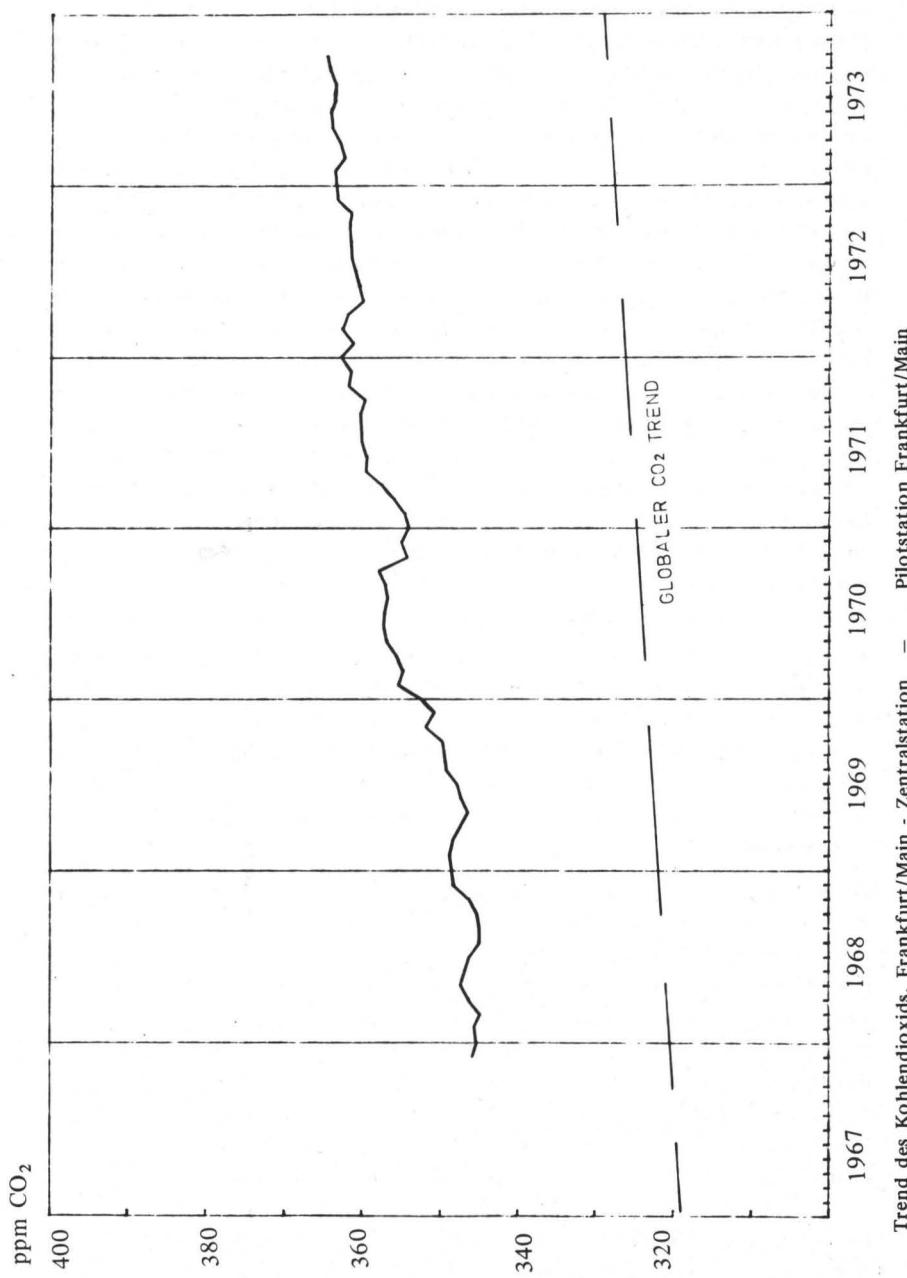
Der Gesamtanstieg der Emittenten aus Hausbrand, Industrie und Kraftverkehr - unabhängig vom Schwefelgehalt des jeweilig verwendeten Brennstoffes - lässt sich in erster Näherung durch den Trend der CO₂-Konzentration darstellen, wie dies in Fig. 5 versucht wurde. Als untere Begrenzung wurde der globale CO₂-Anstieg in Reinluft eingetragen, der weltweit etwa 1 ppm pro Jahr beträgt. Diesem überlagert ist die Zunahme der CO₂-Konzentration im Frankfurter Gebiet, die auf etwa 30 ppm höherem Niveau ansetzt und recht gleichmäßig um etwa 2 ppm/Jahr steigt.

Eine Betrachtung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Emission und Immission ergibt eine gute Übereinstimmung der Maxima im Jahre 1963 und des Rückganges von Emissionen und Immission bis 1967. Allerdings tritt das sekundäre Maximum im Jahre 1966 bei der Emission nicht auf. Nach 1967 wird der Zusammenhang zwischen Emission und Immission immer schwächer, bzw. ist ab 1971 eine Divergenz beider Parameter festzustellen. Der Zusammenhang zwischen Emission und Immission lässt sich durch den Korrelationskoeffizienten quantifizieren. Er beträgt für die beiden Parameter Gesamtemission und SO₂-Konzentration auf der Basis von Jahresmitteln 0,75 für die Hausbrandemission und die SO₂-Konzentration 0,82. Beide Korrelationskoeffizienten überschreiten die Signifikanzgrenze. Der höhere Korrelationskoeffizient mit der Hausbrandemission weist auf die Tatsache hin, daß die Meßstelle stärker durch Hausbrandemissionen



Figur 4a und 4b.

beaufschlagt wird. Wenn auch die Emission einen wesentlichen Anteil an Höhe und Verlauf der Immissionskonzentration hat, so zeigen die Korrelationen auch, daß noch andere Einflußgrößen existieren, wobei besonders



Figur 5: Trend der CO₂-Konzentration in Frankfurt/M.

an meteorologische Elemente und deren Schwankungen zu denken ist. Der Zusammenhang zwischen SO₂-Immissionskonzentration und meteorologischen Einflußgrößen wurde ebenfalls für das Unterraingegebiet untersucht, wobei ebenfalls die Jahresmittelwerte als Ausgangsmaterial verwendet wurden, um Trivialkorrelationen, wie z.B. die stramme negative Korrelation zwischen Temperaturjahresgang und Jahressgang der SO₂-Immissionskonzentration, auszuschließen. Es wurden außerdem der Einfluß der verschiedenen Monate auf das Jahresmittel mit unterschiedlichen Richtungen versehen, um eine Überbetonung der Sommermonate zu vermeiden. Es soll an dieser Stelle nicht auf Einzelheiten der Analyse eingegangen werden, die sich auf Großwetterlagen, Luftmassen und einzelne meteorologische Parameter erstreckte.

Der beste Zusammenhang wurde zwischen der SO₂-Konzentration und der Advektionsrichtung der Luftmassen bei Auftrennung in vier Windrichtungssektoren gefunden. Hierbei ergab sich ein Korrelationskoeffizient zwischen SO₂-Konzentration in Frankfurt und Häufigkeit des Auftretens von Nordost- bis Ostwinden von 0,80, ein Wert, der über der Signifikanzgrenze bei 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit liegt.

Wie ist dieser Zusammenhang zu erklären?

Es sind hierfür unseres Erachtens drei Gründe maßgebend:

1. Bei Ostwind überstreicht die Luft vor Erreichen der Meßstation dichtbebaute Wohngebiete und wird mit SO₂ angereichert.
2. Ostwinde sind im Winterhalbjahr in der Regel mit der Advektion von Kaltluft verbunden, die die Emissionsrate des Hausbrandes erhöht.
3. Schwache Ostwinde sind im Frankfurter Raum häufig an eine flache Luftdruckverteilung mit Ausbildung eines lokalen Zirkulationssystems gebunden.

Es ist bemerkenswert, daß Südwestlagen nicht zu hohen SO₂-Immissionskonzentrationen im Stadtbereich führen, obwohl die Mehrzahl der Großemittenten in Südwesten und Westen des Stadtgebietes angesiedelt ist. Für das Unterraingegebiet erweist sich also ein Zusammenwirken von Emission und Meteorologie als maßgebend für das Zustandekommen hoher SO₂-Immissionskonzentrationen. Ein Beispiel hierfür ist die Ausbildung des Immissionsmaximums im Winter 1963/64. Zur Zeit des Maximums der SO₂-Emission traten schwachwindige Wetterlagen mit Ostkomponenten mit größter Häufigkeit auf. Die Divergenz zwischen Emission und SO₂-Immissionskonzentration ab 1971 ist dagegen folgendermaßen zu erklären:

Die meteorologischen Einflußgrößen, Häufigkeit von Ostwindlagen und Inversionslagen, haben die Wirkung sinkender Emissionsraten auf die SO₂-Immissionssituation überkompensiert. Dieses hier nur kurz skizzierte Er-

gebnis zeigt, daß man die Emission nicht isoliert in ihrer Bedeutung für die SO₂-Immissionskonzentration betrachten darf. Zweifellos wird durch sie ursächlich der Rahmen gesteckt, der die Variation der Immissionskonzentration begrenzt. Diese selbst wird jedoch durch den komplexen atmosphärischen Übertragungsmechanismus erzeugt, solange die Verteilung und Struktur der Quellen unverändert bleibt.

Es stellt sich die Frage, ob die Zusammenhänge zwischen SO₂-Konzentration, Emissionsrate und meteorologischen Parametern, wie sie sich für den Frankfurter Raum ergeben, allgemein gültig sind oder ob sie durch regionale Einflüsse hervorgerufen werden. Aus dem Ruhrgebiet liegen ebenfalls seit 1963 von mehreren Meßstellen kontinuierliche Meßreihen vor. In Fig. 6 sind die gleitenden Jahresmittelwerte für Oberhausen und Dortmund im Vergleich zu Frankfurt/M. wiedergegeben. Man erkennt einen ähnlichen Verlauf der drei Kurven, allerdings setzt sich die Abnahme der SO₂-Konzentration im Ruhrgebiet bis in das Jahr 1971 fort. Zur Bestimmung der Emissionswerte wurden wie im Rhein-Maingebiet die mittleren Daten für die Bundesrepublik benutzt und durch Angaben über den Anteil der einzelnen Verbrauchergruppen für die betreffende Region nach Werten der NUKEM-Studie modifiziert. Die Korrelation zwischen SO₂-Emission und Immissionskonzentration ist im Ruhrgebiet sehr hoch. Der Korrelationskoeffizient beträgt in Oberhausen = 0,92, in Dortmund = 0,87, in Essen sogar = 0,95. Der Einfluß der meteorologischen Parameter tritt in seiner Bedeutung für die SO₂-Immissionskonzentration im Ruhrgebiet gegenüber dem Frankfurter Raum zurück. Bis zu 90 % der langperiodischen Variationen der SO₂-Immissionskonzentration sind im Ruhrgebiet auf langperiodische Schwankungen der Emissionsrate zurückzuführen bzw. auf Maßnahmen, die zur Verminderung der Emission getroffen wurden (z.B. hohe Schornsteine).

Es sei nur am Rande erwähnt, daß für den Raum Ingolstadt, wo kontinuierliche SO₂-Messungen seit 1965 vorliegen, die Zunahme der Zahl und des Umfangs der Emissionsquellen den Ausschlag für den leicht ansteigenden Trend der SO₂-Immissionskonzentration geben, der dort beobachtet wird. Im Ergebnis zeigt dieser Überblick, daß das Verhalten der Immissionskonzentration in der Frankfurter Region nicht verallgemeinert werden darf. Emission und meteorologische Parameter wirken mit regional unterschiedlichem Gewicht auf die Immissionskonzentration ein.

Abschließend soll noch ein hypothetischer Ausblick auf die künftige Entwicklung der SO₂-Emission im Frankfurter Raum versucht werden. Als Grundlage diente die OECD-Studie mit dem geschätzten Brennstoffverbrauch bis 1980. Die SO₂-Emission wird mit weiter wachsendem Energiebedarf zunehmen, die Energie wird weiterhin vorwiegend fossilen Brenn-

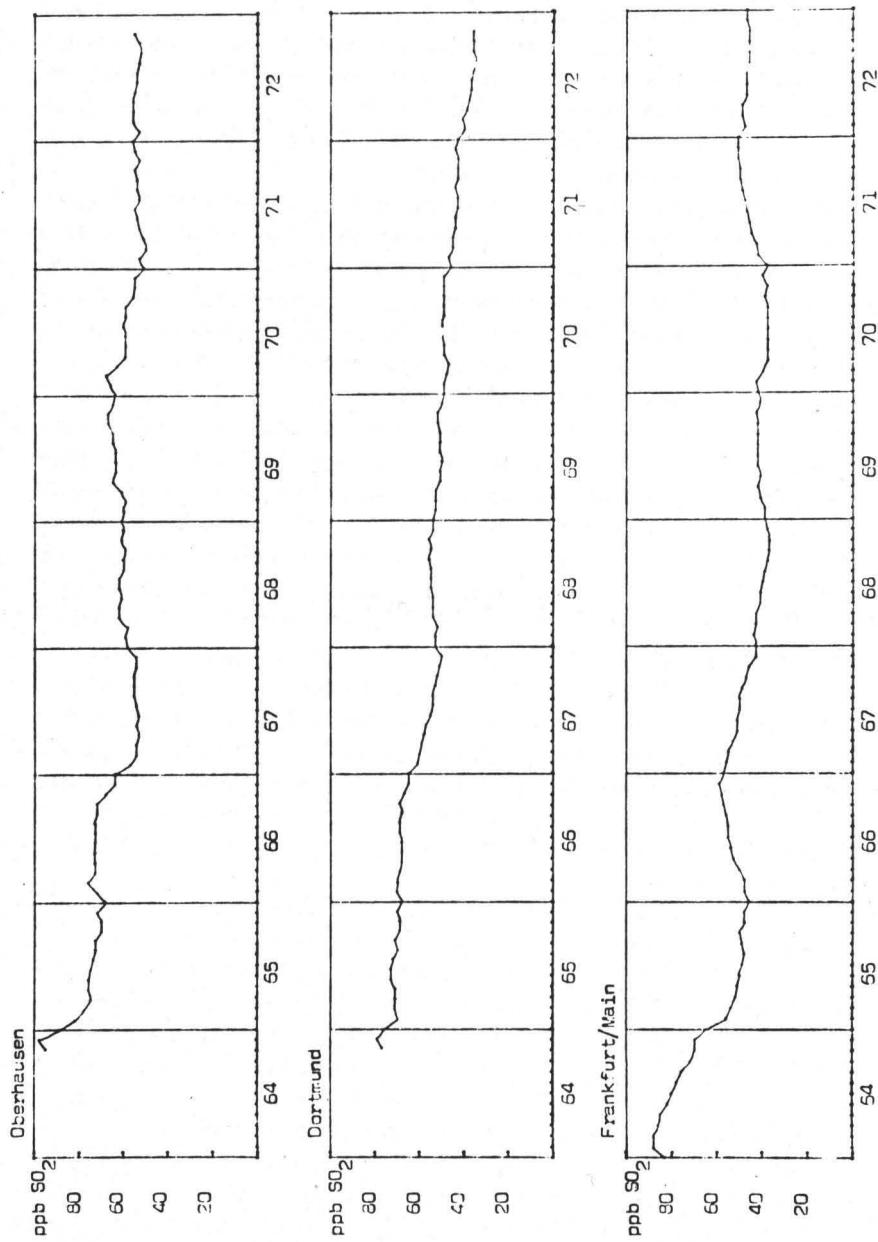


Fig. 6: Trend der SO₂-Konzentration in Oberhausen, Dortmund und Frankfurt/Main

stoffen entstammen. Aber auch der mittlere Schwefelgehalt des Mineralöls, das zur Verfügung steht, wird anwachsen, da der Anteil des schwefelarmen libyschen Öls zurückgehen wird. Die OECD-Studie berücksichtigt weiterhin bei Großemittenten eine 80 %ige Rauchgasentschwefelung und sieht eine Reduktion des Schwefelgehaltes des schweren Heizöls und der Kraftwerkskohle auf 1 % Schwefel vor. Das zu erwartende Ergebnis ist in Fig. 7a für die Gesamtemission und 7b für die Hausbrandemission getrennt dargestellt,

Bisherige und voraussichtliche SO₂-Emission im Raum Frankfurt
normiert auf das Mittel der Jahre 1962 - 71

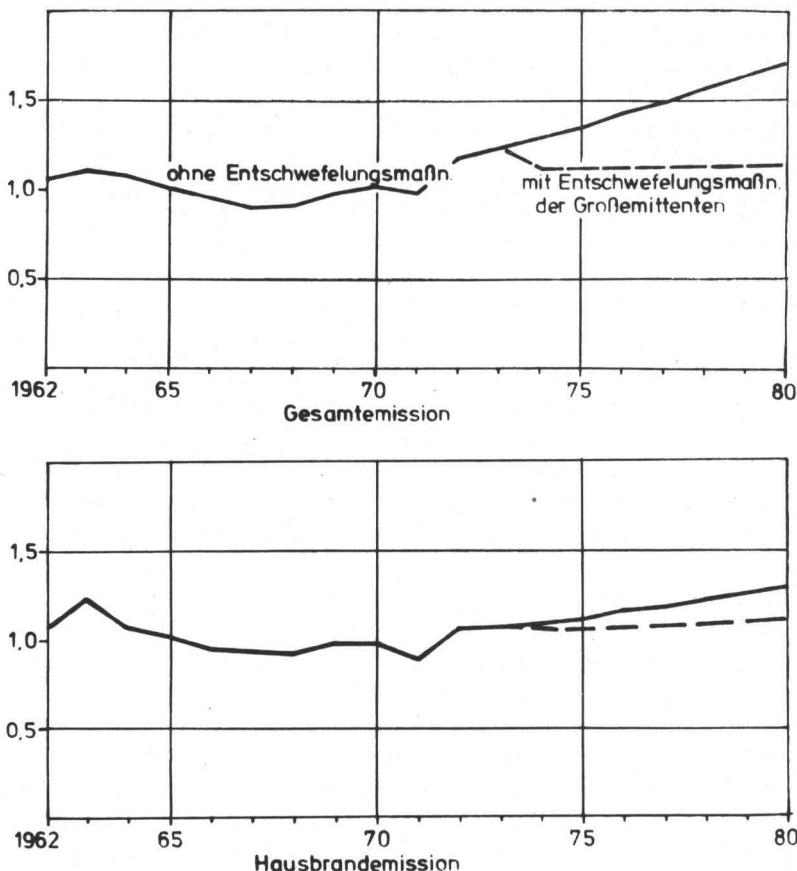


Fig. 7a und 7b: Voraussichtliche SO₂-Emission im Raum Frankfurt/M. bis 1980 normiert auf das Mittel der Jahre 1962-1971

einmal ohne Einbeziehung zusätzlicher Maßnahmen, zum anderen unter Berücksichtigung der oben erwähnten SO₂-Emissionsbeschränkungen. Die Ausgangswerte sind normiert auf das Mittel der Jahre 1962-1971. Die Gesamtemission dürfte also bis 1980 auf das 1,7 fache und die Hausbrandemission auf das 1,3 fache des bisherigen Mittelwertes ansteigen und kann nur durch Berücksichtigung zusätzlicher emissionsvermindernder Maßnahmen auf dem heutigen Stand gehalten werden. Wir können also mit allem Vorbehalt erwarten, daß die in den letzten Jahren festgestellte abnehmende Tendenz der SO₂-Immissionskonzentration sich nicht fortsetzen dürfte, insbesondere wenn man berücksichtigt, daß in den vergangenen Wintern auch die Häufigkeit und Andauer austauscharmer Wetterlagen gering waren. Es bleibt somit auch nach 50 Jahren intensiver Arbeit des Institutes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene auf dem Sektor „Luft“ noch genügend Raum für Aktivität und Einfallsreichtum in der Zukunft. Es bleibt zu wünschen, daß die künftige Arbeit fruchtbar und erfolgreich sein wird zu unser aller Wohl.

Für den Erfolg bei zukünftigen Aufgaben ein herzliches „Glück auf“!

Prof. Dr. H.-W. Georgii
Dir. des Instituts für Meteorologie
und Geophysik der Universität
Frankfurt (Main)

6 Frankfurt/M. Feldbergstr. 47

**50 Jahre Arbeitsgebiet „Lufthygiene“
beim Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des
Bundesgesundheitsamtes**

von Arnold Heller

Im gemeinsamen Erlass der Preußischen Ministerien für Volkswohlfahrt, für Landwirtschaft, Domänen und Forsten und für Handel und Gewerbe vom 25.4.1923 betr. Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene - I M IV 682/23, M.f.H.u.G. III 4603, M.f.L., D. u. F. I B II B 10 391 - heißt es u.a.: „Wasser genießt der Mensch als Nahrungsmittel täglich, Luft braucht er sekundlich, um den Lebensprozeß aufrechtzuerhalten. Diese Gegenüberstellung deutet ohne weiteres den Wert einer vernünftigen Lufthygiene an. Als sich das geeinigte Deutschland in den 70. und 80. Jahren des vorigen Jahrhunderts überraschend schnell zum Industriestaat entwickelte, war man weder auf dem Gebiete der Wasser-, noch der Lufthygiene wissenschaftlich und praktisch genügend gerüstet. Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Luftverunreinigung sind Dinge, die bei der Industrialisierung eines Staates infolge der Wohnungs- und Arbeitszusammenfassung der Gesundheitspflege die mannigfachsten und schwierigsten Aufgaben stellen. Die Gründung der Landesanstalt für Wasserhygiene füllte auf dem Gebiete der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung die fühlbare Lücke wissenschaftlich und praktisch aus. Demgegenüber blieb aber die Lufthygiene weit zurück, so daß es zu den bekannten unangenehmen und in gewissem Umfange zweifellos auch gesundheitsschädlichen Verunreinigungen der Luft in großen Wohnorten und Wohnbezirken gekommen ist. Das Nebelmeer, in das an vielen Stellen des Jahres Großstädte und Industriezentren getaucht sind, ist der Ausdruck solcher Luftverunreinigung. Die Rauchfahne von Berlin dient bei klarem, windstiller Wetter den Luftschiffen auf 100 und mehr Kilometern als Wegweiser. ... Es ist deshalb ein naheliegender Gedanke, gegen die Verunreinigung der Luft in demselben Sinne vorzugehen wie auf dem Gebiete der Wasserhygiene. ... Man wird sich jedoch nicht vorstellen dürfen, daß nach Übertragung der Aufgaben einer systematischen Lufthygiene auf eine bestimmte wissenschaftliche Anstalt in kurzer Zeit eine Umkehrung der bisherigen Verhältnisse zu erzielen sein wird. Es darf dabei vor allen Dingen nicht vergessen werden, daß mit einfachen Mitteln die Sache nicht abzutun ist, ... daß eine Anstalt für Lufthygiene niemals polizeiliche Befugnisse haben kann. Sie darf

vielmehr nichts anderes sein und sein wollen als eine wissenschaftliche Forschungsanstalt, deren Ziele auf das Praktische gerichtet sind. ... Sie wird dann vor allen Dingen als Staatseinrichtung eine uneigennützige Beraterin für alle diejenigen sein, die von sich aus oder unter dem Druck der Öffentlichkeit oder der Behörde die Verhältnisse, für die sie verantwortlich sind, verbessern wollen“ (Volkswohlfahrt 4 (1923) Nr.10, S.249-250).

Durch diesen Erlaß wurde vor nunmehr 50 Jahren aus der Preußischen Landesanstalt für Wasserhygiene die Preußische Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. 1/2 Jahrhundert ist in diesem Hause, dem heutigen Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, auf dem Arbeitsgebiet „Lufthygiene“ erfolgreich gearbeitet worden. Nicht zuletzt auch im Hinblick auf die Bedeutung, die der Reinhaltung der Luft im Rahmen des heute hoch aktuellen Umweltschutzes zukommt, waren der Leiter und die heute auf dem Arbeitsgebiet tätigen Angehörigen des Instituts übereinstimmend der Ansicht, eine „Jubiläumsschrift“ in Form eines Heftes der Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene herauszubringen und in dieser einen kurzen geschichtlichen Abriß über das Arbeitsgebiet zu geben.

Weit verbreitet ist die Meinung, daß die Erkenntnis der Wichtigkeit des Umweltschutzes und der Umwelthygiene erst im letzten Jahrzehnt in Deutschland und in den anderen Industriestaaten zu Abhilfemaßnahmen geführt hat. Auch viele Leser werden es nicht für möglich halten, daß man auf dem Gebiete der Reinhaltung der Luft bereits vor mehr als 50 Jahren in Preußen so fortschrittliche Erlasse und Verordnungen zuwege gebracht hat. Aus diesem Grunde hielt ich es für nützlich, den o.a. Erlaß, der im einschlägigen Schrifttum meines Wissens bisher nur in kürzester Form enthalten ist, hier auszugsweise im Wortlaut wiederzugeben. Dabei ist noch zu bemerken, daß er keineswegs der erste Schritt auf diesem Wege gewesen ist.

Schon 1918 hatte der Gesundheitsingenieur *A. Reich* aus Erkner bei Berlin die Errichtung einer Landesanstalt für Lufthygiene gefordert. In „Rauch und Staub“ 8 (1918), Nr.10, S.99 wird darauf hingewiesen, daß man in der Landesanstalt für Wasserhygiene ein Vorbild für eine solche Anstalt habe, die „gewisse Luftreinigungsvorschriften“ aufzustellen hätte. Diese Forderung, die gegen Ende des Krieges im Sommer 1918 erhoben worden war, blieb, was aus den Zeitumständen erklärlich ist, ohne Echo.

Die Initiatoren für den Erlaß der Ministerien in Preußen waren einmal die Mitglieder der Landesanstalt für Wasserhygiene, Prof. Dr. R. Weldert und Dr. E. Tiegs, die in ihrer in der Zeitschrift Wasser und Gas 11 (1921), Nr.22, S.589-594 erschienenen Arbeit „Die Hygiene der Luft“ ihre Gedanken zum Ausbau des Arbeitsgebietes der Landesanstalt ausführlich nieder-

gelegt hatten. Zum anderen hatte der damalige Präsident der Landesanstalt, Geheimer Medizinalrat Prof. Dr. Beninde, in seiner Eigenschaft als Referent im Preußischen Ministerium für Volkswohlfahrt die Möglichkeit, sich für die Bestrebungen seiner Mitarbeiter Weldert und Tiegs erfolgreich einzusetzen. Diese hatten ihre Vorschläge aus ihrer Erfahrung in der Praxis auch gut begründet. Weil die Abwasserklärung unter Umständen die Außenluft verunreinigen kann und weil ferner die nasse Abgasreinigung zum Abwasserproblem werden kann, haben Abwasser- und Abluftfragen manche Berührungspunkte. Die damals für die Landesanstalt für Wasserhygiene aktuelle Frage der Beseitigung der Kaliabwässer und deren Verwendung als Straßenstaubbindemittel bedeutete zugleich ein Wasser- und Luftreinhalteproblem. Für den innigen Zusammenhang zwischen beiden Gebieten wurde ferner auf die Verwehung von Keimen bei biologischen Tropfkörperanlagen durch Wind und auf die Fisch-Schäden durch Abschwemmung von Straßenstaub-Bindemitteln in Gewässer hingewiesen. Ein weiterer Grund für die Erweiterung der Landesanstalt für Wasserhygiene war deren personelle Ausstattung. Für die Bearbeitung industrieller Abgasfragen war nämlich - ebenso wie auf dem Wasser- und Abwassergebiet - das Zusammenwirken von Medizinern, Chemikern, Biologen und Ingenieuren notwendig. Angehörige aller genannten Fachrichtungen waren bereits in der damaligen Landesanstalt vertreten. Bei den bekannten Interessengegensätzen zwischen Industrie auf der einen und Land- und Forstwirtschaft und Anwohnern auf der anderen Seite, konnten eine Klärung der wissenschaftlichen Probleme sowie eine Besserung der Luftverhältnisse nur von den Arbeiten einer neutralen Stelle, also einer Staatseinrichtung, erwartet werden. So ist dann dieses Arbeitsgebiet der Vorkämpfer für die Reinhaltung der Luft - vor allem hinsichtlich der Bekämpfung der durch industrielle Abgase bedingten Verunreinigung der Außenluft - für ganz Deutschland geworden.

Von 1923 bis 1926 sind die Abgas- und Staubfragen ohne Personalvermehrung von den auf dem Wasser- und Abwassergebiet tätigen Mitarbeitern der Landesanstalt erledigt worden. Erst in den Jahren 1927 und 1928 gingen die Anträge auf gutachterliche Äußerungen so zahlreich ein, daß Sachbearbeiter hauptamtlich für diese Arbeiten eingesetzt werden mußten. Das waren von der chemischen Abteilung Dr. Liesegang und der Verfasser, der 1929 an die Stelle des vorübergehend tätig gewesenen Dr. G. Teschner trat. Die überwiegend auf dem Luftgebiet tätigen Prof. Dr. E. Tiegs sowie - ab 1929 - Dr. H. Zinkernagel von der botanischen Abteilung bearbeiteten nebenbei auch Wasser- und Abwasserfragen. Von der hygienischen Abteilung war Dr. O. Ulsamer meist nur nebenamtlich für die „Lufthygiene“ eingesetzt, während sich Prof. Dr. H. Lehmann, der 1930 als a.o. Professor der Universität Jena ins Institut gekommen war, sich bis zu dem Zeitpunkt, als er

1935 mit der Leitung des Instituts betraut wurde, ausschließlich mit luft-hygienischen Arbeiten befaßt hat.

Die in den Jahren 1927 bis 1930 herausgebrachten Veröffentlichungen (s. Zusammenstellung S. 61) lassen folgendes erkennen: *W. Liesegang* arbeitete in dieser Zeit vornehmlich an der Entwicklung analytischer Verfahren zur Bestimmung der in der Praxis vorkommenden Luftverunreinigungen. Interessant ist, daß schon damals die in den Kraftfahrzeugabgasen enthaltenen Schadstoffe wesentliche Objekte seiner und der Arbeiten von *H. Lehmann* ausmachten und daß damals auch schon die Lufthygiene des Verkehrs in weitestem Sinne - Straßenstaub, Staubbindemittel - die Probleme stellte. Auf dem Gebiete der Botanik stand die Wirkung der schwefeligen Säure auf die Pflanzen und deren Organe im Vordergrund des Interesses.

Das eigentliche Aufgabengebiet der lufthygienischen Sachbearbeiter lag schon Anfang der 30er Jahre in der Reinhal tung der Außenluft, und zwar speziell in der Bekämpfung industrieller Emissionen. Das schloß jedoch nicht aus, daß damals die Außenluftverunreinigung durch Kraftfahrzeugabgase und durch Straßenstaub, wie bereits soeben angedeutet, und daß gelegentlich auch die Luft von Wohnräumen untersucht wurden. Raumluftuntersuchungen haben wir allerdings nur innerhalb von Berlin und nur in den Fällen - insgesamt etwa 30mal - vorgenommen, in denen die Verunreinigung der Raumluft mit der Verunreinigung der Außenluft in Zusammenhang stand oder wenn Abgase der häuslichen Feuerungsanlage in die Wohnräume eingedrungen waren. Nicht zuletzt wegen Personalmangels hat man von der Bearbeitung von Aufgaben der Lüftungstechnik, der Frischluft- und Umluftreinigung und aller mit der Heizungstechnik zusammenhängender Fragen Abstand genommen. Immerhin haben wir im Rahmen der Gesamtaufgaben die Entwicklung auf diesem wichtigen Gebiet der Hygiene stets aufmerksam verfolgt. Es wurde übrigens zur damaligen Zeit im Reichsgesundheitsamt sehr erfolgreich bearbeitet, wozu der spätere Präsident des Bundesgesundheitsamtes, Prof. Dr. Walther Liese, der das Institut von 1957 bis 1959 leitete, seinerzeit entscheidend beigetragen hat.

Was die Forschung anbelangt, so galt es aus den oben genannten Gründen zunächst, die bis dahin unbekannten Untersuchungsverfahren für die Schadstoffe in freier Luft zu entwickeln und die wissenschaftlichen Grundlagen zur Beurteilung der Untersuchungsergebnisse zu schaffen. Schon bei Aufnahme seiner Arbeiten hatte *W. Liesegang* nämlich richtig erkannt, daß zur Bestimmung meist kleinsten Mengen von Verunreinigungen in der Außenluft die bekannten Methoden der Gewerbehygiene nicht angewendet werden können. Während in geschlossenem Raum der betreffende Schadstoff sich in einem ruhenden Luftkörper befindet, hat man es in der freien

Luft mit einer sehr ungleichmäßigen Verteilung des Stoffes in einem Luftkörper zu tun, der sich in ständiger und dabei vorwiegend ungeordneter Bewegung befindet. Das Verhalten des Schadstoffes im Freien hängt von einer ganzen Reihe meteorologischer Faktoren unmittelbar und auch mittelbar ab, die einem schnellen und häufigen Wechsel unterworfen sind. Es ist ferner abhängig von dem Fremdstoff selbst, von seiner Fähigkeit, mit dem in der Luft vorhandenen Wasserdampf in Wechselwirkung zu treten oder mit anderen, ebenfalls in der Luft vorhandenen Stoffen unter Bildung neuer chemischer Verbindungen zu reagieren. Dafür einige Beispiele: Die Oxydation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid bzw. dessen Hydratation zu Schwefelsäure. Die Bildung von Salmiaknebeln (Ammoniumchlorid) aus Salzsäure und Ammoniak. Die Abgasverteilung in der Außenluft hängt ferner ab von der Bodengestaltung in der Umgebung der Abgasquelle, von den Einleitungsbedingungen, also vom Wärmeinhalt, dem Verdünnungsgrad, der Strömungsgeschwindigkeit der Abgase sowie von der Schornsteinhöhe.

Die größten Schwierigkeiten für die Untersuchung im Freien machen die schnell wechselnden meteorologischen Faktoren, z.B. die Richtungsänderungen des Windes, der Einfluß der Windgeschwindigkeit auf die Abgasverteilung, die Turbulenz, die relative Luftfeuchtigkeit, Nebel, Inversionen (Umkehr des Temperaturgradienten), Niederschläge. Diese spielen vor allem bei der Abscheidung von Feststoffen, wie Staub und Flugasche, eine bedeutende Rolle. Die Wirkung eines Schadstoffes auf Mensch, Tier, Pflanze und die unbelebte Welt war, wie die örtlichen Erhebungen bald zeigten, nicht nur von der Emission einer bestimmten Abgasquelle abhängig, sondern eben auch von diesen Witterungseinflüssen. Man mußte daher für die wichtigsten Luftverunreinigungen solche Untersuchungsverfahren entwickeln, die diesen Erkenntnissen Rechnung trugen. In jahrelangen Forschungsarbeiten, die in den meisten Fällen in Verbindung mit der Praxis durchgeführt wurden, sind so das *Liesegangsche Glockenverfahren* zur Bestimmung von Schwefeldioxid + Schwefeltrioxid (Ges.-Ing. 54 (1931), 705), von Schwefelwasserstoff und Phenol (Ges.-Ing. 61 (1938), 320) sowie von Salzsäure, beschrieben vom Verfasser (*A. Heller*, Ges.-Ing. 55 (1932), 261) und die Staubmessungen mit dem Gerät von *Liebmann-Liesegang* (*Liesegang W.*, Ges.-Ing. 52 (1929), 593) entwickelt worden. Diese Methoden lieferten zwar keine Absolutwerte, aber die Langzeit-Relativwerte, die unter Benutzung der während der Untersuchungszeit registrierten Wind- und Wetterfaktoren ausgewertet wurden, bestätigten im allgemeinen die in der Umgebung der Abgasquellen gemachten subjektiven Feststellungen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Feststellung, daß das *Liesegangsche Glockenverfahren*, das fast 30 Jahre lang in Deutschland als Stand-

ardverfahren gegolten hat und auch im Ausland oft angewendet worden ist, das aber im Laufe der Zeit durch Verfahren zur absoluten Bestimmung des Schadstoffgehaltes der Luft fast völlig verdrängt worden war, für bestimmte Zwecke, wenn auch in abgewandelter Form, von einem der in der Bundesrepublik Deutschland fachlich kompetentesten Institute empfohlen wird (S. Luckat, „Ein Verfahren zur Bestimmung der Immissionsrate gasförmiger Komponenten“ in Staub - Reinhaltung der Luft 33 (1973), H.1, 484).

Der Untersuchung schwefeloxidhaltiger Verunreinigungen in der Außenluft galten ferner die im Institut Ende der 20 Jahre begonnenen Arbeiten über den Schwefelgehalt der Blätter (E. Tiegs, Berichte der Dtsch. Botan. Gesellsch. 48 (1930), 58 und H. Zinkernagel, Kl. Mitt. Verein Wasser-, Boden- und Lufthygiene 9 (1933), 178) und später auch über die Abhängigkeit des Mengenverhältnisses von in kaltem Wasser löslichem zum Gesamteisen in Blättern vom Schädigungsgrad der betreffenden Pflanze durch saure Schadstoffbestandteile der Luft (A. Heller, Kl. Mitt. Verein f. Wasser-, Boden und Lufthygiene 11 (1935), 43).

Für die Bestimmung fester Luftverunreinigungen (Staub) sind neben dem hauptsächlich für die Bestimmung des Straßenstaubes entwickelten, oben genannten *Liebmann-Liesegang*-Verfahren folgende Verfahren verbessert und für unsere Zwecke verändert worden:

Das *Owens*-Trichterverfahren zur langfristigen Bestimmung der in den Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen, wobei neben den staubförmigen auch vorher gasförmige und flüssige Luftverunreinigungen mit erfaßt und bestimmt werden können - Meßdauer: 1 Monat bzw. 4 Wochen (W. Liesegang, „Untersuchungen über die Mengen der in Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen“, Kl. Mitt. Verein f. Wasser-, Boden und Lufthygiene 9 (1933), 306 und später jährlich Berichte von H. Nehls, vgl. Literaturzusammenstellung); ferner das *Owens*sche Automatic Filter für Rußgehaltsbestimmungen (A. Heller, Ges.-Ing. 57 (1934), 185). Über damals neue Wege zur Differentialanalyse von Staubniederschlägen, sowohl nach Staubart als auch nach Korngröße, hat Verfasser berichtet (A. Heller, Ges.-Ing. 57 (1934), 322; Ges.-Ing. 60 (1937), 213). Ein neues Gerät zur Staubbestimmung im Freien, das *Zeiß*sche Freiluftkonimeter, an dessen Entwicklung H. Lehmann maßgeblich beteiligt war (Ges.-Ing. 57 (1934), 255), ist hier verbessert worden (A. Löbner Ges.-Ing. 60 (1937), 97; Kl. Mitt. Verein Wasser-, Boden- und Lufthygiene 13 (1937), 181). Außer diesen Veröffentlichungen, die Verfahren und Geräte zur Außenluftuntersuchung behandeln, soll hier noch auf folgende grundlegende Arbeiten, die bis etwa zum Jahre 1940 veröffentlicht wurden, besonders hingewiesen werden: Als Standardwerk in Deutschland auf dem Gebiete der Außenluft-

hygiene galt lange Zeit die Monographie von *W. Liesegang* „Die Reinhaltung der Luft“ (in: „Ergebnisse der angewandten physikalischen Chemie“, Band III, 109 Seiten. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1935); ferner seien hier genannt von *W. Liesegang* „Die Bedeutung der chemischen Luftuntersuchung für die gewerbepolizeiliche Genehmigung von Industrieanlagen“ (Kl. Mitt. Verein Wasser-, Boden- und Lufthygiene 12 (1936), 395) und „Die Luft“ (in: Chemisch-technische Untersuchungsmethoden, Ergänzungsband zur 8. Aufl., Teil 2, 164-175, herausg. von J. D'Ans, Verlag Julius Springer, Berlin (1939). Eine Zusammenstellung der verschiedenen Möglichkeiten zur Beseitigung fester Luftverunreinigungen, vornehmlich aus Industrieabgasen, hat der Verfasser veröffentlicht (*A. Heller*, „Entstauber“. Kl. Mitt. Verein Wasser-, Boden- und Lufthygiene 16 (1940), 175). Sowohl die Technik der Luftreinhaltung und die Immissionsuntersuchungen als auch die Wirkung der Luftschadstoffe auf Mensch und Tier behandelt die Monographie „Luft“ von *H. Lehmann und A. Heller* (in: Handbuch der Lebensmittelchemie VIII/2, S. 487-599. Julius Springer, Berlin, 1940). *H. Lehmann* hat eine ganze Reihe von Arbeiten über die Wirkung von Luftverunreinigungen auf den menschlichen Organismus veröffentlicht, z.B. Kohlenoxid (Kl. Mitt. Verein Wasser-, Boden- und Lufthygiene 6 (1930), 199), Kohlendioxid bzw. Kohlensäure (ebenda 8 (1932), 145), ferner die „Reizgase“ Schweflige Säure (ebenda 9 (1933), 33) und Salpetersäure, Nitrose Gase, Chlor, Ammoniak, Schwefelsäure, Fluorwasserstoff (ebenda 9 (1933), 276). Außerdem hat er über die hygienische Bedeutung des Staubes in der Atemluft berichtet (ebenda 10 (1934), 254 und Naturwissenschaftl. Korrespondenz 9 (1934), Nr. 5). Die dabei gewonnenen Erkenntnisse führten zu der Forderung, neben den Staubniederschlagsmessungen auch den Schwebestaub in der freien Luft nach Art und Größe zu bestimmen, ein Problem, zu dessen Lösung das bereits erwähnte *Zeiß'sche* Freiluftkonimeter entwickelt wurde. Daß man sich bei uns bereits vor mehr als 40 Jahren mit der „Giftigkeit der Motortreibstoffe und ihrer Verbrennungsprodukte“ beschäftigt hat, läßt die Literaturzusammenstellung erkennen. Wegen der Aktualität sei auch an dieser Stelle darauf hingewiesen (*W. Liesegang*, Zeitschr. angew. Chemie 45 (1932), 329).

Die Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen und deren Organe ist von *E. Tiegs*, *H. Zinkernagel*, *E.-M. Bursche*, *M. Büsscher u.a.* beschrieben worden. Als für die damalige Zeit besonders wichtig sei von diesen Veröffentlichungen an dieser Stelle herausgestellt; die Monographie von *E. Tiegs* „Rauchschäden“ (in: Handbuch der Pflanzenkrankheiten, 6. Aufl., Bd. I, Teil 2, 243-309, herausg. von Sorauer, Paul Parey, Berlin, 1934).

Aus diesen Veröffentlichungen lassen sich auf die Aufgaben des damals neuen Arbeitsgebietes „Reinhaltung der Luft“ bereits Schlüsse ziehen. Sie

sollen im folgenden noch näher gekennzeichnet werden:

1. Hygienisch-technische Beratung staatlicher und kommunaler Dienststellen, der Industrie und der Anwohner in Fragen der Luftreinhaltung.
2. Prüfung der Abgasreinigungsverfahren durch Außenluftuntersuchungen.
3. Entwicklung von Verfahren zur Untersuchung von schädlichen Abgasbestandteilen.
4. Unterstützung der Genehmigungsbehörden bei der Festlegung der Genehmigungsbedingungen für neue Industriebetriebe und für die Erweiterung bestehender Anlagen.
5. Gerichtsgutachten in Anwohnerschutzfragen für die oberen Zivil- und Verwaltungsgerichte.
6. Mitwirkung bei Gesetzen, Verordnungen und Erlassen betr. Reinhaltung der Luft.

Die Forschungstätigkeit in der Zeit bis 1945 wurde weitgehend bestimmt von den Aufgaben, die durch Gutachtenaufträge von außen an die Landesanstalt herangetragen wurden. Diese Aufträge ließen klar und eindeutig erkennen, wo das dringendste Bedürfnis nach einer Besserung auf dem neuen Arbeitsgebiet lag, und diese Erkenntnis mußte notgedrungen richtungsweisend für die weitere Entwicklung des Arbeitsgebietes sein. Maßgebend für die Auswahl der Forschungsarbeiten mußte deren Nutzen für die gutachtliche Tätigkeit sein. Andere, für den wissenschaftlichen Fortschritt in der damaligen Zeit auch von den Wissenschaftlern der verschiedenen Fakultäten für notwendig gehaltene Forschungsaufgaben konnten wegen Personalmangels zu unserem Bedauern und ohne Zweifel auch zum Schaden der Landesanstalt in der Öffentlichkeit entweder nicht vollendet oder überhaupt nicht in Angriff genommen werden. Das gilt insbesondere für den medizinischen Sektor und die Forschungstätigkeit auf dem Gebiete der Diagnostik von Abgasschäden. Auch die Zahl der Luftgutachten, die von den Angehörigen der Wirkungsgruppe, d.h. von Biologen und Medizinern, ohne Mitwirkung der chemisch-technischen Gruppe bearbeitet wurden, tritt mit 24 biologischen und 4 hygienischen demzufolge bei einer Gesamtzahl von 314 Gutachten stark zurück,

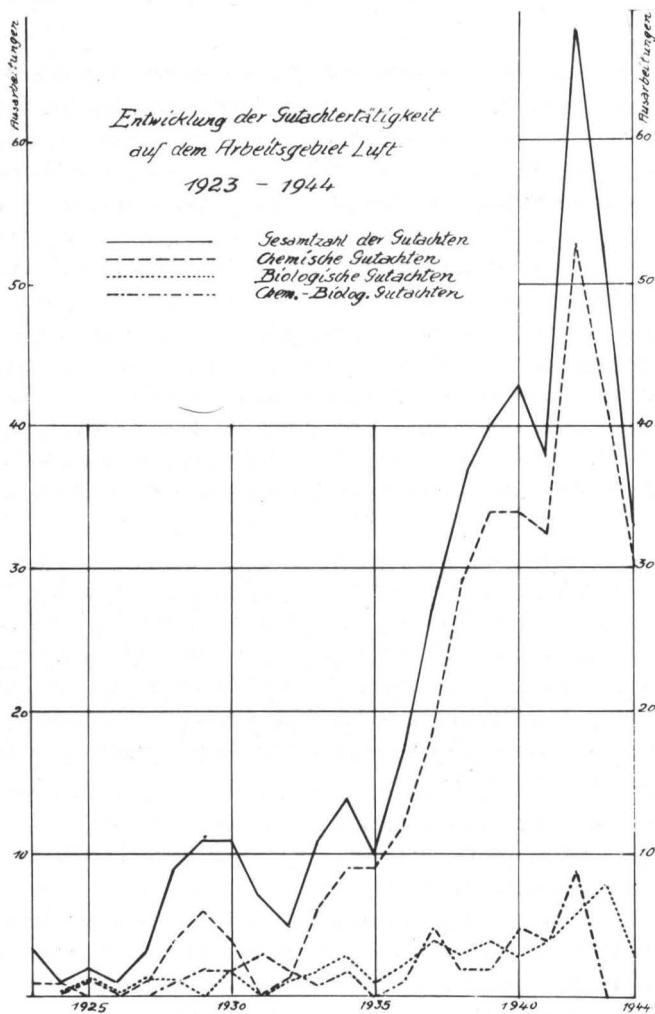
Nun zur gutachtlichen Tätigkeit in den Jahren bis 1945: Abgesehen von wenigen Ausnahmen, wie Motorabgase, Heizungsabgase in Wohnungen, Straßenstaub sind nur durch industrielle Abgase bedingte Außenluftverunreinigungen Anlaß für die Erstattung von Gutachten gewesen. Mit Ausnahme eines 1929 erstellten Gutachtens, sind nur Anträge von Behörden bearbeitet worden. Parteigutachten für Industriefirmen oder für Land- und Forstbesitzer sowie sonstige Anwohner konnten nicht erstattet werden,

weil die Landesanstalt dann nicht mehr für ihre, soweit es um Rechtsstreitigkeiten ging, eigentliche Aufgabe zur Verfügung gestanden hätte, nämlich Obergutachten für die oberen Verwaltungs- und Zivilgerichte zu erstellen. In auf § 906 BGB gestützten Zivilprozessen sind z.B. 28 Gutachten erstattet worden. Neben den Ergebnissen der Außenluftuntersuchung waren für unsere Gutachten die Befunde aus genauen innerbetrieblichen Erhebungen in den als Abgasquellen in Betracht kommenden Fabriken als weitere Unterlagen unentbehrlich, und zwar aus folgendendem Grunde: Das Institut erstattete damals seine Gutachten, wie bereits oben ausgeführt, überwiegend in behördlichem Auftrage (Gewerbeaufsichts- und Bergämter, Aufsichts- und Beschlusssbehörden). Diesen Ämtern hätte die Feststellung des Verunreinigungsgrades nicht genügt, man erwartete vielmehr auch Vorschläge für die Abstellung des Übelstandes bzw. für ausreichende Sicherstellung des Anwohnerschutzes. Dazu mußte der chemisch-technologisch versierte Gutachter die Betriebsvorgänge genau kennen.

Über die Entwicklung der Gutachtertätigkeit in den einzelnen Gruppen und über die Anlässe, die zur Erteilung von derartigen Aufträgen führten, geben 2 Anlagen von *W. Liesegang und A. Heller* Auskunft, die kurz vor Kriegsende entstanden, nicht veröffentlicht sind und sich noch bei den Akten befanden. Sie lassen interessante Einzelheiten über die Gutachtertätigkeit der ersten 20 Jahre des Arbeitsgebietes erkennen. Allgemein ist dazu festzustellen, daß schon in den ersten Jahren diese Tätigkeit in 4 Aufgabenkreise zu unterteilen war:

1. Erkennung von Abgasschäden.
2. Ermittlung der Schadensursachen und Ausarbeitung von Beseitigungsvorschlägen.
3. Beratung der Genehmigungsbehörden bei Festlegung der zum Zwecke des Anwohnerschutzes aufzuerlegenden Bedingungen.
4. Prüfung des Einhaltens der Genehmigungsbedingungen im Behördenauftrag.

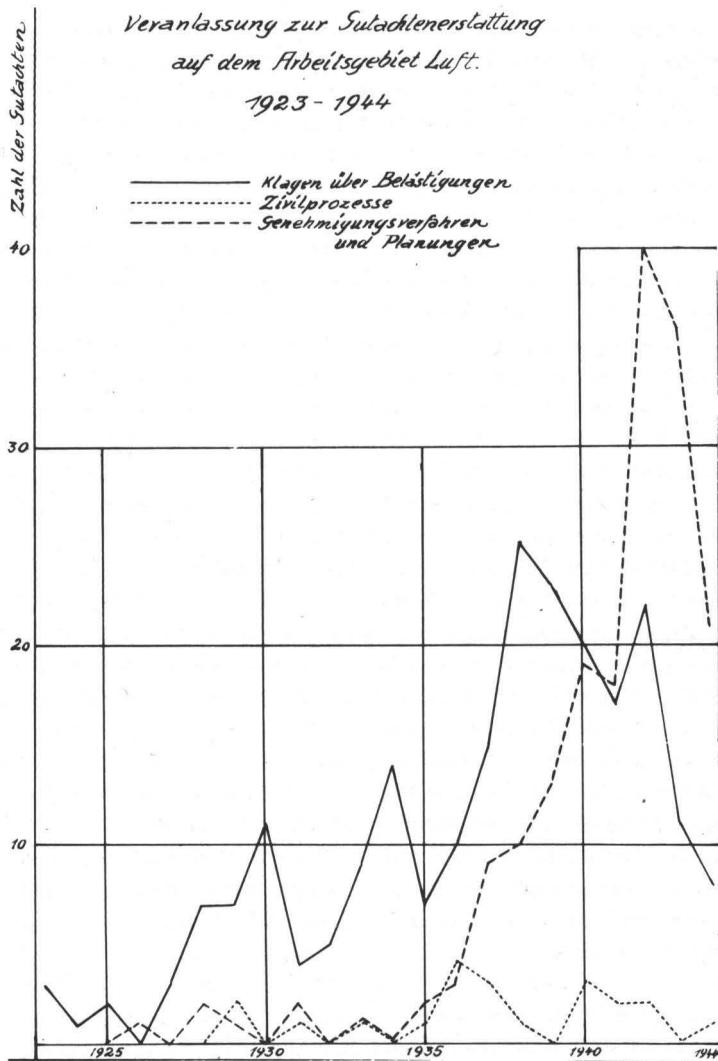
Eine Schwerpunktverlagerung der Tätigkeit der Landesanstalt auf die Punkte 3 und 4 im Laufe der Zeit wird aus der Anlage 2 deutlich, während in den ersten 10 Jahren die Erkennung von Schäden und Ermittlung der Ursachen Ziel der Gutachten gewesen war. Humanmedizinisch waren die Fälle Böhlen, Knapsack, Merseburg, Offleben, tiermedizinisch (Erkrankung oder Tod von vornehmlich Weidevieh) die Fälle Hettstedt, Niedermarsberg, Nordhausen, Seelze und Weisweiler von besonderer Bedeutung. Jahrelange Vegetationsbeobachtungen in Industriegebieten, z.B. in Leuna und Bitterfeld-Wolfen, die auch wissenschaftlich von den Botanikern ausgewertet wurden, betrafen das Gebiet der eigentlichen „Rauch“-Schäden an Pflanzen in Wald und Flur. Schließlich hat die Landesanstalt in den Jahren 1930-1936



Anlage 1

bei Genehmigung sämtlicher Werke im Industriegebiet Magdeburg-Nord den Leitenden Gewerbeaufsichtsbeamten der dortigen Regierung gutachtlich beraten und 1939-1942 sehr umfangreiche Luftuntersuchungen und Erhebungen in den Hütten und sonstigen Industriewerken Oberschlesiens durchgeführt, die die Erstattung des ersten Großraumgutachtens mit Abgaskataster für die Industrie- und Siedlungsplanung im Raum Kattowitz ermöglichten.

Daß seitens der Gewerbeaufsichts- und Genehmigungsbehörden die Arbeiten der 1939 selbständig gewordenen Chemischen Luftabteilung aner-



Anlage 2

kannt worden sind, beweist im Runderlaß des Reichswirtschaftsministers vom 18.2.1942 - III G 7105/42 -, in welchem es u.a. heißt:

„ . . . So lassen sich bei Einführung neuer Arbeitsverfahren oder bei ungünstigen örtlichen Verhältnissen (Tallage, hohe Belastung der Luftvorflut usw.) die Auswirkungen der geplanten Anlage auf die Umgebung und damit die zufordernden Schutzmaßnahmen häufig nicht ohne weiteres übersehen. Auch über anzuwendende Abgasverunreinigungs- oder -aufarbei-

tungsverfahren, über die zulassende Auswurfmenge an schädlichen oder belästigenden Stoffen, über die erforderliche Schornsteinhöhe oder dergl. können erhebliche Zweifel aufkommen. Da die Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem, Corrensplatz 1, auf dem in Rede stehenden Gebiet über reiche Erfahrungen verfügt, lege ich den Genehmigungsbehörden nahe, diese gutachtlich zu hören, wenn es zur Klärung im Genehmigungsverfahren offen gebliebener Fragen des Nachbarschutzes zweckdienlich . . . erscheint . . . Nach den vorliegenden Erfahrungen sollte die Anhörung der Landesanstalt im gewerbepolizeilichen Genehmigungsverfahren tunlichst immer erfolgen, wenn es sich um die Errichtung oder eine wesentliche Erweiterung von Anlagen der nachgenannten Art handelt und hinsichtlich der zum Schutze der Nachbarschaft erforderlichen Auflagen Zweifel bestehen: Dampfkessel-Großanlagen, Metallgewinnungsanlagen, wie Kupfer-, Zink-, Bleihütten, Aluminium- und Magnesiumfabriken, Karbidfabriken, Kohleveredelungsbetriebe, wie Schwefelanlagen, Kokereien, Hydrier- und Synthese-Anlagen, Röstanlagen (einschl. Sinteranlagen), Schwefelsäure-, Salzsäure- und Salpetersäurefabriken, Sulfat-Zellstofffabriken, Superphosphatfabriken, Viskosefabriken, Zementfabriken . . .“

Die Wissenschaftler des Arbeitsgebietes arbeiteten von Anfang an in den einschlägigen Fachorganisationen und deren Arbeitsgruppen mit. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier genannt: Fachausschuß für Staubtechnik beim Verein Deutscher Ingenieure mit den Arbeitsausschüssen „Hygiene“, „Meßwesen“, „Staubtechnik“, „Analyse und Mikroanalyse“, „Morphologie des Staubes“; Reichsarbeitsgemeinschaft für Wärmewirtschaft; Brennkrafttechnische Gesellschaft; Verein Deutscher Chemiker; Deutsche Chemische Gesellschaft; Deutsche Botanische Gesellschaft.

In der Zeit zwischen 1945 und 1950 beschränkte sich die Tätigkeit auf einige Untersuchungen über den Staubniederschlag, insbesondere die Bedeutung des Trümmerstaubes für die Luftbeschaffenheit in verschiedenen Stadtteilen Berlins.

Vor allem im Rahmen der Genehmigungsverfahren sind seit etwa 1950 wieder „Luft“-Gutachten erstattet worden. Zur Sicherstellung des Anwohnerschutzes mußten wegen der Zunahme der Industrialisierung auf engem Raum in der Bundesrepublik und in Berlin-West den neu zu genehmigenden Betriebsanlagen im allgemeinen in den Genehmigungsurkunden weitergehende Auflagen gemacht werden als vor dem Kriege. In Anlehnung an den o.a. Runderlaß des Reichswirtschaftsministers von 1942 hat der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung Mitte der 50er Jahre den Landesregierungen nahegelegt, bei Konzession aller bedeutenden Industrieanlagen und solcher Werke, die neuartige Herstellungsverfahren anwenden, das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene gutachtlich zu hören.

Inzwischen war das Institut Teil des 1952 gegründeten Bundesgesund-

heitsamtes geworden, das seinen Sitz zunächst in Koblenz hatte. Das bei der Präsidialabteilung 1953 eingerichtete Referat für Lufthygiene wurde dem Begründer des Arbeitsgebietes Lufthygiene, Prof. Dr. W. Liesegang, übertragen, der nach Kriegsende nicht mehr nach Berlin zurückgekehrt war und bis 1953 das Flußwasseruntersuchungamt Hildesheim geleitet hatte, aber in engem persönlichen Kontakt mit den Mitarbeitern seiner früheren Abteilung geblieben war. Sein plötzlicher Tod im September 1953 verhinderte seine für später wohl vorgesehene Rückkehr nach Berlin, wo im Verbande des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene wieder die Laboratorien für „Abgas“ und für „Staub“ sich stetig zunehmender Inanspruchnahme erfreuten. Aus organisatorischen und sachlichen Gründen verzichtete man für dieses Arbeitsgebiet auf die sonst im WaBoLu übliche Fakultätentrennung und bezog die Angehörigen der botanisch-biologischen Sparte in die beiden Laboratorien ein. Während Prof. Dr. A. Löbner dem Staublaboratorium vorstand, wurde dem Verfasser die Leitung des gesamten Fachgebietes neben der des Abgaslaboratoriums übertragen. Eine wesentliche Verstärkung erfuhr das Fachgebiet 1956 durch den Eintritt von Dr. rer.nat. Kettner und Dr.-Ing. Lahmann. Von den Forschungsarbeiten aus dieser Zeit bis etwa zum Jahre 1960 sind folgende besonders erwähnenswert: Vergleichende Untersuchungen mit dem abgeänderten Niederschlagswasser-Auffanggerät nach Löbner mit den Geräten von Mirisch (Hibernia-Trichter) und Bergerhoff (damalige Landesanstalt für Bodennutzungsschutz in Bochum) sowie mit Spitz- und Spezialtrichtern (A. Löbner: Ges.-Ing. 80 (1959), 112-115). - Entwicklung eines Windzählers für Immissionsmessungen (A. Löbner: SchrR Ver. WaBoLu H.13 (1958), 29-36). - Die Monographie von A. Heller und A. Löbner: „Luft in der Orts- und Landesplanung“ in: Stadtreinigung, 3. Lfg.. Verlag für Technik und Kultur, Berlin, 1953 ist aus dieser Zeit zu erwähnen. - Auf dem Gebiete der Rauchschadendiagnostik konnten Fortschritte gemacht werden. (Arbeiten von H. Bethge, M. Büsscher und H. Zinkernagel in der SchrR. Ver. WaBoLu H.13 (1958)).

Vorbereitende Arbeiten, insbesondere im Rahmen der Mitarbeit der Institutsmitglieder in den verschiedenen Ausschüssen der Kommission „Reinhaltung der Luft“ im Verein Deutscher Ingenieure, sind für das Gesetz zur Änderung der Gewerbeordnung und Ergänzung des Bürgerlichen Gesetzbuches vom 22.12.1959 geleistet worden. Verfasser war in den letzten 10 Jahren als Mitglied des Beratenden Ausschusses der Bundesregierung gemäß § 16 Abs. 3 Gewerbeordnung an den Entwürfen der verschiedenen Rechtsverordnungen und Verwaltungsvorschriften beteiligt. Nach seiner Teilnahme am Internationalen Kongreß für Luftreinhaltung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in Mailand 1957 und mehrerer einschlägiger

Veranstaltungen in den 60er Jahren (Genf, Kopenhagen, Straßburg) ist er seit mehr als 10 Jahren Mitglied des Expertenkomitees für Lufthygiene der WHO.

Verbindungen mit ausländischen Fachkollegen konnten außerdem in reichem Maße durch die Mitarbeiter Prof. Dr. H. Kettner und Prof. Dr. E. Lahmann angeknüpft werden. Der erstgenannte bekam bereits Anfang 1960 ein Stipendium der WHO für eine Forschungsreise nach England, Frankreich, Belgien und Holland. Prof. Dr. Kettner, der seit 1961 die lufthygienischen Belange des Instituts in dessen Außenstelle Düsseldorf vertritt, wurde ferner bald nach Aufnahme der Ostkontakte durch die Bundesregierung im Jahre 1972 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Wissenschaftleraustausches mit dem Gesundheitsministerium der UdSSR eine „Literatur-Studienreise“ nach Moskau, Kiew und Tbilisi ermöglicht. Neben Trinkwasser- und arbeitshygienischen Normen der UdSSR waren die Grenzwerte für Luftverunreinigungen von besonderem Interesse. Sie sind in einer Veröffentlichung von H. Kettner (1973) niedergelegt (vgl. die folgende Literaturzusammenstellung).

Prof. Dr. Lahmann war bereits 1961 in Irland (WHO) und konnte 1964 mit Unterstützung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene eine ausgedehnte Studienreise durch die USA machen, über die er im Heft 23 der Schriftenreihe des Vereins ausführlich berichtet hat (vgl. die folgende Literaturzusammenstellung). An auswärtigen internationalen Luftreinhaltungskongressen hat er 1966 in London und 1970 in Washington teilgenommen. 1973 konnte er seine Auslandserfahrungen durch Teilnahme an der „Informationsreise Umweltschutz“ nach Japan und Hongkong erweitern. Außer auf diesen Auslandsreisen konnte Prof. Lahmann durch seine Mitarbeit in internationalen Gremien, auf die im einzelnen noch am Schlusse dieser Arbeit eingegangen wird, für das Institut interessante Verbindungen zu ausländischen Fachkollegen knüpfen.

Hinsichtlich der 1962 erfolgten Herauslösung des Fachgebietes aus der Abteilung „Abwasser, Abgas und Staub“ und der Einrichtung einer besonderen Unterabteilung „Luftreinhaltung“, die 1964 zur Abteilung „Reinhaltung der Luft“ unter Leitung des Verfassers erhoben wurde, kann ich hier auf die Ausführungen von Herrn Prof. Dr. Höffken (S. 9-18) verweisen. Das gleiche gilt für den weiteren Ausbau der Abteilung und deren Gliederung in 2 eigenständige Fachgruppen im Jahre 1970 sowie für den Aufgabenbereich der Fachgruppe „Wirkungen der Luftverunreinigungen“ sowie der Außenstellen Düsseldorf und Hattersheim/Frankfurt. Ferner ist in den Begrüßungsworten des Institutsleiters auf die gemeinsam mit dem Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene veranstalteten Kolloquien (S.9) eingegangen worden. Bevor dieser Bericht mit der Fachgruppe „Analytik der

Luftreinhaltung“ schließt, sei hier noch kurz auf die Arbeiten Prof. Dr. Kettners in der Außenstelle Düsseldorf eingegangen.

Er hat sich als Nachfolger im Sachgebiet von Prof. Dr. Löbner zunächst vor allem mit den festen Luftverunreinigungen befaßt. Wie aus der folgenden Literaturzusammenstellung der Veröffentlichungen hervorgeht, hat er einen Staubrichtungsanzeiger zur Ortung von Staubquellen entwickelt (1961), über den Schwebestaub der Luft (1964) und die Ergebnisse 10jähriger Messungen von Staubniederschlägen (1966) berichtet. Rußgehalts- (1968) und Bleibestimmungen (1969) im Staub waren außerdem Gegenstand seiner Arbeiten. In den letzten Jahren hat er sich mit Geruchsbelästigenden Stoffen (1971, 1972, Kolloquium in Düsseldorf, vgl. S. 9) sowie mit der Entwicklung von Geräten zur Dosierung von Gasen bis herunter zum μg -Bereich je Stunde, den Gasdiffusor (1969) und den Gaspermeator (S. 145), beschäftigt.

Über die Fachgruppe „Analytik der Luftreinhaltung“ ist folgendes zu berichten *):

Die Gründung von Landesanstalten und anderen mit der Untersuchung und Beurteilung von Luftverunreinigungen befaßten Stellen in mehreren Bundesländern, in denen die Luftverunreinigung ein besonders dringliches Problem geworden ist, führte zu einer Abnahme der laufenden Gutachtertätigkeit der Mitarbeiter des Institutes. Dadurch konnten die wissenschaftlichen Arbeiten im Sinne der Amtsaufgabe des Bundesgesundheitsamtes „Forschung auf dem Gebiet der öffentlichen Gesundheitspflege“ intensiviert werden. Die Außentätigkeit konzentrierte sich auf die Durchführung größerer Modelluntersuchungen in Zusammenarbeit mit regionalen Stellen. Von diesen Arbeiten seien angeführt:

Untersuchungen in Duisburg (1961/1962),

in Zusammenarbeit mit der damaligen Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein/Westfalen (Bochum) und dem Institut für Luftreinhaltung (Essen)

Luftuntersuchungen im Raum Köln (1962 - 1964),

in Zusammenarbeit mit dem Technischen Überwachungsverein
Rheinland (Köln)

Immissionsmessungen im Raum Mannheim-Ludwigshafen (1964/1965),

in Zusammenarbeit mit dem Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Karlsruhe)

Spezielle luftchemische Untersuchungen im Raum Untermain (1971 - 1973),
in Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie und Geophysik

*) Dem Leiter der Fachgruppe, Direktor und Prof. Dr.-Ing. E. Lahmann, der mir diesen Bericht zur Verfügung stellte, danke ich dafür und für seine sonstigen Bemühungen um dieses Jubiläumsheft verbindlichst.

der Universität Frankfurt und der Meß- und Prüfstelle der Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen (Kassel) und parallel zu anderen beteiligten Institutionen

Blei-Immissionsmessungen in Nordenham (1972/1973) ,

in Zusammenarbeit mit dem Technischen Überwachungsverein Hannover

In Berlin wurden in diesen Jahren zwei umfangreiche Forschungsprogramme mit folgenden Themen durchgeführt:

Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr (1966/1967);

Automatische Messungen von Schwefeldioxid und anderen Komponenten mit Datenfernübertragung und zentraler Meßwerterfassung (seit 1968).

Die Ergebnisse der Untersuchungen über Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr sind in der Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 28 (1969) zusammenfassend dargestellt worden. Die Messung und Beurteilung der Abgase von Verbrennungsmotoren war auch in den anschließenden Jahren mehrfach die Aufgabe von Arbeitsprogrammen. So wurden Untersuchungen in Straßentunnels in Berlin mit der Zielrichtung vorgenommen, die lufthygienisch vertretbare Länge eines Tunnels ohne künstliche Belüftung zu ermitteln. Untersuchungen auf Berliner Gewässern dienten der Beantwortung der Frage, ob der dort sehr dichte Motorbootverkehr eine Beeinträchtigung des Erholungswertes von Ausflugsgebieten zur Folge hat. Im Jahre 1973 wurde im Auftrag des Bundesministeriums des Innern ein Forschungsprogramm zur Ermittlung der durch den Luftverkehr verursachten Luftverunreinigungen begonnen. Die Lage des Flughafens Berlin-Tempelhof inmitten der Stadt bietet günstige Voraussetzungen für die Einrichtung von Meßstationen. Die dort gewonnenen Erfahrungen sollen später auf Untersuchungen am größten deutschen Flughafen in Frankfurt (Main) übertragen werden.

Die automatischen Immissionsmessungen in Berlin richteten sich zunächst auf die kontinuierliche Bestimmung von Schwefeldioxid an 6 Stationen, bei Übertragung der Meßwerte mittels Telefonleitungen in eine zentrale Erfassungsanlage im Institutsgebäude. Dabei wurde die technische Ausrüstung der Meßanlage zum Teil selbst entwickelt und gebaut. Die Lage der Meßstationen im Raum Charlottenburg ermöglichte auch Aussagen über die Auswirkung der Abgase eines Großkraftwerkes auf die Schwefeldioxid-Immission in der Werksumgebung. Nach Abschluß der ursprünglichen Forschungsaufgabe wurde die Anzahl der Meßstationen auf drei reduziert, an diesen jedoch die Messung einer Reihe weiterer Komponenten in das Programm aufgenommen (Windrichtung und -geschwindigkeit, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid). Als ein neuer Gesichtspunkt bei diesen Untersu-

chungen wurde die automatische Eichung von Meßgeräten in das Forschungsprogramm einbezogen.

Die automatischen Schwefeldioxid-Immissionsmessungen in Berlin gaben den Anlaß zu vergleichenden Darstellungen von Meßwerten aus der gesamten Bundesrepublik. Inzwischen konnte die Immissionssituation beim Schwefeldioxid für etwa 30 deutsche Städte mit etwa 50 Meßstationen in 9 Bundesländern für 4 Jahre aufgrund von über 2 Millionen Einzelwerten zusammenfassend wiedergegeben werden.

Das in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft für Schwefeldioxid-Grundbelastungsmessungen angegebene Stichproben-Meßschema war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Dabei wurde insbesondere in vergleichenden Messungen die Anwendbarkeit automatischer Verfahren für Grundbelastungsermittlungen geprüft und nachgewiesen.

Eine für die Praxis des Anwohnerschutzes besonders wichtige Aufgabe war die Entwicklung eines Verfahrens für die Messungen und Bewertung von Immissionen in der Umgebung von Einzelquellen. Dieses Verfahren läßt durch die Berücksichtigung der während der Probenahmen und der im langfristigen Mittel herrschenden Windrichtungen eine Objektivierung von Meßergebnissen zu. Es wurde damit ein wertvolles Hilfsmittel für die Prüfung von Nachbarschaftsbeschwerden im Sinne des § 25, Absatz 2 und 3 der Gewerbeordnung entwickelt.

Die Auswertung kontinuierlich gemessener Immissionskonzentrationen wurde von der technischen wie von der statistischen Seite her bearbeitet. Zum Beispiel wurden auf der technischen Seite Übertragungs- und Erfassungssysteme für Meßdaten entwickelt und getestet und auf der statistischen Seite der Einfluß der Abfragehäufigkeit und der Dauer von Auswertungszeitabschnitten auf Immissionskenngroßen untersucht.

Die Entwicklung und Prüfung von Analysenverfahren zur Bestimmung von Schadstoffen in Luft war ein besonderer Schwerpunkt der wissenschaftlichen Tätigkeit. Es wurden in den letzten Jahren Methoden zur Bestimmung von Schwefelwasserstoff, Phenol, Formaldehyd, Ammoniak, Chloriden, der Staub-Konzentration und des Arsen- und des Bleigehalts im Staub ausgearbeitet und veröffentlicht. Die Bleibestimmungen wurden sowohl photometrisch als auch röntgenfluoreszenzspektrometrisch und atomabsorptionsspektrometrisch vorgenommen. Weitere Veröffentlichungen gaben die Ergebnisse von Untersuchungen zur photometrischen Analyse von Schwefeldioxid (*West-Gaeke-Verfahren*) und von Stickstoffdioxid (*Saltzman-Verfahren*) wieder. Intensive Untersuchungen gelten heute dem Einsatz ionenspezifischer Elektroden für die Analyse von Fremdstoffen in Luft.

Die Bedeutung der Gaschromatographie als Analysenmethode zur Bestimmung von organisch-chemischen Luftverunreinigungen wurde im Institut früh erkannt. Die Forschungen auf diesem Spezialgebiet der Analytik be-

gannen schon 1961 mit Bestimmungen von Aminen, einer besonders unangenehm riechenden Verbindungsklasse. Die chromatographische Arbeitsrichtung soll als Schwerpunkt der analytischen Arbeiten in der Abteilung „Reinhaltung der Luft“ ausgebaut werden. Gaschromatographische Bestimmungen von Pestiziden und in letzter Zeit insbesondere von Herbiziden in Luft und in Niederschlägen werden seit einiger Zeit in intensiver Zusammenarbeit mit dem Laboratorium zur chemischen Untersuchung der Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln in Böden und Gewässern der Abteilung Trink- und Betriebswasser des Instituts vorgenommen.

Zur Probenahmetechnik als wichtigem Teilbereich des Meßwesens wurden Untersuchungen über Einsatzmöglichkeiten von automatischen Steuergeräten für stationäre Probenahmen bei manuellen Analysenverfahren, über die Eignung von kritischen Düsen für Luftvolumen-Bestimmungen und über die Genauigkeit des Flügelrad-Prinzips zur Messung großer Luftvolumina bei Staub-Immissionsmessungen durchgeführt.

Die Bewertung des Einflusses von Wetterfaktoren auf Immissionsmeßdaten war und ist Gegenstand eingehender wissenschaftlicher Untersuchungen im Institut. Schon bei dem Modellschema zu Bewertung der Immissionen in der Umgebung von Einzelquellen kam die Meteorologie mehr als bei Immissionsmessungen in Deutschland bisher üblich zur Geltung, um eine begrenzte „Normierung“ von Meßwerten zu erhalten. Der Meteorologe wirkt im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene bei der Planung und Auswertung von Immissionsmeßprogrammen grundsätzlich mit.

Eine besondere, durch einen Gutachten-Auftrag verursachte Aufgabe führte zur Aufstellung und Programmierung eines Ausbreitungsmodells für die Abgase einer begrenzten Zahl von Emissionsquellen. Die erforderlichen Rechnungen können mit einem Tischrechner ausgeführt werden. Damit wurde eine Brücke geschlagen zwischen der relativ begrenzten Anwendung von Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung für Einzelquellen, wie sie z.B. für Schornsteinmindesthöhenberechnungen routinemäßig genutzt werden, und den Diffusionsmodellen für die Ausbreitung der Abgase ganzer Stadtgebiete, die bisher nur in wenigen Fällen durchgerechnet wurden. Das eigene Modell ermöglicht insbesondere die Bereitstellung schneller Entscheidungshilfen bei Verfahren zur Genehmigung neuer Emissionsquellen. Es können die für verschiedene Emissions- und atmosphärische Bedingungen zu erwartenden maximalen und mittleren Immissionsfelder, die simultan etwa von 20 Quellen verursacht werden, in recht kurzer Zeit berechnet werden. Die von zahlreichen Kleinquellen ausgehende mittlere Immissionsbelastung kann als Grundpegel Berücksichtigung finden.

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Messung staub- und gasförmiger Emissionen konzentrierten sich auf die Prüfung und Fortentwicklung von kontinuierlich-automatisch arbeitenden Meßgeräten zur Untersuchung von

Rauchgasen. In zwei Kraftwerken in Berlin wurden Meßstände eingerichtet, die Untersuchungen an kohle- und ölgefeuerten Kesselanlagen ermöglichen. Zur wissenschaftlichen Auswertung des umfangreichen Meßmaterials steht ein Prozeßrechner zur Verfügung.

Für die Staubbestimmung in Abgasen wurde eine quasikontinuierliche Probenahmeapparatur sowie ein automatisches Meßgerät für gravimetrische Bestimmungen entwickelt. Zur Analyse gasförmiger Fremdstoffe wurde eine arbeitssparende Absorptionsapparatur ausgearbeitet. Für Gasemissionsmessungen waren neben der Prüfung von Geräten zur Schwefeldioxid-Messung in Rauchgasen insbesondere stickoxidhaltige Abgase sowie Abgase von Müllverbrennungsanlagen weitere wichtige Untersuchungsobjekte.

Die fachliche Verbindung zu anderen Abteilungen des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene und zu anderen Instituten des Bundesgesundheitsamtes manifestierte sich von zahlreichen wissenschaftlichen Kontakten bis zu unmittelbarer Zusammenarbeit in konkreten Fällen. Ein Beispiel hierfür sind die oben angeführten Pestizid-Untersuchungen. Weitere praktische Beispiele sind Untersuchungen der Gasentwicklung auf Müll-Deponien, Emissions- und Immissionsmessungen bei Müllverbrennungsanlagen, Analysen bei der Anwendung von Schädlingsbekämpfungsmitteln sowie Luftanalysen in Zusammenhang mit epidemiologischen Untersuchungen.

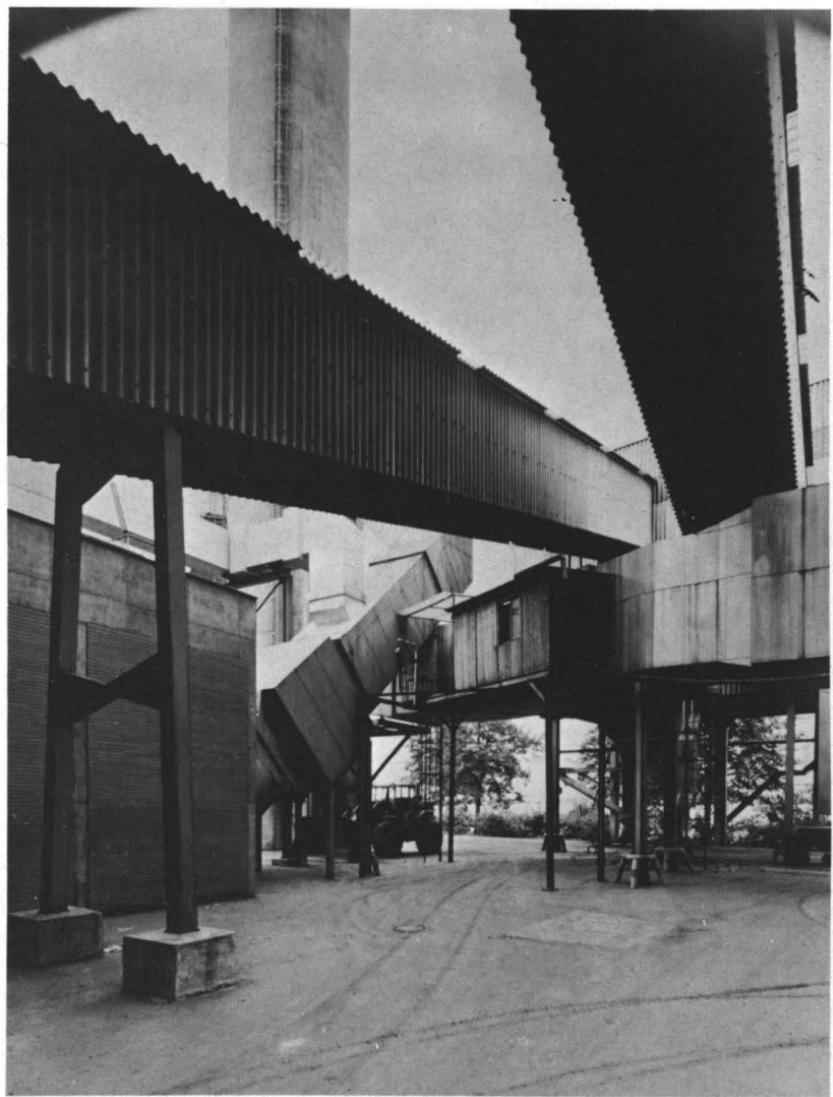
Zu anderen wissenschaftlichen Institutionen in Berlin bestehen vielfältige Kontakte und Verbindungen, die sich der wissenschaftlichen Arbeit als sehr förderlich erwiesen. Von der Technischen Universität erhielt Direktor und Professor Dr. E. Lahmann einen Lehrauftrag über „Luftreinhaltung“ und von der Freien Universität Direktor und Professor Privatdozent Dr. W. Fett Lehraufträge über „Meteorologie der atmosphärischen Spurenstoffe“, „Statistische Auswertung meteorologischer Daten“ und „Meteorologische Aspekte der Umweltforschung“. Forschungen von Dr. S. Häntzsch über gaschromatographische Amin-Bestimmungen und von Dr. L. Laskus zur automatischen, gravimetrischen Staubkonzentrationsbestimmung in Rauchgasen waren Gegenstand von Promotionen an der Technischen Universität Berlin. Auf 2 Veröffentlichungen in der folgenden Literaturzusammenstellung sei hier besonders hingewiesen, weil es sich um umfangreichere Buchbeiträge handelt: A. Heller u. E. Lahmann: Kapitel „Luft“ in Handbuch der Lebensmittelchemie VIII/2 (1969) und W. Knop, A. Heller u. E. Lahmann in Handbuch „Technik der Luftreinhaltung“ (1972).

Wissenschaftler der Abteilung Reinhaltung der Luft waren und sind in zahlreichen internationalen Gremien tätig, so insbesondere bei der Weltgesundheitsorganisation (WHO), bei der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECD), bei der Kommission der Europäischen Gemeinschaften (EG), bei der Internationalen Standardisierungskommission (ISO), sowie bei der bilateralen deutsch-niederländischen Zusammenarbeit auf dem

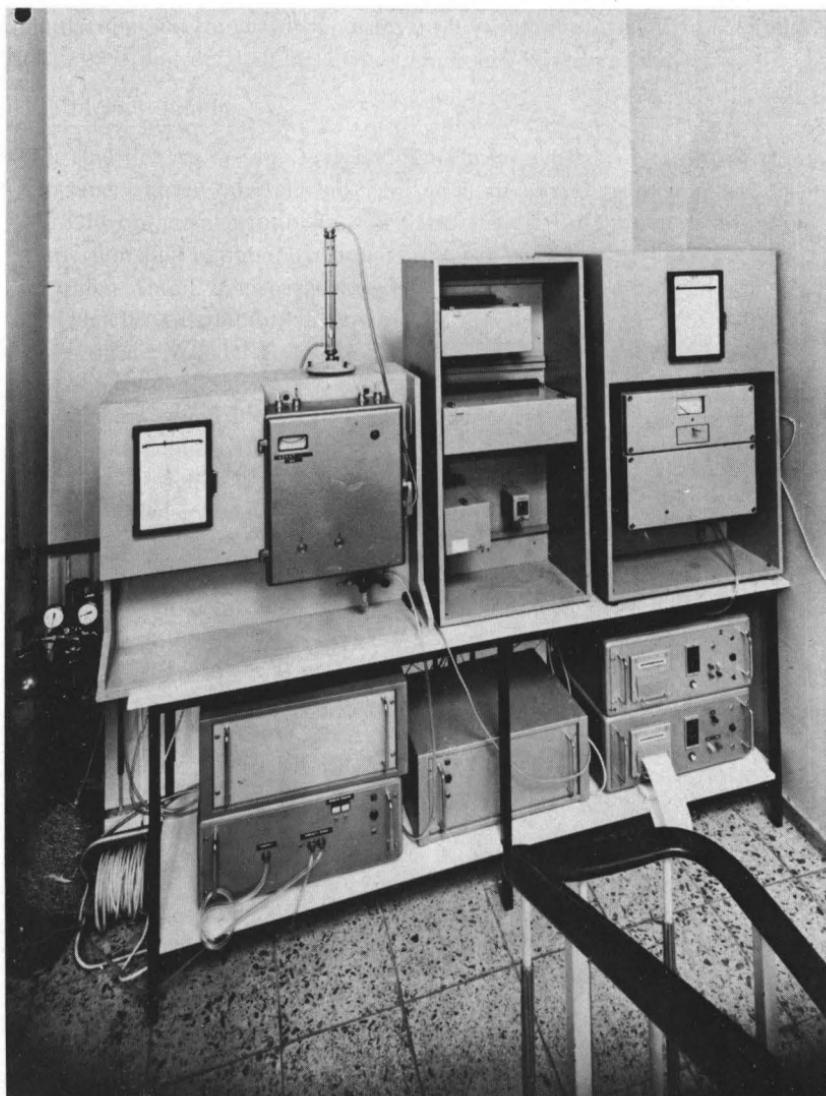
dem Gebiet der Umwelthygiene. Die deutsch-niederländische Zusammenarbeit schlug sich unter anderem auch in der Durchführung gemeinsamer Untersuchungsprogramme - Schwefeldioxidvergleichsmessungen in Delft und Rotterdam und Luftuntersuchungen am Autobahn-Kontrollpunkt bei Emmerich - nieder. Bei einem internationalen Vergleichsmeßprogramm der Kommission der Europäischen Gemeinschaften über Blei-Immissionen in europäischen Großstädten (Paris, Rom, Frankfurt, Brüssel, Rotterdam und London) diente das Institut als Referenzlaboratorium.

Leit. Dir. u. Prof. a.D.
Dr. A. Heller
1 Berlin 37
Mörchinger Str. 119 A

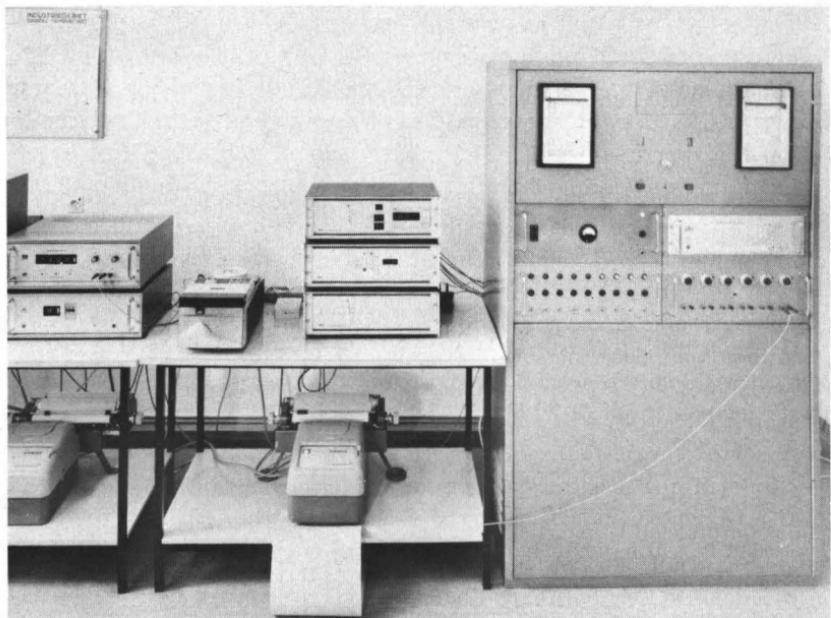
Die nächsten Seiten zeigen einige Abbildungen aus dem Arbeitsbereich der Abt. „Reinhaltung der Luft“.



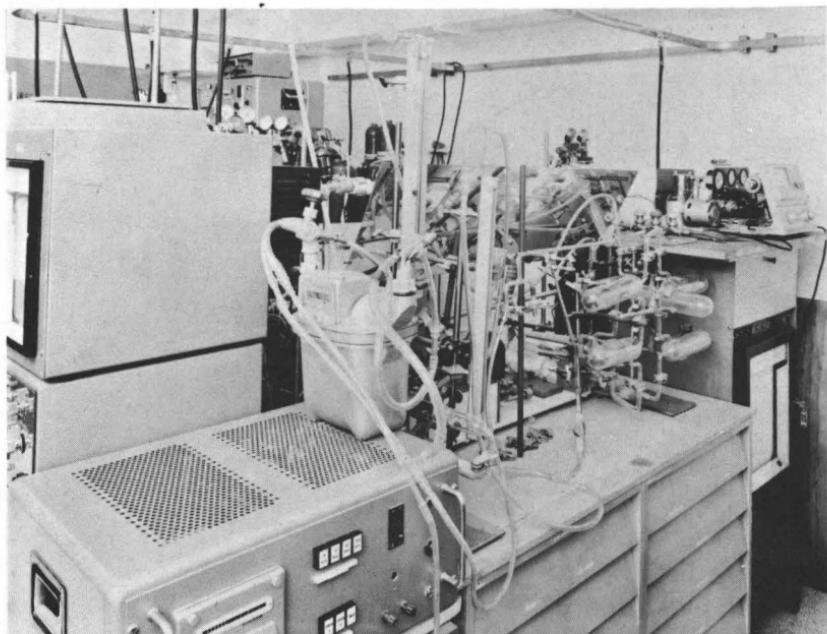
Meßstation am Abgaskanal eines Berliner Kraftwerkes (Foto: Just Berlin)



Meßstation für automatische Luftuntersuchungen mit Datenfernübertragung
(Foto: Just Berlin)



Zentrale Erfassung der Luftmeßwerte von automatischen Meßstationen
(Foto: Just Berlin)

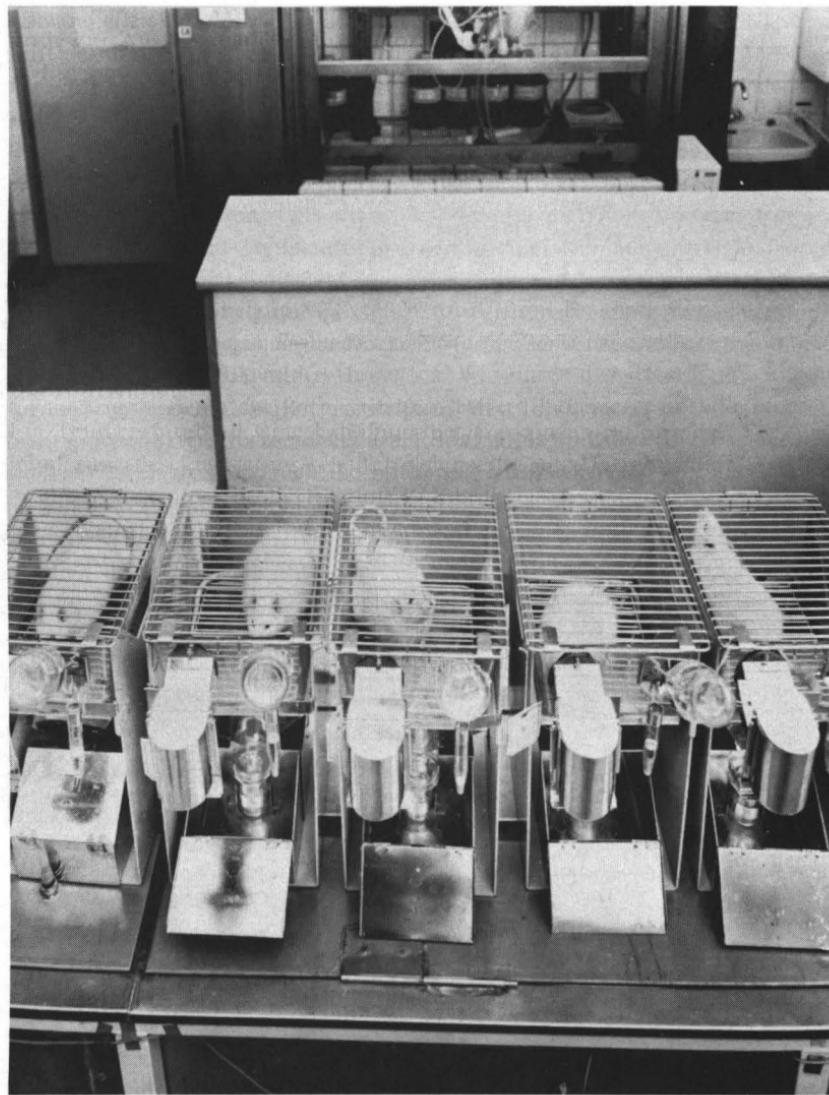


Versuchsanordnung zur Herstellung von Prüfgasen (Foto: Just Berlin)



Anlage zur Erzeugung definierter Kraftfahrzeugabgase für tierexperimentelle Untersuchungen

(Foto: Just Berlin)



Stoffwechselkäfige für Versuche an Kleintieren

(Foto: Just Berlin)

Literaturzusammenstellung

- Liesegang, W.:* Über Automobil-Auspuffgase, ihre Zusammensetzung und ihre gesundheitsschädlichen Eigenschaften. *Technisches Gemeindeblatt* **30** (1927), 86-91
- Liesegang, W.:* Chemische Ermittlungen auf dem Gebiete der Lufthygiene. 1. Mitteilung - Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **3** (1927), 4-10
- Liesegang, W.:* Die Untersuchung von Motorbetriebsstoffen. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **3** (1927), 40-43
- Liesegang, W.:* Die Untersuchung atmosphärischer Niederschläge. 1. Mitteilung - Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **3** (1927), 317-327
- Liesegang, W.:* Chemische Fragen der Lufthygiene. Das Essener Heft, Beiheft 5 der Kleinen Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. (1927), 329-344
- Tiegs, E.:* Pflanzen und Giftgase, insbesondere schweflige Säure. Das Essener Heft, Beiheft 5 der Kleinen Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. (1927), 314-328
- Liesegang, W.:* Die Untersuchung atmosphärischer Niederschläge. 2. Mitteilung - Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **4** (1928), 178-182
- Liesegang, W.:* Die Untersuchung atmosphärischer Niederschläge. 3. Mitteilung - Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **4** (1928), 261-265
- Liesegang, W.:* Die Untersuchung atmosphärischer Niederschläge. 4. Mitteilung - Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **4** (1928), 329-330
- Liesegang, W.:* Die unvollkommene Verbrennung im Kraftwagenmotor, ihre wirtschaftliche und hygienische Bedeutung. *Zeitschrift für angewandte Chemie* **41** (1928), 712-713
- Liesegang, W.:* Straßenstaubbindemittel. *Gesundheits-Ingenieur* **51** (1928), 239-242
- Liesegang, W.:* Über den gegenwärtigen Stand der Lufthygiene. *Klinische Wochenschrift* **7** (1928), 463-465
- Teschner, G.:* Die Luft- und Gasreinigung in der Zellstoff- und Papierindustrie, ein betriebswirtschaftliches und hygienisches Erfordernis. *Technologie und Chemie der Papier- und Zellstoff-Fabrikation* **25** (1928), 45-48
- Teschner, G.:* Rauch- und Rußbekämpfung. *Wärmewirtschaft. Nachrichten für Hausbau, Haushalt und Kleingewerbe* **1** (1928), 171-177

- Lehmann, H.:* Über den Wert der basophil punktierten Erythrocyten für die Frühdiagnose der gewerblichen Bleivergiftung. Korrespondenz-Blätter des Allgemeinen ärztlichen Vereins von Thüringen 1 (1929), 2-4
- Lehmann, H.:* Über das Vorkommen basophil granulierter Erythrocyten beim Menschen ohne Bleieinwirkung als Ursache. Archiv für Hygiene 102 (1929), 111-123
- Liesegang, W.:* Amerikanische Untersuchungen über Auspuffgase von Kraftwagen. Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft 9 (1929), 63-68
- Liesegang, W.:* Die Untersuchung atmosphärischer Niederschläge. 5. Mitteilung, Schlußmitteilung - Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 5 (1929), 84-86
- Liesegang, W.:* Die Auspuffgase der Kraftwagenmotoren. Gesundheits-Ingenieur 52 (1929), 385-391
- Liesegang, W.:* Die Bestimmung des Staubes in der Straßenluft. Gesundheits-Ingenieur 52 (1929), 593-595
- Bethge, H.:* Beiträge zur Frage der Empfindlichkeit von Blättern gegen schweflige Säure. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 6 (1930), 224-226
- Lehmann, H.:* Die Wirkung des Kohlenoxyds auf den menschlichen Organismus und ihre Bedeutung für die öffentliche Gesundheitspflege. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 6 (1930), 199-215
- Liesegang, W.:* Die Bekämpfung von Rauch, Staub und Abgasen als hygienische Aufgabe. Rauch und Staub 20 (1930), 89-92
- Liesegang, W.:* Über einige gesundheitlich wichtige gas- und dampfförmige Verunreinigungen der atmosphärischen Luft [I. Schwefelwasserstoff] Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 6 (1930), 216-223
- Liesegang, W.:* Die Bekämpfung von Rauch, Staub und Abgasen als hygienische Aufgabe. Zeitschrift für Desinfektions- u. Gesundheitswesen 22 (1930), 331-338
- Teschner, G.:* Über die Beseitigung der Geruchsbelästigung in Natron-Sulfat-Zellstofffabriken. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 6 (1930), 233-239
- Tiegs, E.:* Über den Schwefelgehalt der Blätter. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 48 (1930), 58-62
- Ulsamer, O.:* Großstadtluft. Wie sie sich zusammensetzt. Spandauer Zeitung (1930), Nr. 121
- Ulsamer, O.:* Lufthygiene in der Großstadt. Deutsche Korrespondenz für Gesundheitswesen und Sozialversicherung (1930), Nr. 10, 7-9
- Ulsamer, O.:* Großstadtluft und ihre Bedeutung für die menschliche Gesundheit. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 6 (1930), 169-191

- Heller, A.:* Untersuchungen über den Gasreduktor nach H. Tröbs D.R.P.a. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 7 (1931), 170-173
- Lehmann, H.:* Tüpfelzellen und gewerbliche Bleivergiftung. Zentralblatt für Gewerbehygiene und Unfallverhütung N.F. 8 (1931), 121-122
- Liesegang, W.:* Über die Verteilung schwefelhaltiger Abgase in freier Luft. Gesundheits-Ingenieur 54 (1931), 705-709
- Liesegang, W.:* Staub. Herkunft, Bedeutung und Bekämpfung. Die Koralle 7 (1931), 359-361
- Liesegang, W. und W. Winkhaus:* Über die Anwendung von Temperaturmeßgeräten und Abgasprüfern an Siemens-Martinöfen. Archiv für das Eisenhüttenwesen 4 (1931), 421-429
- Heller, A.:* Bestimmung von Salzsäure in der Luft. Gesundheits-Ingenieur 55 (1932), 261-262
- Heller, A.:* Bestimmung geringer Mengen von Kohlenoxyd in der Luft mittels Jodpentoxyd nach dem Verfahren von P. Schläpfer und E. Hoffmann. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 8 (1932), 189-197
- Heller, A. und M. Horn:* Über die gasanalytische Bestimmung der bei Luftuntersuchungen durch das „Glockenverfahren“ erhaltenen Salzsäure. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 8 (1932), 198-201
- Lehmann, H.:* Die Luft, in der der Berliner atmet. Berliner Lokal-Anzeiger (1932), Nr. 408
- Lehmann, H.:* Die Wirkung der Kohlensäure auf den menschlichen Organismus und ihre Bedeutung für die öffentliche Gesundheitspflege. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 8 (1932), 145-158
- Lehmann, H.:* Entwicklung, Zweck und Ziel der Lufthygiene im Hinblick auf die menschliche Gesundheit und öffentliche Gesundheitspflege. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 8 (1932), 308-334
- Liesegang, W.:* Die Giftigkeit der Motorentreibstoffe und ihrer Verbrennungsprodukte. Zeitschrift für angewandte Chemie 45 (1932), 329-330
- Liesegang, W.:* Über den Nachweis von Verunreinigungen durch Industrieabgase in der freien atmosphärischen Luft. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. 8 (1932), 174-181
- Liesegang, W.:* Über den Nutzen von Meßgeräten an Zentralheizungskesseln. Gesundheits-Ingenieur 55 (1932), 169-172
- Liesegang, W.:* Meßgeräte und Regler in zentralgeheizten Räumen. Gesundheits-Ingenieur 55 (1932), 229-232
- Liesegang, W.:* Meßgeräte und Regler in zentralgeheizten Räumen. (Schluß) Gesundheits-Ingenieur 55 (1932), 242-244
- Liesegang, W.:* Die behördliche Stellung zur Schaffung eines Luftrechtes und die technischen Mittel zur Abgasentstaubung. Zeitschrift für Gesundstechnik und Städtehygiene 24 (1932), 7-14

- Zinkernagel, H.:* Über den Einfluß des Leuchtgases auf Wurzeln von *Allium cepa*. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft **50** (1932), 134-153
- Heller, A. und H. Lehmann:* Die hygienische Notwendigkeit ausreichender Lüftungsanlagen in Sport-, Turn- und Schwimmhallen. Deutsches Archiv für Leibesübungen **6** (1933), 292-294
- Lehmann, H.:* Die Wirkung von Reizgasen auf den menschlichen Organismus und ihre Bedeutung für die öffentliche Gesundheitspflege [I. Schweflige Säure] Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **9** (1933), 33-45
- Lehmann, H.:* Die Wirkung von Reizgasen auf den menschlichen Organismus und ihre Bedeutung für die öffentliche Gesundheitspflege. [II. Salpetersäure, Nitrose Gase, Salzsäure, Chlor, Ammoniak, Schwefelsäure, Fluorwasserstoff] Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **9** (1933), 276-285
- Liesegang, W.:* Über einige gesundheitlich wichtige gas- und dampfförmige Verunreinigungen der atmosphärischen Luft. [II. Kohlenoxyd] Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **9** (1933), 45-55
- Liesegang, W.:* Über einige gesundheitlich wichtige gas- und dampfförmige Verunreinigungen der atmosphärischen Luft. [III. Schwefeldioxyd] Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **9** (1933), 286-296
- Liesegang, W.:* Untersuchungen über die Mengen der in Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **9** (1933), 306-312
- Liesegang, W.:* Elektrische Fernsteuereinrichtungen und Regler in Lüftungsanlagen. Siemens-Zeitschrift **13** (1933), 42-48
- Liesegang, W.:* Über den Chloridgehalt der Luft in der Umgebung des Gradierwerkes Salzelen. Zeitschrift für Kurortswissenschaft **3** (1933), 24-26
- Zinkernagel, H.:* Kurze Mitteilung über die Einwirkung von schwefliger Säure auf Blütenorgane. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **9** (1933), 178-181
- Zinkernagel, H.:* Einige Versuche über den Einfluß von Schwefelwasserstoff auf *Elodea canadensis*. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **9** (1933), 188-193
- Heller, A.:* Bestimmungen des Rußgehaltes der Luft mit dem Automatic Filter von Owens. Gesundheits-Ingenieur **57** (1934), 185-190
- Heller, A.:* Die Erkennung von Eisen, Blei und Teer in Staubpräparaten. Gesundheits-Ingenieur **57** (1934), 322-323
- Heller, A.:* Vergleichende Untersuchungen über die Staubbestimmungsverfahren von Owens und Liefmann-Liesegang. Gesundheits-Ingenieur **57** (1934), 341-343

- Heller, A.:* Bestimmung der Rußgehaltsschwankungen in der Luft. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure **78** (1934), 565-567
- Lehmann, H.:* Zur Wirkung der Kampfgase auf den Menschen. Zeitschrift der Reichsfachschaft Desinfektoren **9** (1934), 22-23
- Lehmann, H.:* Die hygienische Bedeutung des Staubes in der Atemluft. Naturwissenschaftliche Korrespondenz **9** (1934), Nr. 5
- Lehmann, H.:* Staubbestimmung im Freien. Ein neues Gerät zur Staubuntersuchung. Gesundheits-Ingenieur **57** (1934), 255
- Liesegang, W.:* Untersuchungen über die Mengen der in Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. (Berichtsjahr 1933/34). Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **10** (1934), 350-355
- Liesegang, W.:* Über die bei der Aufbereitung von Kieselgur entstehenden Abgase. Angewandte Chemie **47** (1934), 48-49
- Tiegs, E.:* Rauchschäden. Handbuch der Pflanzenkrankheiten. Hrsg. Sorauer. 6. Aufl. 1, 2. Tl., 243-309. Berlin: Paul Parey 1934.
- Heller, A.:* Das Mengenverhältnis von in kaltem Wasser löslichem Eisen zum Gesamteisen in Blättern gesunder und geschädigter Pflanzen. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **11** (1935), 43-47
- Liesegang, W.:* Die Reinhalzung der Luft. Ergebnisse der angewandten physikalischen Chemie **3** (1935), 1- 109
- Löbner, A.:* Horizontale und vertikale Staubverteilung in einer Großstadt. Dissertation, Leipzig 1935
- Löbner, A.:* Das Zeiß-Konimeter und seine Anwendungsmöglichkeiten. Phytopathologische Zeitschrift **8** (1935), 633-636
- Nehls, H.:* Untersuchungen über die Mengen der in Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. (Berichtsjahr 1934/35). Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **11** (1935), 248-251
- Liesegang, W.:* Der Anwohnerschutz beim Betriebe von Großkesselfeuern. Mitteilung der Vereinigung der Großkesselbesitzer (1936), Nr.59, 268-272
- Liesegang, W.:* Die Bedeutung der chemischen Luftuntersuchung für die gewerbepolizeiliche Genehmigung von Industrieanlagen. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **12** (1936), 395-413
- Nehls, H.:* Untersuchungen über die Mengen der in den Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen (Berichtsjahr 1935/36). Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **12** (1936), 314-318
- Heller, A.:* Über die Bestimmung des Staubniederschlages in der Umgebung von staubauswerfenden Industriewerken. Gesundheits-Ingenieur **60** (1937), 213-216
- Heller, A.:* Feuerungsanlagen und Luftbeschaffenheit. Gesundheits-Ingenieur **60** (1937), 385-390

- Heller, A.: Die Bedeutung des Kampfes gegen Rauch, Ruß und Flugstaub für die deutsche Gesamtwirtschaft. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **13** (1937), 119-129
- Liesegang, W.: Die Bedeutung der Industrieabgase im Rahmen der deutschen Volkswirtschaft. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **13** (1937), 102-119
- Liesegang, W.: Welches Maß von Flugascheauswurf ist bei Kraftwerken als ortsüblich zu bezeichnen? Wärmewirtschaft **10** (1937), 77-83
- Löbner, A.: Vergleichende Untersuchungen über den Staubgehalt der Großstadluft im Winter und Sommer. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **13** (1937), 181-200
- Löbner, A.: Methodik und Ergebnisse von Staubmessungen im Freien mit dem Zeiß'schen Freiluft-Konimeter. Gesundheits-Ingenieur **60** (1937), 97-102
- Löbner, A.: Staubverteilung in einer Großstadt. Umschau **41** (1937), 474-477
- Nehls, H.: Untersuchungen über die Mengen der in den Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. (Berichtsjahr 1936/37). Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **13** (1937), 347-351
- Zinkernagel, H.: Einige Versuche über den Einfluß verschiedener Säuren auf *Elodea canadensis*. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **13** (1937), 226-240
- Liesegang, W.: Schwefelwasserstoff und Phenol in der Luft. Ihr Nachweis mit Hilfe des Glockenverfahrens. Gesundheits-Ingenieur **61** (1938), 320-322
- Nehls, H.: Untersuchungsverfahren für die Bestimmung der in Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **14** (1938), 112-117
- Tiegs, E.: Über den Schwefelgehalt der Blätter von *Helianthus annuus*. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft **56** (1938), 26-29
- Zinkernagel, H.: Über den Nachweis von Säureschädigung grüner Pflanzenzellen. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **14** (1938), 29-33
- Heller, A.: Über die Bestimmung von Verunreinigungen der Luft im Freien. Staub (1939), H. 10, 247-263
- Liesegang, W.: Das Verhalten von Abgasen in der Luft. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **15** (1939), 185-203
- Liesegang, W.: Die Luft. Chemisch-technische Untersuchungsmethoden. Ergänzungswerk zur achten Auflage. Hrsg. v. Jean D'Ans. Tl. II., 164-178. Berlin: Julius Springer 1939

- Nehls, H.:* Untersuchungen über die Mengen der in den Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen (Berichtsjahr 1937/38). Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **15** (1939), 122-126
- Nehls, H.:* Untersuchungen über die Mengen der in den Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. (Berichtsjahr 1938/39). Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **15** (1939), 204-209
- Heller, A.:* Entstauber. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **16** (1940), 175-212
- Heller, A. und H. Lehmann:* Luft. Handbuch der Lebensmittelchemie 8, Teil 2, 487-599, Berlin: Julius Springer 1940
- Lehmann, H.:* Staub in der Industrie der Steine und Erden. Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft **21** (1940), 412-413
- Liesegang, W.:* Das Glockenverfahren, Ergebnisse von Luftuntersuchungen im Freien. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **16** (1940), 157-174
- Löbner, A.:* Siebung, Windsichtung und Trübungsmessung und ihre Bedeutung für die Beurteilung von Flugstaubeinwirkungen. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **16** (1940), 213-222
- Nehls, H.:* Untersuchungen über die Mengen der in den Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. Kleine Mitt. d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg. **16** (1940), 222-225
- Liesegang, W.:* Die gewerbepolizeiliche Beschränkung des Staubauswurfes bei Zementöfen. Zement **30** (1941), 535-540
- Löbner, A.:* Außenluft als Frischluft für Lüftungs- und Klimaanlagen. Wärme- und Kältetechnik **43** (1941), 89-92
- Bursche, E.-M.:* Beiträge zur Giftwirkung von Fluorverbindungen auf grüne Pflanzen. Dissertation, Marburg 1947
- Löbner, A.:* Lufthygienische Fragen in kriegszerstörten Städten. Gesundheits-Ingenieur **68** (1947), 48-50
- Löbner, A.:* 10 Jahre Regenwasseranalyse - ein Beitrag zur Ortsüblichkeit von Staubniederschlägen. Gesundheits-Ingenieur **70** (1949), 196-200
- Heller, A.:* Reinhaltung der Luft: Industrieabgase und sonstige Verunreinigungsquellen (Sammelreferat über die vom 1. Januar 1949 bis zum 30. Juni 1950 erschienenen Veröffentlichungen). Städtehygiene **1** (1950), 312-315
- Heller, A.:* Die gesundheitliche Bedeutung industrieller Abgase. Berliner Gesundheitsblatt **1** (1950), 97-98
- Heller, A.:* Die Planung neuer und die Erweiterung bestehender Industrieanlagen im Hinblick auf die Reinhaltung der Luft. Gesundheits-Ingenieur **71** (1950), 156-159

- Liesegang, W.:* Entwicklung und Motive der Gesetzesbestimmungen zur Einschränkung industrieller Immissionen. Berichte d. Fachausschusses für Staubtechnik im Verein Deutscher Ingenieure 1 (1950), 3-9
- Löbner, A.:* Über lufthygienische Fragen. Desinfektion 42 (1950), 48
- Löbner, A.:* Verstaubungskarten von Berlin 1949/1950. Raumforschung und Raumordnung 10 (1950), 142-143
- Löbner, A.:* Leitstaube als Hilfsmittel bei der optischen Analyse von Staubpräparaten. Mitteilungen aus der Praxis. Staub (1950), H.22, 281-288
- Liesegang, W.:* Die Betriebsüblichkeit der Staubimmission und die Ortsübelkeit des Staubniederschlags. Staub (1951), H.24, 4-10
- Löbner, A.:* Gedanken zur Frage der Sicherstellung des Anwohnerschutzes bei Großkesselfeuerungen. Staub (1951), H.24, 1-3
- Löbner, A.:* Ergebnisse von Regenwasser-Untersuchungen in den Jahren 1940 bis 1951. Staub (1951), H.27, 443-448
- Heller, A.:* Geruchsbelästigungen der Anwohner durch Fischmehlfabriken und ihre Bekämpfung. Gesundheits-Ingenieur 73 (1952), 257-259
- Heller, A.:* Bauplanung und Lufthygiene. Städtehygiene 3 (1952), 205-208
- Löbner, A.:* Meteorologische Einflüsse auf die Ausbreitung industrieller Abgase. Physikalische Verhandlungen 4 (1953), 233
- Heller, A.:* Soll man in Deutschland das Abgasproblem, insbesondere bei Feuerstätten, gesetzlich regeln? Gesundheits-Ingenieur 75 (1954), 386-392
- Heller, A. und A. Löbner:* Luft in der Orts- und Landesplanung. Stadtreinigung, 3. Lfg. Berlin: Verlag für Technik und Kultur 1953
- Löbner, A.:* Staubauswurf bei Zementfabriken und Nachbarschutz. Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsschutz 2 (1954), 231-237
- Nehls, H.:* Bekämpfung übler Gerüche in Abwasserkanälen. Gesundheits-Ingenieur 75 (1954), 268-269
- Bursche, E.-M.:* Vegetationsschäden durch Fluor. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 10 (1955), 39-83
- Heller, A.:* Verfahren zur Untersuchung der Außenluft und deren Bedeutung für die Lufthygiene. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 10 (1955), 27-38
- Löbner, A.:* Meteorologische Einflüsse auf die Ausbreitung industrieller Abgase. Meteorologische Abhandlungen des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Freien Universität 2 (1955), 83-91
- Heller, A.:* Die lufthygienische Bedeutung der Ölfeuerung. Gesundheits-Ingenieur 77 (1956), 236-238

- Bethge, H.:* Spektralphotometrische Untersuchungen rauchgeschädigter Pflanzen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 12 (1957), 3-22
- Kettner, H.:* Höchstzulässige Konzentrationen der atmosphärischen Verunreinigungen in der UdSSR. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 12 (1957), 30-48
- Lahmann, E.:* Untersuchungen der Abgase eines Cyanid-Betriebes. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 12 (1957), 49-53
- Löbner, A. und H. Nehls:* Untersuchungsverfahren für die Bestimmung der in den Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 12 (1957), 23-29
- Bethge, H.:* Spektralphotometrie und Rauchschadendiagnostik. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 13 (1958), 3-10
- Büsscher, M.:* Spektralphotometrischer Nachweis von Säureschäden an Pflanzen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 13 (1958), 11-20
- Heller, A.:* Unsere Luft soll bald besser werden! Der Volkswirt (1958), H.24, 1095
- Heller, A.:* Industrielle Immissionen. Schriftenreihe aus dem Gebiete des öffentlichen Gesundheitswesens (1958), H.8, 65-77
- Heller, A.:* Möglichkeiten und Maßnahmen zur Besserung der Luftverhältnisse in Industriegebieten und Großstädten. Kommunalwirtschaft 4 (1958), 135-138
- Kettner, H.:* Die englische Gesetzgebung zur Luftreinhaltung. Bundesgesundheitsblatt 1 (1958), 49-52
- Kettner, H.:* Die sowjetische Regelung der Luftreinhaltung. Bundesgesundheitsblatt 1 (1958), 161-166
- Kettner, H.:* Höchstzulässige atmosphärische Schadstoffkonzentrationen in der UdSSR. Wasser, Luft und Betrieb 2 (1958), 59-60
- Kettner, H.:* Die englische Luftreinhaltungsgesetzgebung. Staub 18 (1958), 105-110
- Löbner, A.:* Windzähler für Immissionsmessungen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 13 (1958), 29-36
- Zinkernagel, H.:* Über den Wert der chemischen Bestimmung des Schwefelgehaltes in Blättern bei Rauchschadendiagnosen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 13 (1958), 21-28
- Löbner, A.:* Ergebnisse von Staubniederschlagsmessungen und ihre Abhängigkeit von der Form des Meßgerätes. Gesundheits-Ingenieur 80 (1959), 112-115

- Heller, A.:* Luftverunreinigung und Abhilfemaßnahmen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 16 (1960), 18-26
- Heller, A.:* Praktische Erfahrungen aus der Staubniederschlagsmessung. Staub 20 (1960), 282-285
- Kettner, H.:* Neue MAK (Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen) in der Sowjet-Union. Staub 20 (1960), 369-370
- Kettner, H.:* Über Staubemissionen aus Zementwerken. Arbeitsschutz (1960), H.6, 136-137
- Löbner, A.:* Ergebnisse von Staubniederschlagsmessungen an verschiedenen Orten Deutschlands in den Jahren 1953-1959. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 15 (1960), 8 S.
- Heller, A.:* Ursachen, Wirkungen und Bekämpfung von Luftverunreinigungen. Bundesgesundheitsblatt 4 (1961), 201-203
- Kettner, H.:* Luftreinhaltung in England. Luftverunreinigung (1961), 33-44
- Kettner, H.:* Maximale Außenluftkonzentrationen von Schadstoffen. Staub 21 (1961), 527-529
- Kettner, H.:* Sowjetische MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen) für das Jahr 1960. Zentralblatt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz 11 (1961), 63-65
- Kettner, H.:* Staubrichtungsanzeiger zur Ortung von Staubquellen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 19 (1961), 171-175
- Lahmann, E.:* Schwefeldioxid-Immissionsmessungen in der Umgebung einer Erz-Sinteranlage. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 19 (1961), 166-170
- Zinkernagel, H.:* Fluorgehalte in Apfelblättern als lufthygienischer Test in Anwohnerschutzfragen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 19 (1961), 160-165
- Heller, A.:* Probleme bei der Beurteilung der Außenluftbeschaffenheit. Bundesgesundheitsblatt 5 (1962), 33-36
- Heller, A.:* Probleme bei der Beurteilung der Außenluftbeschaffenheit (Fortsetzung). Bundesgesundheitsblatt 5 (1962), 80-82
- Heller, A.:* Reine Luft. Physikalisch-diätetische Therapie. Naturheilverfahren 3 (1962), 176-180
- Kettner, H.:* Entwicklung und Stand der Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft in England. Gesundheits-Ingenieur 83 (1962), 133-140
- Kettner, H.:* Die Entfernung von Schwefeldioxyd aus Abgasen. Luftverunreinigung (1962), 36-39
- Kettner, H.:* Zur Frage der Standardisierung von Staubmeßgeräten. Luftverunreinigung (1962), 58-60

- Lahmann, E. und S. Häntzsch:* Die Gaschromatographie als Analysenmethode für Untersuchungen der Außenluft. *Gesundheits-Ingenieur* 83 (1962), 270-272
- Krämer, J. und H. Kettner:* Maßnahmen zur Luftreinhaltung bei Haus- und Kleingewerbefeuерungen. *Staub* 23 (1963), 196-203
- Lahmann, E.:* Probleme der Luftverunreinigung. *Therapie des Monats* 13 (1963), 211-224
- Langmann, R. und H. Kettner:* Schwebestaubgehalt der Luft in Mülheim/Ruhr. *Gesundheits-Ingenieur* 84 (1963), 247-250
- Löbner, A.:* Vergleichende Staubniederschlagsmessungen mit verschiedenen Auffanggeräten. *Staub* 23 (1963), 371-373
- Heller, A.:* Ergebnisse der Tagung 1963 der WHO in Genf über Lufthygiene und gegenwärtiger Stand der gesetzlichen Regelung in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt* 7 (1964), 86-90
- Kettner, H.:* Der Staub der atmosphärischen Luft als Umweltfaktor. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 22 (1964), 18-40
- Kettner, H.:* Achema 1964 . Luftverunreinigung (1964), 67-70
- Kettner, H., W. Altvater, H. Gromzig und H. Spelleken:* Über den Einfluß der Witterungsbedingungen auf die Schwebestaubkonzentration in der Außenluft. *Städtehygiene* 15 (1964), 125-128
- Lahmann, E.:* Planung und Durchführung von Immissionsmessungen. *IWL-Forum* 1963, Band I (1964), 183-199
- Lahmann, E.:* Luftverunreinigung - ein Problem des technischen Zeitalters. *Therapie der Gegenwart* 103 (1964), 1195-1204
- Fett, W.:* Erster Durchzug der Spaltprodukte des rotchinesischen Atom-bombentestes vom 16. Oktober 1964 über Berlin. *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin* LIII (1965), Nr. SO 6/65
- Fett, W.:* Die atmosphärischen Spurenstoffe (Konzentrationsbereiche und Vergleiche). *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin* LIII (1965), Nr. SO 3/65
- Fett, W.:* Jahres-, Tages- und Wochengang des Staubgehalts in Berlin-Dahlem im Jahre 1964. *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin* LIII (1965), Nr. SO 9/65
- Häntzsch, S.:* Gaschromatographische Identifizierung und quantitative Bestimmung von aliphatischen Aminen. Ein Beitrag zur Analytik gasförmiger Verunreinigungen der Luft. *Dissertation*, Berlin 1965
- Häntzsch, S. und K.-E. Prescher:* Zur photometrischen Bestimmung primärer Amine mit Ninhydrin. *Zeitschrift für analytische Chemie* 213 (1965), 408-411
- Kettner, H.:* The Removal of Sulfur Dioxide from Flue Gases. *Bulletin of the World Health Organization* 32 (1965), 421-429

- Kruppe, H. und H. Kettner:* Reinhaltung der Luft. Kongress und Ausstellung vom 5.-9. April 1965 in Düsseldorf. Technische Überwachung **6** (1965), 215-220
- Lahmann, E.:* Die Verunreinigung der Luft. Heutiger Stand, Auswirkungen und Bekämpfungsmaßnahmen. *Das Leben* **2** (1965), 15-16
- Lahmann, E.:* Die Verunreinigung der Luft. Heutiger Stand, Auswirkungen und Bekämpfungsmaßnahmen (Fortsetzung). *Das Leben* **2** (1965), 47-48
- Lahmann, E.:* Meßzeitintervalle und Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen. *Gesundheits-Ingenieur* **86** (1965), 69-72
- Lahmann, E.:* Messung gasförmiger Schwefelverbindungen in der Atmosphäre. *Erdöl und Kohle* **18** (1965), 796-800
- Lahmann, E.:* Methoden der Messung gasförmiger Luftverunreinigungen. *Staub* **25** (1965), 346-351
- Lahmann, E.:* Luftverunreinigungen in den Vereinigten Staaten von Amerika. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **23** (1965), 35 S.
- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Beitrag zur diskontinuierlichen Schwefelwasserstoff-Bestimmung in der freien Atmosphäre. *Staub* **25** (1965), 527-528
- Löbner, A.:* Schwebstoffkonzentrationen in der atmosphärischen Luft verschiedener Länder. *Staub* **25** (1965), 221-225
- Petri, H.:* Schädliche Auswirkungen der Luftverunreinigung. *Gesundheits-Ingenieur* **86** (1965), 105-108
- Petri, H.:* Schädliche Auswirkungen der Luftverunreinigung (Schluß). *Gesundheits-Ingenieur* **86** (1965), 148-153
- Petri, H.:* Die gesundheitliche Beurteilung gasförmiger Luftverunreinigungen. *Staub* **25** (1965), 416-422
- Schnitzler, H.:* Weitere Versuche mit einem neuartigen Elektroentstauber. *Staub* **25** (1965), 119-121
- Fett, W.:* Zur Variation der Umgebungsstrahlung durch Fallout-Deposition in Bodennähe. *Atompraxis* **12** (1966), 559-563
- Fett, W.:* Zusammenhang zwischen Niederschlag und Mondphase in Deutschland. *Arch. Meteor. Geoph. Bioklimat., Serie A*, **15** (1966), 205-226
- Fett, W.:* Rhythmischer Durchzug der Spaltproduktenschwaden vom rotchinesischen Atombombentest (9. Mai 1966). *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin* **LXIII** (1966), Nr. SO 46/66
- Fett, W.:* Zum morgendlichen Feuchteverlauf im Zusammenhang mit Tau und Sicht. *Meteor. Rundsch.* **19** (1966), 81-83
- Fett, W.:* Zur Charakterisierung eines Monats durch die Niederschlagshöhe. *Meteor. Rundsch.* **19** (1966), 171-173

- Häntzsch, S.: Trennung niederer aliphatischer Amine durch Gasverteilungschromatographie. *Talanta* **13** (1966), 1297-1302
- Häntzsch, S. und K.-E. Prescher: Beitrag zur Spurenanalyse von Aminen in atmosphärischer Luft. Untersuchung über die Anreicherung. *Staub - Reinhaltung der Luft* **26** (1966), 332-335
- Häntzsch, S. und K.-E. Prescher: Eine Möglichkeit der Peakverdoppelung bei der Gasverteilungschromatographie. *Zeitschrift für analytische Chemie* **218** (1966), 353
- Kettner, H.: Ergebnisse 10jähriger Staubniederschlagsmessungen. *Gesundheits-Ingenieur* **87** (1966), 105-108
- Lahmann, E.: Luftverunreinigungen in den USA und ihre Bekämpfung. *Fortschritte der Medizin* **84** (1966), 461-462
- Lahmann, E.: Die Bestimmung von Phenol in Luft. *Staub - Reinhaltung der Luft* **26** (1966), 530-534
- Prescher, K.-E. und E. Lahmann: Die Bestimmung von Schwefelwasserstoff in atmosphärischer Luft nach dem Methylenblau-Verfahren. *Gesundheits-Ingenieur* **87** (1966), 351-353
- Fett, W.: Stratosphärische Radioaktivitätssmessungen anlässlich des ersten chinesischen H-Bombentests vom 17. Juni 1967. *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin* **LXXVIII** (1967), Nr. SO 53/67
- Fett, W.: Radioaktivitätssondierung im Zusammenhang mit dem 5. rot-chinesischen Atombombentest vom 28.12.1966. *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin* **LXXVIII** (1967), Nr. SO 17/67
- Fett, W.: Sichtweite und atmosphärisches Aerosol in Berlin-Dahlem. *Beitr. Phys. Atmosph.* **40** (1967), 262-278
- Häntzsch, S. und E. Lahmann: Kohlenwasserstoff-Konzentrationen in Straßenluft und ihre Relation zum Auftreten von Kohlenmonoxid. *Erdöl und Kohle* **20** (1967), 642-643
- Lahmann, E.: Die Auswertung kontinuierlicher Immissionsmessungen durch punktförmige Registrierung. *Staub - Reinhaltung der Luft* **27** (1967), 490-491
- Lahmann, E.: Die Untersuchung von Luftverunreinigungen. I. Analysenmethoden. *Bundesgesundheitsblatt* **10** (1967), 145-150
- Lahmann, E.: Die Untersuchung von Luftverunreinigungen. II. Ausführung und Auswertung von Messungen. *Bundesgesundhbl.* **10** (1967), 161-167
- Lahmann, E. und G. Aunap: Kohlenmonoxidmessungen in einem Berliner Autotunnel. *Der Straßenbau* **58** (1967), 349-351
- Lahmann, E., W. Morgenstern und L. Grupinski: Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* **25** (1967), 1-29
- Lahmann, E. und M. Möller: Die Bestimmung von Blei im Staub der atmosphärischen Luft. *Gesundheits-Ingenieur* **88** (1967), 182-186

- Lahmann, E. und M. Möller:* Luftverunreinigung in Städten durch bleihaltige Stäube. *Bundesgesundheitsblatt* **10** (1967), 261-264
- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Beitrag zur gravimetrischen Bestimmung der Staubkonzentration in atmosphärischer Luft mittels Filtergeräten (High Volume Sampler). *Wasser, Luft und Betrieb* **11** (1967), 677-678
- Nietruch, F. und K.-E. Prescher:* Beitrag zur Bestimmung von Schwefeldioxid mit Pararosanilin und Formaldehyd. *Zeitschrift für analytische Chemie* **226** (1967), 259-266
- Nietruch, F. und K.-E. Prescher:* Über die Reinheitsprüfung von Pararosanilin. *Zeitschrift für analytische Chemie* **231** (1967), 29-34
- Aurand, K., E. Lahmann und H. Rühle:* Vergleichende Untersuchungen mit einem kontinuierlich arbeitenden Staubmonitor. *Gesundheits-Ingenieur* **89** (1968), 360-363
- Fett, W.:* Statistische Ausreißer in der Fallout-Verteilung von Berlin. *Metator. Abh. Freie Univ. Berlin* (1968), Nr. SO 25/68
- Heller, A.:* Aktuelle Probleme der Lufthygiene. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* **27** (1968), 67-76
- Häntzsch, S.:* Irregular Behaviour of Aliphatic in Gas-Liquid Chromatography. *Journal of Gas Chromatography* **6** (1968), 228-229
- Häntzsch, S. und K.-E. Prescher:* Beitrag zur kontinuierlichen Summenbestimmung organischer Substanzen mit Flammenionisationsdetektoren. *Wasser, Luft und Betrieb* **12** (1968), 68-69
- Kettner, H.:* Bestimmung des Rußgehaltes in Staubniederschlägen. *Gesundheits-Ingenieur* **89** (1968), 215-216
- Lahmann, E.:* Meßverfahren - Immissionsmessungen. *Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie*. 3. Aufl., Band II/2, S.377-386. Verlag Urban u. Schwarzenberg. München-Berlin-Wien (1968)
- Lahmann, E.:* Die Luftverunreinigung durch Kraftfahrzeuge an einem verkehrsreichen Punkt in Berlin. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* **27** (1968), 77-81
- Lahmann, E.:* Zum Einfluß der Meßdauer auf die Ergebnisse von automatischen Kohlenmonoxid-Bestimmungen an einem Ort. *Staub - Reinhaltung der Luft* **28** (1968), 371-373
- Lahmann, E. und K. Jander:* Formaldehyd-Bestimmungen in Straßenluft. *Gesundheits-Ingenieur* **89** (1968), 18-21
- Lahmann, E., G. Menk und K.-E. Prescher:* Messungen der horizontalen Verteilung von CO-Konzentrationen in einer Straße. *Staub - Reinhaltung der Luft* **28** (1968), 144-145
- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Kohlendioxid-Konzentrationen in der Luft einer verkehrsreichen Straße. *Bundesgesundheitsblatt* **11** (1968), 204-205

- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Schwefelwasserstoff-Bestimmungen in Luft mit automatischer Probenahme. *Wasser, Luft und Betrieb* 12 (1968), 529-531
- Lahmann, E. und J. Westphal:* Beziehungen zwischen Kraftverkehrsdichte und Luftverunreinigungen in einer Großstadtstraße. *Der Straßenbau* 59 (1968), 311-314
- Lahmann, E., J. Westphal, K. Damaschke und M. Lübke:* Kontinuierliche Ozon-Messungen in einer verkehrsreichen Straße. *Gesundheits-Ingenieur* 89 (1968), 144-147
- Langmann, R. und H. Kettner:* Die Problematik einer chronischen Intoxikation durch Kohlenoxyd und Untersuchungen seiner Immissionen in Großstädten. *Das öffentliche Gesundheitswesen* 30 (1968), 7-11
- Langmann, R. und H. Kettner:* Gefahren und Bekämpfung des Zinkoxids in der Luft. *Das öffentliche Gesundheitswesen* 30 (1968), 195-198
- Nietruch, F. und K.-E. Prescher:* Beitrag zur photometrischen Bestimmung kleiner Stickstoffdioxid-Mengen. *Zeitschrift für analytische Chemie* 234 (1968), 118-119
- Stresemann, E.:* Die Objektivierung meteorologischer Einflüsse auf den Krankheitsablauf. *Bundesgesundheitsblatt* 11 (1968), 323-325
- Stresemann, E.:* Untersuchungen über die Zusammenhänge chronischer Bronchitis und Klimafaktoren. *Bundesgesundheitsblatt* 11 (1968), 362-363
- Bauch, H., H. Burchard und H. Kettner:* Ergebnisse von Messungen der Diffusionsrate bei zwei SO₂-Gasdiffusoren nach Kettner im Temperaturbereich von 32,5 bis -4°. *Staub - Reinhaltung der Luft* 29 (1969), 416-417
- Fett, W.:* Statistische Erfassung der Zellengröße atmosphärischer Ereignisse und der Repräsentanz der Meßnetze. *Annalen der Meteorologie* N.F. (1969), Nr.4, 256-260
- Fett, W.:* Auf welche Weise beeinflußt der Mond den Meteorologen. *Meteor. Rundsch.* 22 (1969), 168-169
- Häntzsch, S., F. Nietruch und K.-E. Prescher:* Kontinuierliche Bestimmung von Stickstoffdioxid in Luft mit dem Autoanalyser. *Mikrochim. Acta (Wien)* (1969), 550-556
- Heller, A.:* Gesetze und Verordnungen zur Reinhaltung der Luft. Beitrag zum Handbuch der Lebensmittelchemie Bd. VIII, Teil 2, 1461-1471 Berlin-Heidelberg-New York: Springer Verlag 1969
- Heller, A. und O. Beyreis:* Außenlufthygiene. Das öffentliche Gesundheitswesen Bd. III, Tl. A/1 102-133, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1969
- Heller, A. und H. Kettner:* Probenahme und Bestimmung kleinsten Bleimengen in der Luft. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* 29 (1969), 3-50

- Heller, A. und E. Lahmann:* Eigenschaften der Luft. Beitrag zum Handbuch der Lebensmittelchemie Bd. VIII, Teil 2, 1242-1318, Berlin - Heidelberg - New York: Springer Verlag 1969
- Kettner, H.:* Über den Reagenzienblindwert bei der Bestimmung von kleinen Bleimengen in der atmosphärischen Luft. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **29** (1969), 51-54
- Kettner, H.:* Vergleichende Bestimmungen von Blei im Staubniederschlag nach der Dithizon- und der Atom-Absorptions-Spektral-Photometer-Methode. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **29** (1969), 55-61
- Kettner, H.:* Gasdiffusor - ein Langzeitgerät zur Dosierung von Gasen im μg - bis mg-Bereich je Stunde. Staub - Reinhaltung der Luft **29** (1969), 153-154
- Kettner, H.:* Bestimmung geringer Chlor-Konzentrationen nach der Methyloorange-Methode. Atmospheric Environment **3** (1969), 215-220
- Lahmann, E.:* Ozon in städtischer Luft. Umschau in Wissenschaft und Technik **69** (1969), 693-694
- Lahmann, E.:* Untersuchungen über Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **28** (1969), 1-80
- Lahmann, E.:* Die Untersuchung und Beurteilung der Luft. Beitrag zum Handbuch der Lebensmittelchemie Bd. VIII, Teil 2, 1319 - 1460 Berlin-Heidelberg-New York: Springer Verlag 1969
- Lahmann, E.:* Die Haltbarkeit von Absorptionslösungen für die Schwefel-dioxid-Bestimmung nach West und Gaeke. Staub - Reinhaltung der Luft **29** (1969), 370-372
- Lahmann, E.:* Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr. Bundesgesundheitsblatt **12** (1969), 284-286
- Lahmann, E.:* Luftverunreinigungen durch Schwefeloxide und Stäube. Veröffentlichungen des US Department of Health, Education and Welfare. Bundesgesundheitsblatt **12** (1969), 400-402
- Lahmann, E. und S. Häntzsch:* Luftverunreinigung durch Kohlenwasserstoffe. Städtehygiene **20** (1969), 243-246
- Lahmann, E. und H.-J. Körner:* Beziehungen zwischen Schwefelwasserstoff-Immissionen und Gerüchen in der Umgebung von Viscose-Betrieben. Gesundheits-Ingenieur **90** (1969), 293-295
- Lahmann, E., G. Menk und M. Möller:* Geräte für automatische Luftprobenahmen. Wasser, Luft und Betrieb **13** (1969), 467-468
- Mathé, P.:* Botanisch-ökologisches Kolloquium im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin-Dahlem. Bundesgesundheitsblatt **12** (1969), 418-421

- Nietruch, F. und K.-E. Prescher:* Dosierung kleiner Stickstoffdioxid-Mengen und Bestimmung des „Saltzman-Faktors“. Zeitschrift für analytische Chemie **244** (1969), 294-302
- Schnitzler, H.:* Untersuchungen über die Eignung registrierender Geräte zur Messung des Staubgehaltes in Abgasen. Gesundheits-Ingenieur **90** (1969), 307-309
- Stresemann, E.:* Die medizinisch-biologische Bedeutung von Kraftfahrzeug-Abgasen. Staub - Reinhaltung der Luft **29** (1969), 227-231
- Stresemann, E.:* Zur Situation der Gesetzgebung auf dem Gebiete der Kraftfahrzeug-Abgasentgiftung. Bundesgesundheitsblatt **12** (1969), 384-386
- Fett, W.:* Denkschrift über Zielsetzung und Möglichkeiten der Meteorologie in der Lufthygiene. Grundlagen für eine Systemanalyse. WaBoLu-Bericht Nr. 4 (1970), 40 S.
- Fett, W.:* Kriterien und Empfehlungen zur Anlage von Abzügen für kontaminierende Gebäudeabluft. WaBoLu-Bericht Nr. 5 (1970), 24 S.
- Fett, W.:* Zum Nachweis des Stadteinflusses auf den Ozongehalt der Luft mittels seiner Windrichtungsabhängigkeit. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **33** (1970), 117-128
- Fett, W. und E. Lahmann:* Außergewöhnliche Kohlenmonoxid-Konzentrationen in Großstadtauft. Bundesgesundheitsblatt **13** (1970), 59-62
- Häntzsch, S.:* Methoden zur Bestimmung organisch-chemischer Gase und Dämpfe in atmosphärischer Luft. Städtehygiene **21** (1970), 35-37
- Häntzsch, S. und E. Lahmann:* Ammoniak-Bestimmungen in Großstadtauft. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **33** (1970), 35-39
- Heller, A.:* Maßnahmen zur Beseitigung von durch Kakaowerke bedingten Geruchsbelästigungen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **33** (1970), 57-60
- Kettner, H.:* Maximale Immissions-Konzentrationen und Immissionsgrenzwerte. Staub - Reinhaltung der Luft **30** (1970), 376-377
- Kettner, H.:* Zur Frage der Objektivierung der Rußbestimmung in Staubniederschlägen: Gesundheits-Ingenieur **91** (1970), 84-85
- Kettner, H.:* Zum Thema „Begriffsbestimmungen“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **33** (1970), 143-147
- Kettner, H., H. Bauch und H. Burchardt:* Emissionsraten von Gasdiffusoren nach Kettner. Typ K über eine Zeit von 8 Monaten. Gesundheits-Ingenieur **91** (1970), 21-22
- Kettner, H. und I. Klinke:* Über ein nach dem Baukastenprinzip hergestelltes Feldgerät zur Entnahme von Luftproben. Zentralblatt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz **20** (1970), 339-341
- Kettner, H. und R. Langmann:* Zur Frage des Auftretens von Belästigungen durch Ruß. Das öffentliche Gesundheitswesen **32** (1970), 346-348

- Kettner, H. und V. Mašek:* Über Staub- und Rußbelästigungen auf einer Hütenkokerei und in deren Umgebung. *Gesundheits-Ingenieur* **91** (1970), 323-326
- Kühl, U. und H.-M. Wagner:* Untersuchungen über die Wirkung von Photo-oxidantien auf Petunia-Hybrida. *Staub - Reinhaltung der Luft* **30** (1970), 382-383
- Lahmann, E.:* Wissenschaftliches Kolloquium über Methoden der Luftüberwachung und der Wirkungsbestimmung von atmosphärischen Schadstoffen. *Bundesgesundheitsblatt* **13** (1970), 189-192
- Lahmann, E.:* „Luftqualitäts-Kriterien“ für Kohlenmonoxid, für Kohlenwasserstoffe und für photochemische Oxydantien. *Bundesgesundheitsblatt* **13** (1970), 349-351
- Lahmann, E.:* Luftverunreinigungen durch Schwefeldioxid in Städten der Bundesrepublik Deutschland. *Meßergebnisse von 1968/1969. Bundesgesundheitsblatt* **13** (1970), 375-378
- Lahmann, E. und W. Maassen:* Gesetzliche Bestimmungen zur Reinhaltung der Luft. *Fortschritte der Medizin* **88** (1970), 757-758
- Lahmann, E. und M. Möller:* Chlorid-Immissionsmessungen in der Umgebung einer Müllverbrennungsanlage. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* **33** (1970), 29-33
- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Methoden zur automatischen Luftuntersuchung. *Gesundheits-Ingenieur* **91** (1970), 17-20
- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Temperaturabhängigkeit der Absorption von Schwefeldioxid beim West-Gaeke-Verfahren. *Zeitschrift für analytische Chemie* **251** (1970), 300-301
- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Luftuntersuchungsprogramm in Berlin. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* **33** (1970), 19-24
- Lahmann, E. und J. Westphal:* Untersuchungen über die Korrelation zwischen Schwefeldioxid- und Fluorid-Immissionen. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* **33** (1970), 25-28
- Menk, G., S. Häntzsch und F. Nietruch:* Automatische Meßwerterfassung bei der kontinuierlichen Bestimmung organischer Luftverunreinigungen. *Wasser, Luft und Betrieb* **14** (1970), 144-146
- Nagel, R. und K. Jander:* Eine Absorptionsapparatur zur Gasanalyse. *Staub - Reinhaltung der Luft* **30** (1970), 336-337
- Nieding, G. von, H. Krekeler, U. Schmidt und K. Muysers:* Akute Wirkung von 5 ppm NO₂ auf die Lungen- und Kreislauffunktion des gesunden Menschen. *Intern. Arch. Arbeitsmed.* **27** (1970), 234-243

- Schnitzler, H., O. Maier und K. Jander:* Meßstand für die Prüfung und Kalibrierung von registrierenden Staub- und Gasmeßgeräten in einem steinkohlengefeuerten Kraftwerk. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 33 (1970), 77-94
- Stresemann, E.:* Methoden der experimentellen Medizin zur Bestimmung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen. Bundesgesundheitsblatt 13 (1970), 194-197
- Stresemann, E.:* Die Objektivierung meteorologischer Einflüsse auf den Krankheitsablauf. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 30 (1970), 47-51
- Stresemann, E.:* Untersuchungen über die Zusammenhänge chronischer Bronchitis und Klimafaktoren. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 30 (1970), 105-128
- Stresemann, E. und A. Camin:* Überwachung der Luftgüte. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 33 (1970), 159-175
- Wagner, H.-M.:* Absorption von NO und NO₂ in MIK- und MAK-Konzentrationen bei der Inhalation. Staub - Reinhaltung der Luft 30 (1970), 380-381
- Wagner, H.-M.:* Versuchsanordnung zur Herstellung von synthetischem „photochemischen Smog“. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 33 (1970), 149-152
- Weber, E.:* Einrichtung und bisherige Ergebnisse der Probemeßstation Frankfurt/Main. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 30 (1970), 19-45
- Weber, E.:* Contribution to the residence time of sulfur dioxide in a polluted atmosphere. Journ. Geophys. Research 75 (1970), 2909-2914
- Fett, W. und E. Lahmann:* Zur Bewertung der Immission in der Umgebung einer Einzelquelle. Staub - Reinhaltung der Luft 31 (1971), 200-205
- Häntzsch, S.:* Zur Messung und Bewertung von Gerüchen bei Luftuntersuchungen. Bundesgesundheitsblatt 14 (1971), 179-181
- Häntzsch, S., E. Lahmann und H. Rühle:* Automatische Messungen von Schwebestaub in atmosphärischer Luft. Städtehygiene 22 (1971), 231-237
- Häntzsch, S. und F. Nietruch:* Modelluntersuchungen zur Bestimmung von Lösungsmitteldämpfen in Luft. Atmospheric Environment 5 (1971), 265-274
- Kettner, H.:* Problematik geruchsbelästigender Stoffe. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 35 (1971), 7-8
- Kettner, H.:* Der 95%-Wert und der Mittelwert als Kenngrößen der Grundbelastung für Schwefeldioxid. Staub - Reinhaltung der Luft 31 (1971), 11-13

- Kettner, H. und A. Hampel:* Schadstoffe in der Luft und ihre Einwirkungen auf den menschlichen Organismus. Wasser, Luft und Betrieb **15** (1971), 441
- Kettner, H., R. Langmann und W. Maassen:* Die Bleideposition aus der atmosphärischen Luft. Fortschritte der Medizin **89** (1971), 179-202
- Lahmann, E. und H. Gummlich:* Luftverunreinigungen und Geräuschentwicklung durch den Kraftverkehr. WaBoLu-Bericht Nr. 6 (1971), 14 S.
- Lahmann, E. und F. Herzl:* Pestizid-Bestimmung in Luft und Niederschlägen. Gesundheits-Ingenieur **92** (1971), 366-368
- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Automatische Schwefeldioxid-Bestimmungen mit einem polarographisch-coulometrisch arbeitenden Gerät. Wasser, Luft und Betrieb **15** (1971), 366-367
- Mašek, V. und H. Kettner:* Ruß im sedimentierten Staub auf der Kokerei. Gesundheitstechnik und Lufttechnik (Prag) **14** (1971), 173-182
- Mathé, P.:* Bundes- und Landesinitiativen im Umwelt- und Lebensschutz. Gesundes Leben **5** (1971), 4-5
- Mathé, P.:* Steuerung über Wechselwirkungen gasförmiger und riechbarer Substanzen im Ökosystem. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **35** (1971), 141-145
- Mathé, P.:* 7. Internationale Lebensschutztagung in Wiesbaden vom 4. bis 6.12.1970. Ihre Ergebnisse und Folgerungen. Städtehygiene **22** (1971), 122-124
- Nieding, G. von, M. Wagner, H. Krekeler, U. Schmidt und K. Muysers:* Grenzwertbestimmung der akuten NO₂-Wirkung auf den respiratorischen Gasaustausch und die Atemwegswiderstände des chronisch lungenkranken Menschen. Int. Arch. f. Arbeitsmedizin **27** (1971), 338-348
- Nieding, G. von und H. Krekeler:* Pharmakologische Beeinflussung der akuten NO₂-Wirkung auf die Lungenfunktion von Gesunden und Kranken mit einer chronischen Bronchitis. Int. Arch. f. Arbeitsmedizin **29** (1971), 55-63
- Prescher, K.-E.:* Einfluß der Abfragehäufigkeit auf Halbstundenwerte bei kontinuierlichen Immissionsmessungen. Wasser, Luft und Betrieb **15** (1971), 326
- Benger, H. und E. Lahmann:* Röntgenfluoreszenzspektrometrische Bleibestimmungen in atmosphärischem Staub. Gesundheits-Ingenieur **93** (1972), 21-24
- Fett, W.:* Luftaustausch und Abgasansammlung in natürlich belüfteten Autotunnels. Gesundheits-Ingenieur **93** (1972), 129-137
- Fett, W.:* Meteorologische Einflüsse auf die Luftverunreinigung. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **38** (1972), 255-263
- Herzel, F. und E. Lahmann:* Insektizid-Bestimmungen in atmosphärischer Luft mittels der Filtermethode. Gesundheits-Ingenieur **93** (1972), 202-205

- Hülsenberg, C.:* Wirkung von Luftfremdstoffen auf Kulturpflanzen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 38 (1972), 280-284
- Jander, K.:* Messung von Schwefeldioxid-Emissionen mit dem URAS 1. Gesundheits-Ingenieur 93 (1972), 52-56
- Kettner, H.:* Bleibefall aus atmosphärischer Luft in : „Blei und Umwelt“, herausg. von Kommission für Umweltgefahren des Bundesgesundheitsamtes - Arbeitsgruppe Blei - (1972), 12-13
- Kettner, H.:* Geruchsbelästigende Stoffe. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 38 (1972), 265-279
- Kettner, H.:* Schadstoff-Normierung der Außenluft in der Sowjetunion. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 39 (1972), 40 S.
- Kettner, H.:* Geruchsbelästigende Stoffe - aktuelle Probleme. Zentralblatt für Bakteriologie, I. Abt. Ref. 230 (1972), 97-196
- Knop, W., A. Heller und E. Lahmann:* Technik der Luftreinhaltung. Mainz: Krausskopf-Verlag 1972
- Lahmann, E.:* Untersuchung und Bewertung der Verunreinigungen atmosphärischer Luft. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 38 (1972), 241-253
- Lahmann, E.:* Luftverunreinigungen in Berlin - Meßergebnisse. WaBoLu-Bericht Nr. 8 (1972), 27 S.
- Lahmann, E.:* Ergebnisse spezieller chemischer Untersuchungen in der Region Untermain. Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, 4. Arbeitsbericht (Okt.1972), 61-75
- Lahmann, E.:* CO-Konzentrationen im Berliner Stadtgebiet (Straßen, Tunnels, Wohngebiete, Gewässer). Staub - Reinhaltung der Luft 32 (1972), 74-77
- Lahmann, E.:* Die Verunreinigung der atmosphärischen Luft und ihre hygienische Bedeutung. Lebensversicherungsmedizin 24 (1972), 28-32
- Lahmann, E. und K.-E. Prescher:* Schwefeldioxid-Immissionen in der Umgebung von Kraftwerken. Staub - Reinhaltung der Luft 32 (1972), 390-392
- Lahmann, E. und M. Wagner:* „Luftqualitäts-Kriterien“ für Stickoxide. Bundesgesundheitsblatt 15 (1972), 291-296
- Laskus, L.:* Ein Beitrag zur automatischen gravimetrischen Bestimmung der Staubkonzentration im Rauchgas von Kraftwerken. Dissertation, Berlin 1972
- Mathé, P.:* Die Bedeutung von Grünräumen und Pflanzen in der Stadt für die Gesundheit des Menschen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 38 (1972), 285-298

- Mathé, P.:* Umwelt - Umweltschutz - Lebensschutz. *Das Leben* **9** (1972), 73-74
- Mathé, P.:* Der Entwurf des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 31.8.1971 als Beitrag zur Vorsorge gegen Umweltzerstörung und zur Abwehr der Umweltgefahren. *Städtehygiene* **23** (1972), 196-199
- Schnitzler, H.:* Untersuchung und Bewertung von Abgasen durch Emissionsmessungen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **38** (1972), 235-240
- Sinn, W.:* Experimentalphysiologische und psychophysische Aspekte zur Wirkung von Luftfremdstoffen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **38** (1972), 299-312
- Wagner, H.M.:* Wirkungen von Einzelkomponenten aus Kraftfahrzeug-Abgasen auf Mensch und Tier. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **38** (1972), 313-325
- Fett, W.:* Notwendigkeit systematischer Betrachtungsweisen in der Meteorologie. *Annalen der Meteorologie N.F.* (1973), Nr. 6, 97-109
- Fett, W.:* Ökonomische Meßzeitverteilung meteorologisch abhängiger Größen (Ein informationstheoretisches Modell). *Annalen der Meteorologie N.F.* (1973), Nr. 6, 131-138
- Herzel, F. und E. Lahmann:* Beitrag zur quantitativen Bestimmung von Pestiziden in Luft. *Gesundheits-Ingenieur* **94** (1973), 275-279
- Herzel, F. und E. Lahmann:* Polyäthylen-beschichtetes Silicagel als Sorbens für organisch-chemische Fremdstoffe in Luft. *Zeitschrift für analytische Chemie* **264** (1973), 304
- Kettner, H.:* Zur Frage der Normierung physikalisch-chemischer Luftverunreinigungen in Innenräumen. *Gesundheits-Ingenieur* **94** (1973), 44-51
- Lahmann, E.:* Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid in Städten der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse von 1969 bis 1972. *Bundesgesundheitsblatt* **16** (1973), 162-165
- Lahmann, E., F. Nietruch und M. Drews:* Vergleichende photometrische Arsen-Bestimmungen in atmosphärischem Staub. *Gesundheits-Ingenieur* **94** (1973), 258-261
- v. Nieding, G., H. Krekeler, R. Fuchs, M. Wagner, K. Koppenhagen:* Studies of the acute Effects of NO₂ on Lung Function: Influence on Diffusion, Perfusion and Ventilation in the Lungs. *Internationales Archiv für Arbeitsmedizin* **31** (1973), 61-72
- Prescher, K.-E.:* Ergebnisse von kontinuierlichen Schwefeldioxid-Messungen in Berlin (1968-1972). *WaBoLu-Bericht* Nr. 10 (1973), 45 S.

Schwefeldioxid-Immissionen in Berlin

von E. Lahmann und K.-E. Prescher

1. Einleitung

Seit dem 1. August 1968 werden vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Rahmen eines Sonderauftrages des Bundesgesundheitsamtes kontinuierliche Schwefeldioxid-Immissionsmessungen durchgeführt. Mit diesen Untersuchungen sollten als erste Aufgaben insbesondere

Erfahrungen über die kontinuierlich-automatische Messung mit Fernübertragung und zentraler Auswertung der Meßdaten gewonnen werden, Vergleiche der Ergebnisse von verschiedenen SO₂-Analysenverfahren bei Einsatz im Gelände und

Vergleiche zwischen Kenngrößen für Schwefeldioxid-Immissionen angestellt werden, die einerseits aus kontinuierlichen Messungen an wenigen Stationen und andererseits aus Stichproben-Messungen nach dem in der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (TALuft) (1) angegebenen Schema berechnet wurden,

Unterlagen für Untersuchungen der Beziehungen zwischen meteorologischen Faktoren und Immissionskonzentrationen gewonnen werden und

Aussagen über die Herkunft von SO₂-Immissionen (aus Kraftwerken einerseits und vom Hausbrand andererseits) versucht werden.

Diese Aufgabenstellungen erforderten neben den automatischen Messungen die Durchführung manueller Stichproben. Der Umfang des Forschungsprogrammes ermöglichte auch die Vornahme zusätzlicher Untersuchungen, so zum Beispiel die Messung weiterer luftfremder Substanzen. Hier wird jedoch nur über Schwefeldioxid-Immissionsmessungen berichtet. Teilergebnisse dieser Arbeiten wurden schon an anderen Stellen veröffentlicht (2, 3, 4, 5, 6, 7).

2. Meßschema und Meßverfahren

Das Meßprogramm wurde im August 1968 mit 6 automatisch betriebenen Meßstationen*) und mit manuellen Stichproben an 82 Stellen in der Umgebung der Meßstationen begonnen. Die Lage von Stationen und Meßstellen ist in Abb. 1 wiedergegeben.

*) Für die Unterstützung der Arbeiten bei Einrichtung und Betrieb der Meßstationen wird den Berliner Wasserwerken und den Berliner Entwässerungswerken, der Siemens AG, der Schering AG und dem Bezirksamt Steglitz von Berlin gedankt.

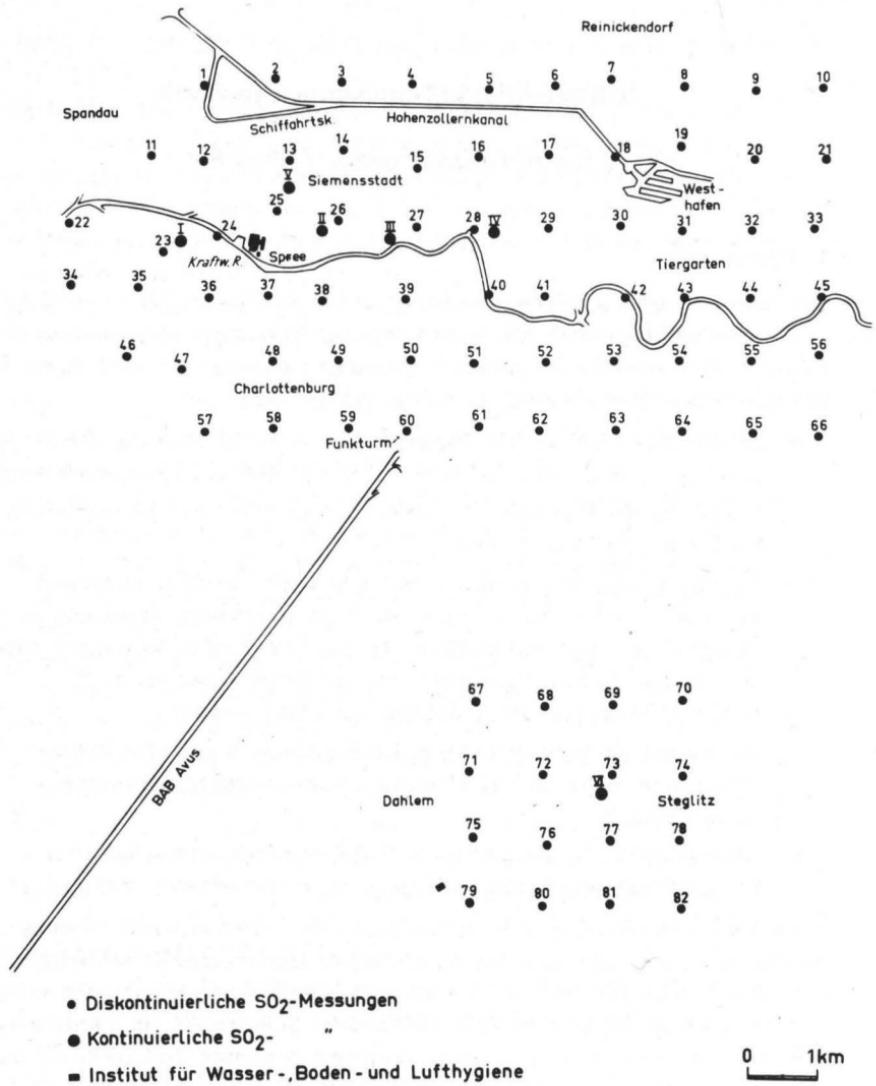


Abbildung 1: Meßstellenplan

2.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen

Fünf der insgesamt sechs Meßstationen wurden im Raum Charlottenburg, in der Umgebung des Kraftwerkes Ernst Reuter eingerichtet. Diese Stationen befanden sich vom Kraftwerk aus 1, 2 und 4 km entfernt in östlicher Richtung (Stationen II, III und IV) - also im Windschatten des Werkes während der im Raum Berlin dominierenden westlichen Winde - sowie jeweils einen Kilometer

entfernt in nordöstlicher (Station V) und in westlicher Richtung (Station I). Bei einem Bezug auf das Kraftwerk konnte die Station V bei Wind aus Südwest, der in Berlin zweithäufigsten Windrichtung, beaufschlagt werden und die Station I insbesondere zur Ermittlung der „Vorbelastung“ der Luft mit Schwefeldioxid bei Westwind dienen, der die Abgase des Kraftwerkes in Richtung auf die Stationen II, III und IV transportiert.

Die Anordnung der fünf Meßstationen im Raum Charlottenburg ist zwar auf die Lage des zur Untersuchungszeit größten Kraftwerkes im Westen der Stadt Berlin bezogen. Die Möglichkeit, dadurch Ergebnisse über die Auswirkung von Kraftwerksabgasen auf die Luftbeschaffenheit zu gewinnen, war jedoch nur eines der Ziele des Meßprogrammes.

Die sechste Meßstation wurde im Rathaus Steglitz - in einem südlichen Stadtteil Berlins - eingerichtet.

Im Jahre 1970 wurde das Meßprogramm umgestellt. Die Zahl der Meßstationen wurde reduziert, weil für einige Untersuchungsziele ausreichende Meßdaten vorlagen. Im Raum Charlottenburg wurde von den 5 Meßstationen nur noch die Station im Wasserwerk Jungfernheide (Station II) weiterbetrieben. Neu aufgenommen in das Untersuchungsprogramm wurden kontinuierliche SO₂-Messungen im Institutsgebäude am Corrensplatz in Dahlem.

Für die automatischen Schwefeldioxid-Bestimmungen an den Meßstationen wurden Picoflux-Geräte der Firma Hartmann & Braun, Frankfurt, und Ultragas-Geräte der Firma Wösthoff, Bochum, eingesetzt (8). Diese Meßwertgeber liefern als Ausgangssignal einen eingeprägten Gleichstrom von 0-20 mA. Der Strom wird über gemietete Postleitungen in die Zentrale übertragen. Hier wird an einem Widerstand die Spannung abgegriffen, die der vom Geber angezeigten Konzentration proportional ist. Ein elektronischer Meßstelleumschalter fragt jede Minute eine Meßstelle ab, jede Meßstelle fünfmal in einer halben Stunde. Die abgefragten Spannungen werden über ein Digitalvoltmeter von einer Lochstreifenstanze zusammen mit der Meßzeit registriert. Die Lochstreifen werden in einer Rechenanlage ausgewertet (vgl. 9).

Ursprünglich wurden nur SO₂-Meßwerte von 6 Stationen registriert. Seit der Umstellung des Untersuchungsprogrammes im Jahre 1970 werden Windrichtung, Windgeschwindigkeit, CO, CO₂ sowie SO₂ von 3 Stationen registriert. Die Abfrage der einzelnen Meßwertgeber erfolgt jetzt alle 6 Minuten mit einem Umschaltzwischenraum von 2 Sekunden von einer Meßstelle zur nächsten.

2.2 Manuelle Stichproben

Im ersten Jahr der kontinuierlichen Messungen (August 1968 bis Juli 1969) wurden an 82 Stellen, die sich in der Umgebung der automatischen Meß-

stationen befanden (siehe Abb.1), manuelle Probenahmen ausgeführt. Das gitterförmige Meßstellennetz mit einem Meßstellenabstand von jeweils einem Kilometer entsprach der in der TALuft angegebenen Vorschrift für die Ermittlung der Schwefeldioxid-Grundbelastung von Gebieten. An jeder Meßstelle wurde während des zwölfmonatigen Untersuchungszeitraumes wöchentlich eine Probe nach dem Silikagel-Verfahren von *Stratmann* (8, 10) gezogen. Die Meßhäufigkeit war somit doppelt so groß wie das Meßschema der TALuft vorsieht (52 statt 26 Einzelwerte je Meßstelle).

An den 28 Meßstellen, die im Umkreis von 3 Kilometern um das Kraftwerk Ernst Reuter liegen, wurden in jeder zweiten Woche - also entsprechend den Forderungen der TALuft 26 mal im Jahr - je zwei Parallelbestimmungen des SO₂-Gehaltes der Luft nach *Stratmann* und nach dem Tetrachloromercurat-Verfahren von *West und Gaeke* (8, 11) ausgeführt.

In den folgenden Jahren wurden in begrenzten Gebieten in Berlin Stichproben-Messungen nach dem in der TALuft angegebenen Schema wiederholt, so daß insgesamt aus mehreren Jahren Vergleiche zwischen den Ergebnissen automatisch-kontinuierlicher und manuell-diskontinuierlicher SO₂-Bestimmungen angestellt werden können.

3. Ergebnisse

3.1. Stichproben-Messungen

Von den 82 Meßstellen im Untersuchungsgebiet (Abb. 1) lagen 4.232 Einzelwerte von Analysen nach dem *Stratmann*-Verfahren - ohne Doppelbestimmungen - vor. Bei einer theoretischen Anzahl von 4.264 Werten (82 Meßstellen x 52 Wochen) betrug der Ausfall durch Störungen bei Probenahme oder Analyse 0,75 %. Die Häufigkeitsverteilung der Einzelwerte auf Konzentrationsklassen, unterteilt nach Monaten, ist in der Tab. 1 wiedergegeben.

3.1.1. Räumliche Verteilung der Immissionen

In der Tab. 2 sind für die 82 Meßstellen die mittleren und die maximalen Schwefeldioxid-Konzentrationen wiedergegeben, die aus den in der Regel 52 Einzelwerten des Meßjahres 1968/1969 ermittelt wurden.

In Tab. 3 sind entsprechend einer in Nordrhein-Westfalen eingeführten (12) und auch für andere Gebiete übernommenen Darstellungsweise (13, 14, 15) die Meßwerte von den vier (mindestens jedoch drei) Eckpunkten eines Quadratkilometers zu einem Kollektiv zusammengefaßt worden, aus dem dann die Mittelwerte und die Werte für die Immissionskenngrößen I₁ und I₂ (16) berechnet wurden. In der Regel lagen auf 1km²-Fläche 208 Einzelwerte (52 Messungen an 4 Meßstellen) vor. Diese Auswertung ergibt gegenüber der Darstellung in Tab. 2 eine gewisse Nivellierung. Die Mittelwerte für die einzelnen Meßstellen (Tab. 2) lagen zwischen 0,09 und 0,22 mg SO₂/m³, die Maximalwerte zwischen 0,49 und 1,47 mg/m³. Für die

	Anzahl der Werte	bis 0,10	0,11 -	0,21 0,30	0,31 0,40	0,41 0,50	0,51 0,75	0,76 1,00	1,01 1,25	1,26 1,50
August	408	328	64	9	5		1		1	
September	346	213	78	33	18	2	1		1	
Oktober	369	208	101	27	11	5	11	6		
November	342	123	108	68	26	11	4		1	1
Dezember	287	20	72	62	33	21	53	18	8	
Januar	368	74	76	61	49	43	44	17	3	1
1. Halbjahr	2120	966	499	260	142	82	114	41	14	2
Februar	328	71	79	58	42	27	39	9	3	
März	348	165	98	46	23	9	7			
April	369	247	84	22	6	3	7			
Mai	347	265	59	16	3	1	2			1
Juni	347	327	17	1	1		1			
Juli	373	332	21	14	2		2			2
2. Halbjahr	2112	1407	358	157	77	40	58	9	5	1
Jahr	4232	2373	857	417	219	122	172	50	19	3
%	100	56,08	20,25	9,86	5,17	2,88	4,06	1,18	0,46	0,06
Überschrei- tungshäufigkeit der Klassenobergrenze in %	43,92	23,67	13,81	8,64	5,76	1,70	0,52	0,06		

Tabelle 1: Häufigkeitsverteilung von diskontinuierlich gemessenen SO_2 -Konzentrationen in mg/m^3
(August 1968 - Juli 1969)

Meßstelle	Mittel	Maximum	Meßstelle	Mittel	Maximum
1	0,11	0,71	42	0,16	0,59
2	0,13	0,57	43	0,16	0,88
3	0,11	0,67	44	0,16	0,52
4	0,13	0,84	45	0,15	0,85
5	0,11	0,84	46	0,15	0,68
6	0,15	0,93	47	0,14	0,84
7	0,12	0,81	48	0,14	0,68
8	0,19	0,94	49	0,16	0,73
9	0,22	1,18	50	0,18	0,93
10	0,21	0,93	51	0,17	0,91
11	0,10	0,52	52	0,16	0,81
12	0,16	1,08	53	0,15	0,73
13	0,14	0,71	54	0,15	0,73
14	0,13	0,55	55	0,14	0,68
15	0,13	0,53	56	0,18	0,69
16	0,15	1,20	57	0,11	0,57
17	0,14	0,95	58	0,10	0,50
18	0,15	1,08	59	0,13	0,70
19	0,14	0,91	60	0,14	0,77
20	0,18	0,66	61	0,18	0,87
21	0,17	0,90	62	0,18	0,89
22	0,14	0,68	63	0,17	0,86
23	0,14	0,61	64	0,16	1,19
24	0,13	1,10	65	0,16	1,08
25	0,15	0,75	66	0,15	1,01
26	0,13	0,83	67	0,09	0,49
27	0,14	0,78	68	0,17	0,97
28	0,17	1,17	69	0,13	0,56
29	0,19	1,00	70	0,16	0,84
30	0,19	1,27	71	0,12	0,61
31	0,20	0,98	72	0,16	1,33
32	0,16	1,11	73	0,14	0,66
33	0,18	1,01	74	0,15	0,84
34	0,12	0,59	75	0,11	0,85
35	0,15	0,90	76	0,16	1,03
36	0,15	0,67	77	0,13	0,62
37	0,15	0,65	78	0,15	0,68
38	0,13	0,76	79	0,15	1,02
39	0,15	0,83	80	0,14	1,47
40	0,16	0,68	81	0,11	0,49
41	0,16	1,08	82	0,12	0,62

Tabelle 2: Mittelwert und Maximalwerte in $\text{mg SO}_2/\text{m}^3$ an den Probennahmestellen des Stichprobenmeßprogramms

1km²-Flächen (Tab.3) ergaben sich Mittelwerte zwischen 0,12 und 0,20, I₁-Werte zwischen 0,15 und 0,26 und I₂-Werte zwischen 0,53 und 0,90 mg SO₂/m³.

Für die Auswertungen herangezogene Meßstellen	Mittelwert	I ₁	I ₂
1 - 11 - 12	0,123	0,169	0,598
1 - 2 - 12 - 13	0,135	0,180	0,623
2 - 3 - 13 - 14	0,126	0,167	0,555
3 - 4 - 14 - 15	0,122	0,159	0,556
4 - 5 - 15 - 16	0,129	0,172	0,642
5 - 6 - 16 - 17	0,138	0,192	0,755
6 - 7 - 17 - 18	0,139	0,192	0,740
7 - 8 - 18 - 19	0,149	0,209	0,804
8 - 9 - 19 - 20	0,183	0,245	0,884
9 - 10 - 20 - 21	0,195	0,255	0,884
11 - 22 - 23	0,127	0,166	0,536
11 - 12 - 23 - 24	0,133	0,176	0,635
12 - 13 - 24 - 25	0,144	0,196	0,721
13 - 14 - 25 - 26	0,134	0,176	0,618
14 - 15 - 26 - 27	0,131	0,171	0,590
15 - 16 - 27 - 28	0,147	0,198	0,752
16 - 17 - 28 - 29	0,163	0,229	0,821
17 - 18 - 29 - 30	0,168	0,231	0,886
18 - 19 - 30 - 31	0,170	0,235	0,897
19 - 20 - 31 - 32	0,168	0,221	0,783
20 - 21 - 32 - 33	0,169	0,219	0,756
22 - 23 - 34 - 35	0,138	0,173	0,575
23 - 24 - 35 - 36	0,143	0,189	0,678
24 - 25 - 36 - 37	0,145	0,192	0,686
25 - 26 - 37 - 38	0,139	0,181	0,631
26 - 27 - 38 - 39	0,136	0,182	0,654
27 - 28 - 39 - 40	0,154	0,217	0,789
28 - 29 - 40 - 41	0,171	0,233	0,866
29 - 30 - 41 - 42	0,177	0,238	0,875
30 - 31 - 42 - 43	0,179	0,237	0,856
31 - 32 - 43 - 44	0,169	0,221	0,773
32 - 33 - 44 - 45	0,159	0,211	0,752
34 - 35 - 46	0,139	0,204	0,811
35 - 36 - 46 - 47	0,144	0,200	0,806
36 - 37 - 47 - 48	0,143	0,180	0,603
37 - 38 - 48 - 49	0,145	0,181	0,600
38 - 39 - 49 - 50	0,154	0,197	0,668
39 - 40 - 50 - 51	0,163	0,212	0,726
40 - 41 - 51 - 52	0,162	0,212	0,741

Tab. 3, Forts. nächste Seite

Tab. 3: Forts.

Für die Auswertungen herangezogene Meßstellen	Mittelwert	I_1	I_2
41 - 42 - 52 - 53	0,158	0,203	0,690
42 - 43 - 53 - 54	0,157	0,199	0,670
43 - 44 - 54 - 55	0,153	0,195	0,647
44 - 45 - 55 - 56	0,156	0,198	0,653
46 - 47 - 57	0,131	0,214	0,884
47 - 48 - 57 - 58	0,121	0,155	0,535
48 - 49 - 58 - 59	0,132	0,167	0,563
49 - 50 - 59 - 60	0,153	0,192	0,633
50 - 51 - 60 - 61	0,168	0,215	0,715
51 - 52 - 61 - 62	0,174	0,226	0,782
52 - 53 - 62 - 63	0,168	0,211	0,692
53 - 54 - 63 - 64	0,159	0,202	0,688
54 - 55 - 64 - 65	0,152	0,199	0,704
55 - 56 - 65 - 66	0,158	0,204	0,705
67 - 68 - 71 - 72	0,134	0,182	0,699
68 - 69 - 72 - 73	0,149	0,195	0,705
69 - 70 - 73 - 74	0,145	0,183	0,613
71 - 72 - 75 - 76	0,136	0,187	0,730
72 - 73 - 76 - 77	0,147	0,196	0,727
73 - 74 - 77 - 78	0,142	0,178	0,587
75 - 76 - 79 - 80	0,139	0,193	0,769
76 - 77 - 80 - 81	0,134	0,185	0,720
77 - 78 - 81 - 82	0,123	0,157	0,526

Tabelle 3: Mittelwerte und Immissionskenngrößen I_1 und I_2 in $\text{mg SO}_2/\text{m}^3$ für Teilflächen von 1 km^2 des Untersuchungsgebietes

3.1.2. Zeitliche Verteilung der Immissionen

Aus einer begrenzten Zahl von Einzelwerten bei Stichprobenmessungen lässt sich der Tagesverlauf von SO_2 -Immissionen nur bedingt ablesen. Die einjährigen Untersuchungen in Berlin ergaben bei einer Aufteilung der über 4.000 Einzelwerte auf die 10 Stunden der Probenahmen (7 bis 17 Uhr) ein Maximum für die Zeit von 9,00 bis 10,00 Uhr (Tab. 4).

Der Jahresverlauf der SO_2 -Immissionen in Abb. 2 ist anhand der relativen Tagesmittelwerte sowohl der manuellen als auch der automatischen Messungen wiedergegeben. Bei dieser Darstellung wurden für die Stichprobenmessungen und für die automatischen Messungen an 6 Stationen die Jahresmittelwerte jeweils gleich 1 gesetzt und die Tagesmittelwerte in relativen Zahlen zum Jahresmittel angegeben. Diese Berechnungen konnten

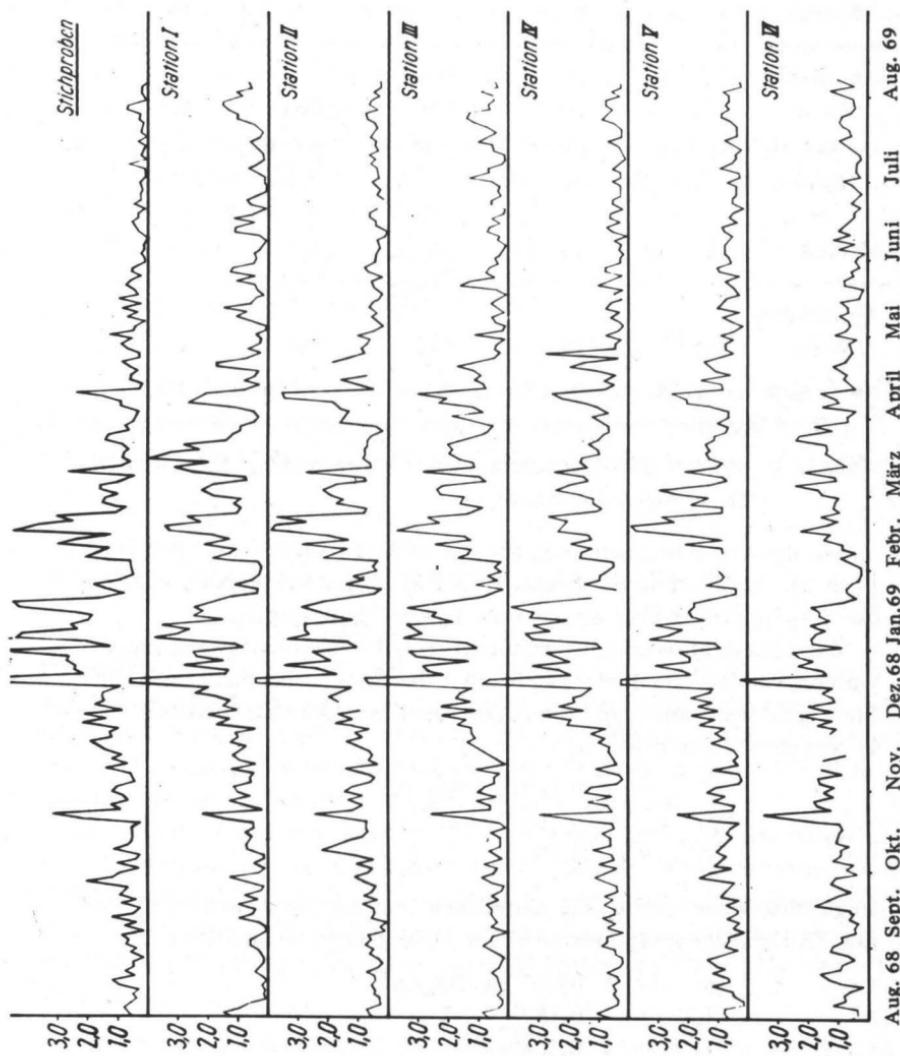


Abbildung 2: Relative Tagesmittelwerte der SO_2 -Immissionen für das Kalenderjahr 1969

nur die 208 Tage des 1jährigen Untersuchungszeitraumes einschließen, an denen manuelle Probenahme vorgenommen wurden (52 Wochen x 4 Meßtage).

Uhrzeit	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12
Anzahl der Werte	21	562	660	664	657
mg SO ₂ /m ³	0,115	0,157	0,172	0,159	0,152
Uhrzeit	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 17
Anzahl der Werte	551	453	446	205	13
mg SO ₂ /m ³	0,154	0,118	0,127	0,116	0,073

Tabelle 4: Mittlere SO₂-Konzentrationen im Tagesverlauf bei manuellen Stichproben-Messungen

Aus der Abb.2 ist ersichtlich, daß die höchsten Tagesmittel etwa 5mal so hoch wie das Jahresmittel liegen. In der Regel erstreckten sich Anstiege der SO₂-Immission über das gesamte Untersuchungsgebiet.

Zur Charakterisierung der **zeitlichen** SO₂-Immissionsschwankungen wurden aus den 208 Tagesmittelwerten der Stichprobenmessungen die Standardabweichung s und die empirischen Immissionskenngrößen I₁ und I₂ berechnet. Es ergaben sich

$$\begin{aligned} s &= \pm 0,149 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3 \\ I_1 &= 0,186 \quad " \\ I_2 &= 0,608 \quad " \end{aligned}$$

In gleicher Weise wurden die **räumlichen** Immissionsschwankungen, von den 82 Meßstellenmittelwerten (Tab. 2) ausgehend, charakterisiert:

$$\begin{aligned} s &= \pm 0,025 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3 \\ I_1 &= 0,157 \quad " \\ I_2 &= 0,206 \quad " \end{aligned}$$

Die Stichprobenmessungen in Berlin ergaben somit geringere räumliche als zeitliche Immissionsschwankungen, wie es auch bei früheren Untersuchungen im Raum Mannheim/Ludwigshafen der Fall war (13).

3.1.3 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Analysenverfahren

Für die Beurteilung der beiden eingesetzten Analysenverfahren (Silikagel-Verfahren nach *Stratmann* und Tetrachloromercurat-Verfahren (TCM) nach *West und Gaeke*) standen insgesamt die Ergebnisse von 728 Vergleichsmessungen (26 Probenahmen an 28 Meßstellen) zur Verfügung. Durch Ausfälle bei Probenahme oder Analyse verringerte sich die Anzahl der auswertbaren Einzelmessungen geringfügig.

Aus den Ergebnissen der Parallelbestimmungen nach den beiden Analysenverfahren wurde die Standardabweichung s als Maß für die Reproduzierbarkeit der Meßwerte nach der Formel

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - x_2)^2}{2 M}}$$

berechnet. In dieser Formel bedeuten x_1 und x_2 die jeweils parallelen Meßwerte und M die Anzahl der Doppelproben. Für das Silikagel-Verfahren nach *Stratmann* ergab sich bei diesen Berechnungen

$$s = \pm 81 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$$

und für das Tetrachloromercurat-Verfahren nach *West und Gaeke*

$$s = \pm 24 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3.$$

Die VDI-Richtlinie 2451 (8) gibt für beide Analysenverfahren Standardabweichungen von $\pm 30 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ - bezogen auf den Konzentrationsbereich um $0,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ - an. Bei den hier geschilderten Untersuchungen war die Reproduzierbarkeit der Meßwerte des Tetrachloromercurat-Verfahrens jedoch deutlich besser als die des Silikagel-Verfahrens.

In der Tab. 5 sind von den über 700 Vierfachproben diejenigen aufgeführt, bei denen zwischen den beiden Werten eines der beiden Analysenverfahren eine Differenz von $0,2 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ oder mehr auftrat. Das war in 21 Fällen beim Silikagel-Verfahren und nur 5mal beim TCM-Verfahren der Fall. Im Mittel lagen die Werte des TCM-Verfahrens etwas höher (vgl. Tab. 6).

3.1.4 Reproduzierbarkeit der Grundbelastungsermittlung durch Stichproben

In der Tab. 6 sind die Mittelwerte und die Werte für die Immissionskenngrößen I_1 und I_2 zusammengestellt, die aus den Ergebnissen verschiedener Meßreihen (vgl. Abschnitt 2.2) an den 28 Meßstellen im 3km-Umkreis um das Kraftwerk Ernst Reuter berechnet wurden. Die aus den Parallelproben

1	2	Silikagel	
		1	2
mg SO ₂ /m ³			
0,22	0,23	0,21	0,74
0,21	0,22	0,38	0,15
0,38	0,59	0,41	0,23
0,39	0,45	0,17	0,49
0,25	0,23	0,19	0,41
0,86	0,80	0,36	0,95
0,56	0,55	1,10	0,64
0,42	0,38	0,41	0,74
0,39	0,46	0,23	0,43
0,64	0,64	0,58	0,38
0,72	0,75	0,73	0,21
0,29	0,29	0,32	0,03
0,53	0,54	0,28	0,53
0,56	0,56	0,57	0,32
0,42	0,40	1,98	0,44
0,10	0,09	0,51	0,19
0,26	0,26	0,27	0,06
0,55	0,26	0,30	0,30
0,21	0,45	0,11	0,26
0,64	0,30	0,63	0,69
0,09	0,03	0,14	1,03
0,07	0,08	0,31	0,04
0,26	0,23	0,55	0,35
0,12	0,41	0,36	0,41
<0,01	<0,01	0,26	0,01
0,44	0,42	0,32	0,53

Tabelle 5: Ergebnisse von Parallelbestimmungen des SO₂-Gehaltes atmosphärischer Luft nach dem Tetrachloromercurat-Verfahren und nach dem Silikagel-Verfahren, bei denen Differenzen von 0,2 mg SO₂/m³ Luft und mehr auftraten.

sowohl nach dem Silikagel-Verfahren als auch nach dem TCM-Verfahren ermittelten Werte stimmten - untereinander und gegeneinander - zufriedenstellend überein. Durch eine einwöchige Verschiebung der Meßreihen wurden die Kenngrößen jedoch deutlich beeinflußt. Dieser Einfluß wird auch bei ei-

	Aus sämtlichen Werten berechnet			Unter Ausschluß der Werte von ganztägigen Inversionswetterlagen		
	\bar{x}	I_1	I_2	\bar{x}	I_1	I_2
I Silikagel-Verfahren nach Stratmann						
a) 1. Serie von Doppelproben	0,147	0,171	0,689	0,116	0,138	0,572
b) 2. Serie von Doppelproben	0,149	0,172	0,666			
c) bei Probenahmen, die gegenüber a) und b) um eine Woche versetzt waren	0,123	0,144	0,573	0,090	0,106	0,410
d) 26 Wochen des 1. Halbjahres (August 1968 bis Januar 1969)	0,178	0,203	0,734	0,133	0,157	0,591
e) 26 Wochen des 2. Halbjahres (Februar bis Juli 1969)	0,093	0,110	0,458	0,076	0,090	0,381
II Tetrachloromercurat-Verfahren nach West und Gaeke						
a) 1. Serie von Doppelproben (zeitgleich mit I a und b)	0,158	0,180	0,645			
b) 2. Serie von Doppelproben (zeitgleich mit I a und b)	0,157	0,178	0,632			

Tabelle 6: Aus verschiedenen Meßreihen im 3-km-Umkreis um ein Kraftwerk berechnete Mittelwerte und Immissionskenngrößen I_1 und I_2 in $mg SO_2/m^3$

ner Ausklammerung der während ganztägiger Inversionswetterlagen gemessenen Werte nicht aufgehoben.

Die Halbierung des Beurteilungszeitraumes auf die Monate Februar bis Juli oder August bis Januar, die die Technische Anleitung in besonderen Fällen zuläßt, führte zu stark unterschiedlichen Ergebnissen, die auch bei Ausschluß der Werte von ganztägigen Inversionswetterlagen nicht besser übereinstimmten. Dieser Befund läßt sich auch aus den mehrjährigen kontinuierlichen Messungen ableiten. „Immissionsähnliche“ Jahreshälften kann man bei einer Teilung in die Monate Januar bis Juni und Juli bis Dezember erwarten.

Ganztägige Inversionswetterlagen herrschten während des Untersuchungsjahres 1968/69 so oft, daß eine angemessene Darstellung der Immissionen im Winter bei einer Ausklammerung der Meßwerte von diesen Tagen nicht mehr möglich ist. Analog der in Nordrhein-Westfalen veröffentlichten Definition wurden 73 Tage mit ganztägigen Inversionen (20 % der Gesamtzeit!) ermittelt, davon 1 im September, 4 im Oktober, 12 im November, 14 im Dezember 1968, 21 im Januar, 11 im Februar, 7 im März, 1 im April und 2 im Mai 1969. In den Wintermonaten Dezember bis Februar herrschten also an mehr als der Hälfte der Tage ganztägige Inversionen. Der Ausschluß der Werte von „Inversionstagen“ führt damit zu einer Unterrepräsentanz von „Winterwerten“, die mit den Grundsätzen der Statistik und mit lufthygienischen Bewertungsmaßstäben nicht vereinbar ist.

3.2. Automatische Messungen

3.2.1 Häufigkeitsverteilungen von 30Minuten-Einzelwerten und von Tagesmittelwerten

In einem kürzlich erschienenen Bericht (6) wurden unter anderem die jährlichen Häufigkeitsverteilungen der Halbstunden-Einzelwerte im Tagesverlauf von den Meßstationen im Wasserwerk Jungfernheide (1968-1972), im Rathaus Steglitz (1968-1972) und im Institutsgebäude in Dahlem (1970-1972) dokumentiert. Hier werden daher mit Tab. 7 und Tab. 8 nur zusammenfassende Darstellungen dieser Immissionsverteilungen gegeben.

Tab. 9 und Tab. 10 zeigen die Häufigkeitsverteilungen der Tagesmittelwerte der SO₂-Konzentration an den Meßstationen in Jungfernheide und in Steglitz für die 4 Jahre von 1969 bis 1972, aufgeschlüsselt nach Monaten. Das höchste Tagesmittel lag immerhin über 900 µg SO₂/m³ Luft. Tagesmittelwerte sind als Grundlage für epidemiologische Untersuchungen in bezug auf gesundheitliche Beeinflussungen der Bevölkerung durch Luftverunreinigungen von besonderem Interesse.

Station Nr.		bis	0,11	0,21	0,31	0,41	0,51	0,76	über	Summe
			0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	
I	Anzahl der Werte	7773	4293	2355	1255	734	593	114	39	17.156
	%	45,31	25,02	13,73	7,32	4,28	3,46	0,65	0,23	100
II	Anzahl der Werte	8486	4128	2140	998	542	476	88	32	16.890
	%	50,24	24,44	12,67	5,91	3,21	2,82	0,52	0,19	100
III	Anzahl der Werte	8000	4208	2220	1203	669	559	93	53	17.005
	%	47,05	24,75	13,05	7,08	3,94	3,28	0,54	0,31	100
IV	Anzahl der Werte	9802	3691	1920	911	419	331	60	16	17.150
	%	57,15	21,52	11,19	5,32	2,44	1,93	0,36	0,09	100
V	Anzahl der Werte	9390	3944	1762	843	441	338	81	21	16.820
	%	55,83	23,45	10,48	5,01	2,62	2,01	0,48	0,12	100
VI	Anzahl der Werte	5507	5298	3427	1413	559	460	83	35	16.782
	%	32,81	31,57	20,42	8,42	3,33	2,74	0,50	0,21	100

Tabelle 7: Häufigkeitsverteilung der SO_2 -Konzentrationen in mg/m^3 an 6 Meßstationen in Berlin
(August 1968 - Juli 1969)

Jahr		bis 0,10	0,11 -	0,21 0,20	0,31 -	0,41 0,40	0,51 0,50	0,76 -	über 1,00	Summe
Station Jungfernheide										
1969	Anzahl der Werte %	8003 49,2	3855 23,7	2041 12,6	1025 6,3	634 3,9	575 3,6	110 0,66	7 0,04	16.250 100
1970	Anzahl der Werte %	6599 40,4	5985 36,6	2027 12,4	914 5,6	384 2,4	331 2,0	96 0,6	0	16.336 100
1971	Anzahl der Werte %	7070 46,1	5465 35,7	1338 8,7	596 3,9	300 2,0	407 2,6	116 0,8	32 0,2	15.324 100
1972	Anzahl der Werte %	10351 60,9	3740 22,0	1718 10,1	735 4,3	236 1,4	194 1,13	28 0,16	1 0,01	17.003 100
Station Steglitz										
1969	Anzahl der Werte %	6328 36,6	5243 30,4	2950 17,1	1296 7,5	623 3,6	627 3,6	151 0,9	50 0,3	17.268 100
1970	Anzahl der Werte %	3846 22,6	5130 30,2	3394 20,0	2003 11,8	1236 7,3	1016 6,0	284 1,7	67 0,4	16.976 100
1971	Anzahl der Werte %	5850 37,2	5201 33,0	2788 17,7	781 5,0	366 2,3	438 2,8	223 1,4	97 0,6	15.744 100
1972	Anzahl der Werte %	7739 45,2	5111 30,5	2379 15,9	982 5,7	394 2,3	342 2,0	57 0,3	12 0,1	17.116 100

Tabelle 8: Häufigkeitsverteilung der SO_2 -Konzentrationen in mg/m^3 an 2 Meßstationen in Berlin
für die Kalenderjahre 1969 bis 1972

Monat	Anzahl der Werte	bis	0,06	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
Januar	123	1	4	14	21	19	11	18	8	7	3	5	5	2	3	1	1
Februar	113	1	21	14	24	24	9	7	3	5		2	2		1		
März	124	1	22	40	24	18	7	5	6	1							
April	117	20	19	30	26	15	5		2								
Mai	119	26	49	27	14	2	1										
Juni	112	32	50	21	6	2	1										
Juli	121	27	63	30	1												
August	119	50	48	16	1	3	1										
September	83	17	48	13	3	1	1										
Oktober	117	3	41	40	16	10	3	2	1	1							
November	101	6	27	35	15	9	4	3	2								
Dezember	124	3	16	29	26	8	16	15	2	3	1	1	3		1		
Jahr	1373	187	408	309	177	111	59	50	24	17	4	8	10	2	5	1	1

Tabelle 9: Häufigkeitsverteilung der Tagesmittelwerte der SO_2 -Konzentration in mg/m^3 an der Meßstation Jungfernheide für die Jahre 1969 bis 1972

Monat	Anzahl der Werte	bis	0,06	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76	0,81	0,86	0,91
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Januar	124	2	4	9	14	14	20	13	5	9	9	6	2	1	5	6	2	2	2	1
Februar	113	3	2	10	22	28	20	8	9	4	3	1	1		1	1				
März	122		4	13	23	28	16	15	9	10	2	2								
April	115	2	17	34	30	12	10	4	3				2		1					
Mai	112	17	31	32	17	9	6													
Juni	98	26	33	18	11	6	1		1	1	1									
Juli	113	26	37	32	8	3	5	1	1											
August	120	44	33	16	11	10	4		2											
September	120	17	29	36	21	8	6	3												
Oktober	124	6	20	32	34	14	10	5	2	1										
November	120	2	17	40	22	22	10	2	4		1									
Dezember	124	5	10	16	16	24	15	14	5	5	4	4	2	3		1	1	1		
Jahr	1405	148	237	288	229	178	123	65	41	50	20	13	7	4	5	8	3	3	2	1

Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung der Tagesmittelwerte der SO_2 -Konzentration in mg/m^3 an der Meßstation Steglitz für die Jahre 1969 bis 1972

3.2.2. Zeitlicher Verlauf der SO_2 -Immissionen

Der **Tagesgang** der mittleren Schwefeldioxid-Immissionen ist für das Kalenderjahr 1969 aus den Ergebnissen von 6 Meßstationen berechnet und in Abb. 3 graphisch wiedergegeben worden. Es zeigte sich ein recht deutliches Maximum mit höchsten Werten in der Zeit von 8 bis 12 Uhr. Ein Immissionsmaximum am Abend, wie es häufig zu beobachten ist (vgl. 13), trat nicht auf.

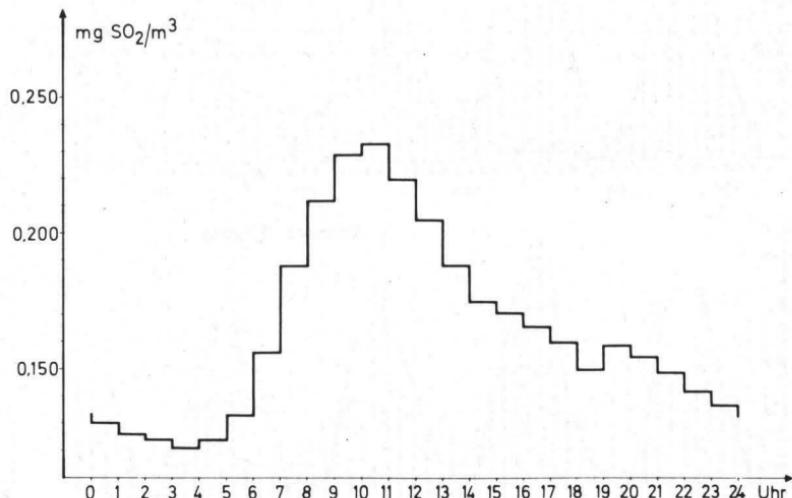


Abbildung 3: Tagesgang der mittleren SO_2 -Immissionen für das Kalenderjahr 1969

Der **Jahresgang** der SO_2 -Konzentration wurde in Abb. 2 mittels relativer Tagesmittelwerte für den Zeitraum von August 1968 bis Juli 1969 dargestellt. Für alle sechs Stationen ergab sich ein gleichartiges Bild. Abb. 4 zeigt die fortlaufenden Monatsmittelwerte der Schwefeldioxid-Immission sowie der Lufttemperatur. In beiden Abbildungen werden die hohen Unterschiede des SO_2 -Gehaltes der Luft von Sommer zu Winter sehr deutlich.

Der **Trend** des mittleren Schwefeldioxidgehaltes der Luft in Berlin während des fünfjährigen Untersuchungszeitraumes von 1968 bis 1973 wurde in Abb. 5 durch gleitende Jahresmittelwerte demonstriert. Vom ersten Jahresmittel für die Zeit vom August 1968 bis Juli 1969 ausgehend, wurden jeweils um einen Monat verschobene Mittelwerte (September 1968 bis August 1969, Oktober 1968 bis September 1969) bis zum Zeitraum Au-

gust 1972 bis Juli 1973 gebildet. In diesen 5 Jahren war zunächst ein Anstieg, dann jedoch eine deutliche Abnahme der mittleren SO_2 -Immissionen zu beobachten.

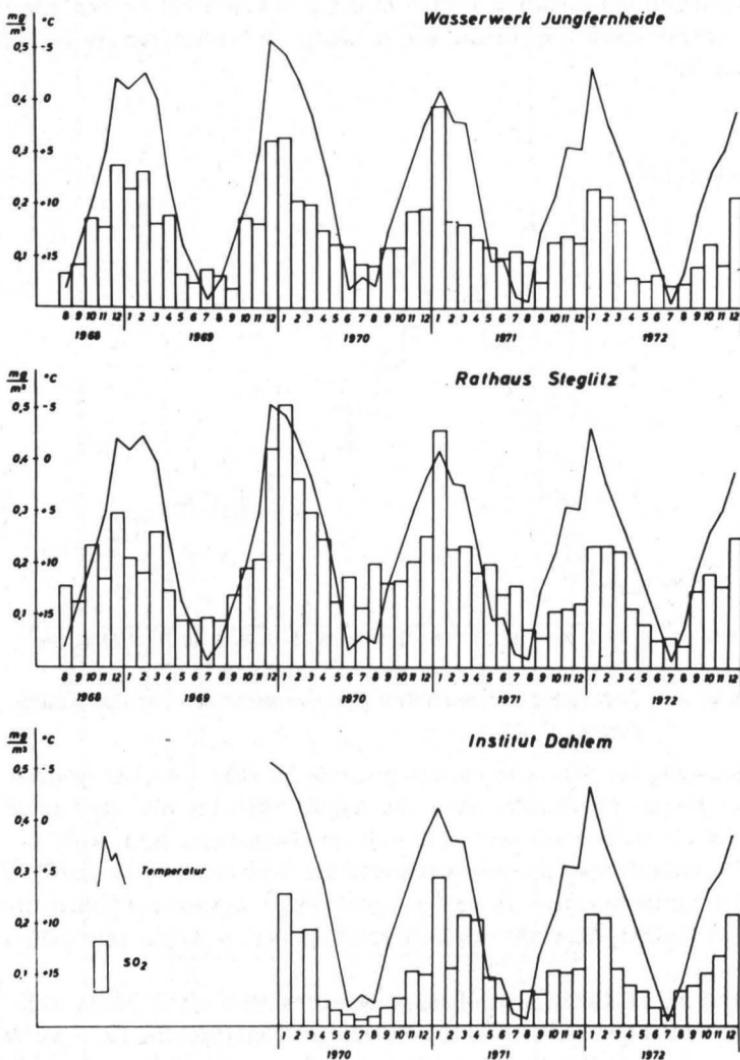


Abbildung 4: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur und der SO_2 -Konzentration

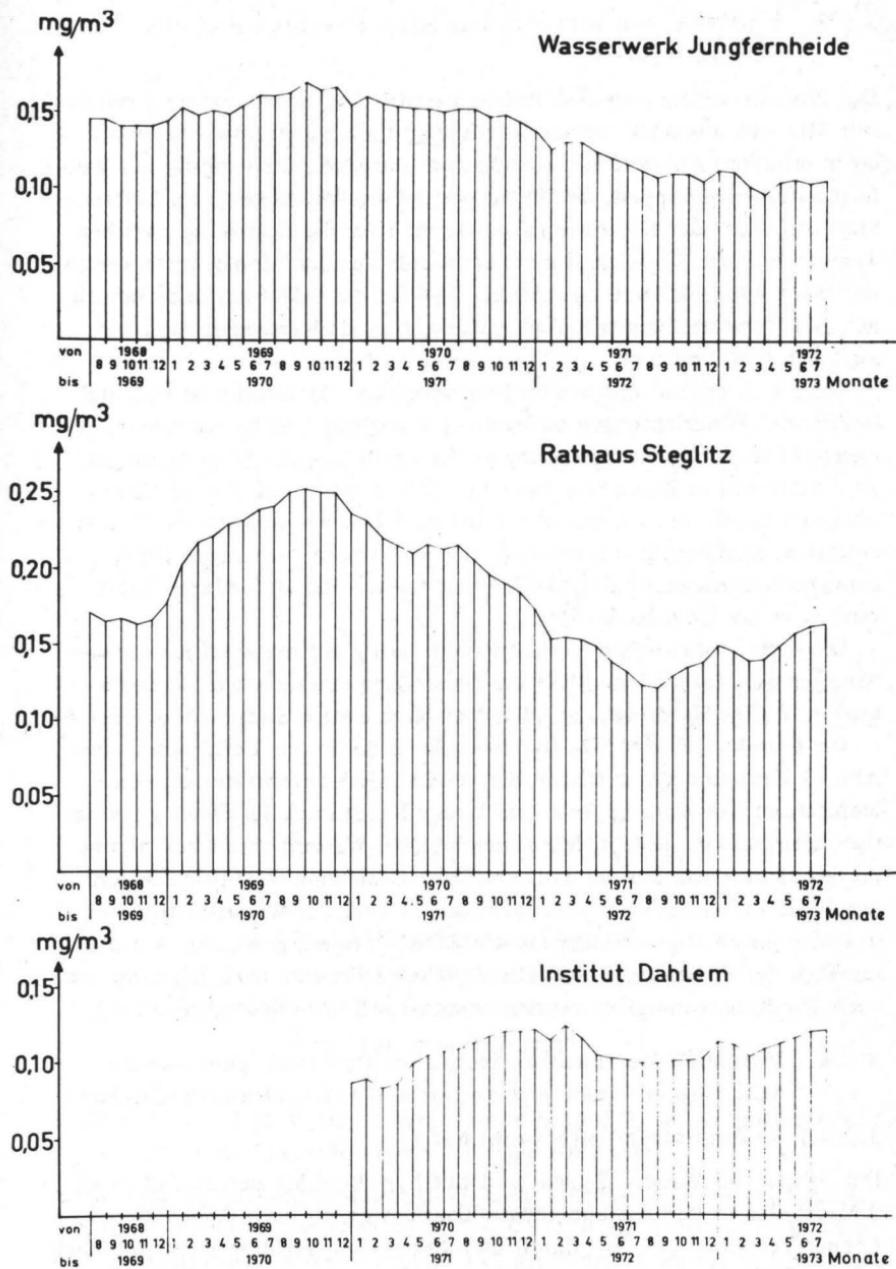


Abbildung 5: Gleitende Jahresmittelwerte der SO_2 -Konzentration

3.2.3 Einflüsse von meteorologischen Faktoren auf die SO₂-Immission

Der Zusammenhang zwischen **Lufttemperatur** und Schwefeldioxid-Immission lässt sich aus Abb. 4 ersehen. Niedrige Lufttemperaturen bewirken einen erhöhten Auswurf von Rauchgasen und sind relativ häufig mit Wettersituationen gekoppelt, die für die Verteilung von Abgasen im Luftraum ungünstig sind. Der Korrelationskoeffizient r für die Beziehung zwischen Temperatur und SO₂-Gehalt der Luft wurde aus den Monatsmittelwerten der Jahre 1968 bis 1970 zu 0,80 bis 0,96 für die 6 Meßstationen berechnet. Bei Heranziehung von Tagesmittelwerten als Wertepaare lag r nur zwischen 0,60 und 0,66.

Die mittleren und maximalen Immissionen an Meßstationen während bestimmter **Windrichtungen** können zur Einortung von Emissionsquellen dienen (13). Windrichtungsabhängige Auswertungen der SO₂-Messungen an 6 Stationen in Berlin von 1968 bis 1970 zeigten, daß die im Mittel höchsten Immissionen in der Regel bei östlichen bis südöstlichen Winden auftraten, unabhängig von der Lage der Meßstation zu dem im Untersuchungsgebiet gelegenen Kraftwerk Ernst Reuter und zu weiteren Kraftwerken in der Umgebung (5).

Die recht einheitlichen Verhältnisse in bezug auf die windrichtungsabhängigen SO₂-Immissionen lässt die Darstellung eines einzigen Kreisdiagramms („SO₂-Windrose“) aus den Meßdaten aller 6 Stationen zu (Abb.6).

Die Beziehungen der SO₂-Immissionen in Berlin zur **Luftfeuchte** zeigt Abb. 7. Dort sind die mittleren Schwefeldioxid-Konzentrationen von 6 Meßstationen in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck für einen 12monatigen Zeitraum dargestellt. Mit zunehmendem Wasserdampfdruck nimmt die SO₂-Konzentration der Luft ab. Diese Beziehung wird insbesondere durch die Lufttemperatur verursacht, zu welcher der Wasserdampfdruck in einem gleichartigen Verhältnis wie zur SO₂-Immission steht. Aufschlüsse über die Beziehungen SO₂-Gehalt/relative Feuchte nach Jahreszeit und nach Windgeschwindigkeit wurden an anderer Stelle wiedergegeben (6).

3.2.4 Vergleich der automatisch-kontinuierlich gemessenen SO₂-Immissionen mit anderen Untersuchungsbefunden

3.2.4.1 Regenwasser-Untersuchungen

Das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene führt seit 20 Jahren an 2 Meßstellen in Berlin Staubniederschlagsmessungen nach dem *Liesegang-Löbner*-Verfahren (17, 18) durch. Bei diesen Untersuchungen werden auch ständig Sulfat-Bestimmungen im Regenwasser vorgenommen. Abb. 8 zeigt die Jahresmittelwerte des Staubniederschlags, der löslichen und unlöslichen Anteile, der Regenmenge und des Sulfatniederschlags. Ein eindeutiger

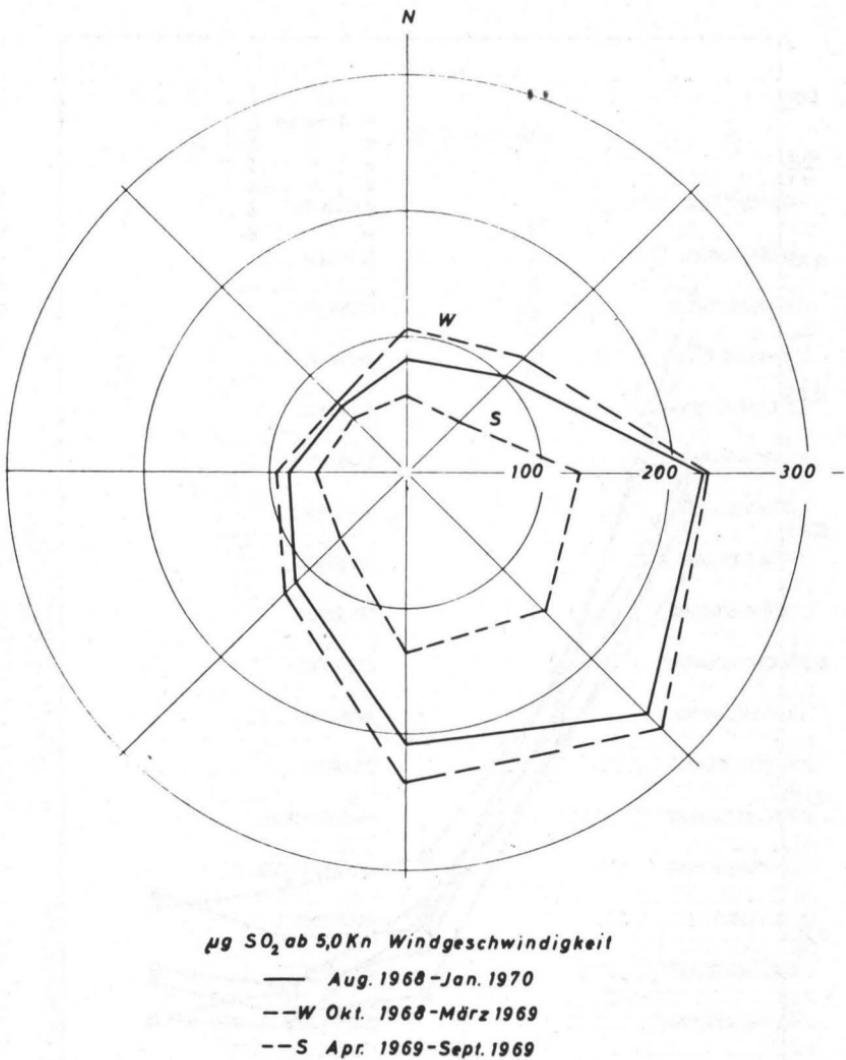


Abbildung 6: Mittlere SO_2 -Konzentration in $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ an 6 Meßstationen in Abhängigkeit von der Windrichtung

Trend lässt sich aus dieser Darstellung nicht ableiten. Die Sulfatgehalte liegen im Jahresmittel zwischen 41 und 119 g/100 m² u. Monat in Dahlem (Außenbezirk) und zwischen 50 und 113 g/100 m² u. Monat in Charlottenburg (Innenstadt).

Über einen Zeitraum von 4 Jahren (1968 bis 1972) wurden die Monats-

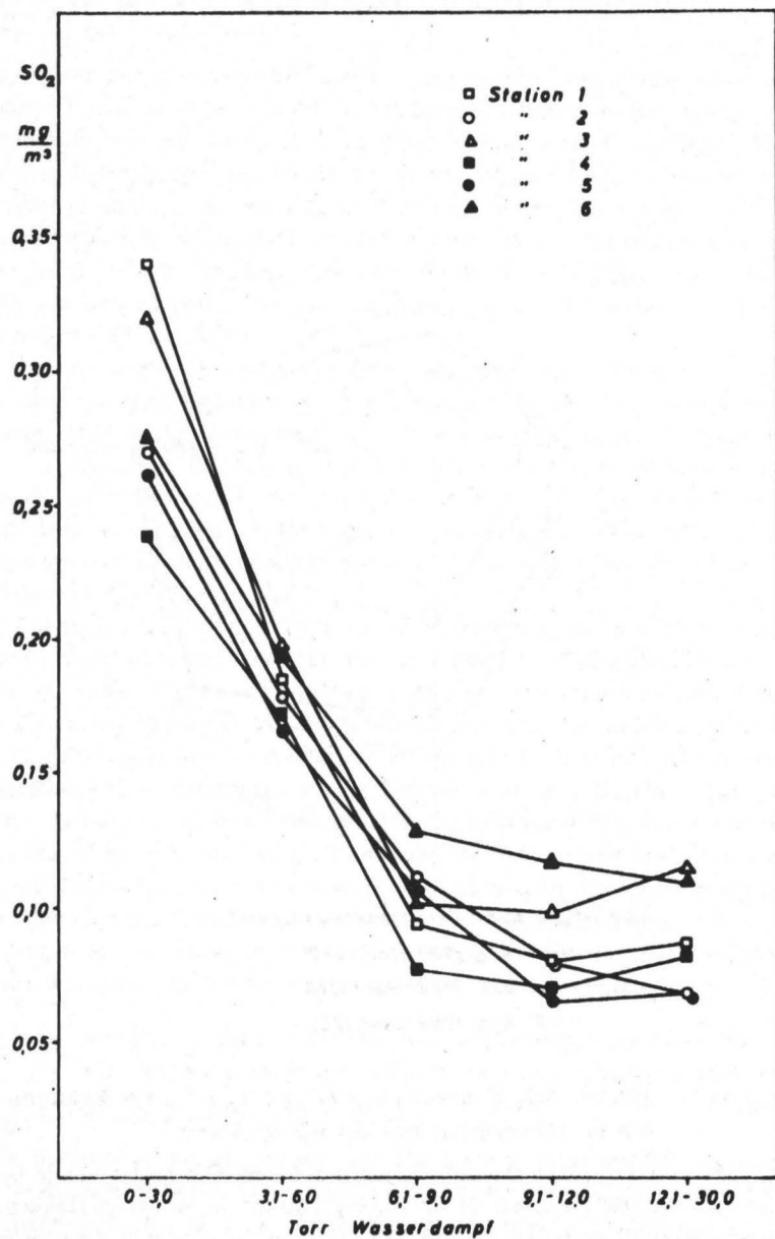


Abbildung 7: Mittlere SO_2 -Konzentrationen in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck (Dezember 1968 - November 1969)

Jahresmittel von Staub-, Sulfat- und Regenniederschlägen Berlin (1953-1973)

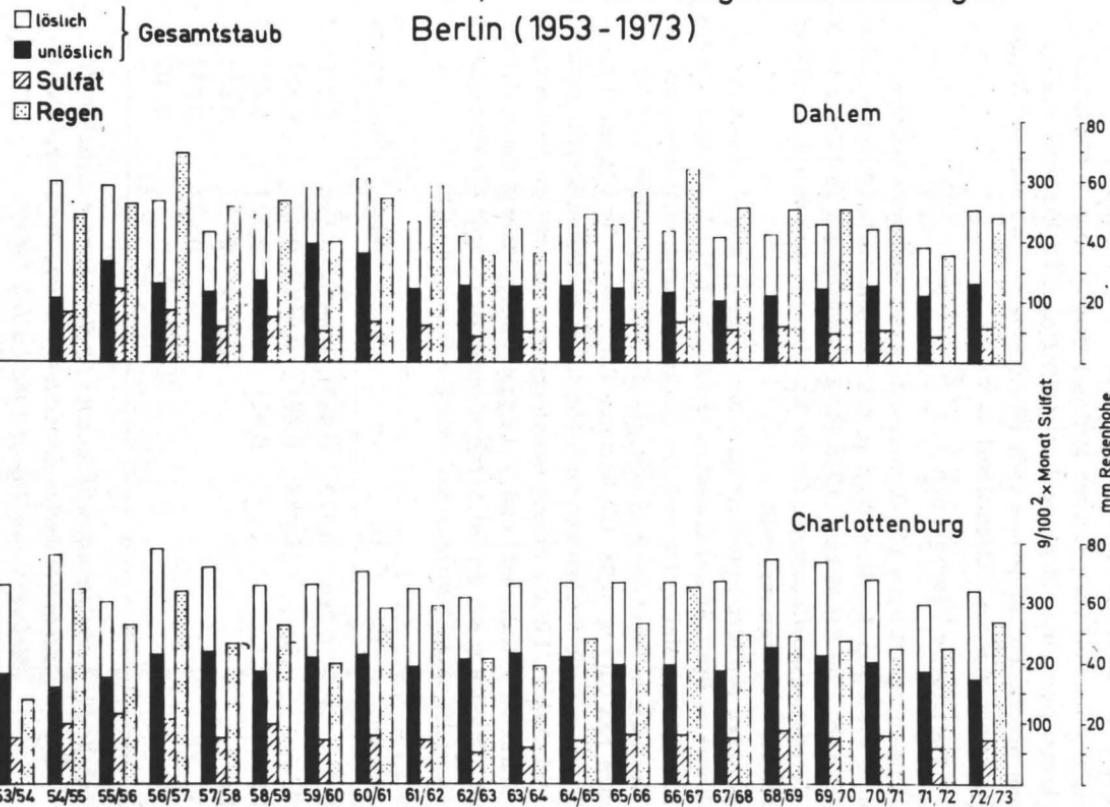


Abbildung 8: Jahresmittel von Staub-, Sulfat- und Regenniederschlägen Berlin (1953 - 1973)

mittelwerte des Sulfatgehalts in den Regenniederschlägen in Charlottenburg mit den Monatsmittelwerten des Schwefeldioxidgehalts der Luft an der etwa 4 km entfernt gelegenen Meßstation Jungfernheide verglichen. Ein korrelativer Zusammenhang der 48 Wertepaare konnte nicht nachgewiesen werden. Für differenzierende Berechnungen, etwa nach der Niederschlagsmenge, war das Wertematerial zu klein.

3.2.4.2 Manuelle Stichproben

Die Tagesmittelwerte der SO_2 -Konzentration des Stichproben-Meßprogramms sowie von den Messungen an den 6 automatischen Stationen sind in der Abb. 2 für das Meßjahr 1968/1969 wiedergegeben. In Tabelle 11 sind die Korrelationskoeffizienten r für die Beziehungen zwischen diesen Tagesmittelwerten zusammengestellt.

Zwischen den Meßwerten der im Raum Charlottenburg, östlich des Kraftwerkse Ernst Reuter gelegenen Meßstationen II, III, IV und V sowie zwischen diesen Meßwerten und den Stichproben ergab sich eine enge lineare Korrelation. Im ersten Fall betrugen die Werte für r 0,88 bis 0,92, im zweiten Fall 0,83 bis 0,88. Die letzteren Zahlenwerte für r liegen etwas niedriger, weil die Stichproben auch Messungen im Raum Steglitz umfaßten (vgl. Abb.1). Für die lineare Beziehung zwischen den Meßwerten der Stationen I (Ruhleben) und VI (Steglitz) einerseits und denen der anderen Stationen sowie der Stichproben andererseits lagen die Werte für den Korrelationskoeffizienten nur zwischen 0,66 und 0,78.

Meßstation	II	III	IV	V	VI	Stichproben
I	0,780	0,872	0,847	0,837	0,661	0,750
II	—	0,888	0,891	0,918	0,665	0,861
III		—	0,921	0,897	0,723	0,844
IV			—	0,879	0,727	0,883
V				—	0,672	0,833
VI					—	0,707

Tabelle 11: Korrelationskoeffizienten r für Beziehungen zwischen den Tagesmittelwerten der 6 Stationen und der Stichproben (Meßwerte von August 1968 bis Juli 1969)

Tab.12 zeigt Kenngrößen der SO_2 -Konzentration, die aus den Werten des Jahres 1968/1969 für das automatische und das Stichproben-Meßprogramm errechnet wurden. Es ergibt sich eine recht einheitliche Aussage. Die nur unbeträchtlichen Unterschiede der Ergebnisse an den Meßstationen im Raum Charlottenburg (Meßstationen I bis V) waren mit ein Grund, im wei-

Meßort (vgl. Abb. 1)	Jahres- mittel	Maximaler Einzelwert	Maximales Tagesmittel	Maximales Monatsmittel	50-%- Wert der Summenhäufigkeit	95-%- Wert der Summenhäufigkeit	97,5-%- Wert der Summenhäufigkeit
Station I	0,16	1,54	0,75	0,30	0,12	0,49	0,59
Station II	0,15	1,50	0,67	0,30	0,10	0,45	0,56
Station III	0,16	1,70	0,77	0,31	0,12	0,48	0,58
Station IV	0,14	1,42	0,66	0,32	0,09	0,40	0,50
Station V	0,15	1,30	0,65	0,29	0,09	0,41	0,51
Station VI	0,18	1,28	0,82	0,31	0,16	0,45	0,55
Stichproben (82 Meßstellen)	0,15	1,47	0,74	0,36	0,09	0,54	0,68

*Tabelle 12: Ergebnisse von kontinuierlichen und diskontinuierlichen SO_2 -Immissionsmessungen in mg/m^3
(Meßzeit: August 1968 - Juli 1969)*

teren Verlauf der Arbeiten nur noch Untersuchungen an der Station II fortzusetzen (vgl. Abschnitt 2.1).

Die höheren Werte des Stichproben-Meßprogramms für das maximale Monatsmittel und die 95%- und 97,5%-Werte der Summenhäufigkeit erklären sich aus den nur während der „immissionsstärkeren“ Tagesstunden aus geführten Probenahmen.

Die recht gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der automatisch-kontinuierlichen Messungen und der manuellen Stichproben im Meßzeitraum 1968/1969 war auch bei weiteren Tests an dem vorliegenden Untersuchungsmaterial gegeben. Zum Beispiel wurden die Werte für die Immisionskenngrößen I_1 und I_2 verglichen, die einerseits aus den Meßwerten von 28 Probenahmestellen innerhalb eines Kreises mit dem Radius 3 km (bei 26 Proben im Jahr also aus 728 Einzelwerten, entsprechend den in der TALuft enthaltenen Angaben über die SO_2 -Grundbelastungsermittlung in der Umgebung von Anlagen) und andererseits aus den gleichzeitig an einer automatischen Meßstation innerhalb des 3km-Umkreises gemessenen SO_2 -Konzentrationen berechnet wurden.

Die für den Zeitraum 1968/1969 ermittelte gute Übereininstimmung der Ergebnisse von durch Stichproben gesammelten 728 Meßwerten mit einem gleich großen Werte-Kollektiv aus kontinuierlichen Messungen zum gleichen Zeitabschnitt wurde jedoch bei Wiederholungen dieses Vergleichs in späteren Jahren nicht immer bestätigt. Dabei muß offen bleiben, welcher - automatisch oder manuell ermittelter - Kenngrößenwert die tatsächliche Immisionssituation besser wiedergibt. Diese praktisch nur wegen der Meßvorschriften in der TALuft angestellten Vergleiche werden überdies der Aussagefähigkeit automatischer Messungen nicht gerecht, weil lediglich 728 Halbstundeneinzelwerte von insgesamt rund 17.000 eines Jahres herangezogen werden. Grundsätzlich ist anzunehmen, daß die Differenzen zwischen den mit **verschiedenen** Meßmethoden ermittelten Immisionskenngrößen nicht diejenigen Differenzen überschreiten, die sich bei Anwendung der **gleichen** Meßmethode durch meteorologische Einflüsse von einem Jahr zum anderen oder auch schon innerhalb eines Jahres ergeben (vgl. Tab. 6 und Abschnitt 3.1.4). Die automatische Messung an wenigen Stellen erlaubt eine zumindest ebenso sichere Grundbelastungsermittlung wie die Stichprobenmessung, insbesondere unter Immissionsverhältnissen wie in Berlin, die durch einen großen Siedlungsraum mit sehr vielen Abgasquellen, aber mit relativ wenigen Großemittenten für Schwefeldioxid gekennzeichnet sind.

3.2.4.3 Meßwerte aus anderen deutschen Städten

Die in Berlin gemessenen Schwefeldioxid-Immissionen lagen im Vergleich zu gleichzeitigen Befunden aus anderen deutschen Städten rela-

tiv hoch. Aus eingehenden Zusammenstellungen der Meßdaten mehrerer Institute (2, 7) wurden in Tab. 13 die an einer Reihe von Stationen festgestellten Jahresmittelwerte für 4 Jahre herangezogen.

Meßstation	1968/69	1969/70	1970/71	1971/72
Berlin: Jungfernheide	0,15	0,18	0,16	0,11
Steglitz	0,18	0,25	0,21	0,13
Hamburg: St. Pauli	0,14	0,17	0,12	0,14
München: Müllerstr.	0,08	0,05	0,05	0,03
Schwabing	0,06	0,04	0,04	0,02
Bayerstr.	0,08	0,05	0,03	0,03
Köln: Eifelwall	0,10	0,10	0,09	0,09
Ehrenfeld	0,09	0,08	0,10	0,10
Essen: Mitte	0,15	0,14	0,12	0,12
Süd	0,11	0,11	0,09	0,09
Frankfurt: Innenstadt	0,13	0,12	0,14	0,12
Düsseldorf	0,11	0,10	0,10	0,09
Duisburg	0,16	0,15	0,14	0,13
Dortmund	0,13	0,13	0,11	0,11
Bochum	0,14	0,14	0,12	0,12
Mannheim: Mitte	0,12	0,10	0,09	0,08
Rheinau	0,12	0,09	0,12	0,09
Karlsruhe: West	0,11	0,13	0,12	0,08
Kaiserallee	0,10	0,09	0,10	0,07

Tabelle 13: Jahresmittelwerte der SO_2 -Konzentration in mg/m^3 - jeweils von Herbst zu Herbst - in deutschen Großstädten

4. Zusammenfassung

Bei automatischen Immissionsmessungen, die in Berlin seit 1968 kontinuierlich vorgenommen werden, ergaben sich relativ hohe Schwefeldioxid-Konzentrationen. Der höchste Jahresmittelwert betrug 0,18, die höchsten Monatsmittelwerte lagen bei 0,5 und die höchsten Tagesmittelwerte bei 1 $mg SO_2/m^3$. Von 1969 an zeigte sich eine abnehmende Tendenz der Immissionen.

Das von insgesamt 7 Stationen vorliegende umfangreiche Datenmaterial wurde für verschiedene Zeitabschnitte in Form von mittleren und maximalen Werten und von Häufigkeitsverteilungen wiedergegeben. Tages- und Jahresgang der mittleren SO_2 -Konzentrationen sowie Beziehungen zwischen Wetterelementen und Immission wurden ermittelt und graphisch dargestellt.

Die Ergebnisse der automatisch-kontinuierlichen Messungen wurden mit denen eines Stichprobenmeßprogramms verglichen, das gemäß den in der TALuft enthaltenen Angaben durchgeführt wurde. Aus den beiden über ein Jahr laufenden Programmen ließen sich übereinstimmende Aussagen ableiten. Im Falle weniger guter Übereinstimmung der Ergebnisse automatischer und Stichproben-Messungen dürften die Differenzen innerhalb derje-

nigen Schwankungen liegen, die beim Stichproben-Verfahren durch meteorologische Einflüsse gegeben sind (vgl. Tab. 6).

Die zeitlichen Schwankungen der SO₂-Konzentrationen waren größer als die räumlichen. Die kontinuierliche Messung an wenigen Stationen wird der Überwachung dieses Immissionsverlaufes besser gerecht als eine Stichproben-Messung an vielen Stellen.

Vergleichende Doppelbestimmungen bei manuellen Messungen im Gelände ergaben Standardabweichungen als Maß für die Reproduzierbarkeit der gesamten Meßmethoden für das Silikagel-Verfahren von $s = \pm 81$ und für das Tetrachloromercurat-Verfahren von $s = \pm 24 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.

Zwischen den Ergebnissen von kontinuierlichen SO₂-Bestimmungen in der Luft und von Sulfat-Bestimmungen im Regenwasser konnte aus den bisher vorliegenden Werten kein korrelativer Zusammenhang festgestellt werden.

Literatur

- 1 Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). Gemeinsames Ministerialblatt, Ausgabe A **15** (1964), Nr. 26, 433-448
- 2 *Lahmann, E.*: Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid in Städten der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse von 1968-1969. Bundesgesundheitsblatt **13** (1970), 375-378
- 3 *Lahmann, E. und K.-E. Prescher*: Luftuntersuchungsprogramm in Berlin. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 33 (1970), 19-24
- 4 *Lahmann, E.*: Luftverunreinigungen in Berlin - Meßergebnisse. WaBoLu-Bericht Nr. 8 (1972)
- 5 *Lahmann, E. und K.-E. Prescher*: Schwefeldioxid-Immissionen in der Umgebung von Kraftwerken. Staub - Reinhaltung der Luft **32** (1972), 390-392
- 6 *Prescher, K.-E.*: Ergebnisse von kontinuierlichen Schwefeldioxid-Messungen in Berlin (1968-1972). WaBoLu-Bericht Nr. 10 (1973)
- 7 *Lahmann, E.*: Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid in Städten der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse von 1969-1972. Bundesgesundheitsblatt **16** (1973), 162-165
- 8 *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft*: Messung gasförmiger Immissionen. Messung der Schwefeldioxid-Konzentration (VDI 2451) VDI-Verlag GmbH., Düsseldorf, 1968
- 9 *Lahmann, E. und K.-E. Prescher*: Methoden zur automatischen Luftuntersuchung. Gesundheits-Ingenieur **91** (1970), 17-20

Literatur Forts.

- 10 *Stratmann, H.:* Eine mikroanalytische Methode zur Bestimmung von Schwefeldioxyd in der Atmosphäre. *Mikrochimica Acta (Wien)* (1954), 668-678
- 11 *West, P. W. und G. C. Gaeke:* Fixation of sulfur dioxide as disulfito mercurate (II) and subsequent colorimetric estimation. *Analytical Chemistry* 28 (1956), 1816-1819
- 12 *Stratmann, H. und M. Buck:* Schwefeldioxid-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen. Erste Mitteilung der Ergebnisse des III. Meßprogrammes nach § 7 des Immissionsschutzgesetzes NW für die Zeit vom 2.11.1964 - 28.10.1965. *Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen* Heft 3 (1966), 7-53;
Stratmann, H. und H. Ixfeld: Zweite Mitteilung, *ibid.* H.8 (1967), 7-44; Dritte Mitteilung, H.13 (1968), 7-52; Vierte Mitteilung, H.16 (1969), 7-51; Fünfte Mitteilung, H.20 (1970), 7-53;
Prinz, B. und H. Ixfeld: Sechste Mitteilung, H.24 (1971), 7-52;
Buck, M. und H. Ixfeld: Siebente Mitteilung, H.25 (1972), 101-152;
Achte Mitteilung, H.28 (1973), 63-96
- 13 *Lahmann, E., W. Morgenstern und L. Grupinski:* Schwefeldioxidimmissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* Nr. 25 (1967)
- 14 *Rumler, F., H. Neis und R. Herbolsheimer:* Ergebnisse der Schwefeldioxidpegelmessungen für die Zeit vom 8.5.1967 bis 3.5.1968 (1. Meßjahr) im Luftraum Saarbrücken-Völklingen. *Schriftenreihe, herausgegeben vom Minister für Arbeit und Sozialwesen des Saarlandes*, Heft 2 (1968), 5-9; 2. Meßjahr, *ibid.* Heft 3 (1969), 5-9;
3. Meßjahr, Heft 4 (1971), 5-8; 4. Meßjahr Heft 5 (1972), 5-8.
- 15 *Körner, H.-J.:* Immissionsbeaufschlagung durch Schwefeldioxid in der Umgebung eines Kraftwerkes. *Wasser, Luft und Betrieb* 12 (1968), 705-708
- 16 *Stratmann, H. und D. Rosin:* Untersuchungen über die Bedeutung einer empirischen Kenngröße zur Beschreibung der Häufigkeitsverteilung von SO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre. *Staub* 24 (1964) (1964), 520-525
- 17 *Löbner, A. und H. Nehls:* Untersuchungsverfahren für die Bestimmung der in Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* Nr. 12 (1957), 23-29

Literatur Forts.:

- 18 *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft: Staubniederschlagsmessungen. Gerätbeschreibungen und Gebrauchsanweisungen (VDI 2119),*
VDI-Verlag GmbH., Düsseldorf 1962.

Dir. u.Prof. Dr.-Ing. E. Lahmann
Wiss.Oberrat Dr.-Ing. K.-E. Prescher
Institut für Wasser-, Boden- und Luft-
hygiene des Bundesgesundheitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1

Simulation der Ausbreitung von Luftverunreinigungen mittels einer Tischrechenanlage

Statistische Anwendung eines mathematisch-meteorologischen
Vielquellen-Diffusionsmodells

von W. Fett

1. Situation und Aufgabenstellung

Die Ausbreitung von Schornsteingasen in der Luft wird heute überwiegend in zwei extremen Richtungen simuliert:

1. Betrachtung der Wirkung, die von einem einzigen Schornstein ausgeht; typische Anwendung ist die - genormte - Bestimmung der Schornsteinmindesthöhe, die die Einhaltung eines vorgegebenen maximalen Immissionswertes am Boden erwarten lässt (z.B. (1)).
2. Betrachtung des Zusammenwirkens einer großen Vielzahl von Quellen, wie sie etwa in einer Stadt vorliegen; typisch dafür ist die Anwendung von Modellen, die für eine ganze Stadt die räumliche Verteilung statistischer Kenngrößen der durch Industrie, Gewerbe und Hausbrand bedingten Immissionen zu simulieren vermögen und damit Grundlagen für Industrie- und Stadtplanung liefern (z.B. (2, 3)).

Das erste Extrem bedeutet mehr oder weniger die Beherrschung einer diffundierenden Rauchgaswolke, was sich auch ohne größere Rechenhilfsmittel bewerkstelligen lässt. Wenn sich bei anspruchsvollerer Schornsteinhöhenbestimmung das Ergebnis erst statistisch aus einer Vielzahl meteorologisch varierter Rauchfahnen ergibt, geht dieses natürlich nicht mehr ohne elektronische Datenverarbeitung. Die Anwendung jedoch basiert letztlich wieder nur auf Ergebnisdiagrammen, die keine Variation der Fragestellung mehr zulassen.

Das zweite Extrem setzt die Verfügung über eine größere elektronische Rechenanlage und die entsprechende Beherrschung des Kalküls und der Programmorganisation voraus. Die Flexibilität, wie sie beim ersten Extrem durch die Unabhängigkeit des Bearbeiters von nicht direkt verfügbaren Geräten und Mitarbeitern gegeben ist, wird hier durch den erschwerten Zugriff zur Rechenanlage, durch Zwischenschaltung anderer Instanzen oder zumindest Personen im Arbeitsablauf naturgemäß entsprechend eingeschränkt.

Es gibt nun jedoch ein breites Spektrum von Fragestellungen, die so-

wohl hinsichtlich des fachlichen als auch der praktischen Realisierungsmöglichkeiten zwischen diesen Extremen liegen. Gesucht ist beispielsweise die Auswirkung der Superposition zweier - oder wenig mehr - Quellen, das räumliche Suchen des sich dabei ergebenden Extremwertes der Luftverunreinigung, die Variation der Ergebnisse durch Variation des Immissionsniveaus über Grund, der Inversionshöhe, des Reflexionsgrades oder der Ausbreitungsparameter, um nur einiges zu erwähnen. Die Lösung solcher Fragen setzt sofort das bequeme automatische Operierenkönnen etwa mit der Ausbreitungsformel einerseits, aber auch mit dem unmittelbaren sukzessiven Variierenkönnen der Koeffizienten und der Eingangsdaten und dem statistischen Verarbeiten der Ergebnisdaten andererseits voraus. D.h., es sollte möglichst ein Operieren im direkten Dialog mit einem Rechner möglich sein. Dieses ist z.B. bei Verfügbarkeit eines Tischcomputers gegeben. Diese Kategorie von Rechenanlagen hat bereits einen beachtlichen Standard an Kapazität, Programmkomfort und interner wie externer Ausbaumöglichkeit erreicht. Die derzeitige Verbreitung solcher Kleinrechenautomaten fordert dazu auf, sich ihrer bei komplexen Begutachtungs- und Entscheidungsverfahren auf dem Gebiet der Luftreinhaltung im erweiterten Maße zu bedienen. Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit wird im folgenden ein Modell entwickelt, welches sowohl dieser Rechnerkategorie als auch den derzeitigen Sachanforderungen weitestgehend angepaßt ist.

2. Strategie der Programmierung

Wenn im weiteren von Tischrechenanlagen gesprochen wird, so werden Anlagen vorausgesetzt, die programmierbar sind, eine Arbeitsspeicherkapazität von etwa 10^3 Programmschritten und etwa 10^2 Registerspeichern von je etwa 12 Dezimalstellen besitzen, transzendentale Funktionen berechnen, Unterprogrammtechnik und möglichst auch indirekte Adressierung zulassen, und die die Ergebnisse ausdrucken können. Als wesentliche Erweiterungsmöglichkeit wird der wenigstens peripherer Anschluß eines externen Speichers, etwa einer Bandkassette, einbezogen. Die Anschlußmöglichkeit eines Blattschreibers und/oder eines Plotters wird berücksichtigt. Für die Modellentwicklung stand eine Tischrechenanlage vom Typ HEWLETT-PACKARD der Serie 9800, bestehend aus Calculator 9810 A (2035 Programmschritte, 109 Registerspeicher) mit Cassette-Memory 9865 A, Plotter 9862 A und Typewriter 9861 A als peripherer Einheiten, zur Verfügung.

Die heutigen Tischrechenanlagen geben bei der Durchführung auch anspruchsvoller mathematischer Kalküle kaum Probleme auf. Ihre Begrenzung ist vor allem durch ihre beschränkte Kapazität gegeben. Nun ist die Simulation der Ausbreitung einer größeren Anzahl von Abgaswolken aus verschiedenen gelegenen und emittierenden Schornsteinen, und diese in ihrer

statistischen Auswirkung bei einer Vielzahl vorgegebener Wetterlagen, durchaus datenintensiv. Ein wesentliches Problem liegt also darin, die Registerkapazität optimal zu nutzen. Die Chance der Lösung überhaupt besteht in einem gewissen Verzicht auf Gebrauchs- und Änderungskomfort und in der Hinnahme längerer Rechenzeiten, die sich u.a. vor allem durch routinemäßige Wiederholung hier nicht speicherfähiger Zwischenresultate ergeben. Doch sollte das ein angemessener Preis für die grundsätzliche Möglichkeit der Anwendung statistischer Simulationsmodelle sein. Schließlich entfallen 75 % der Zeit einer Woche auf außerhalb der geregelten Personallohnzeit gelegene Zeiten.

Folgende Möglichkeiten der Kapazitätseinsparung werden genutzt:

- * Verwendung lediglich eines möglichst umfassenden Universalprogramms, wobei im Einzelfall oft auch uninteressante Verarbeitungen ablaufen
- * Verzicht der Zwischenspeicherung bereits abgeleiteter Größen, daher jedoch oft wiederholte Neuberechnungen
- * Mehrfaches Splitten der Registerspeicher
- * Selten (nur von Aufgabe zu Aufgabe) variierte Parameter werden im Programm selber und nicht in Register untergebracht
- * Das der eigentlichen Ausbreitungsrechnung zugrundeliegende Kalkül bleibt für alle innerhalb einer Fragestellung durchgerechneten Situationen das gleiche (d.h. Beschränkung möglichst auf eine einheitliche Schornsteinüberhöhungsformel)
- * Rechenzeitverkürzung durch Verwendung von Näherungsverfahren
- * Rechenzeitverkürzung durch Abbruch von Rechnungen, die ohnehin zu keinen wesentlichen Ergebnisveränderungen führen würden

Der Kern der Ausbreitungsrechnung ist wie folgt zu beschreiben:

Es wird die Konzentration einer Abgaswolke aus einer abgefragten Einzelquelle an einem abgefragten Immissionspunkt berechnet. Die Quelle ist durch ihre kartesischen Lagekoordinaten, ihre geometrische Höhe, ihre Quellstärke und einen die übrigen physikalischen Emissionseigenschaften beschreibenden Emissionswert gekennzeichnet (Daten im Arbeitsspeicher). Die Ausbreitung ist durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklasse, die Wahrscheinlichkeit ihres kombinierten Auftretens, die Ausbreitungsparameter, den Exponenten des Windprofils und die Inversionshöhe bzw. Mischungsschichthöhe charakterisiert (Daten im Arbeitsspeicher). Der Immissionspunkt ist ebenfalls durch seine kartesischen Koordinaten und seine geometrische Höhe (Immissionsniveau) beliebig fixierbar. Die Integration über das Windprofil, die Schornsteinüberhöhung und die dafür nötige Integration über das dabei angetroffene Windprofil, die - ggf. von 1 verschiedene - Reflexion der Immissionen am Boden, die absorbierende bzw. reflektierende Wirkung einer Sperrinversion, schließlich die glättende

Wirkung einer Windrichtungsstreuung über den betrachteten Windrichtungssektor werden berücksichtigt. Der so bestimmte Konzentrationswert einer Einzelquelle bei einer einzelnen meteorologischen Situation ist das erste anzeigbare Ergebnis. Als Einzelwert für die statistische Verarbeitung gilt jedoch erst der Wert, der sich durch die Superposition der Konzentration aller im Arbeitsspeicher eingelesenen Einzelquellen (bis zu 16-20 Quellen) ergibt. Erst dieser Basiswert wird mit dem Betrag seiner Auftrittswahrscheinlichkeit ausgegeben und/oder abgespeichert und u.a. in eine Häufigkeitsverteilung eingezählt. Diese Verteilung setzt sich am Ende der Rechnung aus der Menge all dieser Basiswerte zusammen, die sich aus all den meteorologischen Kombinationen mit ihren jeweiligen Auftrittswahrscheinlichkeiten ergeben.

Die Programmorganisation soll eine Hierarchie der instrumentellen Ausbaufähigkeit berücksichtigen.

Die 1. Stufe (Rechnergrundeinheit ohne externe Speicher- und Ausgabemöglichkeiten) soll bereits alle grundsätzlich interessierenden Ergebnisse erstellen können. Die Ausbaustufen sollen lediglich eine quantitative Erweiterung, Komfortierung und Automatisierung des Programmablaufs ermöglichen. Dieses erzwingt:

* Bezuglich der Eingabedaten:

Aufnahme in den Arbeitsspeicher und damit Abarbeiten aller Quellen und der Wahrscheinlichkeitsmatrix der Wind-Richtungs-Geschwindigkeits-Kombination wenigstens einer Ausbreitungsklasse.

* Bezuglich der Ausgabedaten:

Ermittlung der Verteilungsfunktion, des Mittelwertes und der fünf größten Werte je Immissionspunkt, gewünschtenfalls auch die Konzentrationswindrose und die Mittelwerte in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeitsklasse.

* Bezuglich der Immissionspunkte:

Automatische Verarbeitung eines Netzrasters von Immissionspunkten mit entsprechend weiterverarbeitbarem Ergebnisdruck.

* Die Rechenzeitintensivität erfordert, den Rechenablauf ohne wesentliche Einbußen unterbrechen und am gewünschten - leicht wiederfindbaren - Immissionspunkt erneut aufnehmen zu können, um die Rechenanlage auch anderweitig vorübergehend beanspruchen zu können.

Die 2. Stufe ist durch die Erweiterung durch einen externen Datenspeicher, bei Tischrechenanlagen also durch einen Bandkassettenspeicher, gekennzeichnet. Diese Stufe ermöglicht vor allem die automatische Berechnung über alle Ausbreitungsklassen. Weiterhin soll damit die Abspeicherung der Ergebnisse (je Immissionspunkt) zur weiteren speziellen Verarbeitung als

auch die Bereitstellung weiterer Programme zu eben dieser Verarbeitung bewerkstelligt werden können.

Die 3. Stufe stellt normalerweise die Erweiterung durch einen Blattschreiber dar. Er gestattet das Auslisten und Tabellieren der Ergebnisse und Ergebnisverteilungen, vor allem aber auch die matrixförmige Darstellung einer beliebig aus der Verteilung ableitbaren Kenngröße in Abhängigkeit vom Immissionspunkt, welche als zeichnungsgerechte Grundlage für eine Isoliniendarstellung zu dienen vermag.

Die 4. Stufe dann bezieht den Gebrauch eines Plotters ein, der nach Erarbeitung einer Ergebnismatrix in der 3. Stufe das Isolinienfeld automatisch zu ermitteln erlaubt und somit ein in jeder Weise objektives Abbild der Analyse liefert. Die Nutzung des Plotters setzt dabei das Vorhandensein eines Blattschreibers nicht voraus.

3. Kalkül und Programmablauf

Unsere Ausbreitungsrechnung basiert auf der konventionellen Diffusionsformel, welche die Konzentration quer zur Ausbreitungsrichtung in einer zweidimensionalen *Gauss*-Verteilung beschreibt; die Formel ist lediglich um die Glieder erweitert, welche die - evtl. teilweise - Reflexion am Boden und an einer Inversion in der Höhe I erfassen*:

$$(1) \quad s_i(x,y,z;H,I) = \frac{Q \cdot \mu[\tau|T]}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + a \cdot \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \beta \cdot \exp\left[-\frac{(2I-H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right] + a \cdot \beta \cdot \exp\left[-\frac{(2I-H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

mit den Streuungsparametern in der Form

$$(2) \quad \sigma_y = F \cdot x^f; \quad \sigma_z = G \cdot x^g.$$

Die Lagekoordinaten x, y des jeweiligen Immissionspunktes im windrichtungsorientierten System gehen aus den Nord-Ost-Koordinaten N, E von Emissionspunkt EP und Immissionspunkt IP und der Windrichtung R nach

$$(3) \quad x = r \cdot \cos \varphi; \quad y = r \cdot \sin \varphi$$

mit

$$(4) \quad \varphi = \arctg \left[\frac{N_{IP} - N_{EP}}{E_{IP} - E_{EP}} \right] + R^\circ - 270^\circ; \\ r = [(N_{IP} - N_{EP})^2 + (E_{IP} - E_{EP})^2]^{1/2}$$

hervor. Als Windgeschwindigkeit geht das Mittel über das potentielle Geschwindigkeitsprofil,

* Die Höhe I kann auch im Sinne von 'Mischungsschichthöhe' interpretiert werden.

$$(5) \quad \bar{u} = \frac{1}{z^*} \int_0^{z^*} u(z) dz$$

mit

$$(6) \quad u(z) = u(z_A) \cdot (z/z_A)^m$$

vom Boden bis zur doppelten effektiven Schornsteinhöhe $z^* = 2H$ ein:

$$(7) \quad u(z) = u(z_A) \cdot (z^*/z_A)^m / (1+m).$$

Die für die Ermittlung der über die Bauhöhe h hinausgehenden effektiven Schornsteinhöhe

$$(8) \quad H = h + \Delta h$$

zu berechnende Schornsteinüberhöhung Δh wird einheitlich nach der von *Fortak* (4) optimierten Formel von *Csanady* (5) bestimmt (Sie gilt vornehmlich für hohe Quellen; es bleibt dem Anwender jedoch unbenommen, stattdessen eine ihm passender erscheinende Überhöhungsfomel zu verwenden):

$$(9) \quad \Delta h = 135 (E^*/\bar{u}^3)^{0,40}$$

mit dem Emissionswert

$$(10) \quad E^* = g \cdot w (d^*/2)^2 \cdot (T_{E^*} - T_A) / T_A$$

Als Windgeschwindigkeitswert geht hier das Mittel über das durch den Überhöhungsbereich abgesteckte Profilstück ein

$$(11) \quad \bar{u} = u(z_A) \cdot (z'/z_A)^m / (1+m); \quad \begin{cases} H \leq I \rightarrow z' = H, \\ H > I \rightarrow z' = I. \end{cases}$$

Die effektive Höhe wird iterativ nach

$$(12) \quad H = h + 135 E^* / [u(z_A) \cdot (H^{1+m} - h^{1+m}) / \Delta h \cdot z_A^m (1+m)]^{0,40}$$

bestimmt, und zwar beginnend mit $H = 2h$ so oft, bis H auf wenigstens 1 m genau vorliegt.

Es wurden noch folgende Restriktionen eingeführt:

1. Die Integration bei der Ermittlung von \bar{u} wird höchstens bis zur Inversionshöhe I durchgeführt:

$$(13) \quad \begin{aligned} 2H &\leq I \rightarrow z^* = 2H, \\ 2H &> I \rightarrow z^* = I. \end{aligned}$$

2. Ist die Inversionshöhe $I < h + 1/2 \Delta h$, wird angenommen, daß die

Rauchwolke die Inversion durchstößt und zu keinen bodennahen Verunreinigungen führt ($s_i = 0$). Liegt die Inversion darüber, ist aber noch geringer als die sich rechnerisch ergebende effektive Schornsteinhöhe, so wird letztere gleich der Inversionshöhe gesetzt:

$$(14) \quad h + \Delta h/2 > I \rightarrow H \doteq \infty \rightarrow s_i = 0, \\ h + \Delta h > I > h + \Delta h/2 \rightarrow H \doteq I.$$

Innerhalb der Windsektorbreite, mit deren Einheit (meist 10° oder $11,25^\circ$) die meteorologische Statistik, die angewandt werden soll, vorliegt, wird eine Mittelung der Ausbreitungsrechnungsergebnisse vorgenommen. Dazu wird die Rechnung nicht nur für die Sektorkennungsrichtung, sondern für jedes Fünftel des Sektors (meist 2° bzw. $2,25^\circ$) ausgeführt

$$(15) \quad \hat{s} = \frac{1}{5} \sum_{i=-2}^{i=+2} s_i(\varphi_i) \quad \text{mit} \quad \varphi_i = \varphi_0 + i \cdot \Delta\varphi/5.$$

Zur Einsparung von Rechenzeit wird angesichts der üblicherweise kleinen $\Delta\varphi$ -Werte für

$$(16) \quad y_i = r \cdot \sin(\varphi_0 + i \cdot \Delta\varphi/5) \\ x_i = r \cdot \cos(\varphi_0 + i \cdot \Delta\varphi/5)$$

die Näherung

$$(17) \quad y'_i = y_0 + i \cdot \Delta y = y_0 + i \cdot x_0 (2\pi/360) \cdot \Delta\varphi/5 \\ x'_i = x_0$$

eingeführt. Infolgedessen braucht der Term in geschweiften Klammern in (1) nur einmal je Sektor berechnet zu werden. Letztlich wird je Immissionspunkt über die Konzentrationsanteile aus allen q Quellen summiert, die für das R der gleichen Windrichtungsklasse RK, das $u(z_A)$ der gleichen Windgeschwindigkeitsklasse VK und die Koeffizienten σ_y , σ_z und m der gleichen Ausbreitungsklasse AK errechnet wurden:

$$(18) \quad s(AK_i, RK_i, VK_i) = \sum_{q=1}^{q=n} \hat{s}_q(AK_i, RK_i, VK_i).$$

Es lässt sich evtl. eine größere Anzahl an Quellen - dazu schneller - verarbeiten, wenn man eng benachbarte Einzelmittenten von ähnlicher Quellenhöhe je zu einer fiktiven Einzelquelle zusammenfassen kann. Als Quellenrate Q geht dann die Summe der Einzelanteile ein, während als Emissionswert der gewogene Mittelwert

$$(19) \quad \overline{E^*} = n_i^{0,8} \cdot \frac{\sum (Q_i \cdot E_i^*)}{\sum Q_i}$$

zu verwenden ist. (Erste Berücksichtigung einer gegenseitigen Beeinflussung sich durchdringender Wolken im Überhöhungsbereich).

Der Programmablauf ist durch Ausschöpfung der Unterprogrammtechnik und deren Verschachtelung („Nesting“, mindestens vierfach) gekennzeichnet. Der Gang ist durch die folgenden Stufen markiert:

Das erste abgeschlossene und anzeigbare Einzelergebnis ist die Konzentration einer Einzelquelle Q_i an einem Immissionspunkt IP_i bei der durch die Kombination von Ausbreitungsklasse AK_i , Windrichtungsklasse RK_i und Windgeschwindigkeitsklasse VK_i typisierten Wetterlage. Dieses Resultat wird in einen VK -abhängigen aufsummierenden Registersatz eingelesen. Für die gerade anstehende AK_i - RK_i - Q_i -Kombination wird die Rechnung zunächst für alle Geschwindigkeitsklassen VK durchgeführt. Nach Verarbeitung aller Einzelquellen Q_i liegt die Immissionskonzentration s für die AK_i - RK_i -Kombination in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit VK_i als $s(VK_i)AK_i$, RK_i abrufbereit vor. Danach werden die s -Werte aller VK_i

- a) in ein alle AK_i - RK_i betreffenden Werte aufsummierendes Register eingelesen,
- b) je mit ihrer der AK_i - RK_i - VK_i -Kombination entsprechenden Auftrittswahrscheinlichkeit p_i in die ihrem Konzentrationswert entsprechende s -Klasse der Häufigkeitsverteilung eingelesen,
- c) je mit den bisher vorgefundenen fünf höchsten s -Werten verglichen und ggf. - wenn größer als der bisherige fünftgrößte Wert - unter die vier größten entsprechend eingeordnet und
- d) ihre p_i und die Produkte $s_i \cdot p_i$ je in ein alle IP_i betreffendes Register einsummiert.

Nunmehr liegt also auch s_{AK_i, RK_i} abrufbereit vor. Jeweils nach Löschung der $s(VK_i)$ -Register wird so über alle Windrichtungsklassen RK_i gerechnet. -

Steht die Rechenanlage lediglich in ihrer 1. Ausbaustufe zur Verfügung (keinerlei externe Speicher oder sonstige Geräte), so ist die Datenkapazität hiermit erschöpft, und es erfolgt die Auswertung, die Anzeige bzw. der Streifenausdruck (auswahlweise), des Mittelwertes, des Maximalwertes, der Verteilungsfunktion und eines vorgewählten Perzentils. Danach wird das gesamte bis hierher geschilderte Programm für den nächsten Immissionspunkt IP wiederholt. Diese Wiederholung spielt sich automatisch zeilen- oder spaltenweise für das vorher durch die Randkoordinaten limitierte IP -Gitterpunktnetz ab, bis der letzte Immissionspunkt verarbeitet ist. Das Ergebnisfeld bezieht sich dann nur auf eine Ausbreitungsklasse. Natürlich lassen sich auch weitere Ausbreitungsklassen in die Rechnung einbeziehen, nur müssen die entsprechenden Datenmatrizen an entsprechender Stelle

jeweils manuell (praktischerweise über Magnetkarte) ausgewechselt werden.

Steht als 2. Ausbaustufe eine Bandkassetteneinheit zur Verfügung, so verarbeitet das Programm automatisch die $p(AK_i, RK_i, VK_i)$ -Matrizen beliebig weiterer Ausbreitungsklassen, die auf der Bandkassette gespeichert sind, und liest auch diese Resultate in die bereits geschilderten Ergebnissammelregister ein. Nach Rechnung über alle AK_i wird der unter der Kenntnis des gerade bearbeiteten IP_i laufende Block der Ergebnisregister in die Bandkassette eingelesen und danach im Arbeitsspeicher des Rechners gelöscht. Zweckmäßigerweise wird das oben geschilderte Ausdrucken erst nach Verarbeitung aller Immissionspunkte vorgenommen, wobei man sich dann eines eigenen, gänzlich neuen und damit umfangreicher und komfortableren Programms bedienen kann, das sich ebenfalls auf Abruf auf der Bandkassette befindet. (Näheres siehe im Kapitel „Datenausgabe“.) Abruf und Start des Druckprogramms schließt sich automatisch dem Rechenprogramm (von diesem gesteuert) an, so daß die Rechenanlage vom Start an bis zur kompletten Auslistung keiner weiteren Bedienung bedarf und sich selbst überlassen werden kann. Der Ablauf kann zu jeder Zeit unterbrochen und mit der Bearbeitung an beliebiger Stelle des IP-Gitterpunktnetzes wieder aufgenommen werden; selbst bei unkontrollierter Unterbrechung gehen so nur diejenigen Zwischenergebnisse für den gerade in Bearbeitung befindlichen Immissionspunkt vorübergehend verloren, die, da inkomplett, noch nicht zur Einspeicherung in die Bandkassette gelangten.

4. Zur Ökonomie, Genauigkeit und Kapazität der Modellrechnung

Der begrenzte Speicherumfang eines Tischrechners zwingt zu äußerst rationellem Gebrauch der Programm- und Registerkapazität. Auf der Programmseite führt das zur allgemeinen Anwendung möglichst universeller Unterprogramme, auf der Registerseite zum wechselnden Gebrauch gleicher Register und deren vielfältiger Splitting. Sich wiederholende Zwischenresultate, wie Mittelwerte des jeweiligen Windgeschwindigkeitsprofils, der Schornsteinüberhöhung usw., können nicht gespeichert und müssen chronisch wiedererrechnet werden. All das führt zu längeren Rechenzeiten. Dem kann einerseits nur durch geschickte, die Summe der Zugriffszeiten minimierende Anordnung innerhalb der Programmstruktur - und andererseits durch das Bestreben begegnet werden, Berechnungen zu vermeiden, die zu unwesentlichen Ergebnissen führen. In diesem Sinne führen folgende positiv ausgehende Abfragen zum vorzeitigen Abbruch bzw. zur Verhinderung des jeweiligen Unterprogrammablaufes:

1. Die AK - RK - VK -Klasse in der meteorologischen Matrix der Auftrittswahrscheinlichkeiten ist nicht besetzt ($p = 0$).
2. Der Immissionspunkt befindet sich in der luvseitigen Hälfte.

3. Richtung zum Immissionspunkt weicht mehr als 40° (bzw. abgeänderter Wert) von der Leerichtung ab.
4. Abstand des Immissionspunktes von der Leeachse größer als 3km (bzw. abgeänderter Wert).
5. Das angesteuerte Quellenregister ist leer (Emission = 0).
6. Schornsteinhöhe h größer als Inversionshöhe.
7. Effektive Schornsteinhöhe H größer als Inversionshöhe.
8. Der Exponent des Inversionsreflexionsgliedes in Gleichung (1) ist kleiner als -20.
9. Der Betrag des Gliedes in geschweifter Klammer in Gleichung (1) ist kleiner als $\exp(-20)$.

Bei der Berechnung eines Immissionsfeldes aus Quellen, die innerhalb dieses Feldes liegen, beträgt die Rechenzeitersparnis allein durch die Punkte 1-5 im Mittel etwa 90 %, also eine Größenordnung.

Für die Dauer der Berechnung einer umfassenden Immissionsklimatologie für ein vorgegebenes Gebiet ist des weiteren vor allem die Anzahl der jeweils zu verarbeitenden Immissionspunkte und der meteorologischen Situationen, d.h. also die „Schrittweite“ auf der Längen- und der Breitenachse, der Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsskala und der Ausbreitungsklassenskala entscheidend. Für eine großflächige Erfassung der Struktur des Immissionsfeldes erwies sich eine Schrittweite von 2 km zumeist als hinreichend; die zu erwartende Kontinuität der Wertefelder ermöglichte eine hinreichend Werteermittlung in einem kleineren Scale durch Interpolation. Für die Placierung des Programms und seine Durchführung im Rechner ist es ganz entscheidend, mit einer nur kleinen Zahl von Windgeschwindigkeitsklassen auszukommen. Untersuchungen haben ergeben, daß bereits die Verwendung von lediglich vier Klassen dem generell erstrebten Genauigkeitsanspruch genügt, sofern die Klassierung einigermaßen optimal gewählt wird (also etwa geometrisch wachsende Klassengrößen). Selbst die auf eine Vergrößerung der Klassierung besonders empfindlich reagierenden Rechenwerte der maximalen Immission nehmen bei einer Reduzierung der Klassenzahl von sechs auf vier im Mittel nur um 2 % ab. Dagegen muß es in jedem Falle bei einer feinen Klassierung der Windrichtung von etwa 10° bleiben. Auch wenn lediglich die Verteilung über acht Richtungsklassen gegeben sein sollte, ist diese, und wenn auch noch so simpel, auf eine 32-teilige Verteilung aufzufächern.- Die Streuung innerhalb einer Richtungsklasse ist bei Auffächerung auf fünf gleiche Immissionswolken optimal. Eine 36-teilige Richtungsverteilung führt damit zu 2° Abstand, eine 32-teilige zu $2,25^\circ$ Abstand zwischen den Wolkenrichtungen.- Wesentlicher als der Verzicht auf eine feinere Geschwindigkeitsklassierung würde sich der Gebrauch einer größeren Ausbreitungsklassierung auswirken. Da jedoch die

automatische Verarbeitung von bereits mehr als einer Klasse die Verfügbarkeit einer Bandkassetteneinheit voraussetzt, auf der Bandkassette dann aber problemlos die Statistiken genügend vieler Ausbreitungsklassen untergebracht werden können, ergeben sich hier keine Schwierigkeiten.

Über den Streufehler, der den Endergebnissen anhaftet, liefert die mehr oder weniger erkennbare Kontinuität in den - zumal graphischen - Ergebnisfeldern einen die Aussage genügend kennzeichnenden Anhalt. Bezüglich der Beurteilung des systematischen Fehlers sei vor allem darauf hingewiesen, daß für das Modell selbstredend all die Einschränkungen gelten, die bereits die Gültigkeit der Diffusionsformel und der diese begleitenden Formeln begrenzen; jedoch steht diese Gültigkeit hier nicht zur Diskussion.

Bei der Aufteilung der meteorologischen Situationen auf wenigstens 3 Ausbreitungsklassen, 32 Richtungsklassen und 4 Geschwindigkeitsklassen ist als kleinste zu berücksichtigende Einheit der Eintrittswahrscheinlichkeit 0,01 % zu wählen. Da andererseits die Belegung einer Klasse praktisch unter 10 % bleibt, sind die Belegungszahlen höchstens dreistellig. Damit lassen sich innerhalb eines zwölfstelligen Registers die Eintrittswahrscheinlichkeiten aller vier Geschwindigkeitsklassen einer Windrichtungsklasse speichern. Faßt man auch die Koeffizienten für die Streuungsparameter der Gleichungen (2) paarweise in den Registern zusammen, so läßt sich einschließlich des Windprofilexponenten m , der evtl. Inversionshöhe I und einer Ausbreitungsklassenkennzahl die gesamte meteorologische Statistik je Ausbreitungsklasse in 36 (bei 36-teiliger Windrichtungsskala in 40) Registern unterbringen. -

Wegen der gewählten Wahrscheinlichkeitseinheit % sind für jede Klasse der Verteilungsfunktion vier Ziffernstellen vorzusehen. Bei zwölfstelliger Registergröße läßt sich eine 30 Klassen umfassende Verteilung in zehn Registern unterbringen; bei geeigneter Wahl der Klassenbreite (etwa 10, 20 oder $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kann man damit allen interessierenden Fällen gerecht werden. Mit den fünf größten Immissionswerten (einschl. ihrer im Nachkommabereich angegebenen Wahrscheinlichkeit), der Summe aller Wahrscheinlichkeitswerte, der Produktsumme von Immissions- und Wahrscheinlichkeitswert und der Koordinatenwertkombination des behandelten Immissionspunktes umfaßt der Ergebnisblock somit 18 Register. Von diesem Umfange lassen sich auf den üblichen Kassettenbändern die Ergebnisse von einigen Hundert Immissionspunkten (Output-Files).

Alle benötigten Emissionsdaten lassen sich auf zwei Register je Einzelquelle unterbringen: Das eine Register nimmt die Positionsdaten Schornsteinhöhe h [m], Ostkoordinate E [10 m] und Nordkoordinate N [10 m] in der Ziffernfolge (hhhh.EEEEENNNN) auf, das andere Register enthält die Emissionsdaten Schadstoffabgabe Q [mg/s] und Emissionswert E^* [m] in

der Form (QQQQQQQQ.EEEE).

Beispielsweise die Rechenanlage HEWLETT-PACKARD hp 9810 besitzt neben 5 Anzeige- und Interimsregistern 109 - auch extern speicherfähige - Arbeitsregister, wovon das Rechenprogramm laufend 19 Register zur Zwischenspeicherung und für Zwischenergebnisse beansprucht. Die restlichen 90 Register teilen sich die Input-Daten (36 bzw. 40 Register für die meteorologischen Transmissionsdaten und 36 bzw. 32 Register für die Emissionsdaten) und die Output-Daten (18 Ergebnisregister). Sieht man neben der Anzahl n_{RK} der Windrichtungsklassen und der Anzahl n_{EQ} der Einzelquellen auch die Anzahl n_X der gewünschten höchsten Immissionswerte als noch vorwählbar an, so sind die sich gegenseitig bestimmenden Kapazitäten durch die Gleichung

$$(20) \quad n_X + n_{RK} + 2 \cdot n_{EQ} = 73$$

verbunden. Werden z.B. 5 (bzw. 1) höchste Werte bei vorgegebener Statistik über 36 (bzw. 32) Windrichtungsklassen gewünscht, so können maximal 16 (bzw. 20) Quellen gleichzeitig verarbeitet werden. Sind Immissionen nur aus einem begrenzten Windrichtungsbereich zu erwarten, so kann die Anzahl der zu verarbeitenden Quellen wesentlich erhöht werden. Eine weitere Erhöhung ist möglich, wenn sich Register dadurch einsparen lassen, daß die Emissionsdaten für viele Quellen als gleich angesehen werden können.

Der beträchtliche Aufwand an Rechenzeit bei voller Ausschöpfung von Programmangebot und Gesamtkapazität wird verständlich, wenn man sich die große Zahl der sich wiederholenden Rechengänge vor Augen führt: Bei Heranziehung von 18 Einzelquellen, 6 Ausbreitungs-, 4 Windgeschwindigkeits- und 36 Windrichtungsklassen (je mit Unterteilung in fünf Richtungen von je 2° Abstand) und bei voller Berücksichtigung der Reflexionen an einer Inversion und am Boden werden für die Berechnung der Immissionswerte für ein $30 \times 30 \text{ km}^2$ -Feld bei 2 km Maschenweite die theoretisch möglichen Anteile von rund 80 Millionen (!) Ausbreitungswolken betrachtet, - auch wenn durch die restriktionsbedingten Unterprogrammabbrüche nicht einmal 5 % davon vollständig durchgerechnet werden. Für einen relativ zum Quellenfeld zentral gelegenen Immissionspunkt kann es dabei schon zu einer vollen Stunde Rechenzeit kommen. Und auch bei nicht extremer Ausschöpfung der Kapazität ist die Rechenzeit für das vollständige Programm doch von der Größenordnung etwa einer Woche.

Dem sind allerdings zwei Aspekte gegenüberzustellen. Zum einen interessieren zumeist speziellere und damit rechenmäßig ziemlich eingeschränkte Probleme. Die Anpassung an die Fragestellung erfolgt in einfacher Weise entweder durch Austausch des kurzen Hauptprogramms, welches namentlich die gewünschte Variablenkombination steuert (Immission als Funktion

der Gitternetzpunkte, des Immissionsniveaus, der Schornsteinhöhe, der Inversionshöhe, des Reflexions- bzw. Absorptionsgrades usw.); oder es werden Änderungen in den Abläufen der Unterprogramme durch verkürzende Sprungbefehle, Auslassung von Steuer- und Druckbefehlen usw. bewerkstelligt. Zum anderen möge man die bewußt eingebaute Unterbrechungsmöglichkeit und Automatik des Programmablaufes beachten, die ihrerseits für eine ökonomische Ausschöpfung und flexible Einsatzfähigkeit der Rechenanlage sorgen. Die Anlage kann dadurch jederzeit, vornehmlich während der persönlichen Anwesenheitszeit, also der Dienstzeit der evtl. Anlagenbenutzer, zur beliebigen anderweitigen Verwendung zur Verfügung stehen. Während der -überwiegenden!- Abwesenheitszeiten (über Nacht und übers Wochenende, d.h. etwa 3/4 der Gesamtzeit!) kann sukzessive das vorliegende Modell verarbeitet werden. Da das Auswertungsprogramm der 2. Ausbaustufe (PROPRINT) generell erst im Anschluß an das Programm der Ausbreitungsrechnung (PROCALC) abläuft, wird solange auch ein Blattschreiber nicht blockiert.

Nicht zuletzt sei bei der Präsenz derlei Tischrechenanlagen an die unmittelbare und kostenlose Dialogmöglichkeit erinnert, die ein problemorientiertes Operieren erst so ökonomisch macht; ein Aspekt, der hinsichtlich des derzeitigen Zugriffs bei Großrechenanlagen nicht vergessen werden möge.

5. Datenausgabe

Die Datenausgabe hängt davon ab, welche Ausbaustufe der Rechenanlage zur Verfügung steht und welche Datenart und -anordnung gerade interessiert. Um möglichst jedem Ausrüstungsgrad und möglichst vielen Fragen gerecht zu werden, wurde die Datenausgabe auf drei verschiedene Programme hierarchisch verteilt: auf das eigentliche Rechenprogramm (PROCALC), das Druckprogramm (PROPRINT) und das Zeichenprogramm (PROPLOT).

5.1 Datenausgabe des Rechenprogramms PROCALC

Das Rechenprogramm PROCALC führt die Basisrechnungen aus und wird in jedem Falle gebraucht. Da die Grundstufe der Anlage lediglich aus dem Tischrechner selber besteht (evtl. einschließlich eines eingebauten Streifendruckers) und lediglich dieses eine Programm fassen kann, enthält bereits dieses Programm die Ausgabebefehle für die wesentlichsten Resultatdaten und ihre Legenden. Zunächst erst optisch angezeigt werden je Immissionspunkt seine Ost-Nord-Koordinaten, die resultierenden Immissionswerte für jede Kombination von Ausbreitungsklasse, Windrichtung und Windgeschwindigkeit, dann für die Kombinationen ohne Rücksicht auf die Geschwindigkeit, weiter das Gesamtmittel und - der Größe nach sortiert - die höchsten fünf Immissionswerte; all diese Immissionswerte werden stets in

Kombination mit ihrer Auftrittswahrscheinlichkeit angegeben: der Ganzzahlanteil der ausgegebenen Zahl stellt den Immissionswert dar, die Nachkommastellen die Wahrscheinlichkeit. In analoger Weise wird für eine Folge runder Immissionswerte die Folge der ermittelten Verteilungsfunktion wiedergegeben. Zuletzt wird das 97,5- bzw. ein anderes gerade interessierendes Perzentil angezeigt. Darüberhinaus können Einzelergebnisse einer Ausbreitungswolke eines jeden Einzelemittenten einschließlich der Nummer des Emittenten angezeigt werden, sofern sie einen wahlweisen Immissionsschwellenwert überschreiten: damit läßt sich gewünschtenfalls schnell überblicken, von welcher Quelle aus besonders hohe Immissionswerte vor allem geprägt werden.

Alle diese optischen Anzeigen (PAUSE-Befehle) sind ohne weiteres in Druckbefehle zu wandeln. Dadurch kann man die laufende Auslistung beliebiger Wertefolgen erzielen (z.B. Immissionswindrose, Verteilungsfunktion usw.). Andererseits ist es auch möglich, je Immissionspunkt nur das Wertetripel Mittelwert, Maximalwert und 97,5-Perzentil koordinaten-spaltenweise ausdrucken zu lassen und den Druckstreifen nach Rechenabschluß zu einem orthogonalen Ergebnispunktgitter zusammenzukleben, um eine anschauliche Isolinienzeichnung zu ermöglichen. Steht hingegen nicht einmal ein Streifendrucker zur Verfügung, so lassen sich die PAUSEN-Anzeigen auch in STOP-Befehle wandeln, um die dann angezeigten Ergebnisse nötigenfalls abschreiben zu können.

Für den Fall, daß ein Bandkassettenspeicher zur Verfügung steht und damit spezielle, kultiviertere Datenausgabeprogramme an das eigentliche Rechenprogramm angeschlossen werden können, sieht das Rechenprogramm eine Speicherung aller wesentlichen Ergebniswerte je Immissionspunkt auf dem Magnetband vor: Immissionspunktkoordinaten, Verteilungsfunktion, die fünf größten Immissionswerte incl. ihrer Auftrittswahrscheinlichkeit und den - für eine Weiterverarbeitung interessanten - Summenwert aller Produkte aus Immissionswert und Wahrscheinlichkeit. Je Immissionspunkt-Ergebnisblock (FILE) werden 45 Ergebniszahlen in lediglich 18 Register untergebracht; damit können auf Kassetten üblicher Länge neben den Programmen, den Windmatrizen und den Quellenregistern wenigstens 16.16=256 Ergebnisblöcke gespeichert werden.

5.2 ,Datenausgabe des Druckprogramms PROPRINT

Steht neben dem Kassettenspeicher eine Blattschreiberausgabeeinheit zur Verfügung (Schreibmaschine bzw. Fernschreiber), so ist es ratsam, die Datenausgabe mehr oder weniger geschlossen erst nach Abschluß der eigentlichen Ausbreitungsrechnungen durchzuführen. Dazu dient das Ausgabeprogramm PROPRINT, das nach Verarbeitung des letzten Immissionspunktes automatisch in den Rechner gelesen und gestartet wird. Es sieht drei ver-

TAB. A

IP#	N[m]	0[m]	S-MITTEL								S-MAX U. FOLGENDE [S[ug/m**3], P[%]]								S MIT P=					SUMMENWERTE VON		
			S-MAX-G-1	S-2	S-3	S-4	S-5	97.5%	95%	90%	50%	%	S * p	p [1]												
20	30000	32000	4.9509	181.0032	147.0041	141.0045	140.0075	139.0089	57	25	<10	<10									4.5132	0.9116				
21	30000	34000	6.5528	115.0046	104.0092	94.0139	88.0153	87.0157	67	43	18	<10									5.9755	0.9116				
22	30000	36000	7.8581	82.0015	79.0214	69.0281	68.0321	65.0380	69	58	32	<10									7.1634	0.9116				
23	30000	38000	7.2467	111.0005	100.0052	81.0132	79.0184	70.0235	66	54	22	<10									6.6006	0.9116				
24	30000	40000	7.0480	93.0005	87.0052	79.0113	74.0235	69.0281	68	49	23	<10									6.1250	0.9116				
25	30000	42000	6.8410	125.0041	103.0052	107.0132	81.0184	77.0213	44	36	23	<10									6.0539	0.9116				
26	30000	44000	6.2856	85.0062	80.0061	70.0064	67.0069	66.0191	55.0205	47	36	19	<10								5.7079	0.9116				
27	30000	46000	6.1507	85.0061	70.0064	58.0069	55.0136	49.0142	47	41	19	<10									5.6070	0.9116				
28	30000	48000	5.4288	68.0061	61.0064	58.0069	55.0136	49.0142	47	41	19	<10									4.9489	0.9116				
29	30000	50000	4.6699	67.0003	65.0008	63.0069	51.0136	50.0142	44	32	16	<10									4.2571	0.9116				
30	28000	32000	3.9458	145.0030	126.0064	119.0073	100.0105	75.0119	40	24	<10	<10									3.5952	0.9116				
31	28000	34000	8.5060	133.0062	133.0074	127.0116	119.0130	115.0131	77	47	22	<10									7.7541	0.9116				
32	28000	36000	10.4588	118.0081	106.0084	94.0098	93.0137	78.0189	69	56	41	<10									9.5342	0.9116				
33	28000	38000	9.8235	107.0047	105.0052	86.0092	83.0172	82.0218	78	49	37	<10									8.9551	0.9116				
34	28000	40000	9.0353	97.0047	94.0077	89.0082	79.0116	74.0162	58	48	29	<10									8.2366	0.9116				
35	28000	42000	8.6190	129.0047	126.0093	100.0107	98.0108	85.0113	67	40	22	<10									7.8571	0.9116				
36	28000	44000	8.5812	81.0003	78.0070	76.0150	71.0202	68.0216	68	58	33	<10									7.8220	0.9116				
37	28000	46000	7.5306	91.0061	77.0183	67.0197	60.0264	57.0269	54	43	22	<10									6.8649	0.9116				
38	28000	48000	6.6157	78.0003	64.0070	61.0085	57.0137	53.0198	48	41	24	<10									6.0309	0.9116				
39	28000	50000	5.9677	79.0067	74.0073	58.0272	55.0287	55.0290	56	36	18	<10									5.4358	0.9116				
40	26000	32000	6.4352	144.0001	138.0047	137.0078	104.0097	104.0106	66	43	17	<10									5.8663	0.9116				
41	26000	34000	7.5929	138.0032	128.0070	113.0074	109.0078	105.0109	69	61	23	<10									6.9217	0.9116				
42	26000	36000	10.4234	120.0039	115.0078	98.0081	95.0084	85.0100	75	65	38	<10									9.5020	0.9116				
43	26000	38000	10.9971	94.0046	87.0051	85.0173	84.0219	83.0230	81	61	46	<10									10.0250	0.9116				
44	26000	40000	11.3803	113.0030	107.0062	99.0261	83.0291	83.0306	91	71	45	<10									10.3743	0.9116				
45	26000	42000	11.5139	136.0004	131.0043	120.0123	104.0126	96.0142	78	65	42	<10									10.4961	0.9116				
46	26000	44000	10.7897	142.0122	121.0133	114.0194	114.0204	103.0254	101	65	30	<10									9.8359	0.9116				
47	26000	46000	10.0704	119.0067	115.0266	99.0281	87.0311	75.0378	111	67	28	<10									9.1802	0.9116				
48	26000	48000	8.0460	118.0067	97.0266	85.0281	83.0284	77.0290	91	46	23	<10									7.3347	0.9116				
49	26000	50000	6.8505	111.0067	97.0073	83.0272	71.0277	70.0292	81	36	17	<10									6.2449	0.9116				
50	24000	32000	7.7219	180.0032	164.0050	143.0051	127.0067	119.0068	79	53	24	<10									7.0393	0.9116				
51	24000	34000	6.7911	216.0004	195.0015	147.0026	142.0030	118.0062	55	45	24	<10									6.1908	0.9116				
52	24000	36000	8.9081	219.0004	174.0011	154.0015	150.0022	147.0068	74	62	25	<10									8.1206	0.9116				
53	24000	38000	13.5400	135.0059	114.0089	111.0115	110.0181	106.0184	98	86	48	<10									12.3431	0.9116				
54	...																									
55	...																									

TAB. B

IP#	N[m]	0[m]	S-MIT P=		P[%]		S[ug/m**3]	
			S-0	S-10	S-20	S-30	S-40	S-50
20	30000	32000	9116 862	581 409	285 235	211 193	134 123	123 89
21	30000	34000	9116 929	298 740	527 434	562 366	195 184	139 92
22	30000	36000	9116 15381	242 1039	894 633	474 214	52 5	5
23	30000	38000	9116 14241	1030 842	656 567	607 363	184 132	52 5
24	30000	40000	9116 14961	1184 969	565 407	295 235	235 5	5
25	30000	42000	9116 19511	7071 767	306 151	113 113	112 98	47 47
26	30000	44000	9116 1302	786 635	515 476	262 116	55 55	55
27	30000	46000	9116 1839	878 715	335 205	191 61	61 61	61
28	30000	48000	9116 1592	944 561	529 329	136 64	64 64	64
29	30000	50000	9116 1345	810 555	331 291	136 69	69 69	69
30	28000	32000	9116 750	598 376	246 153	127 119	105 73	73 64
31	28000	34000	9116 16510	387 589	461 395	340 209	198 131	131 116
32	28000	36000	9116 21731	858 1075	724 568	241 137	137 84	80 77
33	28000	38000	9116 21531	845 1727	478 392	297 228	218 52	52 0
34	28000	40000	9116 22571	746 931	821 429	199 176	176 82	77 77
35	28000	42000	9116 23251	1075 683	498 399	362 212	113 93	93 93
36	28000	44000	9116 19751	2106 1032	926 600	481 202	202 5	5 5
37	28000	46000	9116 19831	1093 672	615 283	197 183	183 61	61 61
38	28000	48000	9116 14961	1448 815	544 431	372 290	284 67	67 67
39	28000	50000	9116 1305	942 718	381 363	292 277	277 73	73 67
40	26000	32000	9116 1174	921 820	567 363	303 212	169 150	115 78
41	26000	34000	9116 13821	1045 855	746 684	517 212	208 140	108 74
42	26000	36000	9116 21531	554 1115	953 875	515 463	364 277	277 46
43	26000	38000	9116 21511	7061 1363	1202 575	511 310	261 62	62 30
44	26000	40000	9116 20281	18081 1367	1256 751	525 392	257 257	254 208
45	26000	42000	9116 25071	7791 1262	1051 765	593 415	202 142	126 123
46	26000	44000	9116 18961	13291 1008	819 810	591 392	257 257	254 208
47	26000	46000	9116 18341	1133 971	843 742	669 440	311 281	266 266
48	26000	48000	9116 15851	1083 839	608 451	372 290	284 67	67 67
49	26000	50000	9116 1665	759 584	442 381	292 277	277 73	73 67
50	24000	32000	9116 13041	1094 863	653 547	376 299	246 239	150 100
51	24000	34000	9116 14491	1113 805	633 362	123 72	72 72	62 30
52	24000	36000	9116 17511	123 859	776 619	592 323	128 114	114 68
53	24000	38000	9116 22401	8301 15221	117 958	817 701	536 474	184 175

Tab. A-B: Demonstrationsbeispiel eines Tabellenausdrucks mittels des Datenausgabeprogramms PROPRINT (Auszug)

TAB. C

S-MITTEL ALS f(OST, NORD)		S [ug/m ³]									
[km]	OST	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
NORD											
30		5	7	8	7	7	7	6	6	5	5
28	-	4	9	10	10	9	9	9	8	7	6
26	6	8	10	11	11	12	11	10	8	7	
24	8	7	9	14	14	12	16	13	10	8	
22	8	6	9	14	13	15	15	12	10	8	
20	6	7	8	9	11	12	11	10	9	8	
18	5	6	7	8	9	10	10	9	8	8	
16	5	6	7	7	9	9	10	10	9	8	
14	5	7	8	8	11	12	11	10	8		
12	5	7	8	8	7	12	13	12	10	9	

TAB. D

S-MAX = S-1 ALS f(OST, NORD)		S [ug/m ³]									
[km]	OST	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
NORD											
30		181	115	82	111	93	125	83	85	62	67
28	-	145	133	118	107	97	129	81	91	78	79
26	144	138	120	94	113	136	142	119	118	111	
24	180	261	219	135	184	182	172	154	135	119	
22	189	162	257	130	134	130	120	90	103	95	
20	121	160	187	138	119	128	137	115	83	99	
18	127	126	158	97	117	120	107	86	96	83	
16	79	112	107	125	132	189	117	94	101	76	
14	89	120	135	164	194	145	123	83	96	129	
12	111	111	185	260	270	190	117	106	103	144	

TAB. E

S(P>97.50%) ALS f(OST, NORD)		S [ug/m ³]									
[km]	OST	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
NORD											
30		57	67	69	66	68	44	61	47	47	44
28	-	40	77	69	76	58	67	68	54	48	52
26	66	69	75	81	91	78	101	111	91	81	
24	79	55	74	98	101	74	172	153	113	84	
22	77	55	74	95	123	103	100	83	69	73	
20	69	61	87	91	108	88	123	86	60	53	
18	56	72	82	74	81	77	80	67	62	57	
16	53	59	66	68	89	72	86	68	73	50	
14	56	79	71	68	86	95	91	65	72	58	
12	57	66	76	67	66	97	75	94	74	68	

TAB. F

P(S> 10)	MIT P[0/00]	ALS f(OST, NORD)	S [ug/m ³]								
[km]	OST	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
30		86	124	154	142	150	195	130	184	159	135
28	-	79	165	217	215	226	233	198	198	150	131
26	117	138	215	215	208	251	190	183	159	167	
24	130	145	175	224	255	275	223	172	186	149	
22	133	143	155	240	196	245	226	240	188	211	
20	118	125	138	155	164	186	189	200	211	182	
18	118	111	120	124	156	175	169	204	186	191	
16	120	134	135	135	174	135	186	190	202	202	
14	124	123	141	151	139	192	264	222	233	198	
12	104	132	140	139	128	200	227	280	216	183	

Tab. C-F: Demonstrationsbeispiel eines Tabellenausdrucks mittels des Datenausgabeprogramms PROPRINT. Kurvenzeichnung durch Hand.

schiedene Tabellenausgabetypen vor, die - wenn gewünscht - auch nach freier Wahl angesteuert werden können.

In der ersten Tabellenart (Tab. A) werden für alle Immissionspunkte (nach Ost- und Nordkoordinaten geordnet) die Immissionspunktnummer, die Koordinaten, der Mittelwert, die fünf höchsten Werte, vier bis fünf Perzentile, der Produktsummenwert aus Immissionswert und Auftrittswahrscheinlichkeit und der Summenwert aller verarbeiteten Auftrittswahrscheinlichkeiten ausgedruckt. Die zweite Tabellenart (Tab. B) gibt je Immissionspunkt mit seiner Kennung die Verteilungsfunktion wieder. Sofern es die Papierbreite nötig macht, kann der Abdruck an einer vorgewählten Schwellle abgebrochen werden. Die dritte Tabellenart (Tab. C, D, E und F) gibt einen jeweils ausgewählten Ergebniswerttyp in Gestalt einer anschaulichen geographischen Orthogonalmatrix wieder, um damit einer kartengemäßen Darstellung und Weiterverarbeitung die Basis zu liefern. Der Reihe nach werden der Mittelwert, der x-größte Wert (x wählbar zwischen 1 und 5), ein Perzentil und die Überschreitungswahrscheinlichkeit eines Schwellenwertes wiedergegeben. Die einzelnen Tabellenprogramme können auch direkt angesteuert werden und dabei das gewünschte Perzentil, der gewünschte Schwellenwert usw. vorgewählt werden. Zwecks Einsparung an Programmkapazität (wenn auch dafür auf Kosten der Verarbeitungszeit) wird für Tab. C bis F dasselbe Unterprogramm verwendet und lediglich das auszudruckende Ergebnisregister und die Legende variiert.

Die bei der Erarbeitung der jeweiligen Tab. C, D, E oder F aus den Ergebnisblocks ermittelten Gitterpunktwerte werden automatisch im Arbeitsspeicher des Rechners festgehalten, um sie für das sich möglicherweise anschließende Zeichenprogramm bereitzustellen.

5.3 Datenausgabe des Zeichenprogramms PROPLOT

Das Zeichenprogramm dient der Anwendung eines Plotters. Dieser soll aus der jeweiligen Gitterpunktmatrix der Ergebniswerte gemäß Tab. C, D, E und F eine zu interpolierende Schar von Isolinien zeichnen. Das hier zugrundliegende Programm vermag ein Feld von 12 mal 12 Punkten zu verarbeiten. Entweder sind die zugehörigen Werte bereits durch das Druckprogramm PROPRINT automatisch eingegeben worden, oder sie können durch ein Unterprogramm von PROPLOT durch zeilenweises Eingeben über die Tastatur in den Arbeitsspeicher gelangen. Auf Aufforderung über den Streifendrucker wird der niedrigste Isolinienwert und der gewünschte Isolinienwertabstand eingegeben. Daraufhin ermittelt der Rechner über das PROPLOT-Programm durch lineare Interpolation die Schnittpunktkoordinaten der Menge der Schnittpunkte zwischen Orthogonalnetz und erster gewünschter Isolinie. Im Anschluß daran werden diese Punkte topologisch widerspruchsfrei zu Isolinienpolygontzügen graphisch verbunden. In dieser

Weise wird automatisch mit jeder gewünschten Isolinie, soweit sie im Wertefeld auftreten kann, verfahren.

Dieses Vorgehen stellt eine objektive Analyse dar: gleiche Wertefelder führen stets zu gleichen Graphiken, die nicht mehr aussagen, als in den Urwertefeldern enthalten ist. Die Realisierung beansprucht im Mittel 20 Minuten und kann unmittelbar und reproduzierbar auf beliebigen Kartenunterlagen erfolgen. Wenn gewünscht, kann das Programm noch durch eine Umrundung und die automatische Beschriftung der Isolinie ergänzt werden.

6. Anwendungsbeispiel

Als Anwendungsbeispiel wird die Untersuchung des Einflusses der sieben öffentlichen Kraftwerke der BEWAG in Berlin (West) auf das SO₂-Immissionsfeld im Berliner Stadtgebiet demonstriert. Die Lage der Kraftwerke ist in den Karten 1 bis 8 durch die Buchstaben A bis G gekennzeichnet. Bezüglich des noch im Ausbau befindlichen Kraftwerkes G in Lichterfelde wird bereits von der erst im Jahre 1975 erreichten Endstufe ausgegangen. Eine Auswahl an graphischen Darstellungen mag die wesentlichsten Ergebnisse verdeutlichen.

An eingehenden Emissionsdaten liegen die Kennwerte für Lagekoordinaten, SO₂-Abgabe, Rauchgasmenge und Ausstoßbedingungen von den in Frage kommenden 20 Schornsteinen bzw. Abzügen für extreme Bedingungen vor. Die Höhen der Schornsteine liegen etwa zwischen 50 und 150 m. Nahe beieinanderstehende gleichhohe Schornsteine wurden gemäß Formel (19) zusammengefaßt; damit gingen in das Rechenmodell 10 Einzelquellen ein. Die theoretisch mögliche Gesamtsumme an SO₂-Auswurf liegt bei 10 t/h.

An Transmissionsdaten wurden die von der Technischen Hochschule Darmstadt auf der Ausbreitungsklassifikation von *Klug* (6) basierenden Windstatistiken für Berlin verwendet, wie sie auch den Arbeiten für die Neufassung der „Technischen Anleitung Luft“ (7) zugrundeliegen*). Lediglich wurden als Ausbreitungsparameter die - namentlich für hohe Quellen gültigen - von *Singer u. Smith* (8) bestmöglich eingesetzt.

Die Ergebnisse sind für ein Immissionspunktenetz von 2 km Maschenweite berechnet worden. Zunächst bezogen sich die Rechnungen auf ein Gebiet von 32 mal 32 km² Ausdehnung. Anhand der ersten Ergebnisse wurde daraus das Untersuchungsgebiet auf ein 24 mal 24 km²-Feld reduziert, welches nicht nur die wesentlichen Ergebnisstrukturen, sondern auch den größten Teil vom zentralen Berlin umfaßt. Die Karten 1 bis 8 stellen einen Auszug der durch das Modell gewonnenen Rechenergebnisse dar, wie sie vom Rechner automatisch geliefert wurden. Sie mögen das Spektrum

*) Die Daten wurden freundlicherweise von Herrn Dr. G. Manier, TH Darmstadt, zur Verfügung gestellt.

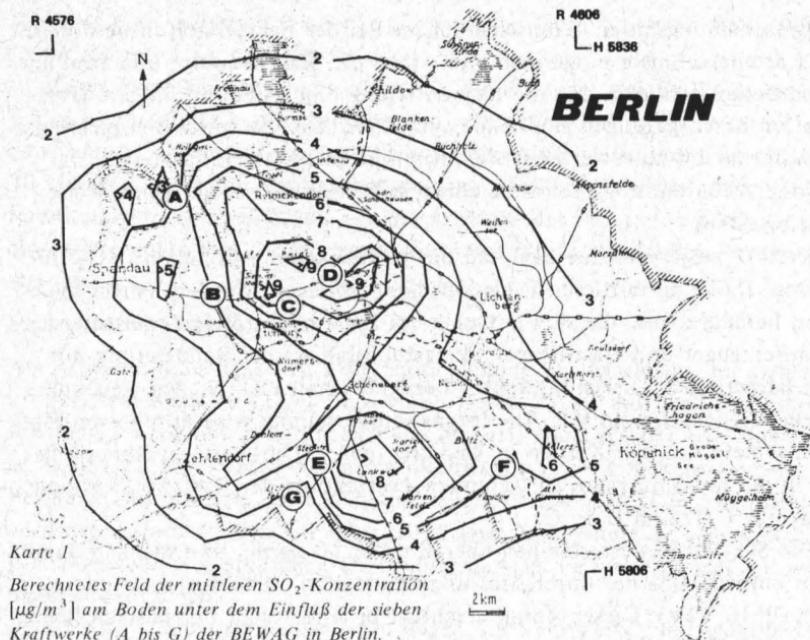
an Entscheidungshilfen veranschaulichen. Bei der Beurteilung insbesondere der Kartenergebnisse möge man zum einen die Maschenweite und zum anderen berücksichtigen, daß die Kurven streng objektiv durch lineare Interpolation hervorgegangen sind. Eine subjektive Analyse würde beispielsweise in Kenntnis der zu erwartenden Kontinuität zu etwas modifizierten Darstellungen führen; doch sei diese einem jeden Betrachter auf seine Weise anheimgestellt.

Karte 1 zeigt zunächst das Feld der bodennahen mittleren SO_2 -Belastung. Da keine mittleren Emissionsdaten vorlagen, wurden hierfür diejenigen herangezogen, die sich je Quelle im Falle höchster Dauerleistung der Dampferzeuger und Gasturbinen (Belastungsfall A) bei Reduzierung mit dem langzeitigen Auslastungsfaktor bezüglich ihrer elektrischen Leistung ergeben (Belastungsfall M). - Die Immissionsverteilung wird durch zwei Maximalgebiete mit den Kernen in Wedding und in Lankwitz geprägt; sie liegen in der am häufigsten auftretenden Leerichtung der Kraftwerksgruppierungen B, C, D und E, F, G.

Die SO_2 -Mittelwerte bleiben überall unter $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und machen damit nicht einmal 10 % der durch Messung ermittelten Mittelwerte aus (siehe auch (9, 10, 11)). Dieser Anteil erscheint in Anbetracht der beträchtlichen Emissionshöhe bei den Kraftwerken und gegenüber dem in Berlin gravierenden Einfluß der bodennahen Hausbrandemissionen plausibel.

Studienhalber wurde die Rechnung auch mit dem von *Klug* (6) angegebenen Parametersatz für die atmosphärische Diffusion durchgeführt. Im Ergebnisfeld resultieren damit bedeutend geringere Werte und ausgeglichene Konturen. Wie analoge Untersuchungen anhand der Maximalwert-Felder zeigen, liegt das am rechnerischen Effekt einer hierbei wesentlich weiterreichenden Ausbreitung, die gegenüber den Ergebnissen mit dem Parametersatz von *Singer u. Smith* (8) zu höheren Werten in größerer und kleineren Werten in geringerer Quellendistanz führt. Es soll hier jedoch nicht die Gültigkeit dieser oder jener Parameter oder deren Zuordnung zur Ausbreitungsklassierung diskutiert werden, vielmehr werden im weiteren die von *Singer u. Smith* (8) angegebenen Parameter verwendet, da sie im Stadtgebiet im allgemeinen zu den höheren Immissionswerten führen und die Ergebnisse für lufthygienisch kritische Fragestellungen auf der sicheren Seite liegen.

In Karte 3 und 4 ist das errechnete Feld des 97,5- bzw. des 95-Perzentils der SO_2 -Immission für den mittleren Belastungsfall M wiedergegeben. Diese Kenngrößen sind zur Abschätzung, ob die Einhaltung des Kurzzeitgrenzwertes zu erwarten ist, von Bedeutung. Die gefundenen Immissionswerte, sofern sie allein von den Kraftwerken der BEWAG verursacht sind, besagen, daß in 97,5 % der Zeit nirgends der Wert von etwa $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. in

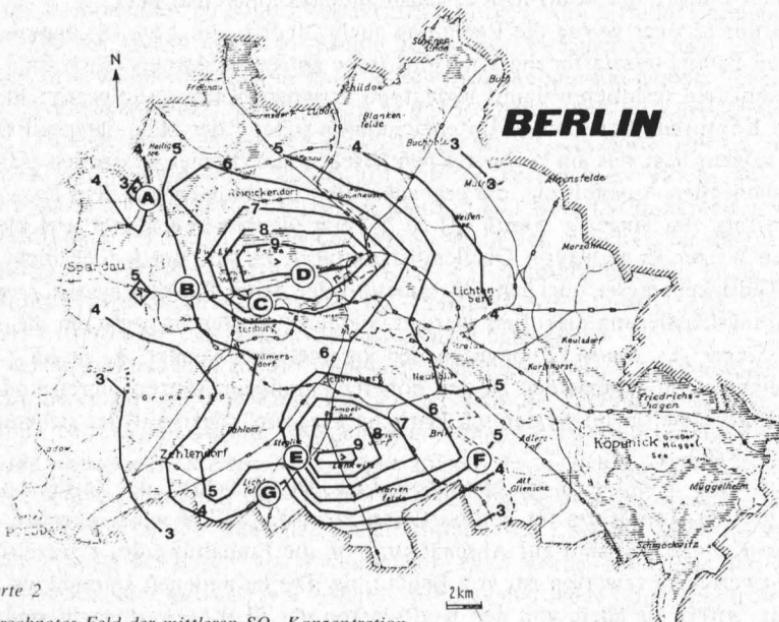


Karte 1

Berechnetes Feld der mittleren SO_2 -Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] am Boden unter dem Einfluß der sieben

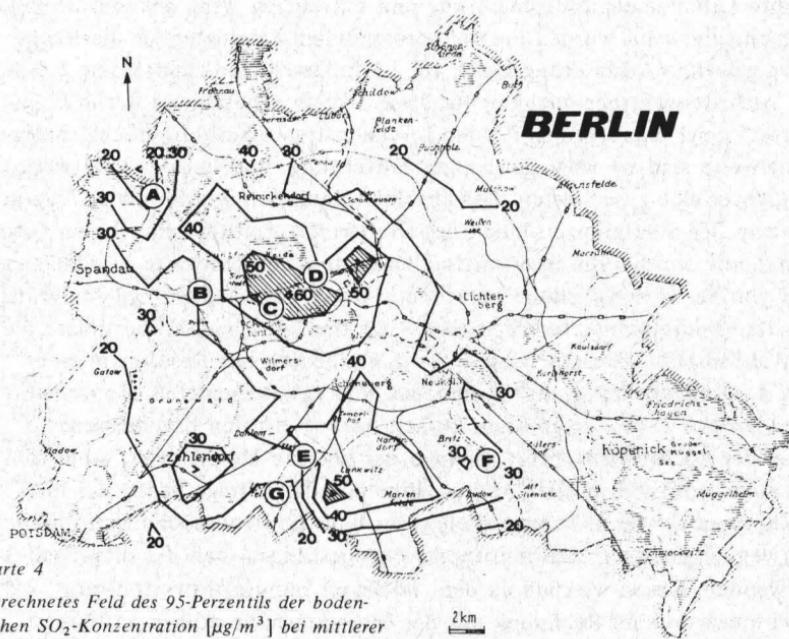
Kraftwerke (A bis G) der BEWAG in Berlin.

Kurvenzeichnung automatisch durch Zeichenprogramm PROPLOT.



Karte 2

Berechnetes Feld der mittleren SO_2 -Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] in Höhe über Grund.



95 % nirgends der Wert von etwa $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten würde. Im weiteren zeigt Karte 5, daß die Kraftwerksabgase höchstens in einem Viertel der Zeit mehr als $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zur SO_2 -Bodenkonzentration beisteuern.

Um zu erkunden, welche maximalen Immissionswerte infolge der Kraftwerksabgase theoretisch erreicht werden könnten, wurde das Feld der Maximalwerte bei Zusammenwirken aller auf maximaler Dauerleistung fahrenden Energieerzeuger (Belastungsfall A) ermittelt (Karte 6). Die größten Maximalwerte traten in der unmittelbaren Nähe der Kraftwerke, und zwar meist nordwestlich von diesen auf, denn die diese hohen Werte verursachenden Wetterlagen sind meistens mit südöstlichen Winden verbunden. Werte über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ treten nur nahe den Kraftwerken B in Siemensstadt und G in Lichterfelde auf; bis auf einen Punkt ist ihr Auftreten jedoch seltener als in einem Promille der Zeit zu erwarten. Der höchste Maximalwert liegt bei $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Lichterfelde.

Während Karte 6 auf dem theoretischen Grenzfall einer höchst unwahrscheinlichen Kombination der gleichzeitigen Maximalemission aller Kraftwerke basiert, wird in den folgenden Berechnungen von einem wirklichen Emissionsfall an einem winterlichen Werktagvormittag ausgegangen, der typisch ist für Stunden sehr hoher Belastung (18.12.1972, 10,00 Uhr; Belastungsfall E). Die dabei herrschenden Ausbreitungsbedingungen sind durch leichte Labilität der Luftsichtung und schwachen Wind gekennzeichnet. Dementsprechend wurden die meteorologischen Parameter für die Rechnung gewählt (Ausbreitungsklasse III 2, Windgeschwindigkeitsklasse 1,6 m/s); die Auftrittswahrscheinlichkeit für diese Situation beträgt in Berlin 3,3 %. Karte 7 zeigt das Ergebnis für den inversionsfreien Fall; die höchsten Maximalwerte sind vor allem in einiger Entfernung rund um das Kraftwerk G in Lichterfelde zu erwarten. Das absolute Maximum wurde mit $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$ etwa an der Stadtgrenze südlich des Kraftwerks ermittelt. Für diesen Gitterpunkt nun wurden die interessierenden Immissionskennwerte in Abhängigkeit von der Inversionshöhe berechnet. (Durch eine nur geringe Änderung des Hauptprogramms, bei der anstelle der Immissionspunktkoordinate die

Inversionshöhe konstant variiert wird, ergibt sich das Resultat in einer den Ausgabatabellen A und B analogen und damit unmittelbar anschaulichen Form.) Tab. 1 zeigt einen kurzen Auszug aus den Ergebnissen; So wohl der höchste Mittelwert als auch der höchste Maximalwert stellt sich bei einer Inversion in etwa 400 m Höhe ein; die Beträge liegen 4,5- bis 5-mal so hoch wie beim inversionsfreien Fall. Kontrollrechnungen unter Verwendung anderer Ausbreitungsklassen bestätigen, daß die ursprünglich verwendete Klasse wirklich zu den höchsten Immissionswerten führt. - Zuletzt nun wurde die Rechnung mit der Inversionshöhe 400 m auf das gesamte Gitterpunktnett erstreckt. Karte 8 zeigt das Ergebnis bezüglich des Maximalwertes. Auch hier treten die Gebiete höchster Maximalwerte etwa

Tabelle 1: BERLIN, Immissionspunkt 5808 hoch, 4590 rechts; BEWAG-Belastungsfall E vom 18.12.1972, 10 Uhr; Ausbreitungsklasse III2 (schwach labil), 1,6 m/s

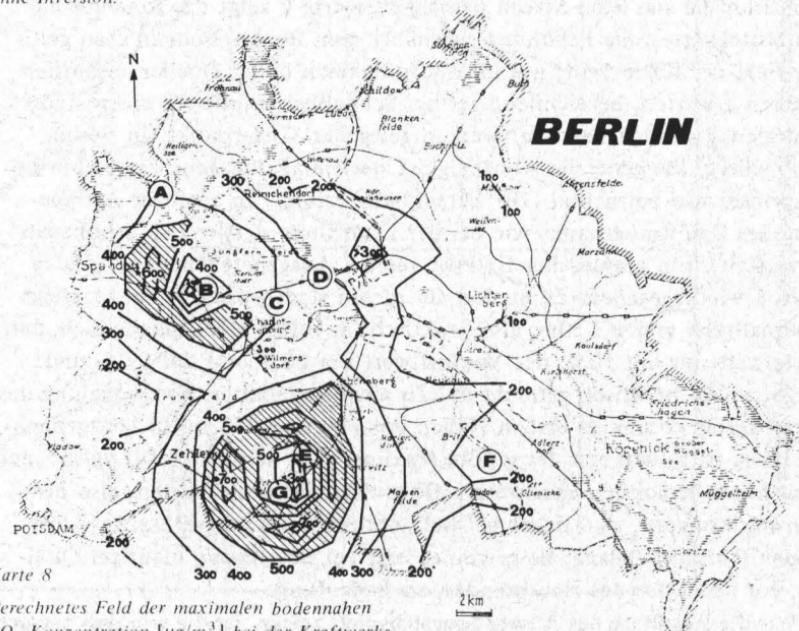
Inversion Höhe [m]	Mittel	Immission [$\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$]				
		Max.=1.	2.	3.	4.	5. Wert
0	0.00	0	0	0	0	0
50	0.00	0	0	0	0	0
100	0.00	0	0	0	0	0
150	0.00	0	0	0	0	0
200	0.00	0	0	0	0	0
250	1.76	57	14	12	0	0
300	3.46	53	34	33	13	11
350	5.29	62	51	33	31	20
400	← 45.49	832	385	222	145	31 — Max.
450	37.98	682	318	184	132	30
500	31.34	551	259	151	119	29
550	25.68	440	209	123	108	27
600	21.05	349	168	101	97	26
650	17.84	287	140	88	86	25
700	15.73	249	122	81	76	24
750	14.43	227	111	74	71	22
800	13.64	215	105	69	67	21
850	13.07	207	100	65	65	20
900	12.65	202	97	63	62	19
950	12.34	197	95	62	59	19
1000	12.07	194	93	60	58	18
1200	11.22	182	87	56	53	16
1400	10.79	177	85	53	50	14
1600	10.49	173	83	51	49	13
1800	10.32	170	83	49	48	13
2000	10.23	169	82	48	48	13
2200	10.18	168	82	48	48	13
2400	10.12	167	82	48	48	13
10000	10.09	167	82	47	47	13





Karte 7

Berechnetes Feld der maximalen bodennahen SO_2 -Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] bei der Kraftwerksleistung an einem winterlichen Werktagvormittag ohne Inversion.



Karte 8

Berechnetes Feld der maximalen bodennahen SO_2 -Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] bei der Kraftwerksleistung an einem winterlichen Werktagvormittag mit Inversion in 400 m Höhe.

ringförmig in rund 3 km Abstand um die Kraftwerke in Lichtenfelde und in Siemensstadt auf (Die inselartige Ringaufgliederung nach den Haupthimmelsrichtungen ist mehr als Folge der für dererlei Details zu großen Ma-schenweite zu deuten!). Gegenüber dem inversionsfreien Fall (Karte 7) treten in diesem gesucht ungünstigsten Inversionsfall bis zu fünffach höhere Maximalwerte auf. Mit einem Betrag um $830 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dürfte der höchste Wert gefunden sein, der sich in Berlin (West) durch die SO₂-Abgase seiner öffentlichen Kraftwerke stationär einstellen könnte, und dieses nur dann, wenn die mit 0,1 % Eintrittswahrscheinlichkeit sehr seltene Wetterlage für diesen Immissionspunkt gleichzeitig mit einer Inversion in gerade 400 m Höhe kombiniert auftritt! Bereits die nächstgünstigere Wetterlage oder auch nur eine Inversionshöhensteigerung um 150 m lässt einen nur halb so großen Wert resultieren.

Alle bisherigen Rechnungen wurden für ein Immissionsniveau von 0 m durchgeführt. Da in einer Großstadt mit vielen Hochhäusern eine nicht mehr unwe sentliche Zahl Menschen oft den Immissionen in einem wesentlich höheren Niveau ausgesetzt ist, lohnt es die Untersuchung, sich über den Einfluß des Immissionsniveau Rechenschaft abzulegen. Zunächst wurde wiederum der Fall einer etwa mittleren Auslastung der Kraftwerke (Belastungsfall M) wie bezüglich Karte 1 zugrundegelegt, diesmal jedoch die Immission für das 30m-Niveau berechnet. Karte 2 zeigt das Ergebnisfeld des Mittelwertes; die Erhöhung gegenüber dem für das Bodenniveau gültigen Feld der Karte 1 ist, wie im Einflußbereich hoher Quellen eigentlich auch zu erwarten, bezeichnend gering. Schließlich wurde für einen stadt-zentralen, zwischen den Kraftwerken gelegenen Gitterpunkt (in Berlin-Schöneberg) die generelle Abhängigkeit der Immissionskennwerte vom Immissionsniveau betrachtet (Die Berechnung erfolgte in analoger Abände-rung des Hauptprogramms wie bei der Ermittlung der Inversionshöhenab-hängigkeit). Ein graphischer Extrakt aus der Ausgabetaillenart A ist in Abb. 1 wiedergegeben. Zumindest für diesen stadttypischen Punkt steigt innerhalb der ersten 120m, also praktisch im vollen Hochhausbereich, der Mittelwert nur um 10 %, der Maximalwert um 20 % und das 97,5- und 95-Perzentil praktisch garnicht an. Zu einer ungefähren Verdoppelung des Mittelwertes kommt es erst in Höhen um 250 und 370 m. In letzterer Höhe tritt auch erst der größte Maximalwert, nämlich $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, auf. Fragen der berücksichtigenswerten Höhenlage der Immittenten, also des Immissionsniveau, sind daher bei Betrachtung der Kraftwerksabgase luft-hygienisch ohne Belang; sie gewinnen erst bei Beteiligung niedriger Quel-len, vor allem der des Hausbrandes, an Bedeutung.

Wie die Resultate des Anwendungsbeispiels zeigen, ist die von den betrach-teten sieben Kraftwerken ausgehende Schwefeldioxid-Belastung im Raum Berlin im Mittel und auch im Kurzzeitfall, und zwar sowohl absolut als

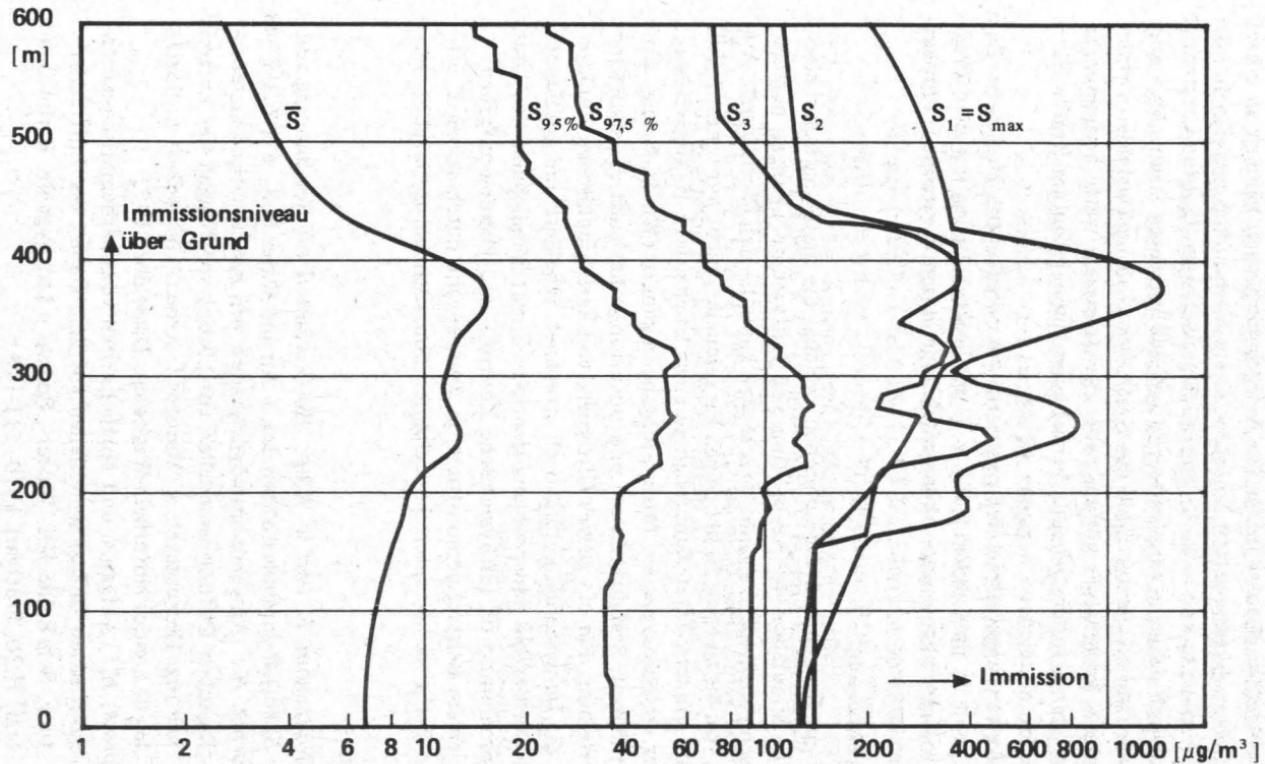


Abb. 1: Abhängigkeit der berechneten SO_2 -Immissionswerte vom Immissionsniveau am Punkt 4592 rechts, 5816 hoch bei mittlerer Kraftwerksleistung

auch anteilmäßig selbst bei ungünstiger Berechnungsweise als relativ gering zu erwarten. Nur bei selten auftretenden Kombinationen mehrerer zur besonderen Austauscharmut führenden Wetterbedingungen kann es an einzelnen Stellen zu Extremwerten kommen, die in Verbindung mit den Immissionen der anderen und in Berlin eigentlich gravierenden Quellen kurzfristige lufthygienisch kritische Immissionen prinzipiell vermuten lassen. Mitverursacher wäre dann in erster Linie das Kraftwerk G in Lichterfelde in voller Ausbaustufe. Nötigenfalls könnte daher diesen extrem wetterbedingten Situationen durch vorübergehende betriebliche Maßnahmen am Kraftwerk Lichterfelde hinreichend begegnet werden.

Das Anwendungsbeispiel demonstriert, wie operabel das Modell ist. Sein Einsatz kann im praktischen Falle, z.T. im direkten Dialog mit dem Fragesteller, wissenschaftlich und ökonomisch angemessen zur raschen Problemlösung beitragen.

Zusammenfassung

Es wird ein Rechenmodell beschrieben, welches die mathematisch-meteorologische Simulation der Ausbreitung von Luftverunreinigungen mittels einer Tischrechenanlage erlaubt. Das Modell kann die sich überlagernde Auswirkung von bis zu etwa 20 beliebigen Einzelquellen nicht nur im Einzelfall ermitteln, sondern unter Zuhilfenahme einer langjährigen Häufigkeitsstatistik der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Stabilitätsklasse und Inversionshöhe) auch die statistische Werteverteilung. Für ein ganzes Gitternetz von kartographischen Punkten können die Immissionen automatisch errechnet, tabelliert und gezeichnet werden. Die flexible und problemorientierte Einsatzmöglichkeit des Tischrechnerprogramms für lufthygienische Kontroll- und Planungsaufgaben wird an einem Beispiel demonstriert, in welchem die durch sieben Kraftwerke in Berlin verursachten Schwefeldioxidimmissionen untersucht werden.

Literatur

- (1) *Wippermann, F. und W. Klug*: Ein Verfahren zur Bestimmung von Schornsteinmindesthöhen. *Int. J. Air and Water Poll.*, 6 (1962), 27-48
- (2) *Fortak, H.*: Anwendungsmöglichkeiten von mathematisch-meteorologischen Diffusionsmodellen zur Lösung von Fragen der Luftreinhaltung. Herausgegeb. v. Minister f. Arbeit, Gesundheit u. Soziales d. Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1972
- (3) *Fortak, H.*: Aufgaben und Möglichkeiten von mathematisch-meteorologischen Diffusionsmodellen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung. *SchrReihe Ver. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene*, Berlin-Dahlem, H.30, Stuttgart 1970, 111-128

- (4) *Fortak, H.:* Vergleich von berechneten und gemessenen maximalen Bodenimmissionen und deren Entferungen von der Quelle für den Fall von Großemittenten. *Staub* **29** (1969), 493-498
- (5) *Csanady, G.T.:* Some Observations on Smoke Plumes. *Int. J. Air and Water Poll.* **4** (1961), 47-51
- (6) *Klug, W.:* Ein Verfahren zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen aus synoptischen Beobachtungen. *Staub* **29** (1969), 143-147
- (7) *Manier, G.:* Unterlagen und Vorschlag zu einer Neufassung der VDI-Richtlinie „Bestimmung der erforderlichen Schornsteinhöhe“. *Inst. f. Meteor., TH Darmstadt, 1968*
- (8) *Singer, I.A. and M.E. Smith:* Atmospheric Dispersion at Brookhaven National Laboratory. *Int. J. Air and Water Poll.* **10** (1966), 125-135
- (9) *Prescher, K.-E.:* Ergebnisse von kontinuierlichen Schwefeldioxid-Messungen in Berlin (1968-1972). *WaBoLu-Bericht 10-73*, herausgeg. v. Institut für Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, Berlin 1973
- (10) *Prescher, K.-E.:* Automatische Luftpunktmessungen in Berlin (1973). *WaBoLu-Bericht 13-74*, herausgeg. v. Institut f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, Berlin 1974
- (11) *Lahmann, E. u. K.-E. Prescher:* Schwefeldioxid-Immissionen in der Umgebung von Kraftwerken. *Staub* **32** (1972), 390-392

Dir. u. Prof. Dr. W. Fett
Institut für Wasser-, Boden- und Luft-
hygiene des Bundesgesundheitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1

„Gaspermeator“ - eine Variante des „Gasdiffusors“

von *H. Kettner*

Der „Gasdiffusor“, ein Gerät zur Dosierung von druckkondensierbaren Gasen im μg - bis mg -Bereich je Stunde, ist 1969 beschrieben worden [1]. Die Wirkungsweise dieses Gerätes beruht auf einer Diffusion des mit der Flüssigkeit im Gleichgewicht stehenden Gases durch eine Materialschicht, die gleichzeitig Dichtungs- und Diffusionsmedium ist. Das Besondere an diesem Gerät ist der Verschluß: Der konisch ausgebildete, mit einem kurzen elastischen Schlauchstückchen überzogene Stopfen wird in einen ebenfalls konischen Hals des Behälters, in dem das zu dosierende Gas kondensiert ist, so stark hineingedrückt, daß der Behälter gegen eine schnelle Verdampfung geschlossen ist; trotzdem erlaubt das Dichtungsmaterial, daß eine bestimmte geringe Menge des eingeschlossenen Stoffes nach außen diffundiert. Einige mit Schwefeldioxid bzw. Chlor gefüllte Exemplare dieser Konstruktion haben sich sehr gut bewährt, ihre Emissionsraten sind über eine Zeit von teilweise mehr als 5 Jahren nahezu unverändert geblieben.

In der Beschreibung des Gasdiffusors [1] ist bereits darauf hingewiesen worden, daß das Diffusionsmedium in beliebiger Form als Platte, Stab oder Schlauchende ausgebildet sein kann. Gewisse Unzulänglichkeiten des Gasdiffusors, wie z.B. Undichtwerden des Verschlusses bei Gasen, die bei Zimmertemperatur einen sehr hohen Dampfdruck haben (Schwefelwasserstoff etwa 20 atü gegenüber Schwefeldioxid von etwa 3,5 atü und Chlor von etwa 7 atü), sowie betriebliche Sicherheitsbedenken (die Gasdiffusoren waren aus Glas hergestellt) veranlaßten uns, nach einer neuen Form zu suchen, die schließlich im „Gaspermeator“ gefunden wurde.

Das Grundprinzip des „Gaspermeators“ ist dem des Gasdiffusors gleich. Das Gas muß durch eine „lange“ Strecke von 100 mm, die aus einer endlichen, übereinandergelegten großen Anzahl von dünnwandigen Membranen bestehend betrachtet werden kann, hindurchwandern, der konische Hals ist zu einer runden „Kammer“ geworden.

Das Gerät wird aus korrosionsbeständigem Stahl hergestellt, Form und Wirkungsweise gehen aus Bild 1 hervor (die angegebenen Maße sollen lediglich als Beispiel dienen).

Der Behälter (1) mit der zu verdampfenden Flüssigkeit stellt einen etwa 60 mm langen Stab von 18 mm ϕ mit einer Bohrung von 13 mm ϕ dar, die im oberen Viertel des Behälters auf 14 mm erweitert wird. Die

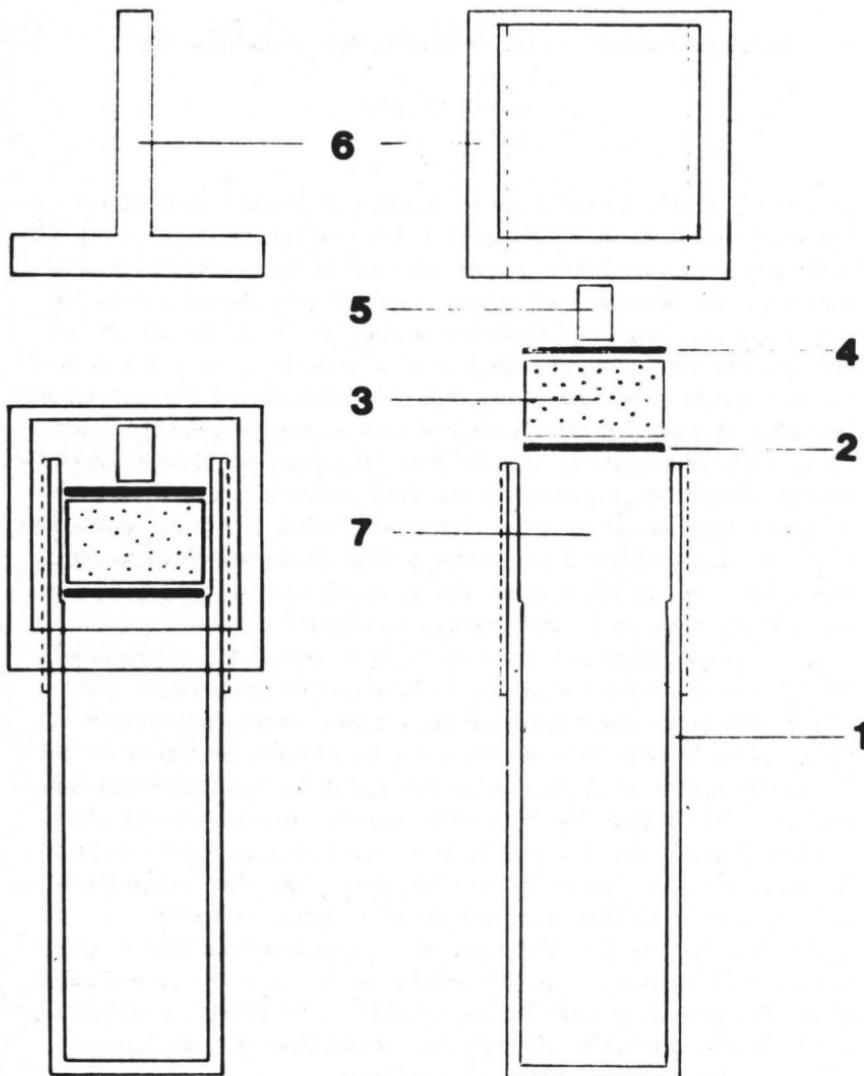


Bild 1: Aufbau des „Gaspermeators“ im zusammengesetzten Zustand und als Einzelteile

1 - Behälter, 2 - untere Stahlplatte, 3 - Diffusionsmedium, 4 - obere Stahlplatte, 5 - „Drucküberträger“, 6 - Gewindekappe und 7 - Diffusionskammer

so entstandene Stufe dient zur Auflage für eine Stahlplatte (2), die das Diffusionsmedium (3) (ein Stück Rundschnur ersatzweise ein Stopfen) nach unten abgrenzt. Die Begrenzung nach oben erfolgt durch eine zweite Stahlplatte (4), den seitlichen Abschluß bildet die Wandung der Diffusionskammer (7). Der Behälter (1) trägt im oberen Teil ein Außengewinde für die Gewindekappe (6), die als „Brücke“ ausgebildet ist. Die Übertragung des Druckes auf das Diffusionsmaterial, der beim Zudrehen der Gewindekappe entsteht, wird mittels eines „Drucküberträgers“ (5), einem kurzen Rohrende von etwa 6 mm, vorgenommen.

Als Diffusionsmedium (3) eignen sich elastische Stoffe, die das Dosiergas in der gewünschten Menge durchlassen und von diesem nicht zerstört werden. Es sind grundsätzlich dieselben Stoffe, die auch beim Gasdiffusor Verwendung finden, also Silikongummi, Viton und Polyvinylchlorid weich. Die Eignung anderer Elastomere, wie etwa der verschiedenen Kautschuk- und Gummisorten, ist durchaus denkbar; nicht zuletzt wird sie von dem zu dosierenden Gas abhängig sein, das in seiner Art vom Schwefeldioxid bis hin zu organischen Lösungsmitteln sehr verschieden sein kann.

Die Diffusionsrate, d.h. die je Zeiteinheit von dem Gerät an seine Umgebung abgegebene Stoffmenge, wird einmal vom Zustand des Gases (molekularer Aufbau, Druck über der Flüssigkeit) und zum anderen von der Durchlässigkeit des Dichtungsmediums abhängen. Bei einem bestimmten Gas und konstanter Temperatur ist die Durchlässigkeit eine Funktion der Eigenschaft des Materials und seiner Dichte. Letztere kann durch mehr oder weniger starkes Zudrehen der Gewindekappe variiert werden. Schließlich kann die Diffusionsrate auch noch durch Vergrößerung der Kontaktfläche Diffusionsmaterial zu Umgebungsluft gesteuert werden. Wünscht man geringe Diffusionsraten der Größenordnung von 50 bis 100 $\mu\text{g}/\text{h}$, so genügt als Kontaktfläche ein schmaler Ring, der zwischen dem oberen Stahlplättchen (4) und der Wand der Kammer ohnehin vorhanden ist, größere Diffusionsraten können durch zusätzliche Perforation der Platte (mehrere Bohrungen von 0,5 mm ϕ oder größer) erreicht werden.

In einen unserer SO_2 -Permeatoren haben wir zwischen das Diffusionsmedium (3) und das obere Stahlplättchen (4) eine Lochplatte aus Porzellan, wie sie im Labor üblich sind, gelegt, womit (bei Silikongummidichtung) eine Diffusionsrate von etwa 1000 $\mu\text{g}/\text{h}$ erreicht wurde. Eine Sinterplatte aus Glas oder Keramik würde die Diffusionsrate erhöhen.

Das Füllen der Patrone bzw. des Behälters (1) erfolgt am zweckmäßigsten durch Temperaturkondensation (wenn das zu dosierende Gas nicht bereits als Flüssigkeit vorliegt): In einen auf -78°C unterkühlten Behälter (Dewar-Gefäß mit Alkohol und Kohlensäureschnee) wird aus einer Stahllavratsflasche Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Schwefelwasserstoff, Chlor

oder ein anderes temperaturkondensierbares Gas eingeleitet, das sofort kondensiert. Das Gefäß wird sofort in der beschriebenen Weise verschlossen, das Diffusionsgleichgewicht stellt sich im Verlauf einiger Tage ein. Die Prüfung der Diffusionsrate haben wir nach dem Schema des Bildes 2 vorgenommen.

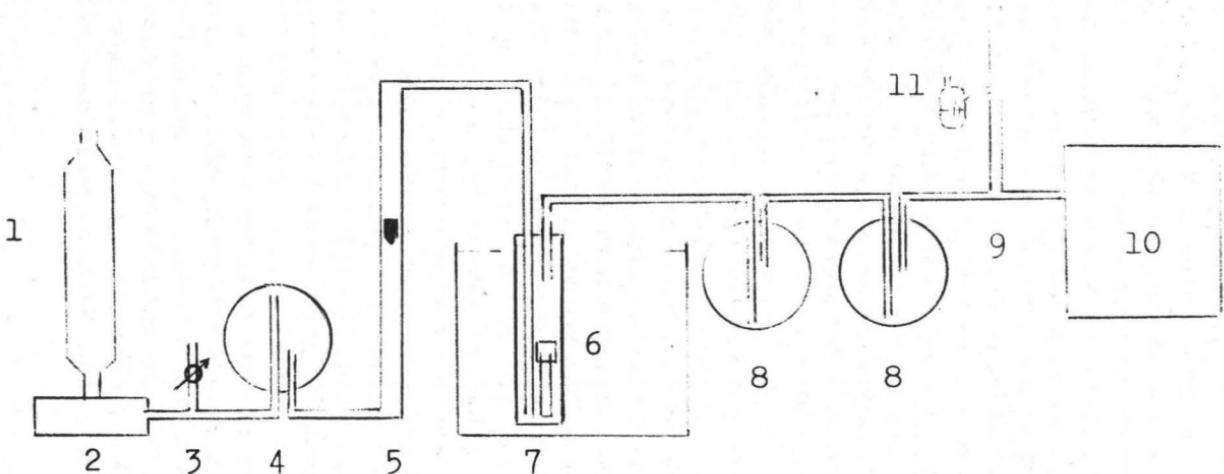


Bild 2: Schematische Darstellung der Prüfung der Diffusionsrate

- 1 - A-Kohle-Filter, 2 - Membranpumpe, 3 - Nebenschluß, 4 - Druckausgleich,
- 5 - Rotameter, 6 - Waschflasche mit Gaspermeator, 7 - Thermostat, 8 - Mischgefäß, 9 - T-Stück, 10 - Meßgerät, 11 - Blasenzähler

A-Kohle (1) gereinigte Luft wird mittels einer Membranpumpe (2) durch einen Druckausgleicher - eine 2l-Flasche - (3) und ein Rotameter (5) in eine Waschflasche geleitet, in der ein Permeator (6) untergebracht ist. Die den Permeator umspülende Luft trägt das diffundierende SO_2 laufend fort. Der Permeator ist thermostatisiert (7). Die beiden Gefäße (8) dienen einer intensiveren Vermischung der Gase, das T-Stück (9) teilt den Gasstrom, wobei der vom Meßgerät (10) nicht aufgenommene Überschuß über einen Blasenzähler (11) nach außen geleitet wird. Im Nebenschluß liegt ein Shunt (4), mit dem die gewünschte Trägerluftrate eingestellt wird. Variationen der Luftrate und des Meßbereichs beim Gerät (10) lassen Diffusionsraten im 50%-Meßbereich mit hinreichender Genauigkeit in weiten Grenzen messen.

Ergebnisse

Konstanz der Emissionsrate. Zur Prüfung dieser Frage haben wir einen bei 22°C thermostatisierten Permeator mit 140 l/h Trägerluft mehrere Tage lang belüftet, Bild 3 gibt die Anzeige wieder. Die Schwankungen betragen etwa $0,02 \text{ mg/m}^3$, was bei einer Anzeige von 1 mg/m^3 2 % beträgt. Die nach 3 Eichungen gemessenen Werte stimmen gut überein. Abweichungen sind indessen unmittelbar nach der automatischen Eichung festgestellt worden. Da diese Erscheinung eigenartigerweise nur nach der Eichung vorkam, liegt es nahe anzunehmen, daß die Meßanzeigenänderung mit diesem Vorgang eng verbunden ist. Dem wirklichen Grund soll noch näher nachgegangen werden.

Einsatzmöglichkeiten

Unter Voraussetzung, daß die Emissionsrate eines einmal eingestellten Permeators bei gegebener Temperatur konstant ist, bietet sich die Möglichkeit, Eichungen und Überprüfungen von Meßgeräten im Feldeinsatz und im Labor auf eine sehr einfache Weise unter Verzicht auf die Mitnahme eines geeichten Vergleichsgerätes vorzunehmen. Wir haben festgestellt, daß Temperaturinstellung und mithin reproduzierbare Emissionsraten in wenigen Minuten zu erreichen sind. Diese Arbeiten werden fortgesetzt.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für den Gaspermeator bietet sich bei tierexperimentellen Begasungsversuchen. Die Geräte können entsprechend der gewünschten Konzentration, der Dauer des Versuches und der Luftumlaufrate so groß gehalten werden, daß man mit einem einzigen Permeator einen solchen Versuch durchführen kann. Für einen 100-tägigen tierexperimentellen Versuch in einer Kammer von 3 m^3 Rauminhalt mit $0,2 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ (Größenordnung, in der chronische Schäden des Organismus zu erwarten sind) bei einem 5fachen Luftdurchsatz je Stunde ($= 15 \text{ m}^3 \text{ Luft/h}$) wäre z.B. eine Patrone mit einer Emissionsrate von 3 mg/h und einem Füllgewicht von $7,2 \text{ g SO}_2$ erforderlich. Diese Bedin-

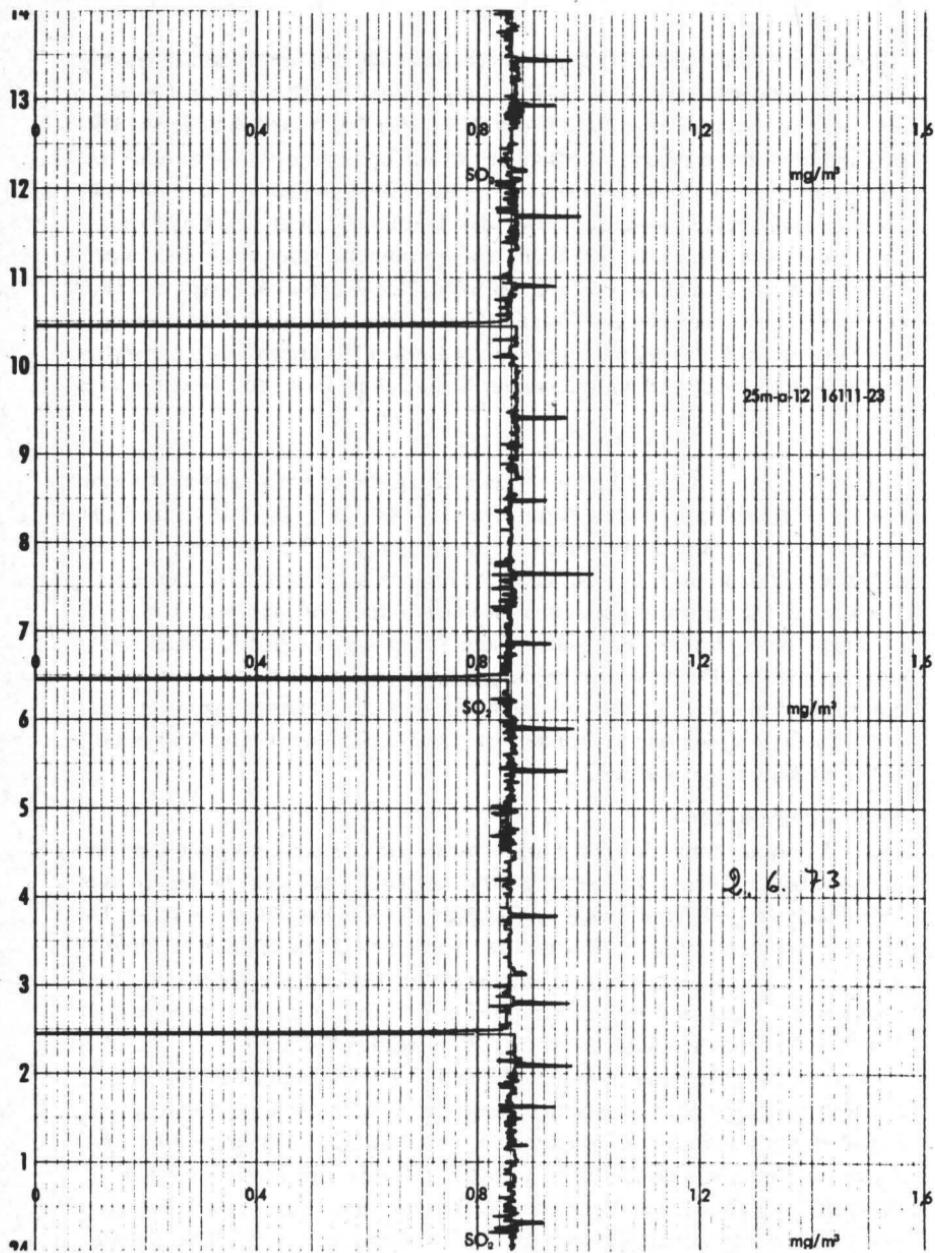


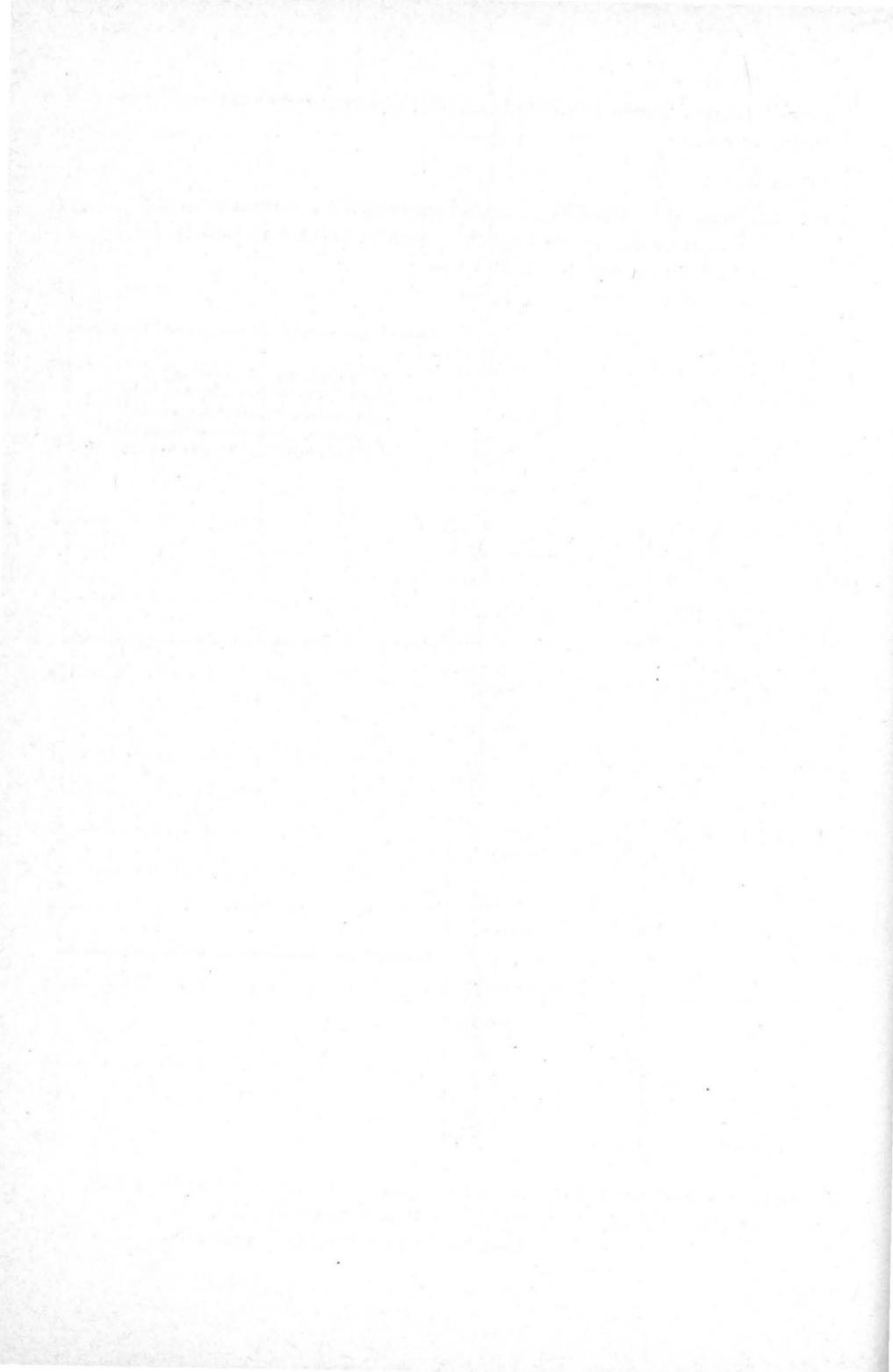
Bild 3: Registrierstreifen des über 14 Stunden belüfteten Gaspermeators
 Nr. 2 kl. Thermostatisiert 22 °C, |Lufrate 140 l/h, | SO_2 -Konz. =
 $860 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Diffusionsrate 120 $\mu\text{g}/\text{h}$

gungen können bereits annähernd mit dem beschriebenen Permeator erreicht werden.

Literatur:

- [1] *Kettner, H.*: Gasdiffusor - ein Langzeitgerät zur Dosierung von Gasen im μg - bis mg-Bereich je Stunde. *Staub-Reinhaltung der Luft* **29** (1969), Nr. 4, 153-154

Dir.u.Prof. Dr. H. Kettner
Institut für Wasser-, Boden- und
Lufthygiene des Bundesgesund-
heitsamtes, Außenstelle Düsseldorf
4 Düsseldorf, Auf'm Hennekamp 70



Windrichtungsabhängige Auswertung automatischer Messungen von Bleistaubimmissionen in der Umgebung einer Bleihütte

von L. Laskus und D. Kasiske

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Das in der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (1) angegebene Meß- und Auswertungsverfahren zur Ermittlung der Immissionsgrundbelastung eines Gebietes geht von der Voraussetzung aus, daß eine von mehreren Quellen verursachte gleichmäßige Verteilung der Staub- oder Gasimmissionen vorliegt. Damit ist aber in der Umgebung von Einzelquellen, wie es auch im vorliegenden Falle der Bleistaubimmission im Bereich einer Bleihütte zutrifft, nicht zu rechnen. Hier werden an jedem Meßpunkt in Abhängigkeit von der vorherrschenden Windrichtung und unter Berücksichtigung der Entfernung des Meßpunktes von der Quelle andere Immissionsverhältnisse auftreten. Grundsätzlich werden an den Meßstellen, bedingt durch wechselnde Windrichtungen, Anhäufungen relativ hoher oder sehr niedriger Schadstoffkonzentrationen festzustellen sein. Das führt zu mehrgipfligen Häufigkeitsverteilungen der Immissionswerte, die die Berechnung der von Normalverteilungen abgeleiteten Immissionskenngrößen I_1 und I_2 (2) ausschließen. Ebenso problematisch ist auch die Angabe eines Mittelwertes, da dieser wegen der örtlich häufig vorkommenden sehr geringen Schadstoffkonzentrationen wenig aussagekräftig ist. Spitzenimmissionen, die durch ungünstige Windverhältnisse hervorgerufen werden, entgehen dabei der Bewertung.

In der Konsequenz kann demnach die Gefährdung von Gebieten durch Einzelquellen nur durch ortbezogene statt gebietsbezogene Bewertung unter Berücksichtigung der Windrichtungsverteilung objektiv ermittelt werden. Dazu ist bei automatischen Messungen der Einsatz von zwei bis drei automatisch arbeitenden Meßgeräten erforderlich, die in verschiedenen Entfernung von der Quelle aufgestellt sind. Die Dauer der Probenahme sollte dabei nicht länger als 12 Stunden betragen, nach Möglichkeit aber nur 6 Stunden. Durch zusätzliche Stichprobennahme im Lee der Quelle mit manuellen Staubsammelgeräten an Meßstellen, die auf den Strahlen oder in Nachbarschaft der Strahlen der Hauptwindrichtungen liegen, können die bei den fest installierten Geräten seltener auftretenden Spitzenimmissionen gesichert erfaßt werden. Das sich auf diese Weise aus den Einsatzorten der automatisch messenden und der manuellen Geräte ergebende

Flächennetz hat eine strahlenförmige Anordnung, bei der im Idealfall die Meßstellen auf konzentrischen Kreisen um die Quelle herum liegen.

Die Möglichkeit zu einer von den Zufälligkeiten des Wetters unabhängigen Bewertung der Meßdaten bietet das Verfahren nach *Fett und Lahmann* (3), bei dem mit Hilfe der langjährig gültigen Windrichtungsverteilung für das Meßgebiet die Meßwerte gewichtet werden. Durch Division der langjährigen Verteilung durch die Anzahl der Werte jeder entsprechenden zufälligen Windrichtung erhält man für jeden Wert einen charakteristischen Häufigkeitsanteil, der bei Aufsummierung zu einer normierten Summenhäufigkeit führt. Diese ist unabhängig von der Verteilungsform der Werte und gestattet die Ableitung von repräsentativen, allgemein gültigen Kenngrößen.

2. Meßstellauswahl für automatische Messungen

Als automatisch arbeitende Meßgeräte wurden zwei Staubmonitore FH62A (4) eingesetzt, die den Staub auf intermittierend transportierten Glasfaser-Filterbändern vom Typ L 65 g/m³ bei einem konstanten Luftdurchsatz von 1,1 m³/h abscheiden. Jeder Abscheidevorgang dauerte 6 Stunden, sodaß insgesamt 8 Werte je Tag anfielen. Die während der Sammelphase abgeschiedene Staubmenge wurde mittels einer im Gerät eingebauten β -Strahlenquelle sofort bestimmt und gleichzeitig von einem Schreiber registriert. Zur Bestimmung des Bleianteiles in dem auf den Filterbändern niedergeschlagenen Schwebestaub wurden diese röntgenfluoreszenzspektrometrisch untersucht. Um eine möglichst schnelle Kontrolle über eventuelle Spitzenimmissionen zu gewinnen, wurden die Filterbänder per Post in kurzen regelmäßigen Zeitabständen vom Meßwert aus eingesandt und im Laboratorium ausgewertet.

Bild 1 zeigt die Anordnung der beiden Meßgeräte in der Umgebung der Emissionsquelle. Das Gerät an der Meßstelle I war auf dem Dachboden eines Privathauses in etwa 7 m Höhe installiert. Die Entfernung zur Emissionsquelle betrug dabei etwa 1000 m in west-nordwestlicher Richtung. Das Gerät an der Meßstelle II war in einem Turm in 22 m Höhe aufgestellt und 2500 m von der Emissionsquelle in südwestlicher Richtung entfernt. Beide Geräte saugten Außenluft durch Plastikschläuche von 20 mm Innendurchmesser an, die über Dachluken in Richtung zur Quelle ins Freie führten. Bei beiden Meßstellen war einerseits wegen der geringen Kraftfahrzeugdichte und andererseits wegen der Höhe des Turmes die Bleiimmission durch den Kraftfahrzeugverkehr unbedeutend.

3. Nachweisgrenze der röntgenfluoreszenzspektrometrischen Bleibestimmung

Zur Bestimmung des Bleanteils des niedergeschlagenen Schwebestaubes mit dem Röntgenfluoreszenzspektrometer wurde jeder Staubfleck, der bei den verwendeten Staubmonitoren FH62A in 6-eckiger Form eine Fläche von

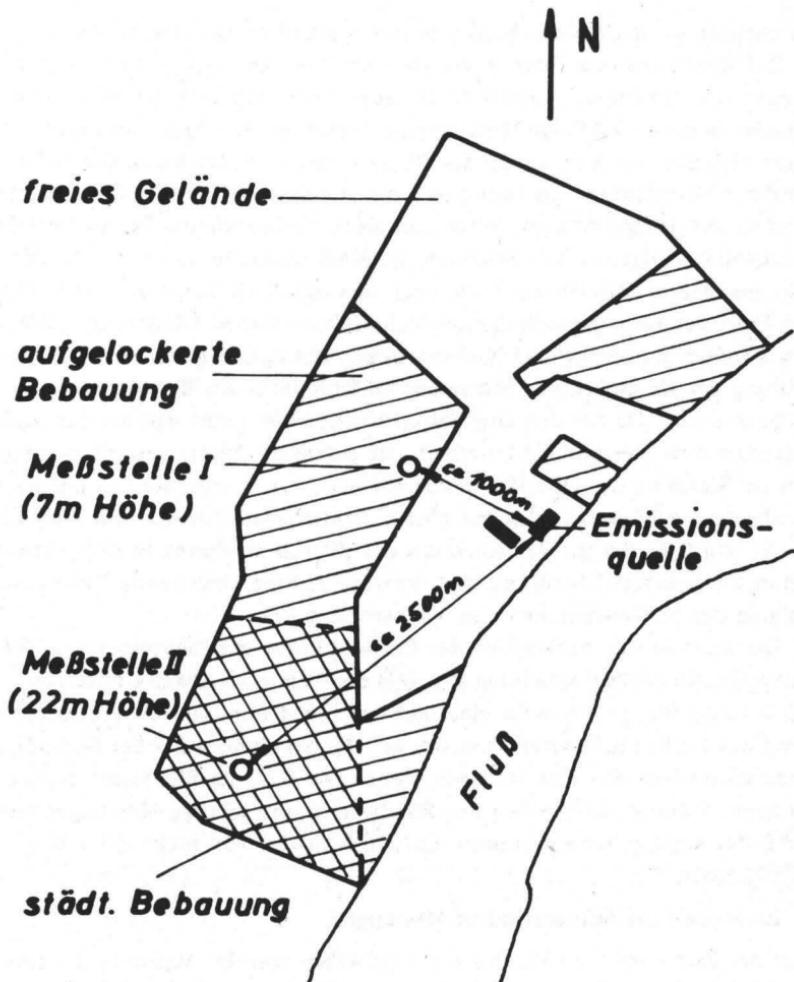


Bild 1: Meßstellen der automatisch arbeitenden Meßgeräte M: 1 : 50 000

1,34 cm² bedeckt, aus dem Filterband nach einer Schablone genau herausgeschnitten, um Meßfehler durch unbestäubtes Filterpapier nach Möglichkeit zu vermeiden. Als Strahlungsquelle diente eine Molybdän-Röhre, die mit einer Spannung von 50 KV bei einer Stromstärke von 20 mA betrieben wurde. Über einen LiF-Kristall mit einer Gitterkonstanten von $2 d = 4,027 \text{ \AA}$ wurde die Intensität der Blei- La -Linie gemessen. Durch Abschirmung des Targets mit einem bleifreien Kupferblock konnte der Einfluß der Streustrahlung in der Meßkammer weitgehend unterdrückt werden. Eine 6 μm starke Mylar-Fensterfolie, die für Blei- La -Strahlung praktisch vollkommen

durchlässig ist, deckte das Target an der bestäubten Oberfläche ab.

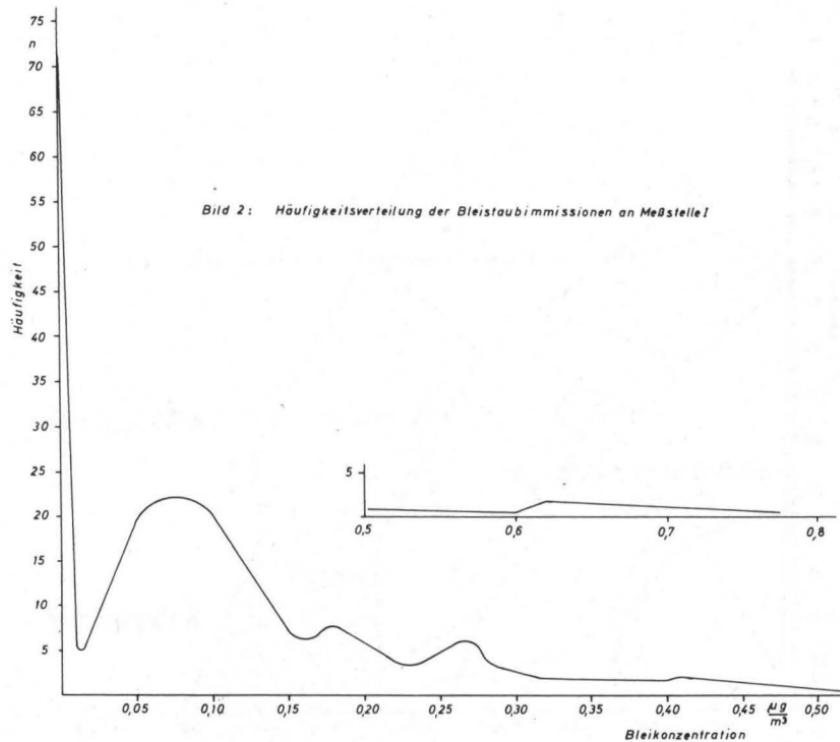
Zur Kalibrierung wurden Filter gleichen Typs in der o.a. Form mit Lösungen von bekanntem Gehalt an Bleiacetat getränkt und die Messung der Bleilösung durch sofortige Rückwägung bestimmt. Die Kalibrierungskurve ergab sich aus der Auftragung der Bleigewichte je Filter gegen die Differenz der Verhältnisse von Impulsrate der Bleilinie zu Impulsrate des Untergrundes der bleigetränkten Filter und eines Nullstandards. Dieses Verfahren berücksichtigt die Verschiebung der Kalibrierkurve durch den Nulleffekt bei leerem Filter ebenso wie auch den durch Geräteparameter bedingten Drift der Impulsratenhöhe des Nulleffektes. Grobe Geräteschwankungen konnten durch tägliche Nullmessungen ausgeglichen werden. Die Überprüfung der Kalibrierkurve mit neuen Bleistandards wurde wöchentlich vorgenommen. Da bei den Originalproben das Blei nicht wie bei den Kalibrierstandards gleichmäßig innerhalb des gesamten Filters verteilt, sondern nur im Staub an der Oberfläche angereichert war, wurde der aus der Kurve abgelesene Bleiwert noch mit einem Faktor nach *Leroux und Mamud* (5, 6) von 0,91 der die Transmission der Blei- λ -Strahlung in dem verwendeten Filtermaterial berücksichtigt, korrigiert. Eine eingehende Veröffentlichung des Meßverfahrens ist in Vorbereitung (7).

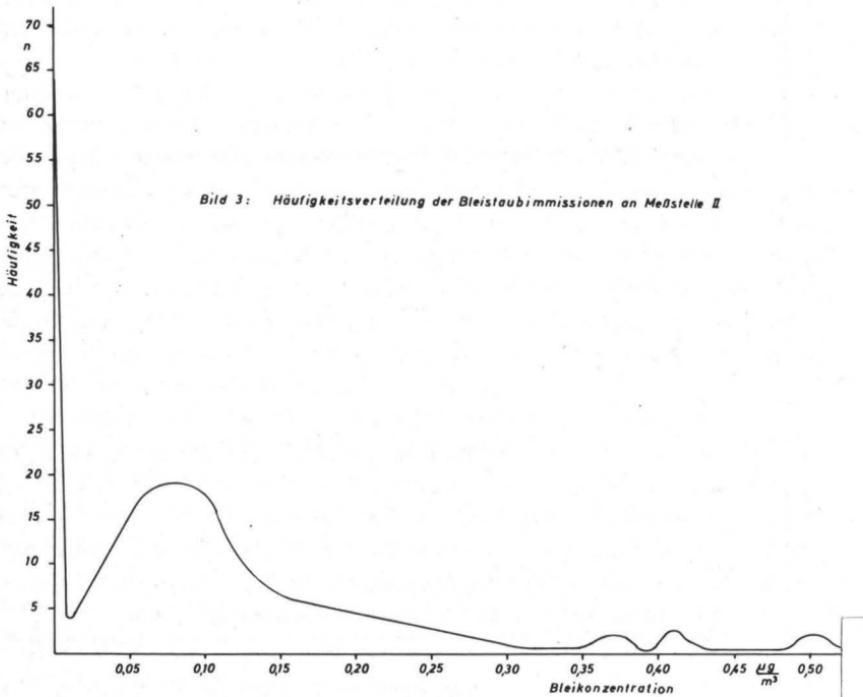
Die sich aus der Auftragung der Kalibrierkurve bei Zugrundelegen der einfachen Standardabweichung $\sigma = \sqrt{N}$ ergebende Nachweisgrenze lag bei $0,13 \mu\text{g}$ Blei je Filter für eine Meßzeit von 4 min. Unter Berücksichtigung des Probendurchsatzes von $6,6 \text{ m}^3$ des Staubmonitors bei 6-stündiger Sammelzeit ließ sich eine Nachweisgrenze von $0,02 \mu\text{g}$ Blei je m^3 Luft errechnen. Ständige Kontrollen des Blindwertes und häufige Messungen leerer Filter zeigten Schwankungen um den Nullwert von nicht mehr als $\pm 0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4. Ergebnisse der automatischen Messungen

Aus der Zeit vom 1.2.1973 bis 6.5.1973 lagen von der Meßstelle I 342 und von der Meßstelle II 370 6 Stunden-Einzelwerte vor. Die unterschiedliche Probeanzahl beider Meßstellen ist auf kurzfristige Geräteausfälle zurückzuführen.

Die Bilder 2 und 3 zeigen für beide Meßwertkollektive von Normalverteilungen stark abweichende Häufigkeitsverteilungen. Bedingt durch den nur geringen Schadstoffgehalt der Luft treten bei den Blei-Konzentrationen „O“ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und ungefähr $0,04$ bis $0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Maxima auf, die auch noch unter Berücksichtigung der unter Punkt 3 genannten Unsicherheit der letzten Stelle erhalten bleiben. Außerdem besitzen beide Verteilungen bei höheren Konzentrationen noch kleinere Gipfel. Die maximalen Bleikonzentrationswerte an beiden Meßstellen verhalten sich etwa umgekehrt proportional zu den Entfernungen von der Quelle. Die windrichtungsabhängige Auftragung der Mittleren Bleikonzentrationen in Bild 4





kennzeichnet ebenfalls die besondere Immissionssituation in der Umgebung der Einzelquelle. Typisch sind hier die Ausrichtungen der gemessenen Maximalwerte zur Quelle hin.

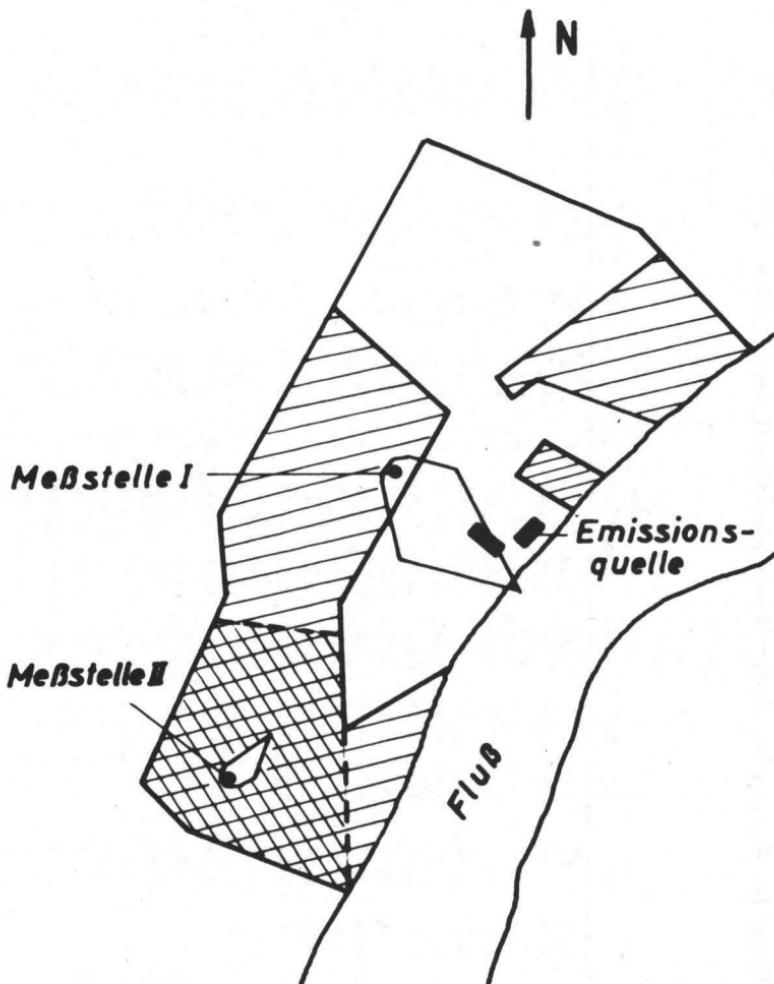


Bild 4: Abhängigkeit der mittleren Bleikonzentration von der Windrichtungsverteilung $1 \text{ cm} \approx 1 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$. M: 1 : 50 000

In den Tabellen 1 und 2 sind die Meßwerte der Meßstellen I und II der Größe nach aufgeführt und außerdem den an den Meßorten jeweils ange troffenen Windrichtungen zugeordnet. Die unter den Windrichtungen angegebenen prozentualen Verteilungen entsprechen einem 44-jährigen Beobach tungszeitraum an einer meteorologischen Station, die sich in etwa 25 km

Tab. 1: Ergebnisse von automatischen Messungen der Bleikonzentration an Meßstelle I in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 Probenahmedauer: 6h; Statistik der 44-jäh. Windverteilung p (Calme: 3,3 %)

d: p %:	N 6,6	NO 9,1	O 8,9	SO 13,5	S 8,5	SW 19,6	W 18,4	NW 12,1	i	x	d	f(d) %	p = $\sum f(d) \cdot \%$
1,30	1,23	8,60	14,0	4,10	5,66	1,30	0,82	1	14,00	SO	1,13	1,13	
1,02	0,45	4,36	4,77	3,13	1,64	0,93	0,56	2	8,60	O	0,30	1,43	
0,42	0,43	1,91	3,14	3,10	0,96	0,65	0,44	3	5,66	SW	0,18	1,61	
0,40	0,30	1,90	1,80	2,32	0,67	0,41	0,25	4	4,77	SO	1,13	2,74	
0,37	0,27	1,20	0,89	1,65	0,67	0,38	0,23	5	4,36	O	0,30	3,04	
0,33	0,24	0,77	0,80	0,89	0,66	0,37	0,14	6	4,10	S	0,53	3,57	
0,29	0,21	0,61	0,65	0,71	0,62	0,31	0,14	7	3,14	SO	1,13	4,70	
0,26	0,16	0,53	0,55	0,62	0,49	0,27	0,13	8	3,13	S	0,53	5,23	
(3Werte)	0,14	0,41	0,23	0,62	0,46	0,27	0,13	9	3,10	S	0,53	5,76	
0,24	0,13	0,39	0,21	0,32	0,43	0,26	0,12	10	2,32	S	0,53	6,29	
0,21	0,08	0,36	0,14	0,14	0,42	0,25	0,12	11	1,91	O	0,30	6,59	
0,19	0,06	0,34	0,08	0,14	0,41	0,25	0,11	12	1,90	O	0,30	6,89	
0,18	0,04	0,32		0,11	0,39	0,24	(3Werte)	13	1,80	SO	1,13	8,02	
0,15	0,03	0,32		0,10	0,38	0,24	0,10	14	1,65	S	0,53	8,55	
0,12		0,31		0,06	0,32	0,22	(4Werte)	15	1,64	SW	0,18	8,73	
(5Werte)		0,30		0,05	0,29	0,20	0,09	16	1,30	N	0,13	8,86	
0,11		0,28			0,27	0,20	(4Werte)	17	1,30	W	0,29	9,15	
(5Werte)		0,27			0,26	0,18	0,08	18	1,23	NO	0,65	9,80	
0,08		0,21			0,26	0,18	(5Werte)	19	1,20	O	0,30	10,10	
(5Werte)		0,19			0,25	0,17	0,07	20	1,02	N	0,13	10,23	
0,07		0,17			0,24	(3Werte)	(3Werte)	21	0,96	SW	0,18	10,41	
(3Werte)		0,16			0,23	0,16	0,06	22	0,93	W	0,29	10,70	
0,06		0,16			0,23	0,16	0,06	23	0,89	SO	1,13	11,83	
0,05		0,15			0,22	0,15	0,05	24	0,89	S	0,53	12,36	

Forts. Tab. 1

(7Werte)	0,15	0,21	0,15	(7Werte)	25	0,82	NW	0,17	12,53
0,02	0,14	0,21	0,14	0,04	26	0,80	SO	1,13	13,66
0,02	0,14	0,20	(5Werte)	(4Werte)	27	0,77	O	0,30	13,96
0,01	0,12	(4Werte)	0,13	0,03	28	0,71	S	0,53	14,49
0	0,11	0,19	0,13	(3Werte)	29	0,67	SW	0,18	14,67
(4 Werte)	0,07	0,19	0,12	0,02	30	0,67	SW	0,18	14,85
		0,18	(4Werte)	(4Werte)	31	0,66	SW	0,18	15,03
		(6Werte)	0,11	0,01	32	0,65	SO	1,13	16,16
		0,17	(4Werte)	0	33	0,65	W	0,29	16,45
		0,15	0,10	(22Werte)	34	0,62	S	0,53	16,98
		(3Werte)	0,09		35	0,62	S	0,53	17,51
		0,14	0,08		36	0,62	SW	0,18	17,69
		0,14	(5Werte)		37	0,61	O	0,30	17,99
		0,13	0,06		38	0,56	NW	0,17	18,16
		0,13	(7Werte)		39	0,55	SO	1,13	19,29
		0,12	0,05		40	0,53	O	0,30	19,59
		(7Werte)	0,05		41	0,49	SW	0,18	19,77
		0,11	0,04		42	0,46	SW	0,18	19,95
		(11Werte)	0,04		43	0,45	NO	0,65	20,60
		0,10	0,03		44	0,44	NW	0,17	20,77
		(9Werte)	0,03		45	0,43	NO	0,65	21,42
		0,08	0,02		46	0,43	SW	0,18	21,60
		(10Werte)	0,02		47	0,42	O	0,13	21,73
		0,07	0		48	0,42	SW	0,18	21,91
		(3Werte)			49	0,41	O	0,30	22,21
		0,06			50	0,41	SW	0,18	22,39
		(7Werte)			51	0,41	W	0,29	22,68
		0,05			52	0,40	N	0,13	22,81
		(6Werte)			53	0,39	O	0,30	23,11

Tabelle 1: Forts.

d:	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	i	x	d	f(d)%	p = $\sum f(d)\%$
p %:	6,6	9,1	8,9	13,5	8,5	19,6	18,4	12,1					
					0,04				54	0,39	SW	0,18	23,29
					0,03				55	0,38	SW	0,18	23,47
					(6Werte)				56	0,38	W	0,29	23,76
					0,02				57	0,37	N	0,13	23,89
					0,01				58	0,37	W	0,29	24,18
					0				59	0,36	O	0,30	24,48
					(4Werte)				60	0,34	O	0,30	24,78
$n(d):$	49	14	30	12	16	112	64	73	.	.	.	.	.
$\bar{x}_i(d):$	0,17	0,27	0,83	2,27	1,13	0,23	0,18	0,08	.	.	.	.	.
$f(d)\%:$	0,13	0,65	0,30	1,13	0,53	0,18	0,29	0,17	.	.	.	.	.
									370	0	W	0,29	100

$$I_1 = \bar{x}_1 = 0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad (\text{Langzeitwert } Iw_1)$$

$$I_2 = 2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ für } S = 95\% \quad (\text{Kurzzeitwert } Iw_2)$$

Entfernung vom Untersuchungsgebiet befindet (8).

Wegen der günstigen geographischen Bedingungen waren keine statistischen Verschiebungen der Windwerte zwischen Bezugsstation und Meßort zu erwarten. Die Verteilungsfunktion der gemessenen Immissionen ergibt sich, wie schon unter Punkt 1 erwähnt, aus dem Quotienten

$$f(x_i, d) = \frac{p(d)}{n(d)} .$$

In dieser Formel bedeuten $p(d)$ die langjährige Windrichtungsverteilung und $n(d)$ die Verteilung der Meßwertanzahl auf die Windrichtungen. Für jede Windrichtung gewinnt man so einen Häufigkeitsanteil $f(d)$, der jedem Wert der entsprechenden Windrichtung zugeordnet wird. Die Summierung der Häufigkeitsanteile, beginnend vom größten Wert an, führt zu einer auf 100 % normierten Summenhäufigkeit, die die Überschreitungswahrscheinlichkeit $p(x_i)$ jedes Meßwertes x_i anzugeben gestattet. Als neue Kenngröße I_2 , die nach einem neuen Entwurf einer „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ mit einem festgelegten Immissionswert I_{W_2} für Kurzzeiteinwirkungen verglichen wird, soll diejenige Konzentration gewählt werden, deren Überschreitung nur noch mit einer geringen festgesetzten Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Im vorliegenden Falle wurde eine Bleistaubkonzentration gewählt, die bei 95 % der normierten Summenhäufigkeit liegt. Demnach ist die Überschreitung dieses Wertes nur noch mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % der Einzelwerte zu erwarten. In dem o.a. Zusammenhang wird der Mittelwert \bar{x}_i des Wertekollektivs als Kenngröße I_1 bezeichnet und mit einem Immissionswert I_{W_1} für Langzeiteinwirkungen verglichen. In Bild 5 sind die normierten Überschreitungswahrscheinlichkeiten $P(x_i)$ für die Wertekollektive beider Meßstellen im Wahrscheinlichkeitssystem aufgetragen. Durch Mittelwertbildung und durch Interpolation ergaben sich folgende Kenngrößen:

Meßstelle I: $I_1 = 0,34 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$
 $I_2 = 2,8 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ (S = 95 %)}$

Meßstelle II: $I_1 = 0,25 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$
 $I_2 = 0,6 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ (S = 95 %)}$

5. Stichprobenahme im Lee der Quelle

Durch manuelle Stichprobenahmen mit dem High-Volume-Sampler (Typ „Staplex“) und einem anderen Staubsammelgerät (Typ „Gravikon“), die grundsätzlich unter dem Winde der Quelle durchgeführt wurden, konnten die besonders interessierenden Spitzenwerte der Bleiimmissionen gehäuft

Tab. 2: Ergebnisse von automatischen Messungen der Bleikonzentration an Meßstelle II in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 Probenahmedauer: 6h; Statistik der 44-jährigen Windverteilung p (Calme: 3,3 %)

d: p %:	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	i	x	d	$f(d)\%$	$p = \sum f(d)\%$
0,78	5,73	1,64	0,64	0,50	0,50	0,37	0,63	1	5,73	NO	0,70	0,70	
0,66	1,88	1,53	0,20	0,27	0,41	0,36	0,60	2	1,88	NO	0,70	1,40	
0,59	1,24	1,16	0,19	0,26	0,38	0,30	0,41	3	1,64	O	0,33	1,73	
0,57	0,51	0,75	0,19	0,24	0,37	0,27	0,30	4	1,53	O	0,33	2,06	
0,51	0,40	0,41	0,18	0,20	0,37	0,25	0,23	5	1,24	NO	0,70	2,76	
0,50	0,10	0,41	0,18	0,18	0,35	0,24	0,22	6	1,16	O	0,33	3,09	
0,44	0,06	0,36	0,17	0,15	0,31	0,23	0,21	7	0,78	N	0,14	3,23	
0,42	0,06	0,25	0,08	0,11	0,29	0,21	0,16	8	0,75	O	0,33	3,56	
0,38	0,05	0,25	0,08	0,10	(4Werte)		0,21	0,15	9	0,66	N	0,14	3,70
0,29	0,04	0,18	0,04	0,06	0,28	0,20	0,13	10	0,64	SO	1,13	4,83	
0,27	0,04	0,16	0,02	0,05	0,27	0,18	0,12	11	0,63	NW	0,17	5,00	
0,24	0	0,15	0,02	0,04	0,24	0,18	0,11	12	0,60	NW	0,17	5,17	
0,24	0	(3Werte)			0,22	0,16	0,11	13	0,59	N	0,14	5,31	
0,15		0,11			(3Werte)		0,16	0,10	14	0,57	N	0,14	5,45
0,14		0,08			0,21	0,14	(5Werte)		15	0,51	N	0,14	5,59
0,12		0,08			0,21	0,13	0,09	16	0,51	NO	0,70	6,29	
0,12		0,06			0,20	(3Werte)		0,08	17	0,50	S	0,71	7,00
0,11		0,05			(4Werte)		0,12	0,07	18	0,50	SW	0,19	7,19
0,11		0,04			0,18	(3Werte)		0,06	19	0,50	N	0,14	7,33
0,10		0,02			0,18	0,11	(5Werte)		20	0,44	N	0,14	7,47
0,10		0,01			0,17	0,11	0,05	21	0,42	N	0,14	7,61	
0,08		0			0,17	0,10	(5Werte)		22	0,41	O	0,33	7,94
0,07		(5Werte)			0,16	(8Werte)		0,04	23	0,41	NW	0,17	8,11
(6Werte)					0,15	0,09	0,04		24	0,41	SW	0,19	8,30
0,06					0,15	(3Werte)		0,03	25	0,41	O	0,33	8,63
(3Werte)					0,14	0,08	(3Werte)		26	0,40	NO	0,70	9,33
0,05					(7Werte)		0,08	0,02	27	0,38	SW	0,19	9,52
(3Werte)					0,12	0,07	(3Werte)		28	0,38	N	0,14	9,66

Forts. Tab. 2

0,04	(7Werte)	0,07	0	29	0,37	W	0,33	9,99
0,03	0,11	0,06	(3Werte)	30	0,37	SW	0,19	10,18
0,03	(7Werte)	(5Werte)		31	0,37	SW	0,19	10,37
0	0,10	0,05		32	0,36	W	0,33	10,70
(10Werte)	(9Werte)	0,04		33	0,36	0	0,33	11,03
	0,09	0,03		34	0,35	SW	0,19	11,22
	0,08	0,03		35	0,31	SW	0,19	11,41
	(4Werte)	0,02		36	0,30	W	0,33	11,74
	0,07	0,02		37	0,30	NW	0,17	11,91
	(5Werte)	0		38	0,29	SW	0,19	12,10
	0,06	(7Werte)		39	0,29	SW	0,19	12,29
	(6Werte)			40	0,29	SW	0,19	12,48
	0,05			41	0,29	SW	0,19	12,67
	(10Werte)			42	0,29	N	0,14	12,81
	0,04			43	0,28	SW	0,19	13,00
	(4Werte)			44	0,27	S	0,71	13,71
	0,03			45	0,27	SW	0,19	13,90
	(3Werte)			46	0,27	N	0,14	14,04
	0,02			47	0,27	SW	0,19	14,23
	0,01			48	0,27	W	0,33	14,56
	0			49	0,26	S	0,71	15,27
	(7Werte)			50	0,25	0	0,33	15,60
n(d):	47	13	27	12	12	103	56	72
$\bar{x}_i(d):$	0,17	0,78	0,30	0,17	0,18	0,13	0,12	0,07
$f(d)\%:$	0,14	0,70	0,33	1,13	0,71	0,19	0,33	0,17
						342	0	NW
							0,19	100

$$I_1 = \bar{x}_i = 0,25 \text{ ug/m}^3 \text{ (Langzeitwert } I_{w1})$$

$$I_2 = 0,6 \text{ ug/m}^3 \text{ für } S = 95 \% \text{ (Kurzzeitwert } I_{w2})$$

Tab. 3: Ergebnisse von Stichprobenmessungen der Bleikonzentration (1) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	i	x	d	Bemerkung
1,84	2,50	7,10	59,75	45,85	32,34	35,94	1,97	1	59,75	SO	Messungen in unmittelbarer hinde
1,09		3,31	26,41	34,17	16,12	4,84		2	45,85	S	unmittelbarer hin-
0,79		2,50	13,48	23,00	2,90	1,92		3	39,94	W	dernisfreier Um-
0,37		1,46	12,30	14,95	2,40	1,39		4	34,17	S	gebung der Quelle
		1,31	9,98	8,66	2,20	0,92		5	32,34	SW	
		0,99	7,00	6,03		0,82		6	26,41	SO	
			5,65	3,60				7	23,00	S	
			5,09	3,38				8	16,12	SW	
			4,47	2,35				9	14,95	S	
			3,56	1,45				10	13,48	SO	
			3,17	1,28				11	12,30	SO	
			2,81	1,23							
			2,47	1,22				12	9,98	SO	Messungen in be-
			1,92	0,97				13	8,66	S	bauten Gebieten
			1,80	0,89				14	7,10	O	
			1,79	0,81				15	7,00	SO	
			1,70	0,32				16	6,03	S	
			1,59					17	5,65	SO	
			1,58					18	5,09	SO	
			1,09					19	4,84	W	
								20	4,47	SO	
								21	3,60	S	
								22	3,56	SO	
								23	3,38	S	
								24	3,31	O	
								25	3,17	SO	
								26	2,90	SW	
								27	2,81	SO	
								28	2,50	NO	
								29	2,50	O	
								30	2,47	SO	
								31	2,40	SW	
								32	2,35	S	

 $\bar{x}_i(d)$

2,04

2,50

5,55

16,76

8,83

11,19

7,62

1,97

 \bar{x}_i gesamt : $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ \bar{x}_i 12-16 : $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tab. 3: Forts.

N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	i	X	d	Bemerkung
								33	2,20	SW	
								34	1,97	NW	
								35	1,92	W	
								36	1,92	SO	
								37	1,84	N	
								38	1,80	SO	
								39	1,79	SO	
								40	1,70	SO	
								41	1,59	SO	
								42	1,58	SO	
								43	1,46	O	
								44	1,45	S	
								45	1,39	W	
								46	1,31	O	
								47	1,28	S	
								48	1,23	S	
								49	1,22	S	
								50	1,09	SO	
								51	1,09	N	
								52	0,99	O	
								53	0,97	S	
								54	0,92	W	
								55	0,89	S	
								56	0,89	W	
								57	0,81	S	
								58	0,79	N	
								59	0,37	N	
								60	0,32	S	
								61	0,18	Calme	

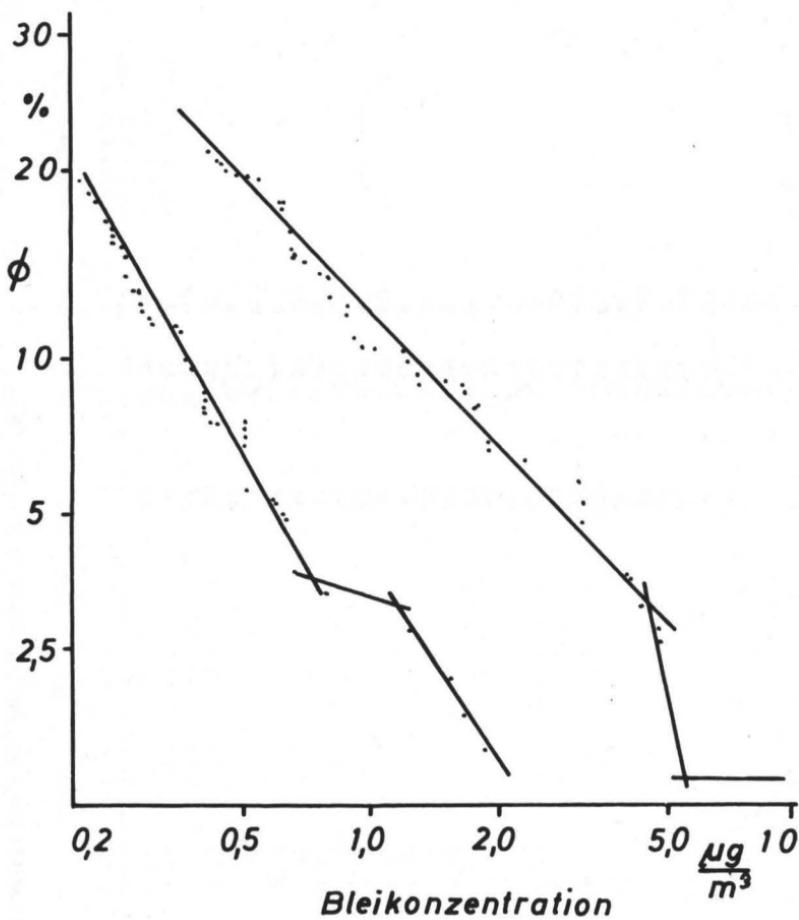


Bild 5: Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Konzentrationsgrenzen

erfaßt werden. Diese Messungen wurden nicht mehr an einem festen Ort durchgeführt und daher auch nicht nach dem o.a. Verfahren ausgewertet. Die Meßwerte sind in Tabelle 3 lediglich der Größe nach sortiert. Ein Zusammenhang zwischen den ortsbezogenen Messungen und den Stichprobennahmen bestand nur insofern, als die Meßstellen der Stichproben 12 bis 61 eine ähnliche Beschaffenheit durch aufgelockerte Bebauung und Bewuchs wie die Meßstelle I der ortsbezogenen Messungen aufwiesen. Die durchschnittliche Entfernung zur Quelle von etwa 1 km entsprach dabei ebenfalls ungefähr der Entfernung von Meßstelle I zur Quelle. Der sich aus diesen Stichprobenwerten ergebende Mittelwert von $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zeigte eine gute Übereinstimmung mit dem Wert bei 95 % bis 97,5 % der Sum-

menhäufigkeit des Wertekollektivs von Meßstelle I und kann so als zusätzliche Sicherung der Ergebnisse der ortsbezogenen Messungen angesehen werden. Eine Übereinstimmung mit dem 100%-Wert konnte ohnehin nicht erwartet werden, da auch eine Probenahme exakt im Lee der Quelle infolge des variiierenden Einflusses der Windgeschwindigkeiten nicht nur Maximalwerte erfaßt.

Die übrigen Meßwerte der laufenden Nummern 1 bis 11, die mit mehr als $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sehr hoch lagen, wurden entweder im engeren Umkreis um die Quelle oder am anderen Ufer des Flusses gefunden (siehe Bild 1). Diese Meßstellen waren gemeinsam, daß das Gelände zwischen Quelle und Meßstelle keine Hindernisse durch Bebauung oder Bewuchs aufwies. Der Mittelwert aller Werte aus Tab. 3 beträgt.:

$$\bar{x}_i \text{ gesamt} = 7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3.$$

6. Zusammenfassung

Es wird am Beispiel von Bleiimmissionen in der Umgebung einer Bleihütte ein ortsbezogenes Verfahren zur Bewertung von Immissionen in der Umgebung einer Einzelquelle beschrieben. Zur Ableitung objektiver und repräsentativer Immissionswerte wird die langjährige Windverteilung für das Untersuchungsgebiet zugrunde gelegt. Unter Berücksichtigung der während der Messungen zufällig vorherrschenden Windrichtungen werden die Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Einzelwerte normiert, die die Ermittlung statistischer Kenngrößen allein durch Interpolation ermöglichen. Das Verfahren vereinfacht sich weiterhin dadurch, daß die Werte des oberen Konzentrationsbereiches zur Bewertung der Immissionssituation am Meßort die entscheidende Bedeutung haben.

Schrifttum

- (1) Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). Gemeinsames Ministerialblatt, Ausgabe A, hrsg. vom Bundesministerium des Innern 15 (1964), 433-448
- (2) *Stratmann, H. und D. Rosin*: Untersuchungen über die Bedeutung einer empirischen Kenngröße zur Beschreibung der Häufigkeitsverteilung von SO_2 -Konzentrationen in der Atmosphäre. *Staub* 24 (1964), 520-525
- (3) *Fett, W. und E. Lahmann*: Zur Bewertung der Immission in der Umgebung einer Einzelquelle. *Staub* 31 (1971), 200-205
- (4) *Aurand, K. und J. Bosch*: Gerät zur kontinuierlichen Bestimmung der Konzentration staubförmiger Luftverunreinigungen. *Staub* 27 (1967), 445-447

Schrifttum Forts.:

- (5) *Leroux, J. und M. Mahmud*: X-ray quantitative analysis by an emission - transmission method. Ebenda 38 (1966), 76
- (6) *Leroux, J. und M. Mahmud*: Flexibility of X-ray emission spectrography as adapted to microanalysis of air pollutants. Jour. Air Pollution Control Association 20 (1970), 402
- (7) *Kasiske, K.*: Unveröffentlichte Arbeit über röntgenfluoreszenzspektrometrische Bleibestimmung.
- (8) Klimakunde des Deutschen Reiches, Bd. II Verlag Dietrich Reimer, Berlin, 1939

Dr. L. Laskus, D. Kasiske
Institut für Wasser-, Boden- und
Lufthygiene des Bundesgesund-
heitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1

Ein Meßgerät zur automatischen, gravimetrischen Bestimmung der Staubkonzentration im Rauchgas von Kraftwerken

von L. Laskus

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Zur Prüfung der Wirksamkeit von Filteranlagen, deren Einsatz in Industriezweigen mit hohem Staubauswurf notwendig geworden ist, sind Meßanordnungen erforderlich, die den Staubgehalt im Rauchgas nach Möglichkeit vollautomatisch und kontinuierlich registrieren.

Bei der Entwicklung eines dazu geeigneten Staubmeßgerätes sollten Fehlerquellen, wie sie bei Anwendung nicht spezifischer Meßprinzipien auftreten können, vermieden werden. Solche Geräte müssen, wenn sie reproduzierbare Meßergebnisse liefern sollen, nach einer genauen gravimetrischen Methode, die in der VDI-Richtlinien 2066 (1) angegeben ist, jeweils für einen bestimmten Anwendungsfall kalibriert werden.

Die oben genannte Forderung ist mit Hilfe einer Wägeeinrichtung zu erfüllen, die im Gegensatz zu den relativen Meßverfahren den Staubgehalt absolut zu bestimmen gestattet. Ein automatischer Ablauf des Meßprozesses gewährleistet hierbei eine hohe zeitliche Auflösung der Emissionswerte, die mit der nach Relativverfahren arbeitender Meßgeräte zu vergleichen ist. Um den Flugstaub des Rauchgases zur Wägung bereitzustellen, muß dieser auf einem Filter niedergeschlagen werden. Dabei ist zu beachten, daß das Filter keinen Gewichtsschwankungen durch Feuchtigkeitseinfluß unterliegt; das Filtermaterial muß konditioniert werden.

Die Filterung selbst kann zu einer Verringerung des Gasdurchsatzes führen, da sich die exponierten Filter während der Teilstromentnahme mehr und mehr verstopfen. Das bedingt eine weitere Festlegung: Der Durchsatz muß von einer Regelanordnung konstant gehalten werden, da sonst die abgesaugte Staubmenge nicht mehr dem Staubgehalt im Abgas entspricht.

Dies sind die wichtigsten Züge des im folgenden beschriebenen Gerätes.

2. Meßfehler bei nicht isokinetischer Teilstromentnahme

Die Fehlmessung des Staubgehaltes bei nicht geschwindigkeitsgleicher Absaugung des Teilstroms kommt durch eine Entmischung der Staubfraktionen an der Mündung der Absaugsonde zustande. Bei unter-isokinetischer Absaugung werden die Staubbahnen wegen des Strömungswiderstandes der Sonde nach außen um die Sonde herum und bei über-isokinetischer Absau-

gung wegen der Saugwirkung nach innen zur Sonde hin umgelenkt. In beiden Fällen können gröbere Partikel aufgrund ihrer hohen kinetischen Energie den Krümmungen der Staubbahnen nicht folgen und fliegen geradeaus in die Sonde hinein bzw. außen an der Sonde vorbei. Im ersten Falle stellt man dadurch in der Sonde einen zu hohen und im zweiten Falle einen zu geringen Staubgehalt, bezogen auf den Staubgehalt in der freien Strömung, fest. Dieses Verhalten kann durch geeignete dimensionslose Größen in einem Diagramm dargestellt werden. Dazu bedient man sich folgender Definitionen:

$$\epsilon = \frac{s_A}{s_O} = \frac{\text{Staubgehalt in der Sonde}}{\text{Staubgehalt vor der Sonde}}$$

$$\frac{w_A}{w_O} = \frac{\text{Gasgeschwindigkeit in der Sonde}}{\text{Gasgeschwindigkeit vor der Sonde}}$$

Für sehr schwere Teilchen ergibt sich aus der Definition für ϵ ein hyperbelmäßiger Zusammenhang zwischen ϵ und dem Verhältnis $\frac{w_A}{w_O}$, (Bild 1):

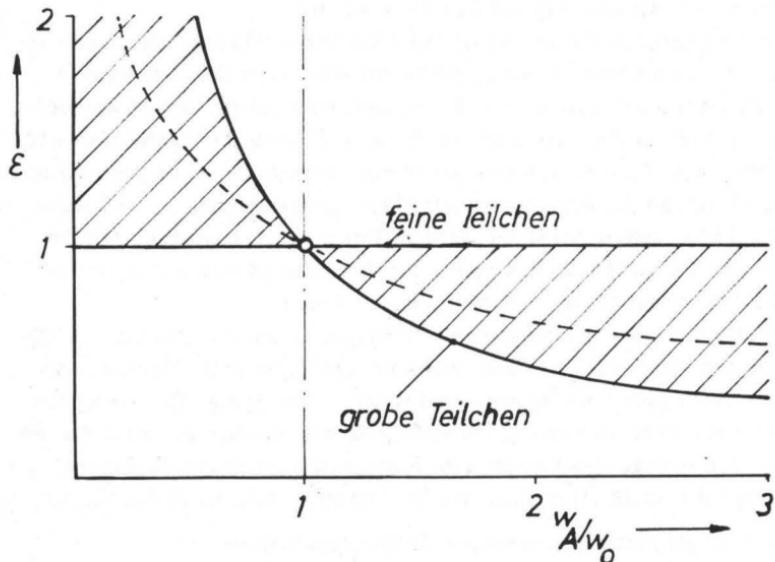


Bild 1: Relativer Staubgehalt ϵ in der Sonde in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit w_A und der Strömungsgeschwindigkeit w_O

Nur bei isokinetischer Absaugung kann der Staubgehalt richtig bestimmt werden. Für sehr feine Teilchen hat ϵ allerdings immer den Wert eins, da diese den Umlenkungen der Staubbahnen zu folgen vermögen.

Der Bereich zwischen beiden Grenzkurven ist in der Praxis bei beliebiger Korngrößenverteilung von besonderem Interesse. Leider ist aber der Kurvenverlauf hier nicht mehr durch eine einfache mathematische Beziehung gegeben, sondern würde zu seiner Berechnung die dreidimensionale Lösung der *Laplace*'schen Potentialgleichung für die Randbedingungen einer Sondeumströmung voraussetzen. In neuesten Arbeiten zu dieser Fragestellung werden zur Bestimmung der Stromlinien potentialtheoretische Ansätze herangezogen. Zur Beschreibung der unter-isokinetischen Absaugung benutzt *Barth* die Kugelumströmung und *Glenicke* für den Fall der über-isokinetischen Absaugung die Überlagerung einer Parallel- mit einer Senkenringströmung, siehe (2). Aus den Potentialen der Ersatzströmungsfelder erhält man durch partielle Differentiation die Geschwindigkeitskomponenten des Gases, während die Teilchengeschwindigkeit aus dem Gleichgewicht der angreifenden Kräfte bestimmt wird. Da sich die Komponenten der Gas- und der Teilchengeschwindigkeit längs ihrer Stromlinien bzw. Staubbahnen stetig ändern, müssen sie in kleinen Schritten auf elektronische Rechenanlagen in der Weise berechnet werden, daß immer eine der beiden Geschwindigkeiten für einen Schritt als konstant angenommen wird. Die Bestimmung des Meßfehlers bei nicht isokinetischer Absaugung nach diesem Verfahren wird aber in der Praxis dadurch erschwert, daß bei einem vorliegenden Körnungsgemisch der Meßfehler für jede Korngröße gesondert berechnet werden muß.

Allgemein ist aus der Lage der Hyperbel zu erkennen, daß der Fehler bei über-isokinetischer Teilstromentnahme im Gegensatz zur unter-isokinetischen durch geringe Schwankungen der Absaugegeschwindigkeit nicht sehr stark beeinflußt wird und bei groben Körnungsgemischen auch wesentlich niedriger liegt. Eine über-isokinetische Absaugung empfiehlt sich auch aus dem Grunde, weil sonst nach *Walter* (3) Stauzonen vor der Sonde auftreten, die von leichteren Partikeln nicht durchbrochen werden können.

3. Regelung des Mengenstroms

3.1 Meßwertumformer

Die Regelung des Durchsatzes auf einen konstanten Wert wird mit Hilfe einer federnd aufgehängten, scharfkantigen Kreisscheibe, die in einem Rohr axial angeströmt wird, vorgenommen. Der Druckunterschied vor und hinter einer Stauscheibe wirkt sich als Kraft aus, so daß bei der gewählten Anordnung die Auslenkung der Feder ein Maß für die durchgesetzte Menge ist. Um zu verhindern, daß die zur Lagerung verwendete Blattfeder der Strömung ebenfalls einen Widerstand bietet, wurde ihr Angriffspunkt aus dem Rohrinneren heraus verlegt. Ein Stahlblechsteg, dessen Schmalseite in Strömungsrichtung liegt, führt, von der Stauscheibe ausgehend, durch einen Schlitz im Rohr zur querliegenden Blattfeder, die oberhalb des Roh-

res befestigt ist. Zur Vermeidung von Strömungsverlusten ist dieses Teil verkapselft.

Zur Meßwertübertragung werden Draht-Dehnungsmeßstreifen von 600Ω mit einem K-Faktor

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = 2 \text{ bei } \epsilon_{\max} = 5 \cdot 10^{-3}$$

benutzt, die als Vollbrücke geschaltet sind. Sie sind auf beiden Seiten der Blattfeder aufgeklebt. Der Gesamtwiderstand der Brücke bleibt hierbei wegen der sich gegensinnig ändernden Einzelwiderstände im Idealfall konstant, so daß man bei einer Auslenkung ein stromunabhängiges Spannungssignal erhält. Außerdem wird der nicht lineare Temperaturgang der Dehnungsmeßstreifen durch eine Brückenschaltung unterdrückt.

Die Berechnung geht von der Bestimmung der Kraft P_s auf die Scheibe aus. Diese ist proportional dem Staudruck $\rho/2 \cdot c^2$ eines angeströmten Körpers, der Fläche f_s der Scheibe und einem Widerstandswert ξ , der von der Größe des verbleibenden Ringspalts abhängig:

$$P_s = \xi \cdot \rho \cdot c^2/2 \cdot f_s \quad \text{mit } c = \dot{V}/f_R \quad (1)$$

$$P_s = \xi \cdot \rho \cdot f_s \cdot \dot{V}^2/2f_R^2 \quad (2)$$

Gleichung (2) gibt den Zusammenhang zwischen dem durchgesetzten Volumenstrom \dot{V} und der Kraftwirkung auf die Scheibe wieder.

Da es für den weiteren Verlauf der Betrachtungen zweckmäßiger ist, mit dem Mengenstrom \dot{M} anstelle des Volumstroms zu rechnen, wird die Gleichung (2) in folgende Form überführt:

$$P_s = \xi \cdot f_s/2f_R^2 \cdot \dot{M}^2/\rho \quad \text{mit } \dot{V} = \dot{M}/\rho \quad (3)$$

Unter der Bedingung, daß der Mengenstrom konstant ist, kann Gleichung (3) mit der Idealen Gasgleichung

$$\rho \cdot T/p = \rho_N \cdot T_0/p_0 \quad (4)$$

auf Normalbedingungen bezogen werden:

$$P_s = \xi \cdot f_s/2f_R^2 \cdot p_0/T_0 \rho_N \cdot \dot{M}^2 \cdot T/p \quad (5)$$

Wird die Gasdichte ρ_N bei $T_0 = 0^\circ\text{C}$ und $p_0 = 760$ Torr als konstant an-

genommen, so geht Gleichung (5) in folgende, sehr übersichtliche Endform über:

$$P_s = K \cdot \dot{M}^2 \cdot T/p \quad (6)$$

In der Konstanten K sind die drei ersten, ebenfalls konstanten Multiplikanden der Gleichung (5) zusammengefaßt.

Gleichung (6) liegt der hier angewandten Mengenregelung zugrunde. Ein erhöhter Druckabfall in der Strecke, hervorgerufen durch eine stärkere Staubbelegung des Filters, würde zunächst zu einem vermindernten Mengendurchsatz führen. Das Druckgefälle wird aber von einer Drosselklappe hinter der Stauscheibe so nachreguliert, daß das Gleichgewicht zwischen der auf die Stauscheibe wirkenden Kraft und dem Quadrat des Mengenstroms eingehalten wird.

3.2 Einfluß von Störgrößen

Die Größen Druck p und Temperatur T wirken sich bei Zustandsänderungen des strömenden Gases als Störgrößen aus. Sie müssen daher durch Meßföhler erfaßt und ebenso wie der Meßwert der Stauscheibe in Spannungssignale umgewandelt werden.

Als Temperaturmeßföhler wurde ein Meßwiderstand Pt_{100} mit bifilarer, in Glas eingeschmolzener Platinwicklung vorgesehen, der wegen seines hohen mittleren Temperaturkoeffizienten von $3,85 \cdot 10^{-3} \text{ grd}^{-1}$ auch noch kleine Temperaturschwankungen in proportionale Meßspannungen umwandeln kann. Der Spannungsabfall am Meßwiderstand ist nur dann proportional der Temperatur, wenn der Strom trotz Widerstandsänderungen konstant bleibt. Das wird weitgehend durch zusätzliches Vorschalten eines hochohmigen Widerstandes von $380 \text{ k}\Omega$ erreicht. Bei einer Widerstandsänderung von 40Ω - entsprechend der Temperaturänderung von 100 grd - ist damit der Strom durch den Meßwiderstand bis auf 10^{-4} konstant. Diese Abweichung ist zu vernachlässigen.

Der statische Druck wird, von vier Druckbohrungen ausgehend, über eine Ringleitung zum Druckausgleich einer Druckmeßdose zugeführt. Diese besteht im Prinzip aus einer Unterdruckdose und der sie umschließenden Druckdose. Bei Unterdruck dehnt sich die Unterdruckdose gegen die Kraft einer Bügelfeder aus und verbiegt eine über einen Hebel angelenkte Stahlfeder. Wie bei der Stauscheibenanordnung geben auch hier vier in Brückenschaltung betriebene Dehnungsmeßstreifen, die auf die Feder aufgeklebt sind, ein der Durchbiegung proportionales, elektrisches Signal.

Die Kalibrierkurven der Meßföhler zeigten den erwarteten linearen Verlauf. Da die Regelgleichung (6) mit der Idealen Gasgleichung auf Normalbedingungen bezogen ist, mußten auch die Meßföhler auf einen festen Punkt abgeglichen werden:

Meßspannung U_{Ps} in Abhängigkeit von der Kraft P_s :

$$U_{Ps} = OV \text{ für } P_s = 0 \text{ p} \text{ bzw. } \dot{M} = 0 \frac{Nm^3}{h} \text{ (Brückenabgleich)}$$

Meßspannung U_p in Abhängigkeit vom Druck p :

$$U_p = OV \text{ für } p = 0 \text{ Torr} \quad (\text{Brückenabgleich})$$

Meßspannung U_T in Abhängigkeit von der Temperatur T :

$$U_T = OV \text{ für } T = 0^\circ K \quad (\text{Vorwiderstand})$$

Die Ansteuerung der Drosselklappe zur Regelung des Druckgefälles und damit des Durchsatzes in der Strecke muß der mit Gleichung (6) gegebenen Gleichgewichtsbedingung entsprechen. Dazu ist eine Regelschaltung erforderlich, die die von der Stauscheibe, der Druckmeßbrücke und dem Temperatur-Meßwiderstand kommenden Signale in der Weise zu einem Ausgangssignal verarbeitet, daß bei Nachstellen der Drosselklappe für das Quadrat des Mengenstroms in Gleichung (6) ein konstanter Wert eingehalten wird.

3.3 Analoge Rechenschaltung

Eine Regelschaltung, die der in 3.2 gestellten Bedingung nachkommen soll, muß das Produkt $K \cdot \dot{M}^2 \cdot T/p$ elektronisch berechnen und mit dem Wert P_s vergleichen. Tritt eine endliche Differenz $K \cdot \dot{M}^2 \cdot T/p - P_s$ auf, so ist dies gleichbedeutend mit einer Veränderung des Durchsatzes, hervorgerufen durch einen erhöhten Druckverlust am Filter. Im Idealfall müßte diese Differenz durch Nachstellen der Drosselklappe wieder den Wert null annehmen.

Der Quotient T/p und die Differenz der Größen $K \cdot \dot{M}^2 \cdot T/p$ und P_s können durch Operationsverstärker gebildet werden (Bild 2). Die Schaltung wird mit Wechselstrom von 50 Hz betrieben. Auf diese Weise wird eine einfache Ausführung der Regelung erreicht und eine Spannungsdrift an den Ausgängen der Operationsverstärker, wie sie bei Gleichstromschaltungen auftreten würde, vermieden. Die Blindkomponente ist bei einer Versorgung mit 50 Hz vernachlässigbar gering.

Die Gleichgewichtsbedingung für den Operationsverstärker I und den Transistor, die einen gemeinsamen Verstärkungsgrad V_v besitzen, lautet:

$$\Delta U \cdot V_v = U_A \quad (7)$$

Die Diagonalspannung U_p der Brückenschaltung der Druckmeßdose, die von dem Transistor mit einem konstanten Strom gespeist wird, kann auch

durch ihr Übertragungsmaß V_p

$$V_p = \frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \quad (8)$$

als Funktion der Verstärker-Ausgangsspannung U_A aufgefaßt werden:

$$U_p = U_A \cdot V_p \quad (9)$$

Ferner gilt für die Spannungsdifferenz ΔU am Eingang des Operationsverstärkers:

$$\Delta U = U_T - U_p \quad (10)$$

Die Verbindung der Gleichungen (9) und (10) mit Gleichung (7) ergibt:

$$U_A = V_v (U_T - U_A \cdot V_p) \quad (11)$$

Durch eine leichte Umformung erhält man:

$$U_A = \frac{1}{1/V_v + V_p} \cdot U_T \quad (12)$$

Da der Gesamtverstärkungsgrad V_v sehr viel größer als eins ist, kann der Quotient $1/V_v$ vernachlässigt werden. U_A wird damit:

$$U_A = U_T/V_p \quad (13)$$

Wegen der strengen Proportionalität zwischen der Spannung U_T und der Temperatur T und zwischen der Widerstandsänderung V_p und dem statischen Druck p innerhalb des Meßbereichs entspricht das Signal des rückgekoppelten Operationsverstärker I dem Quotienten T/p . Das nachgeschaltete Potentiometer multipliziert diesen mit einer je nach Abgriff variablen Konstanten, die als $K \cdot \dot{M}^2$ aufzufassen ist. Durch Verändern des Abgriffs besteht die Möglichkeit, jeden gewünschten Wert des Mengenstroms als Sollwert vorzugeben.

Das von der Stauscheibenanordnung kommende Spannungssignal wird zum Vergleich ebenso wie der Potentiometerabgriff einem zweiten Operationsverstärker aufgegeben. An seinem Ausgang erscheint in Abhängigkeit von dem Vorzeichen der Differenz $K \cdot \dot{M}^2 \cdot T/p - P_s$ ein um 0 oder 180 Grad phasenverschobenes Signal, das über einen phasenabhängigen Gleichrichter die von einem umpolbaren Motor betriebene Drosselklappe steuert. Bei der Spannungsversorgung des Temperatur-Meßwiderstandes und der Stauscheibenbrücke war besonders zu beachten, daß die beiden speisenden Transformatorkwicklungen voneinander und von der Primärwicklung abgeschirmt sind, um eine kapazitative Beeinflussung zu verhindern.

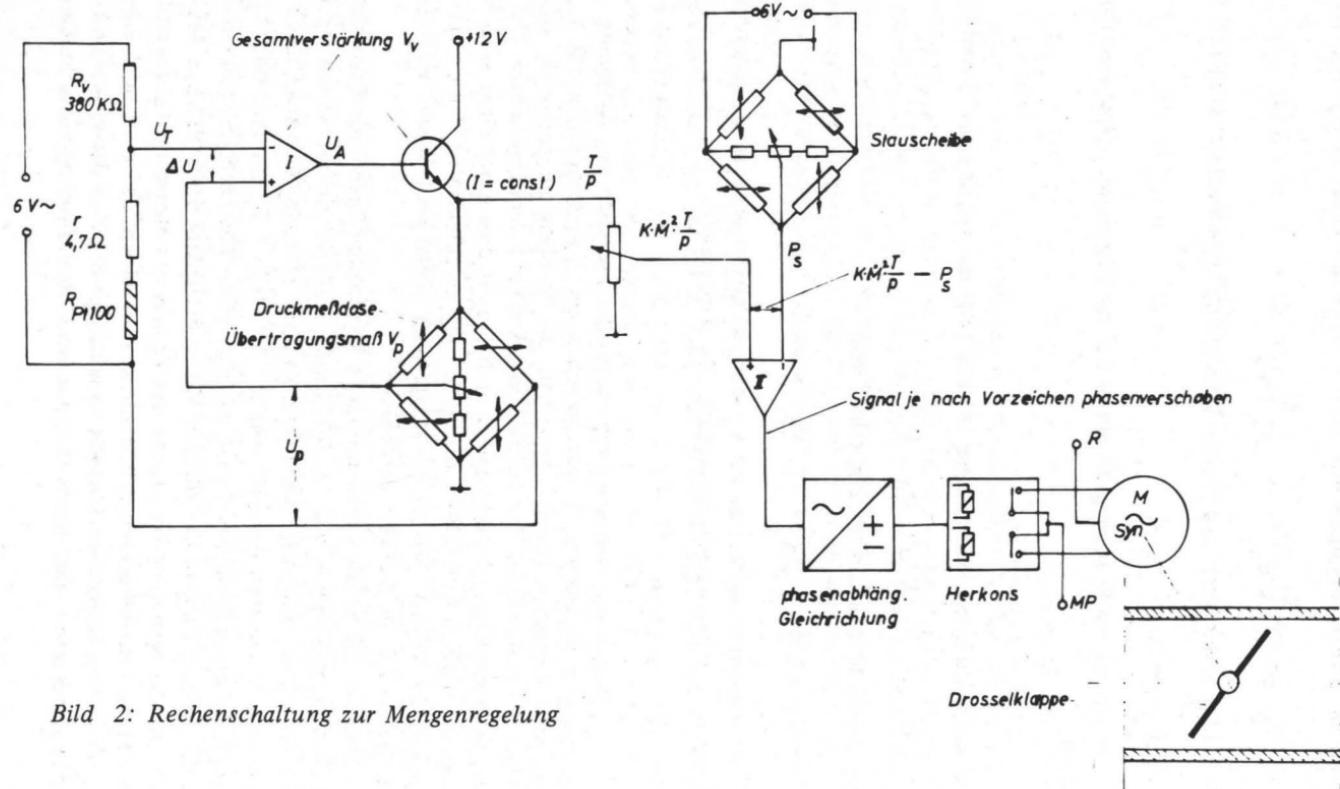


Bild 2: Rechenschaltung zur Mengenregelung

Das Verhalten des Regelkreises zeigen die Bilder 3 und 4. Der Regler vergleicht die aus der Rechenschaltung zur Sollwertkorrektur gewonnene Führungsgröße

$$w = K \cdot \dot{M}^2 + T/p \quad (14)$$

mit der umgeformten Regelgröße P_s . Die aus dem Vergleich abgeleitete Stellgröße y ist eine Funktion der Größen w und P_s :

$$y = f(P_s - K \cdot \dot{M}^2 - T/p) \quad (15)$$

Rechenschaltung zur Sollwertkorrektur

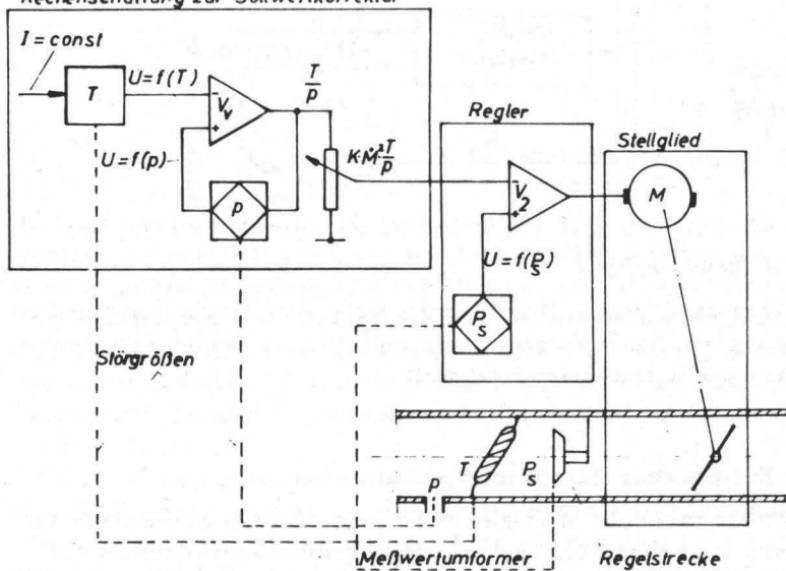


Bild 3: Regelkreis

Ungewöhnlich ist bei dieser Art der Regelung die Korrektur des Sollwertes, die von der einfachen Beziehung (6) ausgeht. Die Möglichkeit dazu ist durch Festwertregelung des am Potentiometer eingestellten Mengenstroms gegeben. Die sonst übliche Störgrößenaufschaltung würde eine wesentlich kompliziertere mathematische Beziehung und größeren elektronischen Aufwand erfordern.

Das Zeitverhalten des Kreises wird durch das Zeitverhalten der einzelnen Meßfühler bestimmt. Für den temperaturabhängigen Widerstand kann eine Übergangsfunktion erster Ordnung und sehr kleiner Zeitkonstanten angenommen werden. Das Federsystem der Druckmeßbrücke ist eher von nullter Ordnung. Am Ausgang des zweiten Verstärkers ist bereits mit einer Übergangsfunktion zweiter Ordnung zu rechnen, da das Feder-Masse-System der Stauscheibenanordnung im günstigsten Falle ein Zeitverhalten

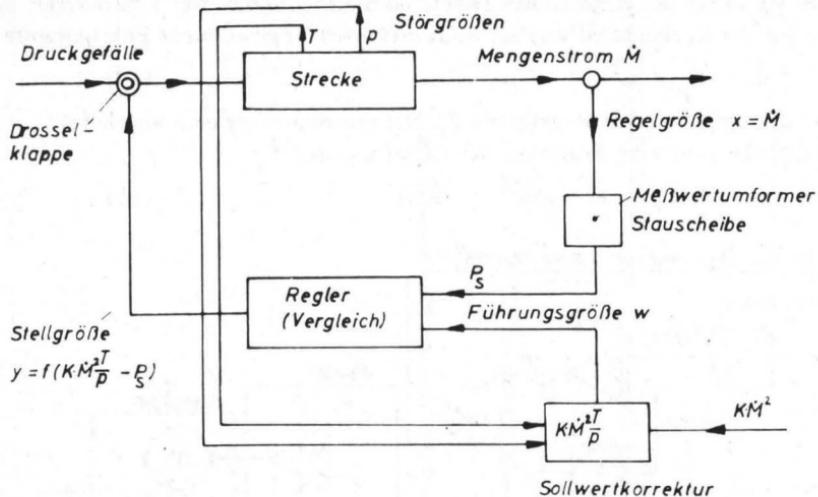


Bild 4: Blockschaltbild

zweiter Ordnung besitzt. Der Motor des Stellgliedes hat ein integrales Verhalten mit sehr hoher Integrationszeitkonstanten, so daß die Schwingungsfähigkeit des Systems unterdrückt wird.

3.4 Kalibrierung des Durchflußreglers

Die Wirkungsweise der Meßfühler in der Regelschaltung wurde durch Veränderung ihrer Meßgrößen überprüft. Dazu wurden hinter dem zweiten Operationsverstärker der phasenabhängige Gleichrichter und der Motor des Stellgliedes abgekoppelt, so daß an dieser Stelle ein Spannungssignal gemessen werden konnte. Die Meßwerte entsprachen den gestellten Genauigkeitsanforderungen. Durch Störeinwirkungen vom Netz, die trotz Vorschalten von Entstörbausätzen nicht beseitigt werden konnten, trat eine Nullpunktverschiebung von etwa 0,8 Volt auf. Ebenfalls war allen Kurven ein Abknicken bei einer Spannung von 5,6 Volt gemeinsam. Für den Regler ergeben sich daraus die Einsatzbereiche, deren Grenzen bei Inbetriebnahme nicht über- bzw. unterschritten werden dürfen.

Eine Überprüfung der Regelung auf Konstanz des Durchsatzes bei zunehmender Filterverstopfung, simuliert durch langsames Schließen eines vor dem Filter angeordneten Ventils, ergab folgende Werte :

\dot{V}_{Rot}	p	p'	Bemerkung
l/min	Torr	Torr	
72 - 73	-24 - -25	-156 - -159	
73,5	-27	-155	Gasuhr: 72 - 73 l/min
73	-40	-156	
72,5	-65	-160	$p = 753 \text{ Torr}$
75	-86	-156	$t_{\text{Raum}} = 20^{\circ}\text{C}$
73	-120	-160	$p_{\text{Pumpe}} = 0,3 \text{ at}$
72	-130	-162	
72	-137	-161	
72	-152	-160	
70	-180	-160	Drosselklappe ganz offen

Die Regelstrecke befand sich bei dem benutzten Versuchsaufbau auf der Reingasseite hinter dem Filter und war durch Schlauchleitungen über ein Rotameter und eine Balgengasuhr mit der Absaugpumpe verbunden. Die Unterdrücke p und p' wurden hinter dem Filter bzw. hinter der Regelstrecke zwischen Rotameter und Gasuhr gemessen. Der Momentanwert des Durchsatzes konnte am Rotameter abgelesen werden, während die Gasuhr zur genaueren Einstellung des gewünschten Durchsatzes am Nebenschlußventil diente.

Die Durchsatzwerte entsprachen den später im praktischen Einsatz zu erwartenden Absaugmengen. Die Abweichungen vom vorgegebenen Sollwert betragen unter Berücksichtigung aller Einflußfaktoren $\pm 2,5\%$. Sie sind zum Teil auf technische Unvollkommenheiten bei der Herstellung zurückzuführen. Weitere Meßreihen zeigten ein ebenso günstiges Verhalten. Auch beim späteren Einsatz des Reglers am Abgaskanal eines Kraftwerkes bei Temperaturen von etwa 135°C konnte keine Beeinträchtigung festgestellt werden.

Die Dichtigkeit der gesamten Rohrstrecke wurde bei geschlossenem Absperr-Kugelhahn, der sich vor dem Filter befand, festgestellt. Es ergab sich ein Durchflußwert von 0,005 l/min, der auf die Genauigkeit der Messungen keinen Einfluß mehr ausübt.

4. Wägung und Tarierung

4.1 Waage

Zur Wägung wird eine elektromagnetische Kompensationswaage nach *Gast* (4, 5) benutzt. Damit ist eine Fernübertragung und Registrierung des Meßwertes gegeben.

Sie besteht im Prinzip aus zwei dünnwandigen Aluminiumholmen, die

durch Querstäbe miteinander verbunden sind. Zur Lagerung dienen Spannbänder, deren Torsionsmoment bei der vorliegenden Betriebsart der Waage zu vernachlässigen ist. Zwei gehärtete Kupfer-Beryllium-Federn, über die die Spannbänder geführt sind, erzeugen eine Vorspannung von etwa 1 Kp, um die Lage des Balkens zu definieren. Eine übermäßige Beanspruchung der Spannbänder, die zum Bruch führen könnte, wird durch zwei Abfanghülsen verhindert, die mit geringem radialen Abstand über die Spannbandsfestigungen am Waagebalken geschoben sind.

Am kürzeren Arm des Waagebalkens befindet sich ein gabelförmiger Lastaufnehmer, der das Filter aufnimmt. Er ist mit dem Balken durch zwei Spannbandabschnitte gelenkig verbunden, wobei durch die doppelte Aufhängung eine Drehung um die Längsachse des Aufnehmers stark erschwert wird. Pendelbewegungen werden von einer Wirbelstrombremse unter dem Lastaufnehmer gedämpft.

Auf der anderen Seite des Balkens befindet sich die Schwenkspule, die sich zwischen zwei U-Magneten, in deren Höhlungen mit 440 KHz beschickte Feldwicklungen eingeklebt sind, frei bewegen kann. Außerdem gestattet auf dieser Seite ein verschiebbares Tariergewicht einen Vorabgleich.

Die bei Belastung in der Drehspule induzierte Wechselspannung ist in kleinen Bereichen näherungsweise eine lineare Funktion des Auslenkwinkels. Durch Verstärkung und phasenabhängige Gleichrichtung lässt sich ein Gleichstromsignal erzeugen, daß dem Drehwinkel nach Größe und Vorzeichen entspricht. Dieses wird über eine elektrische Weiche, die den HF-Kreis abtrennt, in die Drehspule rückgeführt und ruft durch elektromagnetische Wechselwirkung mit dem Feld der beiden Permanentmagnete ein kompensierendes Drehmoment hervor, das den Waagebalken in die Ausgangslage zurückzutreiben sucht. Dadurch können auch unter Last keine nennenswerten Schwerpunktverlagerungen auftreten. Im Gleichgewicht besteht Proportionalität zwischen aufgebrachtem Gewicht und eingeprägtem Gleichstrom durch die Schwenkspule.

Der Lastproportionale Gleichstrom kann grundsätzlich als Spannungsabfall an einem Arbeitswiderstand durch ein Meßinstrument als Maß für das aufgelegte Gewicht angezeigt oder registriert werden. Im vorliegenden Falle ist der Arbeitswiderstand der Spule unter Verwendung eines Hilfswiderstandes als Stromteiler vorgeschaltet. Durch Verändern seines Wertes wird der Grundmeßbereich und damit auch die Stärke der elektromagnetischen Kopplung eingestellt. Aus Gründen der Tragfähigkeit der Waage, die bis etwa 600 mg gesteigert wurde, mußte die Kopplung sehr stark eingestellt werden, was eine geringe Anzeige im mV-Bereich zur Folge hatte.

Die Balkenspule ist auf Resonanz mit der Frequenz der Feldspulen abgestimmt. Dadurch besitzt die Amplitude des zum Verstärker gelangenden

Signals ein Maximum, und es tritt außerdem kein elektrodynamisches Richtmoment durch Rückwirkung des induzierten Stromes auf. Eine weitere Fehlerquelle kann durch Verwendung abgeschirmter Kabel für die Schwenkspule und die Hochfrequenz-Feldspulen vermieden werden. Der weitgehend symmetrische Aufbau der Schaltung bewirkt zusammen mit einer konstanten Betriebsspannung eine gute Nullpunktikonstanz der Waage. Die Nullpunktunsicherheit liegt unter günstigen Bedingungen bei einigen Mikrogramm. Ein Differenzverstärker, der der Balkenspule einen Ausgleichstrom zuführt, gestattet über ein Potentiometer, das die Basisspannung der beiden Transistoren bestimmt, einen Feinabgleich.

Die Kalibrierung zeigte im Bereich von 0 bis 500 mg Belastung ein vollkommen lineares Verhalten der Waage. Die Konstante beträgt 4,17 mg/mV bei einer Temperatur von 55°C.

4.2 Tarierung

Da der Staub zusammen mit dem Filter gewogen wird, müssen unterschiedliche Filtergewichte austariert werden. Aus Genauigkeitsgründen wird der Tarierstrom, den ein gegengekoppelter Operationsverstärker der Schwenkspule zur Kompensation einer Auslenkung zuführt, digital eingestellt. Dazu dienen zwölf, um den Faktor zwei in ihren Werten gestufte Präzisionswiderstände, die im Pfad des invertierenden Eingangs liegen. Die Größe des Ausgangsstroms hängt nun davon ab, welche der parallelgeschalteten Widerstände eingeschaltet werden.

Bei der vorausgesetzten Quantisierung der Widerstände nach Potenzen der Zahl zwei beträgt die Güte der Tarierung in Abhängigkeit vom Quantisierungsfehler der kleinsten Einheit

$$f = 2^0 / \sum_{i=1}^{12} 2^i = 2,5 \cdot 10^{-4}. \quad (16)$$

Maßgebend für die Genauigkeit des Tarierstroms sind die Toleranzen der kleinsten Widerstände, die den größten Strom führen. Durch Verwendung gealteter Manganin-Drahtwiderstände betragen diese für die ersten fünf Widerstände $\pm 0,1\%$. Aus Gründen der Kostenersparnis sind für höhere Werte Metallschichtwiderstände mit einer Toleranz von $\pm 0,5\%$ eingesetzt worden, deren größere Abweichungen keinen Einfluß mehr auf die Genauigkeit ausüben. Um Spannungsschwankungen durch den Temperaturkoeffizienten der Balkenspule zu verhindern, wird die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers, die über einen kleinen Strombegrenzungswiderstand abfällt, von einem hochohmigen NTC-Widerstand zum nicht invertierenden Eingang rückgemeldet.

Die für eine Tarierung zur Auswahl kommenden Widerstände werden von Miniaturrelais geschaltet, die wiederum von einer impulssteuerten

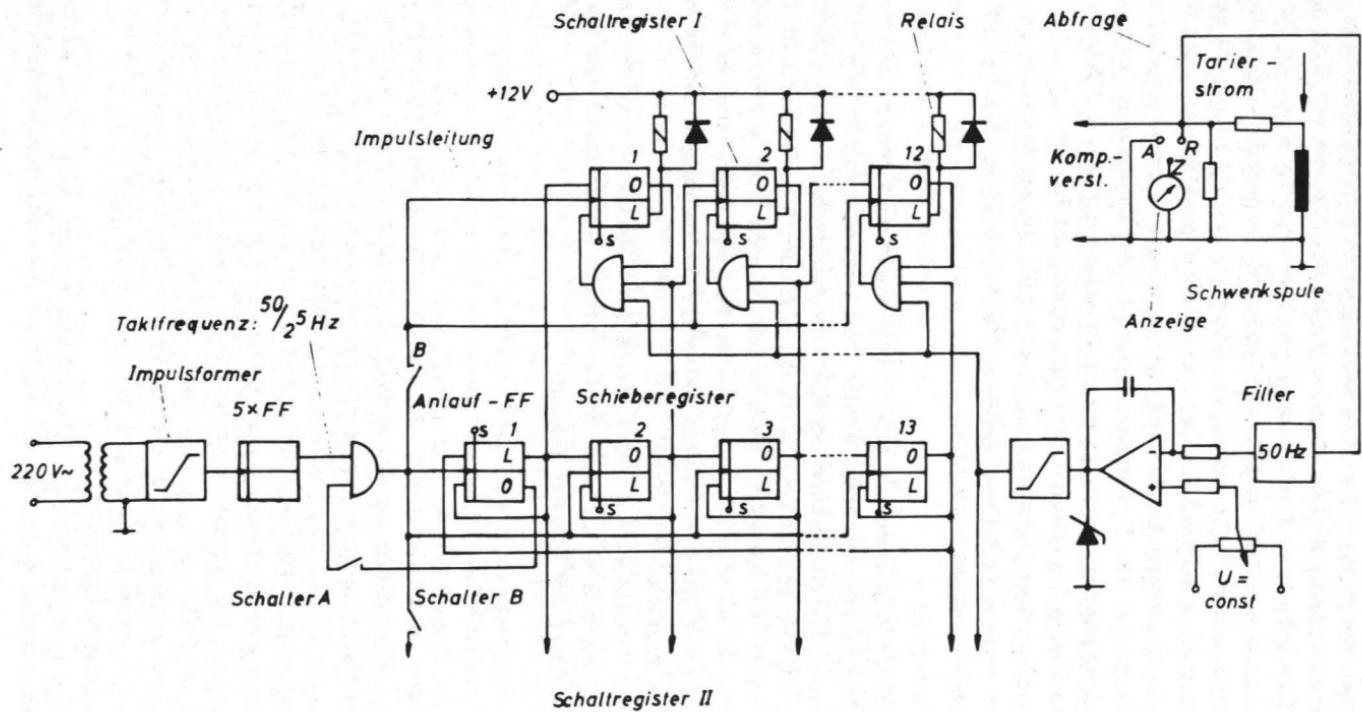


Bild 5: Logikschaltung der digitalen Tarierung

Logikschaltung betätigt werden (Bild 5). Diese besteht im wesentlichen aus einem Impulsteil, einem Ring-Schieberegister, einem Schaltregister und dem Abfrageverstärker. Das Schieberegister wird mit einer Frequenz von $50/2^5$ Hz, die ein Netztrafo über einen Impulsformer und eine nachgeschaltete Flip-Flop-Kette liefert, getaktet. Ein Und-Gatter, dessen zweiter Eingang mit dem tiefliegenden Ausgang eines Anlauf-Flip-Flops des Schieberegisters verbunden ist, startet den Zyklus durch kurzes Öffnen des Schalters A. Dieser Eingang erhält daraufhin L-Potential, und die am ersten Eingang anliegenden Impulse können durchlaufen. Wenn der durchgeschobene Impuls das erste Flip-Flop wieder erreicht, wird bei geschlossenem Schalter A der Zyklus unterbrochen, da jetzt durch Umschalten des Anlauf-Flip-Flops der zweite Eingang des Und-Gatters wieder tief liegt.

Das Schaltregister wird ebenfalls von den am Ausgang des Und-Gatters erscheinenden Impulsen getaktet. Das Umschalten der einzelnen Flip-Flops ist hierbei durch die Verbindung ihrer vorbereitenden Eingänge mit den entsprechenden Ausgängen im Schieberegister gewährleistet. Die hochliegenden Ausgänge des Schaltregisters steuern die Miniaturrelais an.

Die Entscheidung, welche Widerstände zur Auswahl kommen, wird von einem Abfrageverstärker getroffen, der wie das Anzeigegerät sinngemäß von der Schwenkspule ein Spannungssignal erhält. Zur Unterdrückung von Brummspannungen, die den Verstärker zu Schwingungen anregen könnten, wurde ihm ein Netzfilter vorgeschaltet. Im Falle eines zu geringen Tarierstroms gibt der Verstärker ein positives Signal an einen Impulsformer weiter, der im folgenden einem zu jedem Flip-Flop des Schaltregisters zugehörigen Und-Gatter ein O-Signal zuführt. Auf diese Weise kann ein bereits gesetztes Flip-Flop bei der nächsten Impulsflanke wegen der Rückkopplung über das Und-Gatter zu seinem vorbereitetenden Eingang nicht mehr zurückschalten, und der Tarierwiderstand bleibt so eingeschaltet. Liefert der Abfrageverstärker ein negatives Signal, so erhält das entsprechende Und-Gatter über den Impulsformer ein L-Signal, das jetzt an den rückgekoppelten Eingang des Schalt-Flip-Flops weitergegeben wird. Dadurch schaltet dieses bei der nächsten Impulsflanke um, und der Tarierwiderstand wird wieder gelöscht.

Während des Tarievorganges ist das Anzeigegerät durch ein prellfreies Quecksilber-Relais abgeschaltet, da sonst die Über- bzw. Unterspannungssignale bei Zu- und Abschalten der Tarierwiderstände vom Anzeigegerät aufgenommen würden. Bild 6 zeigt diese Signale auf einem Schreibstreifen. Die geringen Schwingungen während der einzelnen Schaltstufen lassen erkennen, daß die Waage bei jedem Tarierschritt eine leichte Bewegung ausführt. Um diese abklingen zu lassen, wurde die Taktfrequenz auf den relativ niedrigen Wert von $50/2^5 = 1,56$ Hz festgesetzt. Bei der

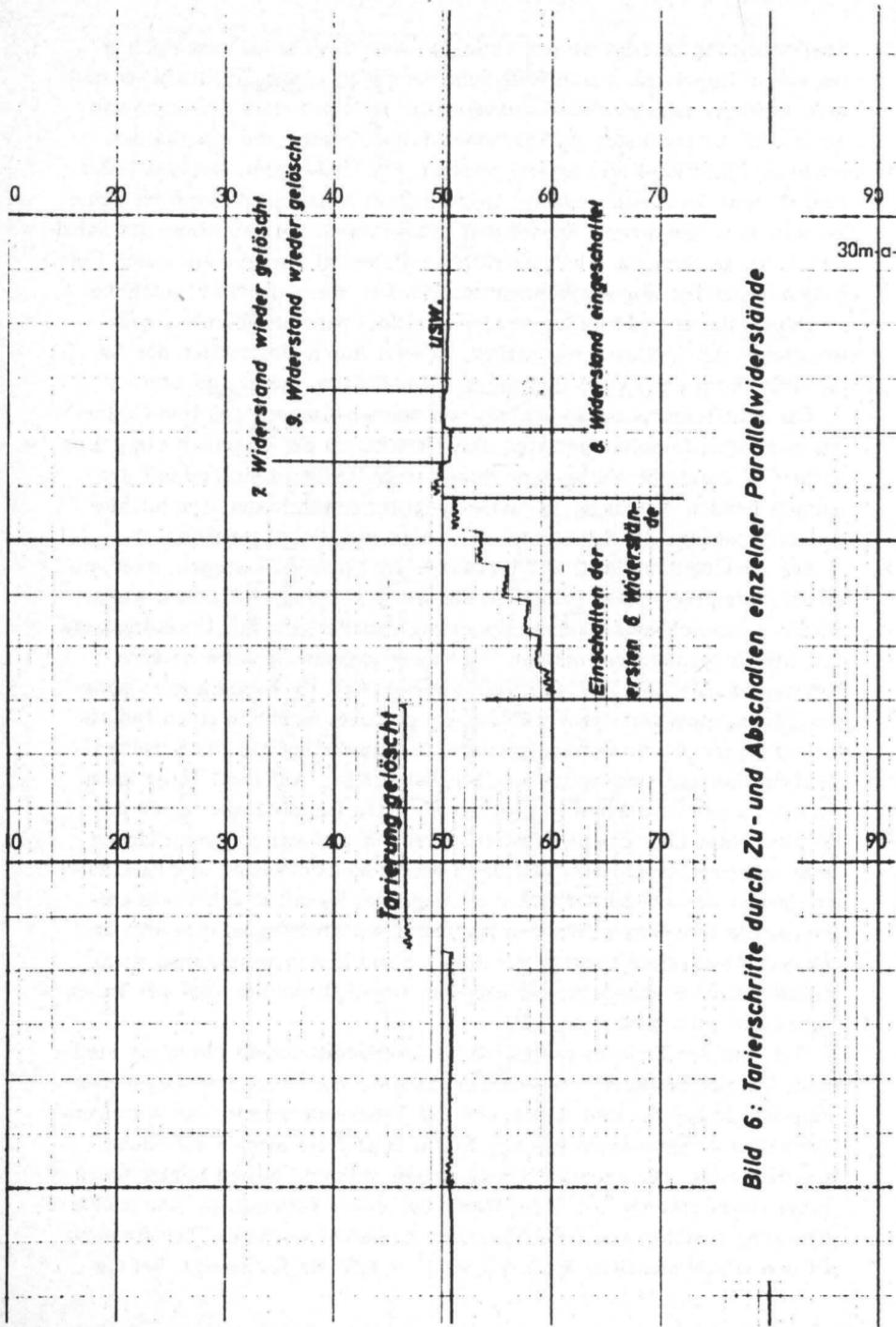


Bild 6: Tarierschritte durch Zu- und Abschalten einzelner Parallelwiderstände

Wägung braucht im umgekehrten Falle der Abfrageverstärker nicht abgeschaltet zu werden, da das Schieberegister nur bei Öffnen des Schalters A anläuft.

5. Mechanik des Meßgerätes

5.1 Automatischer Ablauf

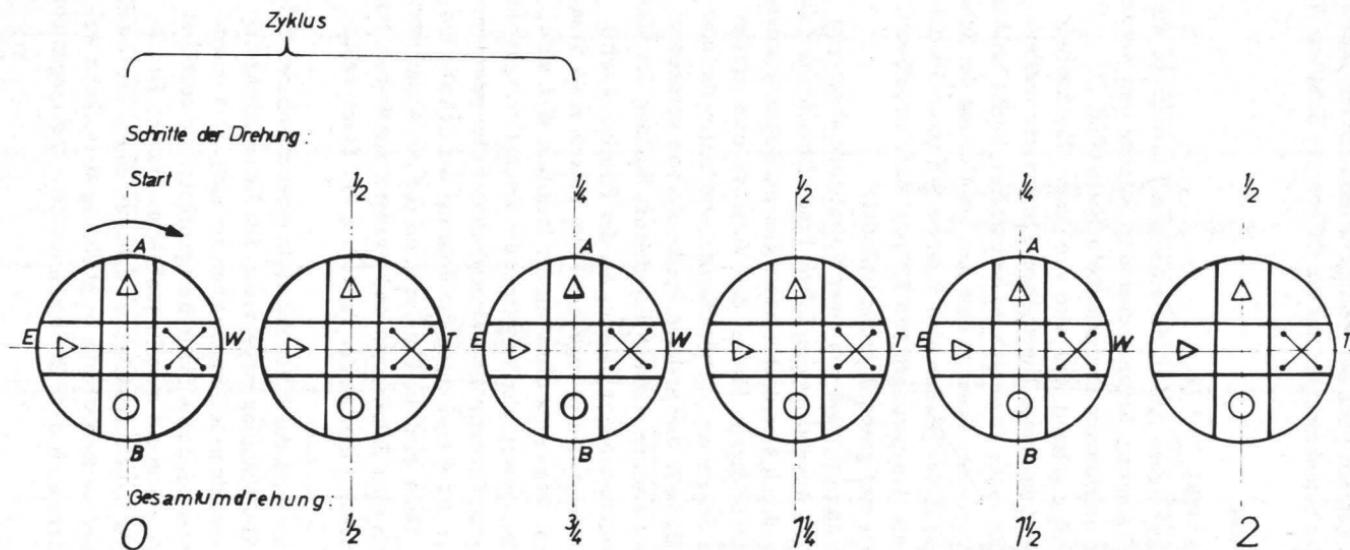
Für den automatischen, zyklischen Ablauf der einzelnen Teilvergänge wie Bereitstellen des Filters, Tarierung, Staubabscheidung, Wägung und Verwerfen des Filters, wird eine umlaufende Drehscheibe benutzt (Bild 7).

Sie ist in ihrer Mittelachse gelagert und wird von einem Gleichstrom-Getriebemotor über einen Zahnriemen angetrieben. Ein Arretierungsbolzen, der an der Ankerwelle eines Zugmagneten befestigt ist, klinkt bei Auslösung des Magneten mittels einer Feder in eine Nut am Umfang der Scheibe ein und fixiert diese so in der gewünschten Position. An ihrer Oberflächen sind vier 12 cm breite Aussparungen von 1,5 mm Tiefe eingelassen, in deren Mitte sich jeweils eine große Bohrung befindet.

Das Filter wird mit Transportrollen von einer Vorratsrolle abgezogen und an der Position E in die Aussparung geschoben. Eine Lichtschranke, die am Ende der Aussparung durch Überdecken einer kleinen Bohrung unterbrochen wird, stoppt nach erfolgtem Einlauf den Vorschub und schaltet eine exzenterbetriebene Schere ein, die gleichlange Abschnitte abtrennt.

Unter der Annahme, daß alle drei anderen Positionen von vornherein ebenfalls mit Filtern besetzt waren, können bei gleicher Stellung der Scheibe folgende Vorgänge hintereinander ablaufen: An der Position A wird ein bereits tariertes, bestäubtes und gewogenes Filter mittels eines Saugrohres auf pneumatischem Wege verworfen. An der Position W/T wird ohne Störung durch andere bewegliche Vorgänge, die Erschütterungen der Waage hervorrufen könnten, ein tariertes und bestäubtes Filter gewogen, indem der Lastaufnehmer der Waage durch die Bohrung der Scheibe hindurch das Filter anhebt. Dazu wird die Plattform, auf der die Waage montiert ist, von einem Motor über Zahnriemen und Exzenter angehoben. Nach der Wägung wird ein tariertes Filter an der Position B mit Staub beaufschlagt.

Zur Teilstromentnahme wird das Filter mit Hilfe eines dehnbaren Teflon-Faltenbalges in die Absaugleitung eingebracht. Die Einspannung des Filters (Bild 8) geht im einzelnen folgendermaßen vor sich: Von einem motorbetriebenen Exzenter wird eine Platte hochgedrückt, die über drei geführte Gleitstangen mit einem auf dem Faltenbalg montierten Druckflansch verbunden ist. Der Faltenbalg selbst ist dabei an einem ortsfesten Flansch gelagert, von dem die Rohrstrecke rechtwinklig abknickend weitergeführt wird und in dem auch die Führungshülsen der Gleitstangen eingelassen sind.



E : Einschub des Filters
 A : Auswurf des Filters
 B : Bestäubung
 T : Tarierung
 W : Wagung

Bild 7: Prinzipieller mechanischer Ablauf des Filtertransports

Bild 7: Prinzipieller mechanischer Ablauf des Filtertransports

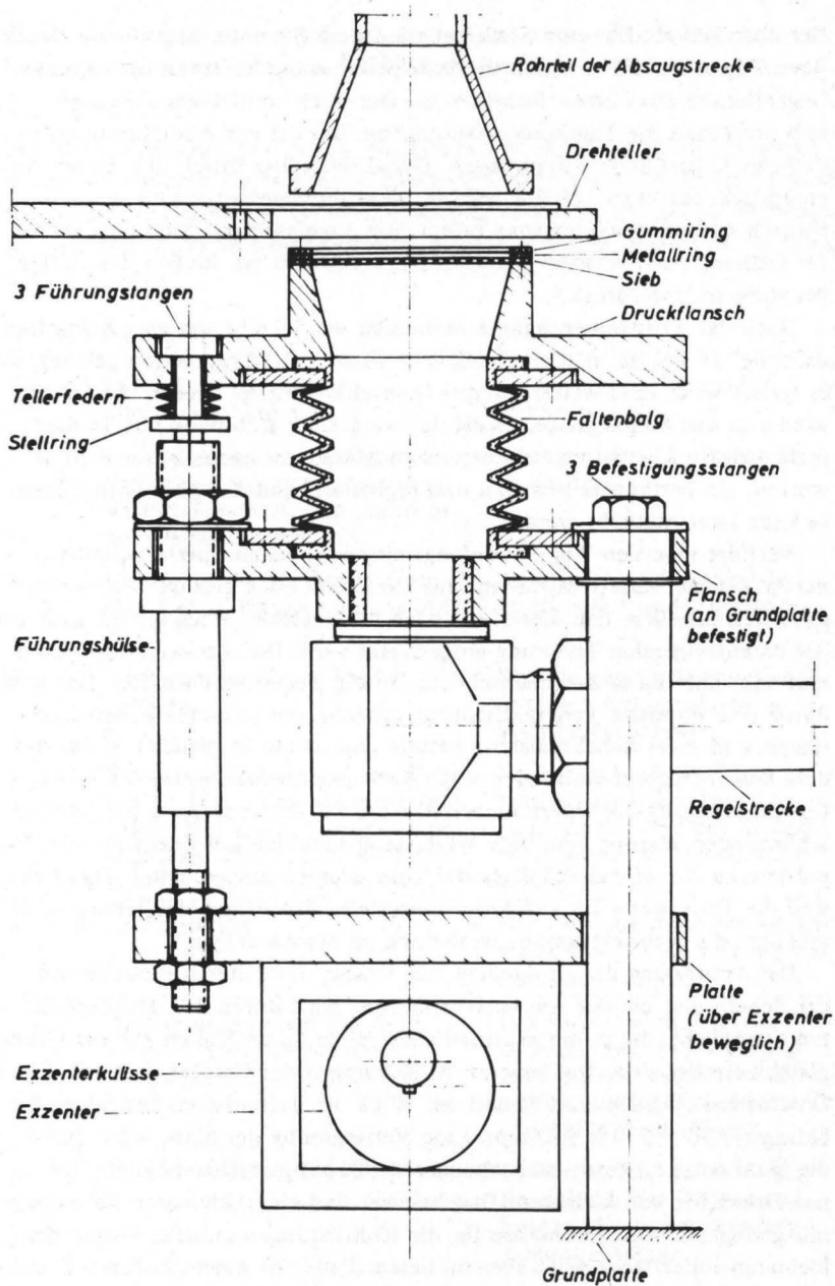


Bild 8: Mechanik der Filtereinspannung

Der über Tellerfedern und Stellringen auf dem Exzenter abgestützte Druckflansch hebt das Filter durch die Scheibenbohrung hindurch bis zu einem Gegenflansch des oberen Rohrteils an. Der noch verbleibende Exzenterhub preßt nun die Tellerfedern zusammen, um die zur Abdichtung erforderliche Anpreßkraft aufzubringen. Damit das Filter durch den hohen Anpreßdruck, der etwa 100 Kp beträgt, nicht durchgestanzt wird, ist der Flansch mit einem Gummiring belegt. Ein engmaschiges Sieb, das über die Öffnung des Flansches gespannt ist, verhindert ein Reißen des Filters bei starkem Unterdruck.

Nach der Teilstromentnahme dreht sich die Scheibe um eine halbe Umdrehung, so daß das neu eingeschobene Filter zur Wägeposition gelangt, wo es tariert wird. Eine weitere viertel Umdrehung bringt danach die Scheibe wieder in die Ausgangslage. Es erfolgt wieder der Filtereinschub in die nicht belegte Aussparung, ein bereits endgültig gewogenes Filter wird verworfen, ein bestäubtes gewogen und registriert, und das kurz vorher tarierte kann jetzt bestäubt werden.

Verfolgt man den Weg des anfangs eingeschobenen Filterabschnittes, der inzwischen tariert wurde und bis zur Bestäubung gelangt war, weiter, so ist festzustellen, daß dieser erst nach der nächsten Wägung und nach der der darauffolgenden Tarierung ausgewertet wird. Der Tarawert des Filters muß also über diese Zwischenschritte hinweg gespeichert werden. Das wird durch eine doppelte Tarierenrichtung erreicht, die aus zwei Widerstandssätzen und zwei Schaltregistern besteht, die beide in gleicher Weise mit dem Schieberegister verbunden sind. Nach jeder Tarierung wird der inverterende Eingang des Operationsverstärkers auf die andere, zu der jetzt anschließenden Wägung benötigte Widerstandskombination gelegt und die Impulsleitung von einem Schaltregister zum anderen umgeschaltet. Dadurch sind die Tarierwerte bis auf Abruf eingestellt. Mit dieser Maßnahme ist es möglich, die Meßwertausgabe wesentlich zu beschleunigen.

Die Anordnung des Drehtellers, der Waage, der Filtervorratsrolle mit der Schere und die der Auswurfvorrichtung wird durch drei Montageplatten ermöglicht, die in der erforderlichen Höhe durch Säulen auf der Grundplatte befestigt sind. Die äußeren Abmessungen des Gerätes sind mit dem Durchmesser des Drehtellers und der Höhe des Faltenbalges festgelegt. Sie betragen 690 x 530 x 550 mm. Eine Verringerung der Maße wäre durch die Wahl eines kürzeren und schmäleren Filterabschnittes möglich, der einen Drehteller von kleinerem Durchmesser und einen kleineren Faltenbalg mit geringeren Anschlußmaßen für die Rohrleitungen zuließe. Wegen der kleineren Filterfläche wäre aber in diesem Falle mit einem höheren Druckabfall hinter dem Filter zu rechnen.

Als Werkstoff für die einzelnen Teile einschließlich der Grundplatte

dient, mit Ausnahme der Befestigungsstangen, die aus St 37 bestehen, aus Gewichtserspartisgründen ein DUR-Aluminium.

5.2 Steuerung

Der Meßzyklus wird von einem Programmwerk mit 30 Nockenschaltern, das neben anderen Aggregaten in einem Steuergerät getrennt untergebracht ist, gesteuert. Die nachfolgende Zusammenstellung der einzelnen Aggregate, die von den Nockenschaltern betätigt werden, soll eine Übersicht der Schaltfunktion geben:

Pos.Nr.	Aggregate	Bemerkung
1	Filter-Transportmotor, Photozelle, Schere	Sie werden zu Beginn des Zyklus betätigt.
2	Laborpumpe, Filterhubmagnet, Schwenkmotor der Saugleitung für Filterauswurf, Umschaltmagnet des Dreiwegeventils	Dieser Vorgang läuft parallel zu Position 1
3	Hubmotor der Waageplattform über Relais, Waagespannung über Relais	Sie werden nach Ablauf der Positionen 1 und 2 wirksam.
4	Anzeigeninstrument über Hg-Relais	Die Anzeige der Wägung wird erst nach Ruhigstellung der Waage eingeschaltet.
5	Faltenbalg-Hubmotor über Kleinschütz, Motor des Absperr-Kugelhahns, Motor der Absaugpumpe über Kleinschütz, Stellglied des Durchflußregeler über Relais	Nach Abschluß der Wägung schließt der Faltenbalg die Rohrstrecke, und der Absaugvorgang mit der Durchflußregelung läuft an.
6	Zeitschaltuhr	Der Antriebsmotor der Nockenwalze wird für die Zeit der Probenahme stillgelegt.
7	Arretierungsmagnet der Drehscheibe, Antriebsmotor der Drehscheibe	Der Magnet wird nach der Probenahme gelöst und betätigt über einen Endschalter den Antriebsmotor der Drehscheibe für eine halbe Umdrehung
8	Motor des Stellgliedes	Die Drosselklappe wird nach Beendigung der Mengenregelung wieder in ihre Ausgangsstellung gefahren.
9	Hubmotor des Waagetisches über Relais, Waagespannung über Relais	Die Waage wird zur Tarierung erneut eingeschaltet.

Forts. der Tabelle

Pos.Nr.	Aggregate	Bemerkung
10	Löschimpuls an freies Schaltregister über Nocke, Nullimpuls an Schieberegister über Nocke, Schalten des Anlauf-Und-Gatters über Miniatur-Relais, Umschalten in Speicherstellung der tarierten Widerstandsgruppe über Flip-Flop und Miniatur-Relais, Umschalten der Impulsleitung und der Leitung für Löschimpuls zum anderen Schaltregister über Flip-Flops und Miniatur-Relais	Nach Ruhigstellung der Waage wird das neu zu tarierende Schaltregister mit einer Impulsflanke ebenso wie das Schieberegister in Ausgangsstellung gebracht. Die Freigabe zur Tarierung erfolgt durch Öffnen der Verbindung zum Und-Gatter. Nach der Tarierung werden Schaltregister und Tarierwiderstände in die Speicherstellung umgeschaltet.
11	Arretierungsmagnet der Drehscheibe, Antriebsmotor der Drehscheibe	Die Drehscheibe bewegt sich um ein viertel Umdrehung wieder in Ausgangsposition.

Die Expositionszeit ist, unabhängig von den anderen ablaufenden Vorgängen, mit der Zeitschaltuhr variabel einzustellen. Die Zykluszeit von 90 s und die Expositionszeit bilden zusammen die Gesamtumlaufzeit.

5.3 Konditionierung

Um den Feuchtigkeitseinfluß bei der Wägung zu unterdrücken, ist das Gerät mit einem beheizten Aluminiumgehäuse umgeben. Außerdem wird ein Glasfaserfilter benutzt, das keine merklichen hygroskopischen Eigenschaften hat, da die Fasern selbst kein Wasser aufnehmen. Ein atmosphärischer Niederschlag kann durch Aufheizen der das Filter umgebenden Luft verhindert werden. Hierzu genügt eine Temperatur von ungefähr 55 °C, da ab 50 °C der Sättigungsdruck des Wassers in feuchter Luft schon so hoch liegt, daß der Partialdruck des vorhandenen Wasseranteils ihn unter normalen atmosphärischen Bedingungen kaum überschreiten kann.

Zur Aufheizung wird ein graphitgetränktes Glasfasergewebe verwendet, das sich unter Netzspannung aufgrund seines Flächenwiderstandes erwärmt. Es ist auf die innere Silikon-Moosgummi-Isolation der Deckplatte und zweier Seitenflächen aufgeklebt, so daß eine stabile Temperaturschichtung erreicht wird. Ein Zweipunktregler hält die vorgewählte Temperatur von etwa 55 °C mit einer Regelschwingung von 3 grd konstant. Im Betriebszustand ist kaum noch mit einem Sinken der Temperatur zu rechnen, da die abgasführende Rohrstrecke mit Heizbädern versehen ist, um eine Abkühlung des Gases unter den Taupunkt zu verhindern. Diese zusätzliche Aufheizung ist zusammen mit der Eigenwärme des Gases in der Lage, das einmal vorgewärmte Gerät im Beharrungszustand zu halten.

Die Konstanz der Temperatur im Gerät hat den weiteren wesentlichen Vorteil, daß thermische Änderungen der Induktion des permanenten Magnetfeldes der Waage ausgeschlossen werden und dadurch ihre erreichbare relative Genauigkeit verbessert wird. Da die Elektronik der Waage und die der Tarierung ebenfalls in dem temperierten Gerät eingebaut sind, werden Temperaturgänge bei den elektronischen Bauteilen vermieden. Die elektronische Schaltung wird durch An- und Abschalten des Heizgewebes nicht beeinflußt, da dieses vollkommen induktionsfrei ist. Durch die Aufheizung kann das Gerät unabhängig von äußeren klimatischen Bedingungen eingesetzt werden.

5.4 Probelauf der Anlage

Die Komponenten der Anlage wurden nach ihrer Fertigstellung im einzelnen geprüft und im Zusammenspiel untersucht. Bild 9 zeigt die gesamte Anlage.

Bei Probelaufen stellte sich heraus, daß die Schaltvorgänge der Magnete, Motore und Relais hochfrequente Störspannungen verursachten, die die gesetzten Flip-Flops der Tarierlogik umschalteten. Die Störungen breiteten sich durch galvanische sowie durch kapazitive und induktive Kopplung aus. Im ersten Falle wurden sie durch Bauelemente, wie Drosseln und Kondensatoren, begrenzt, im zweiten Falle durch Abschirmung und besondere Leitungsführung.

Ein weiterer Störfaktor waren elektrostatische Aufladungen der Filterabschnitte durch Reibung bei geringer Luftfeuchtigkeit. Es kam dadurch zu Anziehungskräften zwischen Filter und Drehscheibe, die sich beim Wägen als zusätzliche Gewichtsanzeige auswirkten. Eine sichere Entladung konnte schließlich durch radioaktive Strahlung erreicht werden. Dazu wurden Am-241-Folien eingesetzt, die das Filter schleifend berührten. Durch den nahen Kontakt konnten die α -Strahlen gut in das Filtermaterial eindringen, die Luft in den Hohlräumen ionisieren und die elektrostatische Aufladung beseitigen.

6. Kalibrierung des Meßgerätes

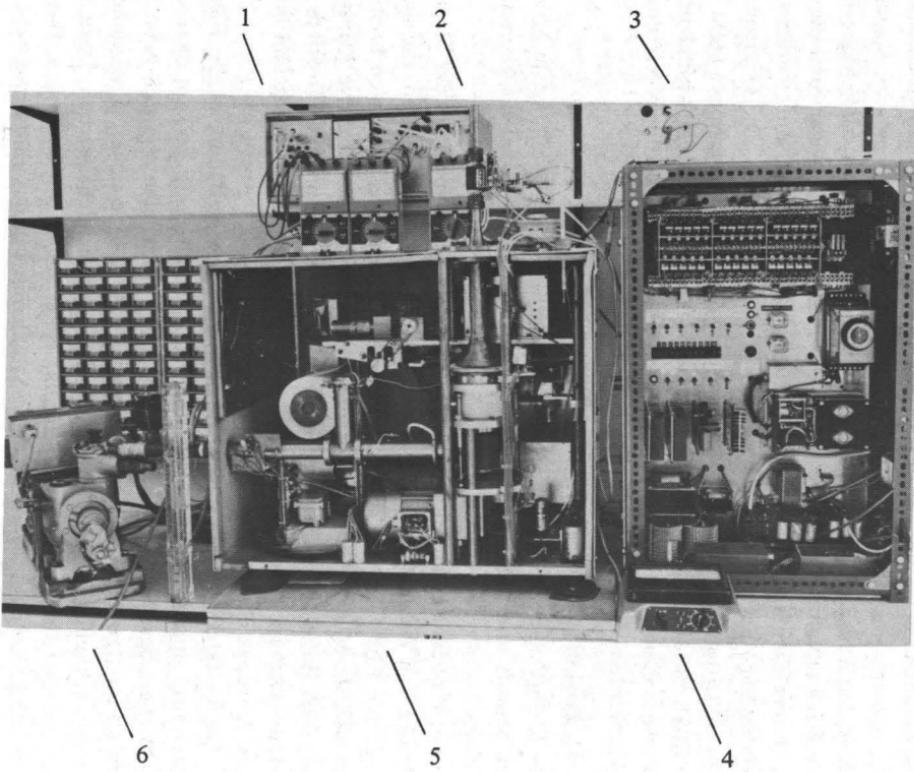
6.1 Durchführung der Messungen

Die Messungen wurden in dem Berliner Kraftwerk Rudow durchgeführt. Es ist mit steinkohlegefeuerten Kesseln ausgerüstet, die über starke Elektrofilter verfügen. Der durchschnittliche Staubgehalt im Reingas liegt während des normalen Betriebes etwa um 100 mg/Nm^3 (6).

Ein langer Reingaskanal eines Vierzug-Bensonkessels war wegen seiner geraden und waagerechten Streckenführung für die Untersuchungen besonders geeignet. Außerdem konnte hier ein konstanter Betriebszustand des Blockes vorausgesetzt werden, da der Kessel mit einer bestimmten Grund-

- 1 Durchflußregler
(Elektronik)
- 2 Absaugstrecke
- 3 Steuergerät mit
Programmwerk
und Zeitschaltuhr
- 4 Anzeigegerät
für Staubgewicht
- 5 Meßgerät mit Durch-
flußregelstrecke, Fil-
tereinspannung und
Filtervorratsrolle
- 6 Absaugpumpe

Bild 9: Gesamtansicht der Anlage



last gefahren werden muß. Seine maximale Dampf-Dauerleistung beträgt 310 t/h bei einer Leistungsabgabe im Normalbetrieb von 90 bis 100 MW. Die Absaugsonden des automatischen Meßgerätes und des zum Vergleich dienenden Klein-Staubmeßgerätes wurden von einer Stahlbühne aus durch angeschweißte Meßstutzen in den Abgaskanal eingeführt. Um auf den Gesamtstaubgehalt des Abgases schließen zu können, mußten die Messungen an einer repräsentativen Stelle für den Flächenmittelwert der Staubkonzentration durchgeführt werden. Dieser Meßpunkt wurde durch Netzmessungen der Geschwindigkeits- und Staubkonzentrationsverteilung ermittelt. Die interessierenden Daten des Abgases, dessen Taupunkt bei etwa 40 °C liegt, für diesen Punkt sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt:

Meßgröße	Meßwert	Meßverfahren
Gasgeschwindigkeit	13,67 m/s	Prandtlsches Staurohr
Gastemperatur	135 °C = 408 °K	Ni Cr Ni Thermoelement, DIN 43 765
Unterdruck im Kanal	– 2 Torr	Schrägrohrmanometer mit Al- koholfüllung
Gasdichte	0,876 Kg/m ³	Handanalyse mit Orsatapparat

Wegen des konstanten Betriebszustandes der Kesselanlage konnten auch über längere Zeiträume nur unwesentliche Änderungen der Gasdaten festgestellt werden.

Aus der Strömungsgeschwindigkeit des Abgases und dem Sondendurchmesser läßt sich die abzusaugende Gasmenge für den isokinetischen Fall berechnen. Um Stauzonen, wie sie nach *Walter* auch für die isokinetische Absaugung am Sondenrand und vor der Sonde auftreten können, zu verhindern, wurde die Absauggeschwindigkeit um 10 % höher als die Strömungsgeschwindigkeit angesetzt. Mit einem Sondendurchmesser von 11,8 mm, der für beide Sonden gilt, ergibt sich der in der Zeiteinheit abgesaugte Gasvolumenstrom \dot{V}_s zu

$$\dot{V}_s = 15,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi \cdot 11,8^2 \text{ mm}^2 = 99 \text{ l/min} \quad (17)$$

bei $T_s = 408 \text{ }^{\circ}\text{K}$ und $p_s = p_{\text{atm}} - 2 \text{ Torr}$

Mit der Idealen Gasgleichung kann dieser Wert auf den an der Gasuhr eingestellten und während der Absaugung konstant zu haltenden Volumenstrom \dot{V}_{GU} umgerechnet werden:

$$\dot{V}_{GU} = \dot{V}_s \cdot p_s T_{GU} / T_s p_{GU} \quad (18)$$

Bei numerischer Berechnung ist der jeweilige Baramoterstand einzusetzen. Eine genauere Berechnung des Gasvolumenstroms unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Feuchte im Abgaskanal und an der Gasuhr entfiel während der Messungen, da an die Handregulierung des Klein-Staubmeßgerätes nicht so hohe Genauigkeitsansprüche gestellt werden konnten. Erst bei der nachträglichen Auswertung im Labor wurden die unterschiedlichen Feuchten berücksichtigt. Bei den Messungen mit der Handsonde wurden getrocknete und gewogene Extraktionshülsen benutzt, die nach der Probennahme nochmals im Labor zu trocknen und zu wägen waren. Über den Wert des Volumenstroms \dot{V}_{GU} und über die Mittelwerte des Druckes p_{GU} und der Temperatur T_{GU} an der Gasuhr während der Absaugzeit wurde ein Meßprotokoll geführt.

Beim automatischen Meßgerät wurde der Durchflußwert, der dem des Handgerätes entsprach, am Durchflußregler eingestellt. Die Konstanz der Durchflußmenge konnte an einem Rotameter und an einer Gasuhr unter Berücksichtigung der Temperatur und des Druckes, die beide zwischen Rotameter und Gasuhr abgelesen wurden, kontrolliert werden.

Es wurden über einen Monat etwa 200 Meßwerte aufgenommen. Um einen möglichst großen Bereich von Staubkonzentrationen zu erfassen, wurden Kalibrierungsmessungen bei drei verschiedenen Betriebszuständen des Kessels durchgeführt:

- a) Vollast mit Rußblasen: Maschinenleistung 95 MW
- b) Vollast ohne Rußblasen: Maschinenleistung 95 MW
- c) Minimale Benson-Last: Maschinenlast 50 MW

Die Absaugzeit wurde auf 10 min festgesetzt. Bei dieser Expositionszeit konnte einerseits noch mit einer guten zeitlichen Auflösung der Emissionswerte gerechnet werden, andererseits machten sich Zeitfehler beim An- und Abschalten der Pumpen und Wägefehler bei zu geringem Staubniederschlag noch nicht im Ergebnis bemerkbar. Eine Expositionszeit von 5 min läge entsprechend den bisherigen Erfahrungen noch gerade an der Grenze der erwünschten Genauigkeit. Eine weitere, wesentliche Steigerung des Auflösungsvermögens durch die Wahl noch kürzerer Zeiten wäre im vorliegenden Falle auch nicht möglich gewesen, da das Wechseln der Extraktionshülsen beim parallelbetriebenen Handgerät hier eine Grenze setzt.

Üblicherweise werden die ermittelten Staubgewichte auf den Normalkubikmeter des trockenen Abgases bezogen. Dazu mußte der Wasseranteil an der Gasuhr bekannt sein. Er ergab sich im vorliegenden Falle aus dem Sättigungsdruck p_w des Wasseranteils für die gemessenen Temperatur T , da an der Gasuhr Wasser ausfiel. Aus der Mengenbilanz für feuchte Luft erhält man damit für den Anteil \dot{V}_N der trockenen Luft unter Normalbedingungen:

$$\dot{V}_N = \dot{V} \frac{T_o \cdot p}{p_o \cdot T [1 + p_w/(p - p_w)]} \quad (19)$$

6.2 Statistische Auswertung

Zur Ermittlung der stochastischen Abhängigkeit der beiden parallel aufgenommenen Meßreihen wurde eine t-Verteilung angenommen, da beide als Stichproben unbekannter Grundgesamtheiten aufzufassen sind. Bei hoher Wertezahl geht allerdings die t-Verteilung schon in die *Gauss*-Verteilung über. Eine begründete Veranlassung, eine schiefe Verteilung der Häufigkeiten anzunehmen, bestand nicht, da die Meßergebnisse sehr weit von Null entfernt waren und auch nicht mehrere, voneinander unabhängige Einflußgrößen für den Staubgehalt im Kanal angenommen werden mußten.

Ausgehend von der Fragestellung der Kalibrierung wurde der mit dem Handgerät angezeigte Staubgehalt y als Funktion des vom automatischen Gerät angezeigten Staubgehaltes x angesehen. Die Betrachtung könnte natürlich umgekehrt in derselben Weise angestellt werden, wenn man die Bedeutung von x und y vertauscht.

Um festzustellen, ob eine lineare Regressionsanalyse durchführbar ist, wurden die Meßwerte zunächst auf ihren linearen, parabolischen, exponentiellen und potenzmäßigen Zusammenhang hin überprüft. Es ergaben sich im einzelnen folgende Korrelationskoeffizienten:

$$\begin{aligned} r &= 0,984 && \text{linear} \\ r &= 0,985 && \text{parabolisch} \\ r &= 0,91 && \text{exponentiell} \\ r &= 0,98 && \text{potenz} \end{aligned}$$

Demnach konnte für die Auswertung der Messungen eine einfache lineare Regression zugrunde gelegt werden (7).

Bild 10 zeigt die mittlere Regressionsgerade für einen Vertrauensbereich mit 95% - Sicherheit. Der zweiseitige Toleranzbereich für die Einzelmessungen ist ebenfalls mit einer Sicherheit von 95 % für 95 % aller Werte berechnet worden. Die Toleranz für den in der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ angegebenen höchstzulässigen Emissionswert von $y = 150 \text{ mg/Nm}^3$ beträgt $\pm 14,5 \%$. Die Auswertung wurde mit einer elektronischen Rechenanlage durchgeführt. Da keine Vergleichsuntersuchungen an einem Staubkanal mit definierter Strömungs- und Staubverteilung vorgenommen werden konnten, liegt die Vermutung nahe, daß die Abweichungen auch zum Teil auf instabile Strömungsverhältnisse in der Meßstrecke zurückzuführen sind.

Bei optischen Meßverfahren, die ebenfalls an demselben Abgaskanal untersucht wurden (8), ergaben sich vergleichsweise für den Korrelationsko-

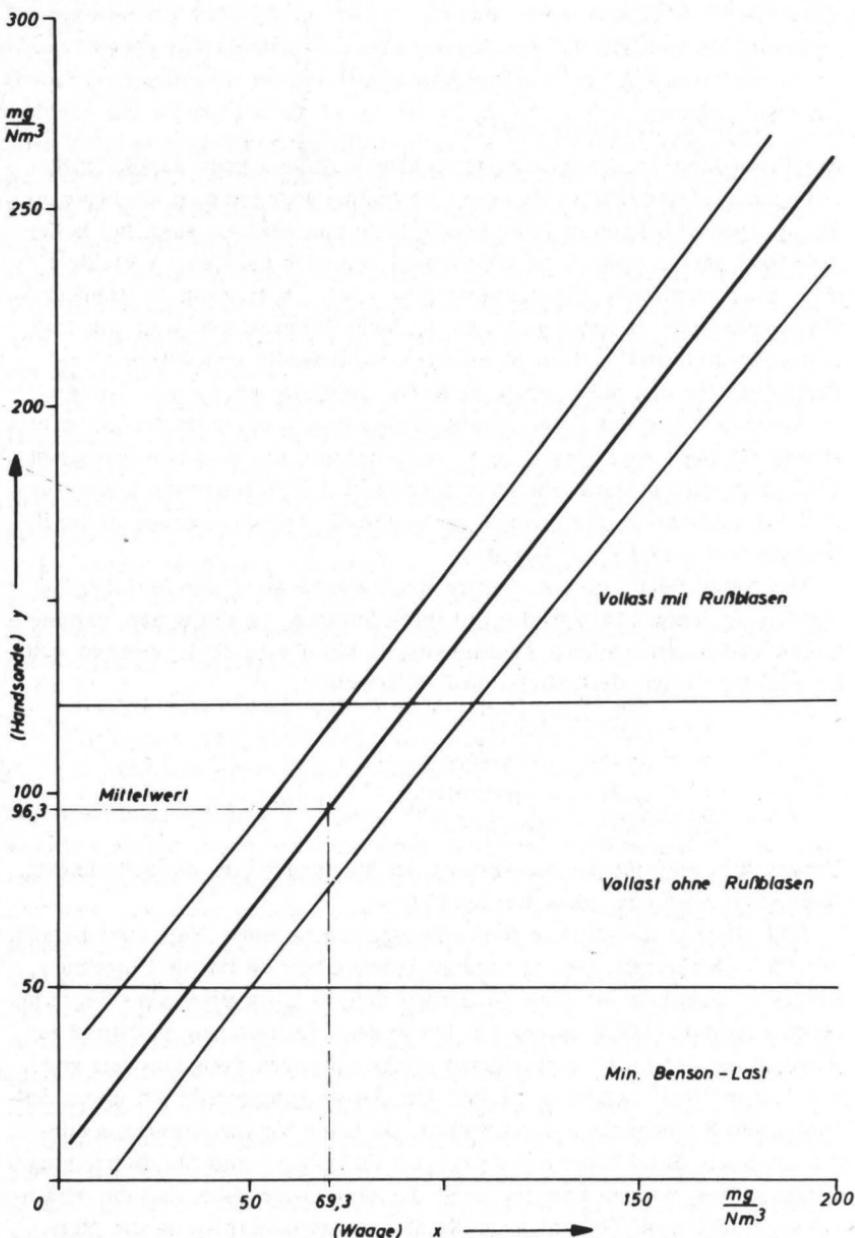


Bild 10: Mittlere Regressionsgerade mit 95% - Vertrauensbereich; Toleranzbereich der Einzelwerte mit 95% - Sicherheit für 95% aller Werte; $r = 0,98$

effizienten und die Toleranz des höchstzulässigen Emissionswertes folgende Werte:

$$r = 0,87$$

$$\Delta = \pm 39 \%$$

Außerdem ließ sich hier keine einheitliche Regressionsgerade für den ganzen Bereich vom minimalen Staubauswurf bis zum Rußblasen finden. Je nach Betriebszustand des Kessels und der damit verbundenen Korngröße der Flugascheteilchen mußte eine gesonderte Ausgleichsgerade berechnet werden, um den Toleranzbereich so gering wie möglich halten zu können.

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Entwicklung und Erprobung eines automatischen, gravimetrischen Meßgerätes für Staubemissionen, dessen Meßwerte quasikontinuierlich angegeben werden.

Zur Bestimmung der Staubkonzentration werden Gasproben aus einem Abgaskanal entnommen und gefiltert. Da sich die benutzten Filter während der Teilstromentnahme mehr und mehr verstopfen, muß der Gasdurchsatz nachgeregelt werden. Das geschieht mit Hilfe einer Stauscheibe als Meßwertumformer für den Mengenstrom auf der Reingasseite des Filters. Eine analoge Rechenschaltung zur Sollwertkorrektur berücksichtigt dabei Störeinflüsse durch Temperatur- und Druckschwankungen. Die Untersuchungen im Labor und am Abgaskanal eines Kraftwerkes bestätigen die Wirksamkeit des Reglers.

Als Waage zur Bestimmung des Staubniederschlags auf dem Filter wurde eine elektromagnetische Kompensationswaage nach *Gast* gewählt. Der Taraausgleich der Filterabschnitte wird vor jeder Bestäubung durch einen Hilfsstrom vorgenommen, den eine neu entwickelte Logikschaltung erzeugt.

Die Messungen am Abgaskanal eines Berliner Kraftwerkes dienten zur Kalibrierung des Gerätes nach einem allgemein anerkannten Verfahren, das in der VDI-Richtlinie 2066 angegeben ist. Beide Meßreihen ergaben einen streng proportionalen Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,98, der durch eine Regressionsanalyse statistisch gesichert wurde. Die Ergebnisse lassen erkennen, daß gravimetrische Messungen auch ohne nachträgliche Auswertung im Labor direkt am Meßort mit einem automatischen Gerät bei einer ausreichend guten Genauigkeit durchführbar sind.

Literatur

1. *VDI-Richtlinien 2066*: Leistungsmessung an Entstaubern. Mai 1966.
2. *Bohnet, M.*: Staubgehaltsbestimmung in strömenden Gasen mit Absaug-Sonden. *Chem.-Ing.-Technik* 39 (1967), Nr. 16, 972-977.

Literatur Forts.:

3. *Walter, E.:* Zur Problematik der Entnahmesonden für die Staubgehaltsbestimmung in strömenden Gasen. *Staub* **53** (1957), Nr.10, 880-898.
4. *Gast, Th.:* Bestimmung des Feststoffgehaltes heißer Abgase mit der elektrischen Mikrowaage. *Chem.-Ing.-Technik* **29** (1957), 262-266.
5. *Gast, Th.:* Probleme der Entwicklung elektronischer Waagen. *Bulletin, SEV* **53** (1962), Nr.22, 1061-1069.
6. *Schnitzler, H., Maier, O. und Jander, K.:* Meßstand für die Prüfung und Kalibrierung von registrierenden Staub- und Gasmeßgeräten in einem steinkohlengefeuerten Kraftwerk. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene H.33* (1970), 77-94
7. *Graf, Hennig, Stange:* Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik. Springer-Verlag, 1966.
8. *Schnitzler, H.:* Untersuchungen über die Eignung registrierender Geräte zur Messung des Staubgehaltes in Abgasen. *Gesundheits-Ingenieur* **90** (1969), Nr.10, 307-310.

Dr. L. Laskus

Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1

Wirkungsweise einer Anlage zur Datenerfassung für die Kalibrierung registrierender Emissionsmeßgeräte

von O. Maier, H. Schnitzler und G. Liedigk

1. Einleitung

Die Digital-Meßtechnik ermöglicht es, die bei Prüfung und Kalibrierung kontinuierlich messender Staub- und Gasmeßgeräte anstehenden Probleme gut zu lösen. Es wird hier die Umstellung eines Prüfstandes für Emissionsmeßgeräte von der bisherigen Analog-Meßtechnik auf die Digital-Meßtechnik beschrieben.

2. Emissionsmeßtechnik und Meßwerterfassung

2.1. Meß- und Registriergeräte

Meß- und Registriergeräte für Staubemissionen sollen den verfahrensbedingten Änderungen der Emission möglichst verzögerungsfrei folgen. Ein Teil der kontinuierlich arbeitenden Staubmeßgeräte erfüllt bedingt diese Forderung. Die üblicherweise z.T. über mehrere Stunden laufenden Netzmessungen des gravimetrischen Vergleichsverfahrens lassen jedoch kurzzeitig starke Schwankungen der Staubkonzentration nicht mehr erkennen. Deshalb gehen die Bestrebungen dahin, auch für Netzmessungen eine wesentlich größere zeitliche Auflösung zu erhalten. Damit wächst die Zahl der zu verarbeitenden Meßwerte erheblich.

2.2. Analoge Meßwerterfassung und Auswertung der Registrierung

Eine analoge Registrierung von Meßwerten bereitet normalerweise kaum Schwierigkeiten. Sie bietet außerdem die Möglichkeit, die Tendenz der Meßwerte zu erkennen. Auch ist zum Abschirmen gegen Fehlimpulse und Streufelder kein übertriebener Aufwand erforderlich. Bei einigen kontinuierlich arbeitenden Staubmeßgeräten, welche raschen Emissionsänderungen folgen können, ist man mit normalen Analog-Registriergeräten jedoch schon über deren Grenzfrequenz von etwa 1 Hz.

Gewinnt man die zu registrierenden Meßwerte mittels Kompensationspunkt-druckern, deren schnellste Punktfolge zwei Sekunden beträgt und die nur den meist wesentlich langsameren Änderungen gasförmiger Emissionen folgen können, so fallen je Meßgerät maximal 1 800 Meßwerte je Stunde an. Auch dafür liegt die Auswertzeit immer noch sehr hoch.

2.3. Digitale Meßwerterfassung und -verarbeitung

Die digitale Meßtechnik ermöglicht, eine Vielzahl von Meßwerten sehr schnell und genau zu erfassen. Werden - wie bei Emissionsmessungen üblich - mehrere Meßstellen und viele Meßwerte je Meßstelle benötigt, so bringt auch die digitale Aufzeichnung der Meßwerte immer noch eine sehr große Datenmenge. Es ist daher zusätzlich eine Datenreduzierung angebracht. Erfolgt die Datenreduzierung durch Mittelwertbildung über die Dauer einer Messung, so ist dieser Mittelwert dem durch Planimetrieren der Registrierkurve eines Analog-Registriergerätes gewonnenen Wert vergleichbar.

Für eindeutige EDV-gerechte Weiterverarbeitung und für das Protokoll im Klartext müssen außer den gewonnenen Meßwerten durch Steuerwerke automatisch noch andere Informationen, wie Start, Uhrzeit, Versuchsbeginn, Versuchsende und Zwischenraum, aufgebracht werden.

3. Übergang von Analog- auf Digital-Meßtechnik

3.1 Meßwerte und Meßbereiche

Die verschiedenen Emissionsmeßgeräte haben bisher keinen einheitlichen elektrischen Ausgang. Es muß sowohl mit eingeprägtem Strom als auch mit eingeprägter Spannung mit unterschiedlichen Quellwiderständen und Bereichen gerechnet werden. Der Meßwert liegt im allgemeinen als Gleichspannung oder Gleichstrom vor, der sich bei einigen Geräten entsprechend der Meßgröße schnell ändern kann. Ferner muß berücksichtigt werden, daß auch Werte aus Meß- und Regelstrecken der jeweiligen Verfahrensanlage übernommen werden müssen. Da diese Analogwerte häufig untereinander verkoppelt sind, müssen die Meßwerte potentialfrei abgetastet werden. Damit ist auch gleichzeitig die Einstreuung über Erdschleifen vermeidbar.

3.2. Analog-Digitalumsetzung

3.2.1. Meßstelleumschalter

Bei kontinuierlich registrierenden Staubmeßgeräten ist bisher die Kalibrierung nur mit sehr zeit- und personalaufwendigen gravimetrischen Vergleichsmeßverfahren möglich. Dies legt nahe, gleichzeitig mehrere Gerätetypen zu untersuchen. Auch gasförmige Emissionen sollen oft mitgemessen werden. Unter Einbeziehung der notwendigen Hilfswerte, wie Temperaturen, Drücke, Leistung und sonstiger Verfahrensgrößen, ergeben sich 20 und mehr zu erfassende Meßgrößen. Entsprechend muß der Meßstelleumschalter für die erforderliche Anzahl von Meßstellen ausgelegt werden.

Erfolgt die Meßstelleumschaltung mit mechanischen Relais, so sollen solche mit quecksilberbenetzten Kontakten zur Erzielung einer besseren Prellfreiheit und konstanterem Kontaktübergangswiderstand zum Einsatz kommen. Sie erlauben allerdings nur etwas über 100 Abtastungen je Sekunde.

Diese Abtastgeschwindigkeit genügt jedoch für die vorliegende Aufgabe. Die schwierige und ungenaue Meßstellenaufschaltung im unteren mV-Bereich kann durch entsprechende Vorverstärkung vermieden werden. Die oben erwähnte Programmierbarkeit des Meßstelleenumschalters erlaubt bei geringer Änderungsgeschwindigkeit des Meßsignals, durch die Wahl einer geringen Abtastgeschwindigkeit die Relais mit ihrer begrenzten Lebensdauer zu schonen.

3.2.2. Analog-Digitalumsetzer und Datenreduzierung

Zur Umwandlung der analogen Meßsignale in einen Ziffernwert müssen sie in möglichst kleine Schritte zur Erzielung einer hohen Auflösung unterteilt werden. Nach Möglichkeit soll ein integrierender Analog-Digitalumsetzer verwendet werden. Die Integrationszeit soll programmierbar sein, damit eine etwa vorkommende Überlagerung der Meßwerte mit netzfrequenten Störungen eliminiert werden kann.

Alle Meßwerte werden als Einheitsignal 0 bis 1 V zur Verfügung gestellt. Das Ausgangssignal des Wandlers soll zur einfacheren Weiterverarbeitung in der notwendigen Datenreduzierung in duality Form anstehen. Eine Polariätsanzeige der Meßwerte ist wünschenswert. Die bei der Analog-Digitalumsetzung anfallenden Einzelwerte - bis zu einigen Hunderttausend je Messung - sollen nach dem Verfahren der Mittelwertbildung $\frac{1}{n} \sum x_i$ reduziert und zur Ausgabe bereitgestellt werden. Rechen- und Speicherwerke müssen dazu in der Lage sein.

3.2.3. Ablauf- und Zusatzsteuerung

Außer der Bezeichnung der Meßstellen mit 01 bis n soll die Ablaufsteuerung noch andere Kenngrößen liefern. Diese werden mit numerischen sowie den üblichen Steuerungs- und Sonderzeichen in bestimmter Reihenfolge und Anordnung in der Ausgabe dargestellt.

Mit einer Realzeituhr wird jeweils der Start einer Messung zur Ausgabe mit Stunde, Minute und Sekunde mitgegeben, für eine bessere Übersichtlichkeit mit Sonderzeichen voneinander getrennt. Auf automatische Datumsfortschaltung kann verzichtet werden, wenn bei Bedarf die Datumsausgabe manuell eingefügt werden kann. In der Ausgabe erscheint ferner die vorprogrammierte Sollzeit einer Messung in Minuten und Sekunden, durch Sonderzeichen voneinander getrennt. Die Sollzeit ermöglicht außerdem mit Hilfe einer Differenzzeituhr, über einen Digitalausgang das Ende der zugehörigen gravimetrischen Vergleichsmessung durch Abschalten der Gaspumpe herbeizuführen.

Der Lauf einer normalen Messung muß jederzeit ohne Verlust der bis dahin angefallenen Werte abgebrochen werden können. Bei Abbruch oder Ende einer Messung gelangt der in der Differenzzeituhr aufgelaufenen Ist-

wert zur Ausgabe. Eine Soll-Ist-Wertangabe der Meßzeit ist erforderlich, damit für die Weiterverarbeitung der Meßwerte auf deren Gleichgewichtigkeit geschlossen werden kann. Die Differenzzeituhr soll auch die variablen Zeitintervalle für die Analog-Digitalumsetzung, den Ablauf und die Pausen ermöglichen. Auch soll damit über einen vorwählbaren Anteil der Meßzeit über Digitalausgang ein Vorsignal vor dem Ende der manuellen Vergleichsmessung geliefert werden. Wird innerhalb dieses gewählten Anteils eine festlegbare Anzahl von vorzeitigen Abbrüchen hintereinander erreicht, so leitet die Ablaufsteuerung über Digitalausgänge die Null- bzw. Eichpunkt-messungen ein und sperrt für diese Zeit die gravimetrische Vergleichsmes-sung.

Über Digitaleingänge, für welche von der Geräteseite potentialfreie Kon-takte gestellt werden, wird die Umschaltung kontrolliert. Erfolgt die Um-schaltung bei Störungen in den Geräten nicht, so wird ein Alarmsignal ge-gaben und der weitere Meßablauf bleibt bis zur Störungsbeseitigung ge-sperrt. Von der vorgebbaren vierstelligen Messungsnummer an wird je Mes-sung automatisch um eins hoch gezählt und die neue Messungsnummer zur Ausgabe gebracht. Für zusammengehörende Betriebs-, Null- und Eichpunkt-messungen erscheint jedoch die gleiche Messungsnummer. Zur Unterschei-dung der Meßarten untereinander werden diese mit 0,1,2 kodiert.

3.2.4. Protokoll und Datenträger für die Weiterverarbeitung der Meßwerte

Das Meßprotokoll soll in der Kopfzeile Datum, Messungsnummer, kodier-te Meßart, Ist- und Sollzeit enthalten. In den nachfolgenden Zeilen erschei-nen in der Reihenfolge der Vorwahl die belegten Meßstellennummern und Meßwerte, jeweils mit Zwischenraum vom Meßwert und Fortsetzung ge-trennt. Mehrere solcher Ausgaben mit entsprechenden Abständen können auf Faltpapier üblicher Formate untereinander gruppiert sein. Zweckmäßig wird dies mit einer Schreibmaschine realisiert, mit der sich im Off-Line-Betrieb auch jeder andere gewünschte zusätzliche Text zufügen lässt. Mit Rücksicht auf die bestehenden Weiterverarbeitungsmöglichkeiten bleibt die Wahl der Datenträger auf Lochkarten oder Lochstreifen beschränkt. Bei Verwendung von Lochstreifen für die Ausgabe sollen als Kodes nur EBCDI oder ASCII Verwendung finden.

3.2.5. Genauigkeit der Mittelwerte

Unter Nutzung der an sich hohen Genauigkeit der Analog-Digitalwandler ergibt eine Fehlerbetrachtung, daß die Forderung nach einem im ungünstigsten Betriebsfall zulässige Fehler von höchstens 0,5 % realisierbar ist.

4. Problemlösung

4.1. Prozeßrechner-System AEG 60 - 10

Das aufgrund der oben dargelegten Anforderungen gewählte System besteht aus einem frei programmierbaren Prozeßrechner als zentrale Einheit, einer Bedienungsperipherie für die Verbindung zwischen Zentraleinheit und Bedienungspersonal und einem Verkehrsverteiler, der die Verbindung zur Prozeßperipherie herstellt. Es ist modular so aufgebaut, daß spätere Erweiterungen möglich sind. Mit diesem System ist eine große Flexibilität für die vorliegenden Aufgaben gegeben. Darüber hinaus ist es durch die mögliche Erweiterung der Hardware auch für andere Zwecke durch Einsatz anderer Programme verwendbar.

Der Erstausbau erfolgte mit einem Kernspeicher von 8 K-Worten in der Zentraleinheit und ist bis zu 32 K-Worten ausbaufähig. Die Zentraleinheit mit der üblichen Bedienungskonsole ist ebenso wie der Verkehrsverteiler in Schrankbauform ausgeführt.

Vom Befehlssystem her handelt es sich um eine Ein-Adreß-Anlage. Die Befehlslänge ist mit zwei Worten zu je 12 Bit, bei 12 Bit paralleler Arbeitsweise organisiert. Zahlen werden im Rechner binär dargestellt, negative im B-Komplement. Der Rechner hat Festkommaarithmetik; Gleitkommaoperationen sind durch Quasibefehle organisierbar. Mit seinen 69 festverdrahteten und 28 möglichen Quasibefehlen hat die Maschine in ihrer Klasse einen relativ großen Befehlsvorrat. Die Adressierung kann direkt, indirekt, indiziert oder relativ erfolgen. Es stehen 7 Indexregister im Kernspeicher zur Verfügung. Die Zykluszeit beträgt 1,3 Mikrosekunden. Weitere Details können der Systembeschreibung des Prozeßrechners AEG 60-10 entnommen werden (1).

Die Bedienungsperipherie umfaßt in dieser Ausbaustufe, außer einem fotoelektrischen Achtkanal-Lochstreifenleser mit einer maximalen Lesegeschwindigkeit von 300 Zeichen je Sekunde, eine Bedienungsschreibmaschine vom Typ Teletype ASR 33 mit angebautem Lochstreifenleser und -stanzer; deren Geschwindigkeit beträgt 10 Zeichen je Sekunde. Die Bedienungsschreibmaschine wird auch als Ausgabeeinheit benutzt. Als Bindeglied zur Prozeßperipherie dient der Verkehrsverteiler. Er ist aus einzelnen Bausteinen aufgebaut und kann bei Bedarf ebenso wie die Zentraleinheit erweitert werden.

Die gesamte Anlage wird zentral über die Einschalt- bzw. Überwachungseinheit im Verkehrsverteiler eingespeist. Für die Eingabe statischer digitaler Signale aus dem Prozeß stehen z.Z. 24 Reed-Relais mit 60 Volt Speisespannung zur Verfügung; die Anschlüsse sind auf Stecker gelegt. Der Eingangsstrom je Relais beträgt etwa 10 mA, die Schaltgeschwindigkeit etwa 2 Millisekunden.

Die Unterbrechungseingabe, auch Interrupteingabe genannt, stellt eine Erweiterung des Programmunterbrechungssystems des Rechners dar. Sie erweitert den im Rechner für die Prozeßperipherie vorgesehenen Unterbrechungssignaleingang auf mindestens acht und ist mit Reed-Relais bestückt.

Die Digitalausgabe ist mit 12 quecksilberbenetzten Haftrelais bestückt. Sie können 100 VA rein Ohm'sche Belastung, maximal 2 A und 60 V vertragen. Ihre Schaltgeschwindigkeit liegt bei 3 Millisekunden; die Anschlüsse sind ebenfalls auf Stecker gelegt.

Die Baueinheit Differenzzeituhr besteht aus Steuerung, 12 Bit-Zähler und Taktgeber. Der Taktgeber enthält einen 16 KHz Quarzgenerator, dessen Ausgangstakte mehrfach im Verhältnis 2 : 1 und einmal 10 : 1 unterteilt werden. Zur Verfügung stehen die Taktzeiten 0,25, 0,5, 1 und 10 Millisekunden. Bei Bedarf können auch vier andere Taktzeiten realisiert werden. Ebenso ist der Einbau mehrerer Differenzzeituhr-Baueinheiten möglich. Die Realzeituhr ist im vorliegenden Fall, ähnlich wie die Differenzzeituhr, mit einem quarzbestückten 16 KHz-Taktgeber und Unterteilung auf 100 Millisekunden Ausgangstakte versehen. Sekunden-, Minuten- und Stundenfortzählung erfolgt softwaremäßig, also per Programm. Auf Tages-, Monats- und Jahresfortzählung wird z.Z. verzichtet, da für deren zusätzliche Ausgabe im Protokoll die Geschwindigkeit der Protokollschriftenmaschine nicht ausreicht.

Als Meßstellenumschalter dient ein halber Eingabeblock mit 32 zweipoligen quecksilberbenetzten Reed-Relais mit zusätzlichem Umschalter gleicher Ausführung zur Aufteilung in zwei Sechzehnergruppen. Sie werden über Steuerwerk und Steuereinheit von der Zentraleinheit per Programm angesprochen und schalten die direkt auf die Umschalterkarte geführten Analogeingänge ohne Potentialtrennung auf den Analog-Digitalwandler durch. In Verbindung mit dem verwendeten Analog-Digitalwandler lassen sich mit diesen Meßstellenumschaltern bis etwas über 100 Abtastungen je Sekunde realisieren.

Für die Analog-Digitalumwandlung wird ein Spannungs-Frequenzumsetzer verwendet. Er ist umstellbar für die Nennbereiche 0,01; 0,1 und 1 Volt. Seine Ausgangsfrequenz beträgt je Bereich 100 KHz und ist bis über 150 % ohne Genauigkeitsverlust überlastbar. Eingangssignale einschließlich Gleichakt bleiben bis ± 1 Volt ohne Einfluß auf die Genauigkeit. Zur Einhaltung der Genauigkeit sollen die Quellwiderstände unter 1,5 kOhm liegen. Der differentielle Eingangswiderstand beträgt 1000 MOhm parallel mit 1 nF. Polaritätsanzeige und Ausgang ist vorhanden. Zur Eigenkalibrierung ist eine 1-Volt-Quelle ausreichender Genauigkeit eingebaut. Das integrierte Verhalten wird durch Zusammenarbeit mit einem nachgeschalteten Zähler erreicht, der mit vom Programm her wählbaren Zeiten von 5 bis 100

Millisekunden beaufschlagt werden kann.

Im Zusammenspiel zwischen Meßstellenumschalter, Analog-Digitalumsetzer und Differenzzeituhr sind vier vorwählbare Abtastgeschwindigkeiten möglich. Die beiden geringen Abtastgeschwindigkeiten von 10 bis 40 Abtastungen je Sekunde mit Integrationszeiten von 20 Millisekunden und Zwischenpausen von 80 bzw. 5 Millisekunden sollen verwendet werden, wenn nur langsam veränderliche Meßwertsignale vorliegen. Sie dienen auch zur Schonung der Meßstellenumschalter, deren Lebensdauer mit 5×10^9 Schaltungen angegeben wird. Mit der Integrationszeit von 20 Millisekunden werden ggf. auftretende Überlagerungen der Meßwertsignale durch netzfrequente Einstreuungen kompensiert. Für schneller veränderliche Meßwertsignale stehen die beiden Abtastgeschwindigkeiten von 67 oder 100 Abtastungen je Sekunde mit Integrationszeiten von 10 bzw. 5 Millisekunden zur Verfügung. In den angegebenen Zwischenpausen sind die jeweiligen Aus- und Einschaltzeiten der Meßstellenumschalter von zusammen etwa 3,2 Millisekunden enthalten.

4.2. Kurzbeschreibung des Ablaufs im System (Abb. 1)

Die Auftragskorrespondenz F 1 wird mit Hilfe des Bedienungssystems manuell über die Schreibmaschine gestartet. Hierzu wird der Auftrag „NE“ (neue Parameter) erteilt. Das System fordert dann alle zur Auftragsabwicklung erforderlichen Parameter an und stellt diese in der Auftragsparameterliste L 1 zusammen.

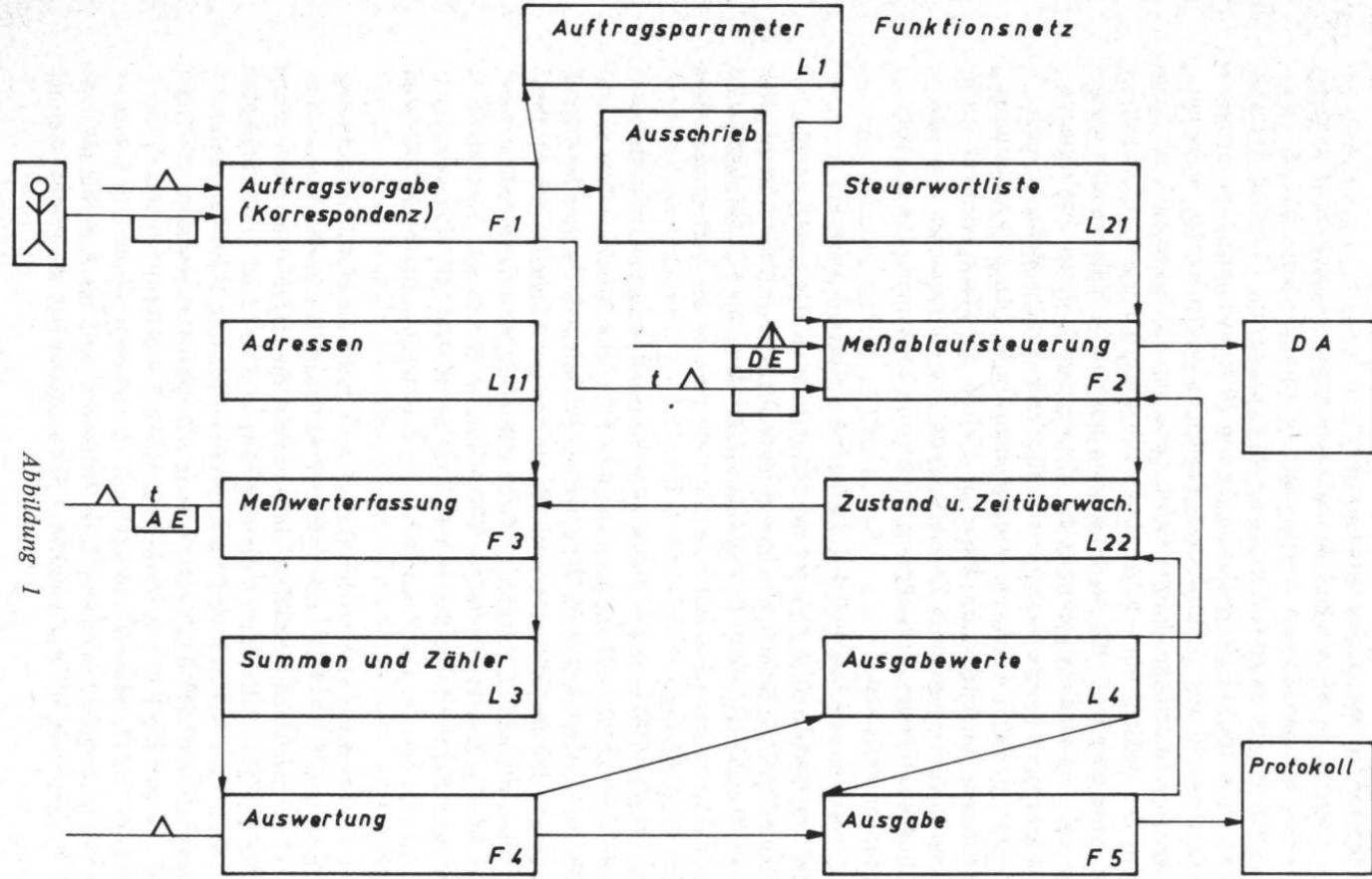
Die Meßablaufsteuerung F 2 wird vom Auftragssystem gestartet. Sie bedient sich aus der Auftragsparameterliste L 21. Die Steuerwortliste enthält ein Verzeichnis der für die einzelnen Meßarten zu schaltenden Digitalausgaben und der entsprechenden Rückmeldungen (Digitaleingaben). Die Meßablaufsteuerung bestimmt, welche Digitalausgaben wann bedient werden müssen, und verarbeitet die Digitaleingabe. Hierzu gehören auch die Interruptheingaben, die Beginn und Ende der Meßart „O“ (Betriebsmessung) signalisieren. Die Zustandsführung der Meßablaufsteuerung erfolgt in Liste L 22.

Die Funktion F 3 (Meßwerterfassung) wird durch die Meßablaufsteuerung angestoßen. F 3 bewirkt eine zyklische Abtastung der in der Adressenliste L 11 vorgegebenen Meßstellen und summiert die eingelesenen Werte in der Liste L 3. Das Zeitverhalten der Funktion wird von Liste L 22 vorgegeben.

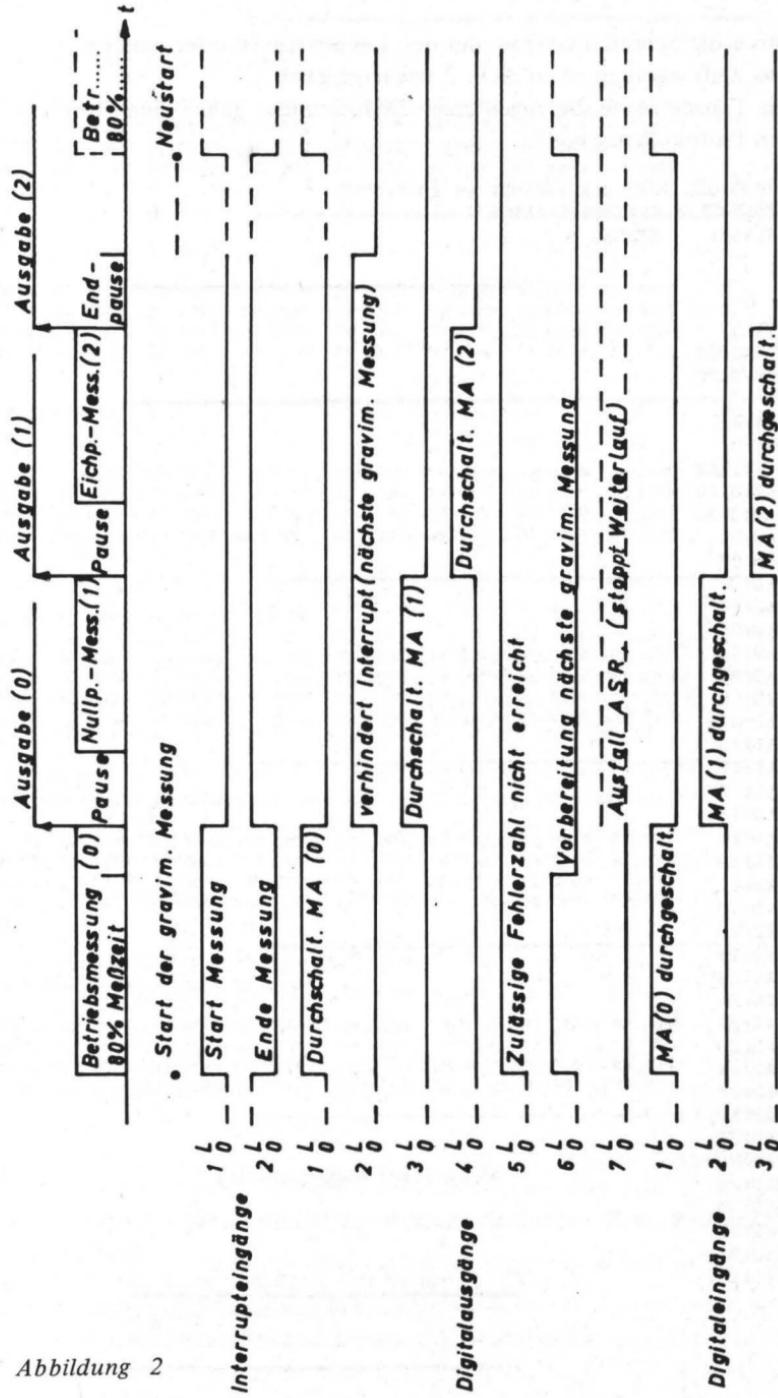
Nach jeder Messung wird die Auswertung der in L 3 aufsummierten Meßwerte von der Meßablaufsteuerung veranlaßt. Dies geschieht mit Hilfe der Auswertung F 4. Die Auswertefunktion F 4 bedient sich aus L 3, errechnet die Mittelwerte und legt diese in der Ausgabewerteliste L 4 ab.

Nach erfolgter Errechnung aller Mittelwerte wird die Ausgabefunktion F 5 angestoßen, die das Ausgabeformat bestimmt und die Protokollierung

Abbildung 1



Zeitdiagramm



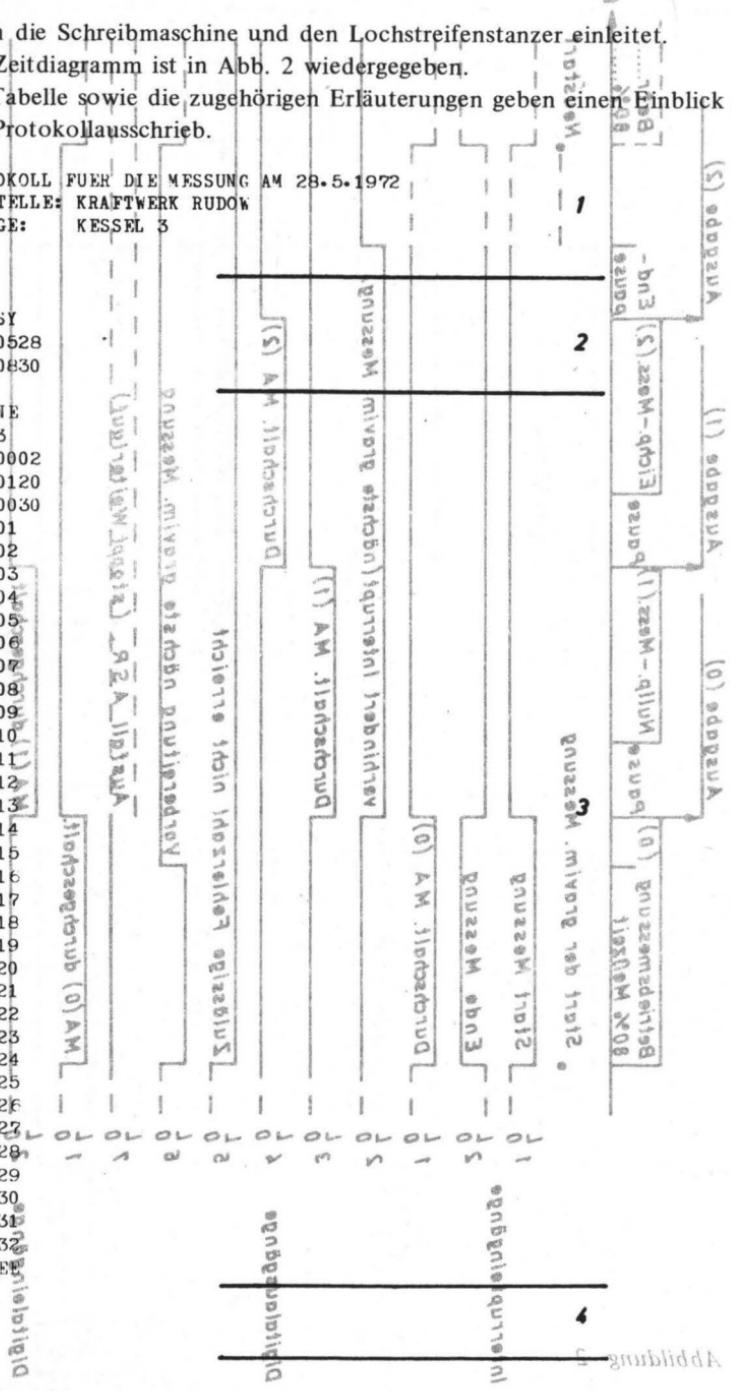
durch die Schreibmaschine und den Lochstreifenstanzer einleitet. Das Zeitdiagramm ist in Abb. 2 wiedergegeben.

Die Tabelle sowie die zugehörigen Erläuterungen geben einen Einblick in den Protokollausschrieb.

PROTOKOLL FUER DIE MESSUNG AM 28.5.1972
MESSTELLE: KRAFTWERK RUDOW
ANLAGE: KESSEL 3

FUN:SY
MOT:0528
UHR:0630

FON:NE
ABT:3
MEN:0002
ANZ:0120
MED:0030
MAD:01
MAD:02
MAD:03
MAD:04
MAD:05
MAD:06
MAD:07
MAD:08
MAD:09
MAD:10
MAD:11
MAD:12
MAD:13
MAD:14
MAD:15
MAD:16
MAD:17
MAD:18
MAD:19
MAD:20
MAD:21
MAD:22
MAD:23
MAD:24
MAD:25
MAD:26
MAD:27
MAD:28
MAD:29
MAD:30
MAD:31
MAD:32
MAD:33



3. FUN: Parametervorgabe,

Neue Parameter: NE

ABT: Kennung für Abtastgeschwindigkeit; 0, 1, 2 oder 3 = 100,
67, 40 oder 10 ABT/Sekunde

MEN: Messungsnummer; beginnend ab Vorgabe 0000 . . . 4095

ANZ: zulässige Abbrüche innerhalb 80 % der Meßzeit; 0000 . . . 4095

MED: Meßdauer in Min. und Sek.; 0030 . . . 3333

MAD: Meßstellenadressen; 01 . . . 32, mind. eine

MAD: Wiederholung für jede weitere Adresse, max. 32

MAD: Ende der Adreßeingabe; EE

4. Zuschalten des Lochstreifenstanzers

5. Start der Betriebsmessung (Meßart 0), erfolgt durch Beginn jeder gravimetrischen Vergleichsmessung

6. Ausgabe für Meßart 0 (nach Ende der unter 5. genannten Betriebsmessung). Protokollkopf mit Uhrzeit des Starts der Messung in Std., Min. und Sek., jeweils 2stellig. Messungsnummer 4stellig. Kennung für Betriebsmessung: 0. Ist-Zeit der Messung in Min. und Sek., jeweils 2stellig. Soll-Zeit der Messung in Min. und Sek., jeweils 2stellig.

Meßergebnisse der Meßart 0; Meßstellenadresse 2stellig, Meßwert 4stellig. 1 . . . 8 mal nebeneinander, max. 4 Zeilen untereinander.

Schlußzeichen der Ausgabe.

7. Ausgabe für Meßart 1 (Nullpunkt-Messung) Protokollkopf mit Uhrzeit des Beginns der Meßwertaufnahme in Std., Min. und Sek., jeweils 2stellig. Gleiche Messungsnummer wie bei Meßart 0, 4stellig. Kennung für Nullpunktmessung: 1. Ist-Zeit der Messung in Min. und Sek., jeweils 2stellig.

Meßergebnisse der Meßart 1, Anordnung wie bei Meßart 0.

Schlußzeichen der Ausgabe

8. Ausgabe der Meßart 2 (Eichpunkt-Messung) Protokollkopf mit Uhrzeit des Beginns der Meßwertaufnahme in Std., Min. und Sek., jeweils 2stellig. Gleiche Messungsnummer wie bei Meßart 0 und 1, 4stellig. Kennung für Eichpunktmessung: 2. Ist-Zeit der Messung in Min. und Sek., jeweils 2stellig. Meßergebnisse der Meßart 2, Anordnung wie bei Meßart 0 und 1.

Schlußzeichen der Ausgabe.

9. Selbsttätiger Formularvorschub vor Beginn der Ausgabe für Meßart 0 bei jeder 3. Betriebsmessung.

5. Aufbau und Prüfung der Anlage im Laboratorium

Die Anlage wurde für Programmtests und Funktionsprüfungen sowohl des Digital- als auch des Analogteiles im Labor aufgestellt und betrieben.

Im Zuge der Prüfungen stellten sich einige Mängel heraus. So konnte die

Forderung von 100 Abtastungen je Sekunde im Analogteil erst nach vielen Ausfällen, Störungssuchen und Änderungen in der Grundsoftware erfüllt werden. Schließlich gelang 6 1/2 Tage ein ungestörter und ausfallfreier Testlauf. Dieser Testlauf wurde mit 4 verschiedenen konstanten Gleichspannungen und Quellwiderständen bis zu 1,5 kOhm durchgeführt. Potentialmäßig waren diese einseitig an Masse, 0,1, 0,5 und 1 V gegen Masse angehoben. Damit wurden alle 32 Analogeingänge mit abwechselnder Folge und Polarität belegt. Der Fehler, bezogen auf den Meßbereich von 1,3 V, liegt mit 99,992 % Sicherheit unter 0,5 %.

Vier Ausreißer mit Fehlern über 0,5 % von den 52 000 Meßwertausgaben müssen außerdem auf Durchziehen von Schaltvorgängen im Versorgungsnetz zurückgeführt werden. Nach diesem Testverlauf wurde mit der Prüfung dynamischer Vorgänge im Analogteil begonnen. Dazu wurden von einem Funktionsgenerator Sinus-, Dreieck- und rampenförmige Spannungen auf einzelne oder mehrere Meßstellen gegeben. Außerdem wurden diese Spannungen mit verschiedenem Hub sowohl amplituden- als auch frequenzmoduliert.

Gleichzeitig mit der Meßwertaufnahme durch den Prozeßrechner wurden diese Spannungen im unteren Frequenzbereich mit einem Schreiber, darüber mit integrierenden Digitalvoltmetern aufgezeichnet. Die Auswertung der Aufzeichnungen auf dem Schreiber geschieht durch Planimetrierung.

Wird je Meßstelle eine Mindestmeßzeit von 2,5 bis 25 Sekunden bei 100 bis 10 Abtastungen je Sekunde eingehalten, so ergibt sich auch für Amplitudenänderungen von - 3 dB des Meßbereiches von 1,3 V ein Fehler unter 0,5 % zwischen Ausgabewerten des Prozeßrechners und den planimetrierten Werten. Eine Verkürzung der Meßzeit um 20 % bringt unter gleichen Bedingungen einen Fehleranstieg der Ausgabewerte bis auf über 2 % mit sich. Durch die mögliche Variation von Meßzeit, Anzahl der Meßstellen und Abtastungen je Sekunde, ist mit dieser Datenerfassungs- und Reduzierungsanlage eine Wiedergabe der von den Meßgeräten anfallenden analogen Signale mit Fehlern unter 0,5 % erreichbar. Gegenüber bisherigen Methoden ist die erreichte Genauigkeit als sehr gut zu bezeichnen. Diese große Genauigkeit wurde gefordert, um die Meßanlage auch für andere Zwecke universell verwendbar zu machen.

6. Zusammenfassung

6.1. Stand der Meßtechnik für die Prüfung und Kalibrierung registrierender Emissionsmeßgeräte bei Beginn der Arbeit

Zur Kalibrierung registrierender Emissionsmeßgeräte wird die Anzeige des betreffenden Gerätes während einer bestimmten Meßzeit gemittelt und mit dem Ergebnis einer gravimetrischen Messung nach einer absoluten Methode verglichen. Es wird zunächst angenommen, daß die absolute Methode feh-

lerfrei sei, mindestens aber, daß ihr Meßfehler wesentlich geringer als der des zu kalibrierenden Gerätes sei. Je kürzer die Meßzeit im Vergleichsverfahren ist, desto mehr kann die hohe zeitliche Auflösung der meisten registrierenden Geräte ausgenutzt werden. Nach unserem Verfahren ist die Meßdauer auf 5 Minuten festgelegt. Sie läßt sich jedoch nach den Bedingungen in dem zur Kalibrierung zur Verfügung stehenden Abgas nach oben und nach unten variieren. Als Ergebnis der Kalibrierung resultiert eine Regressionsgerade in einem Koordinatensystem, in dem auf der Ordinate die gravimetrisch ermittelten Werte und auf der Abszisse die Mittelwerte der Geräteanzeige während der Meßdauer aufgetragen sind.

Zusätzlich können in dieses Diagramm noch der Vertrauensbereich für die Mittelwerte und die Toleranzbereiche für 75 % oder 95 % der Einzelwerte bei einer statistischen Sicherheit von 95 % aufgenommen werden (2, 3).

6.2 Meßautomat zur Erfassung der für die Kalibrierung registrierender Emissionsmeßgeräte notwendigen Daten

Zur Abkürzung der außerst arbeitsintensiven Kalibrierungen wurde zur Digital-Meßwerterfassung übergegangen. Es wurde ein Meßautomat konzipiert, dessen wesentlicher Bestandteil ein Prozeßrechner ist. Er ist in der Lage, durch Erfassung einer erheblich größeren Anzahl von Meßwerten, als es mit der Analog-Meßtechnik möglich wäre, und durch automatische Mittelwertbildung die Auswertung wesentlich zu beschleunigen.

Die Anlage besitzt Eingänge für 32 Meßstellen, die mit einer wählbaren Abtastgeschwindigkeit und in beliebiger Reihenfolge abgefragt werden können. Die Anzahl der Abtastungen kann 100, 67, 40 und 10 je Sekunde betragen.

Entsprechende Digital-Ein- und -Ausgänge erlauben, den Meßautomaten beim Beginn der gravimetrischen Vergleichsmessung von dort aus zu starten. Andererseits schaltet der Rechner nach Ablauf der vorgewählten Meßzeit die Absaugepumpe des gravimetrischen Staubmetzgerätes ab. Hierdurch wird sichergestellt, daß die Meßzeit an den zu kalibrierenden Geräten und dem Vergleichsgerät übereinstimmt.

Der Rechner mittelt nach Beendigung der Messung sämtliche gespeicherten Meßwerte und druckt die Mittelwerte gemeinsam mit der Meßstellen-Nummer und den anderen Parametern aus. Gleichzeitig werden die Werte auf Lochstreifen gestanzt, um für die Weiterverarbeitung im Rechenzentrum des Bundesgesundheitsamtes zur Verfügung zu stehen. Es können dann, f. d. Korrelationen zwischen allen auf dem Datenträger gespeicherten Meßwerten berechnet werden. Außerdem können die Korrelationen zwischen die- sen und den aus dem Vergleichsverfahren ermittelten Werten berechnet werden. Die aus dem Vergleichsverfahren resultierenden Werte können wegen ihrer mehrtägigen Gewinnungszeit nicht gleichzeitig vom Prozeßrechner

erfaßt werden. Sie müssen daher noch entsprechend aufbereitet und - vor- aussichtlich über Karten - in den Großrechner des Bundesgesundheitsamtes eingelesen werden. Das Programm für die Berechnung der Kalibriergeraden und des Vertrauensbereiches sowie der Toleranzbereiche ist in der Zentralen Datenverarbeitung des Bundesgesundheitsamtes bereits erstellt worden.

Im Hinblick auf die möglichst vielfältige Verwendungsmöglichkeit des Rechners wurde ein Meßfehler von maximal 0,5 % verlangt. In längeren Laborversuchen wurde nachgewiesen, daß sowohl beim Anlegen von Gleichspannungen wie auch simulierter überlagerter Funktionen der Meßfehler unterhalb der genannten Grenze liegt.

7. Literaturangaben

- (1) *AEG-Telefunken, Fachbereich Industrielektronik: Systembeschreibung Prozeßrechner AEG 60-10.*
- (2) *Schnitzler, H.: Untersuchungen über die Eignung registrierender Geräte zur Messung des Staubgehaltes in Abgasen. Gesundheits-Ingenieur 90 (1969), H.10, 307-309*
- (3) *Schnitzler, H., O. Maier und K. Jander: Meßstand für die Prüfung und Kalibrierung von registrierenden Staub- und Gasmeßgeräten in einem steinkohlengefeuerten Kraftwerk . Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene H.33 (1970), 77-94*

Anschrift der Verfasser:

Institut für Wasser-, Boden und Luft-
hygiene des Bundesgesundheitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1

Tierexpositionseinrichtungen für Untersuchungen zur Wirkung von Luftverunreinigungen

von H.M. Wagner

Einleitung

Zur Untersuchung der biologischen Wirkung von Luftschaadstoffen im Tierexperiment hat sich ein Expositionskammertyp durchgesetzt, den *Hinners et al.* (1, 2), *Leach et al.* (3) und *Macewen und Geckler* (4) beschrieben haben. Der Luftstrom in diesen Inhalationskammern wird vertikal von der Decke zum Boden der Kammer geführt (Abb. 1a). Eine relativ gleichmäßige Verteilung der zugeführten Luft wird durch einen Wirbelstromeinlaß (Zyklon) erzielt.

Die im folgenden beschriebenen Tierexpositionseinrichtungen basieren auf einem unterschiedlichen Prinzip. In diesen Kammern verläuft der Luftstrom horizontal und quasilaminar (Abb. 1b). Diese Inhalationseinrichtungen sind mehr als 3 Jahre lang erfolgreich in unserem Institut eingesetzt worden und werden gegenwärtig für Untersuchungen der biologischen Wirkungen von Stickoxiden in Immissions- und MAK-Konzentrationen verwendet.

Ausführung der Inhalationskammern

Die Inhalationskammern sind rechteckige Gehäuse aus Edelstahl mit einem Volumen von ungefähr je 2 m^3 . Die Decke, Vorder- und Rückseite bestehen aus Sicherheitsglas. Die abnehmbaren Seiten sind als Luftkammern mit auswechselbaren Siebplatten aus Edelstahl zur Innenseite der Kammer angelegt. Die aufklappbare Vorderseite nimmt das Käfiggestell auf. Diese Ge stelle können bis zu 25 Edelstahlkäfige für je 5-6 Ratten aufnehmen. Die Gesamtkapazität jeder Kammer liegt somit bei 125-150 Tieren. Die Kammern sind auf Rädern montiert.

Betrieb

Das Luftgemisch wird auf einer Seite in die Luftkammer der Inhalationskammer geblasen, dringt in diese durch die Siebplatte ein und wird auf der anderen Seite auf die gleiche Weise abgesaugt. Dies garantiert eine sehr gleichmäßige Verteilung und eine beinahe laminar-horizontale Strömung. Überdies erlaubt die große Oberfläche, durch die die Luft zu- und abgeleitet wird, einen sehr hohen Luftaustausch bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten.

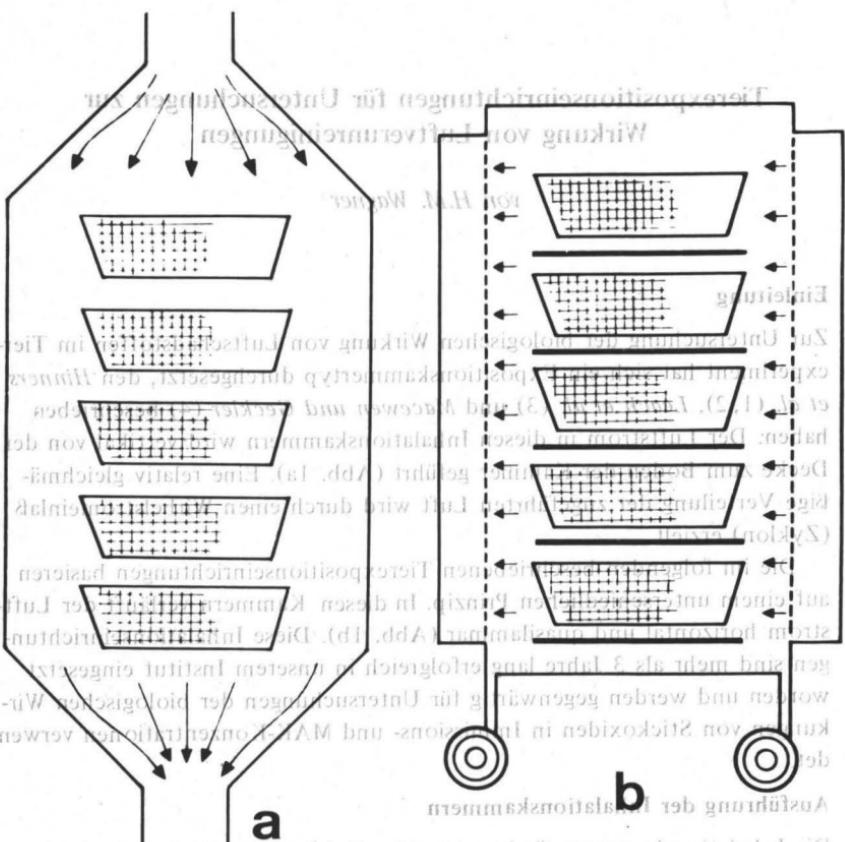


Abb. 1a + 1b: Luftführung in vertikaler (a) und horizontaler (b) Richtung

Durch Veränderung der Stellung von Aus- und Einströmventilen, die in den Zu- und Abluftstutzen unmittelbar vor der Kammer installiert sind, sowie durch Austausch der Siebplatten und des Kammerdrucks kann die Luftaustauschrate beinahe nach Belieben geregelt werden, ohne die allgemeinen laminaren Strömungseigenschaften in der Kammer zu verändern. Durch die Verwendung flacher Kotbleche in den Käfiggestellen, die als Luftleitbleche wirken, wird dies noch gefördert.

Reinigung der Luft

Die Zuluft wird vorgefiltert, gekühlt, entfeuchtet und befeuchtet und bis zur gewünschten Temperatur aufgeheizt. Die letzte Phase ist die Filtrierung durch einen ultrafeinen „Microsorban“-Filter (DELBAG), der 99,9 % aller

Staubteilchen in der Größenordnung 1-0,1 μm und darunter **abscheidet**. Größere Staubteilchen werden vollständig zurückgehalten. Die Luftströmung in jeder Kammer wird mittels eines Anemometers kontinuierlich gemessen und registriert. Da der Durchmesser der Polypropylen-Schlauchleitung konstant ist, ist die Luftgeschwindigkeit dem Luftvolumen direkt proportional.

Die toxischen Gase werden in den Haupt-Frischluftstrom eingeblasen und mischen sich in der Polypropylen-Schlauchleitung und den Luftkammern vor Eintritt in die Inhalationskammern (Abb. 2).

hierarchie der Kämmerer bestimmt. Die Abweigungen reißen sich auf we-

Pegegäppkei und Timpertum wurden in einer Kasten mit 100 Tieren über die 8 Tage hinweg beobachtet.

Einflussuntersuchung bestätigt die maximale Ausweichung bei der Temperatur in 30° C. bei der Temperatur, welche die Reaktion bei der Dekomposition begrenzt. Bei einem Gefüge

Walt Disney's

Wisselwirkungen zwischen Gasstellen und Gasabnehmern im Bereich der Zulieferer-Kettentheorie sind ebenfalls von Interesse. Hierbei ist die Frage zu beantworten, ob die Wisselwirkungen zwischen Gasstellen und Gasabnehmern die Wirtschaftlichkeit der Gasförderung beeinflussen.

• Sich ein passendes Spezialgerät (Gehrte) in einem Fachgeschäft oder der Kaufland mit großem Warenangebot (z.B. Bauhaus) an. Bei Bedarf kann man das Flüssigfertigungs-System selbst montieren.

unter Weidebau von kleinen Pferdehaltungen, der direkt in den Raumverlust (2) geschlagen werden. Die 10000 Meter durch die 10000 Meter des Kastens entfallen. Der Durch-
gang - wird durch einen Mausoleumtunneleingang überdeckt. Einrichtungen sind Türen und
Kümmel-Gefüllungen. Der Durch-
gang - bewältigt 4 mit Wassersägen und Türen

Durch die potentielle Flucht der Ustizmuskulatur infolge Kälte Diskussion Insuffizient ist, gewissen und leichtig.

Abb. 2: Rechts: Luftaufbereitungsanlage. Die Gaslufthägische G 1 und G 2 werden in die Luftzuführungen eingeblasen. 1, 2, 3 stellen die Kamern dar.

Verteilungscharakteristik

Die Parameter für Luftgeschwindigkeit, NO₂-Konzentration, Feuchtigkeit und Temperatur wurden untersucht. Das Verteilungsschema der Windgeschwindigkeit wurde an 64 Punkten auf der Oberfläche des perforierten Luftein- und auslasses (Siebplatten) gemessen und erwies sich als homogen. Dies gilt für eine Luftaustauschrate bis zu 60/h. Bei außergewöhnlich hohen Luftumsatzraten (> 100/h) wird dieses Schema ungleichmäßig.

Die NO₂-Konzentrationen wurden an verschiedenen Probenahmestellen innerhalb der Kammer bestimmt. Die Abweichungen beliefen sich auf weniger als $\pm 5\%$.

Feuchtigkeit und Temperatur wurden in einer Kammer mit 100 Tieren an 3 unterschiedlichen Höhenbereichen gemessen. Bei einem 60fachen Luftaustausch/h betrug die maximale Abweichung bei den Temperaturen im unteren Bereich und an der Decke 2 °C, bei der relativen Feuchte um 5 %.

Warnvorrichtungen

Ein Temperaturabfall, eine Erhöhung der Gaskonzentration oder eine Verminderung des Luftstroms schaltet gleichzeitig mit Unterbrechung des toxischen Gasstromes in die Reinluft-Zuführungen ein akustisches und optisches Warnsignal ein. Bei völligem Ausfall des Luftzuführungssystems setzt sich ein batteriegespecktes Gebläse in Bewegung, das die Kammern mit ungefilterter Frischluft versorgt. Die Warnvorrichtungen bestehen aus einem Bimetall als Temperaturindikator, einer an einen NO_x-Schreiber geschlossenen Photozelle für die Stabilitätskonzentration und einem Anemometer im Hauptluftstrom zur Funktionskontrolle der Luftaufbereitungsanlage.

Analyse der Kammerkonzentrationen

Die NO₂-Konzentrationen der Kammer werden laufend von einem „Analyzer“ (Technicon) und einem „Mikrometer“ (Schramm) registriert. Beide arbeiten nach einem automatisierten photochemischen Prinzip der von *Saltzman* (5) beschriebenen Methode. Die Proben werden direkt aus der Kammer entnommen. Der Druck - gewöhnlich 4 mm Wassersäulenunterdruck - wird durch einen Manometer angezeigt. Feuchtigkeit und Temperatur werden von einem Thermohygrograph, der direkt in den Kammern installiert ist, gemessen und registriert.

Diskussion

Durch die horizontale Führung des Luftstroms können unter jedem Käfig Kotbleche angebracht werden, was bei der Vertikalbelüftung aus strömungstechnischen Gründen nicht möglich ist. Dies schützt die Tiere in den unteren Käfigen vor der Verunreinigung durch Urin und Kot der über ihnen befindlichen Tiere. Dies begünstigt nicht nur die Ausbreitung infektiöser

Erkrankungen, sondern hat möglicherweise Einfluß auf den Stoffwechsel der Versuchstiere durch die ständig perorale Aufnahme dieser Substanzen. Auch ist die Haltung einer größeren Anzahl von Tieren oder unterschiedlicher Spezies in derselben Expositionskammer weniger kompliziert und Stress wird auf ein Minimum reduziert. Dieses Verfahren bietet außerdem waltungstechnische Vorteile: Da die Kotbleche die Fäkalien auffangen, beschränkt sich die Reinigung der Kammern auf tägliches Auswechseln der Kotbleche.

Zusammenfassung

Eine neue Form von Tierexpositionskammern (Abb. 3) wird beschrieben. Die Anwendung des horizontalen Luftstroms mittels Luftzuführung durch perforierte Stahlplatten (Siebplatten) an beiden Seiten der Kammer ermöglicht einen hohen Luftaustausch. Das Verfahren erlaubt eine große Variabilität verschiedener Parameter ohne Änderung der generellen Eigenschaften der Luftstromführung. Die Kammern werden mit gereinigter, temperierter Luft mit konstanter Feuchte versorgt. Für den Ausfall des Gerätes sind Warnvorrichtungen installiert. Jede Kammereinheit hat eine maximale Aufnahmefähigkeit von 150 Ratten. Große Beobachtungsfenster an der Vorder- und Rückseite ermöglichen die Kontrolle der Tiere. Diese Tierexpositionseinrichtungen werden für Langzeit-Untersuchungen von Luftverunreinigungen verwendet und wurden mehr als drei Jahre lang erfolgreich betrieben.

Summary

A new type of animal inhalation exposure chamber (Fig. 3) is described. Employing the principle of a horizontal air flow - by conducting air through perforated steel plates on both sides of the chamber - the maintaining of a high air change at a low air speed is made possible. The system allows a great variability of these parameters, without changing the general characteristics of the air flow pattern. The chambers are supplied with purified, tempered air of constant humidity. Warning devices are installed to compensate for failure of equipment. Each unit has a maximum capacity of 150 rats. Great viewing windows at the front and back of the chambers allow observation of the animals.

These animal exposure facilities are being used for long term effects studies of atmospheric pollutants and have been operating successfully for over three years.

Erkundungskünsten, zudem ist möglichst gewisse Führung mit dem Stoffwechsel. Hierher gehörige durch die steigende beobachtete Volumen dieser Suspensionszellen ist die Haltung einer Störpfeile Aversch von Tieren oder Menschen, die Basis in derzeitigen Fixationszwecken weniger kompliziert und Stress-

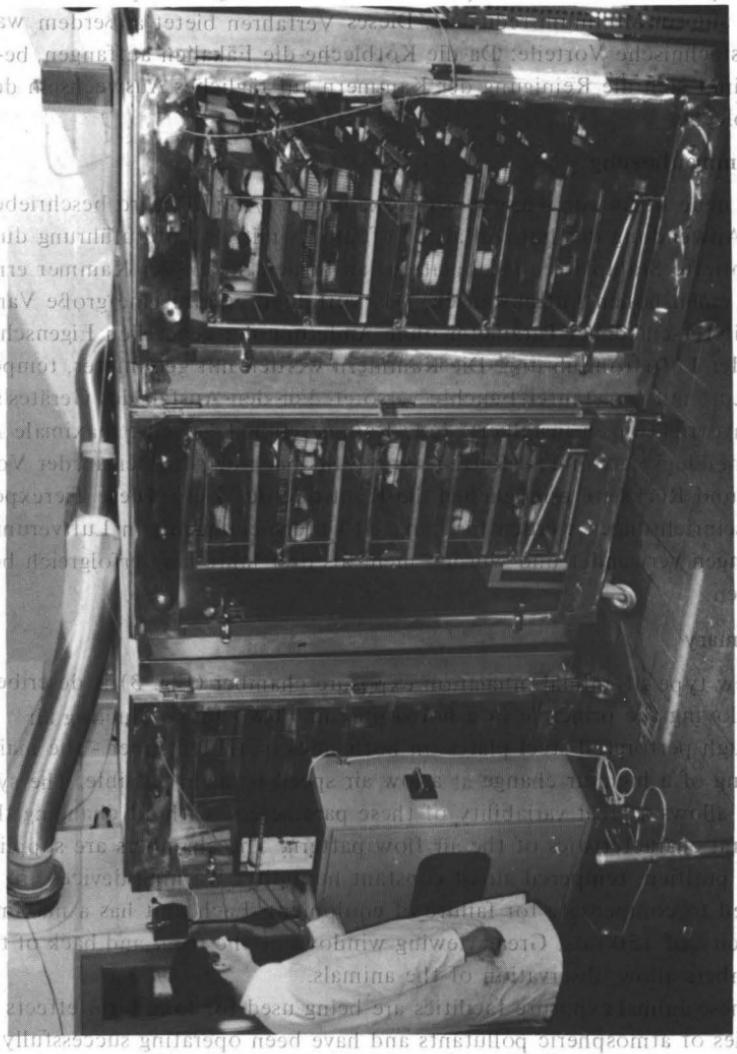


Abb. 3: Vorderansicht der Expositionskammern. Links ein automatischer NO₂-Analysator (Micrometer).

Literatur

- (1) *Hinners, R.G., Burkart, J.K., Contner, G.L.*: Animal Exposure Chambers in Air Pollution Studies. *Arch. Environm. Health* **13** (1966), 609-615
- (2) *Hinners, R.G., Burkart, J.K., Punte, C.L.*: Animal Inhalation Exposure Chambers. *Arch. Environm. Health* **16** (1966), 194-206
- (3) *Leach, L.J., Spiegl, C.J., Wilson, R.H., Sylvester, G.E.*: A Multiple Chamber Exposure Unit Designed for Chronic Inhalation Studies. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **20** (1959), 13-22
- (4) *Macewen, J.D., Geckler, R.P.*: Comparative Studies of 90-Day Continuous Exposure to O_3 , NO_2 , and CCl_4 at Reduced and Ambient Pressure. *Aerospace Med. Res. Lab. Technical Report* AMRL-TR-67-68, 1-67, 1968
- (5) *Saltzman, B.E.*: *Anal. Chem.* **26** (1954), 1949

Wiss. Oberrat Dr. H.M. Wagner
Institut für Wasser-, Boden- und Luft-
hygiene des Bundesgesundheitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1

Retention einiger Kohlenwasserstoffe bei der Inhalation

von H.M. Wagner

Die Inhalation von Kohlenwasserstoffen und deren Derivaten - vor wenigen Jahren noch eine rein arbeitsmedizinische Frage - gewinnt zunehmend an Bedeutung als allgemeines umwelthygienisches Problem, da Kohlenwasserstoff-Emissionen ständig zunehmen. Im Jahre 1968 wurden z.B. in den USA 32 Millionen Tonnen organischer Verbindungen emittiert (1). Hier von entfielen auf Emissionen von Transportmitteln 52 %, von organischen Lösungsmitteln und industriellen Prozessen insgesamt 41 %. Der Rest entsteht bei der Abfallbeseitigung und stationären Verbrennungsprozessen. Außerhalb des arbeitsmedizinischen Bereichs finden sich die höchsten Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Straßenverkehr. Hier werden Gesamtkohlenwasserstoff-Konzentrationen von mehr als 30 ppm, also in Größenordnungen von MAK-Werten gemessen.

Kraftfahrzeugabgase und die organischen Lösungsmittel bilden also den Hauptanteil der Kohlenwasserstoff-Immissionen. Deren dominierende Komponenten sind Alkane, Olefine, Ketone, Aldehyde, Phenole, halogenierte und cyclische Kohlenwasserstoffe. Diese Kohlenwasserstoffe und Kohlenwasserstoff-Derivate wirken entweder in ihrer ursprünglichen Form oder als atmosphärische Umwandlungsprodukte auf den Menschen und seine Umwelt.

Im Rahmen unserer Untersuchungen über die Bilanz der Aufnahme und Abgabe von Kohlenwasserstoffen bei der Inhalation wurde unter anderem das Absorptionsverhalten einer Reihe von Verbindungen gemessen, die als Benzin- und Kfz-Abgaskomponenten eine Rolle spielen. Zu diesen Substanzen gehörten u.a. die im folgenden behandelte Gruppe der gasförmigen und flüssigen Paraffine und Olefine.

Im Gegensatz zu stark aggressiven Stoffen, wie Stickoxiden, Ozon, Halogenen, die unmittelbar mit dem Gewebe reagieren, sind Paraffine und Olefine chemisch weitgehend inert. Ihre Aufnahme und Ausscheidung sind von rein physikalischen Gesetzmäßigkeiten bestimmt. Eine chemische Bindung der absorbierten Kohlenwasserstoffe mit dem Gewebe tritt in den meisten Fällen nicht ein. Die Lipidaffinität dieser Verbindungen ist für das Absorptionsverhalten ausschlaggebend.

Der im Fett- bzw. Lipidgebiete zurückgehaltene Kohlenwasserstoff wird anfänglich sehr schnell wieder abgeatmet (2). Da die Eliminierungsrate

jedoch mit der Zeit stark abnimmt, kommt es bei wiederholter Einwirkung in kurzen Zeitabständen oder bei Dauerexposition zu einer Anreicherung dieser Stoffe im Lipidgebwe.

Die Gewebetoxizität der Paraffine und Olefine ist relativ gering, jedoch besitzen sie eine depressiv-narkotisierende Wirkung. Stoffe dieses Wirkungstyps können durch ihre Einwirkung auf das Zentralnervensystem bereits in geringen Konzentrationen funktionelle Störungen verursachen, was zu einer Beeinträchtigung der Vigilanzleistung führen kann (3).

Versuchsdurchführung:

Die Kohlenwasserstoff-Konzentration wurde mit einem Flammenionisationsdetektor der Firma Beckmann (Typ 109 A) gemessen. Das Zuleitungssystem für die Atemgase zur Meßapparatur bestand aus Glas und wurde auf 60 - 70 °C gehalten. Geatmet wurde im Liegen über ein Klappenventil, an dessen Ein- und Ausgang die Probeluft entnommen wurde. Ebenfalls bestimmt wurden bei den Messungen die Atemfrequenz und das Atemminutenvolumen. Die reinen Kohlenwasserstoffe wurden von den Firmen Fluka, Messer-Griesheim und Merck bezogen.

Ergebnisse:

Die in den Abbildungen dargestellten Absorptionswerte wurden nach einer Inhalationsdauer von 20 Min. gemessen. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, daß nach 20 Min. Inhalation die Aufnahmerate - die anfangs stark zunimmt - sich auch über Stunden nur noch geringfügig ändert (10 - 20 %). Der 20Min-Wert ist insofern annähernd als „80%-Wert“ der nur über mehrere Stunden erreichbaren endgültigen Absorptionsrate aufzufassen.

Abb. 1 verdeutlicht die Zunahme der Absorption mit zunehmendem olefinischen Charakter. Das zweifach ungesättigte Butadien wird um über 100 % stärker absorbiert als das Butan, die einfachen Olefine liegen dazwischen. Die Lage der Doppelbindung beeinflußt außerdem die Absorption.

Bei den in Abb. 2 dargestellten Kohlenwasserstoffen handelt es sich um die homologe Reihe der Paraffine (Äthan bis Decan). Mit der Größe des Moleküls steigt gleichzeitig die Absorption. Das beobachtete Absorptionsverhalten deckt sich weitgehend mit der narkotisierenden Wirkung.

Abb. 3 zeigt einen Vergleich des Absorptionsverhaltens verschiedener Kohlenwasserstoffe mit dem von Äthern (Diäthyläther, Tetrahydrofuran, Dioxan).

Die Rangfolge im Absorptionsverhalten der Paraffine und Olefine deckt sich weitgehend mit den narkotisierenden Eigenschaften. Dies scheint zu bestätigen, daß die physiologische Wirkung zumindest bei dieser eng umgrenzten Verbindungsgruppe von den physikalischen Eigenschaften dieser Stoffe abhängt, d.h. von der Fähigkeit der einzelnen Paraffinen und Olefine, sich

**Kontinuierliche Retention von C₄-K.W.
bei der Inhalation**

(20 Minuten nach Inhalationsbeginn)

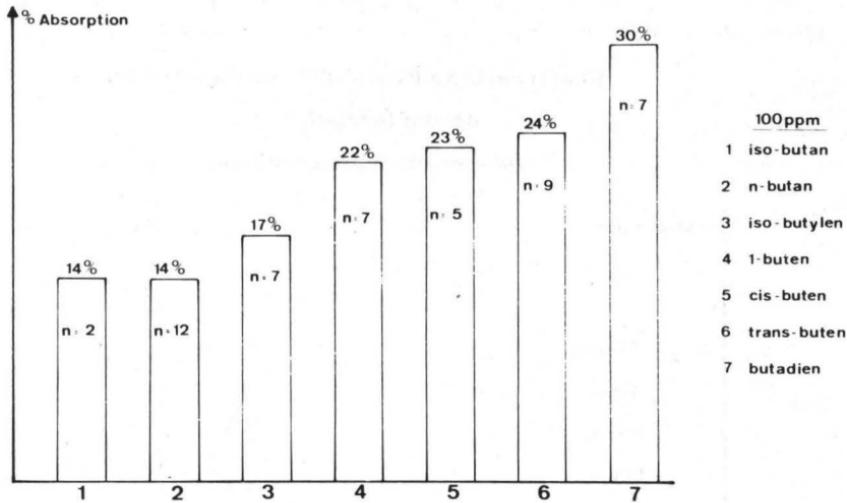


Abbildung 1

**Kontinuierliche Retention von K.W. und Äthern
bei der Inhalation**

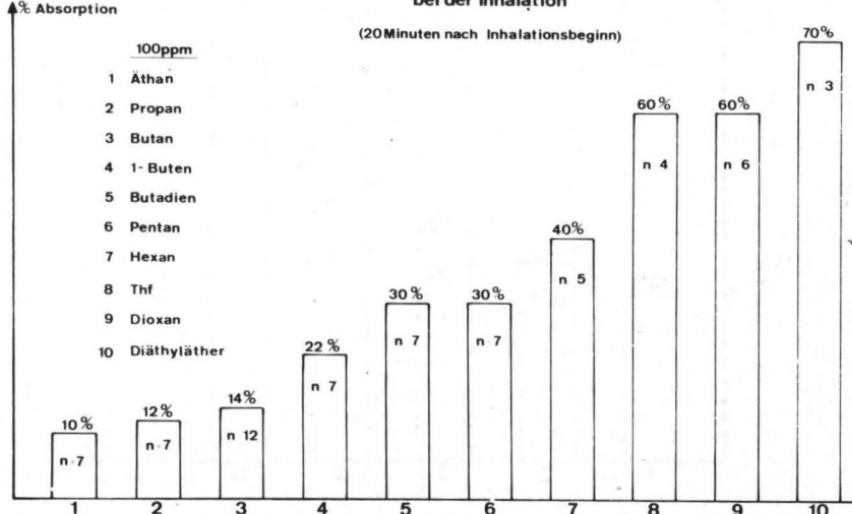


Abbildung 3

im Nervengewebe anzureichern.

Für ihre hervorragende Arbeit bei diesen Untersuchungen möchte ich den Chemotechnikern Fräulein Carola Gleue und Herrn Dieter Pfau meinen Dank aussprechen.

**Kontinuierliche Retention von Paraffinen
bei der Inhalation**

(20 Minuten nach Inhalationsbeginn)

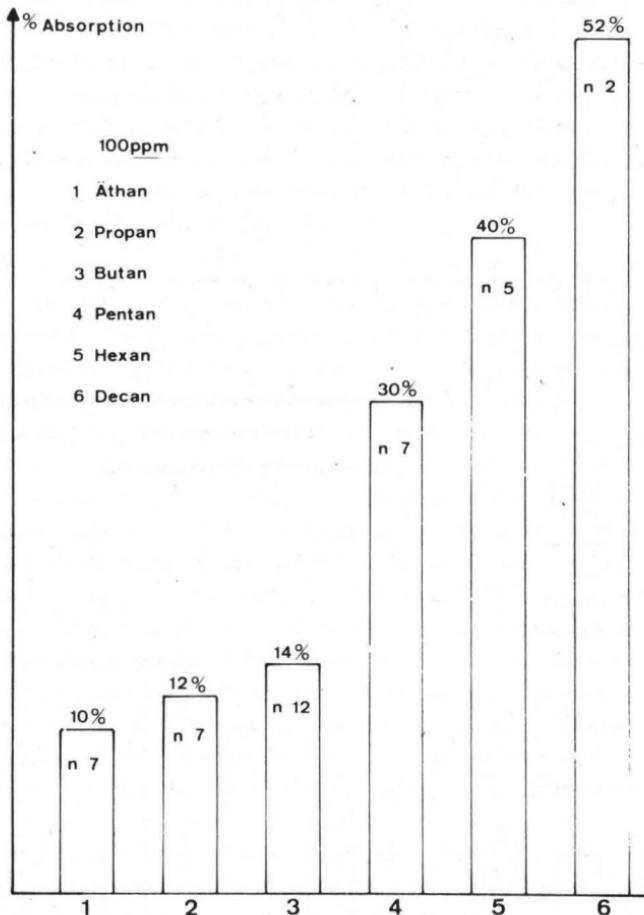
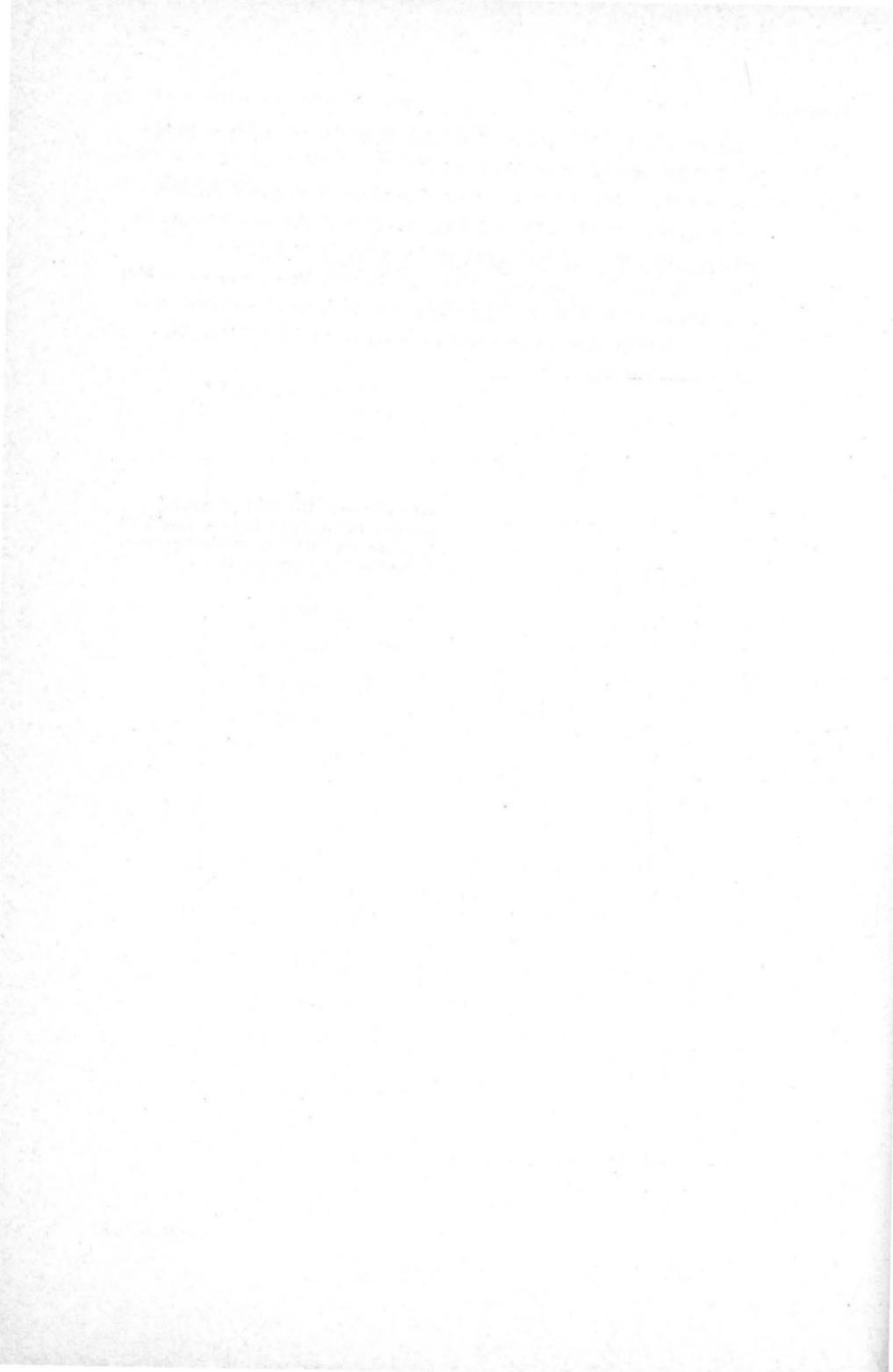


Abbildung 2

Literatur

- (1) Air Quality for Hydrocarbons. Nat. Air Poll. Contr. Admin. Publ. Nr. AP-64, Washington, März 1970
- (2) *Wagner, H.M.*: Wirkungen von Einzelkomponenten aus Kraftfahrzeugabgasen auf Mensch und Tier. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 38 (1972) 313-325
- (3) *Fodor, G.G. und G. Winneke*: Nervous System Disturbances in Men and Animals Experimentally Exposed to Industrial Solvents Vapors. 2. Intern. Clean Air Congress vom 6.-11.12.1970 in Washington. Vortrag

Wiss. Oberrat Dr. H.M. Wagner
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1



Die Bestimmung der freien Erythrozytenporphyrine als schneller Suchtest einer erhöhten Bleiexposition und seine Validität im Vergleich zum Blutbleispiegel und zur Delta-Aminolävulinsäure-Dehydratase-Aktivität

von R. Schiele, K.-H. Schaller und H.M. Wagner

Innerhalb der beiden letzten Jahrzehnte zeichnete sich deutlich das Bedürfnis ab, für die ökologische und arbeitsbedingte Bleiexposition biochemische Parameter zu finden. Die Begründung dafür ist einerseits in der relativ schwierigen und aufwendigen Methodik der Bleianalyse im Blut zu suchen, die bisher noch immer in nur wenigen Instituten vorgenommen werden kann und bei nicht äußerst sorgfältiger Durchführung eine sichere Diagnostik ohnehin nicht gewährleistet (*Berlin u. Mitarb., 1972*). Andererseits ist man auch bemüht, mit biochemischen Untersuchungen Aussagen über das Ausmaß der pathologischen Wirkung des inkorporierten Bleis auf den Organismus zu erhalten. Viele der für diesen Zweck angewandten Methoden haben sich im Laufe der Zeit als nicht genügend empfindlich und/oder spezifisch erwiesen. Das gilt insbesondere für die Anwendbarkeit auf ökologischem Gebiet.

Als geeignet können heute nur solche Labormethoden bezeichnet werden, die spezifisch, in ihrer Aussage zuverlässig, zur genauen Erfassung von Grenzbereichen genügend empfindlich, reproduzierbar und in ihrer Durchführung praktikabel sind. Eine weitere, die Wahl der Methoden einschränkende Forderung ist häufig eine wenig belastende und sichere Probengewinnung (*Valentin, Schaller, 1974*). Methoden, die nur Kapillarblut benötigen, sind solchen vorzuziehen, die Venenblut erfordern. Urinproben sind im großen Maßstab meist nicht in der für die Tests notwendigen Qualität erhältlich. Besonders problematisch ist hierbei die Gewinnung 24-Stundenurins und die Gefahr der Kontamination der Proben. Unsere Empfehlung und die der meisten Autoren, mindestens zwei Parameter zu erfassen, gründet sich daher auf zum Teil rein methodische Aspekte. Andererseits müssen bei der Beurteilung biologischer Parameter auch die Grundlagen ihrer physiologisch-chemischen Entstehung stets im Auge behalten und bei der Bewertung von Ergebnissen richtig interpretiert werden.

Als empfindliche diagnostische Kriterien einer erhöhten ökologischen Bleiaufnahme haben sich bei uns - außer der Analyse des Blutbleispiegels - in Übereinstimmung mit den meisten Autoren die Bestimmungen der Del-

ta-Aminolävulinsäure-Dehydratase (ALA-D) in den Erythrozyten und neuerdings der freien Erythrozyten-Porphyrine (FEP) bewährt. Weniger günstig wird von uns und einem Teil der Autoren die Aussagekraft von Delta-Aminolävulinsäure- und Coproporphyrin-Bestimmungen im Urin (Schmidt, Stich, 1973) und der Urinbleianalyse (Kehoe, 1964) beurteilt.

a) Blutbleibestimmung:

Wir sind der Auffassung, daß der Blutbleispiegel das wertvollste Kriterium einer akuten oder chronischen, noch andauernden Bleiexposition ist. Obwohl er nicht unbedingt als Maß für die Gesamtmenge an inkorporiertem Blei betrachtet werden kann, repräsentiert er doch am ehesten den Anteil, dem pathologische Wirksamkeit zukommt (Kehoe, 1964). Bei gleicher Gesamtaufnahme von Blei können demnach in Abhängigkeit von der Art der Exposition unterschiedlich hohe Blutbleispiegel gefunden werden. Sie werden bei einer akuten oder einer chronischen, noch anhaltenden Bleiexposition höher liegen als bei einer schon längere Zeit zurückliegenden. Dies ist insbesondere bei Verlaufsbeobachtungen und hinsichtlich der Möglichkeit der Mobilisierung von Bleidepots unter abnormen Bedingungen, etwa bei Krankheiten oder der Therapie mit Komplexbildnern zu beachten. Aus diesem Grund läßt auch eine alleinige, einmalige Bestimmung der Blutbleikonzentration eine Aussage über den Grad und die Prognose einer Vergiftung des einzelnen Probanden nicht zu (Lehnert, 1968). Die Blutbleibestimmung erfordert außerdem die bereits erwähnten Kautelen höchster Sorgfalt, für die gängigen Methoden Venenblut und einen recht hohen zeitlichen, technischen und materiellen Aufwand. Die Blutbleianalyse ist daher für epidemiologische Untersuchungen immer noch zu aufwendig und zu wenig zuverlässig. Sie muß vorerst der Kontrolle besonders gefährdeter Kollektive vorbehalten bleiben.

b) Die Bestimmung der ALA-D-Aktivität in den Erythrozyten:

Sie ist ein sehr empfindlicher Indikator für weite Bereiche einer berufsbedingten und für praktisch alle Bereiche einer ökologischen Bleibelastung (Hernberg et al., 1970, Haas et al., 1972). Die Korrelation zum Blutbleispiegel hat sich dabei als sehr gut erwiesen. Für die zuverlässigen Methoden wird auch Venenblut benötigt. Das Problem der Standardisierung scheint derzeit weitgehend gelöst (Berlin, Schaller, 1974). Von einigen Autoren wird kritisiert, daß die Beeinflussung der ALA-D-Aktivität durch andere exogene und endogene Faktoren noch nicht genügend untersucht ist (Vallee, Ulmer, 1972). Die dadurch bedingte individuelle Streuung erschwert die Angabe von Normwerten.

Die Instabilität des Enzyms *in vitro* macht es notwendig, die Analysen

der Proben möglichst sofort nach der Blutentnahme vorzunehmen. Trotz dieser noch ungelösten Probleme empfehlen wir diese Methode wegen ihres hohen Aussagewertes.

c) Die Bestimmung der freien Erythrozytenporphyrine (FEP-Test):

Die fluorimetrische Bestimmung wurde erst in den letzten beiden Jahren zu einer äußerst einfachen, schnellen und zuverlässigen Mikromethode (FEP-Test) entwickelt (*Kammholz et al., 1972, Piomelli et al., 1973 a+b, Granick et al., 1972*). Im Gegensatz zu den herkömmlichen spektrophotometrischen (*Schwartz u. Mitarb., 1952, 1958*) und den dünnenschicht chromatographisch-fluorimetrischen (*Doss u. Mitarb., 1968*) Verfahren, die bis 20 ml Venenblut erforderten, erlaubt die fluorimetrische Mikromethode die Verwendung von kleinsten Mengen Kapillarblut. Durch Globalbestimmung von Copro- und Protoporphyrin konnte der methodische Aufwand erheblich reduziert werden. Eine differenzierte Bestimmung der erythrozytären Porphyrine bringt für die Erkennung einer erhöhten Bleiexposition ohnehin keine diagnostischen und nur geringe differentialdiagnostische Vorteile (*Schmidt, Stich, 1973, Kamholz et al., 1972, Piomelli et al., 1973*). Das Problem der Kontamination stellt sich nicht. Die Proben sind über lange Zeit ohne Schwierigkeiten lagerfähig (*Piomelli, 1973, Schiele u. Mitarb., 1974*). Der materielle, methodische und zeitliche Aufwand ist gering. Gegenüber der ALA-D-Methode werden diese Vorteile mit einer für niedrige Pb-Werte (<40 µg %) geringeren Empfindlichkeit und einer niedrigeren Spezifität erkauft. *Schmidt und Stich (1973)* schätzen die diagnostische Wertigkeit von Erythrozytenporphyrin-Messungen allerdings sogar höher ein als die der ALA-D. Eine umfassende Übersicht über die Störmöglichkeiten des FEP-Tests durch andere zugrunde liegende Krankheiten findet sich bei *Granick et al. (1972)*. So gehen eine Eisenmangelanämie, die seltene hereditäre erythrohepatische Protoporphyrinie und einige andere hämatologische Erkrankungen ebenfalls mit erhöhten FEP-Werten einher.

Für die Beurteilung dieser Parameter ist wichtig zu wissen, daß der biochemische Entstehungsmechanismus der erhöhten Erythrozytenporphyrine ein etwas anderer ist als der der verminderten ALA-D-Aktivität. Der Aussagewert ist daher auch in Abhängigkeit von den Bedingungen der Bleiaufnahme für beide Methoden verschieden. Beruht die Hemmung der erythrozytären ALA-D im wesentlichen auf der direkten Einwirkung von Blei auf das native Enzym, so kommt es zu einer Vermehrung der FEP bereits durch die Störung des fermentativen Eiseneinbaus auf frühen Stufen der Erythrozytenreifung im Knochenmark (*Granick et al., 1972*). Ist das Retikulozytenstadium überschritten, so findet keine weitere Hämsynthese in den Erythrozyten statt. Daher sollen erhöhte

te FEP-Werte auch noch dann für lange Zeit gefunden werden, wenn nach einer starken Bleiexposition Monate oder Jahre vergangen sind (*Rubino, Prato, 1955*). Andererseits wird sich eine akute Bleiaufnahme nicht sofort in einer adäquaten Erhöhung der FEP äußern. Allerdings hat *Schlegel (1970)* in Selbstversuchen nachgewiesen, daß es sehr frühzeitig zu einem Anstieg des Protoporphyrins in den Erythrozyten kommt. In Abhängigkeit von der Art der Exposition wird also für die ALA-D-Aktivität der Erythrozyten eine engere Korrelation zum Blutbleispiegel zu erwarten sein, als dies für die FEP zutrifft. Auf einen unterschiedlichen Verlauf der Regressionsgeraden und damit der Korrelation zwischen Blutbleispiegel und FEP in Abhängigkeit von der Art der Exposition wiesen *Granick et al. (1972)* hin. Zusammenfassend kann man sagen, daß der FEP-Test eher für die Beurteilung einer chronischen oder länger zurückliegenden Bleibelastung aussagekräftig ist, der ALA-D-Test und der Blutbleispiegel erscheinen dagegen zur Beurteilung noch anhaltender, chronischer oder akuter Expositionen besonders geeignet.

In der folgenden Studie haben wir in einem methodischen Vergleich verschiedene Kollektive auf den Blutbleispiegel, die ALA-D-Aktivität in den Erythrozyten und die FEP untersucht und die Ergebnisse statistisch ausgewertet.

Material und Methoden

1. Kollektive:

- Zur Erarbeitung eines Normbereiches für die freien Erythrozytenporphyrine wurden von uns 50 nicht beruflich bleiexponierte Männer untersucht. Für die Analyse der Porphyrine wurde Heparinblut verwendet. Zusätzlich bestimmten wir in den Blutproben den Bleispiegel und die Aktivität der ALA-D.
- Zur Abschätzung der Bleibelastung von Kindern, die in der Nähe einer bleiverarbeitenden Hütte wohnten, wurden in 80 Vollblutproben der Blutbleispiegel, die ALA-D-Aktivität und die freien Erythrozytenporphyrine bestimmt. Die Kinder entstammten alle einem Altersbereich von 4 bis 7 Jahren.
- Zusätzlich untersuchten wir 66 männliche Bleiarbeiter einer Bleihütte. Auch bei diesem Kollektiv wurden die oben genannten drei Parameter im Vollblut analysiert.

2. Methodik:

Die Analyse des Blutbleispiegels erfolgte atomabsorptionsspektrometrisch nach der von *Lehnert, Schaller, Szadkowski (1969)* angegebenen Methode. Die Bestimmung der ALA-D-Aktivität in den Blutproben der Erwachsenen wurde mit Hilfe der erwähnten standardisierten „Europäischen Methode“

durchgeführt (Berlin, Schaller, 1974). Angegeben wird dabei die Aktivität des Enzyms in $\mu\text{mol ALA} \cdot \text{min.}^{-1} \cdot 1 \text{ Erythrozyten}^{-1}$. Die Messung der ALA-D-Aktivität in den Kinderblutproben erfolgte mit der Methode nach Bonsignore-Hernberg (Bonsignore, 1965, Hernberg und Mitarb., 1970, Haas und Mitarb., 1972). Die Einheit des Enzyms wird dabei in $\mu\text{mol PBG} \cdot \text{Stunde}^{-1} \cdot 1 \text{ Erythrozyten}^{-1}$ ausgedrückt. Bei allen Kollektiven wurden die FEP mit der von uns geringfügig modifizierten Methode nach Piomelli (1973) bestimmt. Da dieses Verfahren unseres Wissens im deutschen Sprachraum noch nicht beschrieben wurde, soll hier kurz die Arbeitsvorschrift angeführt werden.

Reagenzien:

1,5 N-Salzsäure

5 %ige Celit-Lösung in physiologischer Kochsalzlösung

Essigsäure-Äthylester-Eisessig-Gemisch (4 : 1)

Protoporphyrin-IX-Dimethylester (Firma Merck)

Coproporphyrin-III-Tetramethylester (Firma Calbiochem)

Geräte:

Turner-Fluorimeter (Modell 111), Magnetrührer, Vortex-Mischer,

20 μl Mikrokapillaren geeicht (Firma Brand)

Arbeitsvorschrift:

1,5 ml einer gut durchgeschüttelten 5 %igen Celit-Suspension werden mit 20 μl Blut, das mit einer geeichten Kapillare entnommen wurde, in einem Zentrifugenglas kurz gemischt. Man gibt 3 ml des Essigsäure-Äthylester-Eisessig-Gemisches dazu und schüttelt mit dem VORTEX-Mischer 10 sec. durch. Nach 30 sec. Zentrifugieren bei etwa 4500 Upm dekantiert man den Überstand in ein neues Zentrifugenglas. Dazu gibt man 3 ml einer 1,5 N-Salzsäure. Man verschließt das Zentrifugenglas und schüttelt erneut 10 sec. Nach kurzzeitigem Zentrifugieren bei mittlerer Drehzahl wird die untere Phase in ein neues Zentrifugenglas überpipettiert. Die fluorimetrische Messung erfolgt bei einer Anregungslinie von 405 nm. Die sekundäre Strahlung wird bei 610 nm gegen einen Leerwert gemessen, der anstelle des Blutes isotonische Kochsalzlösung enthält. Die quantitative Auswertung läßt sich mit Protoporphyrin-IX-Dimethylester-Eichlösungen durchführen. Zur Erstellung einer Eichkurve bevorzugen wir jedoch Standardlösungen aus dem stabileren Coproporphyrin-III-Tetramethylester. Diese Lösungen sind im Kühlschrank über Monate lagerfähig. Für die Umrechnung auf Coproporphyrin wurde von uns aus dem Verhältnis der molaren Fluoreszenz von Protoporphyrin zu Coproporphyrin ein Faktor von 1,21 ermittelt. Da das Ergebnis der Analyse auf 100 ml rote Blutkörperchen bezogen wird, muß das Ergebnis mit dem Hämatokrit korrigiert werden. Es ergibt sich folgen-

de Berechnungsformel:

$$\text{FEP } \mu\text{g je 100 ml Ery.} = \frac{\text{FEP } \mu\text{g/100 ml Blut}}{\text{Hämatokrit } \%} \cdot 100.$$

Wurde zur Auswertung eine Coproporphyrin-Eichkurve verwendet, so muß das Ergebnis noch mit 1,21 multipliziert werden.

Über die Zuverlässigkeitsskriterien dieser Methode, einen Vergleich mit einem Verfahren zur selektiven Protoporphyrinbestimmung in den Erythrozyten und über eine detaillierte Erarbeitung von Normbereichen soll an anderer Stelle berichtet werden (*Schiele, Schaller, Wagner, 1974*).

Ergebnisse:

Die mittlere FEP-Konzentration bei 50 beruflich nicht bleibelasteten Männern (Kollektiv a)) betrug $85,8 \pm 22,7 \mu\text{g}/100 \text{ ml Erythrozyten}$. Dieser Wert liegt über dem von *Piomelli und Mitarb. (1973)* angegebenen Wert von $46,9 \pm 14,9 \mu\text{g}/100 \text{ ml Erythrozyten}$. Wir führen dies darauf zurück, daß von uns zur Messung der Porphyrine ein Filter-Fluorimeter anstelle eines Spektrofluorimeters verwendet wurde. Sowohl der mittlere Blutbleispiegel von $16,4 \pm 3,7 \mu\text{g} \%$ als auch die mittlere ALA-D-Aktivität von $33,7 \pm 6,8 \mu\text{mol ALA} \cdot \text{min.}^{-1} \cdot 1 \text{ Ery.}^{-1}$ lagen für dieses Kollektiv innerhalb der Norm. Die korrelationsanalytische Auswertung ergab zwischen Blutbleispiegel und ALA-D-Aktivität eine schwache Korrelation ($r = 0,312^*$). Erwartungsgemäß war in diesem ökologischen Bereich kein Zusammenhang zwischen Blei- und Erythrozytenporphyrin-Konzentration im Blut festzustellen.

Zur Prüfung der Validität der FEP-Bestimmung wurde von uns zusätzlich ein leicht bleiexponiertes Kollektiv untersucht (Kollektiv b)). Es handelte sich um Kinder, die in der Nähe einer bleiemitterenden Hütte leben. Der gefundene Blutbleispiegel von $24,1 \pm 9,2 \mu\text{g} \%$ lag über dem von uns für ein nicht bleibelastetes Kollektiv angegebenen Mittelwert von $14,9 \pm 4,8 \mu\text{g} \%$ (*Lehnert, 1968*). Die Messung der ALA-D im Vollblut ergab eine mittlere Aktivität von $587 \pm 203 \mu\text{mol PBG} \cdot \text{Std.}^{-1} \cdot 1 \text{ Ery.}^{-1}$. Bei der Messung der FEP wurde ein mittlerer Wert von $160 \pm 90 \mu\text{g}/100 \text{ ml Erythrozyten}$ gefunden. Zum Vergleich untersuchten wir ein Kollektiv von 68 Kindern im Alter von 8 Tagen bis zu 3 Jahren. Hier fand sich ein Mittelwert für die ALA-D-Aktivität von $855 \pm 306 \mu\text{mol PBG} \cdot \text{Std.}^{-1} \cdot 1 \text{ Ery.}^{-1}$ (*Haas und Mitarb., 1972*). Ein entsprechendes Vergleichskollektiv für die FEP stand uns nicht zur Verfügung. Die korrelationsanalytische Auswertung dieser Messungen brachte vergleichbare Korrelationskoeffizienten. Die Korrelation des Blutbleispiegels sowohl mit der logarithmierten ALA-D-Aktivität ($r = 0,6231^{***}$) als auch mit den FEP-Werten ($r=0,63^{***}$) war statistisch hochsignifikant.

r^* : $p < 0,05$
 r^{***} : $p < 0,001$

Das Ergebnis der Bestimmung der FEP im Blut von beruflich bleiexponierten Personen (Kollektiv c) war mit $377 \pm 341,7 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ Erythrozyten beträchtlich gegenüber einem Normalkollektiv erhöht. Die Bleibelastung dieses Kollektivs mußte mit einem mittleren Blutbleispiegel von $52 \pm 25,6 \mu\text{g} \%$ als erheblich betrachtet werden. Dies drückt sich auch in einer stark erniedrigtenALA-D-Aktivität von $13,7 \pm 9,1 \mu\text{mol ALA} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1 \text{ Ery.}^{-1}$ aus. Ein mit dieser standardisierten „Europäischen Methode“ untersuchtes Kollektiv von 50 männlichen Personen zeigte eine mittlereALA-D-Aktivität von $32,2 \pm 6,5 \mu\text{mol ALA} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1 \text{ Ery.}^{-1}$. Sowohl die Korrelation des Blutbleispiegels mit derALA-D-Aktivität als auch mit demFEP war statistisch hochsignifikant. Dabei lag jedoch der Korrelationskoeffizient für die Beziehung Blutbleispiegel undALA-D- mit $r = 0,87724^{***}$ erheblich besser, als die Korrelation derFEP zum Blutbleiwert ($r = 0,69^{***}$). Die korrelationsanalytische Auswertung mit den logarithmiertenFEP-Werten zeigte eine geringe Verbesserung des Koeffizienten auf $0,74^{***}$.

Diskussion:

Die Grenze einer normalen ökologischen Bleibelastung liegt nach dem Vorschlag von *Chisolm jr.* (1971) bei einem Blutbleispiegel von $40 \mu\text{g} \%$. Die Feststellung von $40 \mu\text{g} \%$ Blutblei als akzeptablen Höchstwert einer ökologischen Bleibelastung für Erwachsene entspricht auch den Empfehlungen von *Zielhuis* (1974). Bei Schwangeren, Säuglingen und Kindern sollte die Blutbleikonzentration jedoch $35 \mu\text{g} \%$ auf keinen Fall überschreiten. Als genügend empfindlicher biologischer Parameter für diesen Bereich der Exposition wurde bisher nur dieALA-D-Aktivität der Erythrozyten angesehen. In der Untersuchung eines ökologisch nur als leicht belastet zu bezeichnenden Kollektivs hat sich bei uns nun auch derFEP-Test nach *Piomelli* bewährt. Dabei wiesen dieALA-D-Aktivitäten gegenüber denFEP-Werten eine nur geringfügig bessere Korrelation zum Blutbleispiegel auf. - Auf Grund dieser Ergebnisse und im Hinblick auf den geringen Aufwand der Methode vertreten wir die Ansicht, daß für zukünftige, großangelegte epidemiologische Studien die Bestimmung derFEP als Suchtest für Risikopopulationen oder Einzelpersonen hinreichend genau und praktikabler ist als andere Methoden. Die Angabe von *Piomelli und Mitarb.* (1973 a), daßFEP-Werte von über $250 \mu\text{g} \%$ für eine erhöhte Bleibelastung sprechen, stimmt weitgehend mit unseren Erfahrungen überein. Wird dieser Grenzwert überschritten, so ist mit falsch negativen Ergebnissen, d.h. Blutbleispiegeln von über $40 \mu\text{g} \%$, kaum zu rechnen. Für die von uns untersuchten Kinder ließ sich diese Forderung bereits sogar für Blutbleispiegel von über $35 \mu\text{g} \%$ erfüllen. Im ökologischen Bereich sollten alle Personen mit einem Wert von mehr als $250 \mu\text{g} \%$ FEP einer eingehenderen Bleidiagnostik unterzogen werden, um die Risikopatienten oder möglichen Vergiftungsfälle

le zu ermitteln. In der Gruppe der verdächtigen Personen würden sich auch solche mit Eisenmangelanämie und seltenen hereditären Hämsynthesestörungen, wie der erythrohepatischen Protoporphyrnie, finden, in jedem Fall also pathologische Zustände, die zum Teil ebenfalls einer Behandlung zugänglich sind. Durch gleichzeitige Bestimmung der ALA-D-Aktivitäten ließe sich eine solche Fehlinterpretation falsch positiver Ergebnisse weitgehend ausschalten (*Sassa und Mitarb., 1973*). Nach bisher vorliegenden Ergebnissen und dem Vergleich dieser einfachen Methode zur Abschätzung einer erhöhten ökologischen oder beruflichen Bleilast mit den anderen herkömmlichen Methoden erscheint es gerechtfertigt, diesem Test in der Bleidiagnostik einen festen Platz einzuräumen. Im Hinblick auf die einleitend erwähnten biochemischen Grundlagen muß jedoch betont werden, daß die alleinige Anwendung des FEP-Tests zur Diagnostik und Überwachung nur bedingt geeignet ist. Um alle Spielarten und Grade einer mehr chronischen oder mehr akuten erhöhten Bleiaufnahme zu erfassen, halten wir die umfassende Bleidiagnostik mit Hilfe der Blutbleibestimmung und der ALA-D-Aktivität in den Erythrozyten für erforderlich. Der FEP-Test stellt eine Bereicherung des diagnostischen Spektrums dar, kann jedoch nicht als Ersatz der herkömmlichen Methoden angesehen werden. Er ist als ein gutes Beispiel eines Schnelltests zu bezeichnen, der Einfachheit und ausreichend große Spezifität und Genauigkeit miteinander verbindet. Da die Stabilität der FEP eine Aufbewahrung und Verschickung des Analysengutes komplikationslos über mehrere Tage ermöglicht, ist die Bestimmungsmethode vor allem auch für den Einsatz in großen epidemiologischen Studien geeignet.

Fräulein M. Schwärmer sei an dieser Stelle für die Bestimmung der FEP und die Erstellung der Eichkurve besonders gedankt.

Zusammenfassung:

Es werden Parameter erörtert, die zur Erfassung einer ökologischen oder berufsbedingten Bleibelastung geeignet erscheinen. Dabei wird insbesondere auf den Aussagewert von Bestimmungen des Blutbleispiegels, der erythrozytären Delta-Aminolävulinsäure-Dehydratase-Aktivität (ALA-D) und der freien Erythrozytenporphyrine (FEP) hingewiesen. Auf einige biochemische Aspekte dieser diagnostischen Kriterien wird eingegangen. Eine Methode zur schnellen und einfachen fluorimetrischen Bestimmung der FEP in μl -Mengen Kapillarblut wird beschrieben. Diese wurde auf ihre Brauchbarkeit in der Anwendung auf ein ökologisch und ein beruflich bleiexponiertes Kollektiv untersucht. Die Bleibelastung der ökologisch exponierten Personen war mit einem mittleren Blutbleispiegel von $24,1 \pm 9,2 \mu\text{g}\%$ als leicht, die der beruflich belasteten Werktagen mit einem mittleren Blutbleispiegel von $52 \pm 25,6 \mu\text{g}\%$ als erheblich zu bezeichnen. Als akzeptabler individueller Höchstwert einer ökologischen Bleibelastung werden

40 $\mu\text{g}\%$ Blutblei angesehen. Für beide Kollektive ließ sich eine statistisch hochsignifikante Korrelation zwischen Blutbleispiegel und ALA-D-Aktivität und Blutbleispiegel und FEP sichern. Bei den ökologisch belasteten Personen fand sich eine im Vergleich zu den FEP-Werten nur geringfügig bessere Korrelation der ALA-D-Aktivität zum Blutbleispiegel. Eine deutlich bessere Korrelation zwischen Blutbleispiegel und ALA-D-Aktivität wiesen dagegen die beruflich exponierten Personen auf. - Die Verwendbarkeit des FEP-Tests für epidemiologische Untersuchungen wird erörtert.

Schlüsselwörter: Freie Erythrozytenporphyrine, Delta-Aminolävulinsäure-Dehydratase-Aktivität, Blutbleispiegel, ökologische und berufsbedingte Bleibelastung.

Summary:

Parameters suited for the assessment of ecological or professional lead exposure are discussed. Special emphasis is placed on the determination of lead in blood, delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) activity in erythrocytes, and free erythrocyte protoporphyrins (FEP). Some biochemical aspects of these diagnostic criteria are discussed.

A method for the rapid and simple fluorometric determination of FEP in μl quantities of capillary blood is described. The latter was tested as to its applicability on an ecologically and professionally exposed group of persons. The group exposed to elevated ambient concentrations showed a mean blood-lead level of $24 \pm 9.2 \mu\text{g}\%$, which could be considered as „slightly exposed“. The mean blood-lead value of the professionally exposed group was $52 \pm 25.6 \mu\text{g}\%$, which must be termed „significantly exposed“. $40 \mu\text{g}\%$ lead in blood was the level considered „acceptable“ as an individual maximum value for ecological lead exposure.

Statistically, a highly significant correlation between blood lead level and ALA-D-activity and between blood lead and FEP could be demonstrated for both groups. In the ecologically exposed persons, the correlation between ALA-D-activity and blood lead level was only slightly better than that of FEP and blood lead. A far better correlation between ALA-D and blood lead was present in the high-exposure group.

The use of the FEP-test for epidemiological studies of lead exposure is discussed.

Key words: Free erythrocyte protoporphyrine, delta-aminolevulinic acid activity, blood lead level, ecologic and professional lead exposure.

Literatur:

Berlin, A., del Castilho, P., Smeets, J.: Proceedings of the International Symposium „Environmental Health Aspects of Lead“ Amsterdam, October 2-6, 1972; EUR d-e-f, (1972), 1033-1049

- Bonsignore, A., Calissano, P., Cartasegna, C.:* Med. d. Lavoro **57** (1966), 647
- Chisolm, J.J., jr.:* J. Pediatr. **79** (1971), 719-725
- Doss, M., Bode, U.:* Z. klin. Chem. u. klin. Biochem. **6** (1968), 283-286
- Granick, S., Sassa, S., Granick, J.L., Levere, R.D., Kappas, A.:* Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **69** (1972), 2381-2385
- Haas, Th., Mache, W., Schaller, K.-H., Mache, K., Klavis, G., Stumpf, R.:* Int. Arch. Arbeitsmed. **30** (1972), 87-104
- Hernberg, S., Nikkanen, J., Tola, S., Valkonen, S., Nordman, C.H.:* Internat. Conference on Chem. Poll. and Human Ecology, Prague, Oct. 1970
- Kammholz, L.P., Thatcher, L.G., Blodgett, F.M., Good, Th.A.:* Pediatrics **50** (1972), 625-631
- Kehoe, R.A.:* Arch. Environ. Hlth. **8** (1964), 235-243
- Lehnert, G.:* Arbeitsmedizin-Sozialmedizin-Arbeitshygiene, Schriftenreihe Heft 21, A.W. Gentner - Stuttgart 1968
- Lehnert, G., Schaller, K.-H., Szadkowski, D.:* Z. klin. Chem. u. klin. Biochem. **7** (1969), 310
- Piomelli, S., Davidow, B., Guinee, V.F., Young, P., Gay, G.:* Pediatrics **51** (1973), 254-259
- Piomelli, S., Young, P., Gay, G.:* J. Lab. Clin. Med. **81** (1973), 932-940
- Rubino, G.F., Prato, V.:* Giorn. Accad. Med. Torino **1** (1955), 6
- Sassa, S., Granick, J.L., Granick, S., Kappas, A., Levere, R.D.:* Biochem. Med. **8** (1973), 135
- Schiele, R., Schaller, K.-H., Wagner, M.:* in Vorbereitung
- Schlegel, H.:* Dtsch. med. Wschr. **95** (1970), 2131-2132
- Schmidt, D., Stich, W.:* Münch. med. Wschr. **115** (1973), 103-108
- Schwartz, S., Wikoff, H.M.:* J. biol. Chem. **194** (1952), 563
- Schwartz, S., Bergh, H.M., Bossenmaier, J., Dinsmore:* Meth. biochem. Anal. **8** (1958), 253
- Valentin, H., Schaller, K.H.:* Technicon Symposium 19.3.1974, Frankf./M.
- Vallee, B.L., Ulmer, D.D.:* Annu. Rev. Bioch. **41** (1972), 91-128
- Zielhuis, R.L.:* Int. Arch. Arbeitsmed. **32** (1974), 103-127

R. Schiele
K.-H.Schaller
Institut für Arbeits- und Sozialmedizin
und Poliklinik für Berufskrankheiten
der Universität Erlangen-Nürnberg
852 Erlangen, Schillerstr. 25
Wiss. Oberrat Dr. H.M. Wagner
Institut für Wasser-, Boden- und Luft-
hygiene des Bundesgesundheitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1

Technische und experimentelle Praxis umweltsimulierender Gasbelastung

(Dargestellt an einer Anlage zur Exposition in Automobilabgasen)

von W. Sinn

A. Allgemeines

Die Emission von Luftfremdstoffen als Begleiterscheinung industrieller, gewerblicher und individueller Verbrennungs- bzw. Energieumwandlungsprozesse ließ insbesondere für Ballungsgebiete hochindustrialisierter Länder die Frage nach den gesundheitlichen Folgen solcher Verunreinigung des Atemmediums des Menschen ständig dringlicher werden.

Insgesamt stand und steht bis heute die gezielte und kausal-experimentelle Wirkungsforschung im Schatten einer wertungsfreien messenden physikalisch-chemischen Analyse der Luftfremdstoffe nach Art und Quantität. Solcher Art analytischer Diagnose der Qualität unserer Atemluft ist unabdingbare Voraussetzung zur Feststellung des integralen Anteils verschiedener Emittenten auf die Luftverschmutzung in einzelnen Regionen. Auch epidemiologische Forschungen lassen sich nur auf der Grundlage langfristiger regionaler und überregionaler Analysen der Luftzusammensetzung aufbauen.

Es zeigte sich bislang jedoch, daß eine gesicherte Bewertung der Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen bezogen auf den Einzelfaktor „Luftverschmutzung“ nicht möglich ist.

Daß den Ergebnissen epidemiologischer Untersuchungen (als partielle und spezifizierte bevölkerungsstatistische Ausschnittsrecherchen) ein multifaktorielles Geschehen zugrunde liegt, dem Kausalbeziehungen für nur einen Faktor (Luftverschmutzung) kaum abzuringen sind, läßt das Studium der Sterbetafeln von Ländern unterschiedlicher sozialer, ökologischer und wirtschaftlicher Struktur erkennen: Die Lebenserwartung ist gerade in den Ländern höchster Industrialisierung d.h. größten Energieverbrauchs/Einwohner und damit integral gesehen größter Abgabe von Luftfremdstoffen in die Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung und mit dieser ständig gestiegen. (Bei dieser globalen Betrachtung des Problems muß der Einzelfaktor „Atemluftverschmutzung durch Tabakrauch“ ausgespart werden. Die Wertigkeit dieses Faktors als Gesundheitsrisiko ist zweifelsfrei nachgewiesen.) Andererseits konnten für meteorologische und aero-toxikologische Extremsituationen gesundheitsbedrohende und gesundheitsschädigende

Wirkungen insbesondere auf Bevölkerungsgruppen niederer Resistenzlage (Kranke, Alte, Kinder) statistisch belegt werden (1). Die Unsicherheit für die Herausarbeitung bewertender Wirkungsbeziehungen ist darin gelegen, daß die einwirkenden Größen nur zum geringsten Teil, darüber hinaus aber Ausgangs- und Reaktionslage (nosologisch, psychisch und soziologisch) der biologischen Reagenten meist unbekannt sind.

Zudem sind die Bewertungen von Ergebnissen oft durch Anwendung verschiedenster analytischer Meßmethoden nicht vergleichbar.

Die Ausschaltung derartiger Imponderabilien läßt eine experimentelle Versuchsanordnung zu, die mit konstanten oder programmiert variablen Konzentrationen und beliebig lange applizierbaren Fremdstoffen im Atemmedium Luft arbeitet (Gasbelastungsanlage). Nur hierdurch ist die erste Voraussetzung pharmakologisch oder toxikologisch bewertender Kausalforschung - Applikation abgestufter und definierter Dosen der zur Wirkungsermittlung dienenden Stoffe - erfüllbar.

Berücksichtigt man andererseits, daß im umweltsimulierenden Experiment Wirkungen von Gaskonzentrationen entsprechend einem Aufenthalt in normaler bis ungünstiger (jedoch immer noch subtoxischer) zivilisatorischer Ökosphäre ermittelt werden müssen, so folgt, daß es sich bei der Aufgabenstellung um Eingrenzung von „Schwellenkonzentrationen“ handelt. Schwellenkonzentrationen hier in dem Sinne, daß unterhalb dieser Konzentration keine Wirkung mehr nachweisbar ist.

Der Bestimmung solcher Grenzkonzentrationen sind ihrerseits statistische (Erfassung von Phänomenen im unteren Randbereich einer stochastischen Verteilung), erkenntnistheoretisch sowie biologisch-physiologische Probleme inhärent (2).

B. Luftfremdstoff „Automobilabgas“

Mit der überproportionalen Zunahme automobilen Individualverkehrs in allen Industrieländern ging nicht nur eine Verbesserung der ökonomischen, sozialen und ideellen (Freizügigkeit, Ortsungebundenheit) Situation des Menschen einher. Es ergaben sich Probleme, die in fast alle Lebensbereiche des Einzelnen wie der Gemeinschaft hineinreichen. Im Problemkreis „Automobil und Umwelt“ nimmt der Sektor Luftverschmutzung einen Abschnitt ein, dessen quantitative Wertigkeit im Hinblick auf gesundheitliche Gefährdung auch in Fachkreisen sehr unterschiedlich eingeschätzt wird.

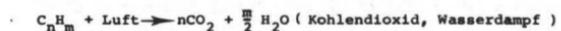
Außerhalb jeglicher Interpretation ist unbestreitbar, daß beim Verbrennungsvorgang Luftfremdstoffe produziert und in die Außenwelt abgegeben werden, die in jeweils stoffspezifischer Konzentration bei Mensch und Tier tödlich wirken. Ebenso unumstritten ist die chemische Komplexität des Stoffgemisches Automobilabgas, bei dem allein aus der Gruppe „Kohlenwasserstoffe“ rund zweihundert verschiedene Substanzen analysiert wurden.

Die Produktgruppen des Komplexes „Automobilabgas“ und ihre Entstehung sind in Tab. 1 dargestellt. Eine Übersicht über Abgaskonzentrationen und Absolutwerte der abgegebenen Stoffe dieser Produkte ist in Tab. 2 aufgeführt. Hinsichtlich Auswurfkonzentration, Absolutmenge und toxikologischer Eigenschaften steht (beim Ottomotor) das Kohlenmonoxid im Vordergrund. Der akute Wirkungsmechanismus dieses Gases als Blocker der inneren Atmung ist quantitativ und qualitativ sicher einer der am umfassendsten untersuchten atempathologischen Vorgänge (3-6). Nichtsdestoweniger bedürfen selbst für dieses Gas endogene Schutzmechanismen, die sich in Besonderheiten des Invasions- und Eliminationsvorgangs kundtun, (7) sowie die Bewertung biologischer Reaktionen im Bereich von Grenzkonzentrationen nach wie vor kausalbezogener Aufhellung.

Verbrennungsprodukte des Ottomotors

Tabelle 1

A. Vollständige Verbrennung:



B. Produkte der unvollständigen Verbrennung:

Unverbrannte Kohlenwasserstoffe: C_nH_m (Paraffine, Olefine, Aromaten)

Thermische Crackprodukte: C_2H_2 ; C_2H_4 ; H_2 u. a. (Azethylen, Äthylen, Wasserstoff)

Teilverbrannte Kohlenwasserstoffe: C_nH_m ; CHO (Aldehyde)

C_nH_m ; CO (Ketone)

C_nH_m ; COOH (Karbonsäuren)

Unvollständig verbrannter Kohlenstoff: CO (Kohlenmonoxid)

Ruße

polyzyklische Kohlenwasserstoffe

C. Nebenprodukte der Verbrennung:

aus Luftstickstoff: NO, NO_2 (Stickoxide)

aus Kraftstoffzusätzen: Bleioxide, Bleihalogenide

aus Kraftstoffverunreinigungen: Schwefeloxide

D. Nebenprodukte aus Sekundärreaktionen:

Oxidantien: Organische Peroxide, Ozon, Peroxyacylnitrate

Tabelle 1

Wenn im Abgas des weiteren Stoffe enthalten sind, an deren toxikologischer Bedeutung in höheren Konzentrationen (Stickoxide, Ammoniak) oder (und) bei Langzeiteinwirkung (polyzyklische Kohlenwasserstoffe, Bleiverbindungen) ebenfalls kein oder wenig Zweifel besteht, so ist gezielte Wirkungsermittlung dieses Komplexes auf biologische Strukturen in für Kernbereiche von Verdichtungsräumen repräsentativen Konzentrationen aus folgenden Gründen dringlich geboten:

Bei der wirtschaftlichen, ökologischen und soziologischen Bedeutung des Kraftfahrzeuges können beweisbare Aussagen über gesundheitliche Fol-

Abgaszusammensetzung in Volumenprozent

Tabelle 2

Abgasbestandteil	Leerlauf		Vollast niedrige Drehzahl	Vollast hohe Drehzahl
Kohlendioxid	6,5 ... 8		7 ... 11	12 ... 13
Wasserdampf	7 ... 10		9 ... 11	10 ... 11
Stickstoff	71		74	76
Sauerstoff	1 ... 1,5		0,2 ... 2	0,1 ... 0,4
Kohlenmonoxid	4,5		... 4	1 ... 3
Kohlenwasserstoffe	0,03 ... 0,8		0,02 ... 0,05	0,01 ... 0,03
Stickoxide	... 0,005		... 0,2	... 0,5
Wasserstoff	... 1,5		0,2 ... 0,8	0,1 ... 0,5
Bleiverbindungen			60 mg/m ³	
Sonst. anorg. Verbindungen			30 mg/m ³	
Mittlere Schadstoffemissionen				
bezogen auf 100 Lit. Kraftstoffverbrauch				
Kohlenmonoxid	18 ... 36 kg		Schwefeloxide	60 ... 120 g
Kohlenwasserstoffe	2,4 ... 4,8 kg		Karbonsäuren	bis 24 g
Stickoxide	0,3 ... 1,5 kg		Ammoniak	bis 24 g
Aldehyde, Ketone	bis 60 g		anorg. Feststoffe	bis 3,6 g

Tabelle 2

gen chronischer Veratmung des Abgaskomplexes zum Auslöser von Um- schichtungen in der Wertigkeitsskala des Kraftfahrzeuges mit entsprechenden Weiterungen auf allen o.a. Gebieten werden.

Auch können Erkenntnisse, die mit den Hilfsmitteln und Methoden anerkannter naturwissenschaftlicher und medizinischer Forschung gewonnen wurden, ideologisch oder emotionell geprägten Behauptungen ebenso den Boden entziehen, wie Sie andererseits den Vorwurf voreingenommener oder lässiger Behandlung der Probleme durch Interessengruppen oder Exekutive, zu entkräften vermögen. Versuche auf der Grundlage umwelt simulierender Modelle erfordern primär hohe Investitionen für das Untersuchungsinstrumentarium. Aber nur ein derartig hochwertiges Experimentalmodell erlaubt über lange Zeiträume einwirkende Konzentrationen und Umgebungsbedingungen frei zu wählen und die zu untersuchenden Kollektive weitgehend homogen zu halten.

Auch bietet diese Versuchsanlage die Chance, zu quantitativen Dosis-Wirkungsbeziehungen zu kommen, und damit eine Grenzabsteckung zwischen „Gesundheitsschädigung“, „Gesundheitsgefährdung“ und „gesundheitlicher Unbedenklichkeit“ vorzunehmen. Es ließe sich dann aufgrund

quantitativer Beziehungen u.B. eine Extrapolation gewerbehygienischer Erfahrungswerte auf Immissionsgrenzwerte vermeiden.

Zwar wird völle Abstützung legislativer Entscheidungen auf reproduzierbare Experimentalergebnisse wegen der Problemverzahnung in diesem Bereich kaum erreichbar sein. Doch gestattet die quantitative Bewertung vielseitiger Experimente den Ersatz unsicherer Extrapolation durch gezielte und fundierte Projektion nach dem Konvergenzprinzip.

Aus solchen Überlegungen gingen Planung und Realisaiton der hier beschriebenen Anlage zur programmierten Exposition von Tier und Mensch in Automobilabgasen hervor.

C. Anlage zur experimentellen Wirkungsermittlung von Automobilabgasen

1. Funktionelle und experimentelle Konzeption der Anlage

- a) Prinzipiell soll die Anlage der Erzeugung wirklichkeitsnaher Immissionen von Automobilabgas entsprechend einem Aufenthalt in zivilisatorisch besonders hoch und andererseits in vergleichsweise niedrig beaufschlagter Ökosphäre dienen.
- b) Als „Leitnoxe“ und repräsentativ für die Intensität der Luftverunreinigung muß aus toxikologischen wie technologischen (Ausstoßmenge) Gründen das Kohlenmonoxid (CO) dienen.
- c) Der applizierbare Konzentrationsbereich soll 0-100 ppm für den Menschen, 0-1000 ppm für das Tier betragen.
- d) Während der Versuche (insbesondere bei Kurzzeitversuchen am Menschen) muß die zur Einwirkung kommende Konzentration in Untersuchungs- und Vergleichsräumen frei wählbar sein und der gewählte Pegel kurzfristig und automatisch sich einstellen (Doppelblindversuch!).
- e) Die Einhaltung der gewählten Konzentration mit möglichst geringer Schwankungsbreite muß auch bei Auftreten systematischer oder äußerer Störgrößen gewährleistet sein (optimale Regelgüte).
- f) Sicherheitsvorrichtungen müssen Störungen der Regelungsanlage und das Auftreten gefährlicher Fremdgaskonzentrationen zwangsläufig verhüten.
- g) Optimaler Durchsatz des Frischluft-Fremdgasmisches (Luftwechselfrequenz mindestens bauhygienischen Vorschriften entsprechend) bei Vermeidung von Turbulenzen oder „Luftzug“-Phänomenen stellt eine weitere Forderung dar. Hierdurch ergibt sich eine Verhinderung der Akkumulation stoffwechselbedingter Luftfremdstoffe, die versuchsfremde eigene Belastungskomponenten darstellen (CO_2 und Ammoniak in Konzentrationen, die nicht versuchsinhären sind).
- h) Ausreichendes Volumen und Lichtverhältnisse (Tageslicht) in den Versuchsräumen für den Menschen sind zur Vermeidung versuchsfremder Psychoreaktionen (Claustrophobie!) notwendig. Weiterhin muß die Mög-

lichkeit des Aufbaues eines größeren diagnostisch-apparativen Geräte-parks und der Aufenthalt von zwei Personen in jeder Kammer möglich sein.

- i) Weitere Vorbedingung ist ein konstanter der äußeren Atmosphäre entsprechender automatisch geregelter Innendruck der Untersuchungsräume und insbesondere die Vermeidung niederfrequenter Druckschwankungen im Infraschallbereich. ($20 \text{ dyn/cm}^2 \cong 0.2 \text{ mm WS}$ entsprechen 100 dB über „Hör“schwelle mit erheblichen die Luftfremdstoffeinfüsse weit überschreitenden Wirkungen auf das Stato-acusticus-System!).
- k) Falls keine ärztliche Betreuung dauernd im Untersuchungsraum anwesend ist, wird Fernüberwachung und akustische Kommunikationsmöglichkeit notwendig.
- l) Forlaufende Registrierung möglichst aller wichtigen Luftfremdstoffkomponenten und -konzentrationen sowie der Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte) ist zur präzisen Versuchsauswertung unerlässlich.
- m) Eine one-line Datengewinnung und Verarbeitung erbringt die Möglichkeit, einen Versuch schon während des Ablaufes zweckdienlich steuern zu können.
- n) Vier Untersuchungsräume erscheinen aus Gründen effizienter Versuchsführung und statistischer Auswertung als optimal. Dies deshalb, weil sich in dieser Anzahl von Räumen logarithmisch gestaffelte Konzentrationswerte über zwei Dekaden applizieren lassen (z.B. (0), 3, 10, 30, 100 ppm). Im Tierversuch kann eine weitere Dekade mit 300 und 1000 ppm genutzt werden.

2. Technische Realisierung und physischer Aufbau der Anlage

a) Bauliche und installationsmäßige Gesamtübersicht

Grundlage dieser Beschreibung ist der Anlageteil, der für Untersuchungen am Menschen vorgesehen ist. Dieser Anlageteil steht seit einem Jahr im Dauerbetrieb. Die einzelnen Untersuchungskammern (aus äußeren Gründen konnten entgegen den Voraussetzungen nach 1. n) nur 3 Kammern erstellt werden) sind jedoch mit Tieren (Ratten) und Pflanzen belegt. Dies aus zwei Gründen: In den langfristigen Probeläufen und Vorversuchen war die Sicherheit sowie Funktionstüchtigkeit der Anlage in allen vorbeschriebenen Punkten nachzuweisen. Außerdem sollte der Zeitraum, in dem simultan eine weitere besondere Anlage für Tierversuche im Dachgeschoß des Gebäudes erstellt wurde, zu orientierenden Prototypversuchen genutzt werden. Nachfolgend wird die Anlage zunächst in Form einer Übersicht des baulichen und installationsmäßigen Verbundes dargestellt. Sodann sollen die grundsätzlichen regeltechnischen und apparativen Ein- und Aufbauten zur Realisierung der im Katalog C 1. a . . . n) vorausgesetzten Eigenschaften

cursorisch abgehandelt werden. Eine ausführliche Veröffentlichung technischer und biologischer Grundlagen der Gasbelastung befindet sich in Arbeit.

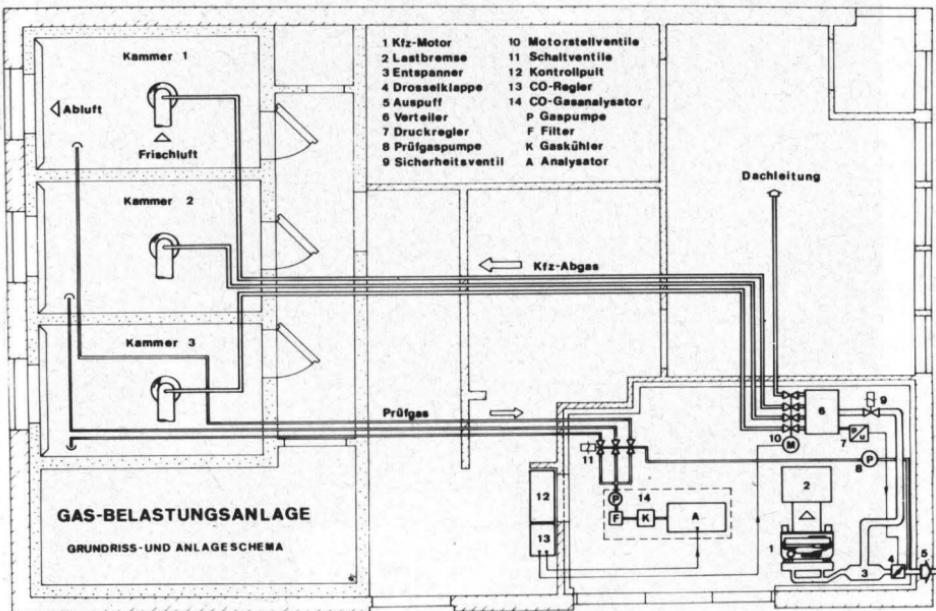


Abbildung 1

In Abb. 1 ist der bauliche Grundriß des Erdgeschoßes mit den Untersuchungskammern, dem Lungenfunktionsraum und den technischen Installationen dargestellt. Wie aus dem Indikationsfeld (dem baulich ein Labor für Kreislaufuntersuchungen entspricht) im oberen mittleren Teil ablesbar ist, befindet sich der Motor (1) (VW - Industriemotor 1500 cm^3 ; 44 PS) mit Lastbremse (2), sowie die gasverteilenden und Prüfgasführenden Installationen einschließlich der Stellglieder für die Konzentrationsregelung (10) in einem besonderen Raum (Motorraum in der Abb. rechts unten). In Abb. 2 ist dieser Anlageteil bildlich dargestellt. Der elektrische Teil der Regelstrecke [Abb. 1 (13)] einschließlich Schaltwarte und Wirkungsbild für den Funktionszustand der Anlage [Abb. 1 (12)] befindet sich außerhalb in einem Vorraum mit Fenster zum Motorraum, durch das sich die Vorgänge in diesem beobachten, bzw. überwachen lassen (Abb. 3).

Zwei weitere Laboratorien dienen chemisch-analytischen und biochemisch-medizinischen Analysen. Im linken Teil der Abb. 1 sind die drei Expositionsräume und darunter der Lungenfunktionsraum (inbeschriften mit „Gasbelastungsanlage“) gezeichnet.

Offenbar lassen sich die im Konzeptionskatalog C 1. a) . . . g) aufge-

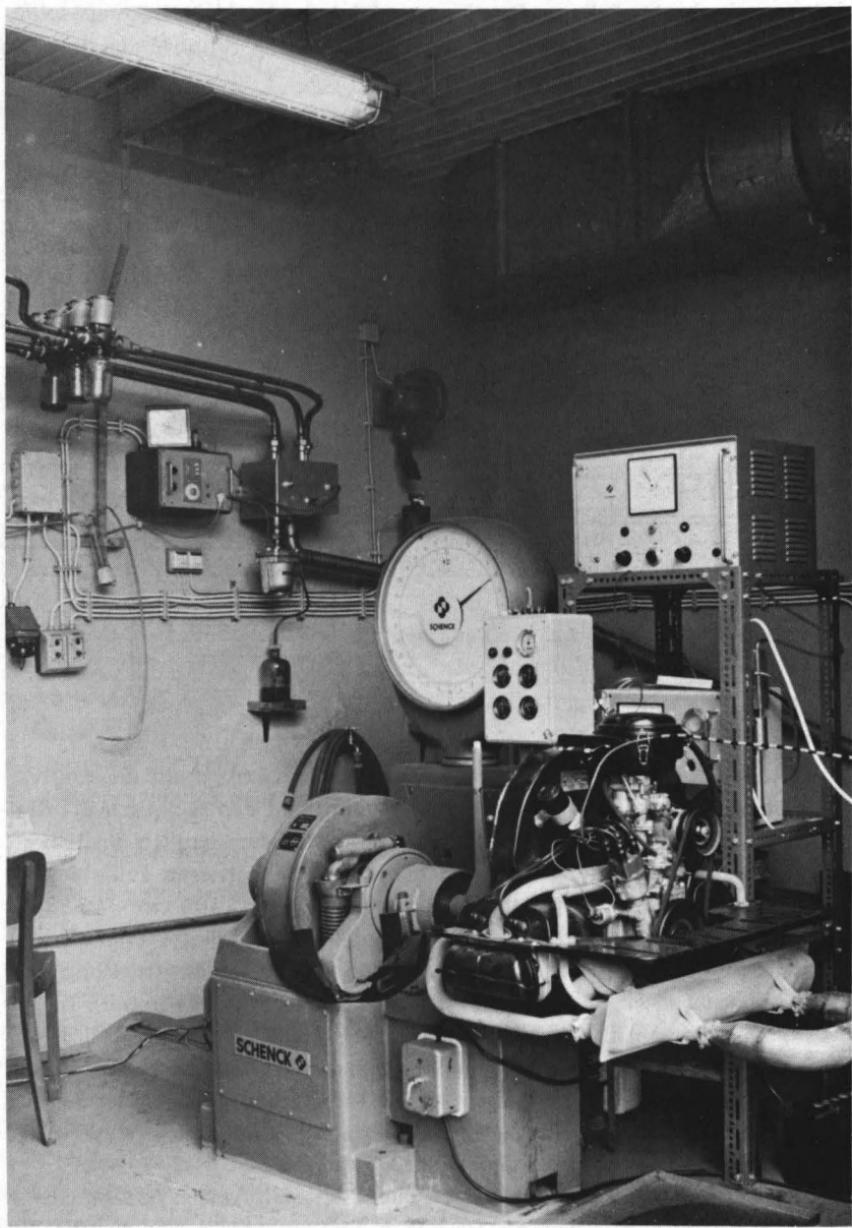


Abbildung 2: Motor mit Lastbremse, Kontroll- und Steuerungsinstrumenten.
An rückwertiger Wand gasführende Installationen mit Verteiler,
Druckregler, Sicherheitsmagnetventilen und Kondensatbehältern.

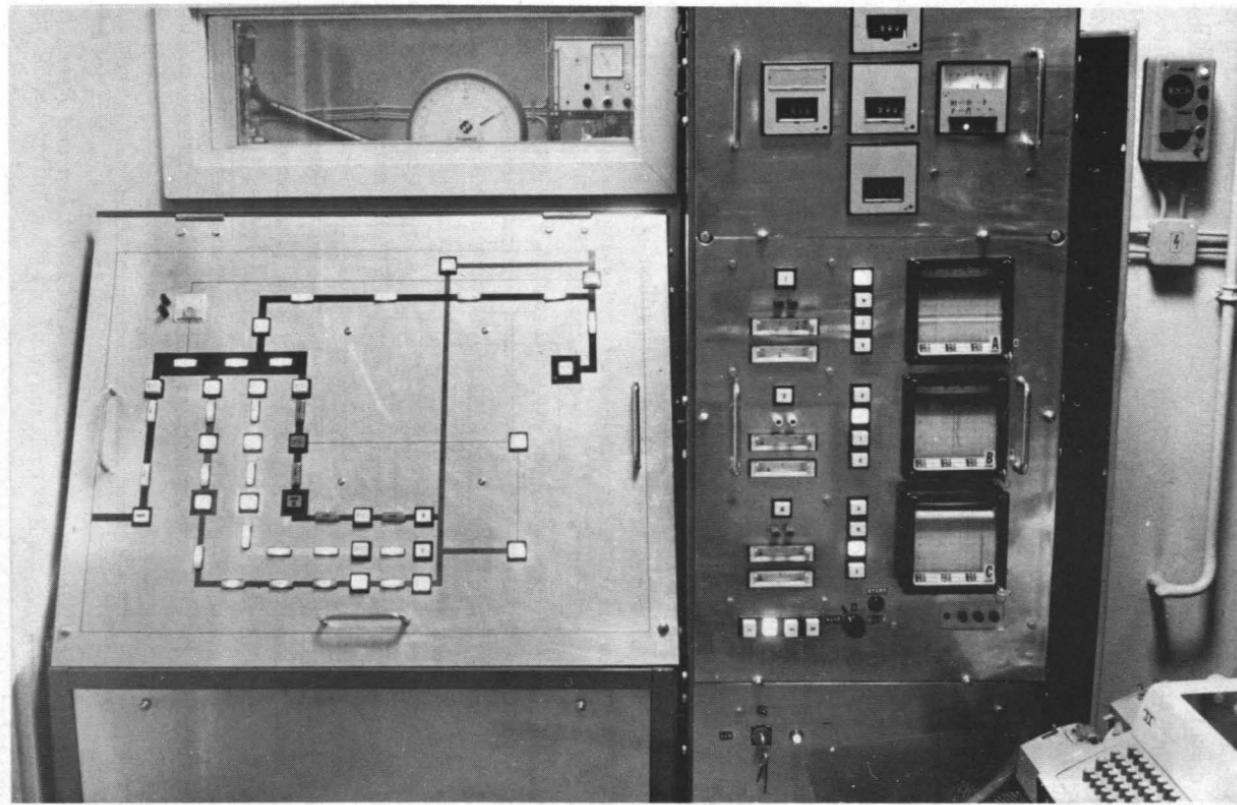


Abbildung 3: Schaltwarte mit Regelungsschrank und Anzeigepult

führten zweckdienlichen Eigenschaften einer Gasbelastungsanlage nur durch Aufbau echter Regelkreise mit frei wählbarer und rasch veränderbarer Sollwertvorgabe erreichen.

[Regelung als Vorgang, bei dem eine Größe (Istwert der CO-Konzentration) fortlaufend gemessen mit einer vorgegebenen Größe (Sollwert der CO-Konzentration) verglichen (Differenzverstärker des Reglers) und Abweichungen beider Größen durch Eingriff (Regler → Stellventil) aufgrund der Messungen ausgeglichen werden].

Zur Abklärung sei dargetan, daß das üblicherweise bei Expositionssuchen angewandte Zumischverfahren des Fremdstoffes mittels Dosierventil, Dosierpumpe o.ä. in einen Luftstrom eine offene Steuerkette darstellt. Eine solche Steuerkette ist nicht in der Lage, Störgrößen (Druckänderungen am Dosierventil, Drehzahländerungen oder Leckverluste der Dosierpumpe, Abweichungen der Fördermenge an Verdünnungsluft u.a. vom vorgegebenen Wert) auszuregeln.

Wie unter C 1. b) dargetan, muß die Regelgröße im behandelten Falle die Konzentration des Kohlenmonoxides in den Expositionsräumen sein, wobei die Sollwerte in unterschiedlicher Größe in beliebiger Kombination für die einzelnen Kammern vorgegeben werden sollen.

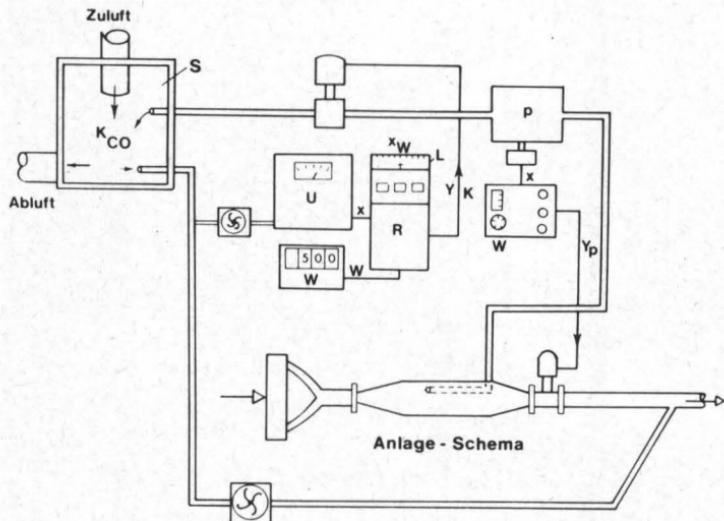


Abbildung 4: Anlagenschema mit Darstellung der Gasstrecken und Regelungseinrichtungen.

In Abb. 4 ist der grundsätzliche Aufbau des Regelkreises für einen Expositionsräum dargestellt. Es sei zunächst die reine Gasregelstrecke (ohne Hilfsregelstrecke für den Förderdruck) besprochen: Aus dem, dem Aus-

puff des „Schadgasgenerators“ nachgeschalteten Entspannertopf (Abb. 4 unten rechts; Abb. 1 (3)), wird das Abgas mit axial gegen den Strom gerichteter Rohrsonde entnommen und über einen Verteilerkasten (Abb. 4 (p); Abb. 1 (6)) und ein Motorstellventil in den Expositionsräum gefördert (S=Regelstrecke) und mit Frischluft gemischt. Eine Gaspumpe großer Förderleistung (Abb. 4 untere waagrechte Leitung; Abb. 1 (8)) saugt mit hoher Geschwindigkeit (Verkürzung der Totzeit!) Raumluft aus der Regelstrecke.

Im Seitenzweig wird durch die Pumpe (Abb. 1 (14) P) des Meßgerätes Abb. 4 (U) ein Teil der Absaugluft als Prüfgas entnommen und dessen Konzentration gemessen. Die elektrische Ausgangsgröße (x) des Meßgerätes ist proportional der Prüfgaskonzentration und wird dem Regler (R) eingespeist, der sie mit dem vorgegebenen Sollwert (W) vergleicht und mittels Kraftschalter eine Abweichung durch Verstellung des Motorventils in entsprechender Richtung korrigiert. Die beschriebene Funktion des Regelkreises ist bei allen Expositionsräumen die gleiche. Eine ununterbrochene Verbindung von Meß- und Regelgerät mit jeder einzelnen Kammer wäre die Idealsituation. Aus wirtschaftlichen Gründen wird jedoch die Meß- und Regeleinrichtung (Abb. 1 (14)) abwechselnd im 30-sec-Rhythmus jedem Expositionsräum zugeschaltet. Jeder Raum hat einen eigenen Sollwertsteller (s.w.u.), der hierbei mitgeschaltet wird. Die periodische Aufschaltung der Prüfgasleitungen wird mittels Dreiege-Magnetventilen (Abb. 1 (11)) in der Weise vorgenommen, daß die nicht gemessenen Leitungen gemeinsam mit hoher Luftgeschwindigkeit abgesaugt werden. Die Verzögerungszeit von Entnahme des Prüfgases am Meßort bis zum Durchgang durch die Magnetventile liegt hierdurch in der Größenordnung von nur 1.8 sec. Bei Umschaltung auf „Prüfen“ steht am jeweiligen Magnetventil damit immer „frisches“ Meßgas an.

Die Hilfsregelstrecke zur Konstanthaltung des Gasförderdruckes (allen Gasstrecken gemeinsam, da im Verteiler (Abb. 1 (6)) Abb. 2 an rückwärtiger Wand auf Konstantdruck geregelt wird) soll hinsichtlich ihrer Funktion nur kurisorisch erwähnt werden. Durch Konstanthalten des Förderdruckes wird sowohl die Wirkung von Störgrößen, z.B. Schwankungen des Auspuffdruckes oder Änderungen in der Leistungsabgabe des Motors abge-

mindert, als auch eine Linearisierung der Beziehung $\frac{\Delta Y_H}{\Delta K_{CO}}$ (Änderung der Stellventilöffnung zu Änderung der CO-Konzentration in der Kammer) erreicht. Bewirkt wird die Konstanthaltung des Förderdruckes durch fortlaufende Messung im Verteiler und Regelung der Stellung einer Drosselklappe in der Hauptauslaßstrecke (Abb. 4 unten rechts; Abb. 1 (4)).

Die Höhe des Druckes war so zu wählen, daß keine Beeinträchtigung des Motorlaufes statthatte (der Druck tritt als Staudruck im Auspuffsystem auf!) und weitgehend lineare Kennlinie der Beziehung Stellventilöffnung zu CO-Konzentration erreicht wurde. Auch durfte der nutzbare Ventil-Stellbereich nicht zu klein werden. Vorversuche ergaben daß ein Druck von 40-50 mm WS diese Bedingungen am besten erfüllte.

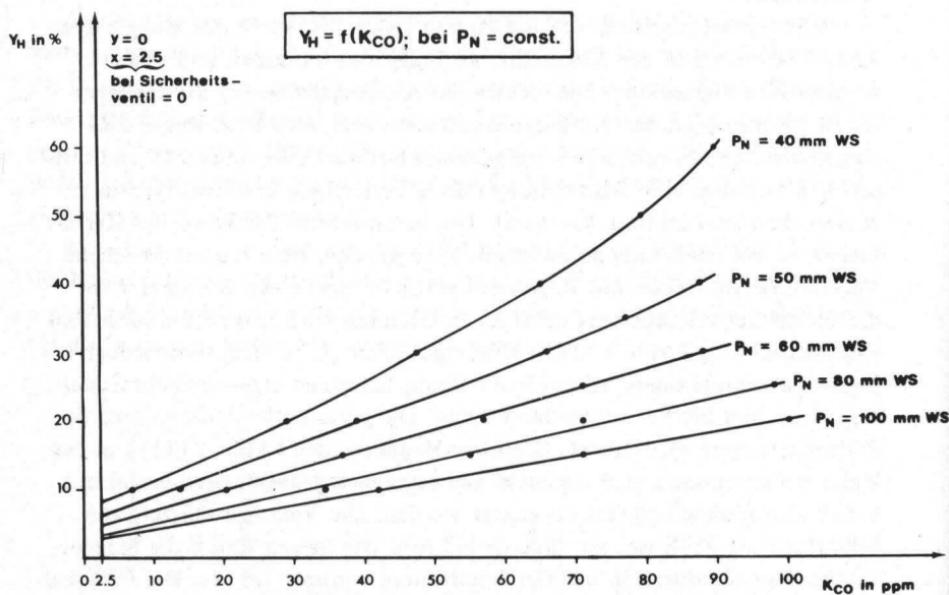


Abbildung 5: Kennlinien Öffnung Stellventile (% Gesamthub) zu CO-Konzentration in den Versuchsräumen (ppm) bei verschiedenen konstanten Förderrücken (Parameter).

b) Beschreibung der Expositionsräume

Die Expositionsräume wurden als doppelwandige Leichtmetallkonstruktion mit zwischenliegender Polystyrolschaumisolation und luftdichten Türen nach dem Kühlraumprinzip erstellt. Die Frischluftzufuhr erfolgt aus der Decke durch jeweils trichterförmige Hauben, in die die Frischluftzubringleitung (Hart-PVC) mit 20 cm Durchmesser einmündet (s. Abb. 1).

Die Zumischung des Automobilabgases, das in Edelstahlrohren von 2,5 cm Durchmesser herangeführt wird, geschieht circa 0,5 m vor Kammer-eintritt zentral in den Rohrbogen der Frischluftleitung mit Mündung der Gasrohre axial stromabwärts.

Im Deckenbereich der Expositionsräume wird Strömungsberuhigung

durch mehrere Loch- und Umlenkbleche erreicht. Die Raumentlüftung erfolgt in Bodenhöhe durch Rechtecköffnung und Weiterführung in einem Doppelwandschacht, der die gesamte Kammerbreite der Fensterseite einnimmt (Lichter Querschnitt = $2,24 \times 0,15 = 0,34 \text{ m}^2$). Die Raum-Innenmaße betragen $2,2 \times 2,24 \times 3,65 \text{ m}$ (B x H x T) das Volumen mithin rd. 18 m^3 .

Das Fördervolumen der Zu- und Abluftventilatoren (jede Kammer hat eigene Luftdurchsatz-Einrichtung) beläuft sich bei frischgereinigten Filtern auf rd. $700 \text{ m}^3/\text{std.}$ und geht vor Filterwechsel auf ca. $600 \text{ m}^3/\text{std.}$ zurück. Die Luftwechselfrequenzen ergeben sich damit zu 33 bis 39 (std^{-1}). Dieser Luftdurchsatz ist so hoch, daß bei Belegung der Einzelkammer mit 200 Ratten Ammoniak im Raum nicht nachweisbar war. Die Luft-Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Expositionsräume beträgt rechnerisch $0,024 \text{ m/sec}$ (mittels des verfügbaren Elektroanemometers ist diese Geschwindigkeit nicht messbar. Lediglich ab einer Entfernung von ca. $0,05 \text{ m}$ vor dem Abluftkanal ließ sich eine Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0,4 bis 0,6 m/sec messen). Diese Geschwindigkeit läßt „Zugluft“ im Aufenthaltsbereich nicht auftreten.

Aus den unter C 1. i) genannten Gründen wird der Kammerinnendruck auf $\pm 1 \text{ mmWS}$ gegenüber dem äußeren Atmosphärendruck konstant gehalten. Dies geschieht mittels U-Rohrmanometer mit Eintauchelektroden, das als Differenzdruckmesser zwischen Kammerinnerem und Außenluft geschaltet ist. Eine elektronische Regelschaltung wirkt über ein Thyristorstellglied auf die Drehzahl - und damit Förderleistung - des Abluftventilators. Hierdurch wird bewirkt, daß der Kammerinnendruck unabhängig vom Zustand der Luftfilter auf dem o.a. Wert konstant bleibt.

Die Außenfenster ergeben mit $1,2 \text{ m}^2$ Fläche ausreichende Tageslichtbeleuchtung für jeden Raum. In Abb. 6 ist die Innenansicht eines Raumes für diagnostische Untersuchungen am Menschen dargestellt.

c) Regelungstechnische Ausrüstung zur Variation der Versuchsprogramme

Die Anlage läßt einen beliebigen Sollwert der CO-Konzentration zwischen „0“ und 100 ppm auch während der Versuche frei wählen. Für Tierversuche entsprechend „0“ bis 1000 ppm. (Die den Expositionsräumen zugeführte Frischluft enthält durch die Nähe einer verkehrsreichen Großstadtstraße als Grundpegel 2 bis 3 ppm CO. Aus Abb. 5 ist ersichtlich, daß auch bei völligem Abschluß der Fremdgaszufuhr eine Konzentration von 2,5 ppm in der „Frischluft“ vorhanden ist!)

Die äußeren Gegebenheiten für die Sollwertwahl lassen sich anhand der Abb. 3 darlegen: Im oberen Teil des rechts abgebildeten Schaltschrankes sind drei übereinander angeordnete digitale Sollwertsteller erkennbar (der vierte Sollwertsteller ist dem Tierversuch auf dem Dachboden zugeordnet).

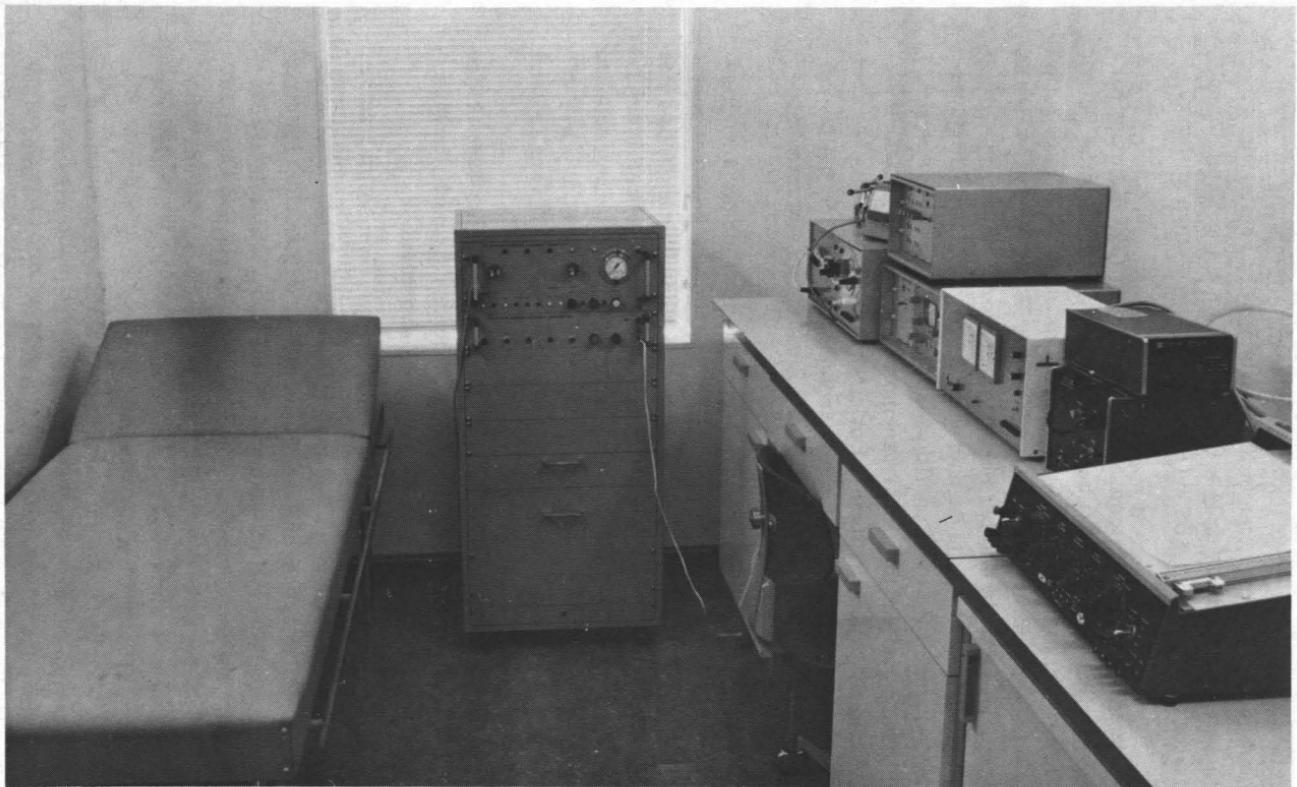


Abbildung 6: Innenaussicht eines Expositionsraumes mit (unvollständiger) Ausstattung für Kreislauf- und Respirationsdiagnostik

Die Geräte haben dreistellige Anzeige, wobei ein Einerschritt einer Konzentrationsänderung von 0,1 ppm entspricht.

Aus mnemotechnischen Gründen wird die Sollwerteinstellung stets so vorgenommen, daß der höchste Werte im oberen, der niedrigste im unteren Instrument liegt. Die Zuordnung eines beliebigen Sollwertes zu einer beliebigen Kammer wird durch Anwahl auf einem Tastenschalter vorgenommen. Im Mittelteil des Schrankes sind jeweils 4 Tasten für jede Kammer zu erkennen. Die Tasten sind mit den Symbolen „H“(och); „M“(ittel); „T“(ief) und „0“ (Null) gekennzeichnet, die der Zuordnung der beschriebenen Digitalsteller entsprechen. Die gewählten Konzentrationen sind auf der Abb. 3 an den erleuchteten Tasten zu erkennen. (Für die von oben nach unten fortlaufend numerierten Kammern I, II u. III sind im gezeigten Fall die Sollwerte „H“ (90 ppm) = I, „M“ (50 ppm) = II und „T“ (0 ppm) = III angewählt.)

Die Möglichkeit jede beliebige Kombination Expositionsräum und CO-Konzentration (z.B. auch alle Räume gleichzeitig „auf eine einzige Konzentration zu legen“) während des Versuchsablaufes durch Knopfdruck einzustellen ist Voraussetzung, um Experimente im Doppelblindversuch (weder Proband noch Versuchsleiter kennen einwirkende Konzentrationen) durchzuführen.

Psychologische Wirkungen beim Probanden, sondern auch statistisch einwandfreie Schwellenwerte einzugrenzen, ist nur bei dieser Art Versuchsführung möglich.

d) Einrichtungen zur Meßwertgewinnung für Emissionen und Immissionen
Die Emissionsanalyse erfolgt diskontinuierlich. Zur Analyse des CO-Gehaltes der Auspuffgase steht für Schnellmessungen ein Infrarot-Absorptionsgerät zur Verfügung. Darüberhinaus werden O_2 , CO_2 , CO und $C_n H_m$ mittels volumetrischer Methode modifiziert nach ORSAT gemessen. Werte sind unter 3. a) genannt.

Die Immissionsanalyse für CO erfolgt mittels nichtdispersiver Infrarotabsorptionsmethode (NDIR) simultan mit zwei gleichen Geräten. Hierbei dient ein Gerät (Abb. 1 (14 A)) als Meßwertgeber für die Konzentrationsregelung und fortlaufende Registrierung der CO-Konzentrationen in den Untersuchungskammern. Die CO-Schreiber sind in Abb. 3 im Schalschrank erkenntlich.

Wie schon erwähnt, erfolgt die Probenahme aus wirtschaftlichen Gründen im 30-sec.-Rhythmus über zeitgebergesteuerte Magnetventile.

Die zweite CO-Meßstrecke entspricht hinsichtlich Probenahmerhythmus und Geräten vollkommen der beschriebenen. Diese Meßstrecke ist als Sicherheitseinrichtung angelegt: Bei Ausfall des Meßgerätes im Regelkreis kann das Zweitgerät in die Regelungseinrichtung geschaltet und Betriebs-

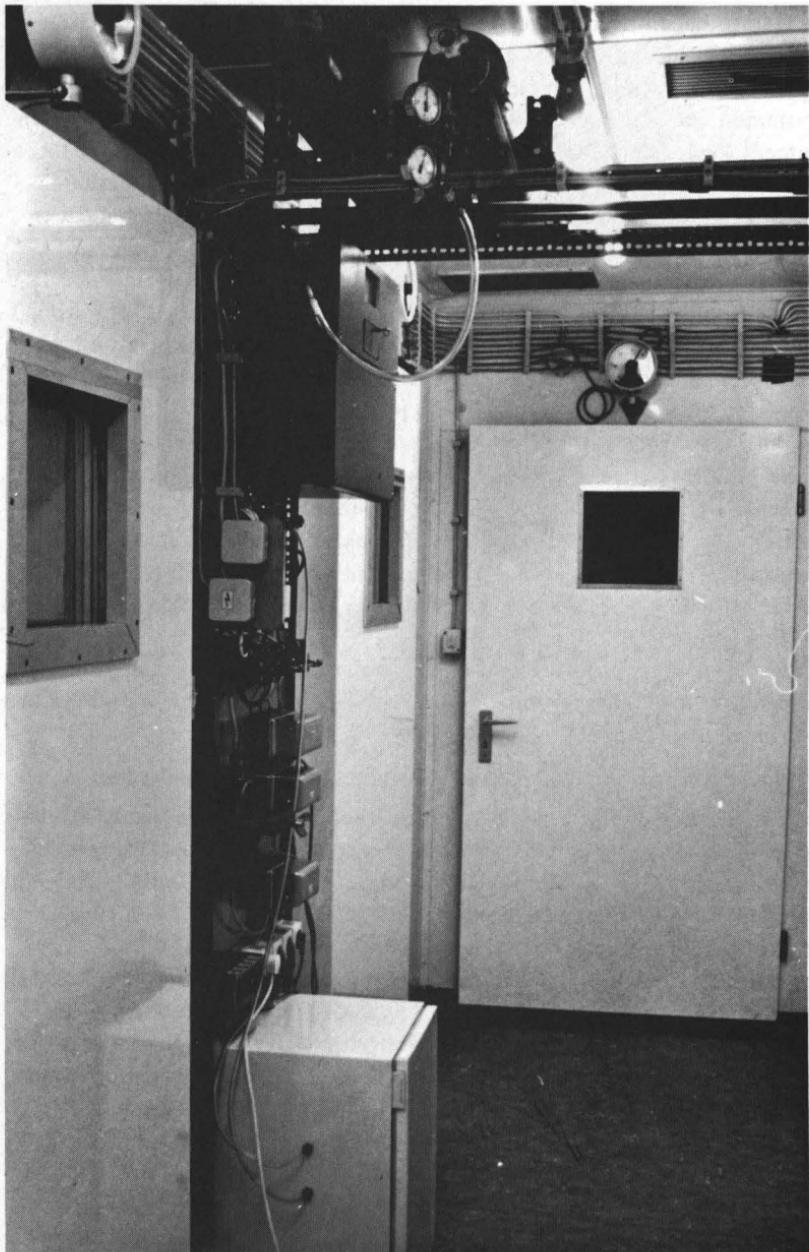


Abbildung 7: *Blick in den Flur vor den Expositionsräumen (zwei Türen rechts) mit zweiter CO-Meßwerte. Im Hintergrund Tür zum Lungenfunktions-Meßraum.*

unterbrechung vermieden werden.

Beide Geräte sind räumlich getrennt untergebracht, um die Überwachung sicherer zu gestalten. Die letztbeschriebene Meßeinrichtung befindet sich im Flur vor den Expositionsräumen (Abb. 7). Sie liegt strömungstechnisch im Seitenzweig einer von der regelungstechnischen Probenahmestrecke unabhängigen Prüfgasleitung, die aus rationellen Gründen (gleichzeitige Probenahme für Tierversuche und Expositionsräume) auf dem Dachboden endet. Dort werden in einer eigenen Probenahmewarte Kohlenwasserstoff- und Stickoxidimmissionen fortlaufend gemessen und registriert.

Auch in dieser Meßstrecke saugt eine Gaspumpe hohen Fördervolumens für alle Meßstellen gemeinsam das Prüfgas an (Abb. 8 „KP“). Die Probenahmeintervalle betragen auch für C_nH_m und NO_x 30 sec. Als Meßgeräte werden Flammenionisationsdetektor und elektrochemischer Gasspurendetektor eingesetzt. Abb. 8 zeigt Leitungsführung und Meßstellenanordnung für CO und C_nH_m schematisch. (Die Probenahme für NO_2 und $NO_2 + NO$ ist nicht gezeichnet, sie entspricht vollkommen der mit „FID“ bezeichneten Strecke.)

Schematische Darstellung des Einbaus von a) URAS und b) FID zur kontinuierlichen Bestimmung von C_{CO} und C_{KW} in den drei Kammern.

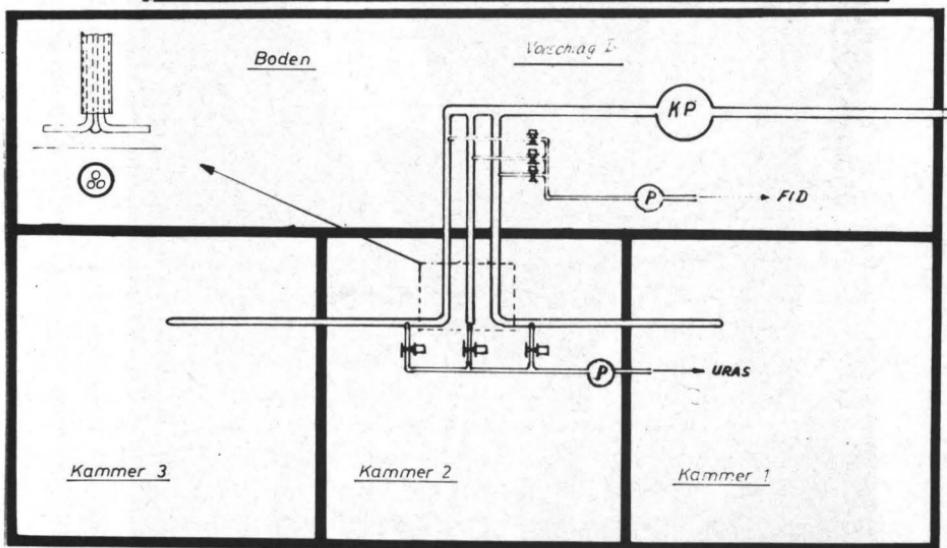


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Prüfgasstrecken zur fortlaufenden Immissionsmessung

Abb. 9 zeigt den Meß- und Steuerstand auf dem Dachboden bildlich. (Derzeit sind Versuche im Gange, die Kohlenwasserstoffimmissionen getrennt nach chemischen Aufbau (Aromaten, sonstige) fortlaufend zu erfassen.)

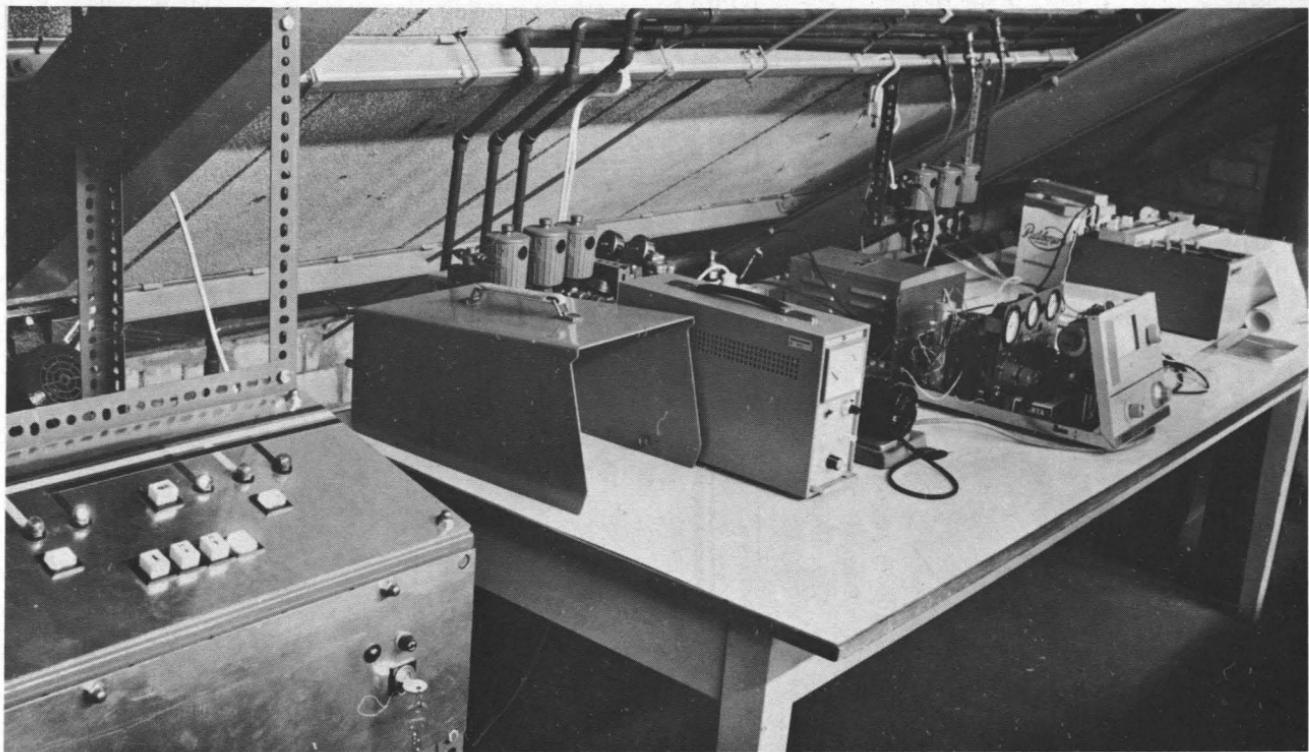


Abbildung 9: Meß- und Steuerstand (li) zur fortlaufenden Messung und Registrierung der Kohlenwasserstoff- und Stickoxid-Konzentration in den Expositionsräumen.

Als weitere wesentliche Umweltfaktoren werden Temperatur und Feuchte in den einzelnen Expositionsräumen fortlaufend registriert.

Klimatisierung der Räume mit Wahl dieser Umgebungsbedingungen bzw. Konstanthaltung unabhängig von Witterungseinflüssen ist vorgesehen. Realisierung war bislang aus finanziellen Gründen nicht möglich.

3. Betrieb der Anlage

a) Technische Betriebsdaten

Der als „Fremdgasgenerator“ benutzte VW - Industriemotor (1500 cm³ Hubraum, 44 PS) wird in allen Versuchen wie folgt betrieben:

Drehzahl: 2000 min⁻¹, Drehmoment: 3,58 mkg, was einer Leistung von 10 PS entspricht. Unter diesen Bedingungen finden sich im Mittel folgende Emissionen:

CO ₂	=	12,8	Vol %
C _n H _m	=	0,1	"
O ₂	=	1,02	"
CO	=	2,3	"

Die tägliche Laufzeit der Maschine und damit Expositionsdauer der derzeit im Versuch befindlichen Tiere und Pflanzen muß augenblicklich aus Personalgründen der Arbeitszeit der Bediensteten entsprechen. Das sind montags - donnerstags 8 std. freitags 7 std.

Um die Immissionen insbesondere die Relation der einzelnen Abgasbestandteile untereinander möglichst gleich zu halten, d.h. die von den Tieren im Langzeitversuch aufgenommenen Fremdgase besser abschätzen zu können, wird für die Versuche stets Kraftstoff konstanter Zusammensetzung verwendet. Dieser Kraftstoff wurde eigens für die Verwendung in der Gasbelastungsanlage in einer Menge eingelagert, die mehrjährige Versuche unter „gleichen“ Abgasbedingungen gestattet. Die Zusammensetzung des Kraftstoffes ist in Tab. 3 aufgeführt. Sie wird in regelmäßigen Intervallen überprüft.

Für unsere derzeitigen Versuche wird der Bleigehalt des Kraftstoffes durch Zusatz von Bleitetraethyl auf 0,4 g/Lit erhöht.

Es läßt sich damit die Bleikonzentration in der Raumluft der Untersuchungskammern in Abhängigkeit von der CO-Konzentration auf einen mittleren Maximalwert von 9 µg/m³ (bei CO = 100 ppm) bringen. (s. Abb. 12)

Die Raumluftfilter sind so gewählt, daß eine Verunreinigung der Zuluftschächte und Ventilatoren durch Grobstaub vermieden, andererseits der Schwebstoffgehalt der Raumluft hinsichtlich Korngrößenverteilung und Konzentration noch wirklichkeitsnahen Atembedingungen in Großstadtatmosphäre entspricht. Die Filter entsprechen der Gütekategorie A 2 (s. Lit. 8) mit einem gravimetrischen Mindestabscheidegrad von im Mittel 50 % gegenüber Quarz-Feinstaub < 5 µm. Die obere Grenzkorngröße mit einem Abscheidegrad von

99,9 % beträgt $7,5 \mu\text{m}$. Derzeit sind Messungen der Korngrößenverteilung und Staubkonzentrationen in den Versuchsräumen im Gange, die den auf Auspuffprodukte zurückzuführenden Schwebstoffanteil klären sollen.

Zusammensetzung des Kraftstoffes

Mittel aus 6 Messungen

Aromaten	Vol%	48,02	Standardabweichung	0,85
Olefine	"	20,45	"	1,30
Gesättigte Kohlenwasserstoffe	"	31,53	"	1,13
Bleigehalt (ursprünglich)	g/Lit.	0,2067	"	0,0082
Oktanzahl		99,4		

Tabelle 3

b) Korrelationen der abgasbedingten Luftfremdstoffe in den Expositionsräumen

Die Erwartung, daß aufgrund der konstantgehaltenen Betriebsbedingungen des Motors und der Kraftstoffzusammensetzung sich enge Zusammenhänge der immittierten Fremdgase erreichen lassen, haben sich bestätigt. Schon bei der Regelungstechnischen Einmessung der Anlage zeigte sich eine streng lineare Abhängigkeit der CO- und C_nH_m -Konzentrationen von der Stellventilöffnung. Der Zusammenhang ist in Abb. 10 dargestellt. Die eingezeichneten Meßpunkte sind Mittel aus je drei Messungen. Die Korrelationskoeffizienten der in der Abb. aufgeführten Regressionsgleichungen zeigen mit 0,994 für die Abhängigkeit des CO und 0,996 für die C_nH_m eine außerordentliche Strenge der Zusammenhänge.

Die der Abb. 11 zugrundeliegenden Werte für den direkten Zusammenhang zwischen CO und C_nH_m sind später gemessen, als die der Abb. 10. Für diesen Zusammenhang beträgt der Korrelationskoeffizient 0,9986. Darüberhinaus läßt sich aus Vergleich der Absolutwerte der Abb. 10 und 11 eine hervorragende Reproduzierbarkeit ableiten: Nach Umstellung der beiden Regressions der Abb. 10 errechnet sich die direkte Abhängigkeit $CO - C_nH_m$ zu $K_{KW} [\text{ppm}] = 0,0765 K_{CO} + 0,0966$. Die später direkt gefundenen Korrelation - wie in Abb. 11 aufgeführt - entspricht mit minimaler Differenz der indirekt errechneten. Als Faustformel für den Zusammenhang der betrachteten Immissionen benutzten wir:

$$K_{KW} [\text{ppm}] = 0,1 + \frac{K_{CO}}{13} [\text{ppm}]$$

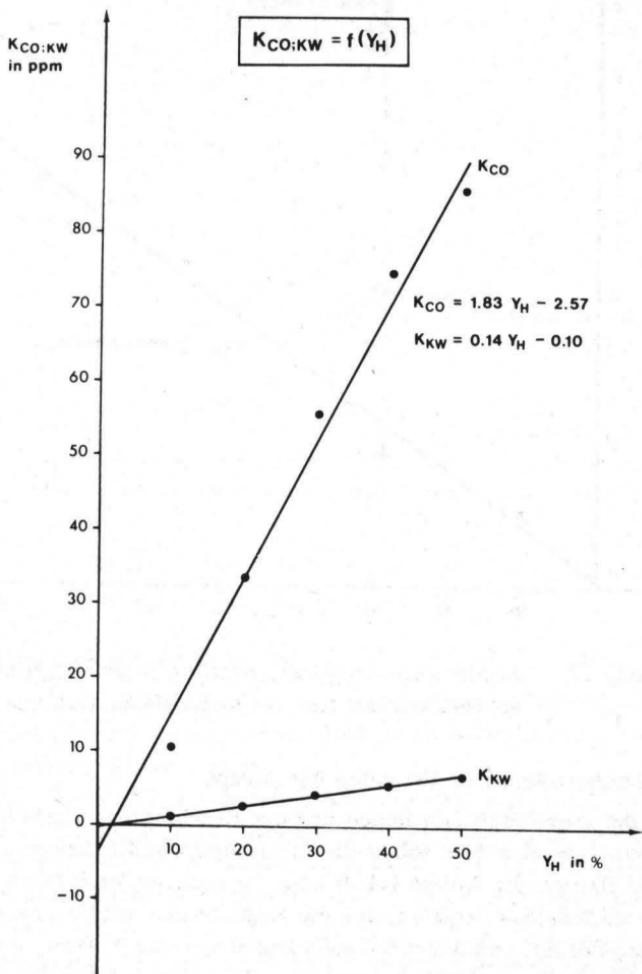


Abbildung 10: Abhängigkeit der Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxidkonzentration in den Expositionsräumen von der relativen Stellventilöffnung.

Auch der Zusammenhang zwischen Luftblei und CO-Konzentration ist sehr eng jedoch zeigt der Korrelationskoeffizient von nur 0,93 daß die Werte mit höherer Streuung behaftet sind. Der Zusammenhang ist in Abb. 12 dargestellt.

(Der Frage inwieweit die Streuung der Meßwerte für den Luftbleigehalt analyse- oder immissionsbedingt ist, wird derzeit nachgegangen.)

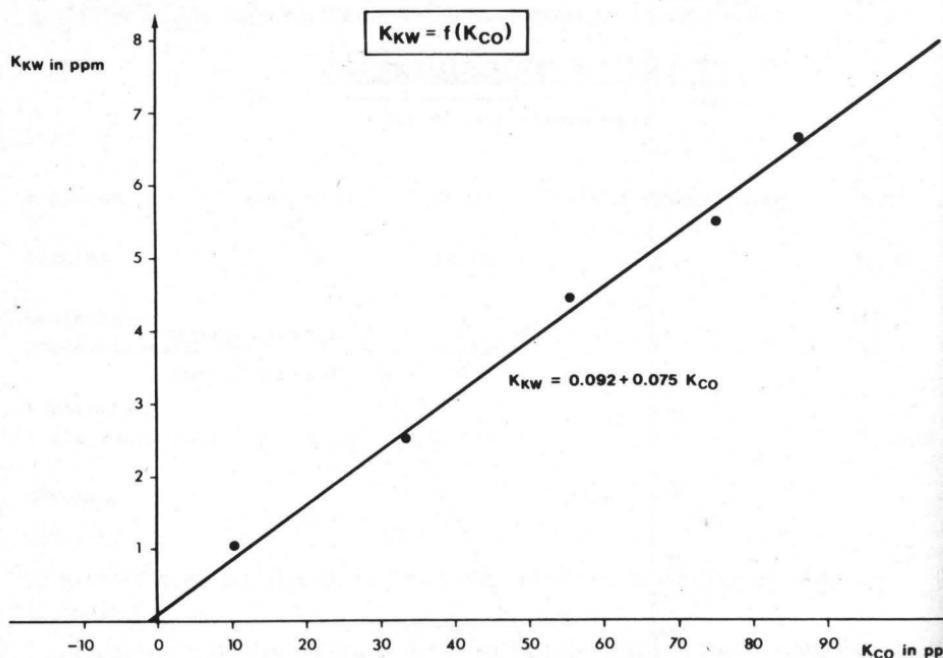


Abbildung 11: Kohlenwasserstoffkonzentration in den Expositionsräumen in Abhängigkeit von der Kohlenmonoxidkonzentration.

c) Regelungstechnisches Verhalten der Anlage

Wegen der grundsätzlichen Bedeutung der Regelung von Gaskonzentrationen zu Expositionsversuchen, sollen die Erfahrungen und Erkenntnisse bei Aufbau und Betrieb der Anlage Inhalt einer besonderen Veröffentlichung werden.

Hier sei lediglich dargetan, daß die Regelstrecke infolge unvermeidbarer endlicher Förder- und Mischgeschwindigkeiten echte Totzeit, sowie Verzugszeit aufweist, die rund 16 sec. betragen. Bei hierzu relativ kleiner Ausgleichszeit von ca. 50 sec. ergibt sich ein Verhältnis von $16/50 = \text{rd. } 1/3$. Regelungstechnisch bedeutet dies, daß es sich um eine schwer regelbare Strecke handelt (9). Es wird in unteren Konzentrationsbereichen (bis ca. 60 ppm) eine Konstanz der Konzentrationswerte mit $\pm 2\%$ Abweichung vom Sollwert im Höheren Immissionsbereich von rd. $\pm 5\%$ erreicht. Auch das Folgeverhalten entspricht mit einer Einstellzeit von rd. 80 sec ab Vorgabe eines neuen Sollwertes bis zum 90%-Istwert den Versuchserfordernissen.

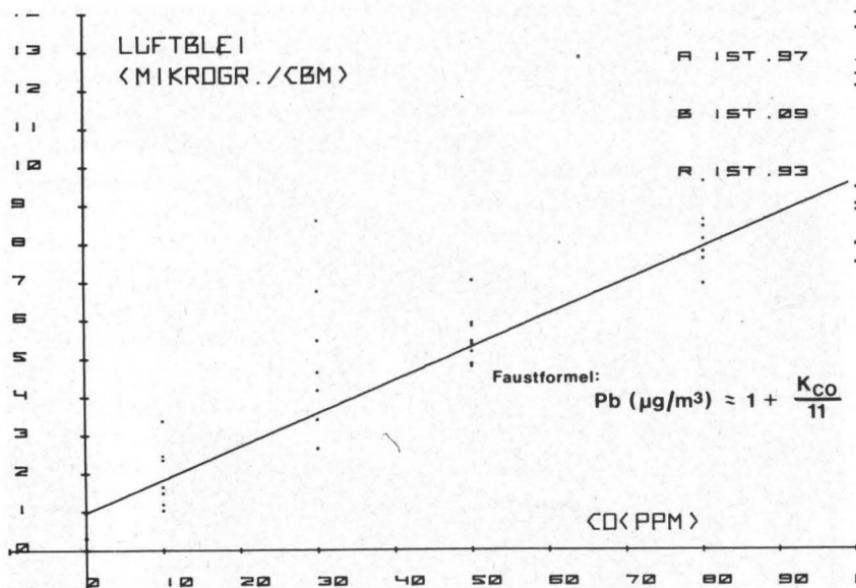


Abbildung 12: Abhängigkeit der Luftblei- von der CO-Konzentration
(nach $Y = A + BX$; Werte s.o. re.)

D. Gewinnung biologischer Meßwerte

Wie schon erwähnt, sind derzeit laufende Tierversuche als Prototypversuche zur methodischen und organisatorisch-funktionellen Optimierung von Anlage und Analysenverfahren anzusehen.

In diesem Vorversuch der nunmehr seit rd. einem Jahr läuft, und in Kürze beendet wird (spezielle Tierversuchsanlage fertiggestellt), wurden Kollektive mit je 120 Ratten in Automobilabgas - (90 ppm CO) und „Frischluft“atmosphäre (ϕ 3 ppm CO) in den Expositionsräumen gehaltenen (Abb. 13).

In diesem Langzeitversuch haben wir folgende Methoden zur Wirkungs- ermittlung angewandt:

An insgesamt 8 Kollektiven (4 Kontrollen) zu je 5 Tieren wurde über den gesamten Zeitraum mittels einer neu entwickelten elektronisch-mechanischen Methode fortlaufend die Aktivität (Motilität) gemessen und als Integral der Leistung über die Zeit gespeichert. Die digitalisierten Integralwerte (Arbeitssumme) wurden halbstündlich auf Lochstreifen für jedes der 8 Kollektive konserviert. Die Auswertung der Lochstreifen erfolgte in Wochenintervallen mittels Kleincomputer und Analogschreiber.



Abbildung 13: *Chronischer Belastungsversuch an Ratten in einem Expositionsraum der Gasbelastungsanlage*

Die statistische Auswertung ist derzeit im Gange. Ohne den statistischen Ergebnissen vorgreifen zu wollen scheinen zwischen belasteten und unbela steten Tieren erhebliche Differenzen hinsichtlich der Gesamtaktivität zu bestehen. Die Veröffentlichung der Ergebnisse ist in Vorbereitung (10,11).

An weiteren Kollektiven - die teilweise zusätzlich akuter ingestorischer Belastung mit Blei ausgesetzt waren - haben wir systematisch gemessen bzw. analysiert: Körpergewicht, Schwimmlistung, Blutblei, Urinblei, Ge websblei (nach Versuchende), Sauerstoff- und Kohlendioxidspannung des Blutes, CO-Hämoglobin, Methämoglobin, Katecholamine, Ketosteroide, Protoporphyrin.

Die Auswertung dieser Analysedaten ist im Gange. Die Ergebnisse sind zur Veröffentlichung vorgesehen (12, 13).

Simultan mit den Tierversuchen liefen Versuche zur Abklärung der Wirkung von Automobilabgasen auf Pflanzen. Diese Versuche sind seit einigen Wochen abgeschlossen und die Veröffentlichung der Ergebnisse steht bevor (14).

Für vorbildliche Arbeit bei Realisierung und Betrieb der Anlage danke ich aufrichtig den Technischen Angestellten:

Herrn Elektroing. P.R. Köhler; Herrn Chemie-Ing. J. Seidel; Herrn B. Nürnberg; Herrn D. Neumann.

Literatur

- (1) „Die Verunreinigung der Luft; Ursachen, Wirkungen, Gegenmaßnahmen.“ Verlag Chemie, Weinheim 1964 (Übersetzung des WHO-Berichtes Nr. 46: „Air Pollution“ 1961) spez. S.156-177
- (2) *Sinn, W.*: Experimentalphysiologische und psychophysische Aspekte zur Wirkung von Luftfremdstoffen.“ in Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene; Bd. 38 „Umweltschutz und Öffentlicher Gesundheitsdienst“ Sttgt. 1972
- (3) *Haldane, J.*: The action of carbonic oxide on man. *J. Physiol* **18** (1895), 361 – Pionierarbeit hohen historischen Wertes (Selbstversuche) –
- (4) „Carbon Monoxide“ *Ann. New York Acad. Sci.* (1972), 174
- (5) „Kohlenmonoxid“ VDI-Verlag Düsseldorf 1972
- (6) *Flury, F. und F. Zernik*: Schädliche Gase. Berlin 1931, (unveränderter Nachdruck 1969)
- (7) wie (2) (spez. S.306-311)
- (8) „Vorläufige Richtlinien zur Prüfung Von Luftfiltern für die Lüftungs- und Klimatechnik. *Staub* **21** (1961), 206-211
- (9) *Samal, E.*: Grundriß der praktischen Regelungstechnik. München-Wien 1969

- (10) *Sinn, W.:* Aktivitätsmessung mittels einer neuen mechanisch-elektronischen Versuchseinrichtung. In Vorbereitung
- (11) *ders.:* Ergebnisse fortlaufender Aktivitätsmessung an im Langzeitversuch in Automobilabgas gehaltenen Ratten. In Vorbereitung
- (12) *Wagner, M. und W. Sinn:* Untersuchungen über die Wirkung von Automobilabgasen auf chronisch und akut exponierte Ratten. In Vorbereitung
- (13) *Krause, Chr.:* Eine Mikromethode zur Bleibestimmung in Körperflüssigkeiten und Organen. In Vorbereitung
- (14) *Clausen, Th.:* Reaktionen von Pflanzen auf Autoabgase. Dissertation Berlin 1974

Prof. Dr. W. Sinn
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes
1 Berlin 33, Corrensplatz 1
und
Zentrum der Physiologie der Universität Frankfurt
6 Frankfurt a.M.
Theodor Stern-Kai 7

Einwirkung von gasförmigem Chlorwasserstoff auf gärtnerische Nutzpflanzen

von C. Hülsenberg

In dem großen Komplex der gasförmigen Luftverunreinigungen haben Schadgase, wie z.B. SO_2 oder CO , überregionale Bedeutung. Die gasförmige Komponente Chlorwasserstoff kann jedoch regional bedeutsam sein, etwa in der Nähe von Kaliwerken (1) oder in der Umgebung von Emaille-, Porzellan- oder Kunstwollefabriken. Ebenso besteht die Möglichkeit, daß bei der Chlorierung von organischen Stoffen sowie bei der chlorierenden Röstung von Erzen dieses Schadgas entweicht. Eine weitere HCl -Emissionsquelle können Müllverbrennungsanlagen sein (2-5). Der Kunststoffanteil im Müll beträgt derzeit etwa 3 % (6, 7), wobei etwa 0,5 % aus PVC bestehen. Nach Reimer (8) steigt der Kunststoffanteil des Hausmülls in der BRD jährlich um 2-3 Gew.-% an, wobei der HCl -Gehalt im Rauchgas einer Müllverbrennungsanlage eine fast lineare Abhängigkeit von dem PVC-Anteil des Mülls zeigt. Die im Augenblick für die BRD noch gültigen MIK-Werte lauten: $\text{MIK}_D = 0,7 \text{ mg HCl/m}^3$ und $\text{MIK}_K = 1,4 \text{ mg HCl/m}^3$ (9). Zum Vergleich sei der in der UdSSR wesentlich niedrigere Lang- und Kurzzeitwert von $0,2 \text{ mg HCl/m}^3$ angeführt (10). Sollten die derzeitigen MIK-Werte für HCl wesentlich verringert werden, so wird befürchtet, daß künftig die Vorschriften in der Praxis von den Müllverbrennungsanlagen nicht eingehalten werden können (7). Nach im Jahre 1970 in der Nähe einer Berliner Müllverbrennungsanlage durchgeföhrten Untersuchungen läßt sich keine Beeinflussung der Chlorid-Immissionen durch diese Anlage erkennen (11).

Die auf dem Versuchsfeld Hattersheim (Abb. 1) eingeleiteten Versuche sollten folgende Fragen einer Klärung zuführen:

- a) Sind die derzeitigen MIK-Werte für HCl zu verantworten oder bedürfen sie einer Änderung?
- b) Welche Toleranzgrenzen bestehen für verschiedene gärtnerische Nutzpflanzen bei Exposition in einem definierten HCl/Luft -Gemisch?
- c) Welche Chloridbelastungen entstehen in der Pflanze, und lassen sich diese bestimmten Chlorid-Immissionen zuordnen?
- d) Können durch HCl -Immissionen Chlorid-Kumulationen im Boden entstehen und welche Wirkung haben sie auf die Pflanze?
- e) Gewinnung von methodischen Hinweisen zur Messung von geringen Chlorwasserstoffgasmengen in der Begasungsluft.

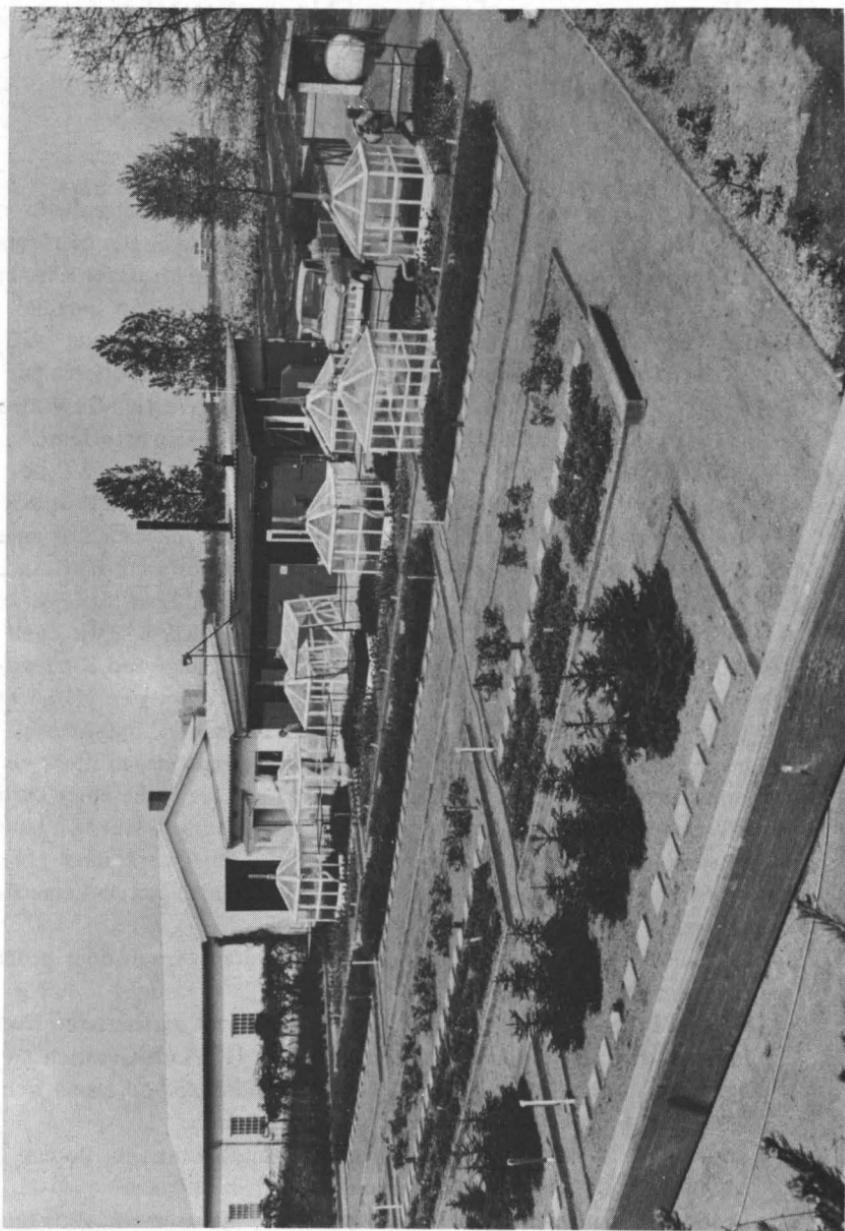


Abbildung 1: Gesamtansicht des Versuchsfeldes Hattersheim

Die Untersuchungen werden fast ausschließlich an gärtnerischen Nutzpflanzen vorgenommen. Diese verbleiben von der Aussaat bis zur Ernte auf den Freilandbeeten (Bodentyp: sL) und sind dort den üblichen gärtnerischen Kulturmaßnahmen unterworfen. Um eine Beeinträchtigung der Untersuchungsergebnisse zu vermeiden, kommen Herbizide und Insektizide nicht zur Anwendung. Aufkommende Unkräuter werden von Hand gejätet. Die Düngung ist nach Möglichkeit organischer Natur.

Die Chloridbestimmung in der Pflanzensubstanz (Blattmasse, Frucht) erfolgt im HNO_3 -sauren Filtrat eines Warmwasserauszuges mittels potentiometrischer Titration mit AgNO_3 . Als Maß der auf die Pflanzen auftreffenden HCl-Menge dient die sogenannte Waschwasseranalyse. Sie wird durchgeführt, indem 100 g standortfrische Blattmasse in 1000 ml aqua bidest. für 2 Min. geschüttelt werden und dann der Chloridgehalt in diesem Waschwasser durch potentiometrische Titration bestimmt wird.

Zur Erfassung des Bodenchloridpegels gelangen standortfeuchte, auf 2 mm Korngröße gesiebte Proben aus einer Bodentiefe von 0-2 cm zur Untersuchung. Das für die Pflanze verfügbare Chlorid löst sich durch einstündiges Schütteln einer Bodensuspension von 25 g FG in 100 ml aqua bidest. Durch eine länger andauernde Schüttelung von 2 h bzw. 3 h wurden die Meßergebnisse nicht beeinflußt. Auf den Modus der Ertragsbestimmung bei den verschiedenen Kulturen wird in den einzelnen Versuchen näher eingegangen.

Die Erfassung des Chlorwasserstoffes in der Begasungsluft erfolgt einerseits mit Impingern (Vorlage: 50 ml n/10 NaOH + 10 ml Dioxan; durchgesaugtes Probevolumen: 1 m^3) und andererseits mit umgebauten SO_2 -Gasmeßgeräten der Firma *H. Wösthoff* vom Typ U3 bzw. U3S. In Zusammenarbeit mit der Herstellerfirma wurde dem Gasmeßgerät eine 1,20 m lange heizbare Probeentnahmesonde (Innentemperatur: 60 °C) vorgeschaltet, und es wurden einige technische Änderungen vorgenommen*).

Während der Begasung werden über die einzelnen Parzellen Kleingewächshäuser mit einer Grundfläche von 2,56 m^2 und etwa 4 m^3 Rauminhalt gestellt und flexibel mit einem unterirdisch verlegten Rohrsystem aus Hostalen verbunden (Abb. 2). Die Kleingewächshäuser sind mit Acrylglas gedeckt und an den senkrechten Seitenwänden mit einer 0,2 mm starken Guttagena-Folie bespannt. Diese Konstruktion gewährleistet eine optimale Lichtdurchlässigkeit. Ein Ventilator mit einer Leistung von etwa 10 000 m^3/h saugt durch ein Schwebstofffilter Außenluft an und drückt diese nach Passieren eines Kühlsystems, bestehend aus einer der Solekühlung vorgeschalteten Wasserkühlung, und nach Dosierung des Schadgases durch das

*) An dieser Stelle möchte ich der Firma *H. Wösthoff*, Bochum, insbesondere Herrn H. Raskov, für die Bemühungen um die technische Ausführung und Unterstützung danken.

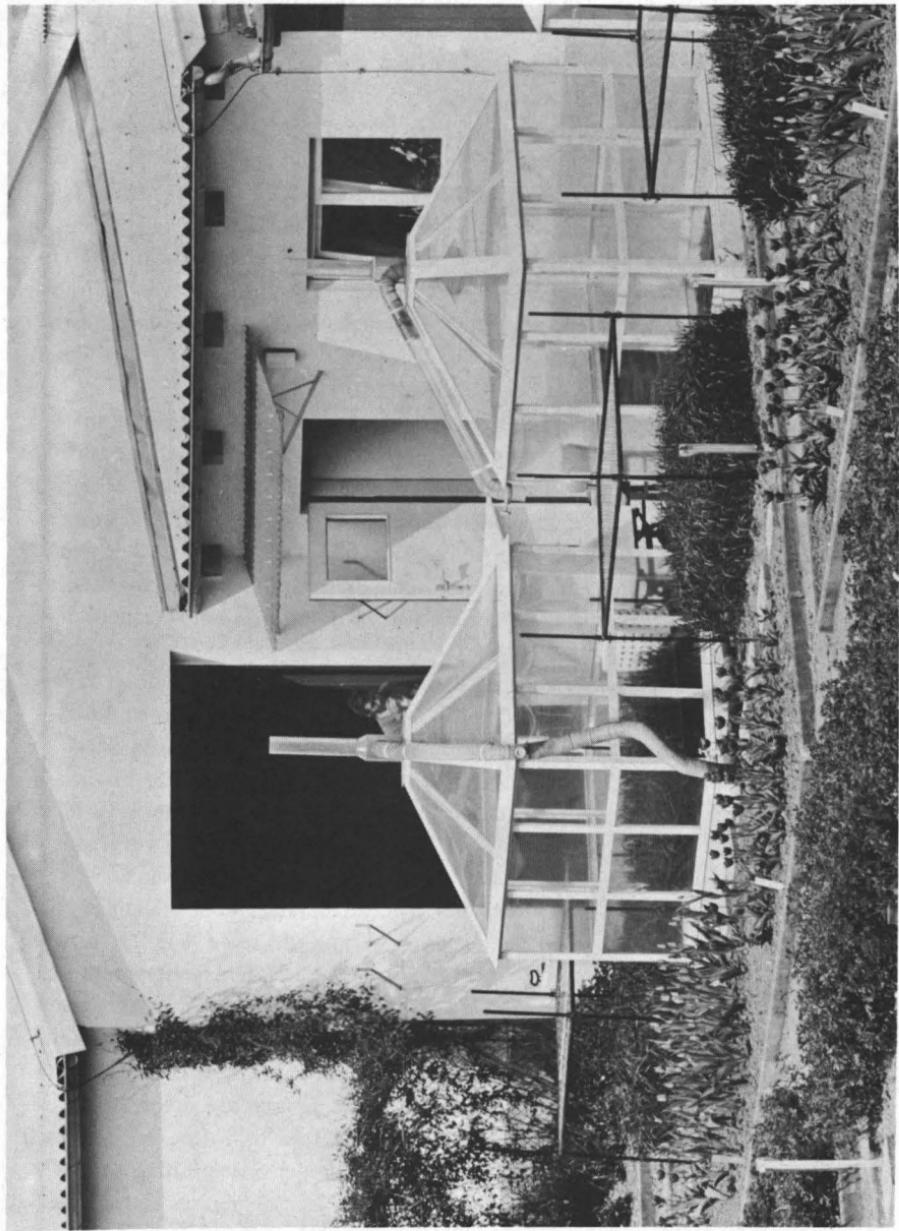


Abbildung 2: Kleingewächshäuser, links betriebsfertig

Rohrsystem zu den einzelnen Kleingewächshäusern. Das für die Begasung notwendige Chlorwasserstoff-Gas wird über einen Druckminderer einer HCl-Bombe entnommen und durch 3 Pumpen den einzelnen Rohrleitungen kontinuierlich zugeführt. Aus durchlaufender Luftmenge (m^3/h) und zudosierter Schadgasmenge (1/h) läßt sich die Konzentration des Schadstoffes in der Begasungsluft errechnen und wird mit den oben genannten Meßmethoden überprüft. Eine stufenlose Änderung der Schadgasmenge ist möglich.

Durch ein System von Venturirohren und Drosselklappen wird der Luftdurchsatz auf $300 m^3/h$ je Haus eingestellt. Aufgrund der Anordnung des Rohrsystems und der einzelnen Beete ist die Möglichkeit gegeben, gleichzeitig vier verschiedene Versuchsvarianten bei 4-5 Wiederholungen zu fahren.

Im Verlauf der Vegetationsperiode 1971 wurden Möhren (*Daucus carota*) der Sorte „Nantaise“ im Abstand von 45 (Vers. 2/71), 66 (Vers. 3/71) und 98 (Vers. 4/71) Tagen nach dem Auflaufen mit einer HCl-Konzentration von $0,5 \text{ mg HCl/m}^3$ begast. Bei der am Ende der Vegetationsperiode für alle Versuche gleichzeitig durchgeföhrten Ertragsbestimmung zeigte sich (Tab. 1), daß der Schädigungsgrad mit zunehmendem Alter der Pflanzen abnahm. Auch war, parallel zu der HCl-Immissionsdauer verlaufend, der Anteil der kleinen, unverkäuflichen Ware größer. Als erste visuelle Schadsymptome waren in allen Versuchen weißlich-grau verfärbte Blattspitzen unmittelbar nach Versuchsende zu beobachten. Der Gesamtchloridgehalt im Möhrenkraut der begasten Parzellen betrug je nach Expositionsduer 16 bis $21 \text{ mg Cl}^-/\text{g TS}$ (Trockensubstanz) und im unbehandel-

Tabelle 1: Ertragsdepressionen von Möhren, verursacht durch Exposition in HCl-haltiger Luft mit einer Konzentration von $0,5 \text{ mg HCl/m}^3$

Vers.-Nr.	Versuchsbeginn in Tagen nach dem Auflaufen	Dauer der Begasung in h	Ertragsminderung in % der Luftkontrolle
2/71	45	29	- 49,7
		29	- 32,2
3/71	66	38	- 37,6
		20	- 14,5
4/71	96	30	- 5,3
		14	+ 1,9

ten Möhrenkraut 13,5 mg Cl⁻/g TS. Eine Relation des Cl⁻-Gehaltes im Waschwasser des Möhrenkrautes zu der Begasungsdauer ergab sich nur in Vers. 4/71. Um eine Beeinträchtigung der Ertragsbestimmung zu umgehen, wurden nach Versuchsende keine Möhrenproben aus den einzelnen Parzellen entnommen. Eine während der Ernte durchgeführte Cl⁻-Analyse spiegelte die unterschiedlichen Versuchsvarianten dann nicht mehr wider. Der Cl⁻-Gehalt des inneren Teils der Möhre lag mit durchschnittlich 2,78 mg Cl⁻/g TS um 0,44 mg Cl⁻/g TS höher als bei jener der Schale. Ein Unterschied in dem Cl⁻-Gehalt großer ungeschälter Handelsware und kleiner, nicht verkaufsfähiger Ware bestand nicht. Er betrug in beiden Fällen 2,55 mg Cl⁻/g TS.

Die mit den Möhren in Vers. 2/71 und 3/71 zu gleicher Zeit begasten Kartoffeln (*Solanum tuberosum*) der Sorte „Frigga“ wiesen am Laub keine makroskopischen Schäden nach der Begasung auf. Der Cl⁻-Gehalt in der Blattmasse verlief parallel zu der Begasungsdauer und wurde in der Knolle nur unwesentlich beeinflußt. Ein Unterschied hinsichtlich des Cl⁻-Gehaltes großer und kleiner Knollen bestand nicht (2,3 mg Cl⁻/g TS), war jedoch in der Schale um 0,54 mg Cl⁻/g TS höher als im Inneren.

Der Einfluß des Deckungsgrades des Pflanzenbewuchses auf den Cl⁻-Gehalt des Bodens wird aus Tab. 2 ersichtlich. Während in Vers. 4/71 das Laub der Möhren die Reihen schon geschlossen hatte, konnten die Blätter von Radies (*Raphanus sativus subvar. radicula*) den Boden nicht vollständig bedecken; dies drückt sich, ebenso wie die Begasungsdauer, in der prozentualen Zunahme des Bodenchloridgehaltes beider Kulturen aus. Die Kontamination mit einer Konzentration von 0,5 mg HCl/m³ rief bei Radies keine sichtbaren Schäden hervor und konnte auch den Ertrag nicht beeinträchtigen.

Tabelle 2: Einfluß des Deckungsgrades der Pflanzen auf die Zunahme des Bodenchloridgehaltes während einer Begasung mit 0,5 mg HCl/m³

Kultur	Dauer der Begasung in h	Bodenchloridgehalt in mg Cl ⁻ /100 g TS			Zunahme in %
		vor Versuchsbeginn	nach Versuchsende	Zunahme	
Möhren	30	4,06	5,13	1,07	26,4
	14	2,40	2,70	0,30	12,5
Radies	30	2,12	4,38	2,26	106,2
	14	2,84	4,00	1,16	40,8

Eine 53stündige HCl-Begasung mit 0,15 bzw. 0,30 mg HCl/m³ bewirkte bei jungen Winter-Rapspflanzen (*Brassica napus v. arvensis*) an den oberen Blatträndern eine grau-grüne Verfärbung, und viele Blattspreiten wiesen kleine weiße punktförmige Verfärbungen auf. Durch die Begasung stieg der Cl⁻-Gehalt der Blattmasse von 15,1 mg Cl⁻/g TS auf 16,8 bzw. 19,6 mg Cl⁻/g TS. Dies entspricht einer Steigerung von 11,3 % bzw. 29,8 %. Die Waschwasseranalyse ergab in der Luftkontrolle einen Cl⁻-Gehalt von 0,8 mg Cl⁻/100 g FG. Gegenüber diesem Wert nahm in den beiden anderen Versuchsvarianten der Cl⁻-Gehalt um 28,8 % bzw. 64,8 % zu und der Bodenchloridgehalt stieg gleichzeitig um 117,5 % bzw. um 156,3 % an. Eine Bestimmung der Stoffproduktion konnte aus technischen Gründen nicht mehr erfolgen.

In dem Untersuchungszeitraum 1972 wurden Möhren „Nantaise“, Tomaten „Bonner Beste“, Gurken „Robusta“ und Buschbohnen „St. Andreas“ in das Versuchsprogramm aufgenommen. Aus technischen Gründen konnten die Möhren in Vers. 5/72 und 6/72 erst 83 Tage bzw. 94 Tage nach dem Auflaufen 144 h lang begast werden. Die Schadgaskonzentration betrug in Vers. 5/72 0,2 mg HCl/m³ und 0,4 mg HCl/m³. Beide Varianten verursachten 14 Tage nach Versuchsende abgestufte makroskopische Schadbilder, konnten das Ernteergebnis aber ebenso wie in Vers. 4/71 zu diesem späten Zeitpunkt der Vegetationsperiode nicht mehr beeinträchtigen. Auch der Cl⁻-Gehalt in der Möhrenwurzel änderte sich durch die Begasung nur unwesentlich. Er schwankte in behandelten und unbehandelten Pflanzen zwischen 3,2 und 3,6 mg Cl⁻/g TS. Eine Chloridbestimmung im Boden erfolgte in diesem Versuch nicht. Die Waschwasseranalyse ergab gegenüber dem Ausgangswert eine Zunahme des Cl⁻-Gehaltes von 36,1 % bzw. 66,5 %. Parallel dazu verlief der Cl⁻-Gehalt in der Trockenmasse der Blätter. Er stieg um 45,7 % bzw. um 63,6 % an. Die Schadgaskonzentrationen in Vers. 6/72 betrugen an R1 0,38 mg Cl⁻/m³, an R2 1,1 mg Cl⁻/m³ und an R₃ 0,75 mg Cl⁻/m³. Alle 3 HCl-Konzentrationen verursachten 8 Tage nach Versuchsabschluß visuelle Schadbilder. Zusätzlich zu der bereits erwähnten Verfärbung der Blattspitzen äußerte sich das Schadbild an R2 in Form von weißlichgrauen, im Durchmesser 3-5 mm großen Flecken, welche sich unregelmäßig über die Blattspreite verteilten - ohne an die Begrenzung der Interkostalfelder gebunden zu sein. Wie in Vers. 5/72 wurden der Ertrag und der Cl⁻-Gehalt der Möhrenwurzel durch die Begasung nicht beeinflußt. Der Chloridgehalt des Waschwassers stieg mit zunehmender Schadgaskonzentration. Auf den gemeinsamen Ausgangswert bezogen, nahm dieser an R1 um 37,2 %, an R3 um 153,0 % und an R2 um 317 % zu. Der Bodenchloridgehalt hingegen erfuhr erst durch die zweithöchste Schadgaskonzentration eine wesentliche Änderung. Er nahm an R1 um

2,8 %, an R3 um 22,4 % und an R2 um 379,9 % zu. Offenbar „filterte“ das bodenabschirmende Möhrenlaub an R1 bei dieser relativ geringen HCl-Konzentration der Begasungsluft soviel HCl heraus, daß sich der Cl^- -Gehalt des Bodens nur unwesentlich änderte.

Tomaten und Salatgurken wurden in Vers. 4/72 einer 188stündigen HCl-Begasung von 0,3 mg HCl/m³ (R2) bzw. 0,45 mg HCl/m³ (R3) ausgesetzt. Die Tomaten zeigten zu Versuchsbeginn in der ersten (untersten) Etage den Fruchtansatz, die zweite Etage stand in Blüte, die dritte und vierte Etage waren noch nicht sichtbar. Ebenso standen die Gurken in der Blüte, hatten aber noch keine Früchte angesetzt. Fünfzehn Tage nach Versuchsende traten bei den Tomaten die ersten Schadssymptome am Blatt auf. Das Laub wurde fahlgrün bis blaßgrün, die Blattränder begannen sich leicht einzurollten und wurden dabei weißlich-grau verfärbt. Kurz darauf traten weißlich-graue Flecken auf der Blattspreite auf, die sich dann, ebenso wie die Blattränder, bald hellbraun bis rehbraun verfärbten. An den Gurkenblättern und Früchten waren 23 Tage nach Versuchsende noch keine makroskopischen Schadbilder zu erkennen.

Wie aus Abb. 3 hervorgeht, steigt der Bodenchloridgehalt mit zunehmender HCl-Konzentration in der Begasungsluft. Da von ihrem Phänotypus her die Tomate weniger bodenbedeckend ist als die Gurke, erhöht sich auf diesen Parzellen der Cl^- -Gehalt gegenüber den Gurkenparzellen. Bezogen auf den Ausgangschloridgehalt von 2,15 mg Cl^- /100 g TS, nimmt der Bodenchloridgehalt in den Tomatenparzellen an R2 um 82,3 % und an R3 um 239,5 % zu. Die entsprechenden Werte lauten für die Gurkenparzellen 50,7 % bzw. 141,9 %. Die Bodenazidität wurde, ebenso wie in anderen Versuchen, durch die HCl-Begasung nur geringfügig verändert. Sie verschob sich mit 0,1 bis 0,2 pH-Einheiten zum sauren Bereich hin.

Die nach der Begasung durchgeführte Waschwasseranalyse der Tomatenblätter ergab, bezogen auf die Luftkontrolle, eine Zunahme von 11,7 % an R2 und 33,0 % an R3 (Abb.4). Um eine Störung in der Entwicklung der Pflanzen zu vermeiden, konnten vor Versuchsbeginn die zu der Untersuchung notwendigen Blattproben nicht entnommen werden. Auf eine Waschwasseranalyse der Gurkenblätter wurde verzichtet, da durch von dem Boden zurückspitzendes Regenwasser die Blätter stark verschmutzt waren und so das Ergebnis verfälscht worden wäre.

Die Cl^- -Gehalte in der Blattsubstanz der Tomaten (Abb.4) und der Gurken (Abb.5) nehmen mit ansteigender HCl-Konzentration der Begasungsluft zu. Setzt man die Luftkontrolle (R4) = 100 %, so ergeben sich die in Tab. 3 dargestellten Verhältnisse. Die relative Zunahme des Cl^- -Gehaltes der Gurkenblätter ist gegenüber den Tomatenblättern 2,2 bis 2,6 mal so hoch.

Cl-Gehalt des Bodens (0-2 cm Tiefe) nach der Begasung

in mg/100g TS (2mm)

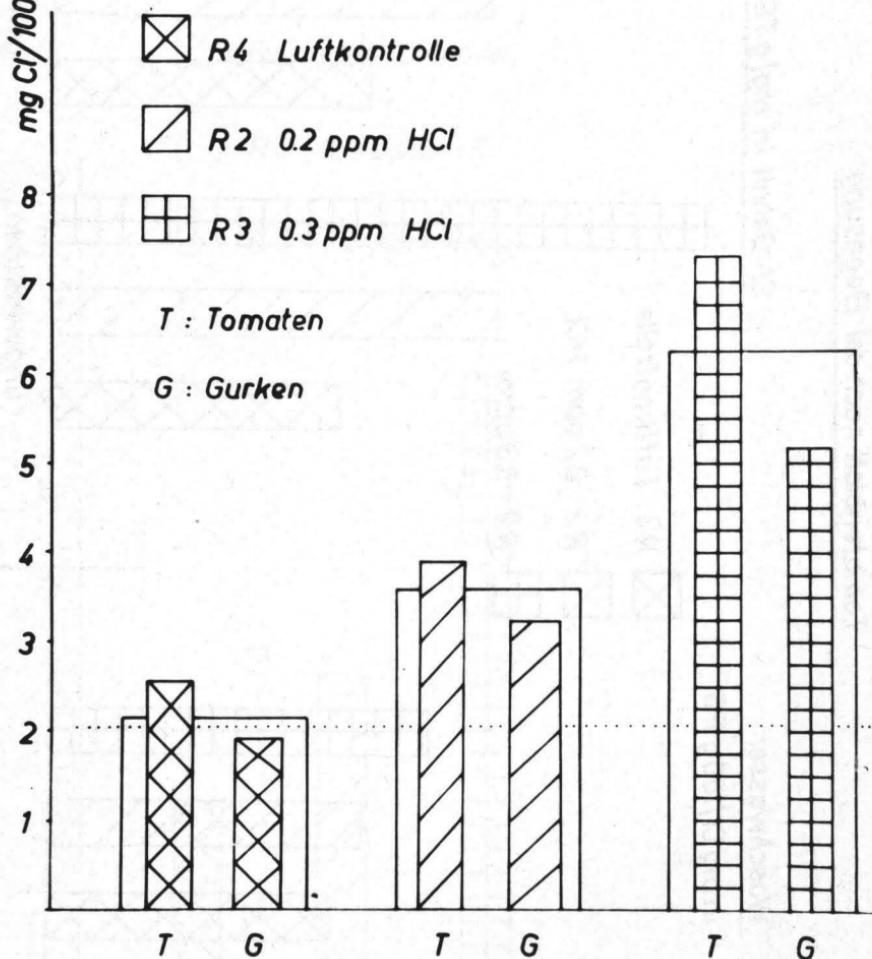


Abbildung 3: Chloridgehalt der oberen Bodenschicht bei Tomaten- und Gurkenkultur
 (..... Cl-Gehalt vor der Begasung)

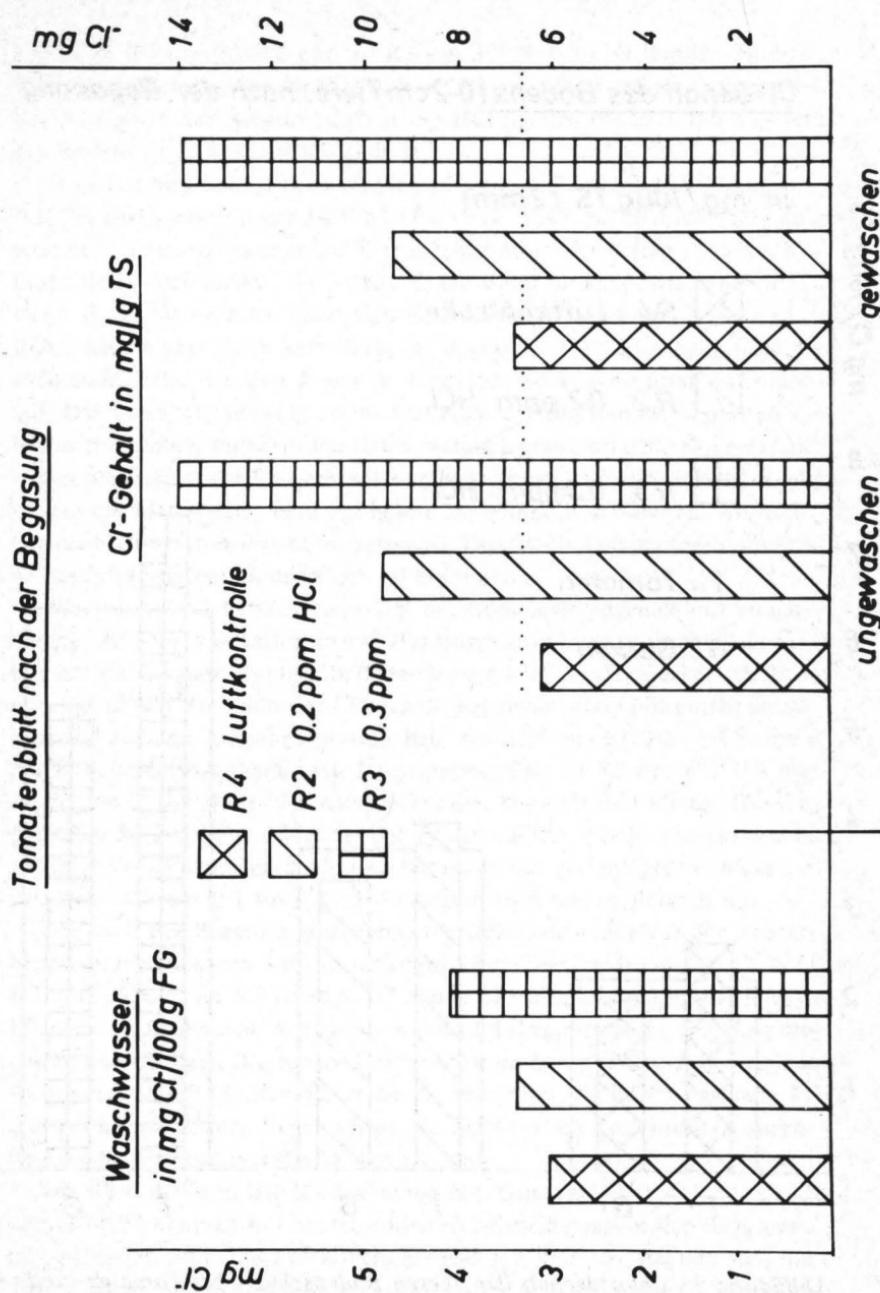


Abbildung 4: Chloridgehalt in dem Waschwasser von Tomatenblättern und in deren Blattmasse nach der Begasung

Gurkenblatt (gewaschen) nach der Begasung

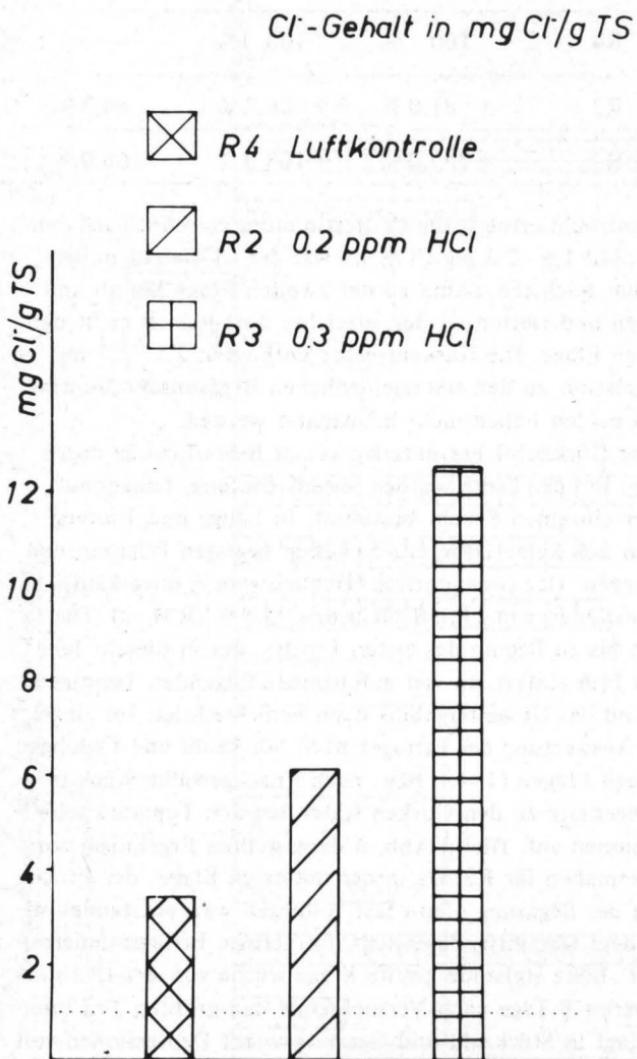


Abbildung 5: Chloridgehalt in der Trockensubstanz von Gurkenblättern nach der Begasung
 (..... Cl⁻-Gehalt vor der Begasung)

Tabelle 3: Relative Zunahme des Cl⁻-Gehaltes von Gurken- und Tomatenblättern

HCl-Konz. in mg/m ³	Rohr Nr.	Gurken	Tomaten	Differenz
0	R4	100 %	100 %	---
0,3	R2	+ 81,0 %	+ 36,7 %	44,3 %
0,45	R3	+ 269,0 %	+ 103,0 %	166,0 %

In der Tomatenfrucht erfolgte die Cl⁻-Bestimmung getrennt nach den einzelnen Etagen. Mit 1,6 - 2,3 mg Cl⁻/g TS war der Cl⁻-Gehalt in der untersten Etage am höchsten, nahm zu der zweiten Etage hin ab und stieg in der dritten und vierten wieder, erreichte dort jedoch nicht den Wert der untersten Etage. Die Gurkenfrüchte enthielten 2,5 - 2,7 mg Cl⁻/g TS. Eine Relation zu den unterschiedlichen Begasungskonzentrationen konnte in beiden Fällen nicht beobachtet werden.

Die Anzahl der Gurkenfrüchte unterlag keiner Beeinflussung durch die HCl-Begasung. Bei der Ernte wurden jeweils Umfang, Länge und Frischgewicht der einzelnen Frucht bestimmt. In Länge und Umfang der Früchte ergab sich keine Differenz zwischen begasten Pflanzen und den Kontrollpflanzen. Der Gesamtertrag (Handelsware + unverkäufliche Ware) wies Depressionen von 11,1 % (R2) bzw. 9,6 % (R3) auf. Die Tomaten wurden bis zu Beginn des ersten Frostes, der in diesem Jahr leider schon sehr früh eintrat, an vier aufeinander folgenden Terminen durchgepflückt und das Gesamtergebnis dann berücksichtigt. Im einzelnen erfolgte die Auswertung des Ertrages nach Stückzahl und Frischgewicht der einzelnen Etagen (1.-4.) bzw. nach Frischgewicht/Stück in der Etage. Im Gegensatz zu den Gurken traten bei den Tomaten schwere Ertragsdepressionen auf. Die in Abb. 6 dargestellten Ergebnisse von R2 gelten gleichermaßen für R3. Da in der untersten Etage der Fruchtdurchgang zu Beginn der Begasung schon fast vollzogen war, entstanden in der Anzahl und dem Gesamtfrischgewicht nur geringe Ertragsminderungen. Die in voller Blüte stehende zweite Etage wurde von der HCl stark geschädigt und verlor 8 Tage nach Versuchsende den größten Teil ihrer Blüten. Dies bedingt in Stückzahl und Gesamtgewicht Depressionen von 27,3 % bzw. von 24,2 %. Demzufolge erfahren die wenigen verbliebenen Früchte eine Zunahme ihres Einzelgewichtes. Jetzt muß man die Betrachtung der Schädigung zeitlich auseinanderziehen. Das eben Gesagte gilt als unmittelbare Wirkung der Begasung - also der Einwirkung der HCl aus der Luft. Nun setzt die Wirkung der auf den Boden gelang-

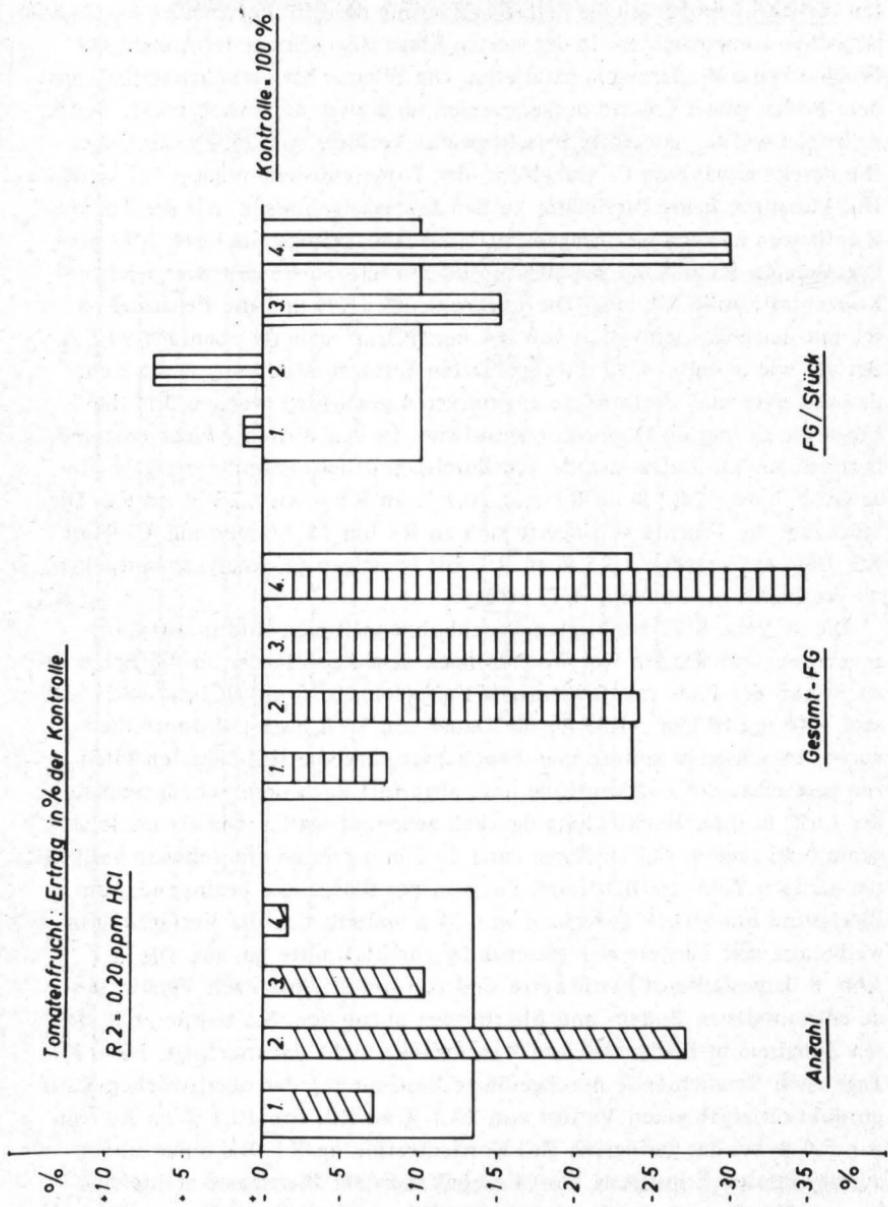


Abbildung 6: Prozentuale Ertragsdepression von Tomaten
(1.-4.: Anzahl der Etagen an der Pflanze)

ten HCl ein. In der dritten Etage mag noch eine Mischung beider Komponenten vorliegen, eine deutliche Ertragsminderung des Frischgewichtes von 22,5 % ist jedoch zu beobachten. In der vierten Etage läßt sich bei der Anzahl der Früchte keine Minderung konstatieren. Die Pflanze hat zwischenzeitlich aus dem Boden soviel Chlorid aufgenommen, daß zwar der Fruchtansatz noch vollzogen wurde, jedoch im Frischgewicht Verluste von 35,4 % eintraten. Die bereits erwähnten Cl⁻-Gehalte in der Tomatenfrucht zeigten bei beiden HCl-Varianten keine Parallelität zu den Ertragsergebnissen. Als die Tomatenpflanzen in allen vier Etagen fruktifizierten, erfolgte in Vers. 7/72 eine Begasung an R1 mit 0,3 mg HCl/m³ 94,5 h und an R3 mit der gleichen Konzentration 48,5 h lang. Die Luftkontrolle (R4) und die Begasung an R2 mit einer Konzentration von 0,4 mg HCl/m³ dauerte ebenfalls 94,5 h. Bei der wie in Vers. 4/72 durchgeföhrten Ertragsbestimmung ergab sich, daß die erste und vierte Etage am stärksten geschädigt wurden und die 3. Etage die geringsten Depressionen aufwies. In dem Frischgewicht entstand, bezogen auf die Luftkontrolle, ein durchschnittlicher Minderertrag je Etage (Abb.7) von 14,2 % an R1 und 10,1 % an R3 sowie 17,9 % an R2. Die Stückzahl der Früchte verringerte sich an R1 um 15,7 % und um 9,3 % an R2. Dem entsprachen 10,5 % an R3. Die sonstigen Cl⁻-Analysen spiegelten die Verhältnisse von Vers. 4/72 wider.

Die in Vers. 8/72 benötigten Buschbohnenpflanzen sind in Jiffypots angezogen und wurden vier Wochen nach dem Auspflanzen in die Beete zu Beginn der Blüte mit 0,38 mg HCl/m³ (R1), 0,75 mg HCl/m³ (R2) und 1,49 mg HCl/m³ (R3) für die Dauer von 70 h begast. Unmittelbar nach Versuchsende konnte man beobachten, daß die HCl-begasten Pflanzen gegenüber der Luftkontrolle und, abgestuft nach dem Schadgasgehalt der Luft, in ihrer Entwicklung deutlich gehemmt waren. Die ersten Schad-symptome zeigten sich in Form einer 1-2 mm breiten grauschwarz verfärbten glasigen Zone am Blattrand, die, von der Blattspitze beginnend, zum Blattgrund hin verlief. Innerhalb von 24 h änderte sich die Verfärbung in weißbraun und breitete sich gleichzeitig zur Blattmitte hin aus. Die in Abb. 8 dargestellten Chloridwerte sind von unmittelbar nach Versuchsende entnommenen Boden- und Blattproben abzuleiten. Sie zeigten, daß deren Zunahme in Blattmasse und Waschwasser nicht linear erfolgt. Die 17 Tage nach Versuchsende durchgeföhrte Bestimmung der oberirdischen Stoffproduktion ergab einen Verlust von 25,1 % an R3, von 10,1 % an R2 und von 5,6 % bei der geringsten HCl-Konzentration an R1. Bei einer erneut durchgeföhrten Ermittlung des Cl⁻-Gehaltes in der Blattmasse stellte sich heraus, daß dieser in den vergangenen 17 Tagen bei der niedrigsten Konzentration um 42,7 %, der mittleren um 44,9 % und der höchsten um 59,4 % abgenommen hatte. Die jetzt vorhandenen jungen Bohnenfrüchte

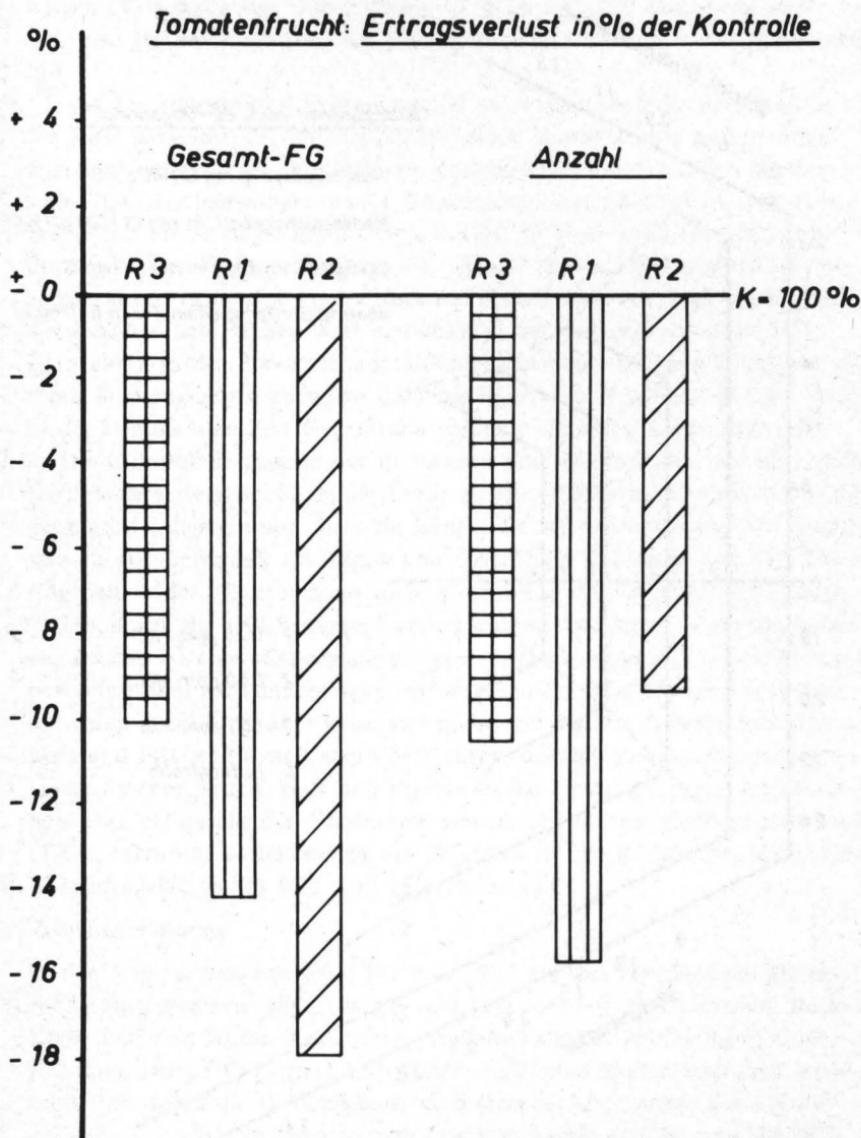


Abbildung 7: Prozentuale Ertragsdepression von Tomaten bei unterschiedlicher Begasungsdauer und HCl-Konzentration (R1: 0,3 mg HCl/m³, 94,5 h; R3: 0,3 mg HCl/m³, 48,5 h; R2: 0,4 mg HCl/m³, 94,5 h)

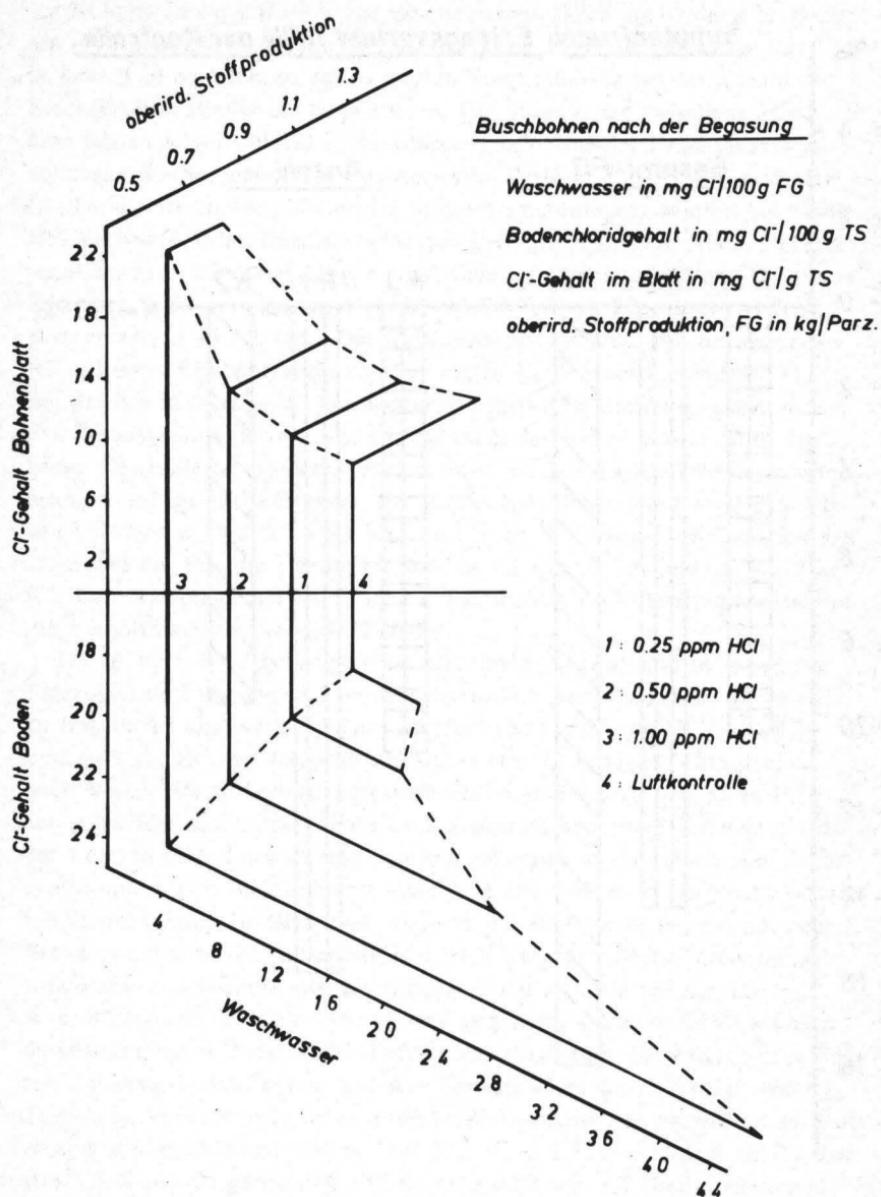


Abbildung 8: Oberirdische Stoffproduktion und Cl⁻-Gehalt von Boden, Waschwasser und Blattmasse in Abhängigkeit von der HCl-Begasung

wiesen Cl^- -Gehalte von 2,4 - 3,00 mg $\text{Cl}^-/\text{g TS}$ auf. Die Abstufung dieser Werte folgte der Abstufung der Schadgaskonzentrationen in der Begasungsluft.

Aus den mitgeteilten Ergebnissen ist zu ersehen, daß die derzeitig für die BRD geltenden MIK-Werte für HCl stark überhöht sind und niedriger angesetzt werden müssen. Nach den vorliegenden Versuchsdaten ergeben sich Pflanzenschädigungen und Ertragsdepressionen ab einer Schadgaskonzentration in der Begasungsluft von $0,3 \text{ mg HCl/m}^3$ aufwärts. Nach 1969 durchgeführten Untersuchungen (12, 13) gilt für die DDR eine HCl -Konzentration in Höhe des vorgeschlagenen MIK-Wertes von $0,05 \text{ mg HCl/m}^3$ als unbedenklich. Diesen Wert einzuhalten, bereitet den einzelnen HCl -Emittenten in der Praxis sicherlich Schwierigkeiten. Die Ermittlung der unteren Toleranzgrenze zwischen $0,05 \text{ mg HCl/m}^3$ und $0,3 \text{ mg HCl/m}^3$ soll in der kommenden Zeit Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Die Chloridbelastung in der Blattmasse und den Früchten der untersuchten Pflanzen steigt nicht immer linear zu der HCl -Konzentration in der Begasungsluft; dies gilt vor allem für höhere HCl -Konzentrationen. Im Gegensatz zu den Befunden von *Liegel und Oelschläger* (14) stieg mit dem Chloridgehalt in der Pflanzenmasse nicht gleichzeitig der Grad der Schädigung.

Der durch die HCl -Begasung hervorgerufene Anstieg des Chloridgehaltes des Bodens ist einerseits abhängig von dem Deckungsgrad seines Pflanzenbewuchses und wird andererseits von wechselnder Bodenfeuchte und Verdunstung beeinflußt. Man kann also nicht nur das Wechselspiel zwischen Luft und Pflanze für sich allein betrachten, sondern man muß das ökologische System Boden, Luft und Pflanze in die Untersuchung mit einbeziehen. Dies entspricht den Forderungen unter 6/d in dem Änderungsentwurf (Tiere, Pflanzen, Sachgüter) zu der Präambel für die Richtlinien Maximale Immissions-Werte des VDI vom 15.1.1973 (15).

Zusammenfassung

In den Vegetationsperioden 1971 und 1972 wurden verschiedene gärtnerische Nutzpflanzen, wie Tomaten, Gurken, Möhren, Buschbohnen, Radies, Kartoffeln und Winter-Raps, unter freilandähnlichen Bedingungen einer Kontamination HCl -haltiger Luft unterschiedlicher Konzentrationen ausgesetzt. Die durch die HCl -Begasung verursachten Änderungen des Chloridgehaltes in Boden, Blattmasse und Früchten wurde verfolgt und die HCl -bedingten Ertragsdepressionen ermittelt. Gleichzeitig wurde ein kontinuierliches Meßverfahren zur Bestimmung der HCl -Konzentration in der Begasungsluft verbessert und geprüft. Die aus den Versuchen gewonnenen Daten lassen erkennen, daß der derzeitige MIK-Wert stark überhöht ist und verringert werden sollte.

Schrifttum

- (1) *Ewert, E. und H.G. Dässler*: Emissionen der Kaliindustrie und ihre Einwirkungen auf die Vegetation. Biol. Zbl. **86** (1967), 79-88
- (2) *Tichatschke, J.*: Untersuchungen über Emissionen aus Müllverbrennungsanlagen. Mitt. Vereinig. Großkesselbetr. **51** (1971), H.3, 219-223
- (3) *Van Grimbergen, M., G. Reybrouck und H. van de Voorde*: Das Entstehen von Luftverunreinigungen bei Verbrennung thermoplastischer Kunststoffe. Zbl. Bakt. Hyg. I.Abt. Orig.B **155** (1971), 123-130
- (4) *Bohne, H.*: Immissionsschäden durch Krankenhaus-Müllverbrennungsanlagen. Staub-Reinh. Luft **27** (1967), 451-453
- (5) *Vogl, J.*: Möglichkeiten und Grenzen der Verbrennung von Abfällen. Dtsch.Rat f. Landespflege, Juli 1970, H.13, 42-45
- (6) *Schönborn, H.-H.*: Probleme der Abfallbeseitigung unter besonderer Berücksichtigung der Kunststoffe. Dtsch.Rat f. Landespflege, Juli 1970, H.13, 16-20
- (7) *Anonymous*: Umweltgestaltung - Umweltschutz; Wege zur Neuordnung der Abfallbeseitigung. Müll, Abfall, Abwasser 1972, H.20,4-17
- (8) *Reimer, H.*: Über die Emission von Chlorwasserstoff bei der Verbrennung von kunststoffhaltigem Hausmüll. Chemiker-Ztg. **95** (1971), Nr. 10, 455-457
- (9) *VDI-Handbuch der Luft*: Maximale Immissions-Konzentrationen (MIK). Chlorwasserstoff (VDI 2106, Bl.2). VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1963
- (10) *Kettner, H.* : Schadstoff-Normierung der Außenluft in der Sowjetunion. MIK-Werte und Schutzzonen 1972. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 39, 40 S., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1972
- (11) *Lahmann, E. und M. Möller*: Chlorid-Immissionsmessungen in der Umgebung einer Müllverbrennungsanlage. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 33 (1970), 29-33
- (12) *Dässler, H.-G. und E. Ewert*: Zum Nachweis von Chlorwasserstoffsäuren an Pflanzen. Biol. Zbl. **88** (1969), 209-213
- (13) *Ewert, E. und H.-G. Dässler*: Schädigung von Pflanzen durch Chlorwasserstoff. Umschau **69** (1969), H.25, 839-841
- (14) *Liegel, W. und W. Oelschläger*: Einfache Methode zum Nachweis von durch Chlor an Pflanzen (Salat, Spinat) hervorgerufenen Schadssymptomen. Staub **22** (1962), 517-521
- (15) *VDI Kommission Reinhaltung der Luft*: Änderungsentwurf (I. Tiere, Pflanzen, Sachgüter) zur Präambel für die Richtlinien „Maximale Immissions-Werte“ vom 15.1.1973

**Schriftenreihe des Vereins für
Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem**

Nr. 2:	Meinck; Englisch-deutsche und deutsch-englische Fachausdrücke aus dem Gebiete der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung	DM 7,-
Nr. 3:	Kisker; Die Überwachung der Grundstückskläranlagen	DM 1,-50
Nr. 4:	Kolkwitz; Ökologie der Saprobien	DM 5,-
Nr. 8:	Büsscher; Untersuchungen über den Aufwuchs in Was- serbecken und seine Bekämpfung mit Kupfersulfat	DM 2,60
Nr. 9:	Meinck/Thomaschke; Untersuchungen über den anaero- ben Abbau von Viskoseschlamm	DM 4,40
Nr. 10:	Beyreis/Heller/Bursche; Beiträge zur Außenluft- hygiene	DM 9,60
Nr. 11:	Steinkohlenflugasche	DM 15,-
Nr. 14b:	Einheitliche Anforderungen an die Beschaffenheit, Untersuchung und Beurteilung von Trinkwasser in Europa	DM 8,60
Nr. 15:	Löbner; Ergebnisse von Staubbiederschlagsmessungen an verschiedenen Orten Deutschlands	DM 2,-
Nr. 16:	Naumann/Heller; Probleme der Verunreinigung von Grund- und Oberflächenwasser durch Mineralöle und Detergentien. Luftverunreinigung und Abhilfemaß- nahmen	DM 2,50
Nr. 17:	Aurand/Delius/Schmier; Bestimmung der mit Nieder- schlag und Staub dem Boden zugeführten Radioakti- vität (Topfsammelverfahren)	DM 4,-
Nr. 19:	Abhandlungen aus dem Arbeitsgebiet des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene	DM 17,60
Nr. 20:	Sattelmacher; Methämoglobinämie durch Nitrate im Trinkwasser	DM 4,80
Nr. 21:	Vorträge auf der Jahrestagung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 1963 in Berlin	DM 4,80
Nr. 22:	Langer/Kettner; Vorträge auf der Jahrestagung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 1964 in Köln	DM 5,10

Nr. 23:	Lahmann; Luftverunreinigung in den Vereinigten Staaten von Amerika	DM 5,60
Nr. 25:	Lahmann/Morgenstern/Grupinski; Schewfeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen	DM 6,80
Nr. 26:	Kempf/Lüdemann/Pfau; Verschmutzung der Gewässer durch motorischen Betrieb, insbesondere durch Außenbordmotoren	DM 8,50
Nr. 27:	Neuzeitliche Wasser-, Boden- und Lufthygiene	DM 10,80
Nr. 28:	Lahmann; Untersuchungen über Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr	DM 13,40
Nr. 29:	Heller/Kettner; Forschungsarbeiten über Blei in der Luft und in Staubniederschlägen	DM 11,60
Nr. 30:	Meteorologie und Lufthygiene	DM 19,80
Nr. 32:	Rattenbiologie und Rattenbekämpfung	DM 29,40
Nr. 33:	Beiträge aus dem Gebiet der Umwelthygiene	DM 30,80
Nr. 34:	Gewässer und Pestizide	DM 15,20
Nr. 35:	Kettner; Geruchsbelästigende Stoffe	DM 15,-
Nr. 36:	Durchlässigkeit von Lockersedimenten – Methodik und Kritik	DM 9,20
Nr. 37:	Gewässer und Pflanzenschutzmittel	DM 27,40
Nr. 38:	Umweltschutz und öffentlicher Gesundheitsdienst	DM 34,60
Nr. 39:	Schadstoff-Normierung der Außenluft in der Sowjetunion – MIK-Werte und Schutzzonen 1972	DM 4,60
Nr. 40:	Hygienisch-toxikologische Bewertung von Trinkwasserinhaltsstoffen	DM 21,50
Nr. 41	Lufthygiene 1974	
Nr. 42:	Immissionssituation durch den Kraftverkehr in der Bundesrepublik Deutschland	

Gustav Fischer Verlag · Stuttgart

