

# SCHRIFTENREIHE

DES VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE  
BERLIN-DAHLEM / GEGRÜNDET IM JAHRE 1902

HERAUSGEGBEN IM AUFTRAGE DES  
VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE  
VON PROF. DR. F. MEINCK

Nr. 27

## Neuzeitliche Wasser-, Boden und Lufthygiene

im Spiegel der Vortragsveranstaltung  
des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene  
am 29. und 30. September 1967 in Berlin



GUSTAV FISCHER VERLAG · STUTTGART

1968

# SCHRIFTENREIHE

DES VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE  
BERLIN-DAHLEM / GEGRÜNDET IM JAHRE 1902

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE DES  
VEREINS FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE  
VON PROF. DR. F. MEINCK

Nr. 27

## Neuzeitliche Wasser-, Boden und Lufthygiene

im Spiegel der Vortragsveranstaltung  
des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene  
am 29. und 30. September 1967 in Berlin



---

GUSTAV FISCHER VERLAG · STUTTGART

1968

Alle Rechte der Übersetzung vorbehalten.  
Copyright by Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem  
Printed in Germany

Druck von A. W. Hayn's Erben, Berlin West

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Der Verein und das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene von F. HÖFFKEN .....	5
2. Hygienische Probleme beim Wassertransport in Kunststoffrohren von F. HERZEL .....	13
3. Die Erhaltung der Güte des Trinkwassers in einem Industriestaat von U. HÄSSELBARTH .....	20
4. Moderne Schwimmbadewasserhygiene von S. CARLSON .....	27
5. Gemeinsame oder getrennte Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer von W. NIEMITZ .....	35
6. Rattenbekämpfung in der Kanalisation von K. BECKER .....	45
7. Abwässer aus der Oberflächenveredlung von Metallen und ihre Beurteilung von R. LESCHBER .....	49
8. Zur Frage der Beseitigung radioaktiver Abwässer, insbesondere bei der Anwendung von Radionukliden in Forschung, Medizin und Industrie von K. AURAND .....	56
9. Aktuelle Probleme der Lufthygiene von A. HELLER .....	67
10. Die Luftverunreinigung durch Kraftfahrzeuge an einem verkehrsreichen Punkt in Berlin von E. LAHMANN .....	77
11. Hygienische Wünsche an das Raumklima in Aufenthaltsräumen von F. ROEDLER .....	82



# Der Verein und das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene

Von FRITZ HÖFFKEN

Die stürmische wirtschaftliche Entwicklung im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts hat auch in Deutschland, und insbesondere in den preußischen Gebietsteilen, in den aufkommenden Ballungsräumen Wasserversorgungsprobleme für die Bevölkerung und die Industrie aufkommen lassen. Infolge der noch weitgehend ungelösten Fragen einer einwandfreien Beseitigung der flüssigen Abfallstoffe kam es immer wieder zum Kurzschluß zwischen Abwasser/Trinkwasser und damit zum Ausbruch von Epidemien. Damals standen also im Vordergrund der Trinkwasserhygiene vornehmlich Fragen der Seuchenbekämpfung. Die Häufung schwerer, auf Mängel der Trinkwasserversorgung zurückführbarer Epidemien, wie die Cholera-Epidemie in Hamburg und Epidemien kleineren Ausmaßes im Westen des Reiches, war für die damaligen Verhältnisse auf hygienischem Gebiet kennzeichnend. Die Typhusepidemie im Jahre 1897 in Beuthen/Oberschlesien schließlich mit 1618 Erkrankungen und 85 Todesfällen, bei der damals ebenfalls der Erreger nachweis im Trinkwasser gelang, zwang die preußische Medizinalverwaltung dazu, Überlegungen anzustellen, wie man solchen durch verseuchtes Trinkwasser hervorgerufenen Infektionskrankheiten durch geeignete Abwehrmaßnahmen begegnen könnte. Der Ausbruch dieser Epidemie hat die Entschließung der Medizinalverwaltungen maßgeblich beeinflußt, eine besondere Institution zu schaffen, die der öffentlichen Gesundheitspflege und der Volkswirtschaft drohenden Gefahren entgegenwirken sollte.

Häufig wurden Wasserversorgungs- und Abwasserreinigungsanlagen gebaut, deren Leistung und Wirkung vor allem in hygienischer und gesundheitstechnischer Hinsicht nicht den Erwartungen entsprachen. Der Staat suchte für seine Aufsichtsbehörden durch die Einrichtung von Ministerialkommissionen den vielfältigen Problemen in der Beurteilung von Wasserversorgungs- und Abwasserbeseitigungsanlagen und im Gewässerschutz Herr zu werden. Denn den Kommunalverwaltungen und der Industrie standen erfahrene Berater nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung, da deren Zahl begrenzt war. Außerdem zeigte sich, daß bei der fachlichen Beratung durch Privatpersonen persönliche Interessen nicht immer auszuschalten waren. Der Ruf nach einer Institution, in der die guten und schlechten Erfahrungen gesammelt und kritisch ausgewertet wurden, um daraus praktische Folgerungen für die technischen Wege des Baues dieser Anlagen zu ziehen, wurde unüberhörbar. Über die Organisation dieser Einrichtung, die allen Bedürfnissen, insbesondere denen der öffentlichen Gesundheitspflege, gerecht werden sollte, gab es verschiedene Ansichten. Die einen wollten den Technischen Hochschulen und Universitäten die Ausbildung des notwendigen Fachpersonals übertragen; die anderen — vor allem die Wasserinteressenten der Gemeinden und Industrie — wollten eine eigene Versuchs- und Prüfungsanstalt einrichten.

Es ist daher das große Verdienst der Preußischen Medizinalverwaltung, am 1. 4. 1901 die „Königliche Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“ gegründet zu haben. „Die Anstalt ist und soll an sich

kein wissenschaftliches Institut der hergebrachten Art sein, sondern ein wissenschaftliches Institut, welches vor allen Dingen praktischen Zielen und Zwecken dient.“ Mit diesen Worten kennzeichnete der Initiator dieser Anstalt, der Wirkliche Geheime Obermedizinalrat Dr. SCHMIDTMANN, im Jahre 1901 im preußischen Abgeordnetenhaus den Charakter der Anstalt. Eine ihrer wesentlichen Voraussetzungen sollte die Unabhängigkeit der dort tätigen Wissenschaftler von irgendwelchen Interessengruppen sein. Dies hatte zur Voraussetzung, daß die wissenschaftlichen Mitarbeiter in das Beamtenverhältnis übernommen und die Früchte ihrer Arbeit der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt wurden, ohne daß sich dabei persönliche wirtschaftliche Vorteile für sie ergeben durften. Durch die Sammlung von Erfahrungen, durch die mit verschiedenen Fachdisziplinen abgestimmte Begutachtung und durch die aus den Gegebenheiten der Praxis entwickelten Untersuchungsmethoden sollte zudem als eines der wichtigsten Kriterien dieser Anstalt wohl auch im Gegensatz zu den Hochschulinstituten die Kontinuität des Aufgaben- und Forschungsbereiches sichergestellt werden. Sie sollte auf praxisnahe Ziele gerichtete Forschung betreiben, die im öffentlichen Interesse liegenden Überwachungsaufgaben wahrnehmen und die Kommunen und die Industrie beraten. Auch wurde dem Auftrag entsprechend eine umfangreiche Lehrtätigkeit mit Ausbildungs- und Fortbildungskursen für staatliche Bau- und Gewerbeaufsichtsbeamte, Medizinal- und Kulturbaubeamte, Sanitätsoffiziere, städtische Beamte und für Angehörige des Brunnenbau- und Schädlingsbekämpfungsgewerbes ausgeübt. Unter dem Zwange der Verhältnisse nach dem 2. Weltkrieg konnte die Lehrtätigkeit allerdings nicht mehr im gleichen Umfang durchgeführt werden. Die Abschnürung Berlins und die mit der politischen Neuordnung verbundene Verlagerung auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft erwiesen sich als zu starkes Hemmnis. Die Einsicht aber, die bei der Gründung obwaltete, daß das Problem der Wasserversorgung und der Abwasserbeseitigung nicht vom Hygieniker allein, sondern nur in Zusammenarbeit mit anderen Sachverständigen, Chemikern, Biologen und Wasseringenieuren zu lösen ist, erwies sich als weitschauend und ist auch heute noch richtungweisend für die Zusammenarbeit der Abteilungen des Instituts, setzt doch die Bearbeitung der meisten aktuellen Forschungsaufgaben eine „Team“-Arbeit voraus.

Mit der Gründung dieser Institution war ein entscheidender Schritt auf dem Gebiet der Wasser- und Abwasserhygiene getan, dessen Notwendigkeit in der ständig zunehmenden Inanspruchnahme der Anstalt und dem Neubau des Institutsgebäudes in Berlin-Dahlem im Juli 1913 seinen eindrucksvollen Beweis fand.

Die enge Verbindung, die die Anstalt zur Praxis suchte, fand ihren Ausdruck darin, daß bereits am 28. Februar 1902 im vollen Einvernehmen mit dem zuständigen Ministerium der Verein für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung — der heutige Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene — gegründet wurde, der von Interessenten aus den Kreisen der Gemeinden, der Gemeindeverbände und der Industrie gebildet wurde. Der Verein entstand mit dem ausschließlichen Zweck, bei den Aufgaben und Arbeiten der Versuchs- und Prüfungsanstalt mitzuwirken und deren Durchführung mit Geldmitteln zu fördern. Durch seine Einflußnahme sollten die Arbeiten der Anstalt auf die Erfordernisse der Praxis abgestimmt und Anregungen für die wissenschaftliche Erforschung der sich aus der Sicht der Kommunen und Industrie ergebenden vordringlich zu behandelnden Probleme gegeben werden. Die finanziellen Aufwendungen des Vereins waren ein wichtiger Bestandteil des praktischen und wissenschaftlichen Lebens der Anstalt. Manche jungen Wissenschaftler wurden erst zur Bearbeitung

von Forschungsaufträgen durch den Verein angestellt, bevor sie nach Bewährung endgültig in das Beamtenverhältnis übernommen wurden. Nachträglich wird man die Einsicht der preußischen Medizinalverwaltung nur bewundern können, die einerseits sehr bewußt eine unabhängige Institution ins Leben rief und andererseits den kommunalen und privatwirtschaftlichen Interessenten die Möglichkeit eröffnete, durch die Gründung des Vereins die eigenen fachlichen Belange vertreten zu wissen.

Die weitere Geschichte des Instituts sei nur ganz kurz erwähnt. In einer Denkschrift der Institutsleitung vom Jahre 1922 an das zuständige Preußische Staatsministerium wurde auf die Problematik der Bekämpfung der tierischen Schädlinge, auf die Verunreinigung der Luft durch Staub, Rauch- und Abgase verwiesen. Die preußische Staatsregierung trug diesen Anregungen Rechnung, indem sie am 1. 4. 1923 der Anstalt die Bezeichnung „Preußische Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene“ verlieh und den Aufgabenkatalog entsprechend erweiterte.

Im Zuge der Bestrebungen zur Vereinheitlichung des Gesundheitswesens wurde 1934 das Institut ebenso wie das Preußische Robert Koch-Institut dem Reichsgesundheitsamt angegliedert. Wegen der sich daraus im Laufe der Jahre ergebenden Schwierigkeiten dieser organisatorischen Zusammenfassung wurde das Institut am 1. 4. 1942 in eine selbständige „Reichsanstalt für Wasser- und Luftgüte“ umgewandelt. Sie blieb auch weiterhin der Medizinalabteilung des Reichsinnenministeriums unterstellt. Die mehrjährigen Auseinandersetzungen zwischen dem „Generalinspekteur für Wasser und Energie“, bei dem die gesamte Wasserwirtschaft aus dem Bereich des Reichsnährungsministeriums, des Reichswirtschaftsministeriums und des Reichsverkehrsministeriums zusammengefaßt wurde, führte dazu, daß die Anstalt ihre Selbständigkeit im Rahmen der Medizinalverwaltung behielt und 1943 die Zusammenarbeit der Dienststellen des Generalinspektors mit der Reichsanstalt in einem besonderen Erlaß geregelt wurde.

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde sie an das Zentralinstitut für Hygiene und Gesundheitsdienst des Magistrats von Groß-Berlin angegliedert. Es ist das große Verdienst des jüngst verstorbenen damaligen Institutsleiters Prof. Dr. TIEGS, daß er die Aktionsfähigkeit des Instituts erhalten hat und durch seine Initiative die ausgelagerte Bibliothek und wichtige Gerätschaften gerettet werden konnten. Der Stadt Berlin ist es zu verdanken, daß das Institut in seiner wesentlichen Substanz erhalten blieb.

Erst 1952 erfolgte eine wesentliche Änderung durch das „Gesetz über die Errichtung eines Bundesgesundheitsamtes“ vom Februar 1952. Dieses Gesetz schaffte den erwünschten grundlegenden Wandel. Das Bundesgesundheitsamt wurde eine Bundesoberbehörde mit der Aufgabe, die Forschung auf dem Gebiet der öffentlichen Gesundheitspflege zu betreiben. Darüber hinaus sind — wie aus den Begründungen hervorgeht — Grundsatz- und Obergutachten zu erstatten. Für das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Bundesgesundheitsamt bedeutet dies, daß es angewandte Forschung auf dem Gebiet der öffentlichen Gesundheitspflege in Fragen der Wohnungshygiene, Gesundheitstechnik, Wasserversorgung, Beseitigung der festen und flüssigen Abfallstoffe, Bekämpfung von Gesundheits- und Hausschädlingen, Reinhal tung der Luft, Lärmbekämpfung und des Badewesens betreiben kann. Im einzelnen soll auf verschiedene bundesgesetzliche Regelungen, in denen direkt oder indirekt Aufgaben des Instituts auf dem Gebiet der öffentlichen Gesundheitspflege angesprochen sind, in diesem Rahmen nicht eingegangen werden. Soviel sei aber gesagt, daß in einer Vielzahl

von Bundesgesetzen hygienische und gesundheitstechnische Fragen berührt werden, die nach überörtlichen Gesichtspunkten zu behandeln und zu erforschen sind. Wegen der im Grundgesetz der Bundesrepublik verankerten Kompetenzverlagerung können Routineuntersuchungen und Überwachungsaufgaben nicht mehr vom Institut wahrgenommen werden.

Nach Eingliederung der bisher zum Max von Pettenkofer-Institut im Bundesgesundheitsamt gehörenden Laboratorien für allgemeine Hygiene und für Gesundheitstechnik (Heizung, Lüftung, Beleuchtung, Klimatechnik) wurde dem Institut 1957 die zusätzliche Bezeichnung: „Forschungsstätte für allgemeine Hygiene und Gesundheitstechnik“ verliehen. Die Beeinflussung von Wasser, Boden und Luft durch radioaktive Substanzen führte dazu, 1958 ein „Laboratorium für Radioaktivitätsuntersuchungen“ zu errichten, dem auf Grund des Euratomvertrages die Leitstellen für Trink- und für Abwasser angegliedert sind. Die für die angewandte Forschungsarbeit lebensnotwendige Verbindung mit praktischen Aufgaben der Wasserversorgung, der Beseitigung von festen und flüssigen Abfallstoffen und der Reinhaltung der Luft wird besonders durch die Außenstelle des Instituts in Düsseldorf gewährleistet. Sie erstattet auf Grund eines Vertrags mit dem Land Nordrhein-Westfalen aus dem Jahre 1961 u. a. Grundsatz- und Obergutachten.

Die neuzeitliche Entwicklung der Anwendung der Röntgenstrahlen und radioaktiver Substanzen in Medizin und Technik macht die ständige Beobachtung der Strahlenbelastung der gesamten Bevölkerung erforderlich. Hierzu wurde ebenfalls 1961 eine neue Abteilung „Strahlenschutz und Strahlenbelastung“ geschaffen, die wohl mehr aus organisatorischen als aus fachlichen Gründen dem Institut angegliedert wurde. Auf Grund einer Vereinbarung zwischen Bund und Ländern wurde im Oktober 1965 die „Zentralstelle für Abfallbeseitigung“ in den Institutsbereich eingebaut.

Durch den bereits erwähnten 1952 erfolgten Einbau des Instituts in das Bundesgesundheitsamt ist in seinem bisherigen Aufgabenbereich ein deutlicher Einschnitt erfolgt. Die ehemalige Landesanstalt hatte auf Grund der Geschäftsanweisung vornehmlich drei Aufgaben gepflegt, die voneinander abhängig waren und sich gegenseitig ergänzten. Die erste war die wissenschaftliche Bearbeitung von Problemen, die sich ihrerseits zum Teil aus der zweiten, der beratenden Tätigkeit im Dienste des öffentlichen Lebens und der allgemeinen Wirtschaft ergaben. Dazu trat als dritte die Lehr- und Fortbildungstätigkeit für die Kreise, die sich mit der Schaffung der erforderlichen Einrichtungen oder mit der Prüfung der dafür erforderlichen Entwürfe oder mit der Beaufsichtigung und den Betrieb der bestehenden Anlagen zu befassen hatten. Darüber hinaus war es für die Anstalt besonders charakteristisch, daß bis zur Beendigung des zweiten Weltkrieges weit über 50% der Ausgaben aus den Einnahmen für Gutachten Dritter u. a. erwirtschaftet werden mußten. Die Landesanstalt hat die sie um Rat Angehenden — gleichgültig, ob es sich hierbei um Behörden, Kommunalverwaltungen, Industrielle und Gewerbetreibende oder Privatpersonen handelte — auf Grund der von ihr gesammelten Erfahrungen praxisnah zu beraten versucht. Seit Gründung des Bundesgesundheitsamtes entwickelt sich entsprechend der neuen Aufgabenstellung das Schwergewicht der Arbeit in zunehmendem Maße weiter auf die Forschungstätigkeit hin. Da aber das Institut angewandte Forschung zu betreiben hat, darf nicht übersehen werden, daß die Erstattung von Grundsatz- und Obergutachten und vor allem die Bearbeitung von Aufträgen Dritter nach wie vor notwendig sind. Durch die von außen herangetragenen Fragen kann eine praxisnahe Forschung nur gefördert werden; anderenfalls

droht die Gefahr, daß die geleistete Arbeit mit ihren Ergebnissen beziehungslos im Raum schwiebt.

Dabei sollte nicht verhehlt werden, daß die Lage des Instituts in Berlin unabdingbar dazu zwingt, Kontakte mit amtlichen, halbamtlichen und privaten Einrichtungen jedweder Art in der Bundesrepublik aufzunehmen. Daß die Wissenschaftler des Instituts ihre Mitarbeit in wissenschaftlichen oder fachlichen Ausschüssen u. a. in der Deutschen Forschungsgemeinschaft, im Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern, im Fachnormenausschuß, in der Abwasser-technischen Vereinigung und im Verein Deutscher Ingenieure (Kommission Reinhal tung der Luft) gerne zur Verfügung stellen und diese Mitarbeit von der Institutsleitung begrüßt und gefördert wird, ist selbstverständlich. Darüber hinaus erscheint die Verbindung zu Fachwissenschaftlern anderer Institutionen unerlässlich. So ist es in den beiden letzten Jahren möglich geworden, u. a. mit dem Institut für Wasserchemie an der Technischen Hochschule in Karlsruhe, mit dem Hessischen Geologischen Landesamt in Wiesbaden, dem Hygiene-Institut in Gelsenkirchen, dem Meteorologischen Institut der Universität in Frankfurt, dem Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Karlsruhe und mit verschiedenen Instituten der Freien Universität und Technischen Universität in Berlin einen Gedankenaustausch zu pflegen, der in manchen Fällen zur wissenschaftlichen Zusammenarbeit führt.

Dankenswerterweise hat der Haushaltsausschuß des Deutschen Bundestages, der im April 1967 erneut das Institut besuchte, in dem Haushaltsjahr 1966 und 1967 über ein Viertel neue Stellen im Vergleich zum Gesamtpersonalstand des Jahres 1965 bewilligt. Dabei hat er nicht nur die Laborleiterstellen für neue Laboratorien, sondern auch Stellen für das wissenschaftliche Hilfspersonal genehmigt. Auch konnten erfreulicherweise manche Stellen besoldungsmäßig gehoben werden. Bei den Neueinstellungen gelang es, fast alle wissenschaftlichen Mitarbeiter entsprechend der Empfehlung des Wissenschaftsrates aus dem Bereich der Hochschulen zu gewinnen. Ebenso war es möglich, neue apparative Hilfsmittel zu beschaffen; allerdings konnten leider manche Wünsche nicht erfüllt werden. Die Überlastung der Wissenschaftler mit nicht forschungseigenen Aufgaben ist bekannt; daher sind die entsprechenden Voraussetzungen für die schöpferische Arbeit zu schaffen, in denen mehr noch als bisher moderne apparative Hilfsmittel zur Entlastung der Wissenschaftler einerseits und zur Förderung des wissenschaftlichen Ertrages andererseits bereitgestellt werden.

Noch einmal sei auf die Förderung des Instituts durch den Verein in den vergangenen Jahren zurückgekommen. Der Verein hat als ein tatkräftiger finanzieller Helfer bis zum Kriegsende dem Institut über 1,3 Millionen Mark für die Durchführung von Arbeiten und für die Vergütung von jungen wissenschaftlichen Mitarbeitern in selbstloser Weise zur Verfügung gestellt. Diese materielle Hilfe bis 1945 kann als ein hervorragendes Beispiel der Wissenschaftsförderung angesehen werden.

Nun mag dieser Betrag bei den veränderten Verhältnissen der Gegenwart noch nicht einmal besonders hoch erscheinen. Es sei aber daran erinnert, daß bei der 25-Jahr-Feier der Landesanstalt im Jahre 1926 der Staatssekretär des damals vorgesetzten Ministeriums für Volkswohlfahrt der Landesanstalt als Festgabe der Preußischen Staatsregierung 5000 Reichsmark überreichte, „um weitere Forschungen in Verbindung mit der Lehrtätigkeit vornehmen zu können“. Er sagte: „5000 Mark sind in der heutigen Zeit schon an und für sich viel Geld, sie sind es aber ganz besonders, wenn sie vom Preußischen Staat bewilligt werden. Diese

5000 Mark sollten als eine besondere Würdigung der Leistungen der Landesanstalt angesehen werden.“

Besonders erwähnenswert erscheint die Tatsache, daß es dem damaligen Vorsitzenden des Vereins, Herrn Landrat und Polizeipräsidenten a. D. GERSTEIN, Bochum, im Januar 1924 bei den Verhandlungen im Preußischen Ministerium für Volkswohlfahrt gelang, die als Sparmaßnahme nach der Inflation ernstlich erwogene Auflösung des Instituts zu verhindern. Das Institut hat dem Verein durch seine wissenschaftlichen Leistungen gedankt. Es hat sicher einen auch im Ausland anerkannten Namen.

Während des letzten Krieges ruhte die Vereinstätigkeit weitgehend. Um so erfreulicher ist festzustellen, daß der Verein verhältnismäßig bald nach Kriegsende, und zwar bereits 1946, die Vereinsarbeit unter den damals erschwerten Bedingungen wieder aufgenommen hat. Daß anfänglich die Verbindung hauptsächlich nur mit den Mitgliedern des Vereins aus Berlin und Mitteldeutschland wegen der damals bestehenden Reisebeschränkungen gepflegt wurde, überrascht bei dem Versuch einer Rückerinnerung an die damaligen, heute kaum mehr vorstellbaren Gegebenheiten nicht. Bereits im April 1947 fand — allerdings ohne Teilnahme der westdeutschen Mitglieder — die erste Mitgliederversammlung in Berlin statt. Im März 1949 wurde in einer Sitzung des erweiterten Vorstandes beschlossen, diesen durch Vertreter von Mitgliedern aus Westdeutschland zu ergänzen. Im Vollzug dieses Beschlusses übernahm der bereits verstorbene Bergwerksdirektor Prof. Dr. h. c. OBERSTE-BRINK, gleichfalls Vorsitzender der Emscher-Genossenschaft, den Vorsitz des Vereins.

Besonderer Dank gebührt dem Verein dafür, daß er trotz Verlust des Vereinsvermögens die finanzielle Förderung fortgesetzt hat und mit der Herausgabe von „Literaturberichte“, in denen die den Bearbeitern wichtig erscheinenden Facharbeiten aus etwa 140 in- und ausländischen Zeitschriften sachverständig referiert werden, und „Schriftenreihe“ einen so wertvollen Beitrag zur Fachliteratur leistet. In der „Schriftenreihe“ werden meist von den Institutsangehörigen Arbeiten veröffentlicht, die von allgemeiner Bedeutung sind. Auch manch anderer finanzieller Zuwendung sei gedacht, insbesondere aber der Spende für eine Werkbank von rd. 17000 DM.

Ebenso hat der Verein neben anderen Unterweisungslehrgängen auch die Veranstaltung der Fortbildungskurse für Hoch- und Fachschulabsolventen, die in Wasserversorgungsunternehmen, Fachbehörden und Fachfirmen tätig sind, übernommen. Der erste Kursus dieser Art nach dem Kriege konnte im Herbst 1965 in Abstimmung mit dem Deutschen Verein für Gas- und Wasserfachmänner durchgeführt werden. Wie man wohl annehmen darf, stellen dabei die verschiedenenartigen Praktiken, die damit verbunden sind, eine sinnvolle Bereicherung der Fachvorträge dar. Die Vorträge werden nicht nur aus dem Kreis der Mitarbeiter des Instituts, sondern auch von Fachvertretern des Wasserversorgungswesens bestritten, wodurch sich Theorie und Praxis zweckdienlich ergänzen.

Von besonderem Wert für die Kontaktaufnahme des Instituts mit den Fachorganisationen und einschlägigen Einrichtungen im Westen war eine fast einwöchige Studienreise sieben seiner Mitarbeiter ins Ruhrgebiet. Eine solche kenntnisvermittelnde und in die Praxis der Siedlungswasserwirtschaft hineinführende Reise kann kaum aus den beschränkten Reisekostenmitteln des Bundesgesundheitsamtes finanziert werden. Es wurden die Emscher-Genossenschaft und der Lippeverband, der Ruhrverband und der Ruhrtalsperrenverein, das Wasserwerk für das nördliche westfälische Kohlenrevier Gelsenkirchen, die Chemischen Werke Hüls in Marl und das Hygiene-Institut in Gelsenkirchen besichtigt. Bei den Besprechun-

gen und Besichtigungen wurden Fragen der Wassergewinnung und -aufbereitung, der Abwasserbehandlung und der Umwelthygiene in freimütiger Form besprochen. Für die Mitarbeiter des Instituts war diese Studienreise wegen der ausgesprochenen vielschichtigen hygienischen und gesundheitstechnischen Probleme um so eindrucksvoller, als vor dem Kriege die Wissenschaftler der Anstalt als Berater oder Sachverständige oft in fachlicher, z. T. enger Verbindung mit den Wasserwerken und Verbänden standen. Die mit der Reise verbundene Kontakt- aufnahme ist ein weiterer Gewinn für die Wabolu!

In den letzten Jahrzehnten sind die Probleme der Umwelthygiene erfreulicherweise tief in das Bewußtsein der Öffentlichkeit gedrungen. Dies erfolgte zu einer Zeit, in der die Veränderungen der natürlichen Umwelt nicht nur zu einer Gefährdung, sondern schon zu messbaren Schäden geführt hatten. Diese Umwelt- gefahren, z. B. in Form von Beeinträchtigungen des Grund- und Oberflächen- wassers, von Luftverunreinigungen und von Lärm wiegen um so schwerer, als der einzelne sich ihnen nicht zu entziehen vermag, ihnen vielmehr hilflos ausgeliefert ist.

Die Eingliederung des Instituts in das Bundesgesundheitsamt hat sich naturgemäß stark auf die Arbeiten ausgewirkt. Der Umfang der Forschungsaufgaben hat gerade im letzten Jahrzehnt deutlich zugenommen. Infolge der Erweiterung des Mitarbeiterstabes ist auch die Verschiedenartigkeit der Problemstellung angewachsen. In welchem Maße das geschehen ist, möge die nachfolgende Übersicht der zur Zeit im Institut bearbeiteten Forschungsaufgaben zeigen:

Resistenz von Viren im Trinkwasser

Entwicklung geeigneter Verfahren für Routineuntersuchungen zum Nachweis pathogener Viren im Wasser

Carcinogene Stoffe im Wasser

Pestizide in Oberflächengewässern, ihre Bestimmung und ihr Verhalten bei der Bodenpassage

Untersuchungen über die Bedingungen von Massenentwicklungen der Eisen- und Manganbakterien im Brunnen

Entwicklung von Methoden zur Aufbereitung von Rheinufer-Filtrat zu Trinkwasser

Ökologie und Bedeutung der „Strudler“ und „Filtrierer“ für die biologische Selbstreinigung der Gewässer

Arbeitsgruppe „Trinkwasser-Kontamination“

Spezielle chemische Untersuchungen zur 3. Reinigungsstufe

Mikrobiologischer Abbau von Erdöl und Erdölderivaten im Wasser

Abbau von Mineralölprodukten im belebten und unbelebten Boden

Untersuchungen über die schadlose Lagerung von Abfallstoffen unter besonderer Berücksichtigung aerober Abbauprozesse

Vergleichende Untersuchungen über biologisch abbaubare sowie biologisch resistente organische Abwasserinhaltstoffe unter Anwendung moderner physikalisch-chemischer Analysenverfahren

Untersuchungen über die Bedeutung aerober Abbauprozesse für die geordnete Ablagerung von Abfallstoffen und über die Verhinderung von Schwelbränden durch Selbstentzündung

Tierexperimentelle Untersuchungen über die Auslösung von Reizerscheinungen durch Stickoxide

Medizin.-biologische Untersuchungen von schädlichen Abgasbestandteilen aus Kraftfahrzeugen

Ermittlung der Schwefeldioxid-Grundbelastung in der Umgebung eines Kraftwerkes

Immissionswirkungen auf Vegetationen

Entwicklung und Erprobung von kontinuierlich messenden und registrierenden Geräten zur Überwachung der Staubkonzentration im Abgas eines Großkraftwerkes mit Hilfe von Beta-Strahlen

Erhebungen und Untersuchungen über Zweckmäßigkeit und Zuverlässigkeit von Anlagen zur Behandlung radioaktiver Abwässer

Untersuchungen zur Frage zulässiger Konzentrationen radioaktiver Stoffe in der Abluft beim Umgang mit Radionukliden in Laboratorien

Ganzkörpermessungen radioaktiver Stoffe im Menschen

Überwachung von Tritium in der Umwelt und im Menschen

Messungen der Streustrahlverteilung

Wie man aus dieser Aufstellung ersieht, sind die alten, jedoch immer neuen Aufgaben der Umwelthygiene und Gesundheitstechnik gemeinsam zu bearbeiten. Geht es doch darum — allerdings unter anderen Voraussetzungen als bei der Gründung der Anstalt —, durch die Sanierung der Umwelt eines der wichtigsten Güter des einzelnen, seine Gesundheit, zu schützen und zu erhalten. Möge der Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene seinem Institut auch weiterhin dabei helfen!

### Literatur

BENINDE, M.: Die Preußische Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Laufe der Zeiten. Veröffentl. a. d. Gebiete der Medizinalverwaltung XXI Bd. 5. Heft, Berlin 1926, Verlag Richard Schoetz.

NAUMANN, E.: 60 Jahre Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Nr. 18 (1961), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

HÖFFKEN, F.: Über die Aufgaben des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes. Öffentl. Gesundheitsdienst, 27. Jg., H. 10 (1965), S. 429 bis 433.

Erster Direktor u. Prof. Dr. HÖFFKEN  
Bundesgesundheitsamt

1 Berlin 33

Corrensplatz 1

# Hygienische Probleme beim Wassertransport in Kunststoffrohren

Von FRITZ HERZEL

(Mit 2 Abbildungen im Text)

Der Bau von Wasserleitungen hat im Laufe von Jahrhunderten und Jahrtausenden eine lange Entwicklung hinter sich. Während man im Altertum als verfügbares Material Stein, Holz, Ton oder auch schon Metalle für die Anfertigung von Rinnen oder primitiven Röhren verwandte, wurde dann in der Neuzeit mit der Entwicklung der Technik zweckmäßigeres Material eingesetzt, wie Stahl, Kupfer, Aluminium, Beton, Asbestzement usw. In den letzten 30 Jahren, namentlich aber während der Periode des wirtschaftlichen Aufschwungs nach dem zweiten Weltkrieg, traten dann neuartige Werkstoffe auf der Basis organischer Polymere mehr und mehr in den Vordergrund, und zwar besonders auch auf dem Gebiete der Wasserversorgung und der Abwasser-Ableitung. So gibt es heute auf diesem Gebiet sowohl Thermoplaste wie Polyvinylchlorid, Polyäthylen, Polypropylen, Polycarbonat, Polyoxymethylen, ABS-Copolymerisate als auch härtbare Kunststoffe wie Phenolharze und ähnliches. Innenbeschichtungen von Metall-, vor allem aber von Beton- und Asbestzementrohren bieten sich besonders deshalb an, weil einerseits Zementgemische nicht korrosionsbeständig, andererseits reiner Kunststoff in diesen Querschnitten sowohl zu teuer als auch zu schwierig zu verarbeiten ist. Hier werden vor allem Epoxyharze und Polyester verwendet. Die Vorteile dieser neuen Werkstoffe gegenüber den herkömmlichen sind beachtlich. So ist es in erster Linie die außerordentlich hohe Korrosionsbeständigkeit gegenüber den Metallen, die äußere und innere Schutzüberzüge entbehrlich macht. Die sehr glatten Innenflächen von Kunststoffrohren haben infolge des niedrigen Reibungswiderstandes geringere Druckverluste und dadurch höhere Durchflußleistungen sowie wenig Inkrustationsneigung. Da die Wärmeleitfähigkeit von Hochpolymeren im Vergleich zu Metallen z. T. weniger als 1% beträgt, erübrigt sich meist eine Isolierung der Rohre. Wenn das Wasser trotzdem darin gefriert, so zerreißen die Rohrwandungen infolge der hohen Elastizität des Materials in den meisten Fällen nicht, während dies bei Metallrohren leider oft geschieht.

Weitere günstige Eigenschaften des Kunststoffrohres sind seine leichte Handhabung, das geringe Gewicht — etwa 10% eines entsprechenden Stahlrohres —, niedrigere Verlegungskosten und nicht zuletzt seine Preiswürdigkeit.

Jeder neue Werkstoff hat jedoch leider auch nachteilige Eigenschaften. So besitzen Kunststoffe nicht die mechanische Festigkeit und Zähigkeit von Metallen, ihre Resistenz gegen Stoß, Abrieb und Hitze ist meist kleiner, und ihre Wärmeausdehnung ist erheblich größer als bei Metallen. Hinzu kommen — und das soll hier vorrangig behandelt werden — gewisse Bedenken in hygienischer Hinsicht.

Für Kunststoffe, die als Bedarfsgegenstände im Sinne des Lebensmittelgesetzes dienen sollen, veröffentlicht die Kunststoffkommission des Bundesgesundheitsamtes seit Jahren Empfehlungen, in denen Anforderungen an Ausgangspro-

dukte, Zusatzstoffe und Fertigerzeugnisse bei den verschiedenen Polymeren gestellt werden. Ein Trinkwasserrohr aus Kunststoff zum Beispiel muß diese Bedingungen erfüllen, um in Deutschland seine Gütemarke, das sogenannte DVGW-Prüfzeichen, zu erhalten.

Die verschiedentlich gehegte Vermutung, daß Kunststoffe, insbesondere Polyäthylen und Polyvinylchlorid, als Nährstoffquelle für Bakterien dienen können, konnte wohl bisher nicht einwandfrei bewiesen werden. Auf Grund ausgedehnter Untersuchungen, die u. a. auch in unserem Hause durchgeführt wurden, darf man annehmen, daß gelegentliche Keimvermehrungen in Kunststoffrohren, soweit sie bei meist ungewöhnlich hohen Wassertemperaturen aufgetreten sind, kaum durch eine Nährstoffzufuhr aus dem Kunststoff, sondern aus anfänglich vorhandenen Verunreinigungen fabrikneuer Leitungsrohre verursacht sein dürften.

Den weitaus größten Anteil an der Kunststoffproduktion für den Bereich der Trinkwasserversorgung haben bei uns das Polyäthylen (PE) und das Polyvinylchlorid (PVC).

Vom PE gibt es zwei in ihren Eigenschaften geringfügig voneinander abweichende Produkte, bedingt durch verschiedenartige Herstellungsverfahren. Weich-PE entsteht bei dem sogenannten Hochdruckverfahren; es besitzt vorwiegend verzweigte Struktur, relativ wenig kristalline Anteile und ist im allgemeinen spezifisch verhältnismäßig leicht (Dichte um 0,92). PE-Hart wird nach dem ZIEGLERSchen Niederdruckverfahren gewonnen und hat weitgehende lineare Struktur, einen stärker kristallinen Charakter und höhere Dichte (0,94—0,965).

Polyäthylen fällt beim Fabrikationsprozeß als weißes Pulver an und wird — unter Zusatz geringer Mengen Ruß als Farbstoff und gleichzeitig als Antioxydans — unmittelbar zu Trinkwasserrohren verarbeitet.

Eine nachteilige Eigenschaft des Polyäthylens soll hier nicht unerwähnt bleiben: es handelt sich um eine gewisse Durchlässigkeit der Rohrwandungen für bestimmte Gase und Geruchsstoffe, die im Boden zuweilen auftreten können. So wurde verschiedentlich beobachtet, daß Trinkwasser geruchlich bzw. geschmacklich mehr oder weniger stark beeinträchtigt werden kann, wenn PE-Rohre in mit Leuchtgas, Jauche, Treibstoffen und dergl. stark verseuchten Böden verlegt worden waren oder wenn der Boden nachträglich mit diesen Stoffen verunreinigt wurde. Bei dem Rohrmaterial, das zu diesem Verhalten neigt, handelte es sich bisher in allen uns bekannten Fällen um Weichpolyäthylen. In der Tat ist dieses Material für verschiedene niedermolekulare gasförmige Stoffe, wie u. a. von HUGELMANN (1) berichtet wird, z. T. beträchtlich durchlässig, Hart-PE dagegen in weit geringerem Umfange (Tab. I.). Es scheint jedoch, daß ein Zusammentreffen von relativ gasdurchlässigen Polymeren mit stark geruchlich belastetem Erdreich nicht genügt, um eine geruchliche oder geschmackliche Beeinträchtigung des betreffenden Trinkwassers hervorzurufen, sondern es müssen offenbar andere uns derzeit noch unbekannte Umstände hinzukommen. Zumindest ist diese Frage noch nicht eindeutig geklärt. Trotzdem empfiehlt es sich, Weich-Polyäthylen nicht in Bereichen zu verlegen, in denen mit einer Verunreinigung des Untergrundes mit den genannten Stoffen gerechnet werden kann. Wie anhand näherer Versuche gezeigt werden konnte, ist nicht mit Sicherheit auszuschließen, daß unter extremen Bedingungen sogar durch andere Polymere eine Diffusion von Geruchs- und Geschmacksstoffen stattfindet. In der Praxis ist dies jedoch, soweit uns bekannt ist, noch nicht vorgekommen.

Bei der Herstellung des Polyvinylchlorids liegen die Verhältnisse etwas anders als beim PE. Das entstehende Polymere muß während seiner Entstehung

Tabelle I  
Eigenschaften der verschiedenen Polyäthylentypen nach HUGELMANN (1).

Dichte PE-Typ	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96
	PE weich			PE hart		
Kristallinität vH . . . . .	65	75	84	95		
Erweichungspunkt °C . . . . .	105	120	125	130		
Festigkeit kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	140	180	250	400		
Dehnung vH . . . . .	500	300	100	20		
Härte Shore Durometer A . . . . .	50	60	65	70		
Gasdurchlässigkeit . . . . . (Vergleichszahl)	20	14	8	5		

aus monomerem Vinylchlorid — namentlich beim sog. Emulsionspolymerisations-Verfahren — stabilisiert werden und fällt somit schon als Rohprodukt nicht in reiner Form an. Bei der Weiterverarbeitung zu Rohren müssen dann, da PVC in der Hitze zersetztlich ist, neben Farbstoffen nochmals eine Reihe von Stabilisatoren, Gleitmitteln und dergl. zugesetzt werden, wobei metallorganische Verbindungen (Di-n-octyl-Zinnderivate) oder Schwermetallsalze organischer Säuren z. Z. offenbar unentbehrlich sind; denn Bleistearat, Bleiphosphit und verschiedene basische Bleisulfate werden in Deutschland für die Herstellung von Trinkwasserleitungsrohren bis zu einem Gehalt von 2% verwendet.

Dieser Zustand ist in hygienischer Hinsicht nicht unbedingt begrüßenswert; denn zu Resten von Monomeren, den mannigfachen organischen Stabilisatoren und Antioxydantien, Farbstoffen, Gleitmitteln usw., die zumindest begrenzt wasserlöslich sind, kommt nun auch noch das bekanntlich sehr giftige Blei. Selbst wenn die durch das Trinkwasser aus der Rohrwandung herausgelösten Konzentrationen für eine akute Bleivergiftung zu niedrig sind, bleibt die Möglichkeit der Schädigung des menschlichen Organismus durch Kumulation infolge ständiger Zuführung kleiner Mengen des Metalls über längere Zeit, was besonders dann von Bedeutung sein kann, wenn das Wasser Stunden oder Tage in den Leitungen gestanden hat. Es muß daher geprüft werden, ob derartiges PVC-Material chemisch so beschaffen ist, daß ein Auswandern von gesundheitlich bedenklichen Mengen an Blei in das Wasser ausgeschlossen ist, und daß vom Fabrikationsprozeß her gegebenenfalls noch an der Innenoberfläche der Rohre vorhandene bleihaltige Verunreinigungen durch ausreichendes Spülen vor der Inbetriebnahme der Leitung leicht eliminiert werden können.

Eine weitere wichtige Prüfung, die an allen im Trinkwasserbereich eingesetzten Kunststoffen vollzogen werden muß, ist die Messung der Chlorzehrung des Materials. Bekanntlich wird dem Wasser im Wasserwerk zum Zwecke der Desinfektion meist ein geringer Anteil Chlor zugesetzt, der aus Gründen der Sicherheit bis in die Endstränge des Leitungsnetzes erhalten bleiben soll. Bindet die Kunststoffwandung jedoch dieses Chlor schon vorher, so ist der Zweck jeglicher Trinkwasserchlorung in Frage gestellt. Anhand umfangreicher Untersuchungen an verschiedensten Kunststoffen konnten wir feststellen, daß sich praktisch an allen Materialien anfänglich eine gewisse Chlorzehrung vollzieht. Ob dies durch die Oberflächenbeschaffenheit neuer Rohre bedingt ist, an denen das Chlor reduziert oder gebunden wird, oder aber als Folge einer geringfügigen Verschmutzung der Rohr-Innenwand anzusehen ist, dürfte schwierig zu entscheiden sein. Dieser Zehrungsprozeß klingt jedoch im allgemeinen rasch ab, so daß nach

etwa zehn Tagen meist nur noch sehr geringe Werte zu beobachten sind. Wesentlich bedenklicher ist die Sachlage bei Polymeren, die Stoffe enthalten oder ständig abgeben, mit denen Chlor eine Reaktion eingeht. Da in einem derartigen Falle fortlaufend Chlor verbraucht wird, ist das betreffende Kunststoffmaterial als Baustoff für Trinkwasserleitungsrohre ungeeignet.

Um einen groben Überblick darüber zu erhalten, in welchem Umfange organische Stoffe aus dem Kunststoff in das Trinkwasser gelangen, ermittelt man meist den sog. Permanganatverbrauch; d. h. man bestimmt die Menge an gelösten oxidierbaren Stoffen. Zwar hat diese Methode ihre Schwächen; denn sie gibt keine Aussage über die Natur des oxidierten organischen Stoffes. Außerdem werden von Kaliumpermanganat eine Anzahl von Stoffen nur sehr langsam oder aber unvollständig abgebaut. Da jedoch eine genaue quantitative organische Analyse äußerst aufwendig ist bzw. moderne automatische Mikroanalysatoren nicht jedem Untersucher zugänglich sein werden, kommt der Permanganatmethode nach wie vor einige Bedeutung zu. Bei kleinen Konzentrationen organischer Stoffe im Wasser empfiehlt sich darüber hinaus die Anwendung der sehr empfindlichen Geschmacksprobe.

Als Beispiel für die Untersuchung von Kunststoffrohren hinsichtlich ihrer hygienischen Unbedenklichkeit sei ein Verfahren beschrieben, das vor einiger Zeit in unserem Hause speziell für Hart-PVC-Rohre erarbeitet wurde (2). Die Methode lässt sich jedoch nach einigen Modifikationen auch auf die übrigen Kunststoffe anwenden.

Nachdem Versuche an verlegten Rohren (3) erwiesen hatten, daß geringe Mengen von Blei an das Wasser abgegeben werden, sollte damit ein Labortest entwickelt werden, nach dem es möglich ist, für die verschiedensten Rohrarten in jedem Untersuchungslaboratorium vergleichbare Werte zu erhalten.

Dazu wurden nach Absprache mit dem DVGW und dem Kunststoffrohrenverein Rohrstücke von den drei Herstellern A, B und C (Außendurchmesser jeweils 32 und 110 mm) mit Leitungswasser (LW), schwach gechlortem vollentsalz-

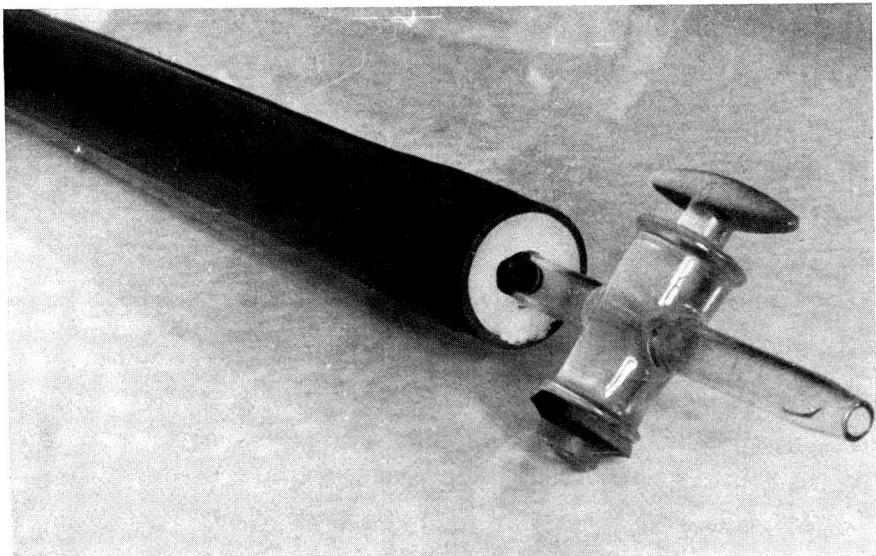


Abb. 1. 32-mm-Rohr, verschlossen mit Hahnhülse.

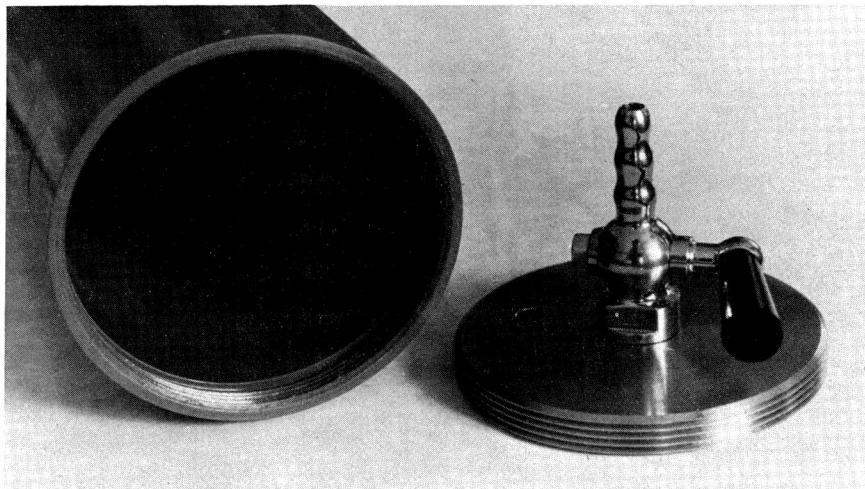


Abb. 2. 110-mm-Rohr, Gewindescheibe mit Hahn.

tem Wasser ( $\text{Cl}$ ) und mit einer auf  $P_{\text{H}}$  9 eingestellten 1/100 - normalen Soda-Bicarbonat-Pufferlösung (P) randvoll gefüllt und nacheinander zwei, fünf und zehn Tage (z. T. anschließend noch 20 Tage) bei Zimmertemperatur stehengelassen.

Die 32-mm-Rohre, von denen wir Stücke von 2 bis 2,5 m Länge verwendeten, wurden vorher am unteren Ende mit einer konischen Glashülse verschlossen, an der ein Hahn angesetzt war (Abb. 1); das obere Ende wurde nach dem Füllen mit einem Glasstopfen möglichst blasenfrei abgedichtet. Bei den 110-mm-Rohren genügten Rohrstücke von 50 cm Länge. Die Abdichtung erfolgte hier durch Einschrauben einer V2A-Gewindescheibe mit Hahn, nachdem je ein Rohrende mit Innengewinde versehen worden war (Abb. 2); die obere Abdichtung wurde nach dem Füllen mittels beschwerter Uhrgläser erreicht.

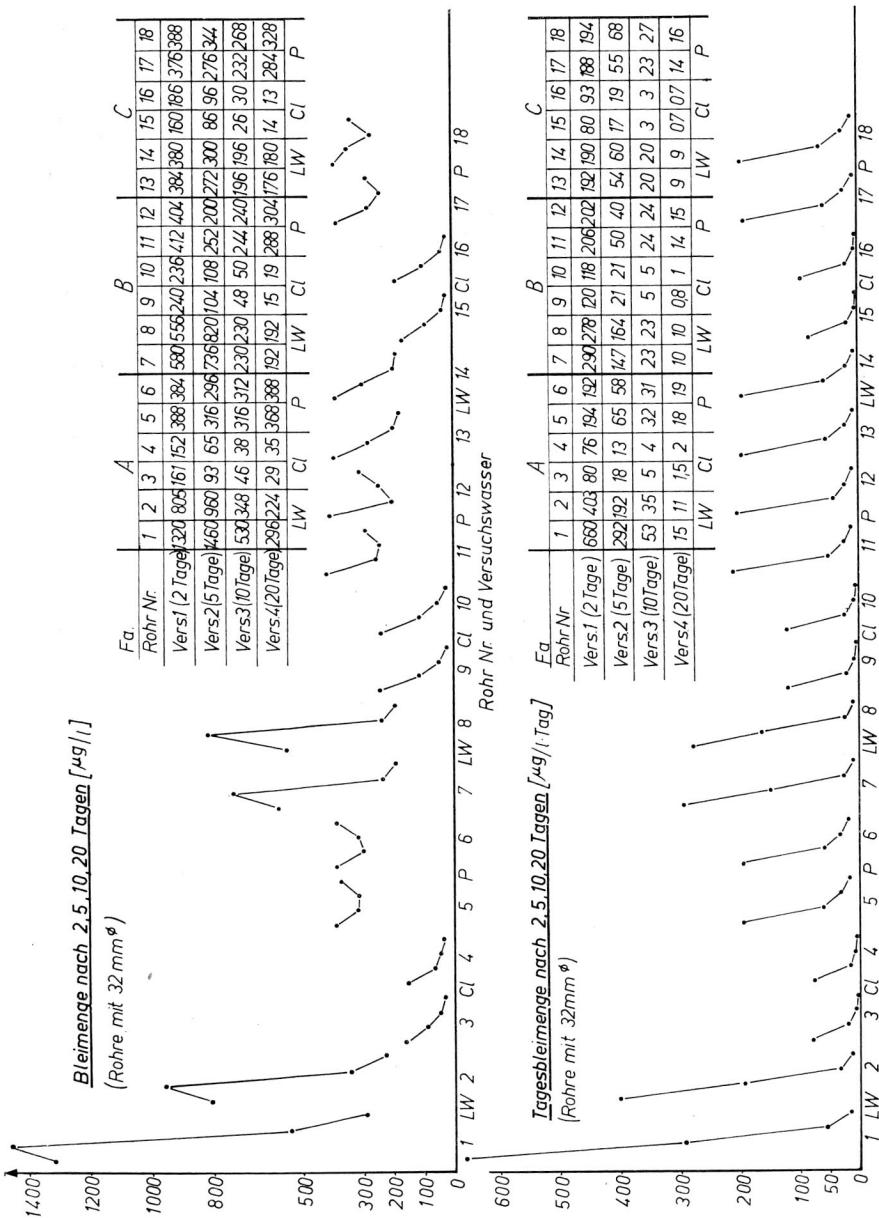
Die nach den angegebenen Zeiten abgelassenen Wässer wurden untersucht auf Änderung ihrer äußeren Beschaffenheit (Klarheit, Farbe) sowie Geruch, Geschmack, Bleigehalt, Zunahme des Permanganatverbrauchs und auf die Höhe der Chlorzehrung.

Von den Ergebnissen der Tests wäre folgendes bemerkenswert: Die äußere Beschaffenheit änderte sich während der Versuche nicht, d. h. die Wässer blieben in allen Fällen klar und farblos. Fremdartiger Geruch wurde nicht festgestellt. Das Wasser schmeckte nur — namentlich nach dem Zehn- und 20-Tage-Versuch — etwas fade. Eine Übersicht über den Verlauf der Bleiauswanderung aus den Rohren vermittelt Tabelle II.

Überraschenderweise hatte von den drei Versuchswässern das Leitungswasser die höchsten Bleimengen aufgenommen, wobei im Fünf-Tage-Versuch Werte von mehr als  $1000 \mu\text{g/l}$  (32-mm-Rohre) beobachtet wurden. Gedhortes, vollentsalztes Wasser zeigte dagegen nur eine geringe Neigung, Blei aus den Rohren aufzunehmen.

Rechnet man die nach den jeweiligen Versuchszeiten (zwei, fünf und zehn Tage) erhaltenen Ergebnisse auf einen Tag Versuchsdauer um, so erhält man die sog. Tageswerte. Auf die Bleikonzentration im Wasser angewandt, ergab sich ein maximaler Tageswert für das Leitungswasser von  $600 \mu\text{g/l}$  (32-mm-Rohre).

Tabelle II  
Blei-Auswanderung aus Hart-PVC-Rohren.



Eine erhebliche Zunahme des Permanganatverbrauchs war in keinem Falle festzustellen. Der maximale Tageswert lag unter 0,5 mg/l. Die Chlorzehrung pro Tag hielt sich im allgemeinen unter 0,2 mg/l. Im übrigen war bei allen Versuchen eine deutliche Abnahme der Tageswerte mit fortschreitender Versuchsdauer unverkennbar.

Bei den stärkeren Rohren (110 mm) waren die Ergebnisse meist günstiger infolge des kleineren Verhältnisses der Innenoberfläche zum entsprechenden Wasservolumen.

Zusammenfassend darf zu diesen Versuchen gesagt werden, daß sie recht gut geeignet sein dürften, unterschiedliche Eigenschaften bei Kunststoffen des gleichen Typs festzustellen. Abgesehen von einigen bedenklich hohen Bleiwerten entsprachen die geprüften Rohre den an sie zu stellenden Anforderungen. Trotzdem wäre es sehr zu begrüßen, wenn bei der Neu- oder Weiterentwicklung von Kunststoffmaterialien für die Trinkwasserversorgung neben der Verbesserung technischer Eigenschaften noch mehr als bisher auch die hygienischen Belange in Betracht gezogen werden könnten.

Besondere Aufmerksamkeit sollte in diesem Zusammenhang einerseits denjenigen Kunststoffbestandteilen gelten, die eine toxische bzw. kumulative Wirkung ausüben können (z. B. Blei), andererseits den Stoffen, die bakterizid wirksames Chlor zu reduzieren oder zu binden vermögen. Ein Ersatz derartiger Substanzen durch zweckmäßige Verbindungen könnte manche noch bestehenden Bedenken zerstreuen und damit dem weiteren Vordringen der Kunststoffe auf dem Trinkwassergebiet förderlich sein.

### Literatur

1. HUGELMANN, H.: Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen von Wasser in Polyäthylenrohren durch diffundierende Gase. GWF (Wasser — Abwasser) **102**, 1200 (1961).
2. HERZEL, F.: Ein Prüfverfahren für Trinkwasserleitungsrohre aus Hart-PVC auf ihre Eignung in hygienischer Hinsicht. GWF **109** (1968) 356.
3. HÖFER, P., und TH. KEMPF: Untersuchung von Polyvinylchlorid- und Polyäthylenrohren auf ihre hygienische Eignung als Trinkwasserleitungsrohre. Bundesgesundh.-bl. **5**, 269 (1962).

Wissenschaftl. Rat. Dr. HERZEL  
Bundesgesundheitsamt  
1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

# Die Erhaltung der Güte des Trinkwassers in einem Industriestaat

Von ULRICH HÄSSELBARTH

(Mit 3 Abbildungen im Text)

Wenn man von Erhaltung der Güte des Trinkwassers spricht, muß man sich auf einen Gütestandard beziehen, der einmal als ideal oder zumindest als allgemein befriedigend galt und erhalten werden soll. Die notwendige nähere Charakterisierung einer befriedigenden Güte des Trinkwassers beschränkte sich lange Zeit auf die Begriffe „frisch“, „klar“ und „appetitlich“. Daß eine Anzahl schwerer Erkrankungen des Menschen durch Trinkwasser übertragen wird, wurde erst zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts mit Sicherheit erkannt. Rekonstruiert man die Verhältnisse der Wasserversorgung früherer Zeiten mit unserem heutigen Wissen, so kommt man zu dem Ergebnis, daß in der Zeit vor der Industrialisierung nur an wenigen Orten meist durch günstige hydrogeologische Verhältnisse bedingt ein in seuchen- und allgemeinhygienischer Hinsicht einwandfreies Trinkwasser zur Verfügung stand. Erst die Wassergewinnung in ausgesuchten Geländen mit Hilfe des gerade erfundenen Bohrbrunnens sowie der Einführung von Langsam-Sandfiltern insbesondere bei der Verwendung von Oberflächenwasser ermöglichen es zusammen mit der Schaffung zentraler Wasserversorgungsanlagen dem Verbraucher ein Trinkwasser anzubieten, das auch heute noch unseren Güteanforderungen voll genügte. Ein solches klares, frisches und appetitliches Wasser ist dadurch gekennzeichnet, daß es neben geringen Mengen an Calcium- und Magnesiumhydrogenkarbonaten, -chloriden und -sulfaten sowie etwas freier Kohlensäure und Sauerstoff keine anderen anorganischen Stoffe, wie z.B. Schwermetallionen, und praktisch keine organischen Substanzen enthält sowie frei von Erregern übertragbarer Krankheiten ist.

Diesen Güteanforderungen genügende Wässer standen jedoch stets nur in begrenztem Umfang zur Verfügung. Mit steigender Siedlungsdichte infolge zunehmender Industrialisierung mußte man bei Grundwasserversorgungen Wasservorkommen nutzen, die diesen Güteanforderungen nicht oder nur bedingt entsprachen. In jüngster Zeit wurden aber auch Fälle bekannt, in denen mehr oder weniger gute Grundwasservorkommen durch Versickerung oder Auslaugung unerwünschter Stoffe in ihrer Güte beeinträchtigt wurden. Diese stammen überwiegend aus Deponien häuslichen und industriellen Mülls oder aber aus Leckagen an Mineralöllagern und -leitungen sowie Unfällen von Tankfahrzeugen.

Bei der Gewinnung von Trinkwasser aus Oberflächenwässern zeigte sich eine andere Entwicklung. Hier wurde die Güte des insbesondere aus Flüssen entnommenen Wassers durch die nach Schaffung von Kanalisationssystemen ungeklärt in die Vorfluter eingeleiteten Abwässer stellenweise erheblich herabgesetzt. In ihrem Ausmaß wurden diese Schäden aber bei weitem durch die Einleitung ungeklärter industrieller Abwässer übertroffen. Selbst wenn man allenthalben für eine Klärung der eingeleiteten häuslichen und industriellen Abwässer im technisch überhaupt nur möglichen Umfang sorgt, wird sich der frühere Zustand der Gewässer nicht wiederherstellen lassen.

Für die nächsten Jahrzehnte muß man damit rechnen, daß die zur Trinkwasserversorgung benötigten Wässer sowohl beim Grund- als auch beim Oberflächenwasser Stoffe enthalten, die unserem Gütestandard nicht entsprechen und die bei Dauergenuß des Wassers gesundheitsschädlich sein können, auf jeden Fall aber unerwünscht sind. Hierbei ist es gleichgültig, ob diese Stoffe durch Trübung, Färbung, Geschmack oder Geruch zu erkennen sind oder ob sie durch unsere Sinne nicht wahrgenommen werden und sich erst bei einer Erkrankung bemerkbar machen.

Um nun auch unter diesen Umständen ein allen Anforderungen genügendes Wasser als Trinkwasser abgeben zu können, muß man die schädlichen und unerwünschten Stoffe entfernen. Voraussetzung ist hierbei, daß man weiß, um welchen oder welche Stoffe es sich handelt, welche Reaktionseigenschaften sie haben und daß man sie auch noch in einem Konzentrationsbereich analytisch quantitativ erfassen kann, in dem ihre Anwesenheit vernachlässigbar klein ist.

Im Grundwasser wie auch im Oberflächenwasser treten diese Stoffe stets nur in sehr kleinen Konzentrationen auf, so daß man große Schwierigkeiten zu erwarten hat, wenn man ihre Konzentration in großtechnischem Maßstab zuverlässig um zwei bis drei Zehnerpotenzen verringern will. Ein sehr schönes Beispiel ist hier die Enteisenung und die Entmanganung von Grundwässern.

Eisen und Mangan sind zwar nicht sonderlich gesundheitsschädigend. Für den Verbraucher ist ihre Anwesenheit im Trinkwasser jedoch stets unangenehm und störend. Wegen der Bildung von Ablagerungen im Rohrnetz, die die Versorgung erheblich gefährden können, sind sie für die Wasserversorgungsunternehmen eine Gefahr.

Die Reaktionen des Eisens sind seit langem bekannt. Im Grundwasser tritt es in seiner zweiwertigen gut löslichen Form auf. Durch Oxidation mit Sauerstoff oder anderen Mitteln wie z. B. Chlor kann man es in seine dreiwertige Form überführen, die im neutralen und alkalischen Medium praktisch unlösliche Hydroxide und Oxidhydrate bilden. Diese können durch Filtration zurückgehalten werden. Hierauf gründet sich das Aufbereitungsschema für eisenhaltiges Grundwasser: Belüftung, Verweilen, gegebenenfalls Korrektur des pH auf neutrale bis alkalische Werte und Filtration.

Die quantitative analytische Überwachung ist beim Eisen zufriedenstellend gelöst. In einfacher Weise kann man eine Konzentration von 0,002 mg/l sicher nachweisen. Dieser Wert ist 50mal kleiner als jene Konzentration, bei der sich Eisen im Wasser in irgendeiner Weise bemerkbar machen kann.

Auf Grund dieser günstigen Verhältnisse war es möglich, eine große Anzahl von Grundwasservorkommen der Trinkwassergewinnung nutzbar zu machen. Die Probleme der Enteisenung sind jedoch bis heute nicht völlig gelöst. Das schwächste Glied in der Kette des Aufbereitungsprozesses ist die Filtration. Trotz zahlreicher Versuche, eine allgemeingültige Filterbemessungsformel für die Enteisenung aufzustellen, ist es bis heute völlig der Empirie überlassen, die günstigste Filterbettiefe bei günstiger Filterkieskörnung und Filtergeschwindigkeit zu ermitteln. Dieser Umstand erklärt, daß es nicht immer gelingt, den Eisengehalt der Wässer jederzeit in der gewünschten Weise herabzusetzen, so daß abgesehen von Wiedervereisenungen durch Korrosionsprozesse immer wieder Ablagerungen von Eisenoxidhydraten im Rohrnetz und sogenannte „braune Wasser“ beobachtet werden.

Es gibt aber auch Wässer, die sich nach dem genannten Schema überhaupt nicht aufbereiten lassen. Hier müssen jene genannt werden, die neben dem zweiwertigen Eisen größere Mengen an Ammoniumionen enthalten, und solche, in

denen das zweiwertige Eisen komplex an große organische Moleküle gebunden ist. Im ersten Fall wird das zweiwertige Eisen durch den bei der Belüftung eingesetzten Sauerstoff nicht oxidiert, daß es in seine dreiwertige Stufe übergehen und unlösliche Hydroxide oder Oxidhydrate bilden könnte. Diese Reaktionshemmung kann jedoch durch Zerstörung des Ammoniums mit Chlor aufgehoben werden. An Chlor sind jedoch so hohe Konzentrationen erforderlich, daß diese Methode technisch nicht angewendet werden kann. In den Niederlanden, die viele solcher Grundwässer haben, fand man gleichfalls empirisch, daß die Oxidation des Eisens in Gegenwart von Ammoniumionen gelingt, wenn man Wasser und Luft gemeinsam durch Kiesfilter drückt (Trockenfiltration). Bis jetzt ist der Reaktionsmechanismus noch nicht aufgeklärt, so daß man aus den Analysendaten eines Rohwassers nicht sagen kann, ob sich das Wasser auf diese Weise enteisenen läßt und man die erforderliche Filterbettiefe, Filterkieskörnung und Filtergeschwindigkeit empirisch in einer Versuchsanlage ermitteln muß.

Im zweiten Fall, der Bindung des zweiwertigen Eisens an große organische Moleküle, verläuft die Oxidation bei Gegenwart von Sauerstoff nur sehr langsam. Aber auch nach der Oxidation bilden sich wegen der Beständigkeit der Chelatbindungen keine Hydroxide und Oxidhydrate, die im Filter zurückgehalten werden könnten. Solche Wässer sind tiefgelb bis braun gefärbt und bleiben klar, selbst wenn sie 10 bis 14 Tage an der Luft gestanden haben. Eine Enteisung solcher Wässer ist nur auf Grund der colloid-chemischen Methoden möglich, über die weiter unten berichtet werden soll.

Etwas ungünstigere Verhältnisse trifft man bei der Entmanganung von Grundwässern an. Mangan tritt zwar stets in kleineren Konzentrationen im Grundwasser auf als das Eisen. Es stört aber auch bei kleineren Konzentrationen als das Eisen. Bei 0,1 mg/l im Trinkwasser können Kartoffeln beim Kochen schwarz werden. Terrazzo- und Kalksteinfußböden werden mit der Zeit tief-schwarzbraun und sehen wie Asphalt aus. Im Rohrnetz ist seine Anwesenheit stets gefürchtet, da es zu Ablagerungen von Manganoxidhydraten kommt, die nur mechanisch wieder entfernt werden können und durch die meist gleichzeitige Anwesenheit von Manganbakterien der Geschmack des Wassers wesentlich beeinträchtigt wird.

Mangan ist im Grundwasser zweiwertig und kann durch Luftsauerstoff zu seiner vierwertigen Stufe oxidiert werden. Vierwertiges Mangan bildet bei pH-Werten um sieben Manganoxidhydrate, die im Wasser praktisch unlöslich sind und durch Filtrierung zurückgehalten werden können. Es ergibt sich also das gleiche Aufbereitungsschema wie beim Eisen: Belüftung, Verweilen, ggf. Korrektur des pH-Wertes und Filtration. Quantitativ analytisch ist Mangan mit gleicher Empfindlichkeit nachweisbar wie Eisen, so daß eine Überwachung der Entmanganung gesichert werden kann. Das schwächste Glied in der Kette dieses Aufbereitungsprozesses ist auch hier die Filtration. Die Schwierigkeiten liegen jedoch nicht bei der Ermittlung der Filterbemessung, sondern bei der Herrichtung eines Filtermaterials, auf dem sich Manganoxidhydrate überhaupt abscheiden lassen.

Auf Grund von Erfahrungen behandelt man Filterkiese mit Kaliumpermanganat und verwendet mit Braunstein überzogene Dolomitische Filtermaterialien. Da wir aber die Bedingungen der einzelnen Schritte bei der Entmanganung nicht kennen, ist es nicht verwunderlich, daß man sich oft ein bis zwei Jahre bemühen muß, eine vollständige Entmanganung zu erzielen. Es ist jedoch eigenartig, daß eine einmal begonnene Entmanganungswirkung in einem Filter meist auf die Dauer erhalten bleibt.

Aber auch hier gibt es Wässer, aus denen sich das Mangan auf die genannte Weise nicht entfernen läßt, In einigen Fällen hilft hier wieder die Trockenfiltration, in besonders hartnäckigen Fällen ist die Entmanganung nur unter Entkarbonisierung durch Kalkmilchzusatz bei stark alkalischem pH zu erreichen.

Zu diesem Beispiel der Nutzbarmachung eisen- und manganhaltiger Grundwässer ist zu ergänzen, daß offenbar schon ihre Gewinnung mit Schwierigkeiten verbunden ist. In vielen Fällen zeigen die Brunnen einen erheblichen Rückgang ihrer Ergiebigkeit. Trotz wiederholten Regenerierens und Reinigens bringen derartige Brunnen niemals die Leistung, die sie auf Grund ihrer baulichen Gestaltung erreichen sollten, und müssen oft frühzeitig aufgegeben werden. Erst kürzlich konnte nachgewiesen werden, daß die Ursache dieser weitverbreiteten Erscheinung die Massenentwicklung von Eisen- und Manganbakterien ist. Da man die Bedingungen der Massenentwicklung dieser Organismen kennt, kann man feststellen, welcher Brunnen von der Verockerung bedroht ist, bevor sich der erste Leistungsrückgang zeigt, und Maßnahmen entwickeln, die diese Erscheinung verhindern oder unterdrücken.

Für Eisen und Mangan sind mit den erwähnten Ausnahmen alle Bedingungen bekannt, die erforderlich sind, diese Stoffe so weit aus einem Grundwasser zu entfernen, daß es dann den Anforderungen des Gütestandards genügt.

Bei Oberflächenwässern, Uferfiltraten und einigen bereits erwähnten Grundwässern sind es hauptsächlich organische Substanzen, die, in gleichfalls oft nur geringen Mengen gelöst, bei Dauergenuß eines solchen Wassers gesundheitsschädlich sein können, zumindest aber unerwünscht sind. Ein Teil macht sich durch widerlichen Geruch und Geschmack bemerkbar, daß sein Genuß von vornherein abgelehnt wird. Bei der Fortleitung im Rohrnetz ist oft eine starke Sauerstoffzehrung zu beobachten, in deren Gefolge aus den Endsträngen entnommenes Wasser zusätzlich einen dumpfen, modrigen Geruch und Geschmack zeigt und Metallkorrosionen auch bei Einhaltung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes nicht verhindert werden können.

Nur in ganz wenigen Fällen wissen wir, um welche Stoffe es sich handelt. Mit der Einleitung geklärter und ungeklärter häuslicher Abwässer, vor allem aber industrieller Abwässer gelangen unzählige Stoffe in ein Gewässer, daß man ihre Zahl nicht schätzen kann. Durch die biologische Selbstreinigung entstehen, soweit diese nicht durch toxisch wirkende Einleitungen gehemmt oder unterbunden wird, weitere mehr oder weniger beständige Zwischenprodukte, um die sich die Zahl der bereits vorhandenen Stoffe erhöht.

Um sich einmal eine Vorstellung von der Anzahl der in einem Oberflächenwasser vorhandenen organischen Stoffe machen zu können, wurde von KOPPE und SCHOLZ durch Adsorption an Aktivkohle und anschließende Elution ein Konzentrat von Inhaltsstoffen des Rheinflußwassers in der Höhe von Düsseldorf hergestellt und in einen temperaturprogrammierten Gaschromatographen gegeben. Auf einer nicht spezifischen Säule erhielt man im Temperaturbereich von 120 °C bis 250 °C 52 Peaks (Abb. 1), die jeweils eine Stoffklasse darstellen. Bei Anwendung eines präparativen Gaschromatographen könnte man aus jedem Peak ein Stoffgemisch gewinnen, aus dem man dann auf spezifischen Säulen schätzungsweise 50 bis 100 verschiedene Substanzen nachweisen könnte. Man würde dabei auf rund 3000 bis 5000 Substanzen kommen. Hierbei ist noch nicht berücksichtigt, daß es fraglich ist, ob die Anzahl der von der Aktivkohle gewonnenen Produkte der im Rhein vorhandenen gleichzusetzen ist. Von KOPPE wurden im Laufe dieser Arbeit Stoffe der Gruppe der Sequiterpene als Hauptgeruchsstoffe identifiziert. Sesquiterpene umfassen hauptsächlich Kohlenwasserstoffe der Formel C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>.

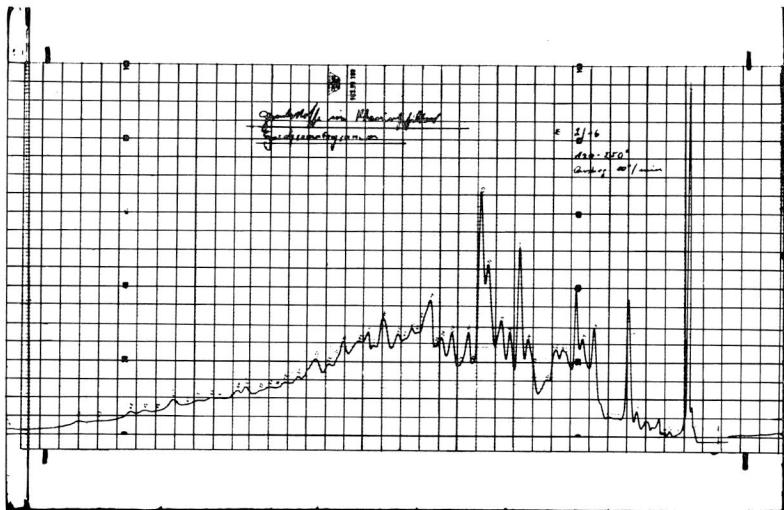


Abb. 1. Temperaturprogrammiertes Chromatogramm der an A-Kohle adsorbierbaren organischen Inhaltsstoffe des Rheinwassers bei Düsseldorf.

Sie haben teils olefinischen, teils mono- oder bicyclischen Charakter und sind in den durch außerordentliche Geruchsintensität gekennzeichneten ätherischen Ölen enthalten.

Die erste Bedingung, daß ein gesundheitsschädlicher oder unerwünschter Stoff, dessen Konzentration bei der Aufbereitung zu Trinkwasser herabgesetzt werden soll, bekannt sein muß, wird bei den organischen Inhaltsstoffen der Oberflächengewässer, aber auch der Grundwässer, nicht erfüllt. Derartige Identifizierungen nimmt man nur in besonderen Fällen vor und beschränkt sich sonst auf Summenbestimmungen wie die Oxidierbarkeit durch Kaliumpermanganat oder durch Kaliumdichromat oder den Gesamtkohlenstoffgehalt. Soweit sich organische Inhaltsstoffe durch Geruch oder Geschmack bemerkbar machen, die vom Verbraucher als unangenehm empfunden werden, verwendet man häufig die Bestimmungen des Geruchs- und Geschmacksschwellenwertes.

Wenn man nun die aus dem Wasser zu entfernenden Stoffe nicht kennt, kann man auch keine spezifischen Prozesse entwickeln, nach denen die Trinkwasseraufbereitung arbeiten muß. Man beschränkt sich deshalb auf die allgemein-physikalisch-chemischen und chemischen Eigenschaften dieser Stoffarten, die man verfahrenstechnisch ausnutzen kann. Hier sind zu nennen die Oxidierbarkeit, die Adsorbierbarkeit insbesondere echt gelöster organischer Inhaltsstoffe und die Flockungseigenschaften der kolloidal gelösten Stoffe.

Bei der Flockung wird dem im Oberflächenwasser, aber auch in huminsauren Grundwässern enthaltenen elektrisch negativ-geladenen Kolloid ein positives kolloidales Flockungsmittel, meist Eisen- oder Aluminiumhydroxide, zugegeben, so daß nach Entladung und gegebenenfalls unter Bildung schwerlöslicher Verbindungen die Teilchen zusammentreten, schnell absinken oder im Filter zurückgehalten werden. Die Überwachung dieses Prozesses ist bis heute sehr schwierig und umständlich. Die Ermittlung der optimalen Flockungsbedingungen ist nur durch Probieren möglich. Durch Messung des Zetapotentials oder der Refiltrationsrate kann man nur feststellen, ob man die optimalen Bedingungen erreicht hat oder nicht.

Trotz dieser schwierigen Verhältnisse hat man in der Trinkwasseraufbereitung nicht auf die Anwendung des Flockungsprozesses verzichtet, sondern sich lediglich mit geringeren Wirkungsgraden als theoretisch möglich abgefunden. Als Beispiel sei hier die Aufbereitung von Weserwasser im Wasserwerk „Auf dem Werder“ der Stadtwerke Bremen erwähnt (Abb. 2).

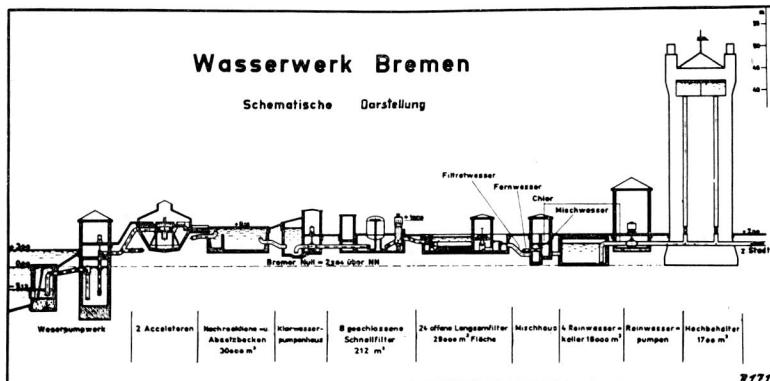


Abb. 4 Schematische Darstellung des Flußwasserwerkes

Abb. 2. Schema des Wasserwerkes „Auf dem Werder“ der Stadtwerke Bremen.

Die anfänglich vorhandene Aufbereitungsanlage bestand aus einem Absetzbecken und Langsamsandfiltern. Wegen der Verschlechterung des Weserwassers wurden vor das Absetzbecken eine Flockungsanlage mit Schlammumwälzung und zwischen Absetzbecken und Langsamsandfiltern eine Schnellfilteranlage angeordnet. Trübstoffe und organische Inhaltsstoffe wurden stufenweise zurückgehalten bzw. abgebaut. Die Oxidierbarkeit sinkt von 30 bis 60 mg/l  $\text{KMnO}_4$  auf 4 bis 5 mg/l  $\text{KMnO}_4$ , und das gewonnene Trinkwasser zeigt keinen Flußwassergeschmack oder -geschmack.

Auf Grund der Abwesenheit von Geruchs- und Geschmacksstoffen, der niedrigen Oxidierbarkeit und der biologisch nachgewiesenen vollen Funktionsfähigkeit der Langsamsandfilter ist mit ziemlicher Sicherheit anzunehmen, daß die im Weserwasser enthaltenen organischen Stoffe bis auf vernachlässigbar geringe Mengen im Gang der Aufbereitung zurückgehalten oder abgebaut werden. Ein eindeutiger stichhaltiger Nachweis kann jedoch nicht geführt werden, es sei denn, der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff beträgt Null. Diese Bedingung ist jedoch nicht zu erfüllen.

Zur Oxidation organischer Inhaltsstoffe, insbesondere echt gelöster, die durch Flockung nicht oder nur zum Teil entfernt werden können, benutzt man die Reaktionen mit Luftsauerstoff, Chlor und Ozon. Die Wirkung von Luftsauerstoff ist meist jedoch zu gering. Bei der Einwirkung von Chlor entstehen Substitutionsprodukte, die oft keinen Geschmack oder Geruch haben oder deren Geschmack oder Geruch erst bei wesentlich höheren Konzentrationen wahrgenommen werden. Der Verbrauch an  $\text{KMnO}_4$  oder  $\text{K}_2\text{CrO}_7$  ändert sich meist nur geringfügig. Allgemeinhygienisch ist eine solche Maßnahme höchst zweifelhaft, wenn nicht im weiteren Gang der Aufbereitung für eine Rückhaltung der nunmehr chlorierten organischen Substanzen gesorgt wird.

Bei manchen Stoffen entstehen durch Reaktion mit Chlor Verbindungen, die wesentlich intensiver riechen und schmecken. Bekannt ist die Bildung von Chlor-

phenolen. Verwendet man anstelle von Chlor Chlordioxid, so entsteht eine chinoide Verbindung, die sich weder durch Geruch noch Geschmack bemerkbar macht. Die Geschmacksverbesserung durch das Chlordioxid ist in diesem Falle nur als Selbstbetrug, nicht aber als Aufbereitung anzusehen.

Ganz andere Verhältnisse trifft man bei den Reaktionen mit Ozon an. Hier werden wirklich organische Stoffe oxidativ unter Bildung von Kohlendioxid zumindest partiell abgebaut. Man findet in einem solchen Wasser größere Mengen niederer Fettsäuren, aber auch organische Ozonide, die sich durch intensiven Geruch bemerkbar machen. Um eine befriedigende Entfernung der organischen Inhaltsstoffe zu erreichen, wird der Ozonung allgemein eine Aktivkohlefiltration nachgeschaltet (Abb. 3). Über den Mechanismus der Adsorption der in Oberflächenwässern vorhandenen organischen Stoffe und des nach Ozonung entstandenen Gemisches ist bisher nur wenig bekannt. Sicher ist jedoch, daß zumindest an frischer Kohle der überwiegende Teil adsorbiert wird. Wegen fehlender analytischer Verfahren stellt man die Erschöpfung der Kohle am Auftreten des Rohwassergeschmacks oder -geruchs im Filtrat fest und wechselt die Kohle dann aus.

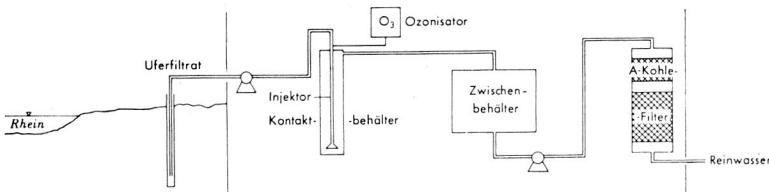


Abb. 3. Schema des Wasserwerkes „Am Staad“, Düsseldorf.

Die Verschlechterung der Güte der Rohwässer durch das Ansteigen der Konzentration an gesundheitsschädlichen und unerwünschten Stoffen erschwerte nicht nur die Aufbereitung, sondern beeinträchtigte auch die Desinfektion. In Gegenwart größerer Mengen organischer Substanzen sind wesentlich größere Mengen Desinfektionsmittel erforderlich als sonst. Infolge des Verzehrs des Desinfektionsmittels durch die organischen Inhaltsstoffe ist oft keine ausreichende Einwirkzeit gewährleistet, so daß die ohnehin schon hohe Desinfektionsmittelzugabe weiter erhöht werden muß.

Die Probleme bei der Entfernung organischer Inhaltsstoffe zeigen sehr deutlich, daß man insbesondere bei der Aufbereitung von Oberflächenwässern noch weit davon entfernt ist, die Dinge sowohl wissenschaftlich als auch verfahrenstechnisch zu beherrschen. Es ist fraglich, ob dieses Ziel jemals innerhalb des finanziell Tragbaren erreicht werden kann. Hier scheinen enge Grenzen gesetzt zu sein.

Es ist deshalb unerlässlich, die Grundwasservorkommen und Einzugsgebiete von Trinkwassertalsperren durch wirksame Schutzmaßnahmen zu sichern und die häuslichen sowie industriellen Abwässer nur nach so weitgehender Klärung in Bäche, Flüsse und Seen einzuleiten, daß das Gewässer hierdurch keinen Schaden nimmt.

Wissenschaftl. Oberrat Dr. HÄSELBARTH  
Bundesgesundheitsamt  
1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

# Moderne Schwimmbadewasserhygiene

Von SVEN CARLSON

(Mit 5 Abbildungen im Text)

In den letzten Jahren erfreut sich der Schwimmsport zunehmender Beliebtheit. Diese Tatsache ist in Hinblick auf unsere Bemühungen im Rahmen der Präventiv-Medizin sehr zu begrüßen. Schwimmen fördert die Atmung, den Blutumlauf sowie den Stoffwechsel und ist die beste Übungsform, um Haltungsschäden vorzubeugen bzw. zu bessern. Die Ausweitung des Schwimmsportes ist in erster Linie auf die Errichtung neuer Schwimmbäder zurückzuführen. Ihre Zahl ist jedoch bis heute noch zu gering, um das Schwimmen — wie es wünschenswert wäre — zu einem Volkssport werden zu lassen. Vor allem muß der Bau von verkehrstechnisch günstig gelegenen Hallenbädern gefördert werden, weil die Nutzungsperiode von Freibädern in unseren Breiten zu kurz und zu stark witterungsabhängig ist.

Die gesundheitsdienlichen Aspekte des Schwimmens hervorzuheben ist nur vertretbar, wenn das Schwimmbadewasser stets eine einwandfreie hygienische Beschaffenheit aufweist (1, 5). Diese selbstverständliche Bedingung zu erfüllen, bereitet oftmals mehr Schwierigkeiten, als den verantwortlichen Gesundheitsdienststellen bekannt ist. Durch den gleichzeitigen Aufenthalt ständig wechselnder Personen in unterschiedlichem Gesundheitszustand wird jedes Schwimmbadewasser sowohl bakteriell als auch durch organische und anorganische Substanzen verunreinigt. Von Haut und Schleimhäuten werden außer den dort vorhandenen Saprophyten häufig pathogene Bakterien, Dermatophyten sowie Protozoen abgeschwemmt. Besonders erwähnt werden müssen Streptokokken aus dem Nasen- und Rachenraum und vor allem pathogene Staphylokokken, die heute in etwa 20 bis 50 % der Fälle bei gesunden Personen nachweisbar sind. Gelegentlich muß auch mit Typhus-, Paratyphus und anderen Salmonellen sowie Shigellen im Schwimmbadewasser gerechnet werden, weil etwa 1 % der Bevölkerung Keimträger oder Ausscheider sind und die persönliche Hygiene des einzelnen oft zu wünschen übrig läßt. Noch höher ist nach unseren Erfahrungen der Prozentsatz derjenigen, die als inapparent Erkrankte bzw. latent Infizierte besonders im Sommer und Herbst Enteroto- oder Adenoviren ausscheiden.

Um Schwimmbadewasser nicht zur Infektionsquelle werden zu lassen, muß es ständig aufbereitet und desinfiziert werden. Die in dieser Hinsicht erzielten technischen Fortschritte lassen sich am besten daran erkennen, daß bisher nur wenige durch Schwimmbadewasser übertragene Infektionen bekanntgeworden sind. Ihre wirkliche Zahl ist wahrscheinlich größer, nur bleibt sie unbekannt, weil gechlortes Schwimmbadewasser epidemiologisch nicht als Infektionsweg in Betracht gezogen wird. In neuerer Zeit gelang der Nachweis von Impfviren im Verlauf einer Poliomyelitis-Schluckimpfung in verschiedenen Schwimmbadewässern (10). Japanische Autoren berichten von Adeno- und Coxsackie-Virus-Infektionen nach Schwimmbadbesuch. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang auch die bei Schwimmern oft beobachtete Bade-Otitis, eine entzündlich verlaufende bakterielle Erkrankung des mittleren wie äußeren Ohres.

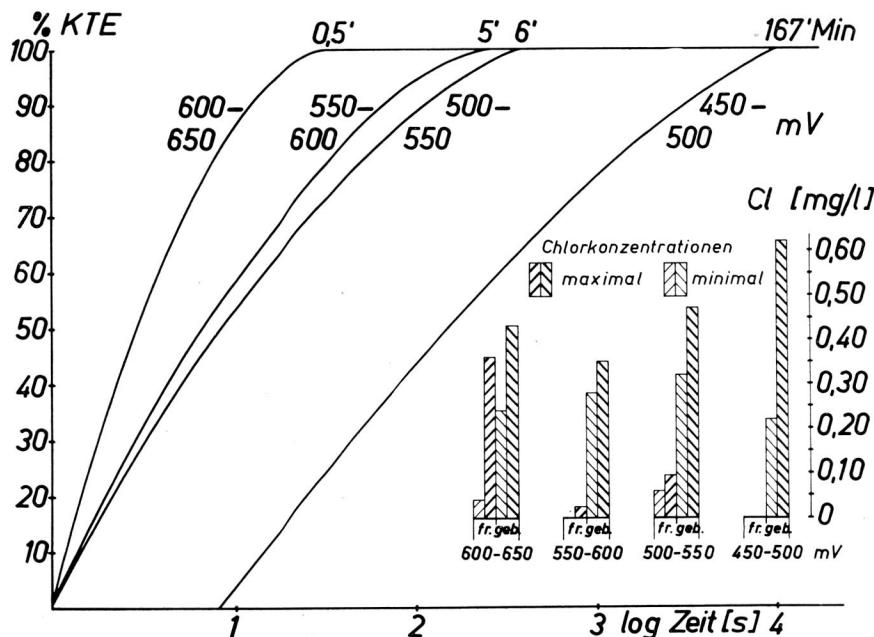


Abb. 1. Abtötungsgeschwindigkeit von *E. coli* in gedehlortem Schwimmbadbewasser bei pH 7,0 bis 7,5 in Abhängigkeit vom Redoxpotential.

Außer den mikrobiellen Verunreinigungen als wichtigstes badehygienisches Problem müssen die Verschmutzungen des Wassers durch organische und anorganische Substanzen genannt werden. Die Menge, die ein Badender an das Wasser

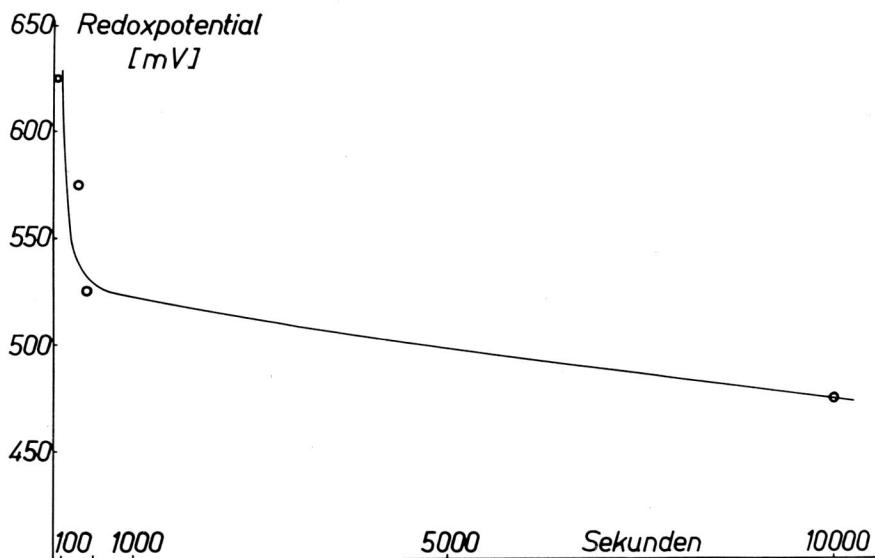


Abb. 2. Abtötungszeiten für *E. coli* bei pH 7,0 bis 7,5 bei einzelnen Redoxpotentialwerten.

Schwimmbadwasseruntersuchungen im Stadtbad Zehlendorf  
vom 10.5.67, (Mittwoch), 26°C Wassertemp.

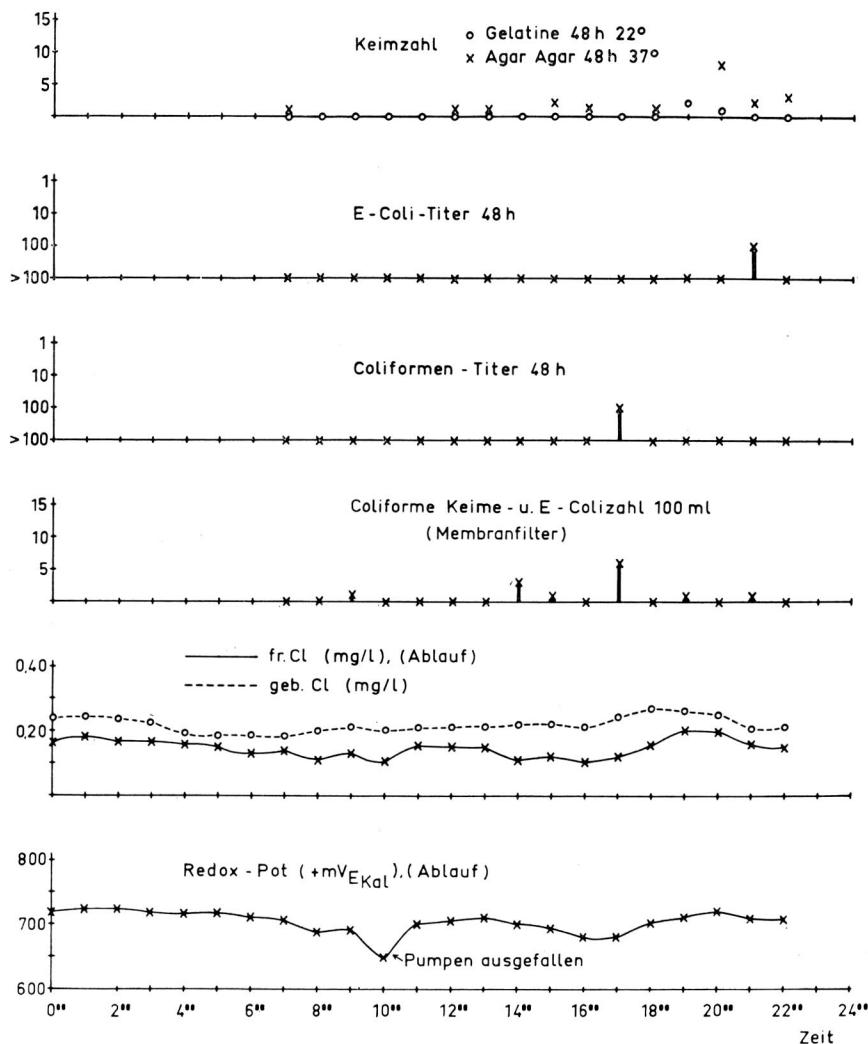


Abb. 3. Redoxpotentialverlauf, Gehalt an freiem und gebundenem Chlor, Keimzahl, E. coli- und Coliformen-Titer sowie E. coli- und Coliformenzahl im Schwimmbadewasser während eines Betriebstages.

abgibt, beträgt etwa 0,5 g. Es handelt sich vorwiegend um Epithelien, Hauttalg, Schleim, Speichel, Haare, Harnbestandteile, Kosmetika usw.

Die organischen und teils auch anorganischen Substanzen, die ins Schwimmbadewasser gelangen, lassen sich zum größten Teil durch Flockungsmittelzugabe und anschließende Filterung entfernen. Eingehende Untersuchungen über die Menge der Flockungsmittelzugabe sowie über die notwendige Filtergröße und

Umwälzhäufigkeit des Badewassers, bezogen auf die Besucherzahl, sind von HÄSSELBARTH durchgeführt worden (3, 4). Die Wasserreinigung wird jedoch erschwert, wenn das Schwimmbecken eine schlechte Durchströmung aufweist. HÖSEL- und LANGER konnten nachweisen, daß sich durch falsch angelegte Zu- und Abläufe Rotationszonen innerhalb des Beckens ausbilden, in denen das Wasser ständig kreist und sich nur langsam erneuert (6, 7, 8, 9). In diesen Gebieten ist das Wasser stets stärker verschmutzt, weist eine hohe Chlorzehrung auf und enthält infolgedessen nur wenig oder überhaupt kein Chlor.

Weiterhin hat sich herausgestellt, daß an der Grenzschicht Luft—Wasser durch Diffusion und organische Substanzen von den Badenden der Chlorgehalt stets niedriger ist als in tieferen Schichten. Die Chlorkonzentration kann an der Wasseroberfläche so weit absinken, daß dort befindliche Keime — vor allem schleimumhüllte Bakterien und Viren aus dem Nasen- und Rachenraum — nicht abgetötet werden. Voraussetzung, um in sämtlichen Teilen des Schwimmbeckens eine gute hygienisch einwandfreie Wasserbeschaffenheit zu erreichen, ist folglich eine optimale Durchströmung des Beckens. Am günstigsten ist die vertikale Beckendurchströmung, wie sie von LANGER entwickelt worden ist (8, 9).

Zur Desinfektion des Schwimmbadewassers wird i. a. Chlorgas oder Chlorausguss verwendet. Im Wasser bildet sich dadurch unterchlorige Säure bzw. bei höherem pH durch Dissoziation Hypochlorit. Diese beiden Chlorverbindungen werden als freies wirksames Chlor bezeichnet. Sie reagieren mit den im Wasser vorhandenen organischen und teils auch mit den anorganischen Substanzen. Es entstehen dadurch chlorsubstituierte Kohlenwasserstoffverbindungen, Chloramine, Chlorimine sowie Chloralkylamine. Diese Chlorverbindungen — soweit sie desinfizierend wirken — werden in der Praxis als „wirksames gebundenes Chlor“ bezeichnet. Bei der Schwimmbad-Desinfektion bleibt es jedoch unberücksichtigt. Nach bisher vorliegenden Erfahrungen ist eine ausreichende Desinfektion in einem gleichmäßig gut durchströmten Becken nur gewährleistet, wenn in sämtlichen Beckenteilen bei maximaler Besucherbelastung ein Mindestgehalt von 0,3 mg/l an freiem Chlor nachweisbar ist.

Auf Grund der allgemein-hygienischen Probleme und seuchenhygienischen Gefahren werden an die Wasserbeschaffenheit von Beckenbädern in allen Kulturstaten besondere Anforderungen gestellt. Nach Empfehlungen des Bundesgesundheitsamtes soll das Wasser in bakteriologischer, physikalischer und chemischer Hinsicht einem Trinkwasser entsprechen (1). Die hygienische Überwachung der Schwimmbäder gehört zu den Pflichten amtlicher Gesundheitsdienststellen. Diese Aufgabe ist problematisch, weil die hierzu notwendigen Wasseruntersuchungen im allgemeinen nur in größeren Abständen vorgenommen werden. Kurzfristige Verschlechterungen der Wasserbeschaffenheit, z. B. durch hohe Besucherfrequenzen, entziehen sich deshalb der Kenntnis der verantwortlichen Stellen. Tägliche Kontrollen erstrecken sich bisher fast ausschließlich auf Bestimmungen der Desinfektionsmittelkonzentration. Sie werden im allgemeinen vom Schwimmbadpersonal oft nach unzureichender Methode oder infolge mangelhafter Ausbildung und Unterweisung fehlerhaft ausgeführt.

Aus Kenntnis dieser Situation suchten wir nach einer Methode, die kontinuierlich die desinfizierende Wirkung des gechlorten Schwimmbadewassers und gleichzeitig seine Beeinträchtigung durch organische Stoffe erfaßt. Bekanntlich werden durch das Chlor die im Schwimmbadewasser vorhandenen organischen Substanzen oxidiert. Das chemische Potential dieser Oxidationsreaktionen ist durch das Redoxpotential bei gegebenem pH gekennzeichnet. Aber nicht nur chemische Reaktionen finden ihren Ausdruck im Redoxpotential, sondern auch bio-

Schwimmbadwasseruntersuchungen im Stadtbad Zehlendorf  
vom 10.5.67, (Mittwoch), 26°C Wassertemp.

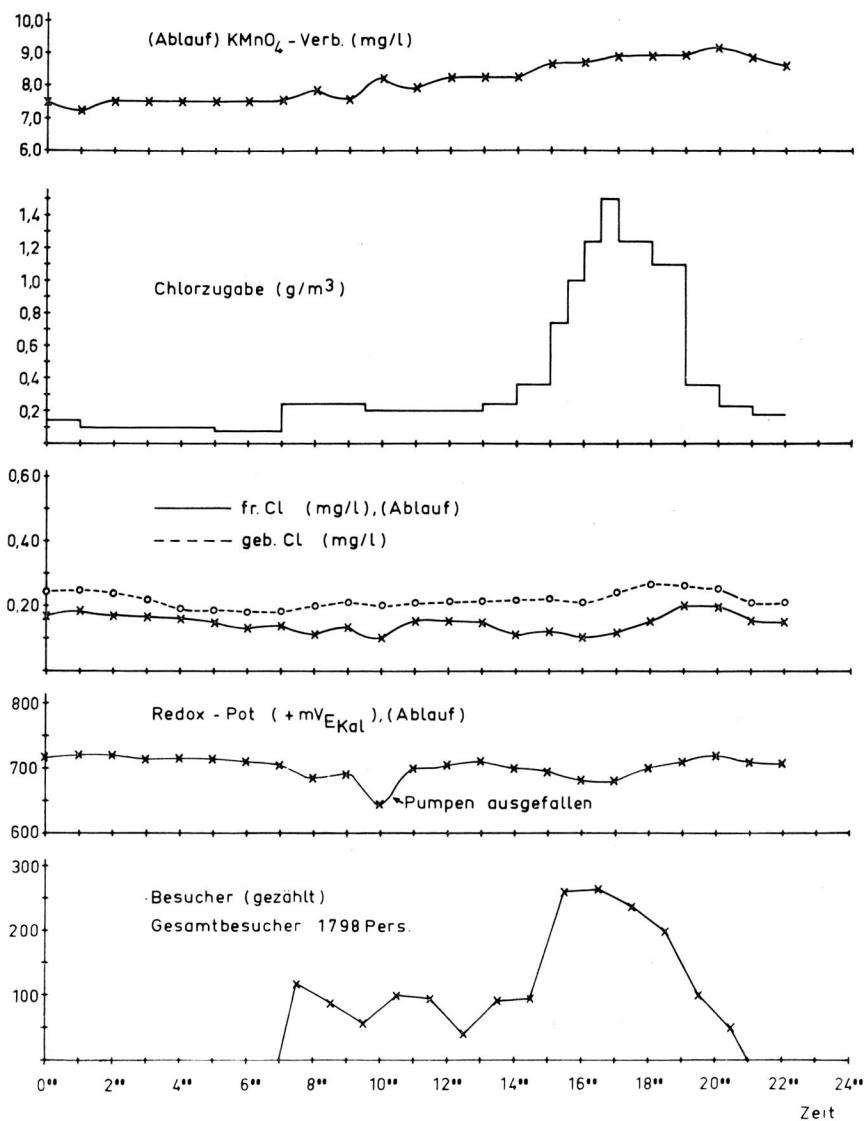


Abb. 4. Chlordinierung während eines Betriebstages, um eine hygienisch einwandfreie Wasserbeschaffenheit bei starker Besucherfrequenz aufrechtzuerhalten, wie es am Redoxpotentialverlauf, Kaliumpermanganatverbrauch und Chlorgehalt zu erkennen ist.

logisch ablaufende Prozesse, weil sie letztlich chemischer oder physikochemischer Art sind. Das Leben der Mikroorganismen spielt sich daher nur in bestimmten Redoxpotentialbereichen bei gegebenem pH ab. Es besteht also eine Korrelation zwischen dem chemischen Zustand des umgebenden Mediums — in diesem Fall

Schwimmbadwasseruntersuchungen im Stadtbad Zehlendorf  
vom 17.1.67 - 21.2.67 jeweils um 16<sup>00</sup>

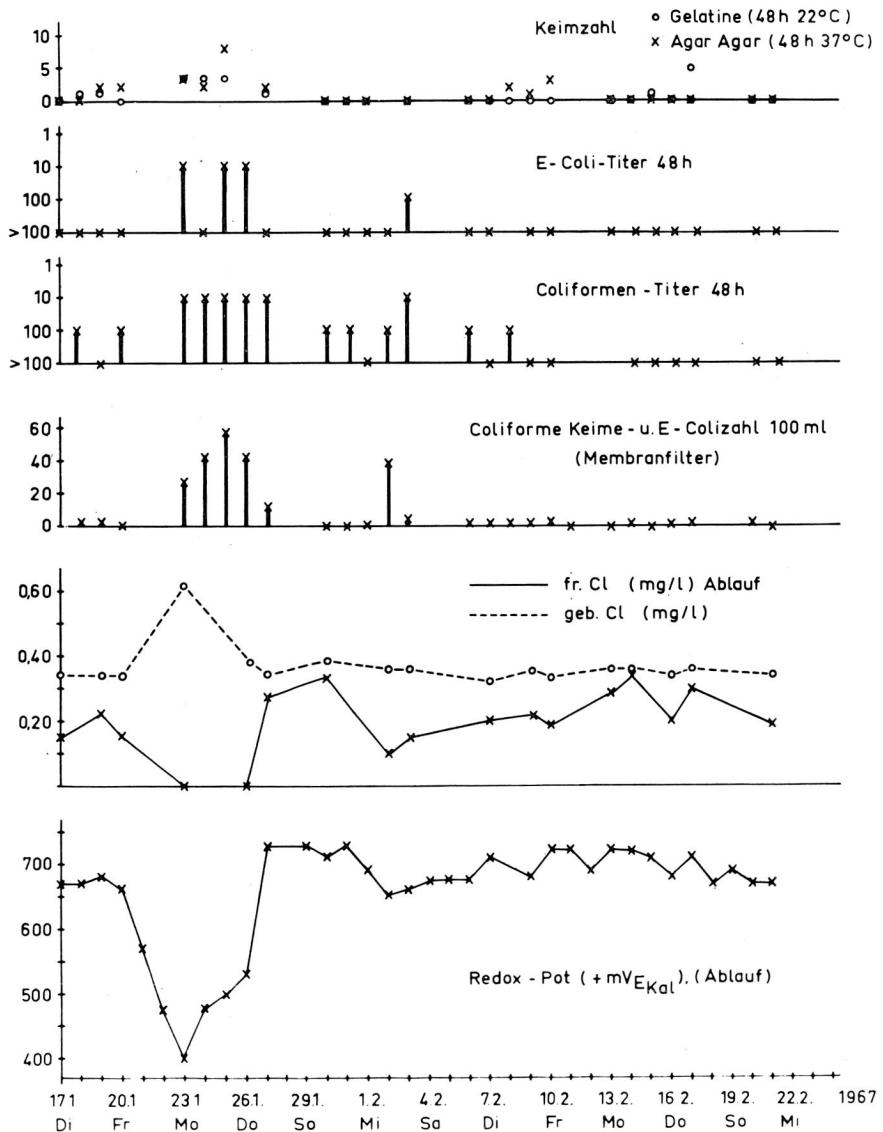


Abb. 5. Redoxpotentialverlauf, Keimzahl, E. coli- und Coliformen-Titer, E. coli- und Coliformenzahl sowie Chlorgehalt eines Schwimmbadewassers mit zwischenzeitlichem Ausfall der Chlorung.

des Schwimmbadewassers — und der Existenzmöglichkeit der darin befindlichen Mikroorganismen. Ausgehend von diesen Überlegungen untersuchten wir, ob

durch Bestimmung des Redoxpotentials des gechlorten Schwimmbadewassers Aussagen über seine keimabtötende Eigenschaft möglich sind (2).

Experimentell überprüften wir zunächst diese Arbeitshypothese an verschiedenen Schwimmbadewässern mit unterschiedlichen Chlorkonzentrationen im pH-Bereich zwischen 4 und 9 durch Bestimmung des Redoxpotentials und der Abtötungsgeschwindigkeit von *E. coli*. Das Ergebnis dieser Untersuchungen für pH 7 bis 7,5 ist in der Abbildung 1 wiedergegeben.

Aus der Abbildung 1 ist zu ersehen, daß die Abtötungsgeschwindigkeit von *E. coli* in gechlortem Schwimmbadewasser von der Höhe des Redoxpotentials (bezogen auf die gesättigte Kalomelelektrode) abhängt. Nicht entscheidend ist — wie bisher allgemein angenommen wurde — der Gehalt an freiem Chlor.

In der Abbildung 2 sind die Abtötungszeiten von *E. coli* bei pH 7 bis 7,5 für die einzelnen Redoxpotentialwerte dargestellt.

Wie aus der Abbildung 2 hervorgeht, muß ein Schwimmbadewasser bei pH 7 bis 7,5, um die von hygienischer Seite angestrebte hohe Desinfektionswirkung zu besitzen, ein Redoxpotential von wenigstens + 600 mV aufweisen.

Von Interesse war, die Laboratoriumsversuche auf die Praxis auszudehnen. Diese Untersuchungen fanden im neu errichteten Schwimmbad Berlin-Zehlendorf statt, das vertikal durchströmt wird und dessen Wasserbeschaffenheit deshalb in sämtlichen Beckenteilen gleich ist. Das Redoxpotential wurde kontinuierlich gemessen und von einem Linienschreiber aufgezeichnet. Abbildung 3 gibt den Redoxpotentialverlauf, den Gehalt an freiem und gebundenem Chlor, die Keimzahl, den *E. coli*- und Coliformen-Titer sowie die Coliformen- und *E. coli*-Zahl während eines Betriebstages wieder.

Aus der Abbildung 3 ist zu ersehen, daß bei einem weitgehend konstanten Redoxpotential um + 700 mV eine hygienisch einwandfreie Wasserbeschaffenheit vorliegt. Der einmalig in 100 ml aufgetretene positive *E. coli*-Befund kann vernachlässigt werden, weil unter ungünstigen Bedingungen die *E. coli*- einschließlich Coliformenzahl in 100 ml einstellig blieb. Um diese optimale Wasserbeschaffenheit zu erreichen und aufrechtzuerhalten, ist es neben Flockung und Filterung des Wassers notwendig, die Chlordosierung während der Hauptbelastungszeit zu erhöhen (Abb. 4).

Abbildung 5 gibt den Redoxpotentialverlauf eines Schwimmbadewassers über 36 Betriebstage wieder, dessen Chlorungsanlage mehrere Tage ausfiel.

Aus Abbildung 5 ist zu ersehen, daß die Verschlechterung der Wasserbeschaffenheit während des Ausfalls der Chlorung charakteristisch in der Änderung des Redoxpotentials zum Ausdruck kommt.

### Zusammenfassung

Durch kontinuierliche registrierende Redoxpotentialmessungen, die in einem Schwimmbad durchgeführt wurden, war es zu jeder Zeit des Betriebsablaufes möglich, ohne den Chlorgehalt selbst zu kennen, die desinfizierende Wirkung des gechlorten Wassers zu beurteilen. Diese Methode erlaubt nach den bisherigen Erfahrungen eine lückenlose Überwachung der hygienischen Beschaffenheit von Schwimmbadewässern. Darüber hinaus erleichtert das Verfahren dem Schwimmbadbpersonal die Steuerung der Chlorung, so daß auch bei starker Besucherfrequenz eine seuchenhygienisch unbedenkliche Wasserbeschaffenheit gewährleistet ist.

## Literatur

1. CARLSON, S.: Zur Hygiene der Freibadegewässer und öffentlichen Schwimmbäder. Infektionsrisiko — Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit. Bundesgesundheitsblatt 9 (1966) 169.
2. —, U. HÄSSELBARTH und P. MECKE: Die Abhängigkeit der keimtötenden Wirkung des Chlors vom Redoxpotential. Zbl. Bakt., I. Ref. 206 (1967) 500.
3. HÄSSELBARTH, U.: Wasserhygiene in Schwimmbecken. Aufbereitung, Desinfektion und Überwachung. Bundesgesundheitsblatt 8 (1965) 353.
4. —: Die Filtertechnik in der Schwimmbadewasseraufbereitung. Arch. Badewesen 20 (1967) 62.
5. —, und S. CARLSON: Die Beschaffenheit des Badewassers in einem vertikal durchströmten Becken in Abhängigkeit von Belastung und Aufbereitung. Arch. Badewesen 18 (1965) 6.
6. HÖSEL, G., und W. LANGER: Entwicklung und neue Erkenntnisse der Hygiene auf dem Gebiet des Baues von Beckenbädern. Arch. Badewesen 15 (1962) 10 und 113.
7. —, — und K. STELTZER: Studien an einer modernen Freibadeanlage über Fragen der Wasserführung nach hygienischen Gesichtspunkten. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, Berlin-Dahlem, Heft 19 (1961) 30.
8. LANGER, W.: Wasserhygiene in Schwimmbecken in hydraulischer Sicht. Bundesgesundheitsblatt 8 (1965) 289.
9. —: Hygienische Gesichtspunkte bei der Wasserführung in Beckenbädern unter besonderer Berücksichtigung der Vertikaldurchströmung. Arch. Badewesen 17 (1964) 367.
10. WITT, G.: Virologische Untersuchungen von Badewässern im Anschluß an eine Poliomyelitis-Schluck-Impfung. Arch. Hyg. 148 (1964) 188.

Privatdozent Dr. med. CARLSON  
Direktor und Professor im Bundesgesundheitsamt  
1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

# Gemeinsame oder getrennte Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer

Von WALTER NIEMITZ

Die Frage: Gemeinsame oder getrennte Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer stellte sich praktisch erst mit der Notwendigkeit, die zunächst nur in Kanalisationen gesammelten und ungereinigt abgeleiteten städtischen Abwässer vor ihrer Ableitung wenigstens mechanisch zu klären. Die Diskussion um diese Frage ist seitdem nie zur Ruhe gekommen, sondern immer wieder unter neuen Gesichtspunkten entfacht worden. Solche Gesichtspunkte waren früher etwa der Zusammenhang mit der Art des Kanalisationssystems, also Misch- oder Trennkanalisation, oder auch mit der Wahl des Reinigungsverfahrens, wobei das Jahrzehnte währende Für und Wider der Abwasserlandbehandlung eine große Rolle spielte. Heute stehen Fragen wie die nach der quantitativen und qualitativen Sicherung der Trinkwasserversorgung im Vordergrund des Interesses. Zu allen Zeiten mußte, wenn auch der technischen Entwicklung entsprechend unter veränderten Aspekten, der Schutz der Kanalisationsarbeiter, der von ihnen betreuten Kanalanlagen und der Abwasserreinigungsanlagen auf der einen Seite und der des Vorfluters und damit letztlich der Öffentlichkeit auf der anderen Seite berücksichtigt werden. Mit an erster Stelle schließlich standen und stehen immer wieder Fragen der Wirtschaftlichkeit.

Da jetzt und in den kommenden Jahren zahlreiche Kanalisationen und vor allem Abwasserbehandlungsanlagen gebaut oder wesentlich erweitert werden, mag es angebracht sein, das Thema: „Getrennte oder gemeinsame Behandlung“ aufzugreifen. Das um so eher, als in einigen Veröffentlichungen der letzten Zeit eine Fülle von technisch-wissenschaftlichem wie auch von volkswirtschaftlich-juristischem Material zusammengetragen wurde (1), das zu einer kritischen Sichtung anregt. Die im Zuge der Raumordnung geförderte Tendenz, neue Industriebetriebe in weniger dicht besiedelten Gebieten zu errichten, und die hohen Reinheitsanforderungen, die heute von den Wasserbehörden mit Recht an die abzuleitenden Abwässer gestellt werden müssen, zwingen Industrie wie Gemeinden zu neuen Überlegungen hinsichtlich ihrer Abwasserreinigung. In den weiteren Ausführungen soll dabei nur von solchen Industriebetrieben die Rede sein, die dem überörtlichen Bedarf dienen, d. h. dem Ortsbedarf dienende Betriebe wie Molkereien und Schlachtereien, deren Abwässer zusammen mit dem häuslichen das kommunale Abwasser im engeren Sinn ausmachen, sollen ausgeklammert werden, da vorausgesetzt werden kann, daß derartige Betriebe in jedem Fall an das gemeindliche Entwässerungsnetz angeschlossen sind.

Bei allen Überlegungen zur Frage: „Gemeinsame oder getrennte Behandlung“ spielen die Anforderungen, die seitens der Wasserbehörde an die Gemeinden einerseits und seitens der Gemeinden an die industriellen Einleiter andererseits gestellt werden, eine wichtige Rolle. Daher bedarf diese Frage einer besonderen Beachtung. Sie ist überdies dadurch recht aktuell, daß gegenwärtig in Deutschland Bestrebungen bestehen, ähnlich den „Normalanforderungen für Abwasserreinigungsverfahren“, die bekanntlich nur für die direkte Einleitung in Gewässer gelten, nun auch „Normalanforderungen für die Ableitung in eine gemeindliche

Kanalisation“ zu erarbeiten. Auf die damit zusammenhängenden Probleme wie auch auf die Gebührengestaltung, deren Einfluß ebenfalls bedeutend ist, wird später noch zurückzukommen sein.

Die wichtigsten Vorteile der gemeinsamen Behandlung industrieller und kommunaler Abwässer lassen sich etwa wie folgt zusammenfassen:

1. Eine große Anlage ist wirtschaftlicher zu erstellen und zu betreiben als mehrere kleine. Das gilt nicht nur für die Gesamtkosten pro Einwohner und Tag, sondern z. B. auch für die Kosten des biologischen Abbaues, etwa in kg BSB<sub>5</sub> pro Tag, und damit also auch für den biologischen Abbau zugängliche industrielle Abwässer.
2. Große Anlagen arbeiten im allgemeinen mit einem besseren Wirkungsgrad als kleinere. Er wird in der Regel noch durch sorgfältigere, weil „hauptamtliche“ Wartung und durch großzügigere Überwachungsmöglichkeiten, z. B. mittels registrierender Geräte, vergrößert.
3. Große Anlagen verfügen über einen größeren Speicherraum und damit über eine größere Ausgleichsfähigkeit. Sie sind daher gegenüber gerade bei industriellen Abwässern häufig sehr ausgeprägten Mengen- und Konzentrationschwankungen weniger empfindlich und damit betriebssicherer als kleine Anlagen.
4. Große Anlagen sind durchweg in mehrere, unabhängig voneinander zu betreibende Einheiten aufgeteilt, so daß es möglich ist, bei notwendigen Reparaturarbeiten nur Teile der Anlage außer Betrieb zu nehmen, und damit durch vorübergehende Überlastung der übrigen Teile wenigstens eine Teilreinigung der Abwässer aufrechtzuerhalten, was bei kleinen Anlagen nicht möglich ist.
5. Die besonders schwierigen Probleme der Schlammbehandlung einschließlich der Verwertung oder Beseitigung des Schlammes lassen sich in größeren Anlagen und auch unter städtischer Regie — z. B. gemeinsam mit dem städtischen Müll — besser und für die Allgemeinheit befriedigender und kontrollierter lösen als bei kleinen oder industrieigenen Anlagen.
6. Der Überwachungsaufwand seitens der Wasserbehörden wie auch seitens der Betreiber ist bei einer größeren Anlage wesentlich geringer als bei mehreren kleineren Anlagen.

Wie man erkennt, sind die bisher genannten Vorteile eine Funktion der Anlagengröße, d. h. die gemeinsame Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer bietet sich allein deswegen schon an, weil eine große Anlage vorteilhafter ist als mehrere kleine. Es sind damit die gleichen Gründe, die bei Städten und Gemeinden dafür sprechen, in geeigneten Fällen nach überregionalen Lösungen des Problems der Abwasserreinigung zu suchen, wie sie sich z. B. im Rahmen von Verbandsbildungen mit Gruppenkläranlagen oder auch mit Gemeinschaftskläranlagen für zwei oder mehrere Gemeinden, häufig auch zusammen mit großen Industriewerken, anbieten.

Mit Rücksicht auf unsere schwierige Situation auf dem Gebiet der Trinkwasserversorgung kommt jedoch der anderen Gruppe von Vorteilen, nämlich derjenigen, die speziell für eine Erleichterung und Verbesserung der Behandlung industrieller Abwässer spricht, größere Bedeutung zu. Zu dieser gehören:

1. Die Mikroorganismen, die in den biologisch arbeitenden Stufen die Abbauleistung vollbringen, sind im allgemeinen in städtischen Anlagen artenreicher zusammengesetzt und gegen unvermeidliche Betriebsstörungen weniger

anfällig, als das bei biologisch arbeitenden Industriekläranlagen der Fall ist. Daher erfolgt auch die Einarbeitung oder Wiedereinarbeitung nach Störungen bei städtischen Anlagen schneller und mit größerer Sicherheit. Das ist von besonderer Bedeutung für den Abbau von biologisch nur sehr langsam und daher erst nach entsprechender Adaption und Selektion der Mikroorganismen abbaubaren Stoffen, wie sie gerade in industriellen Abwässern häufig vorkommen.

2. Häusliche bzw. kommunale Abwässer weisen einen bedeutenden Nährstoffüberschuß auf, der sich nur mit hohen Aufwendungen aus dem biologisch gereinigten Abwasser entfernen lässt. Eine derartige Entfernung der Nährstoffe kann bei Einleitung der Abwässer in stehende oder sehr langsam fließende Gewässer zur Behebung der unter dem Begriff Eutrophierung bekannten Schwierigkeiten durch Massenentwicklung von Algen in Zukunft in bestimmten Fällen notwendig werden. Industrielle Abwässer dagegen haben in vielen Fällen ein Nährstoffdefizit, das bei getrennter biologischer Behandlung durch kostspieligen Nährstoffzusatz ausgeglichen werden muß. Damit gelangen insgesamt gesehen größere Nährstoffmengen in die Gewässer als bei gemeinsamer Behandlung.
3. Bedingt durch Änderungen in der Produktion nach Art und Menge und auch in den Produktionsverfahren ändert sich die Menge und Zusammensetzung industrieller Abwässer häufig. Die ständige Anpassung von Industriekläranlagen an diese Änderungen verursacht Schwierigkeiten, die bei gemeinsamer Behandlung wegen der großen Menge praktisch gleichbleibender häuslicher Abwässer in ihrer Auswirkung weniger schwerwiegend sind oder leichter behoben werden können.
4. Die Vermischung von kommunalen und industriellen Abwässern führt in vielen Fällen, u. a. durch Neutralisations- und Flockungsvorgänge, zu einer unter Umständen sogar schon im Kanalisationssystem einsetzenden Vorreinigung und trägt damit zur Erleichterung der gemeinsamen Behandlung bei.
5. Die große Menge der in kommunalen Abwässern enthaltenen oder bei ihrer biologischen Reinigung anfallenden Feststoffe bewirkt, daß biologisch resistente Stoffe durch Adsorptionsvorgänge bis zu einem gewissen Umfang dem Abwasser entzogen werden. Solche Stoffe kommen bevorzugt in industriellen Abwässern vor. Ihre durch die technische Entwicklung bedingte Zunahme bereitet ernste Sorge, da diese Stoffe in vielen Fällen die Ursache von Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen des Trinkwassers sind und sich aus diesem nur durch aufwendige Maßnahmen wie Adsorption an Aktivkohle beseitigen lassen.
6. Städtische Kläranlagen gewähren dem oft sehr konzentrierten industriellen Abwasser eine sichere Verdünnung, die in vielen Fällen überhaupt die Voraussetzung für die Durchführbarkeit einer biologischen Reinigung ist. Außerdem werden dadurch innerhalb gewisser, u. a. durch die Einleitungsbedingungen gegebener Grenzen Stöße an toxischen oder sonstwie schädlichen Stoffen aufgefangen, die sich damit weder auf die Kläranlage noch gar auf das Gewässer auswirken können. Letzteres um so weniger, als während der Ableitung und des Klärprozesses noch mit einer gewissen Abnahme der Gesamtfracht an solchen Stoffen durch die bereits erwähnte Adsorption und durch andere Einflüsse gerechnet werden kann.

Nun muß man sich angesichts dieser zahlreichen Vorteile fragen, warum nicht in viel größerem Umfang von der gemeinsamen Behandlung Gebrauch ge-

macht wird, als es z. Z. in Deutschland geschieht. Wurden doch nach entsprechenden Statistiken ohne Berücksichtigung der großen Mengen Kühlwassers 1957 nur etwa 30% der industriellen Abwässer städtischen Kläranlagen zugeführt. Nach der neuesten Statistik 1963 ist dieser Prozentsatz zwar auf rd. 35% angestiegen, muß aber immer noch als vergleichsweise gering bezeichnet werden. Allerdings ist in diesem Zusammenhang nicht ohne Interesse, daß innerhalb der einzelnen Industriegruppen und -zweige erhebliche Unterschiede zu verzeichnen sind. Während der Anteil z. B. bei den Gruppen Bergbau, Mineralölverarbeitung, Holz einschließlich Zellstoff und Papier, Chemie sowie Steine und Erden nur jeweils um 10% ausmacht, liegt er bei den Gruppen Nahrungs- und Genussmittel einschließlich Tabak bei 55%, bei Leder, Schuhen und Rauchwaren bei 73% und bei der Gruppe Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik sogar über 80%.

Auch wenn man berücksichtigt, daß in vielen Fällen günstige Vorflutverhältnisse oder lange Zuleitungswände zur städtischen Kanalisation die Tendenz zur direkten Ableitung gefördert haben mögen oder in anderen Fällen Abwässer vorlagen, die einer biologischen Behandlung nicht — oder jedenfalls nach den damaligen Erkenntnissen nicht — zugänglich waren, bleibt dieser geringe Prozentsatz überraschend. Es scheint zu beweisen, daß den aufgezählten Vorteilen auch mehr oder weniger schwerwiegende Nachteile der gemeinsamen Behandlung verglichen mit der getrennten gegenüberstehen müssen, die allerdings — wie wir sehen werden — einer näheren Prüfung unter den heute gegebenen Verhältnissen nicht immer standhalten.

Während es nun bei der Aufzählung der Vorteile der gemeinsamen Behandlung nicht erforderlich war, zwischen den einzelnen Interessenten zu unterscheiden, da die Vorteile allen und damit letztlich der Allgemeinheit zugute kommen, liegen die Verhältnisse bei den Nachteilen oder vermeintlichen Nachteilen anders. Hier muß man sicherlich zwischen den von der Industrie befürchteten Nachteilen und denjenigen, denen sich die Gemeinden gegenübergestellt sehen, unterscheiden, um das Für und Wider gegeneinander abzuwägen und zu einer sinnvollen Lösung kommen zu können.

Beginnen wir mit der Industrie. Hier steht verständlicherweise das wirtschaftliche Interesse im Vordergrund. Sicherlich darf man heute voraussetzen, daß sich auch in der Industrie inzwischen die Erkenntnis durchgesetzt hat, daß Abwässer vor ihrer Ableitung gereinigt werden müssen, eine Erkenntnis, die nicht zuletzt durch die eigenen unangenehmen Erfahrungen mit der Aufbereitung stark verschmutzter Oberflächenwässer zu Betriebswässern bedingt sein mag. Aber über das Ausmaß der notwendigen Reinigung sind Meinungsverschiedenheiten zwischen Industrie und Wasserbehörde an der Tagesordnung. Das liegt selbstverständlich daran, daß die Industrie die Abwasserreinigung immer als unproduktiven Vorgang ansieht, es sei denn, daß durch direkt oder indirekt der Abwasserbehandlung dienende Maßnahmen, z. B. durch Stoffrückgewinnung, Gewinne erzielt werden oder die Abwasserbehandlungskosten wenigstens minimal gehalten werden können. Die auch heute noch häufig in Industriekreisen vertretene Auffassung nun, daß die gemeinsame Behandlung der Abwässer aufwendiger ist als wenn die Abwässer selbst soweit als unerlässlich aufbereitet und direkt abgeleitet werden, ist in erster Linie historisch zu erklären. Bekanntlich machten sich früher weder die Kommunen noch die Industrie allzuviel Gedanken über den Verbleib ihrer Abwässer und noch weniger über deren Reinigung. Sie wurden vielmehr so schnell wie möglich dem nächstgelegenen Vorfluter übergeben. Selbstverständlich waren zu diesem Zweck kurze Direktleitungen durchweg billiger als Werksammelleitungen oder gar deren Anschluß an die städtische Kanalisation. Selbst als

man damit anfangen mußte, in manchen Fällen besonders schwerwiegender Verschmutzung des Abwassers gewisse Reinigungsmaßnahmen zu treffen, die zunächst fast ausschließlich in einer Grobentschlammung und Beseitigung von Schwimmstoffen oder allenfalls in einer mechanischen Klärung bestanden, änderte sich an den Verhältnissen praktisch nichts. Die notwendigen Anlagen wurden einfach an den am günstigsten gelegenen Stellen eingebaut, und nur selten wurde damals schon der vorausschauende Schritt getan, die verschmutzten Abwässer zusammenzuführen und an einer Stelle gemeinsam zu klären. Das ist einer der Hauptgründe dafür, daß es noch heute in vielen Fällen langwieriger Verhandlungen bedarf, um größere Betriebe davon zu überzeugen, daß die Zusammenführung der Schmutzwasser und — wie gleich noch näher zu erläutern sein wird — die Abtrennung unverschmutzter Wässer die erste Voraussetzung für eine wirtschaftlich vertretbare Abwasserreinigung darstellt. Sie ist deshalb früher oder später in den meisten Fällen unerlässlich, unabhängig übrigens davon, ob die Behandlung im eigenen Betrieb oder gemeinsam mit der Gemeinde vorgenommen wird.

Das zweite, ebenfalls ausschließlich wirtschaftliche Hindernis, das einer Behandlung industrieller Abwässer und damit erst recht der gemeinsamen Behandlung mit kommunalen Abwässern im Wege steht, ist die Tatsache, daß in der Zeit, in der man sich keine Gedanken über die Abwasserreinigung zu machen brauchte oder jedenfalls nicht machte, auch kein Unterschied zwischen verschmutzten und unverschmutzten Wässern gemacht wurde und außerdem in der Regel an Wasser kein Mangel herrschte. Es wurden daher weder an den Produktionsstätten noch in bezug auf die Ableitung der Wässer jene Maßnahmen getroffen, die heute selbstverständlicher Bestandteil jeder betriebswasserwirtschaftlichen Planung bei Neuerrichtung eines Industriebetriebes sind. Die nachträgliche Trennung verschmutzter und unverschmutzter Wässer, zu denen außer den Kühlwässern oft genug noch die bei gemeinsamer Ableitung weitere Komplikationen verursachenden Regenwässer der häufig sehr umfangreichen Areale gehören, ist leider in nur allzuvielen Fällen eine außerordentlich aufwendige und die Produktion über lange Zeit behindernde Maßnahme. Es ist daher schon verständlich, daß sich die betroffenen Betriebe mit allen Mitteln gegen ihre Durchführung sträuben.

Zu diesen Mitteln gehört des öfteren der Hinweis, daß die Gesamtabwässer oft niedrigere Absolutwerte an Verschmutzungsindikationen aufweisen als die eines biologisch gereinigten Abwassers. Es sei daher nicht einzusehen, weshalb weitere und vor allem so kostspielige Maßnahmen durchgeführt werden müßten. Dabei wird aber vergessen, daß es bei der Beurteilung der Gewässerschädigung nach neueren Erkenntnissen in erster Linie auf die Schmutzstofffrachten ankommt und daß diese, gemessen an einzelnen Verschmutzungsfaktoren, bei einer Reihe von Betrieben oft genug dem Abwasser von Mittel- oder gar Großstädten entsprechen, und zwar wahlgemerkt dem ungereinigten Abwasser. Es kann hier nicht näher auf alle damit zusammenhängenden Fragen eingegangen werden, aber es wird doch für notwendig gehalten, die Argumentation mit der Erfüllung der „Normalforderungen“ durch folgenden Hinweis zu entkräften: Die „Normalanforderungen“ beziehen sich unmißverständlich — im Gegensatz übrigens zu einer etwas komplizierteren und in vielen Fällen zusätzliche Prüfungen erforderlichen Formulierung in der Einführungsverordnung eines deutschen Landes — auf das Abwasser, wie es eine Kläranlage verläßt, d. h. eine nachträgliche Verdünnung bleibt unberücksichtigt. Eine vorherige Verdünnung wird nur dann ohne rechnerische Berücksichtigung als zulässig erachtet, wenn sie aus klärtechnischen Gründen, etwa zur Herabsetzung der Konzentration eines sonst nicht der bio-

logischen Reinigung zugänglichen Abwassers, notwendig ist. Das heißt aber doch mit anderen Worten, daß die „Normalanforderungen“ nur dort unmittelbar angewandt werden können, wo bereits eine Kläranlage vorhanden ist oder erstellt werden soll. In anderen Fällen kann man allenfalls aus dem Verhältnis an verschmutztem zu unverschmutztem Wasser auf den als zulässig anzusehenden Wert zurückrechnen, der dann aber in der Regel so niedrig liegt, daß selbst die großen Mengen an „Verdünnungswasser“ nicht ausreichen, um diesen Wert für das „Mischwasser“ zu erfüllen.

Wenn nun die genannten Maßnahmen zur Zusammenführung der Schmutzwässer und Abtrennung unverschmutzter Wässer Voraussetzung für eine wirtschaftlich vertretbare Abwasserbehandlung sind, dürfen die mit diesen Maßnahmen verbundenen Aufwendungen aber auch nicht den Vergleich der Kosten für die getrennte Behandlung mit denen für die gemeinsame Behandlung belasten, sondern sind auszuklammern. Es verbleiben also lediglich die reinen Behandlungskosten, selbstverständlich einschließlich der kapitalisierten Baukosten der für die Reinigung notwendigen Anlagen. Zusätzlich können allerdings noch Kosten für den Anschluß der Werkskanalisation an das städtische Netz entstehen, die entweder von dem Betrieb direkt getragen werden können oder indirekt über die Kanalbenutzungsgebühren anfallen. Nicht zu vernachlässigen sind weiterhin die Kosten, die durch notwendige Vorreinigungsmaßnahmen auf dem Werksgelände entstehen können. Diese sind in erster Linie abhängig von den jeweiligen Einleitungsbedingungen.

Es kann nun nach vielen einschlägigen Untersuchungen keinem Zweifel unterliegen, daß die reinen Behandlungskosten bei der gemeinsamen Behandlung je nach Größe der Anlagen z. T. erheblich geringer sind als bei getrennter Behandlung, und zwar — was für die Zukunft mit ihren steigenden Reinheitsanforderungen an die Gewässer von besonderem Interesse ist — um so geringer, je weitgehender der Reinigungseffekt ist. Es sollte daher das Ziel entsprechender Verträge zwischen den Gemeinden und solchen Betrieben, bei denen überhaupt die Wahl zwischen beiden Alternativen möglich ist, sein, den Vorteil der geringeren Behandlungskosten und die sonstigen Vorteile im volkswirtschaftlichen Interesse und zum Schutz der Gewässer zum Tragen kommen zu lassen. Verschieben können sich die Verhältnisse allenfalls, wenn die genannten zusätzlichen Kosten standortbedingt oder infolge zu strenger Einleitungsbedingungen der Gemeinde unverhältnismäßig hoch waren.

Neben den reinen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen spielen für die Industrie andere, z. T. allerdings mehr oder weniger auch mit wirtschaftlichen Aspekten zusammenhängende Gesichtspunkte eine geringere Rolle. Dennoch sollen der Vollständigkeit halber einige von ihnen genannt werden. So wird etwa in Industriekreisen häufig die Auffassung vertreten, daß bei der gemeinsamen Behandlung der umfangreiche und schwerfällige Beamtenapparat der Entwässerungsbehörden mitfinanziert werden müsse, während die Kosten der eigenen Abwasserbehandlung lediglich die direkten Bau- und Betriebskosten umfassen würden, und alles andere so gewissermaßen nebenbei von anderen, ohnehin vorhandenen Stellen miterledigt würde. Diese vermeintlichen Unterschiede sollten sich jedoch weitgehend ausgleichen, wenn wirklich kostenechte Rechnungen aufgestellt werden, und sie würden vermutlich ganz verschwinden, wenn die zunehmende Rationalisierung auch der Behördenarbeit einerseits und die Tendenz zur Bürokratisierung zumindest der Großbetriebe andererseits berücksichtigt werden. Auch wird es von der Industrie oft als weniger lästig empfunden, bei Störungen selbst verantwortlich zu sein und entsprechende, meist auf das Allernotwendigste

beschränkte Abhilfe zu schaffen, als der Entwässerungsbehörde gegenüber Rechenschaft ablegen und gegebenenfalls kostspielige Aufwendungen zur Beseitigung der Folgen solcher Störungen tragen zu müssen. Das notwendige Verantwortungsbewußtsein der Industrie gegenüber der Allgemeinheit auf der einen Seite und die kritische Selbstprüfung der Behörden über den wirklich notwendigen Umfang derartiger Sanierungsmaßnahmen auf der anderen Seite sollten die Basis für besseres Verständnis in solchen Fällen sein. Schließlich wird mehr intern vorgebracht, daß Produktionsänderungen, -neueinführungen und -erweiterungen bei gemeinsamer Abwasserbehandlung durch die ständige Rücksichtnahme auf die städtische Kläranlage und wegen der langwierigen behördlichen Verfahrenswege erschwert werden, wohingegen die getrennte Behandlung eine elastischere Handhabung ermögliche. Dazu ist allerdings zu sagen, daß ein solcher Gesichtspunkt vielleicht in der Wiederaufbauphase der deutschen Industrie nach dem letzten Krieg Berechtigung gehabt haben mag, jedoch nicht mehr in der jetzigen Zeit der Konsolidierung. Denn ganz davon abgesehen, daß auch bei direkter Ableitung entsprechende Verfahrenswege bei den Wasserbehörden eingehalten werden müssen, ist es heute im Interesse der Reinhaltung unserer Gewässer erforderlich, daß solche Änderungen oder Erweiterungen der Produktion erst dann großtechnisch anlaufen sollten, wenn nicht nur entsprechende Vorstellungen über die Auswirkungen auf dem Abwassersektor und über die zu ergreifenden Gegenmaßnahmen bestehen, sondern wenn letztere auch mit der gleichen Energie in die Praxis umgesetzt werden, wie es bei der Produktion selbstverständlich ist.

Es kann nach diesen Ausführungen nicht zweifelhaft sein, daß die beste Lösung des industriellen Abwasserproblems in der gemeinsamen Behandlung zu sehen ist, sofern die technischen Gegebenheiten das zulassen, die Gebührentgestaltung kostenecht und -gerecht ist und die Einleitungsbedingungen sich auf das Notwendige beschränken. Ich möchte aber ausdrücklich darauf hinweisen, daß die Erfüllung der notwendigen gemeindlichen Einleitungsbedingungen von der Industrie ebenso ernstgenommen werden muß, wie es bei der direkten Einleitung in ein Gewässer für die wasserbehördlichen Auflagen der Fall sein sollte. Der zweifellos naheliegenden Verführung, lästige Abfälle in flüssiger oder gar fester Form über das unterirdische Kanalnetz unerlaubt und unerkannt loszuwerden, darf unter keinen Umständen nachgegeben werden. Vielmehr muß durch entsprechende werksseitige Überwachung und durch Aufklärung aller Betriebsangehörigen dafür gesorgt werden, daß keine Gefährdung des Vertrauensverhältnisses zwischen Gemeinde und Industrie durch derartige Vorfälle eintreten kann.

Wie stellt sich nun für die Gemeinden die Beantwortung der Frage: Getrennte oder gemeinsame Behandlung? Man darf wohl voraussetzen, daß die Gemeindespitzen dem Wunsch eines vorhandenen und vielleicht noch mehr dem eines geplanten Industriebetriebes nach Anschluß an die gemeindliche Kanalisation aus verständlichen Gründen nachzugeben bereit sind. Die für die gemeindlichen Entwässerungsanlagen Verantwortlichen müssen die Situation allerdings etwas anders sehen. Während nämlich die Ableitung und Behandlung der im Rahmen unserer Definition des kommunalen Abwassers anfallenden betrieblichen Abwässer kaum Probleme aufwirft, kann das kommunale Abwasser in seinen Eigenschaften und damit auch in seinen Behandlungsmöglichkeiten durch industrielle Abwässer stark verändert und nachteilig beeinflußt werden. Beeinträchtigungen, die ihre Ursache in einer dauernden oder gelegentlichen wassermengenmäßigen Überlastung haben, sollen hierbei außer Betracht bleiben, da ihre Abhilfe keiner weiteren Diskussion bedarf.

Etwas schematisiert kann man drei Bereiche unterscheiden, in denen sich nachteilige Auswirkungen bemerkbar machen können, nämlich 1. Gefährdung der Öffentlichkeit und vor allem der Kanalarbeiter, 2. Störungen und Angriff des Baumaterials im Kanalnetz und 3. Beeinträchtigung gegebenenfalls bis zum völligen Zusammenbruch des Kläranlagenbetriebes. Sie werden jeweils durch bestimmte Abwasserinhaltsstoffe verursacht und können nur durch entsprechende Einleitungsbedingungen verhindert werden. Diese müssen zu 1. eine unter Umständen völlige Fernhaltung und zu 2. und 3. eine mehr oder weniger weitgehende Begrenzung anderer Inhaltsstoffe zum Ziel haben. Bei letzteren muß unterschieden werden, auf welchen Bezugspunkt die Begrenzung vorzunehmen ist. Bei 2. ist das unmittelbar unterhalb der Einleitungsstelle oder — bei Baumaterialangriff — an der gefährdeten Stelle und bei 3. vorm Eintritt in die biologische Stufe oder sicherheitshalber besser vorm Eintritt in die Kläranlage. An Verdünnungswasser darf in beiden Fällen nur die unter ungünstigsten Verhältnissen anfallende Minimalmenge gerechnet werden.

Grundsätzlich sollten feuergefährliche Stoffe und Abwässer, die explosive Gase oder Dämpfe freisetzen, nicht zur Ableitung zugelassen werden, desgleichen keine durch ihren Geruch belästigend wirkende Abwässer. Weiter können Gefährdungen durch heiße oder stark saure Abwässer verursacht oder verstärkt werden. Stark giftige oder betäubend wirkende Stoffe sind ebenfalls auszuschließen. Für radioaktive Stoffe gelten die Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung. Infektiöse Abwässer brauchen nur dann vorbehandelt oder ferngehalten zu werden, wenn ihre Menge im Vergleich zu der des immer als infektiös anzusehenden häuslichen Abwassers unverhältnismäßig groß ist. Aber auch dann ist die Fernhaltung oder Vorbehandlung weniger zum Schutz der Kanalarbeiter als aus Gewässerschutzgründen notwendig. In solchen Fällen wird allerdings dem Gewässerschutz besser durch eine Desinfektion der gesamten gemeindlichen Abwässer nach ihrer biologischen Reinigung Rechnung getragen.

Um Störungen im Kanalnetz zu vermeiden, sollten keine Stoffe mit höherem spezifischem Gewicht als etwa 2,5 eingeleitet werden, desgleichen keine größeren Mengen an spezifisch sehr leichten, zum Auftreiben neigenden Stoffen. Fette und Öle sind durch ausreichend dimensionierte Abschneider fernzuhalten, Emulsionen so weit zu brechen, daß ihr Gehalt an solchen Stoffen 50 bis 100 mg/l nicht übersteigt. Sofern ein Angriff des Baumaterials des Kanalnetzes zu befürchten ist, sind Sulfate, Magnesium- und Ammonium-Verbindungen sowie Säuren so weit zu begrenzen, daß kein Angriff erfolgen kann. Die Höhe der Grenzwerte hängt von der Art des Materials und von der Sorgfalt der Bauausführung ab. Bei Neuplanungen empfiehlt es sich in solchen Fällen, ein widerstandsfähigeres Material zu verwenden, dessen Mehrkosten schnell durch laufende Ersparnis an Vorbehandlungskosten wettgemacht werden.

Im Zulauf zur Kläranlage dürfen Schwermetallsalze wie Kupfer, Nickel, Chrom und Zink, Phenole, Cyan-Verbindungen und andere Giftstoffe nur in solchen Konzentrationen vorhanden sein, daß weder die biologische Reinigung noch die Schlammfaulung und -verwertung beeinträchtigt werden. Auf die Möglichkeit der Akkumulation von Giftstoffen in bestimmten Fällen ist zu achten, während die Adaption der Mikroorganismen wenn überhaupt nur mit Vorsicht in Rechnung gesetzt werden darf, da sich sonst Betriebsstörungen zu stark auswirken können.

Nach den bisherigen Ausführungen über die Einleitungsbedingungen ist es verständlich, daß allgemein gültige Werte kaum angegeben werden können. Daher können auch Bemühungen um „Normalanforderungen für die Ableitung

in die Kanalisation“ allenfalls zu einer Materialsammlung mit Hinweisen über ihre Anwendung führen. Von Wert wäre aber eine Zusammenstellung der Grenzzahlen für toxische Stoffe, die für eine biologische Reinigung noch als verträglich angesehen werden können. Hierüber sind zwar in der Literatur schon viele Angaben vorhanden, die jedoch noch weiterer Untermauerung bedürfen, nicht zuletzt in Hinblick auf die unter Umständen mehr als additive Wirkung mehrerer Giftstoffe.

Die Einleitungsbedingungen der Gemeinden müssen so gehalten werden, daß für die Industrie noch ein Anreiz zur gemeinsamen Behandlung besteht, da sonst verständlicherweise die eigene Behandlung bei Ersparnis der Kanalbenutzungsgebühren vorgezogen wird. Da diese nach den Ausführungen im ersten Teil im allgemeinen aus Gründen des Gewässerschutzes vermieden werden sollte, liegt es auch im Interesse der Wasserbehörden, daß die Gemeinden und ihre Industriebetriebe zu gemeinsamen Behandlungsanlagen kommen. Sie sollten daher mit allen Kräften darauf hinwirken. Das kann u. a. dadurch geschehen, daß den Gemeinden für ihre Einleitung keine spezifischeren Auflagen gemacht werden, als sie die „Normalanforderungen“ vorsehen. Denn man kann doch davon ausgehen, daß ein gut biologisch gereinigtes Abwasser keine toxischen oder sonstwie für den Vorfluter schädlichen Stoffe mehr enthalten kann, so daß sich Auflagen z. B. über den Gehalt an Schwermetallsalzen oder an petrolätherextrahierbaren Stoffen erübrigen, es sei denn, daß in einer Gemeinde eine besonders große Häufung von Betrieben gleicher Art und damit praktisch gleicher Abwasserinhaltsstoffe vorliegt. Werden nämlich derartig spezifische Forderungen seitens der Wasserbehörde gestellt, ist es nur zu verständlich, daß die Gemeinden diese aus Sicherheitsgründen in gleicher Höhe an den Industriebetrieb weitergeben und diesem damit die getrennte Behandlung nahelegen. Ohne näher hier auf juristische Fragen eingehen zu können, muß in diesem Zusammenhang zugegeben werden, daß die Haftungsbestimmungen des WHG die Bestrebungen um die gemeinsame Behandlung nicht gerade erleichtern. Entsprechende Privatverträge zwischen Gemeinden und Industriebetrieben sollten hier den Gemeinden die notwendige Sicherheit geben.

Können schon die Einleitungsbedingungen von erheblichem Einfluß auf die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen der Industrie sein, so gilt das mehr noch für die Gebührengestaltung, auf die näher einzugehen ein Thema für sich wäre. Wichtig ist, daß die Gebühren kostenecht sind, sowohl Bau- als auch Betriebskosten umfassen und eine Bemessungsgrundlage haben, die eine korrekte Abschätzung des industriellen im Verhältnis zum häuslichen Anteil gestattet. Für die unserer Definition des kommunalen Abwassers entsprechenden Betriebsabwässer liegt in der Literatur genügend Material vor, um derartige Abschätzungen anhand der Produktion und anderer Kriterien zuverlässig vornehmen zu können. Dagegen weisen die Literaturangaben über ausgesprochen industrielle Abwässer solche Schwankungen auf, daß sie kaum als Grundlage für Abschätzungen geeignet sind. Das liegt nicht zuletzt an der sehr unterschiedlichen innerbetrieblichen Wassergewirtschaft, so daß Verallgemeinerungen kaum möglich sind. Es bedarf daher in der Regel eingehender Abwasseruntersuchungen an mengenproportional entnommenen Sammelproben über wenigstens ein bis zwei Wochen, um ein genügend zuverlässiges Bild zu bekommen.

Die Frage, auf welcher Basis die Gebühren festgelegt werden, läßt sich nicht so schematisch beantworten, da in jedem Fall die örtlichen Verhältnisse berücksichtigt werden müssen. Während sich beim häuslichen Abwasser inzwischen die Berechnung nach der Wassermenge weitgehend durchgesetzt hat und sicherlich

auch gerecht, zumindest nicht unsozial genannt werden kann, wäre bei industriellen Abwässern der Wasserverbrauch allein unter keinen Umständen ausreichend, auch wenn damit ein sehr starker Anreiz zur immer wichtiger werdenden Wasserwiedergewinnung gegeben wäre. Die Gebühren für ein an Schwebestoffen oder an gelösten Stoffen sehr konzentriertes Abwasser würden dann nämlich nicht den wirklich entstehenden Reinigungskosten entsprechen, also nicht kostenecht sein. Man mußte bei industriellen Abwässern vielmehr neben dem in seiner Höhe u. a. vom Entwässerungsnetz abhängigen Wassermengenfaktor besondere Faktoren für den Schwebstoffanteil sowie für den biochemischen Sauerstoffbedarf als Maß für die gelösten, biologisch abbaubaren Anteile einsetzen, die dem Aufwand für die biologische Reinigung und die Schlammbehandlung Rechnung tragen. Da die biologische Reinigung mit zusätzlichem Anfall von Schlamm verbunden ist, muß der BSB-Faktor höher bewertet werden. Das kann von besonderer Bedeutung sein, wenn z. B. ein an gelösten Stoffen hochkonzentriertes Abwasser durch eine werkseigene Leitung direkt in das Belüftungsbecken der gemeinsamen Kläranlage geleitet wird. Ähnlich sind auch Fälle denkbar, in denen anaerob besonders gut abbaubare Stoffe unmittelbar dem Faulbehälter zugeführt werden. Auch kann es sinnvoll sein, die industriellen Abwässer in einem besonderen Kanal zur gemeinsamen Kläranlage zu führen und sie dort einer zweckdienlichen Vorbehandlung zu unterziehen, bevor sie vermischt mit den kommunalen Abwässern weiter behandelt werden, wie es z. B. bei der Kläranlage Nordhorn geschieht. In diesen Fällen müssen die zusätzlichen Kosten selbstverständlich der Industrie angelastet werden. Nicht zuletzt sind auch Fälle denkbar, in denen ein oder mehrere große Industriebetriebe die Abwässer nahe gelegener Gemeinden mit übernehmen. Man erkennt schon an diesen wenigen Beispielen, daß in der Art der gemeinsamen Behandlung und damit auch in der Kostenbeteiligung viele Variationsmöglichkeiten bestehen. Es ist daher notwendig, jeden Einzelfall sachverständig prüfen zu lassen. Sowohl die Kosten hierfür wie auch für mehr oder weniger umfangreiche halbtechnische oder technische Versuche machen sich immer bezahlt, wenn mit ihrer Hilfe technisch optimale und gerechte Lösungen gefunden werden.

Es kann hier nur auf die wichtigsten Aspekte der Frage: Gemeinsame oder getrennte Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer, eingegangen werden. Eines sei aber herausgestellt und besonders betont: Die gemeinsame Behandlung auf einwandfreier vertraglicher Basis ist in allen Fällen, in denen sie von der Sache her überhaupt diskutabel ist, als beste Lösung des Gesamtabwasserproblems anzusehen. Dies gilt in Zukunft mehr noch als bisher, denn mit zunehmender Bevölkerung und steigender industrieller Produktion wird die Reinhal tung der Gewässer immer schwieriger werden. Den erhöhten Anforderungen an die Abwasserreinigung in bezug auf den Reinheitsgrad und — was besonders wichtig ist — auf die Sicherheit, mit der dieser erreicht wird, kann die gemeinsame Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer am ehesten gerecht werden.

#### Literatur

1. K.-H. JACOBITZ: „Die Ableitung industrieller Abwässer in öffentliche Entwässerungen und die gemeinsame Behandlung mit häuslichem Abwasser“, Dissertation 1965 D 17 der Technischen Hochschule Darmstadt. (Dort weitere 318 Literaturangaben.) Zusammenfassung im Gesundheitsingenieur 88 (1967) 14—18.

Leit. Direktor und Professor Dr. NIEMITZ  
Bundesgesundheitsamt

1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

# Rattenbekämpfung in der Kanalisation

Von KURT BECKER

(Mit 1 Abbildung im Text)

Unvermutete Zusammenhänge zwischen Rattenvorkommen und Wasserhygiene ergaben sich, als kurze Zeit, nachdem im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene eine selbständige zoologische Arbeitsgruppe gegründet worden war, im Jahre 1925 Rattenhaare in Trinkwasserproben entdeckt wurden (WILHELMI, 1927). Dieser Befund deutete auf mangelhafte Abdeckung der Trinkwasserversorgungsanlagen und Sammelreservoire hin. In geschlossenen Rohrleitungen, wie sie heute allgemein für die Versorgung von Industrie und Haushalten mit Brauch- und Trinkwasser üblich sind, werden sich solche Vorkommnisse kaum wiederholen. Dafür stellt aber das Vorkommen von Ratten in der Kanalisation unserer Städte ein Problem dar, das bislang keineswegs zufriedenstellend gelöst ist.

Die Bekämpfung der in Kanalanlagen lebenden Ratten hat in den letzten Jahren wieder an Aktualität gewonnen. Wenn nämlich ein Schädlingsbekämpfungsbetrieb mit einer Stadt oder einem Landkreis einen Tilgungsvertrag für die Bekämpfung von Ratten abschließt und nach Durchführung der Bekämpfungsaktion den erlangten rattenfreien Zustand für einen längeren Zeitraum garantieren soll, kann er sich nicht darauf beschränken, nur die oberirdisch angetroffenen Befallsstellen zu behandeln, sondern er muß danach trachten, auch die in der Kanalisation lebenden Ratten zu vernichten (BECKER, 1963). Während die Tilgung eines oberirdisch vorliegenden Rattenbefalls nur noch selten besondere Schwierigkeiten macht, stellen sich dem gleichen Unternehmen in der Kanalisation zahlreiche Widerstände entgegen. Diese liegen einmal darin, daß wir über die Biologie und Verbreitung der im Kanalsystem lebenden Ratten bislang noch ungenügend unterrichtet sind und deshalb nicht wissen, wo innerhalb des Rohrnetzes mit vermehrtem Befall zu rechnen ist. Zum zweiten werden an die Bekämpfungstechnik Anforderungen gestellt, die durchaus noch nicht in vollem Umfang erfüllt werden können. Außerdem muß der Schädlingsbekämpfer auf betriebstechnische Belange der Kanalbehörden Rücksicht nehmen, wodurch die Möglichkeiten einer wirksamen Rattentilgung weiterhin eingeschränkt werden.

Daß Ratten in der Kanalisation leben, dürfte allgemein bekannt sein. Zutritt in das Rohrnetz finden die Tiere oft durch Brüche und Schäden an den Hausanschlüssen, durch schadhaft gewordene Straßenentwässerungsanlagen oder auch durch die Öffnungen der Notauslässe. Besonders anziehend scheinen totliegende Abzweigungen für die Ratten zu sein, wie z. B. die nicht abgeschlossenen Anschlüsse von Ruinengrundstücken.

In diesem Zusammenhang interessiert auch die Frage, ob das als Trennsystem angelegte Abwassernetz die Ansiedlung von Ratten begünstigt oder ob ein Mischsystem hierfür bessere Voraussetzungen bietet. Beim Mischsystem werden häufig trockenliegende Notauslässe oder die zu ihnen führenden Überläufe als Unterschlupf verwendet. Dagegen können sich Ratten im Trennsystem nur in dem das Abwasser führenden Rohrnetz dauernd aufhalten, weil sie dort auch Nahrung finden. Dafür bieten die Regenwasserkäne oft gute Wohnmöglichkeiten, wenn Nahrung oberirdisch zur Verfügung steht.

Untersuchungen in Stuttgart (PETERS, 1951) und Viersen (SY, 1959) haben gezeigt, daß vielfach ein Zusammenhang zwischen dem Rattenbefall oberirdisch gelegener Anwesen und den in der Kanalisation lebenden Ratten besteht. Bei intensiver Nachschau können dann Löcher in den Vorgärten oder Höfen der Häuser festgestellt werden, die über einen Gang eine direkte Verbindung zum Kanal herstellen. Ratten gelangen aber auch ohne diesen Umweg direkt aus der Kanalisation in die Wohnungen. Sie klettern dann die Steigeleitungen hinauf,

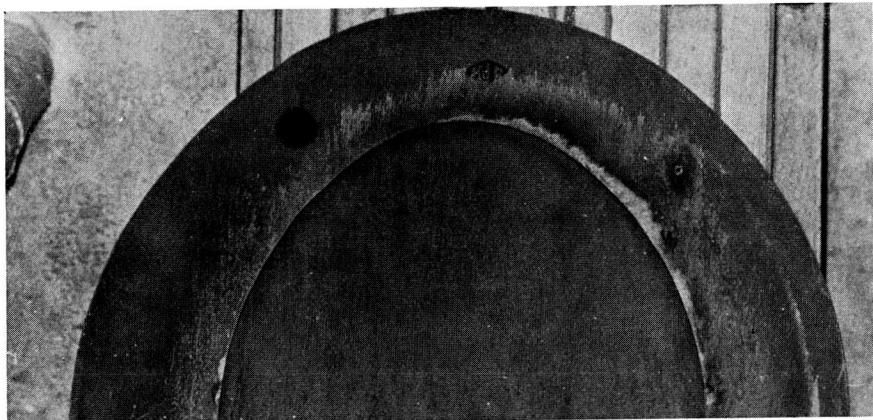


Abb. 1. Teil des Innenrandes eines WC-Sitzes, der von einer Ratte angenagt wurde, als sie sich bei geschlossenem Deckel aus dem WC-Becken einen Weg nach draußen bahnen wollte.

tauchen durch den Geruchverschluß der Wasserklosetts und haben so Zutritt in die Häuslichkeiten der Bewohner (Abb. 1). Derartige Begebenheiten sind keineswegs selten, sie sind uns nicht nur aus Berlin, sondern von vielen weiteren Städten Deutschlands bekannt. Andere Länder scheinen in dieser Beziehung nicht besser gestellt zu sein. Aus Rotterdam wird berichtet (BOT, 1961), daß dort jährlich etwa hundert Klagen laut werden, in denen Ratten aus den WCs in die Wohnungen eindringen.

Zur Biologie der im Abwassernetz lebenden Ratten sei folgendes nur kurz erwähnt. Wanderratten sind die einzigen Wirbeltiere, die sich bei uns ständig in der Kanalisation aufhalten können. Ihre Organisation erlaubt es ihnen, sich dort selbst bei völliger Dunkelheit zu orientieren, sich passende Schlupfwinkel zu suchen und ihre Nahrung zu finden. Dank der gleichmäßigen Temperaturbedingungen pflanzen sie sich auch in stärkerem Maße fort als ihre oberirdisch lebenden Artgenossen. Abgesehen vom Menschen haben die im Kanalnetz lebenden Ratten keine Feinde.

Da sich das Auftreten von Ratten in der Kanalisation nach dem Vorhandensein geeigneter Schlupfwinkel und Nahrung richtet, verteilt sich der vorhandene Bestand sicher nicht gleichmäßig über das gesamte Rohrnetz. Wo wenig Nahrung zu finden ist, kann sich keine große Population halten, und wo die Kanäle bau-technisch intakt sind, gibt es keine Schlupfwinkel und dementsprechend weniger Ratten. Im einzelnen muß aber noch geklärt werden, durch welche dieser Faktoren ihre Ansiedlung entscheidend beeinflußt wird. Gelegenheitsbeobachtungen haben lediglich gezeigt, daß Kanäle in der Umgebung von Gaststätten, Schlächtereien, Marktständen und ähnlichen Lebensmittelbetrieben stärker von Ratten

belaufen werden als solche in reinen Wohnsiedlungen. Aber auch dort können Ratten zuweilen vermehrt auftreten, wenn nämlich durch die modernen Müllwölfe in Neubausiedlungen den Ratten ständig frische Nahrung zugeführt wird. Anziehungspunkte für Ratten bestehen ebenfalls, wo inmitten eines Siedlungsgebietes einzelne Gebäude als Ruinen liegengeblieben sind, oder in alten Wohnbezirken genügend totliegende, ihrer Lage nach oft gar nicht mehr zu ermittelnde Abwasserleitungen zur Verfügung stehen. Stark von Ratten besiedelte Kanalabschnitte sind aber vom Standpunkt der öffentlichen Gesundheitspflege unerwünscht, weil sie oft ein Reservoir für die Neubesiedlung oberirdisch gelegener Grundstücke darstellen.

Die Bekämpfung der Ratten in der Kanalisation ist von vornherein nicht nur deshalb schwierig, weil diese gewöhnlich nur über die punktförmig verteilt liegenden Einsteigeschächte zugänglich ist, sondern ebenso weil wir nicht wissen, wo im Bereich etwa einer Stadt die Ratten innerhalb des Rohrnetzes vermehrt auftreten. Wie in anderen Betrieben leiden auch die Kanalämter gemeinhin unter einem akuten Arbeitskräftemangel. Es wäre deshalb günstig, wenn die wenigen für derartige Arbeiten abzustellende Kräfte schwerpunktartig dort angesetzt werden könnten, wo mit besonders starkem Rattenbefall zu rechnen ist, anstatt die Einsteigeschächte des gesamten Kanalnetzes unterschiedslos mit Giftködern zu belegen, wie dies zur Zeit allgemein üblich ist. Um in Zukunft arbeitsparend, aber dennoch wirksam vorgehen zu können, bedarf die Frage der Verteilung der Ratten in der Kanalisation dringend einer Klärung.

Das Wie der Rattenbekämpfung in der Kanalisation ist ebenfalls nicht mit wenigen Worten zu beantworten. In den vergangenen 30 Jahren sind zahlreiche Methoden beschrieben worden, welche dieses Ziel verfolgen. Die meisten davon haben jedoch nicht befriedigen können. Das einzige Verfahren, welches heute gewöhnlich angewendet wird, besteht darin, daß mit einem Giftfutter auf Cumarin-Basis gefüllte Bäckertüten von oben durch die Öffnungen der Einsteigeschächte auf die Kanal-Bankette geworfen werden. Die Tüten platzen dann auf, und der Köder wird so für vorbeilaufende Ratten zugänglich. Es ist klar, daß die in solcher Weise dargebotenen Köder auch schnell verderben, indem sie in der meist nassen Umgebung bald durchfeuchten und in wenigen Tagen Schimmelrasen auf ihnen wachsen. Derart veränderte Köder werden aber von den Ratten nicht mehr angenommen. Das Verfahren ist zwar einfach anzuwenden, der effektive Erfolg bleibt jedoch zweifelhaft, auch dann, wenn sich nach einer später durchgeführten Kontrolle herausstellen sollte, daß der Köder angenommen wurde, denn es liegt im Wesen dieser Rattengifte, daß sie an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen von den Tieren gefressen werden müssen, um ihre tödliche Wirkung ausüben zu können. Aber ob die so ausgebrachten Köder genügend lange attraktiv bleiben, erscheint in den meisten Fällen recht zweifelhaft, denn die festgestellte Annahme kann nur an den ersten Tagen nach der Auslegung erfolgt sein, und dann sterben die Ratten noch nicht. Es kommt hinzu, daß nach einem unvorhergesehenen starken Regen die Köder leicht fortgespült werden, wodurch die aufgewendete Mühe vollends zunichte gemacht wird. Wir haben deshalb vorgeschlagen (BECKER, 1965), die Köder in Plastikbeutel abzufüllen und sie mit einem Draht an dem untersten Steigeisen der Einsteigeschächte zu befestigen. Die Beutel müssen vorher mit einem Schlitz versehen werden, damit der Köder für die Ratten zugänglich wird. Auf diese Weise ist das Futter vor gar zu schnellem Verderb geschützt, und es übersteht in den Beuteln selbst leichte Überstauungen der Kanäle. Durch einen Zusatz von 0,1 % Dehydroessigsäure oder 0,25 % Paranitrophenol kann überdies das Wachstum von Schimmelpilzen

in den Kädern mehrere Wochen lang unterdrückt werden. Das Verfahren hat sich recht gut bewährt. Dennoch konnte es sich in der Praxis nicht durchsetzen, weil es einfach zu mühselig ist, im Verlauf der Entrattung einer Stadt in jeden Schacht zu klettern, um dort einen oder zwei solcher Beutel anzubringen.

Es wäre wünschenswert, wenn wenigstens in einigen Fällen Beispielbekämpfungen in verschiedenen Städten durchgeführt werden könnten, um unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten das arbeitsökonomisch günstigste Verfahren für die Beseitigung von Rattenbefall in Kanalisationssanlagen zu ermitteln.

### Literatur

- BECKER, K., 1963: Gesichtspunkte und Empfehlungen zur Organisation von Rattenbekämpfungsaktionen mit Gewährleistungszeit. Bundesgesundheitsbl. **6**, 381—385.  
 — —, 1965: Rattenbekämpfung im städtischen Abwassernetz. Z. angew. Zool. **52**, 173 bis 196.  
 BOT, A. J., 1961: Ratten kommen aus dem WC. Desinf. u. Gesundheitswes. **53**, 31—32.  
 PETERS, H., 1951: Die Wanderratten in der Kanalisation. Ges. Ing. **72**, 236—240.  
 SY, M., 1959: Zentrale Rattenbekämpfung im Kanalisationssystem der Stadt Viersen. Städtehyg. **10**, 159—160.  
 WILHELMI, J., 1927: Ratten als Schädlinge in der Wasserwirtschaft. Z. Desinf. u. Gesundheitswes. **19**, 7—9.

Wissenschaftl. Oberrat Dr. BECKER  
 Bundesgesundheitsamt  
 1 Berlin 33  
 Corrensplatz 1

# Abwässer aus der Oberflächenveredelung von Metallen und ihre Beurteilung

Von REIMAR LESCHBER

(Mit 2 Abbildungen im Text)

Die industriellen und gewerblichen Abwässer umfassen den überwiegenden Anteil aller in Deutschland anfallenden Abwässer. Ihre Menge beträgt etwa 80 % der Gesamtabwässer. Zieht man davon den etwa  $\frac{2}{3}$  betragenden Anteil der reinen Kühlwässer ab, so verbleibt immer noch eine beträchtliche Menge von mit Schmutz- und Giftstoffen beladenen Abwässern, die die Kläranlagen und Gewässer belasten.

Die Abwässer aus der Oberflächenveredelung von Metallen — der Galvanotechnik — stellen mengenmäßig nur einen Bruchteil der verschmutzten Industrieabwässer dar, doch bilden sie in ungereinigtem oder nur mangelhaft gereinigtem Zustand eine große Gefahr für Kläranlagen und Gewässer, da sie Stoffe enthalten, die zu den giftigsten Substanzen für die Pflanzen- und Tierwelt zählen. Tatsächlich entfällt auch ein neben Schäden durch Mineralölkohlenwasserstoffe großer Teil der Schäden an Kläranlagen und Vorflutern auf die unsachgemäße und oft unkontrollierte Ableitung galvanischer Spülwässer und verbrauchter galvanischer Bäder, letztere mit lebensgefährlichen Giftstoffkonzentrationen.

Diese latente Gefahr verpflichtet die Verursacher, Abfallösungen und Abwässer mit hohen Giftkonzentrationen (Konzentrate und Halbkonzentrate) in sogenannten Standentgiftungen unter Beachtung der erforderlichen Sicherheitsvorschriften selbst zu entgiften, oder aber sie einer Stelle zuzuführen, an der eine sachgemäße Unschädlichmachung erfolgt. Dies sind z. B. die zentralen Entgiftungsanlagen (ZEA), die in verschiedenen Gegenden Deutschlands eigens zu diesem Zweck auf verbands- oder genossenschaftlicher Basis eingerichtet wurden. Anlagen dieser Art existieren vornehmlich in Ballungsgebieten der oberflächenveredelnden Industrie, so in Südwestdeutschland (Ebingen, Tuttlingen, Schwenningen), von wo dieser Anlagentyp seinen Ausgang nahm (1), ferner im Gebiet des Ruhrverbandes in Iserlohn (2) sowie in Bielefeld (3). Anlaß zu ihrer Errichtung waren Schadensfälle, die bei der unkontrollierten Ableitung größerer Konzentratmengen in Kanälen, Kläranlagen und Vorflutern auftraten, so die Korrosion von Abwasseranlagen, die Gefährdung von Wartungs- und Bedienungspersonal durch Dämpfe und Gase, die Vergiftung der Biologie von Tropfkörpern, Belebtschlammanklagen und Faulbehältern und die nicht selten vollständige Verödung von Fluß- und Bachstrecken, die zumeist durch Fischsterben augenfällig wurden. Gelegentlich kam es auch bei der Versickerung von Konzentrataten zu Korrosionschäden an Energie- und Versorgungsleitungen und zu Grundwasserschädigungen.

In den ZEA erfolgt nun nach Anlieferung der Konzentrate in eindeutig gekennzeichneten und mit Begleitschein versehenen Transportgefäß en eine für Cyanid- und Chromatkonzentrate getrennte Einlagerung in Speichergefäß en, in denen ein Konzentrationsausgleich erfolgt. Alkalische und saure Konzentrate werden zur Einstellung des für die Entgiftung erforderlichen pH-Wertes ver-

wandt. Bei Vorliegen eines durch die Größe des Entgiftungsbeckens bestimmten Volumens erfolgt in diesem gegebenenfalls nach einer Vorverdünnung mit verfügbarem Abwasser die Unschädlichmachung unter intensivem Rühren nach den bekannten Verfahren der Handentgiftung (alkalische Chlorung bzw. Reduktion mit Sulfit im sauren Medium), wobei der Entgiftungsmittelzusatz nach dem Ergebnis einer zuvor durchgeführten Analyse bemessen wird. Nach einer Kontrollanalyse, die den Erfolg der Entgiftung bestätigt, wird die Charge zumeist kontinuierlich in kleiner Menge ins Kanalnetz oder in die Kläranlage gepumpt. Der anfallende Metallhydroxide enthaltende Schlamm wird schadlos beseitigt.

Über die Erfahrungen mit dem Betrieb von kommunalen ZEA wurde im Rahmen von Vorträgen kürzlich berichtet (1, 4). Leider sind derartige Anlagen, die über entsprechend ausgebildetes Personal und die technischen Einrichtungen und Sicherheitsvorrichtungen verfügen müssen, erst von einer bestimmten Kapazität an wirtschaftlich einigermaßen tragbar. Dies ist der Grund, warum sie noch nicht überall existieren. Daraus ergibt sich vielerorts für Betriebe, in denen Konzentrate anfallen, der Zwang, diese selbst zu entgiften. Das sollte aus Sicherheitsgründen, wie schon oben angesprochen, in Standentgiftungsanlagen geschehen. Doch werden Konzentrate aus Bequemlichkeit vielfach den üblichen Spülwasserdurchlaufentgiftungsanlagen zudosiert. Geschieht das nicht kontinuierlich und in bezug auf die Menge der Kapazität der Anlage entsprechend, so ergeben sich die eingangs beschriebenen Gefahren trotz vermeintlich richtiger Handlungweise. Aber selbst wenn die mengenmäßige Dosierung im richtigen Verhältnis erfolgt, sind damit noch nicht in jedem Falle alle Voraussetzungen für eine schadlose Abwasserbeseitigung erfüllt. Die heute noch weit verbreiteten sogenannten vollautomatischen Durchlaufanlagen zur Spülwasserentgiftung kranken oftmals daran, daß der Begriff „automatisch“ zu wörtlich genommen wird und die Wartung und Pflege insbesondere der empfindlichen Meß- und Regelgeräte gelegentlich vernachlässigt werden. Tatsächlich erfordert eine derartige „mechanisierte“ Anlage, und darum handelt es sich in fast allen Fällen, sachgerechte Pflege durch geschultes Bedienungspersonal, wozu auch die Nacheichung von Meß- und Regelgeräten in festen, nicht zu großen Zeitabständen gehört, die in der Bedienungs- und Betriebsanleitung niedergelegt sein sollte. Die turnusmäßige Prüfung und der Ersatz von träge reagierenden Elektroden durch die Herstellerfirma der Meßgeräte sollte ebenso zum festen Programm gehören.

Die mehr und mehr Bedeutung erlangenden Ionenaustauscher-Kreislaufanlagen für Spülwasserentgiftung bieten wegen der einfacheren Regeltechnik weit weniger Probleme. Die bei ihrer Regenerierung anfallenden Regenerate werden im allgemeinen im Standverfahren unschädlich gemacht.

Aus dem Gesagten ergibt sich nun sowohl für den Abwassererzeuger als auch für Kommunen und Abwässerverbände als Betreiber von Kläranlagen der Zwang zu regelmäßigen Kontrollen der Abwasserbeschaffenheit.

Doch stellen diese Untersuchungen keine schwierige Aufgabe dar, da sich die Vielfalt der Schmutz- und Giftstoffe gerade bei den Galvanikabwässern glücklicherweise in überschaubaren Grenzen hält.

Welche Stoffe kommen nun als hauptsächliche Verschmutzungskomponenten in Betracht?

- Es sind dies:
  1. Öl und organische Lösungsmittel,
  2. Metallverbindungen in gelöster und ungelöster Form,
  3. Cyanide (und in Härtereien Nitrate) sowie

4. Organische Verbindungen, die als Hilfsstoffe verwendet werden, meist aber nur in sehr geringen Konzentrationen in den Abwässern vorhanden sind.

Die angewandten oder anzuwendenden Abwasserreinigungsverfahren sind deshalb auf die Entfernung

1. von Öl und Lösungsmitteln,
2. von ungelösten Stoffen und
3. von toxischen Substanzen

bis auf gewisse tolerierbare Restmengen ausgerichtet.

Diese Restmengen — zumeist in mg/l angegeben — sind allgemein durch die Einleitungsbedingungen für Kanalisationen und öffentliche Gewässer festgelegt.

Dem Analytiker geben diese Werte, die für die Einleitung in öffentliche Gewässer in den sogenannten „Normalanforderungen“ (5) niedergelegt sind, im Normalfall einen Anhaltspunkt für den analytischen Bereich, für den er ein brauchbares Untersuchungsverfahren bereithalten muß. Auf die Wiedergabe detaillierter Analysenvorschriften soll hier verzichtet werden, es seien lediglich Hinweise auf derartige Zusammenstellungen in Form von Büchern oder Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften angeführt.

Hier sind zunächst die „Deutschen Einheitsverfahren“ (DEV) (6) zu nennen, die eine in Loseblattform herausgegebene Zusammenstellung der in Deutschland empfohlenen Wasser- und Abwasseruntersuchungsverfahren darstellen. An ihrer Verbesserung wird ständig gearbeitet, und die für die Beurteilung von Galvanikabwässern wichtigen Analysenverfahren für Öl und Cyanid sind durch Arbeiten aus unserem Institut z. T. erst kürzlich überarbeitet und vervollkommen worden (7, 8). Eine weitere Hilfe bieten die amerikanischen Einheitsverfahren, die sogenannten „Standard Methods“ (9), deren Vorzug in einer übersichtlichen Gliederung der Analysenverfahren nach dem Grad der Wasserverschmutzung liegt. Außerdem sei auf einige zusammenfassende Darstellungen von Verfahren zur Abwasseruntersuchung in der Fachliteratur verwiesen (10, 11, 12), die ebenfalls wie die gesamte bisher aufgezählte Fachliteratur gravimetrische, titrimetrische und kolorimetrische Bestimmungsverfahren enthalten, die sich in jedem normalen Untersuchungslaboratorium durchführen lassen. Die durchaus wünschenswerte Anwendung moderner, jedoch apparativ aufwendiger physikalisch-chemischer Analysenverfahren — wie z. B. der Polarographie und der Atomabsorptions-Spektrometrie zur Metallbestimmung — läßt sich wegen des Fehlens der entsprechenden Geräte bislang leider nur in einigen Fällen verwirklichen.

Hinsichtlich der Bestimmung der Cyanide — als der wohl giftigsten Abwasserhalbstoffe — seien noch einige, mehr ins Detail gehende Ausführungen gemacht. Die schon erwähnten DEV enthalten unter D 13 (Bestimmung des Cyanid-Ions) bewährte Analysenverfahren, die eine genaue maßanalytische oder kolorimetrische Cyanidbestimmung ermöglichen. Dies gilt jedoch nur für den Fall, daß ausschließlich freies Cyanid vorliegt. Sind aber außerdem noch komplexe gebundene Cyanide vorhanden, die je nach ihrer Zersetzung unterschiedliche toxische Wirkung zeigen, so ergibt die in den DEV als Probenaufbereitungsverfahren vorgeschriebene Destillation mit Weinsäure Ergebnisse in bezug auf den Cyanidgehalt, die eine fachgerechte Beurteilung der Probe erschweren. Es wird dann nämlich fast stets mehr als das sogenannte toxische Cyanid, jedoch meist

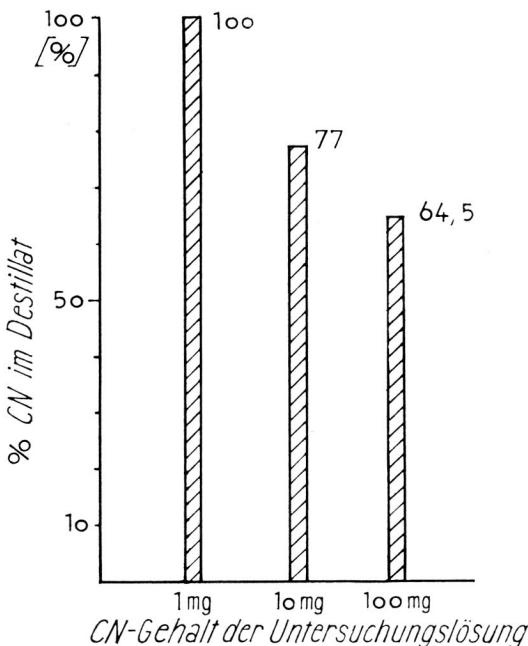


Abb. 1. Ergebnisse der Destillation von  $[Cu(CN)_4]^{3-}$ -Lösungen verschiedener Konzentration mit Weinsäure nach der Vorschrift D 13 der Deutschen Einheitsverfahren.

weniger als das gesamte vorhandene Cyanid erfaßt. In Abbildung 1 ist dies am Beispiel von komplexem Kupfer(I)-cyanid ( $[Cu(CN)_4]^{3-}$ ) dargestellt. Man sieht, daß die Cyanidausbeute im Destillat sehr stark von der Cyanidkonzentration in der Untersuchungslösung abhängt. Dieser unbefriedigende Zustand führte dazu, daß dieser Fragenkomplex im Institut intensiv untersucht wurde. Es wurde gefunden, daß die Probeaufbereitung mit Hilfe einer Schwefelsäure-Destillation in fast allen Fällen eine zuverlässige Gesamtcyanidbestimmung ermöglicht. Die Destillation verläuft normalerweise bezüglich des übergehenden Cyanids entlang der in Abbildung 2 gezeigten Kurve. Dies macht deutlich, daß schon kleinere Destillatmengen als bisher üblich ausreichen, um das in der Probe vorhandene gesamte Cyanid zu erfassen. Es wurde weiterhin gefunden, daß als Maß für die Schädlichkeit einer cyanidhaltigen Abwasserprobe deren Gehalt an „durch Chlor zerstörbarem Cyanid“ dienen kann. Diese Erkenntnisse führten zum Vorschlag der Neufassung der entsprechenden Abschnitte der DEV — D 13 im Rahmen einer Veröffentlichung (8).

Neben den schon erwähnten Kenndaten Öl- und Cyanidgehalt sowie Metallionenkonzentration sind bei der Untersuchung von Galvanikabwässern natürlich auch die zu einer normalen Abwasseruntersuchung gehörenden Werte für Temperatur, pH-Wert, Klarheit, Farbe, Geruch, Menge und Beschaffenheit der ungelösten Stoffe, die Schwebestoffe, Abdampfrückstand und die Anionen (Chloride, Sulfate, Stickstoffverbindungen usw.) zu bestimmen.

Wegen der eingangs schon erwähnten Toxizität der Galvanikabwässer gehört zu einer umfassenden beweiskräftigen Analyse weiterhin stets auch eine toxikologische Untersuchung durch einen Biologen, wozu Mikroorganismen oder Fische als Testorganismen benutzt werden können (13, 14).

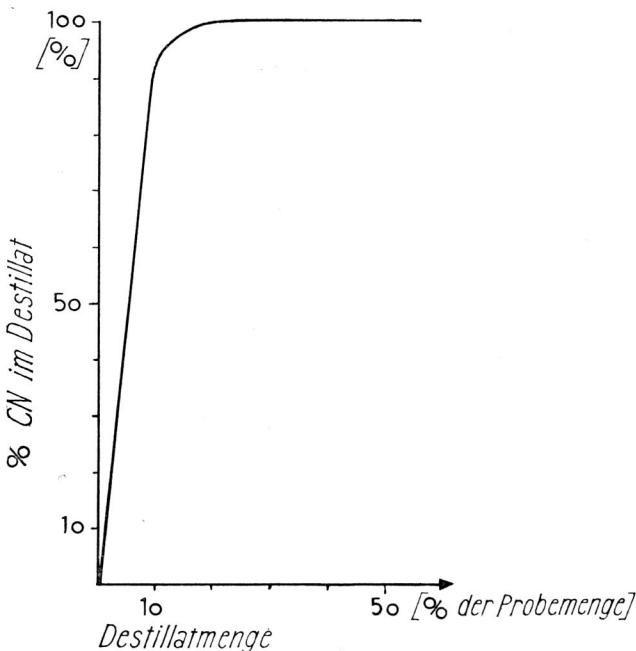


Abb. 2. Verlauf der Destillation einer  $[Cu(CN)_4]^{3-}$ -Lösung (Gehalt < 100 mg/l CN-) mit Schwefelsäure nach LESCHBER (8).

Die Voraussetzung dafür, daß die analytisch ermittelten Werte ein genaues Bild der tatsächlichen Abwassersituation zum Zeitpunkt der Probenahme ergeben, sind jedoch 1. eine sachgerechte Probenahme (6, 15), die auf die Bedürfnisse der Untersuchung abgestimmt und repräsentativ sein muß, sowie 2. bei längerer Aufbewahrung der entnommenen Probe(n) ein zuverlässiges Konservierungsverfahren (16). Beachtet man gerade diese letztgenannten Punkte nicht, so erhält man möglicherweise ein falsches Bild, da z. B. durch nachträgliche Ausfällung von Metallhydroxiden eine Veränderung der Menge der absetzbaren Stoffe und der löslichen Metallverbindungen eintreten kann. Durch abnorme pH-Werte ist eine Zersetzung komplexer Metallcyanide möglich, Oxydationsmittel können die Zersetzung von freiem Cyanid bewirken und vieles andere mehr.

Für die Analyse galvanischer Abwässer gilt deshalb wie für alle Abwasseruntersuchungen:

1. Die Untersuchung möglichst ohne Zeitverlust durchzuführen,
2. bis zur Untersuchung für dunkle und kühle Aufbewahrung der Probe zu sorgen und
3. im Bedarfsfalle in einer Vergleichsprobe Überschüsse von Oxydations- und Reduktionsmitteln zu entfernen und pH-Korrekturen vorzunehmen,
4. ferner den Umfang des Untersuchungsprogramms und den Aufwand, d. h. die Wahl einfacher oder aufwendiger Analysenverfahren den tatsächlichen Erfordernissen anzupassen, damit eine vernünftige Beziehung zwischen der erwarteten Aussage und dem Aufwand besteht. Als Beispiele für Untersuchungsprogramme mit unterschiedlichem Aufwand seien hier eine ausführliche gutachtliche Prüfung einer Anlage nach Inbetriebnahme und ihre spätere laufende Überwachung genannt.

Bei einer gutachtlichen Überprüfung einer Abwasserreinigungsanlage, die über den Rahmen einer einfachen Kontrolle hinausgeht, sollte neben der Probennahme durch eine eingehende Inaugenscheinnahme der Produktions- und Abwasserreinigungsanlagen außerdem festgestellt werden, ob die Einrichtungen zur Behandlung der Abwässer den Erfordernissen entsprechen und auch unter extremen Bedingungen ihrer Aufgabe gerecht werden können. Die dabei gemachten Beobachtungen können möglicherweise später nach Vorliegen der Analysenergebnisse wesentlich zu einer fachgerechten Bewertung der analytischen Befunde und zur Abrundung des Urteils beitragen, insbesondere, wenn die entnommene Probe — wie das häufig der Fall ist — eine Stichprobe war.

Die Beurteilung des Abwassers, die somit nach Möglichkeit nicht ausschließlich nach den Ergebnissen einseitiger chemischer Untersuchungen, sondern möglichst auf Grund einer Zusammenfassung der Ergebnisse physikalischer, chemischer und biologischer Untersuchungsbefunde erfolgen sollte, wird bei Beachtung der vorerwähnten Punkte ein sachverständiges Urteil über die Abwassersituation darstellen. Sofern sie die Feststellung enthält, daß den geforderten Bedingungen mit den angewandten Verfahren nicht ganz Genüge getan worden ist, sollte sie sachdienliche Vorschläge zur Behebung vorhandener Mängel und zur Verbesserung angewandter Verfahren gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik unter Berücksichtigung der betrieblichen und technischen Gegebenheiten enthalten.

Mit einer einseitigen alleinigen Kontrolle festgelegter Grenzwerte ist der Sache des Gewässerschutzes nicht gedient. Sie entspricht zudem nicht der Aufgabe einer sinnvollen Abwasseruntersuchung und -beurteilung.

### **Zusammenfassung**

Es wird ein Überblick über die Gefahren gegeben, die durch unsachgemäße und unkontrollierte Ableitung galvanischer Abwässer entstehen können. Anschließend werden die Maßnahmen und technischen Möglichkeiten erörtert, die zu einer gefahrlosen Beseitigung der toxischen Substanzen dienen können. Hierbei wird insbesondere die Rolle der zentralen Entgiftungsanlagen zur Beseitigung von Konzentratoren und Halbkonzentratoren hervorgehoben.

Im zweiten Teil werden die Gesichtspunkte herausgestellt, die bei der Durchführung einer sachgerechten Abwasseruntersuchung insbesondere für Galvanikabwässer und deren Beurteilung unerlässlich sind. Es werden die derzeitig gebräuchlichen Analysenvorschriften aufgeführt, wobei insbesondere auf die Bestimmung von Cyaniden eingegangen wird. Abschließend wird auf die Bedeutung der Probennahme und -konservierung sowie auf die Ortsbesichtigung als unerlässliche Hilfen für die Ermittlung zuverlässiger Untersuchungsergebnisse und einer daraus resultierenden sachgerechten Beurteilung eines Abwassers hingewiesen.

### **Literatur**

1. HAMMER, L.: Wasserwirtschaft 49, 292—93 (1959) sowie Vortr. a. d. IWL-Forum „Schwermetalle im Abwasser — ihre Toxizität und Beseitigung“, Frankfurt, 24. 11. 1967, vgl. Zeitschr. f. Wasser- u. Abwasserforschg. 1, H. 1 (1968), 22—29.
2. BORN, R.: IWL-Forum 66/V (Wasserbehandlung im Galvanisierbetrieb) 45—60.
3. JOOSTEN, D.: Kommunalwirtschaft 1964, 408—12.
4. — —: „Erfahrungen mit dem Betrieb einer kommunalen Zentralentgiftungsanlage“, in „Grundlagen und Praxis der Behandlung von Abwässern der Metallindustrie“, Eugen G. Leuze-Verlag, Saulgau/Württ., im Druck.

5. Normalanforderungen für Abwasserreinigungsverfahren, Stand 1966, Verlag Wasser und Boden, Axel Lindow, Hamburg.
6. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, 3. Auflage, 1960, Verlag Chemie, Weinheim.
7. GIEBLER, G., P. KOPPE und H.-T. KEMPF: Gas- u. Wasserfach **105**, 1039—42 u. 1093—97 (1964).
8. LESCHBER, R.: Galvanotechnik **58**, 462—70 (1967).
9. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 12. Aufl., 1965, American Public Health Association, Inc., New York.
10. BALLNUS, W., und J. SUNJIC: Wasser, Luft u. Betr. **10**, 534—36, 541, 610—12, 676 u. 681—83.
11. JENKINS, S. H., u. a.: Journ. & Proc. Inst. Sewage Purification **1965**, 533—65.
12. BORCHERT, O.: Abwässer aus der chemischen Oberflächenbehandlung, Verlagsges. Rud. Müller, Köln-Braunsfeld 1966.
13. BRINGMANN, G., R. KÜHN und D. LÜDEMANN: Gas- u. Wasserfach **103**, 1127—32, 1132—36 (1962).
14. STUNDL, K.: Österr. Abw. Rundschau **10**, 118—22 (1965) sowie **12**, 38—40 (1967).
15. Berichte des Hauptausschusses für Meß- u. Kontrolleinrichtungen der Wassergüte-wirtschaft, Sachgebiet Probenahmeeinrichtungen (Bearbeiter: K. H. HUNKEN). Schriftenreihe DAW, Heft 10 A, 9—46 (1966), Verlag Erich Schmidt, Berlin—Bielefeld—München.
16. LESCHBER, R.: „Die Analytik industrieller Abwässer“, in: „Grundlagen und Praxis der Behandlung von Abwässern der Metallindustrie“, Eugen G. Leuze Verlag, Saulgau/Württ., im Druck.

Wissenschaftl. Rat Dr. LESCHBER  
Bundesgesundheitsamt  
1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

# Zur Frage der Beseitigung radioaktiver Abwässer, insbesondere bei der Anwendung von Radionukliden in Forschung, Medizin und Industrie

Von KARL AURAND

(Mit 8 Abbildungen im Text)

Nachdem auch in Deutschland die Anwendung der Kernenergie in den letzten Jahren immer größere Bedeutung erlangt hat, ist die Frage der Beseitigung radioaktiver Abwässer Gegenstand zahlreicher Diskussionen. Da mit dem Abwasser Radionuklide in die Umwelt des Menschen gelangen können, hat man dieser Frage auch in der Strahlenschutzgesetzgebung große Aufmerksamkeit zugewandt.

Seit Bestehen gesetzlicher Vorschriften auf dem Gebiet des Strahlenschutzes (1960) liegen nunmehr mehrjährige Erfahrungen hinsichtlich der verwaltungsmäßigen Handhabung der Genehmigungsverfahren und der damit verbundenen technischen Auflagen für die Behandlung radioaktiver Abwässer vor. Deshalb soll hier in aller Kürze versucht werden, den heutigen Stand und die Entwicklungstendenzen der Beseitigung radioaktiver Abwässer kritisch darzustellen. Da die technischen Maßnahmen zur Behandlung und Kontrolle radioaktiver Abwässer weitgehend von Art und Menge der anfallenden Abwässer bestimmt werden, kann das Problem nicht unabhängig von ihrer Herkunft behandelt werden. Deshalb wird man zweckmäßigerweise drei Gruppen von Einrichtungen, bei denen radioaktive Abwässer anfallen, unterscheiden:

## 1. Anwendung von radioaktiven Stoffen in Forschung, Medizin und Industrie

In den Laboratorien, in denen vorwiegend im Rahmen von Tracerstudien mit radioaktiven Stoffen gearbeitet wird, sei es in der Forschung, der Technik oder der Medizin, werden meist nur geringe Aktivitäten verwendet. Die Therapie mit Radionukliden in offener Form im medizinischen Bereich kann, obwohl hier höhere Aktivitäten erforderlich sind, in diese Gruppe mit einbezogen werden, da es sich um kurzlebige Radionuklide handelt. Eine besondere Art der Isotopenanwendung in der Industrie ist die Verarbeitung von Radionukliden als Strahlenquelle, z. B. zur Herstellung von Leuchtfarben. Hierbei werden im allgemeinen langlebige Radionuklide verwendet, und es werden relativ große Aktivitäten verarbeitet. Obwohl hier keine größeren Abwassermengen anfallen dürfen, muß bedacht werden, daß bei technischen Störungen oder Unfällen größere Aktivitäten ins Abwasser gelangen können.

## 2. Kernreaktoren

Bei Forschungsreaktoren fallen neben den direkt beim Reaktorbetrieb entstehenden radioaktiven Abwässern auch solche von der Isotopenerzeugung und -anwendung an. Diese Abwässer stellen ähnliche Probleme wie die unter 1. beschriebenen. Dagegen werden die immer größere Bedeutung erlangenden Kernkraftwerke unter anderen Gesichtspunkten zu beurteilen sein.

Wenn auch beim ordnungsgemäßen Betrieb die ins Abwasser gelangenden Aktivitäten sehr klein gehalten werden können, müssen die Dimensionierungen der Abwasseranlagen und Kontrolleinrichtungen auch das Auftreten von größeren technischen Störungen berücksichtigen, d. h. es sind im allgemeinen erheblich höhere technische Aufwendungen nötig als bei den unter 1. aufgeführten Fällen.

### 3. Kernbrennstoffe

Bei der Herstellung von Kernbrennstoffelementen müssen größere Mengen langlebiger Radionuklide mit hoher Radiotoxizität verarbeitet werden. Bei der Aufbereitung von verbrauchten Brennelementen müssen die darin erzeugten extrem hohen Mengen an Spaltprodukten aus dem Brennstoff entfernt werden. Die hierzu erforderlichen sehr aufwendigen radiochemischen Trennverfahren sind nur in großen kerntechnischen Anlagen möglich. Bei diesen großtechnischen Verfahren entstehen schwierigste abwassertechnische Probleme, sowohl in bezug auf die Höhe der Konzentration als auch der insgesamt anfallenden Abwassermengen. Somit stellt die Abfallbeseitigung eines der Hauptprobleme bei der technologischen Lösung der Aufbereitung dar.

Kernreaktoren und die Kernbrennstoff verarbeitende Industrie (Erzeugung und Aufbereitung) werden im allgemeinen ihr Abwasser nicht in die öffentliche Kanalisation abgeben. Dagegen werden die unter 1. aufgeführten Anwender in der Regel ihre Abwässer in ein öffentliches Abwassernetz einleiten. Im folgenden soll nur über diese Gruppe berichtet werden.

Da die für diese Zwecke benötigten Radionuklide in den letzten Jahren praktisch ausschließlich aus dem Ausland eingeführt werden mußten, ist die Einfuhrrate ein guter Maßstab für die Entwicklung des Einsatzes von Radionukli-

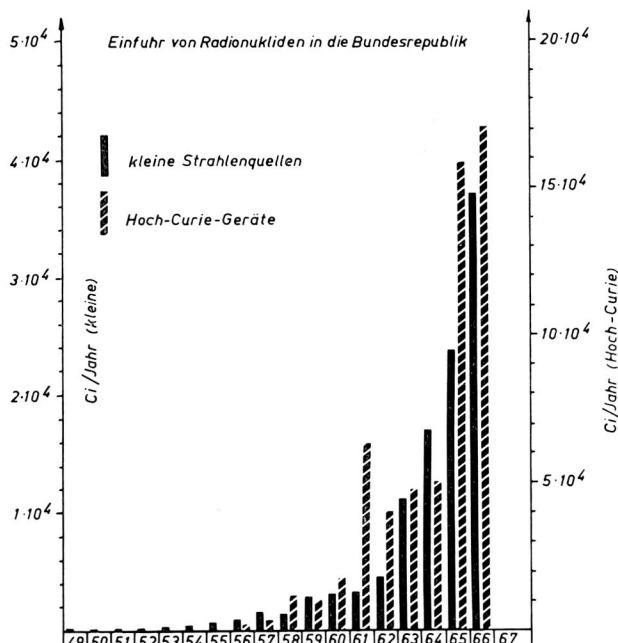


Abb. 1. Einfuhr von Radionukliden in die Bundesrepublik im Zeitraum 1949 bis 1966.

den in Forschung, Medizin und Industrie. (In letzter Zeit gewinnt auch die Produktion in deutschen Reaktoren eine gewisse Bedeutung.)

*Abbildung 1* zeigt, daß zwischen 1949 und 1955 nur sehr geringe Mengen eingeführt und angewandt werden konnten. Dies war eine Folge der alliierten Gesetzgebung. Erst die Aufhebung der Beschränkungen durch die Alliierten und der Beginn der staatlichen Förderung der Atomkernenergie ließen die Anwendung radioaktiver Stoffe stark zunehmen.

Es ist nun eine Erfahrungstatsache, daß immer, wenn in den letzten Jahrzehnten im Rahmen der fortschreitenden Industrialisierung neue Techniken oder neue Industriezweige Bedeutung erlangten, sich neuartige Probleme für die Umwelthygiene einstellten. Oft stellt die Beseitigung des Abwassers einen der entscheidenden Faktoren dar. Deshalb erweckte auch die rasche Zunahme der Anwendung radioaktiver Stoffe Befürchtungen, daß die Umwelt durch radioaktive Abwässer gefährdet würde. Eine Abschätzung dieser Gefahren läßt sich aus *Abbildung 1* noch nicht ablesen, da in dieser Abbildung nicht nur die Radionuklide aufgeführt sind, die in offener Form zur Anwendung kommen und somit potentiell für eine Ableitung mit dem Abwasser in Frage kommen, sondern auch die Radionuklide, die in geschlossener Form, insbesondere als Großcurie-Bestrahlungseinheiten, eingesetzt werden.

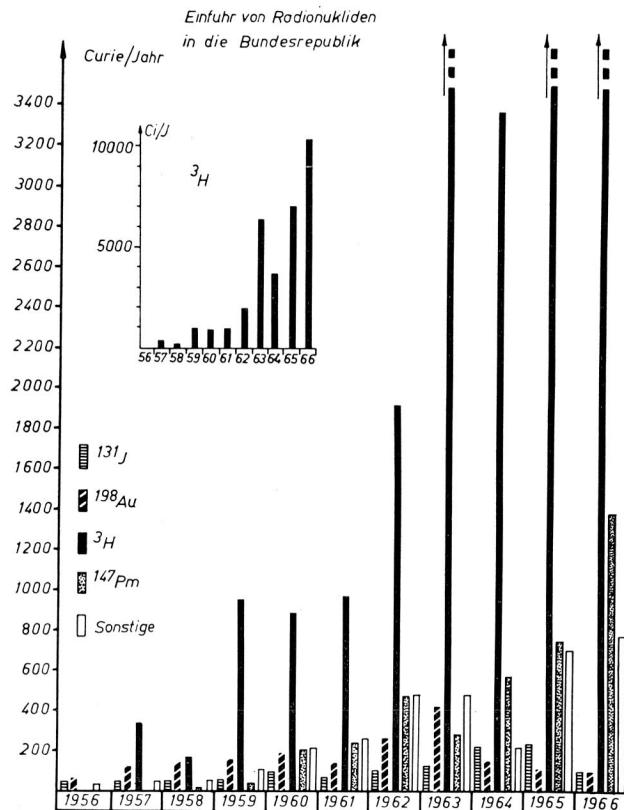


Abb. 2. Einfuhrrate der wichtigsten in offener Form verwendeten Radionuklide im Zeitraum 1956 bis 1966.

Deshalb ist in *Abbildung 2* die Einfuhrrate für die wichtigsten Radionuklide, die in offener Form zur Anwendung kommen, gesondert für die Zeit von 1956 bis 1966 dargestellt. Diese Darstellung läßt für die einzelnen Radionuklide eine sehr unterschiedliche Entwicklung erkennen. So zeigt z. B. die Einfuhr von Jod-131, welches überwiegend in der Medizin bei Diagnostik und Therapie von Schilddrüsenerkrankungen angewendet wird, keine Zunahme, eher einen gewissen Rückgang, zumindest aber eine Stabilisierung. Dasselbe gilt für Gold-198.

Ein vollkommen anderes Bild ergibt sich dagegen bei Tritium und Promethium-147. Dies ist aber nicht auf eine Steigerung der Anwendung dieser Nuklide in der Forschung zurückzuführen, sondern darauf, daß beide Radionuklide in der letzten Zeit in immer stärkerem Maße zur Aktivierung von Leuchtfarben industriell genutzt werden.

Die Auswertung dieser Bilanzen gibt genug Grund, das gesamte Problem der Abgabe von Radionukliden mit dem Abwasser und damit ihres Eindringens in den Wasserkreislauf im Hinblick auf den Schutz der Bevölkerung näher zu untersuchen.

Während in anderen Bereichen der Abwasserbeseitigung, etwa beim Anfall neuer industrieller Abwässer, sich vielfach völlig neue Probleme stellen und eine Bewertung der Abgabe dieser neuen Stoffe in den Wasserkreislauf nur mit größter Unsicherheit möglich ist, hatten wir auf Grund der weltweiten Kontamination der Biosphäre mit radioaktiven Spaltprodukten von Atomwaffenversuchen in den letzten Jahren Gelegenheit, das Verhalten von Radionukliden im Wasserkreislauf zu studieren.

In *Abbildung 3* sind die verschiedenen Wege der radioaktiven Spaltprodukte von Kernwaffenversuchen und der radioaktiven Abfallprodukte vom Umgang mit radioaktiven Stoffen im Wasserkreislauf bis hin zum Menschen dargestellt. Neben dem direkten Transport zum Menschen mit dem Wasser ist auch der indirekte über die Lebensmittel von besonderer Bedeutung. Die Ver-

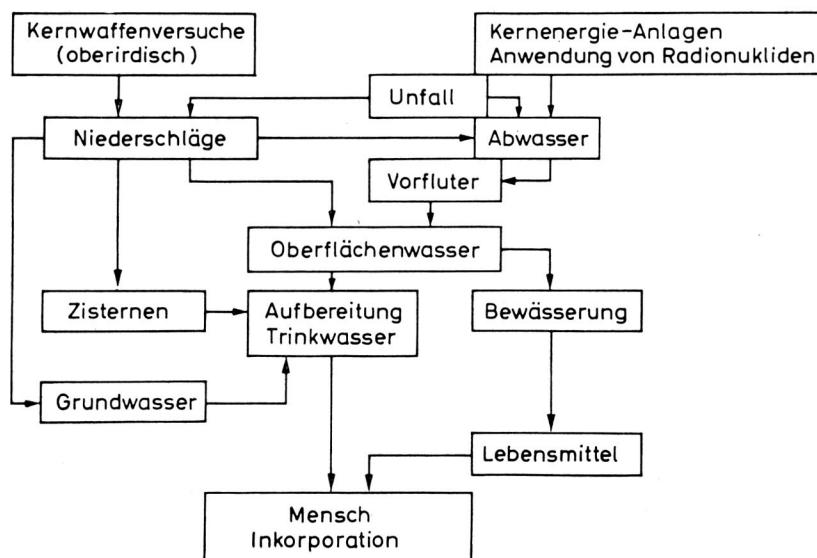


Abb. 3. Möglichkeiten der Einwirkung von Radionukliden auf den Menschen.

teilung von Spaltprodukten in verschiedenen Wasservorkommen wurde von uns in den letzten Jahren untersucht (1).

In Abbildung 4 sind die mittleren Konzentrationen der Radionuklide Strontium-90, Cäsium-137, Ruthen-Rhodium-106 und Zirkon-Niob-95 dargestellt, die als langlebige Spaltprodukte für solche Untersuchungen besonders geeignet sind und sich in ihrem chemischen Verhalten, insbesondere bei der Bodenpassage, unterscheiden und somit auch als Modelle für andere, chemisch ähnliche Stoffe dienen können. Die Abnahme des Gehaltes an Radionukliden bei den verschiedenen Wässern vom Regenwasser bis hin zum Grundwasser war eindeutig nachzuweisen. Andererseits haben diese Untersuchungen aber auch erwiesen, daß in fast allen untersuchten Grundwässern in der Bundesrepublik Spaltprodukte von Kernwaffenversuchen nachzuweisen waren. Diese Ergebnisse zeigen, daß wir den gesamten Wasserkreislauf erfassen konnten und somit Unterlagen auch für die Beurteilung besonderer Unglücksfälle bei kerntechnischen Anlagen gewonnen haben.

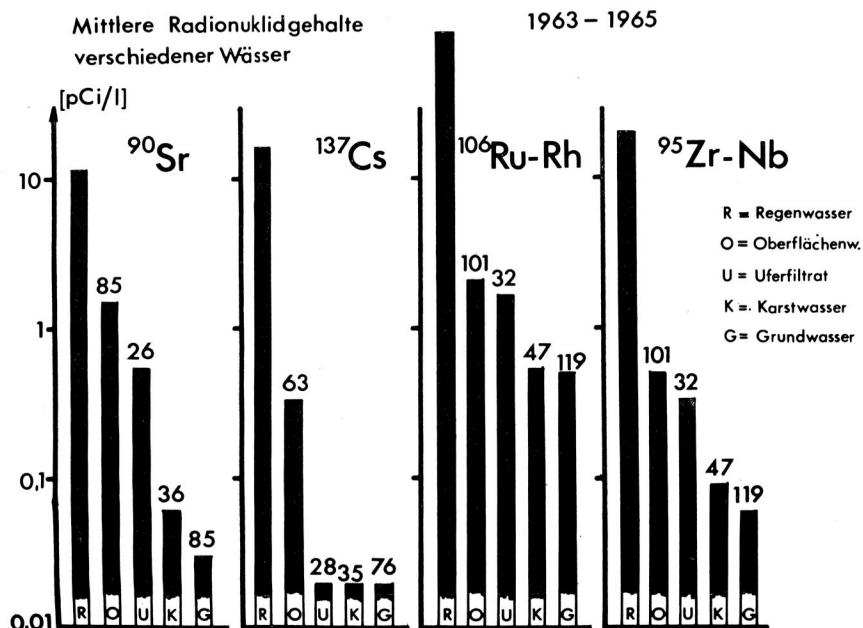


Abb. 4. Mittlere Radionuklidgehalte verschiedener Wässer.

Die staatliche Förderung der Atomkernenergie und der Eintritt in die Europäische Atomgemeinschaft veranlaßten die Bundesrepublik, ein besonderes Atomgesetz am 23. 12. 1959 zu erlassen (2), dessen wichtigster Grundsatz es ist, Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und den schädlichen Wirkungen der ionisierenden Strahlen zu schützen. In diesem Gesetz hat der Gesetzgeber auch zum Erlass von Strahlenschutzverordnungen ermächtigt.

Diese Verordnungen haben unter anderem die Aufgabe, die Anwendung der von der Wissenschaft erarbeiteten Grundsätze des Strahlenschutzes sicherzustellen. Die wichtigsten Fakten, die als Basis für den Strahlenschutz zu werten sind, sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP) hat in den letzten Jahrzehnten in Zusammenarbeit von Wissen-

**STRAHLENSCHUTZ**  
**Strahleneinwirkung von „Innen“ und „Außen“**

Somatische Schäden Individuum	Genetische Schäden Population	
Höchstzulässige Dosen	Jahres-Dosis in rem	
	Beschäftigte	Personen a. d. Öffentlichkeit
Gonaden + r. Knochenmark + GK	5	0,5
Haut + Knochen + Schilddrüse	30	3 (1,5)
Hände + Unterarm + Füße + Knöchel	75	7,5
Andere einzelne Organe	15	1,5

Mittlere Dosis Gesamtbevölkerung		
Genetische Dosis (ohne nat. u. med.)	5 rem/30a (150 mrem/a)	
Natürliche Strahleneinwirkung		100—200 mrem/a

Abb. 5. Höchstzulässige Dosen für den Schutz des Menschen  
gegen die Strahleneinwirkung von „Innen“ und „Außen“.

schaftlern aus fast allen Ländern Empfehlungen für den Strahlenschutz erarbeitet (3). Grundlage und Kern dieser Empfehlungen sind die Festlegung höchstzulässiger Dosen für „Beschäftigte“ und für die Bevölkerung. Zu den Beschäftigten zählen die Personen, die bei ihrer Berufsausübung der Einwirkung ionisierender Strahlung ausgesetzt sind. Jugendliche und Schwangere werden von einer derartigen Tätigkeit ausgeschlossen. Die Begrenzung der Dosis soll die Beschäftigten vor allem vor somatischen Schäden schützen. Für die Personen in der Öffentlichkeit, d. h. in der Umgebung von solchen Anlagen, hat man besondere, geringere Dosisgrenzwerte festgelegt. Für die Gesamtbevölkerung gilt eine Dosis von 5 rem innerhalb von 30 Jahren als zulässig, die aber als mittlere Dosis, gemittelt über die Gesamtbevölkerung, festzustellen ist. Dieser Grenzwert ist nach populationsgenetischen Gesichtspunkten festgesetzt. Er entspricht etwa einer Verdoppelung der natürlichen Strahleneinwirkung auf die Bevölkerung.

Diese Grundprinzipien des Strahlenschutzes sind auch die wichtigste Grundlage für die von der Europäischen Atomgemeinschaft erlassenen Richtlinien zur Festlegung der Grundnormen für den Gesundheitsschutz vom 2. 2. 1959 (4).

Für die Behandlung von Abwasserfragen waren die wichtigsten Fakten die in diesen Empfehlungen für Trinkwasser festgelegten höchstzulässigen Konzentrationen für die verschiedenen Radionuklide. Nachdem die Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP) eine höchstzulässige Dosis für die verschiedenen Gruppen der Bevölkerung festgelegt hatte, war es naheliegend zu fragen, welche Menge an radioaktiven Stoffen die einzelnen Personen aufnehmen, d. h. in ihrem Körper ablagern können, ohne diese höchstzulässige Dosis zu überschreiten. Aufgrund der Kenntnisse der physikalischen Eigenschaften der Radionuklide und der biologischen Fakten war es möglich, diese Menge zu bestimmen. Es konnte nun berechnet werden, wieviel von dem jeweiligen Radionuklid eine Person

während ihres ganzen Lebens täglich aufnehmen kann, ohne diese höchstzulässige Menge im Körper zu überschreiten. Aufgrund dieser Überlegungen wurden für die verschiedensten Radionuklide höchstzulässige Konzentrationen in Trinkwasser und Atemluft berechnet.

In der Ersten Strahlenschutzverordnung (5) wurde zur Regelung der Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser unter Berücksichtigung des Grundsatzes der größtmöglichen Sicherheit für die Bevölkerung auf diese Trinkwasserkonzentrationswerte zurückgegriffen. Allerdings wurden die Konzentrationswerte für Beschäftigte zugrunde gelegt, d. h. es wurde eine Verdünnung bis hin zur Bevölkerung um einen Faktor  $>30$  angenommen, denn es sollte sichergestellt sein, daß die Bevölkerungsdosis auch durch Kontamination der Atmosphäre und der Lebensmittel und durch die Umgebungsstrahlung nicht überschritten wird. Um eine Beurteilung der Gefährdung der Bevölkerung durch die Anwendung radioaktiver Stoffe in offener Form vornehmen zu können, sind in Abbildung 6 die wichtigsten Radionuklide, die in offener Form angewendet werden, zusammengestellt. Die Einfuhrrate des jeweiligen Nuklids gibt einen Anhalt für die Bedeutung der Anwendung. Die unterschiedliche Radiotoxizität dieser Nuklide ist durch die zulässige Konzentration charakterisiert, je niedriger die Konzentration, um so größer die Radiotoxizität.

Unter der die größte Sicherheit bietenden Annahme, daß die gesamte eingeführte Aktivität über das Abwasser abgegeben wird, ist das jeweils erforderliche Abwasservolumen zur Einhaltung der in der Strahlenschutzverordnung festgelegten zulässigen Konzentrationen aufgeführt. Diese als „theoretisches Abwasservolumen“ bezeichnete Größe macht es möglich, die unterschiedliche Bedeutung bezüglich der Gefährlichkeit durch eine einzelne Zahl besser zu erfassen.

Die Auswertung zeigt, daß für das Jahr 1965 ein theoretisches Abwasservolumen von 26 Millionen Kubikmetern ausreichend war, um die wichtigsten in offener Form zur Anwendung kommenden Radionuklide in ihrer Gesamtheit auf zulässige Konzentration zu bringen.

Bedenkt man, daß ein Teil dieser Radionuklide eine sehr kurze Halbwertszeit hat und somit die insgesamt aufgeföhrte Menge nie gleichzeitig in der Bun-

Nuklid	MZK <sup>1)</sup> 1. SSVO ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )	Einfuhr 1960 (Ci)	Einfuhr 1965 (Ci)	Theor. Abwasservol. ( $\text{m}^3$ ) 1960	Theor. Abwasservol. ( $\text{m}^3$ ) 1965	1965 1960
<sup>3</sup> H	$3 \cdot 10^{-2}$	782	7107,4	26 070	237 000	9,1
<sup>147</sup> Pm	$2 \cdot 10^{-3}$	197	749,0	98 500	374 000	3,8
<sup>198</sup> Au	$5 \cdot 10^{-4}$	177	115,1	354 000	230 000	0,7
<sup>131</sup> I	$1 \cdot 10^{-5}$	68	256,4	6 800 000	25 600 000	3,8
<sup>32</sup> P	$2 \cdot 10^{-4}$	11	21,9	55 000	110 000	2,0
<sup>35</sup> S	$6 \cdot 10^{-4}$	5	8,2	8 330	13 700	1,6
<sup>82</sup> Br	$4 \cdot 10^{-4}$	2	0,1	5 000	240	0,05
<sup>14</sup> C	$8 \cdot 10^{-3}$	1	3,9	125	490	3,9
<sup>24</sup> Na	$3 \cdot 10^{-4}$	1	2,2	3 330	7 300	2,2
<sup>51</sup> Cr	$2 \cdot 10^{-2}$	<1	665,8	< 50	33 290	$\sim 700$
<sup>1)</sup> Maximal zulässige Konzentration				7 350 400	26 606 520	3,6

Abb. 6. „Theoretische Abwasservolumina“ für in offener Form verwendete Radionuklide.

desrepublik vorhanden war, und daß ferner der größte Teil der eingeführten Aktivität nicht ins Abwasser gelangt, so zeigt sich, daß dieser Wert von 26 Millionen m<sup>3</sup> mit einer großen Sicherheit behaftet ist.

Das Jod-131, welches nur einen Anteil von 3 % der eingeführten Aktivität darstellt, benötigt zu seiner Verdünnung auf zulässige Konzentration allein über 96 % des gesamten theoretischen Abwasservolumens (1965). Dies zeigt, daß für eine Beurteilung der Gefährdung der Umwelt die Einzelnuklidbestimmung unbedingt erforderlich ist.

Der Aussagewert der aus meßtechnischen Gründen vielfach verwendeten Bestimmung der Gesamt- $\beta$ -Aktivität ist in den meisten Fällen gering. Eine gewisse Grundlage für die Beurteilung stellt sie trotzdem dar.

Da die gesamten Strahlenschutzmaßnahmen bei den Genehmigungsverfahren in den letzten Jahren auf diese Konzentrationswerte abgestellt waren, versuchten wir, in einer besonderen Studie die tatsächlichen Gefährdungsmöglichkeiten im einzelnen zu analysieren (6).

In *Abbildung 7* sind die wichtigsten Wege der in das Abwasser gelangten Radionuklide bis zur möglichen Aufnahme vom Menschen zusammengestellt. Hierbei sind alle möglichen Konzentrierungs- und Abreicherungsvorgänge zu berücksichtigen.

Wenn radioaktives Abwasser in die öffentliche Kanalisation geleitet wird, so stellt sich die erste Frage, inwieweit Gefahren für Personen bestehen, die in der Kanalisation arbeiten. Für alle wichtigen Radionuklide wurden von uns Abschätzungen über die theoretisch mögliche Dosisbelastung von Beschäftigten der Kanalisation durchgeführt. Weiterhin konnten Erhebungen über das Verhalten der wichtigsten Radionuklide (Ab- und Anlagerung in der Kanalisation) angestellt werden. Die Ergebnisse haben gezeigt, daß praktisch kein Fall vorstellbar ist, in dem durch Anwendung radioaktiver Stoffe in Forschung, Medizin und Industrie — auch in Fällen einer großen technischen Störung — eine Gefährdung durch Strahleneinwirkung von außen möglich ist. Eine Inkorporationsgefahr ist wegen der allgemeinen Arbeitsbedingungen in der Kanalisation ebenfalls praktisch nicht gegeben (6, 7). Somit hat sich die Gefährdungsbetrachtung nur auf die mögliche Einwirkung auf die Bevölkerung zu beschränken. Für die Bevölkerung ist theoretisch nur eine Gefährdung durch Wiederaufnahme radioaktiver Stoffe über den Wasserkreislauf möglich.

In *Abbildung 8* sind noch einmal die wichtigsten Faktoren für diese Abschätzung der Gefahr für die Bevölkerung bei der Abgabe radioaktiver Abwässer dargestellt. Wird eine bestimmte Aktivität A mit dem Abwasser abgegeben, so wird sie zu irgendeinem Zeitpunkt in einen Vorfluter gelangen. Von dieser Aktivität kann ein gewisser Teil aus dem Flussystem — z. B. über die Aufbereitung des Flusswassers zu Trinkwasser — oder über bestimmte Lebensmittel zum Menschen gelangen. Dieser Anteil bestimmt die Höhe der zusätzlichen mittleren Strahlenbelastung der betroffenen Bevölkerung.

Das aus dem Fluss entnommene Wasser wird zwar als Trinkwasser von den Wasserwerken abgegeben, sein größter Teil wird jedoch für andere Zwecke benutzt werden und wieder in den Fluss zurückgelangen. Von der ursprünglichen Aktivität gelangt also nur ein ganz geringer Bruchteil mit dem Trinkwasser zur Aufnahme durch Menschen. Auch für den indirekten Weg über die Lebensmittel, die durch die Bewässerung mit Flusswasser oder Trinkwasser kontaminiert werden können, ist der zu erwartende Anteil äußerst gering.

Umfangreiche Erhebungen am Columbia River, wo seit über 20 Jahren erhebliche Aktivitäten in den Fluss gelangen und größere Bevölkerungen einer

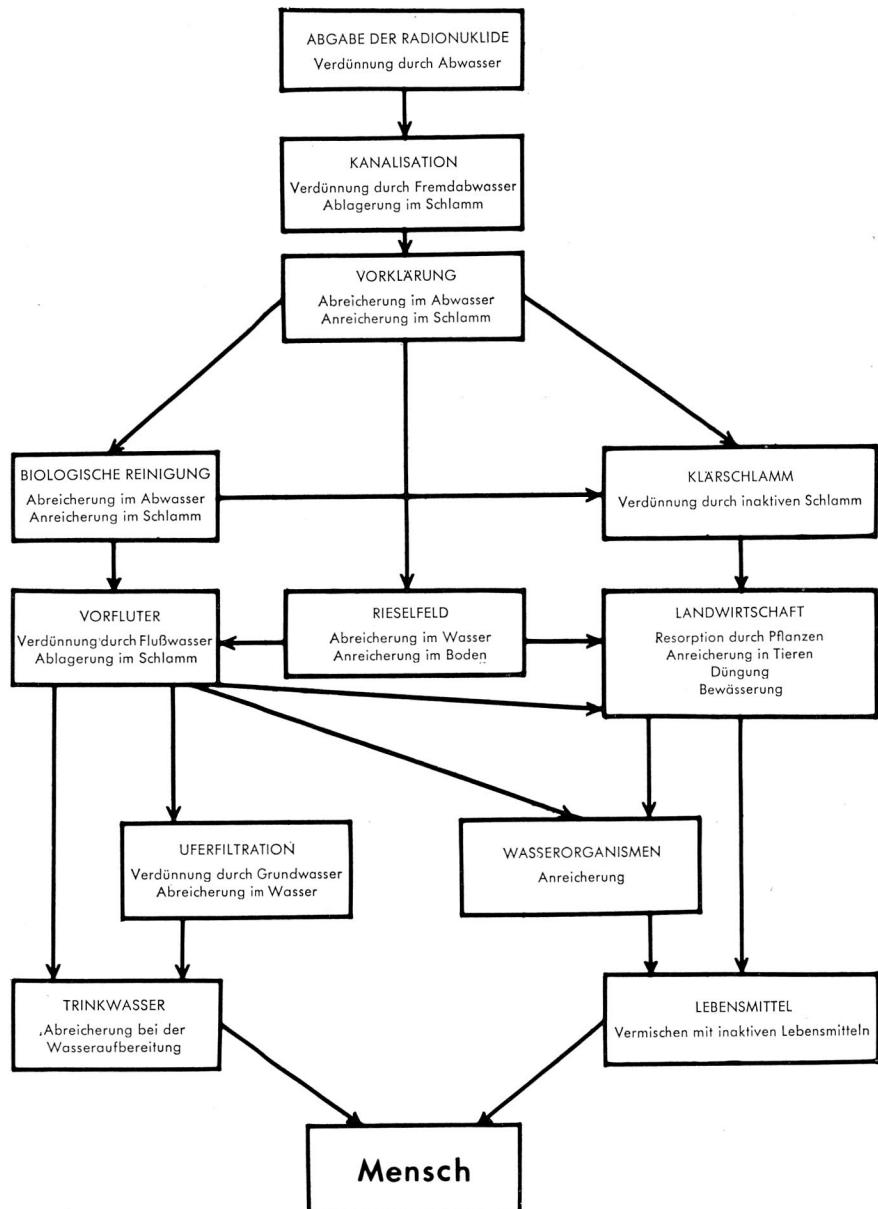


Abb. 7. Wege der Radionuklide von der Abgabe in die Kanalisation bis hin zum Menschen.

zusätzlichen Strahlenbelastung ausgesetzt sind, ermöglichen eine exakte Abschätzung der Wechselwirkung zwischen eingeleiteter Aktivität und der Strahlenbelastung der Bevölkerung (8). Diese Erhebungen bestätigen die theoretischen Abschätzungen.

In den letzten Jahren führten wir Erhebungen über die in verschiedenen Laboratorien der Bundesrepublik eingebauten Abwasserbehandlungsanlagen

## ABSCHÄTZUNG DER GEFAHREN BEI ABGABE RADIOAKTIVER ABWÄSSER

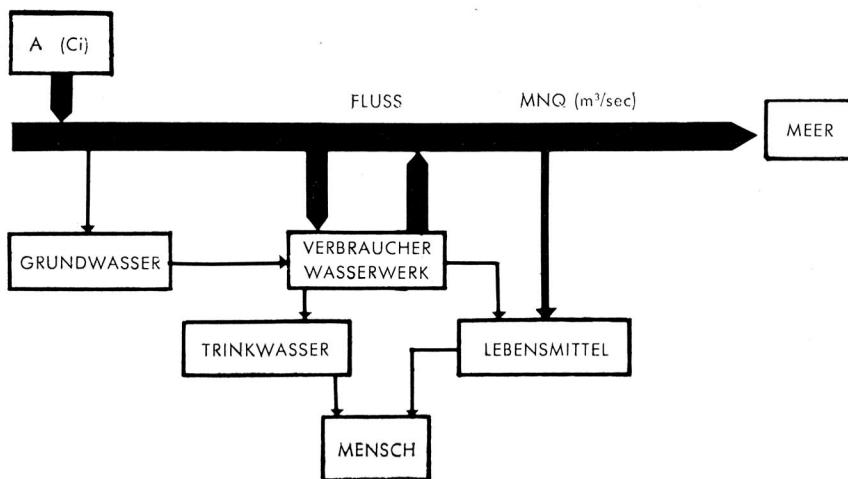


Abb. 8. Für die Abschätzung der Gefahren radioaktiver Abwässer bedeutsame Vorgänge.

durch. Über die Ergebnisse dieser Erhebungen wird nach Abschluß im einzelnen an anderer Stelle berichtet werden. Als wichtigstes Ergebnis haben aber diese Erhebungen schon jetzt gezeigt, daß wegen der starken Bewertung des Konzentrationsbegriffes viele technische Einrichtungen, die z. T. erheblichen Aufwand erforderten, für den einzigen Zweck geschaffen wurden, die anfallenden Abwässer zu verdünnen und dann dem Kanalisationssystem zu übergeben.

Das bedeutet, daß in diesen Fällen für den Strahlenschutz nichts erreicht wurde, denn durch Verdünnen vor Einleitung in die Kanalisation kann die mittlere Aufnahme radioaktiver Stoffe in Trinkwasser und Nahrungsmitteln durch die Bevölkerung nicht herabgesetzt werden. Da aber eine der wichtigsten Forderungen des Strahlenschutzes ist, daß

„... jede Strahleneinwirkung und somit auch die Verbreitung radioaktiver Stoffe so gering wie möglich gehalten werden soll“ (§ 21 der 1. SSVO und Art. 6 § 1 der EURATOM-Grundnormen),

so ist zu fordern, daß bei jeder Beseitigung radioaktiver Abwässer in erster Linie die Reduzierung der abgegebenen Aktivität anzustreben ist. Der Konzentrationswert hat nur sekundäre Bedeutung. Er kann z. B. für die Festlegung von Grenzen, von denen ab eine Aufbereitung des Abwassers zumutbar ist, dienen.

In Zukunft wird also bei der Behandlung radioaktiver Abwässer der Schwerpunkt darauf gelegt werden müssen, die abgegebene Aktivität möglichst gering zu halten. Auf dieses Ziel sind alle technischen und organisatorischen Maßnahmen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen zu richten.

Entstehen beim Arbeiten mit radioaktiven Stoffen Abwässer, so sollten sie nicht verdünnt, sondern entweder in konzentrierter Form zum Abklingen gelagert oder zur Aufbereitung und gefahrlosen Endlagerung abgeliefert werden. Die Erfahrung hat überdies gezeigt, daß bei entsprechender Arbeitsdisziplin und

Erfahrung die anfallenden Volumina an Abwasser so gering gehalten werden können, daß durch Lagerung der größte Teil der radioaktiven Stoffe, die ins Abwasser gelangt sind, ohne Abgabe an die Umwelt beseitigt werden kann.

### Literatur

1. AURAND, K.: Radioaktive Stoffe in Abwasser und Trinkwasser. Röntgenpraxis XIX (1966) H. 10, 266—76, S. Hirzel Verlag, Stuttgart.
2. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) vom 23. 12. 1959, BGBl. I, S. 814.
3. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 2) Report of Committee II on Permissible dose for Internal Radiation (1959), Pergamon Press, London—New York—Paris—Los Angeles.
4. Richtlinien zur Festlegung der Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen vom 2. 2. 1959. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. 11 vom 20. 2. 1959, S. 221/59.  
Richtlinien zur Revision der Anhänge 1 und 3: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. 57 vom 9. 7. 1962, S. 1633/62.  
Richtlinien zur Änderung der Richtlinien: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. 216 vom 26. 11. 1966, S. 3693/66.
5. Zweite Verordnung zur Änderung und Ergänzung der Ersten Strahlenschutzverordnung vom 12. 8. 1965, BGBl. I, S. 759 vom 14. 8. 1965.
6. AURAND, K., J. ARNDT und R. WOLTER: Untersuchungen über das Verhalten von Radionukliden in Kanalisationen und Kläranlagen im Hinblick auf eine Einleitung radioaktiver Abwässer mit kurzzeitig erhöhten Konzentrationen. Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung, Forschungsbericht K 66—04, April 1966, Forschungsbericht K 66—46, Dezember 1966, ZAED Frankfurt/Main.
7. —, und R. WOLTER: Hazards Resulting from Discharge of Radioactive Wastes into Municipal Sewers. Proc. Symp. Disposal of Radioactive Wastes into Seas, Oceans and Surface Waters, IAEA Vienna, 16.—20. May 1966, S. 697—708.
8. FOSTER, R. F., and J. K. SOLDAT: Evaluation of the Exposure Resulting from the Disposal of Radioactive Wastes into the Columbia River. Proc. Symp. Disposal of Radioactive Wastes into Seas, Oceans and Surface Waters. IAEA, Vienna, 16.—20. May 1966, S. 683—696.

Privatdozent Dr. med. AURAND  
Direktor und Professor im Bundesgesundheitsamt  
1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

# Aktuelle Probleme der Lufthygiene

Von ARNOLD HELLER

Das 1960 in Kraft getretene Gesetz zur Änderung der Gewerbeordnung und Ergänzung des Bürgerlichen Gesetzbuches (1) hat den Bestrebungen zur Reinhaltung der Luft in der Bundesrepublik entscheidenden Auftrieb gegeben. Die erste Rechtsverordnung (2) zu diesem Gesetz ist noch im Jahre 1960 erlassen worden. Sie enthält den Katalog derjenigen Anlagen, die unter § 16 der Gewerbeordnung fallen. Seit Erlass dieser Verordnung sind neue Fabrikationsanlagen entstanden, von denen Luftverunreinigungen ausgehen, die die Nachbarschaft erheblich belästigen können. Daher sind von der Bundesregierung in der Zwischenzeit Vorbereitungen zur Anpassung dieser Verordnung an den Stand der technischen Entwicklung getroffen worden, die jetzt im wesentlichen abgeschlossen sind.

Bei der 2. Durchführungsverordnung zum gleichen Gesetz handelt es sich um Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft — abgekürzt: TAL) vom 8. September 1964 (3). In der TAL, die sich in zwei Hauptteile gliedert, nämlich in Allgemeine Vorschriften zur Reinhaltung der Luft und Mindestanforderungen für einzelne Anlagearten, sind diejenigen Anforderungen festgelegt worden, die die zuständigen Behörden an die genehmigungsbedürftigen Anlagen zu stellen haben. Die TAL enthält ferner Vorschriften für nachträgliche Anforderungen an die technischen Einrichtungen und den Betrieb einer Anlage sowie Vorschriften für die Anordnung über Feststellung von Art und Ausmaß von Rauch, Ruß, Dämpfen und Gerüchen, die von einer Anlage ausgehen, und zwar sowohl für die Emissionen als auch für die Immissionen.

Die Allgemeinen Vorschriften zur Reinhaltung der Luft gründen sich auf folgende Erkenntnisse: 1. Die Luft muß so rein wie möglich sein. Alle Anlagen sollen daher mit den dem jeweiligen Stand der Technik entsprechenden Einrichtungen zur Begrenzung und Verteilung der Emission ausgerüstet werden. 2. Ge-wisse Immissionswerte im Einwirkungsbereich der Anlage dürfen nicht überschritten werden.

Die TAL ist in erster Linie für die zuständigen Genehmigungs- und Überwachungsbehörden als Arbeitsgrundlage gedacht. Sie ist außerdem für die Planung der staub- und abgasemittierenden Werke sowie für die Hersteller von Einrichtungen zur Abgasreinigung oder von Meß- und Überwachungsgeräten wichtig und auch für die immissionsbedrohten Nachbarn von Bedeutung. Nicht zuletzt hat sie sich richtungsweisend auf die Forschungsarbeiten ausgewirkt, die in diesem Institut in den letzten Jahren durchgeführt worden sind, weil sie für die wichtigsten Luftverunreinigungen, wie Staub und Schwefeldioxid, Probenahme- und Untersuchungsverfahren vorschreibt.

Da die technische Entwicklung schnell fortschreitet, soll auch die TAL laufend den veränderten Verhältnissen angepaßt werden. In Zusammenarbeit mit Vertretern aus Wissenschaft, Technik und Wirtschaft hat die VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“ in den letzten Jahren wichtige Vorarbeiten für den Aus-

bau der TAL geleistet, so daß die in absehbarer Zeit zu erwartende Ergänzung der TAL Emissionsbeschränkungen bei etwa 30 weiteren Anlagearten im gewerblichen und industriellen Bereich bringen wird.

Das zweite für unsere Arbeiten wichtige Bundesgesetz ist am 17. Mai 1965 erlassen worden. Es ist das Gesetz über Vorsorgemaßnahmen zur Luftreinhaltung (4). Es steht in engem Sachzusammenhang mit dem eben besprochenen Gesetz und den dazu erlassenen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften. Das sogenannte „Vorsorgegesetz“ verlangt die Errichtung von Meßstationen in den mit Luftverunreinigungen besonders beaufschlagten Gebieten der Bundesrepublik, den sogenannten Ballungsgebieten oder — wie es im Gesetz heißt — Kontrollgebieten. Diese „Kontroll“gebiete sollen später durch Rechtsverordnung festgelegt werden. Man möchte auf diese Weise den Stand und die Entwicklung der Luftverunreinigung in der Bundesrepublik kennenlernen, um eine Grundlage für Abhilfe- und Vorsorgemaßnahmen zur Verminderung der Verunreinigung zu bekommen. Die Erfahrung hat gelehrt, daß man zahlreiche Komponenten der Luftverunreinigung gleichzeitig mit den meteorologischen Verhältnissen messen und fortlaufend registrieren muß, wenn man sich über die gesundheitlichen Gefahren der Luftverunreinigung Klarheit verschaffen will.

Solche Messungen sind außerordentlich aufwendig; denn sie können nur in kontinuierlich arbeitenden, automatisch betriebenen Meßstationen, deren Einrichtung auf etwa  $\frac{1}{4}$  Million DM zu veranschlagen ist, vorgenommen werden. Um eine ausreichende Auskunft über die Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung der Bundesrepublik zu erhalten, wird die Errichtung von etwa 25 Meßstationen, die über die Ballungsgebiete der Industrie und der Bevölkerung sinnvoll zu verteilen sind, für erforderlich gehalten. Durch enge Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. GEORGII vom Meteorologischen Institut der Universität Frankfurt, der seit einiger Zeit im Frankfurter Raum drei Versuchsstationen betreibt, wird das Institut über den Stand der Dinge laufend unterrichtet.

Außer den industriellen Abgas-, Abluft- und Staubquellen sind nach der überaus starken Zunahme der Kraftfahrzeuge in den letzten Jahren gegenwärtig die Kfz-Abgase zu einem besonders aktuellen Problem der Lufthygiene geworden. Untersuchungen in den Vereinigten Staaten von Amerika hatten ergeben, daß die in den Abgasen der Kraftfahrzeuge enthaltenen Bestandteile die Gesundheit der Bevölkerung gefährden und auch Vegetationsschäden verursachen können. Diese Befunde veranlaßten das Bundesministerium für Gesundheitswesen, unter anderem auch das Institut mit einschlägigen Forschungsarbeiten zu betreuen. Über die Ergebnisse der einen Aufgabe: „Die Luftverunreinigung durch Kraftfahrzeuge an einem verkehrsreichen Punkt in Berlin“ wird in diesem Heft auf S. 77 berichtet (5). Die zweite Aufgabe: „Die medizinisch-biologische Wirkung von Kraftfahrzeugabgasen“ ist in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialprüfung von uns in Angriff genommen worden.

Schließlich gibt es noch Verunreinigungsquellen, für die die Bundesrepublik aus verfassungsrechtlichen Gründen nicht kompetent ist. Der Anteil dieser Anlagen an der Gesamtluftverunreinigung ist gar nicht gering. Er wird sogar im industriereichen Lande Nordrhein-Westfalen auf mindestens 30 % geschätzt. Bei diesen Emittenden, die also nicht unter die Bestimmungen der Gewerbeordnung fallen, handelt es sich um kleingewerbliche Anlagen, wie Bäckereien, Schmieden, Schmelzanlagen, Beizereien, Härtereien, und um den Hausbrand sowie um alle Feuerungen mit Leistungen unter 800 000 Kcal/h, was einem Brennstoffverbrauch von stündlich etwa 80 kg Heizöl bzw. 110 kg Kohle entspricht. Nicht zuletzt

sind in diesem Zusammenhang auch die vielen kleinen Müllverbrennungsanlagen der Wohn- und Siedlungsblocks zu nennen.

Nachdem Nordrhein-Westfalen 1962 ein besonderes Immissionsschutzgesetz (6) für die Genehmigung und Überwachung aller dieser Luftverunreinigungsquellen erlassen hatte, sind die Länder Baden-Württemberg (7) im Jahre 1964, Niedersachsen (8) und Rheinland-Pfalz (9) 1966 diesem Beispiel gefolgt.

Im Rahmen sowohl der bundes- als auch der landesgesetzlichen Regelung spielen die Immissionsuntersuchungen eine beträchtliche Rolle. Das bei Immisionsmessungen zweckmäßigste Probenahmeschema, das heißt die für einen repräsentativen Überblick erforderliche Anzahl von Meßstellen (Meßstellendichte) und die erforderliche Meßhäufigkeit, ist in Deutschland Gegenstand eingehender Erörterungen gewesen. Es hat sich als sehr problematisch erwiesen, Meßschemen bis in weitgehende Einzelheiten verbindlich vorzuschreiben (10). Ein derartiger Perfektionismus kann zu unangemessenen oder gar nicht mehr zu realisierenden Forderungen führen. Nach unseren Erfahrungen sind die Immissionssituationen in den verschiedenen Gebieten der Bundesrepublik so unterschiedlich, daß ein einziges Schema für die zweckmäßigste Durchführung von Luftuntersuchungen derzeit noch nicht angegeben werden kann. Außerdem können die Zielsetzungen bei Luftuntersuchungen sehr verschieden sein. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß es unseres Wissens auch im Ausland keine verbindlichen Vorschriften für die Probenahme gibt, die über recht allgemeine Angaben hinausgehen.

Das für ein Luftuntersuchungsprogramm zweckmäßigste Meßschema ist also in erster Linie bedingt durch das Ziel der Messung, ferner aber auch durch den im Einzelfall möglichen materiellen, apparativen und personellen Aufwand. Bei gezielten oder Ermittlungsmessungen soll die Auswirkung einer Abgasquelle auf die Luftbeschaffenheit in deren Umgebung festgestellt werden.

Bei Pegelmessungen, die auch Belastungsmessungen genannt werden, soll der Grad der Luftverunreinigungen in einem mehr oder weniger großen Gebiet bestimmt werden.

Nach der Art der Messungen kann man zwischen den einfachen Relativverfahren, den weit genaueren diskontinuierlichen Absolutverfahren und den kontinuierlich-registrierenden Absolutverfahren unterscheiden. Obwohl auch in der Bundesrepublik ebenso wie in Großbritannien heute noch von manchen Untersuchern Schwefeldioxid nach dem Liesegangschen Glockenverfahren bzw. nach dem Bleidioxidverfahren bestimmt wird, verwendet man jetzt im allgemeinen die empirischen Relativ-Verfahren in der Bundesrepublik Deutschland nur noch für die Bestimmung des Staubniederschlages. Sonst haben sich für alle gas- und dampfförmigen Schadstoffe die beiden anderen genannten Methoden durchgesetzt. Für die drei im Rahmen des Immissionsschutzgesetzes im Lande Nordrhein-Westfalen durchzuführenden Meßprogramme, an denen das Institut von Anbeginn beteiligt war, wendet man bei den Staubniederschlagsbestimmungen (erstes Meßprogramm) das Relativverfahren von Bergerhoff, für die *kontinuierliche* Schwefeldioxid-Bestimmung (zweites Meßprogramm) das Wösthoff-Gerät und für das *diskontinuierliche* Schwefeldioxid-Bestimmungsverfahren (drittes Meßprogramm) das Stratmann-Verfahren an.

Für gezielte oder Ermittlungsmessungen kann man sowohl diskontinuierlich Proben nehmen oder auch an bestimmten Stellen registrierende Meßgeräte einsetzen und kontinuierlich messen. In diesem Falle werden die Meßergebnisse gezielt ausgewertet, indem man die mittleren Konzentrationen oder eine andere Kenngröße — getrennt für jede Windrichtung — ermittelt und sich dadurch über die Lage von Emissionsquellen zur Meßstelle unterrichtet. Wendet man diskonti-

nuerliche Verfahren an, so wird man möglichst unter dem Winde der zu beurteilenden Emissionsquelle bis in eine von der jeweiligen Höhe der Abgasquelle abhängige Entfernung Proben entnehmen.

In einer sehr umfangreichen Untersuchung, die wir kürzlich zusammen mit dem Baden-Württembergischen Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Karlsruhe, im Raume Mannheim/Ludwigshafen durchgeführt haben, sind an sieben Meßstationen kontinuierlich und an 100 Meßpunkten diskontinuierliche Schwefeldioxid-Bestimmungen vorgenommen worden (11). Die kontinuierlichen mit Wösthoff-Geräten ausgerüsteten Stationen waren etwa gleichmäßig über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt, während die 100 Meßpunkte für die diskontinuierlichen Probenahmen nach dem Stratmann-Verfahren nach dem in der TAL angegebenen Schema für die Ermittlung der Schwefeldioxidgrundbelastungen von Gebieten — mit einer Probenahmestelle je  $\text{km}^2$  — angeordnet wurden. Dabei zeigte sich, daß, wie oben bereits kurz angedeutet, wegen des Rheins, des ausgedehnten Geländes eines großen Industriewerkes sowie des eng bebauten Stadtgebiets eine ganze Anzahl der durch die Schnittpunkte der Gitterlinien des Meßtischblattes nach dem obengenannten Schema festgelegten Probenahmestellen für die Untersuchung ausfielen.

Die mittleren Schwefeldioxid-Konzentrationen zeigten deutlich größere Schwankungen im Jahresverlauf als innerhalb des Untersuchungsraumes. Daher konnte die mittlere räumliche Belastung mit Schwefeldioxid aus kontinuierlichen Messungen an einer begrenzten Zahl von Meßstationen einwandfrei beurteilt werden.

Im Jahresverlauf traten im Winter, im Tagesverlauf zwischen acht und zehn Uhr vormittags, die höchsten mittleren Konzentrationen auf.

Nach den Erkenntnissen des Instituts, die mit Angaben der amerikanischen Literatur übereinstimmen, beeinflußt die Probenahmedauer (das Meßzeitintervall) für eine Schwefeldioxid-Bestimmung die Häufigkeitsverteilung von Immissionskonzentrationen innerhalb gewisser Grenzen nur wenig. Da der Begriff „Grundbelastung“ aus der statistischen Häufigkeitsverteilung abgeleitet wird, ermöglicht diese Feststellung eine beträchtliche Zeitersparnis. Das ist besonders bei Großraumuntersuchungen von erheblichem Vorteil. Man kann daher die in der TAL vorgesehene Probenahmemezeit von 30 Minuten auf zehn Minuten beschränken.

Wenn die Großraumuntersuchungen der letzten Jahre uns auch zahlreiche neue Erkenntnisse hinsichtlich des Einsatzes der verschiedenen Probenahmeschemen gebracht haben, so sind auf diesem Gebiete doch noch manche Fragen offen. Sie betreffen gleichermaßen die Meßhäufigkeit, die Meßstellenplanung und die anzuwendenden Verfahren. Das gleiche gilt für die Auswertung der bei solchen Untersuchungen, vor allem bei Großraumuntersuchungen, anfallenden Werte, die unter Zuhilfenahme der Statistik die tatsächliche Situation der Luftverreinigung erkennen lassen sollen. Unsere Bemühungen richten sich auf die Erweiterung der Erkenntnisse, die Untersuchungen jeweils so zu gestalten, daß möglichst repräsentative Zahlenwerte für die einzelnen Schadstoffkonzentrationen als Grad der betreffenden Immission in bestimmten Räumen bei geringstmöglichen Aufwand an Untersuchungsgerät und -zeit erhalten werden.

Für die Beurteilung von Schadstoffkonzentrationen in der Luft ist die Meßdauer äußerst wichtig. Ein Durchschnittsergebnis über ein längeres Meßzeitintervall, z. B. über 24 Stunden, läßt innerhalb dieser Zeit aufgetretene Spitzenwerte nicht sichtbar werden. Die Unterschiede zwischen Höchst- und Tiefstwerten werden bei Langzeitmessungen bedeutend geringer als bei Kurzzeitproben. Die mo-

derne Untersuchungstechnik für die Ermittlung und Bewertung von gasförmigen Immissionen strebt eine ausreichende Anzahl kurzzeitiger Analysenwerte zur statischen Auswertung an. Die Begrenzung der Probenahmedauer bei den einzelnen Stoffen hängt indessen einmal von der Konzentration und zum anderen von der jeweiligen analytischen Möglichkeit ab. Daraus ergibt sich die Forderung nach stetiger Verbesserung der Bestimmungsverfahren.

Wir haben uns daher in letzter Zeit sehr intensiv mit der Prüfung der im Handel befindlichen kontinuierlich arbeitenden Geräte zur Bestimmung von Schwefeldioxid beschäftigt und sie auf ihre Brauchbarkeit im Gelände geprüft. Mit Hilfe definierter nach verschiedenen, z. T. im Institut entwickelten Verfahren hergestellter Prüfgemische konnten Erfahrungen über die Meßgenauigkeit, Störanfälligkeit, den Wartungsaufwand usw. gemacht werden. Die Analytik anorganischer Schwefelverbindungen ist kritisch untersucht und durch Ausschaltung festgestellter Störeinflüsse in vieler Hinsicht verbessert worden. Das gilt nicht nur für die beiden diskontinuierlichen Verfahren zur Schwefeldioxidbestimmung, das Verfahren von WEST & GAEKE (12), das für Testversuche an kontinuierlichen Geräten, wie Wösthoff- oder Picoflux-Geräten, vorzüglich geeignet ist, und für das Verfahren von STRATMANN, das sich in erster Linie für Immissionsuntersuchungen im Freien durchgesetzt hat (13). Es gilt gleichermaßen für die Bestimmung niedriger Schwefelwasserstoff-Konzentrationen in der freien Luft mit Hilfe des Methylenblau-Verfahrens, das durch eine neue Arbeitsvorschrift (14), die der Lichtempfindlichkeit der Reaktionsprodukte Rechnung trägt, nunmehr auch im niedrigen Konzentrationsbereich mit Erfolg eingesetzt werden kann.

Ein sehr aktuelles Problem ist die Bestimmung von Spuren organischer Amine, das heißt von Substanzen, die bereits in sehr geringen Konzentrationen in der atmosphärischen Luft äußerst unangenehm riechen (15, 16). Hier hat die Anwendung der Gaschromatographie zur Trennung der verschiedenen Substanzen gute Erfolge gebracht, nachdem geeignete Trennsäulen und -flüssigkeiten im hiesigen Laboratorium entwickelt worden sind (17). In einer weiteren Veröffentlichung sind außer den gaschromatographischen auch photometrische Methoden (18) für diese Spezialanalysen angegeben worden. Die Reaktion verschiedener Amine mit Ninhydrin wurde zu deren quantitativer Bestimmung herangezogen. Es gelang, Amine in Mengen von weniger als 10 µg zu erfassen.

Das Problem, geringste Mengen geruchsintensiver Phenole zu bestimmen, ist insoweit gelöst worden, als es jetzt wenigstens gelingt, auf photometrischem Wege die phenolischen Verbindungen summarisch quantitativ zu bestimmen (19).

Bei der Feststellung der Staubkonzentration in der Luft sind wir ein gutes Stück weitgekommen, da sowohl im hiesigen Laboratorium als auch in der Außenstelle Düsseldorf — gemeinsam mit den Gesundheitsämtern Mülheim und Duisburg (20) — Arbeiten durchgeführt worden sind, die bereits ihren Niederschlag in der Fachliteratur gefunden haben. Das gleiche gilt für die Bestimmung kleinstter Bleimengen im Schwebestaub (21), wofür besondere analytische Verfahren in den beiden letzten Jahren entwickelt werden mußten, sowie für die Bestimmung der Gesamt-Kohlenwasserstoffe (22).

Zahlreiche analytische Probleme harren noch ihrer Lösung. Als Beispiele seien angeführt: Die quantitative Bestimmung von Schwefeltrioxid, von Stickstoffmonoxid neben Stickstoffdioxid sowie die Möglichkeit der quantitativen Trennung und Bestimmung für *einzelne* Phenole oder für *einzelne* Fluorverbindungen, wie Fluorwasserstoffsäure und deren Salze, die bekanntlich sehr unterschiedliche Wirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze haben. Eine Erweiterung der meßtechnischen Laboratorien wird sich nicht vermeiden lassen, da die Säu-

len-, Papier-, Dünnsschicht- und Gaschromatographie im Rahmen der Immissionsverfahren heute wichtige und für die Spurenanalyse ausschlaggebende Bedeutung haben. Solche Untersuchungen können nur von Spezialisten und mit Hilfe aufwendiger Spezialgeräte hinsichtlich des Raumbedarfs vorgenommen werden.

In der Erkenntnis, daß für die Überwachung der Betriebe die Feststellung der Emissionen, also der Konzentration und Menge der ausgeworfenen Schadstoffe, neben der Bestimmung der Immissionen in der atmosphärischen Luft unerlässlich ist, haben wir unsere Arbeiten auch auf dieses Gebiet ausgedehnt. Vor Jahresfrist ist ein besonderes Laboratorium für Emissionsmeßtechnik eingerichtet worden. Ihm obliegt die Testung der im Handel befindlichen Emissionsmeßgeräte, deren Verbesserung und gegebenenfalls auch die Entwicklung von neuen Geräten und Verfahren. Außer für die Emissionsbestimmung dienen solche Geräte auch der Prüfung der Wirksamkeit von Entstaubungs- und Abgasreinigungsanlagen in den Betrieben.

Unsere Forschungen auf dem Gebiete der Reinhaltung der Luft können sich künftig aber nicht nur auf Meß- und Bestimmungsverfahren für Immissionen und Emissionen beschränken. Der Gesetzgeber benötigt für seine weiteren Maßnahmen zur Verringerung der Luftverunreinigung objektive Unterlagen über

1. die Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Mensch, Tier und Pflanze,
2. die Ausbreitung und den Niederschlag von Gasen und Stäuben,
3. die Entstehung und Verhütung von Luftverunreinigungen.

#### 1. Wirkung auf Mensch, Tier und Pflanze

Um die Immissionsgrenzwerte für Schadwirkungen und für Geruchsbelästigungen zu ermitteln, müssen die medizinisch-biologischen Wirkungen der Luftverunreinigungen gründlich erforscht werden. Das gilt sowohl für den einzelnen Stoff als auch für Gemische. Schon heute wissen wir, daß bei nachteiligen Immissionswirkungen nur höchst selten ein einziger Stoff die Ursache ist, sondern daß es sich in den meisten Fällen um Gemische von Stoffen handelt. Diese können sich in ihren Wirkungen addieren oder sogar potenzieren. Sie können sich aber auch abschwächen oder ganz aufheben. Eine weitere Schwierigkeit bei der Erforschung der Wirkung von Verunreinigungsgemischen ist dadurch bedingt, daß sich die chemische Natur vieler als Luftverunreinigung in Betracht kommender Stoffe in der freien Luft ändern kann. Als Beispiele seien angeführt: Die Umsetzung von sauer reagierenden mit basisch reagierenden Substanzen, die Anlagerung von Wasser aus dem Wasserdampf der Luft an Schadstoffe unter Bildung neuer Verbindungen sowie die durch Lichteinwirkung hervorgerufenen Reaktionen.

Für die Bearbeitung der medizinischen Probleme ist das Zusammenwirken von Spezialisten der Fachrichtungen Toxikologie, Pathophysiologie, Histopathologie und Aerosolphysiologie notwendig. In besonderen Laboratorien werden daher die toxikologischen Wirkungen, die neurophysiologischen und geweblichen Veränderungen sowie Art und Teilchengröße der Aerosole und ihre Bedeutung für die Gefährdung der Gesundheit des Menschen zu untersuchen sein.

Während über die Wirkung hoher toxischer Dosen der bis jetzt bekannten Luftverunreinigungen Erfahrungen vorliegen, muß die Arbeit dieses medizinischen Gremiums vor allem auf die Untersuchung neu in Erscheinung tretender Schadstoffe und auf die Ermittlung der Langzeitwirkung kleinsten Konzentrationen, wie sie in der freien Luft vorkommen, ausgerichtet sein. Man wird dabei nicht um umfangreiche Tierversuche herumkommen, wenn man feststellen will,

ob und inwieweit die in der Außenluft gemessenen Immissionskonzentrationen über das zentrale oder über das vegetative Nervensystem, über das Atmungs- oder über das Magen-Darm-System zur Wirkung gelangen. Hieraus lassen sich — von der Festlegung von Grenzwerten einmal abgesehen — Rückschlüsse auf analoge Wirkungen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen ziehen.

Für die Beurteilung von Luftverunreinigungen in hygienisch-toxikologischer Hinsicht bedarf es auch eingehender Untersuchungen über die chemisch-physikalischen Wirkungen der gas- und dampfförmigen, flüssigen und festen Luftverunreinigungen auf den Zellstoffwechsel bei Mensch und Tier. Diese Untersuchungen können nur in einem Laboratorium für Bioanalyse durchgeführt werden. Auf diese Weise werden sich durch Luftverunreinigungen bedingte chronische Schäden erfassen und analysieren lassen. Außerdem sind in diesem Laboratorium Veränderungen von Fermentaktivitäten und anderen biochemischen Reaktionen auf ihre Remissionsmöglichkeiten nach Belastung des Organismus zu studieren.

Die Erforschung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf die Pflanzenwelt ist ferner ein besonderes Anliegen der Abteilung Reinhaltung der Luft. Dafür gibt es mehrere Gründe: 1. Wegen der im Vergleich zu Mensch und Tier größeren Empfindlichkeit der Pflanzen gegenüber gewissen Schadstoffen — z. B. Schwefeldioxid — sind hier die Kurzzeitwirkungen von besonderer Wichtigkeit. Für sie müssen deshalb eigene Immissionsgrenzwerte ermittelt werden. 2. An Pflanzen können über die Wirkung luftverunreinigender Stoffe Versuche ange stellt werden, die bei Mensch und Tier nicht möglich sind. Dies gilt sowohl für Einzelverunreinigungen als auch für Gemische, wenn experimentelle Forschungen sowohl in Begasungskammern als auch auf Versuchsfeldern möglich sind. 3. Untersuchungen mit dem Ziele, bestimmte Pflanzen als Indikatoren für bestimmte Immissionskonzentrationen bzw. für länger zurückliegende Schadwirkungen zu ermitteln.

Ein Anfang für botanisch-ökologische Arbeiten ist im Frühjahr 1967 von der Außenstelle Düsseldorf des Instituts in Zusammenarbeit mit dem Gesundheitsamt der Stadt Duisburg durch Einrichtung zweier Versuchsfelder bereits gemacht worden, von denen das eine mit Industrieabgasen stark belastet und das andere praktisch völlig unbelastet ist. Derartige Untersuchungen können natürlich nur in Industriegebieten durchgeführt werden. Als Beispiele für den Zweck solcher Studien seien angeführt: Das Verhalten relativ empfindlicher und relativ resisternter Baumarten unter kontrollierten meteorologischen und edaphischen Bedingungen in einer durch mehrere Schadstoffe schwankender Konzentration belasteten Atmosphäre. — Feststellung der Korrelation zwischen der Belastung durch Luftsabstoffe und der Entwicklung von Pflanzen unter Berücksichtigung meteorologischer Parameter. — Ermittlung luftanalytischer Stadien, Witterungs perioden und Jahreszeiten, die akute Schädigungskriterien und -konstellationen verursachen. — Ermittlung von Düngungs- und Deckungseffekten zur verstärkten oder gesicherten Resistenz der gewählten Bestockungsziele.

## 2. Ausbreitung und Niederschlag von Gasen und Stäuben

Mit Forschungen auf dem Gebiete der Ausbreitung und des Niederschlages von Gasen und Stäuben wird sich eine Gruppe zu beschäftigen haben, die zur Zeit in der Abteilung Reinhaltung der Luft erst im Entstehen begriffen ist.

Die Immission an einem gegebenen Ort unter dem Winde einer bestimmten konstanten Emissionsquelle ist allein vom Wettergeschehen abhängig. Neben

Windrichtung, -stärke, Turbulenz sind die relative Luftfeuchtigkeit, die Lufttemperatur sowie die Temperaturschichtung in der Atmosphäre (Inversion) die für Luftuntersuchungen im Freien wichtigsten Parameter. Aufgabe des meteorologischen Referats sind neben der Messung der meteorologischen Parameter und der Weiterentwicklung der konventionellen Geräte und Verfahren die Beratung der für die Durchführung von Meßprogrammen Verantwortlichen und die Mitwirkung bei der Auswertung von Meßergebnissen. Nicht zuletzt soll hier auch auf die Bedeutung von Forschungsarbeiten hingewiesen werden, die im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung und denen von Immissionsuntersuchungen stehen. Die in dieser Hinsicht noch bestehenden Widersprüche müssen ausgeräumt werden, weil die TAL in der Schornsteinhöhenberechnung auf der Ausbreitungsrechnung fußt.

Außer dem Fachmeteorologen ist für die Beurteilung der kompletten Probleme der Ausbreitung von Luftverunreinigungen ein Mathematiker erforderlich, der außerdem die Meßergebnisse sämtlicher Laboratorien statistisch einwandfrei zu verarbeiten vermag. Ohne Datenverarbeitung, die bei der Wertung der Meßergebnisse alle wichtigen Faktoren in geeigneter Weise zu berücksichtigen gestattet und die von einem Spezialisten ständig zu überwachen ist, kann ein Untersuchungsteam, das schon in naher Zukunft jährlich weit mehr als eine Million Einzeldaten erarbeiten wird, die gestellten Anforderungen nicht erfüllen.

Zur Auswertung der Untersuchungsergebnisse nach statistischen Methoden werden die Einzelwerte nach ihrer Größe geordnet, meist also nach der Konzentration in  $\text{mg}/\text{m}^3$  Luft, und Mittelwerte für verschiedene Zeitschnitte, Meßstellen oder Gebiete gebildet. Als Kenngrößen für den Grad der Luftverunreinigung sind mindestens zwei Werte erforderlich, von denen der eine die mittlere und der andere die maximalen Immissionen beschreiben soll. Bei modernen Untersuchungsprogrammen in der Bundesrepublik Deutschland kennzeichnet man die mittlere Immission durch den 50 %-Wert der Summenhäufigkeit oder — in Anlehnung an die TAL — durch die Immissionskenngröße  $I_1$ . Die maximale Immission wird durch den 95 %-Wert der Summenhäufigkeit oder — wiederum nach der TAL — durch die Immissionsgröße  $I_2$  gekennzeichnet.

Die mit dem „Vorsorge“gesetz in Zusammenhang stehenden Arbeiten machen eine weitere Ausdehnung des Arbeitsgebietes Reinhaltung der Luft notwendig, da das Institut zur Zeit für die Luftüberwachung in dem Ausmaße, wie es die zu erlassenden Verordnungen vorschreiben werden, noch nicht eingerichtet ist.

### 3. Entstehung und Verhütung von Emissionen

Die Erweiterung unserer Erkenntnisse auf dem Gebiete der Entstehung und Verhütung von Emissionen sollte das Allerwichtigste sein. Im Institut konnte dieses Arbeitsgebiet bisher speziell noch nicht bearbeitet werden. Das gilt gleichermaßen für die Emissionen der verschiedenen Industriewerke als auch für die des Verkehrs. Da für die Praxis der Luftreinhaltung brauchbare Arbeit nur von Spezialisten geleistet werden kann, sind wir bestrebt, Verfahreningenieure, die die Technologie ihrer Fachsparte ausgezeichnet beherrschen, dafür zu gewinnen. Sie müssen in enger Zusammenarbeit mit den Überwachungsdienststellen, wie Gewerbeaufsichtsämtern und Technischen Überwachungsvereinen, sowie mit den Emittenten und den Herstellern von Abgasreinigungsanlagen und Entstaubern Verbesserungsvorschläge aller Art zur Verminderung der Emission erarbeiten. Unter Umständen müssen Möglichkeiten des Ersatzes emissionsintensiver Verfahren durch lufthygienisch günstigere Produktionsmöglichkeiten gefunden werden.

Welche Bedeutung gerade die Verhütung der Emission für die Reinhaltung der Luft hat, hat in den letzten Jahren der Einsatz von Entstaubern nachhaltig unter Beweis gestellt.

Obwohl sich die Leistungen der Großkraftwerke in der Bundesrepublik in den letzten zehn Jahren verdoppelt haben, hat sich der Gesamtstaubauswurf dieser Anlagen während dieser Zeit um mehr als 30 % vermindert.

Die Verschmutzung der Luft durch die Zementfabriken ist in den letzten 15 Jahren noch stärker zurückgegangen als bei den Großkraftwerken. 1960 wurden in Westdeutschland 24,6 Millionen t Zement gewonnen, 1965 waren es 32,5 Millionen t. Die Staubimmission ging aber in diesen fünf Jahren um 50 % zurück, wie die Immissionsuntersuchungen des Staubniederschlages in der Umgebung solcher Fabriken bewiesen haben. Mußte man 1950 noch 5 % der Zementerzeugung als Staubausmission ansetzen, so sind es heute nur noch 0,5 %.

Diese Entwicklung ist natürlich auf den in Industrie- und Ballungsgebieten ganz allgemein festgestellten Staubniederschlag nicht ohne Einfluß geblieben. In der Nähe eines Kraftwerkes in Dortmund ist der Staubniederschlag in den Jahren um 1963 um mehr als 40 % zurückgegangen, und selbst in Duisburg hat man im gleichen Zeitraum eine Minderung der Staubausmission um mehr als 20 % feststellen können.

Bedauerlicherweise können wir heute noch nicht über ähnliche Erfolge hinsichtlich der Zurückhaltung gasförmiger Verbindungen berichten. So gibt es z. B. für die Entfernung des Schwefeldioxids aus Rauchgasen großer Kraftwerke noch keine technisch-wirtschaftlich befriedigende Lösung. Das gleiche gilt für die Entfernung des Schwefelwasserstoffs, dieser unangenehm riechenden Verbindung, die die Lage von Viskose-Kunstseide und allgemein Viskose-Kunststoff herstellenden Betrieben auf weite Entfernungen unter dem Winde erkennen läßt.

Die durch die Ergebnisse der Staubniederschlagsmessungen belegten Verminderungen der durch gröbere Teilchen bedingten Staubimmission in der Nähe industrieller Staubquellen ist eine in lufthygienischer Hinsicht sehr erfreuliche Feststellung. Sie läßt zugleich aber auch erkennen, wie aktuell die Probleme der Beseitigung des Schwefeldioxids und der Geruchsstoffe für die Reinhaltung der Luft heute noch immer sind. Die bessere Verteilung der schwefeldioxidhaltigen Abgase durch sehr hohe Schornsteine ist eine Notlösung, die sehr wohl in weniger industriell belasteten Gebieten gewisse Erfolge für den Immissionsgrad bringt. In den stark industrialisierten Ballungsgebieten kann sie wegen der Überlagerung der Schadstoffe aus verschiedenen Quellen nicht in ausreichendem Umfang wirksam werden. Wie aktuell gerade diese Probleme jetzt sind, beweist die Tatsache, daß mehrere Forschungsvorhaben laufen, die die Möglichkeit erkunden sollen, schwefeldioxidhaltige Abgase, insbesondere die Rauchgase von kohle- und ölgefeuerten Großkraftwerken, auf technisch-wirtschaftlich tragbare Weise weitestgehend zu reinigen.

## Literatur

1. Gesetz zur Änderung der Gewerbeordnung und Ergänzung des Bürgerlichen Gesetzbuchs. Vom 22. Dezember 1959. Bundesgesetzbl. Tl. I, 1959, Nr. 54, S. 781 bis 783.
2. Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung. Vom 4. August 1960. Bundesgesetzbl. Tl. I, 1960, Nr. 46, S. 690—692.
3. Bundesminister für Gesundheitswesen: Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung (Technische

- Anleitung zur Reinhaltung der Luft). Vom 8. September 1964. Gemeinsames Ministerial-Bl. 15 (1964), Nr. 26, S. 433—448.
4. Gesetz über Vorsorgemaßnahmen zur Luftreinhaltung. Vom 17. Mai 1965. Bundesgesetzbl. Tl. I, 1965, Nr. 21, S. 413—415.
  5. LAHMANN, E.: Die Luftverunreinigung durch Kraftfahrzeuge an einem verkehrsreichen Punkt in Berlin. Dieses Heft, S. 77.
  6. Land Nordrhein-Westfalen: Gesetz zum Schutze vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen — Immissionsschutzgesetz. — Vom 30. April 1962. G.V.Bl., Tl. A, 1962, Nr. 31, S. 225—227.
  7. Land Baden-Württemberg: Gesetz zum Schutze vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen — Immissionsschutzgesetz. — Vom 4. Februar 1964. Gesetzb. für Baden-Württemberg 1964, Nr. 3, S. 55—58.
  8. Land Niedersachsen: Gesetz zum Schutze vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen — Immissionsschutzgesetz. — Vom 6. Januar 1966. Niedersächsisches Gesetz- u. Verordnungsbl. 20 (1966), Nr. 1, S. 1—3.
  9. Land Rheinland-Pfalz: Landesgesetz zum Schutz vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen — Immissionsschutzgesetz. — Vom 28. Juli 1966, Gesetz- und Verordnungsbl. für das Land Rheinland-Pfalz 1966, Nr. 47, S. 211 bis 213.
  10. LAHMANN, E.: Die Untersuchung von Luftverunreinigungen. Bundesgesundh.bl. 10 (1967), Nr. 10, S. 145—150; Nr. 11, S. 161—167.
  11. —, W. MÖRGENSTERN und L. GRUPINSKI: Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. Schriftenreihe Verein f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg., Nr. 25 (1967).
  12. NIETRUCH F., und K.-E. PRESCHER: Beitrag zur Bestimmung von Schwefeldioxid mit Pararosanilin und Formaldehyd. Zeitschr. analyt. Chem. 226 (1967), H. 3, S. 259—266.
  13. LAHMANN, E.: Messung gasförmiger Schwefelverbindungen in der Atmosphäre. Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petroleum 18 (1965), H. 10, S. 796—800.
  14. PRESCHER, K.-E., und E. LAHMANN: Die Bestimmung von Schwefelwasserstoff in atmosphärischer Luft nach dem Methylenblau-Verfahren. Ges.-Ing. 87 (1966), H. 12, S. 351—353.
  15. HÄNTZSCH, S., und K.-E. PRESCHER: Beitrag zur Spurenanalyse von Aminen in atmosphärischer Luft. Untersuchung über die Anreicherung. Staub — Reinhaltung der Luft 26 (1966), Nr. 8, S. 332—335.
  16. —, und —: Eine Möglichkeit der Peakverdoppelung bei der Gasverteilungschromatographie. Zeitschr. analyt. Chem. 218 (1966), H. 5, S. 353—355.
  17. —: Trennung niederer aliphatischer Amine durch Gasverteilungschromatographie. Talanta 13 (1966), 1297—1302.
  18. —, und K.-E. PRESCHER: Zur photometrischen Bestimmung primärer Amine mit Ninhydrin. Zeitschr. analyt. Chem. 213 (1965), H. 6, S. 408—411.
  19. LAHMANN, E.: Die Bestimmung von Phenol in Luft. Staub — Reinhaltung der Luft 26 (1966), Nr. 12, S. 530—534.
  20. KETTNER, H., W. ALTVATER, H. GROMZIG und H. SPELLEKEN: Über den Einfluß der Witterungsbedingungen auf die Schwebestaubkonzentration in der Außenluft. Städtehygiene 15 (1964), H. 6, S. 125—128.
  21. LAHMANN, E., und M. MöLLER: Luftverunreinigung in Städten durch bleihaltige Stäube. Bundesgesundh.bl. 10 (1967), Nr. 17, S. 261—264.
  22. HÄNTZSCH, S., und E. LAHMANN: Kohlenwasserstoff-Konzentrationen in Straßenluft und ihre Relation zum Auftreten von Kohlenmonoxid. Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochemie 20 (1967), H. 9, S. 642—643.

Leit. Direktor und Professor Dr. HELLER  
Bundesgesundheitsamt  
1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

# Die Luftverunreinigung durch Kraftfahrzeuge an einem verkehrsreichen Punkt in Berlin<sup>1)</sup>

Von ERDWIN LAHMANN

(Mit 2 Abbildungen im Text)

Der Kraftverkehr stellt in steigendem Maße eine Quelle für die Verunreinigung städtischer Luft mit gas- und staubförmigen Fremdstoffen dar. Im folgenden wird über Durchführung und Ergebnisse von Untersuchungen berichtet, die im Rahmen eines Forschungsauftrages des Bundesministeriums für Gesundheitswesen an einer verkehrsreichen Straße der Stadt Berlin in den Jahren 1966 und 1967 durchgeführt wurden. Das Ziel der Arbeiten war die Feststellung, mit welchem Grad an Verunreinigungen der Straßenluft insbesondere unter extremen Bedingungen heute zu rechnen ist.

Für die Untersuchungen wurde am Rathaus Steglitz in der Schloßstraße eine Meßstation eingerichtet, an der kontinuierliche und diskontinuierliche Luftuntersuchungen, z. T. in mehreren Höhen über Boden, ausgeführt werden konnten. Die Meßstelle wurde nach einer Reihe von Stichprobenmessungen in verkehrsreichen Berliner Straßen und nach den Ergebnissen von Verkehrszählungen ausgewählt. Allein in der an der Meßstelle direkt vorbeiführenden *einen* Straßenrichtung fahren täglich etwa 25 000 Kraftfahrzeuge (in der Verkehrsspitze über 2000 pro Stunde).

Das Untersuchungsprogramm umfaßte folgende Messungen:

## 1. Kontinuierliche Messungen

- a) Kohlenmonoxid in sechs verschiedenen Höhen (0,75, 1,5, 3, 6, 12 und 24 m über Boden)
- b) Ozon
- c) Kohlenwasserstoffe
- d) Meteorologische Daten

## 2. Diskontinuierliche Stichproben-Messungen in Abständen von je 14 Tagen

- a) Von 7 bis 8 Uhr (vormittägliche Verkehrsspitze): Stickstoffdioxid; Formaldehyd; Phenole
- b) Von 12 bis 13 Uhr (Zeit der stärksten mittleren Sonneneinstrahlung): Stickstoffdioxid; Formaldehyd; Ozon
- c) Von 17 bis 18 Uhr (nachmittägliche Verkehrsspitze): Stickstoffdioxid; Formaldehyd; Phenole
- d) 24-Stunden-Proben: Gesamtstaub-Konzentration; Blei im Staub; 3,4-Benzypyren im Staub

<sup>1)</sup> Es wird der Inhalt eines am 30. 9. 1967 im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene gehaltenen Vortrages wiedergegeben. Das hier nur kurz umrissene Untersuchungsprogramm und seine Ergebnisse werden in einem späteren Heft der Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene eingehender dargestellt. Daher wird hier auch auf die Angabe von Literaturzitaten verzichtet.

*3. Fortlaufende diskontinuierliche Messungen an insgesamt 12 Tagen jeweils in der Zeit von 6 bis 20 Uhr*

- a) Gase: Schwefeldioxid; Stickstoffdioxid; Formaldehyd; Phenole; Ozon
- b) Stäube: Gesamtstaub; Blei im Staub
- c) Verkehrszählungen

Für die Messungen wurden folgende Geräte und Analysenverfahren eingesetzt:

*Kohlenmonoxid.* Die Probeluft wurde von jeder der sechs Meßhöhen über einen Meßgasumschalter nacheinander in Abständen von jeweils einer Minute einem Infrarotanalysator URAS (Fa. Hartmann & Braun) zugeleitet; die gemessenen CO-Konzentrationen wurden von einem 6-Farben-Punktschreiber fortlaufend registriert. Im Verlauf einer halben Stunde, der in Deutschland üblichen Grundeinheit für die Auswertung von Immissionsmessungen, fielen demnach von jeder der sechs Meßhöhen fünf Registrierpunkte an, aus denen jeweils Mittelwerte gebildet wurden. Im Verlaufe des gesamten zwölfmonatigen Untersuchungszeitraumes wurden insgesamt 500 000 „Meßpunkte“ registriert. Für die Auswertungen wurde davon etwa die Hälfte herangezogen. Auf die Meßwerte von den Nachtstunden (22 bis 6 Uhr) und von Samstagen, Sonn- und Feiertagen wurde verzichtet, weil sie in der Regel erheblich niedriger als während der Tagesstunden an Werktagen lagen und somit im Rahmen der gestellten Aufgabe weniger interessierten.

*Ozon.* Die kontinuierlichen Ozon-Messungen wurden mit einem von DAMASCHKE und LÜBKE (Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem) entwickelten Gerät ausgeführt, bei dem das aus einer Bromid-Lösung freigesetzte Brom auf elektrochemischem Wege gemessen wird. Außer dem im Rathaus Steglitz eingesetzten Meßgerät wurde ein weiteres an einer von Kraftverkehrsabgasen nicht beaufschlagten Meßstelle in Berlin-Dahlem betrieben.

Die diskontinuierlichen Ozon-Messungen wurden jodometrisch (Bestimmung des aus Kaliumjodid freigesetzten Jods) ausgeführt.

*Kohlenwasserstoffe.* Unter „Kohlenwasserstoffe“ ist hier der Gehalt der Luft an organisch-chemischen Verbindungen zu verstehen, der mit einem „Hydrocarbon-Analyzer“, Modell 109 A (Fa. Beckmann) gemessen wurde. Das Meßelement dieses Gerätes ist ein Flammenionisationsdetektor. Die Messungen wurden aus verschiedenen technischen Gründen nur über einen Teil der Dauer des Untersuchungsprogrammes ausgeführt.

*Stickstoffdioxid.* Zur NO<sub>2</sub>-Bestimmung wurde das SALTZMAN-Verfahren angewendet, bei dem die Färbung eines roten Azofarbstoffes ausgewertet wird.

*Formaldehyd.* Es wurde ein photometrisches Verfahren modifiziert, bei dem die Färbung ausgewertet wird, die der in Wasser absorbierte Formaldehyd mit p-Rosanilin und mit in Tetrachloromercurat-Lösung stabilisiertem Sulfit ergibt.

*Phenole.* Zur Summenbestimmung von Phenolen wurde die Probeluft durch eine alkalische Absorptionslösung geleitet. In dieser wurden die Phenole nach Reaktion mit p-Nitranilin photometrisch bestimmt.

*Gesamtstaub.* Die Probeluft wurde mittels eines leistungsfähigen Sauggerätes (High Volume Sampler) durch ein vortariertes Glasfaserfilter gesaugt, dessen Gewichtszunahme (in trockenem Zustand) mit einer Analysenwaage festgestellt wurde.

*Blei.* Der Bleigehalt im Staub wurde mittels des photometrischen Dithizon-Verfahrens bestimmt.

*Benzpyren.* Benzpyren wurde aus dem Staub mit Cyclohexan extrahiert und fluorometrisch analysiert.

*Schwefeldioxid.* Die diskontinuierlichen Schwefeldioxid-Bestimmungen wurden nach dem Silikagel-Verfahren von STRATMANN ausgeführt.

Die für die Auswertungen herangezogenen *meteorologischen Daten* konnten vom Meteorologischen Institut der Freien Universität Berlin bezogen werden, das nur 1,5 km von der Meßstation in Steglitz entfernt liegt. Direkt an der Meßstelle wurden zusätzliche Messungen von Windrichtung und -stärke in 3 m Höhe über Boden vorgenommen, um die durch die umliegende Bebauung beeinflußte Luftströmung in der Straßenschlucht zu erfassen.

Die *Verkehrsdichte* wurde durch direkte Zählungen ermittelt, die von geschulten Mitarbeitern der für Verkehrszählungen zuständigen Berliner Senatsstelle ausgeführt wurden.



Abb. 1. Mast für Luftprobenahmen an einer verkehrsreichen Straße.

Für die Probenahmen zu den hier dargestellten Untersuchungen wurde in der Steglitzer Schloßstraße nahe an der Bürgersteigkante ein über 3 m hoher Eisenmast aufgestellt (Abb. 1). Er diente zur Aufnahme der Probenahmeschlüche in 0,75, 1,5 und 3 m Höhe über Boden, des in 3 m Höhe angebrachten Staub-sammelgerätes (High Volume Sampler) und des Windmeßgerätes. Die Probennahmestellen für CO-Messungen in 6, 12 und 24 m Höhe befanden sich an der Rathausfassade. Die Probeluft für die Bestimmung der übrigen gasförmigen Luftverunreinigungen wurde in 75 cm Höhe über dem Boden durch zwei zusätzliche Schläuche angesaugt.

Die Konzentration der charakteristischen Bestandteile des Abgases von Kraftfahrzeugen, nämlich die des Kohlenmonoxids, der Kohlenwasserstoffe und des Blei, korrelierten im Tagesgang deutlich mit der Verkehrsdichte. Es treten Maxima der Luftverunreinigung in der Zeit von 7.30 bis 8 Uhr und insbesondere von 16.30 bis 17.30 Uhr auf (Abb. 2).

Die maximalen Halbstundenmittelwerte der CO-Konzentration in 75 cm Höhe über Boden lagen bei 60 ppm und damit über der Konzentration des MAK-Wertes für Kohlenmonoxid (50 ppm). Die maximalen Mittelwerte über die Zeit von 6 bis 22 Uhr lagen bei 30 ppm; über 20 % dieser insgesamt rund 250 „Tagesmittelwerte“ überschritten die Konzentration von 20 ppm. Die Tagesmittelwerte zeigten des öfteren von einem Tag zum anderen erhebliche Unterschiede. Diese durch die meteorologischen Bedingungen — insbesondere durch Windrichtung und -stärke — verursachten Schwankungen waren größer als die mittleren Schwankungen im Tagesverlauf, welche durch die Verkehrsdichte bedingt sind. Die Jahreszeit war hingegen ohne Einfluß auf die CO-Immissionen.

Mit der Höhe der Probenahmestelle über Boden nahm der Kohlenmonoxidgehalt der Luft exponentiell ab. Auch in der horizontalen Richtung von der Bürgersteigkante zur Baufuchtlinie nimmt die mittlere Kohlenmonoxid-Konzentration schon nach wenigen Metern signifikant ab, wie Parallelmessungen in 75 cm Höhe über Boden zeigten. An der Bürgersteigkante blieben jedoch über

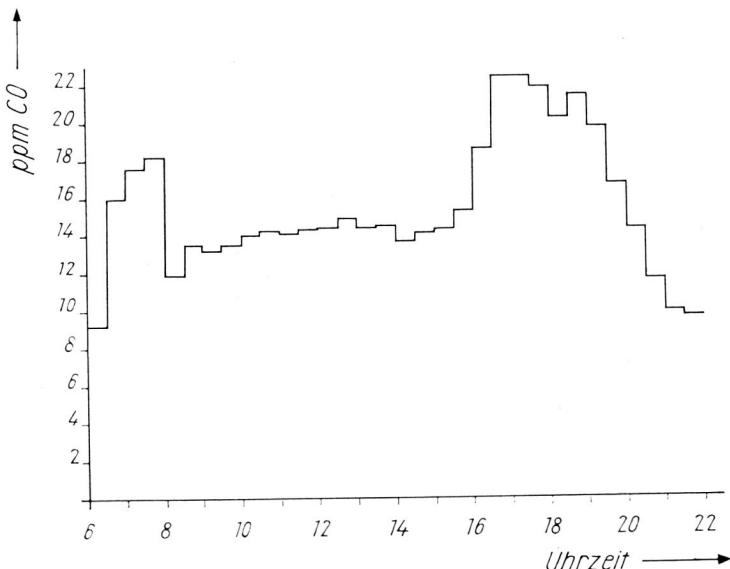


Abb. 2. Tagesverlauf der mittleren CO-Konzentrationen.

eine Strecke von etwa 20 m die Immissionen konstant; eine nahe der Dauermeßstelle befindliche Verkehrsampel beeinflußte also den CO-Gehalt der Luft auf engem Raum nicht bzw. in gleichmäßiger Weise.

Der Kohlenwasserstoffgehalt der Straßenluft korrelierte mit den gleichzeitig gemessenen CO-Konzentrationen; er betrug im Mittel ein Drittel der gleichzeitig aufgetretenen CO-Gehalte. Maximal wurden rund 15 ppm Methanäquivalente im Halbstundenmittel und 7 ppm im Tagesmittel gemessen.

Der Bleigehalt der Luft war mit mehreren Spitzenwerten von mehr als 10 µg/m<sup>3</sup> im Vergleich zu Literaturangaben recht hoch. Der in den Staubproben festgestellte Benzpyren-Gehalt war hingegen vergleichsweisemäßig.

Stickstoffdioxid, dem in den USA eine große lufthygienische Bedeutung als Komponente von Kraftfahrzeugabgasen beigemessen wird, und Phenole traten nur in sehr niedrigen, hygienisch bedeutungslosen Konzentrationen auf. Die maximal festgestellten Schwefeldioxid- und Formaldehyd-Konzentrationen lagen in der Höhe der Dauerwerte der „Maximalen Immissions-Konzentrationen“, die in Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure niedergelegt sind. Die Schwefeldioxid-Immissionen an der Meßstelle dürften jedoch mehr durch Heizungsabgase als durch Kraftverkehrsabgase verursacht sein. Die höheren Formaldehyd-Konzentrationen innerhalb des Meßprogramms traten in der Regel an warmen oder sonnenreichen Tagen sowie überwiegend während der Mittagsstunden auf.

Eine photometrische Ozonbildung aus Bestandteilen des Kraftfahrzeug-Abgases unter Einfluß des Sonnenlichtes konnte nicht beobachtet werden. Über derartige Reaktionen wurde vielfach aus den USA berichtet. Es wurde sogar eine deutliche Erniedrigung der natürlichen Ozon-Konzentration der Luft insbesondere während verkehrsreicher Stunden festgestellt, die auf Reaktionen zwischen Ozon und Kraftverkehrsabgasen zurückzuführen sein dürfte.

Nach den Ergebnissen des hier kurz dargestellten Meßprogramms waren die relativ einfach zu bestimmenden Substanzen Kohlenmonoxid und Blei gut geeignet als Indikatoren zur Überwachung der Luftverunreinigung durch den Kraftverkehr.

Direktor und Prof. Dr. LAHMANN  
Bundesgesundheitsamt  
1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

# Hygienische Wünsche an das Raumklima in Aufenthaltsräumen

Von FRITZ ROEDLER, Berlin

Unter Klima sind nach einer Definition ALEXANDER VON HUMBOLDTS alle Umwelteinflüsse zu verstehen, welche die menschlichen Sinne affizieren. Hierbei ist in erster Linie an thermische Reize, also an Wärme- und Kälteempfindung zu denken, ferner an akustische Reize, denen unter dem Motto „Kampf dem Lärm“ zunehmende Aufmerksamkeit gewidmet werden muß. Hinzu kommen optische Reize, sei es durch Tages- oder Kunstlichtbeleuchtung, und chemische Reize infolge von Luftverunreinigungen. Daraus ergibt sich ein breites Spektrum von physikalischen und chemischen Raumklimakomponenten, die hier in groben Umrissen skizziert werden sollen.

Die physikalischen Raumklimakomponenten lassen sich in thermische, akustische und optische gliedern.

## Die thermische Komponente des Raumklimas

ist durch eine Reihe von Einzelfaktoren gekennzeichnet, die in der ersten Spalte der Tafel 1 angedeutet sind. Die Temperatur der Raumluft in der Aufenthaltszone des Menschen gibt zweifellos einen relativ gut orientierenden ersten Anhalt für die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit. Trotzdem läßt sich die — wie es scheint — einfache Frage nach der wärmephysiologisch „richtigen“ Raumlufttemperatur nicht mit einer relativ eng begrenzten Normativgröße beantworten, weil einerseits das subjektive Wärmeempfinden nicht nur bei den verschiedenen Individuen streut, sondern auch beim gleichen Individuum zeitlich schwanken kann und andererseits das thermische Empfinden stets von der „Verbundwirkung“ der miteinander im Zweier- und Dreierverband eng verflochtenen Faktoren a) bis d) abhängt (Tafel 1). Diese gegenseitige Verflechtung soll hier wenigstens schlaglichtartig angedeutet werden, weil sie einen tieferen Einblick in die Komplexgröße Raumklima bietet.

Das Komponentenpaar Lufttemperatur/Luftgeschwindigkeit ist entscheidend, wenn beurteilt werden soll, ob eine Lüftung — sei es durch Fenster oder durch eine Lüftungsanlage — als „zugfrei“ gelten kann. Unter „Zug“ versteht man die thermische Belästigung, die sich aus der Kühlwirkung strömender Luft auf die Haut ergibt, wobei unterschwellige, nicht zum Bewußtsein kommende Reize unter Umständen gefährlicher sind als deutlich wahrnehmbare, weil diese Abwehrmaßnahmen auslösen. Zugluft verursacht bekanntlich nicht nur thermisches Unbehagen, sondern auch Erkältungskrankheiten. Wir sind daher bemüht, durch Versuchsreihen, in denen entweder die Luftgeschwindigkeit bei konstanter Lufttemperatur oder die Lufttemperatur bei konstanter Luftgeschwindigkeit geändert wird, den Bereich der Zugluft für den ruhig sitzenden Menschen zu ermitteln. Hierbei ist u. a. auch von Einfluß, welche Körperpartien vom Luftstrom getroffen werden. Das Gesicht ist unempfindlicher als die Nackenpartie oder die Fußknöchel. Welche Luftgeschwindigkeit, z. B. in einem Hörsaal, noch zulässig ist, hängt also auch davon ab, ob die Zuluft von der Stirnwand, von der Decke oder unter dem Gestühl eingeblasen wird.

Tafel 1  
Die Komponenten des Raumklimas (Schema)

thermische	akustische	optische	chemische
a) Lufttemperatur Zug Luftgeschwindigkeit relative Feuchte	Schallpegel Geräuschspektrum Dauer u. Häufigkeit der Geräuscheinwirkung empfundene Temperatur	Beleuchtungsstärke Blendungsfreiheit Schattenwirkung u. Licht- einfall Lichtfarbe u. Farbwieder- gabeeigenschaften	Gase / Geruchsstoffe Dämpfe Stäube (Maximale Arbeitsplatz- konzentration)
d) Oberflächentemperatur der Umschließungsfächen			
Hinweise auf Richtlinien:  DIN 1946 Bl. 1 Lüftungstechnische Anlagen Grundregeln Bl. 2 Lüftung von Versammlungsräumen Bl. 3 Lüftung von Fahrzeugen Bl. 4 Lüftung von Krankenanstalten Bl. 5. Lüftung von Schulen  DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau	Medizinische Leitsätze zur Lärmbekämpfung; Med. Informationsdienst, Godetsberg 1966.— VDI-Richtlinie 2058 Beurteilung u. Abwehr von Arbeitslärm Juli 1960.— DIN 4109 Schallschutz im Hochbau.— Gesetz zum Schutz gegen Baulärm vom 9. 9. 1965	DIN 5034 Innenraumbe- leuchtung mit Tageslicht.— DIN 5035 Innenraumbe- leuchtung mit künstlichem Licht.— Richtlinien für die Innen- raumbelüftung mit künstlichem Licht in öffent- lichen Räumen. Herausge- geben vom Bundesminis- ter, Bonn 1965.	MAK-Werte gesundheits- schädlicher Stoffe. Bek. des BMA. Arbeitsschutz 1966; Nr. 9.; S. 229.— Immis- sionsgrenzwerte nach der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ vom 8. 9. 1964, GMBI. Nr. 26, S. 433.

Das Wertepaar Lufttemperatur/Luftfeuchte hat wärmephysiologisch Bedeutung im Hinblick auf die Schwüle. Je höher die relative Feuchte der Raumluft, desto geringer ist das Gefälle zwischen dem Wasserdampfteildruck an der Körperoberfläche und in der umgebenden Luft, so daß ein Abdampfen von der Körperoberfläche und damit die biologisch notwendige Entwärmung des Körpers auf feuchtem Wege erschwert oder schließlich unterbunden wird. Es kann zur Wärmestauung und im Grenzfall zum Hitzekollaps kommen. Im Bereich einer Lufttemperatur von 20 bis 22 °C soll die relative Luftfeuchte bei körperlich nicht arbeitenden, gesunden Personen zwischen 30 und 70 % liegen.

Erwähnt sei in diesem Zusammenhang, daß die Meinung, zentralbeheizte Räume hätten trocknere Luft als Räume mit Kachelöfen, auf einem Irrtum beruht. An Radiatoren aufgehängte Wasser-Verdunstungsbehälter sind in der Regel nicht notwendig, abgesehen davon, daß sie erfahrungsgemäß nicht saubergehalten und nicht regelmäßig nachgefüllt werden. — Unvermeidbar hohe relative Luftfeuchte, z. B. in gewerblichen Betrieben, kann in gewissen Grenzen durch Bewegen der Luft etwas zuträglicher gemacht werden. Es besteht also die Möglichkeit, durch richtiges Abstimmen der drei Komponenten Temperatur / Feuchte / Geschwindigkeit die thermische Behaglichkeit zu verbessern, wovon mehr Gebrauch gemacht werden sollte.

Im Rahmen der Bauhygiene müssen wir heute der Bauweise der Wohngebäude und Fertigungsstätten erhöhte Aufmerksamkeit zuwenden. Anstelle der um die Jahrhundertwende üblichen dicken Wände mit ihrer Wärme und Kühl speichernden Fülle und einem Fensterflächenanteil im Bereich von 30 % treten heute Leichtbauweisen mit ungleich geringerem Speichervermögen und einem Fensterflächenanteil bis zu 90 %. Dadurch ist das Raumklima viel stärker von den zeitlichen Schwankungen der Außenlufttemperatur, insbesondere aber von der Sonnenwärme-Einstrahlung abhängig geworden.

Fensterglas ist für den sichtbaren Anteil der Himmelsstrahlung fast vollständig durchlässig. Beim Auftreffen auf die Rauminsassen, die Möblierung und die Raumumschließungsflächen verwandelt sie sich in langwellige Wärmestrahlung, für die das Fensterglas nahezu undurchlässig ist. Diese Wärmefallenwirkung mag im Gewächshaus sehr zweckmäßig sein, in Aufenthaltsräumen kann sie zu einer unzumutbaren thermischen Belästigung führen, und zwar nicht etwa nur im Sommer, sondern auch in den Monaten März / April und September, weil die Sonnenstrahlen in dieser Zeit flacher auf die Scheiben einfallen. Infolge der Sonnenwärmeeinstrahlung wird nicht nur die Raumlufttemperatur, sondern auch die Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen erhöht. Die aus diesen beiden Temperaturen resultierende „empfundene Temperatur“ nimmt dabei zu hohe Werte an. Wenn die Fenster heute größer dimensioniert werden, als es für eine angemessene Tagesbeleuchtung zweckmäßig ist, und die unabdingbare, außen vor den Fenstern angebrachte Abschattungsmöglichkeit fehlt, können sich die verantwortlichen Architekten zumindest nicht auf hygienische Wünsche berufen. Dieser Hinweis gilt besonders für den Bau von Krankenhäusern, Schulen und mit öffentlichen Mitteln finanzierte Wohnungen. Es ist auch abwegig, diese Überheizung etwa mit Hilfe einer Klimaanlage verhindern zu wollen, weil sich der erforderliche Aufwand für Einrichtung und Betrieb der Kälteanlage nicht vertreten läßt. —

In der kalten Jahreszeit lösen häufig zu niedrige Oberflächentemperaturen auf der Innenseite der Glasscheiben und der Außenwände thermisches Unbehagen aus. Sobald diese Oberflächentemperaturen unter die mittlere Körperoberflächentemperatur von rund 26 °C sinken, wird dem Rauminsassen zwangsläufig

zuviel Wärme auf dem Wege der Abstrahlung entrissen. Fensterglas hat immer einen höheren Wärmedurchgang und damit niedrigere Oberflächentemperaturen als z. B. eine 36 cm dicke Ziegelwand. Auch aus diesem Grunde ist eine weise Beschränkung der Fensterabmessungen und doppelte Verglasung — gerade auch im Baderaum! — ein bauhygienisches Anliegen. Um die Temperatur auf der Innenseite der Außenwand auf einer thermisch behaglichen Höhe zu halten, ist neben dem durch die Norm DIN 4108 begrenzten Wärmedurchgang auch ein Mindestwert für das Wärmespeicher vermögen erwünscht. Das gilt insbesondere im Hinblick auf Häuser, die aus Fertigbauteilen zusammengesetzt werden. Nur unter diesen Voraussetzungen läßt sich die aus Lufttemperatur und Umschließungsflächentemperatur resultierende „empfundene Temperatur“ dem optimalen Wert von rund 20 °C nahe bringen.

Zur weitergehenden Information sind in Tafel 1 kurze Hinweise auf einige einschlägige Richtlinien oder Normen angegeben.

### Die akustische Komponente des Raumklimas

gewinnt durch den ständig steigenden Verkehrslärmpegel und den mehr oder weniger rücksichtsvollen Betrieb von Rundfunk- und Fernsehapparaten, Küchenmaschinen und Reinigungsgeräten im Verein mit modernen Wohnungsbausystemen erhöhte Bedeutung. Die Messung der physikalischen Grundgrößen, des Schalldruckes (in Dezibel, dB) und der Frequenz als Schwingungszahl (in Hertz, Hz) ist mit den modernen Anzeige- und Registriergeräten relativ einfach. Zur hygienischen Bewertung des Lärms steht in Tafel 1 an erster Stelle der Schallpegel, der die von der Tonhöhe abhängige Lautstärkeempfindung des menschlichen Ohres einbezieht und A-bewerteter Schallpegel genannt wird: dB (A). Das an zweiter Stelle aufgeführte Geräuschspektrum, das den Energieanteil der verschiedenen hohen Töne und Geräuschkomponenten berücksichtigt, ist ein wichtiges Kriterium für die Lästigkeit des Geräusches. Die Messung dieses Spektrums ist bereits etwas aufwendiger, so daß man sich im allgemeinen mit der Messung des Gesamtschallpegels begnügt.

Die Frage nach der Grenze des zumutbaren Lärmes läßt sich vorläufig nur unvollkommen beantworten. Einen Anhalt können die in Tafel 1 zitierten Medizinischen Leitsätze zur Lärmbekämpfung und die VDI-Richtlinie 2058 bieten. Der Einfluß des Lärms auf Wohlbefinden und Gesundheit läßt sich so schwierig bewerten, weil nicht nur die individuelle Empfindlichkeit streut, sondern auch die Dauer und die Häufigkeit der Geräuscheinwirkung in die Beurteilung einzbezogen werden müssen. Die in der Literatur angegebenen Schallpegel-Grenzwerte beziehen sich in der Regel auf einen relativ gleichmäßigen Dauerlärmpegel, z. B. in einem Schreibmaschinensaal oder an einer Straße mit fließendem Verkehr; intermittierende Geräusche gleichen Schallpegels können wegen ihres Überraschungseffektes lästiger sein. Wie sollen beispielsweise die Schallereignisse bewertet werden, die ein Flughafen-Anwohner tagsüber oder nachts erlebt? Läßt sich ein dem tatsächlichen, intermittierenden Ablauf äquivalenter Dauerlärmpegel errechnen, der die gleiche physische und psychische Belastung bedeutet? In dieser Richtung liegen z. Z. die aktuellen Probleme für den Hygieniker. Sobald brauchbare Grenzwerte für Immissions-Lärmpegel in Aufenthaltsräumen bei geöffneten und bei geschlossenen Fenstern vereinbart sein werden, dürfte es dem Akustiker nicht mehr schwerfallen, einerseits die Emissionsquellen angemessen zu bekämpfen und andererseits den baulichen Schallschutz darauf abzustimmen. Das Normblatt DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ ist ein recht erfolgreicher erster Schritt auf diesem Wege gewesen.

## Die optische Komponente des Raumklimas

ist im wesentlichen durch die in der 3. Spalte der Tafel aufgeführten vier Gütekriterien der Beleuchtung gegeben. Die Beleuchtungsstärke durch Tageslicht an einer bestimmten Stelle des Raumes hängt von der jeweiligen Leuchtdichte des Himmels ab und ist sehr erheblichen tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Sie beträgt infolge der lichtundurchlässigen Raumumschließungsflächen und der gegenüberliegenden Verbauung nur wenige Prozente der zur gleichen Zeit im Freien herrschenden Beleuchtungsstärke. Trotzdem ist die in Glas aufgelöste Fassade nicht die optimale Fenstergröße! In dem Abschnitt über die Luft- und Umschließungsflächentemperatur als thermische Raumklimakomponenten wurde bereits auf die Nachteile großer Fensterscheiben durch Aufheizen des Raumes infolge der Sonneneinstrahlung einerseits und durch zu niedrige Oberflächentemperaturen auf der Innenseite während der kalten Monate andererseits hingewiesen. Außerdem wächst mit zunehmender Fenstergröße auch die Gefahr der Blendung, was sich in neuerer Zeit gerade in Hochhäusern bei horizontaler Blickrichtung unangenehm bemerkbar gemacht hat. Es wurde daher zum DIN-Blatt 5034 „Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht“ ein Beiblatt 2 „Vereinfachte Bestimmung der Fenstergrößen“ ausgearbeitet. Die aus diesem Tabellenwerk in Abhängigkeit von der Verbauung, verfügbaren Fensterhöhe und Raumtiefe entnommenen Fensterbreiten erfüllen die hygienischen Wünsche, weil zu kleine Fenster, wie sie um die Jahrhundertwende im Wohnungsbau, besonders an Hinterhöfen, zu finden waren, dieser Norm, die anerkannte Regel der Technik ist, nicht entsprechen würden.

Bei der künstlichen Beleuchtung zeigt sich in den letzten 20 Jahren ein deutlicher Trend zur Erhöhung der Beleuchtungsstärken. In der maßgeblichen Norm DIN 5035 „Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht“, Ausgabe 1963, wurden die Werte gegenüber der vorhergehenden Ausgabe verdoppelt, z. B. für Lesen und Schreiben von 250 auf 500 Lux. Von seiten der Hygiene wurde nicht auf eine solche Erhöhung gedrängt, zumal mit zunehmender Beleuchtungsstärke die Gefahr der Blendung wächst. Den Anstoß gab die Beleuchtungsindustrie mit dem Hinweis, daß durch die bessere Lichtausbeute der heute hergestellten Lampen die Lumenstunde erheblich billiger geworden ist, bei gleichem Betriebskostenaufwand also „mehr Licht“ geboten werden kann. Da für die gesundheitliche Bewertung einer Beleuchtungsanlage die Leuchtdichte („Helligkeit“) entscheidender ist als die Beleuchtungsstärke, soll die nächste Ausgabe des oben angeführten Normblattes hierzu nähere Angaben enthalten. Wenn die Messung der Leuchtdichte nicht wesentlich schwieriger wäre als die der Beleuchtungsstärke, würde man die hygienischen Wünsche nur mehr auf die Leuchtdichte abstellen.

Die zunehmende Verwendung von Leuchtstofflampen wird begrüßt, weil die auftretenden Leuchtdichten im allgemeinen geringer sind als bei Glühlampen und weil die Farbwiedergabe eigenschaften bei richtiger Typenauswahl einwandfrei sind. Wenn bisweilen Sehbeschwerden beim Arbeiten unter Leuchtstofflampen laut werden, darf dies nicht einer vermeintlich schädigenden Wirkung dieser Lampenart zugeschrieben werden; Tatsache ist vielmehr, daß bei Leuchtstofflampenlicht Augenanomalien deutlicher empfunden werden und dadurch die Anschaffung oder Änderung einer Brille ausgelöst wird.

Es läßt sich nicht bestreiten, daß künstliches Licht durch seine zeitliche und örtliche Gleichmäßigkeit und durch seine wählbare Lichtfarbe dem Tageslicht überlegen sein kann. Das sollte jedoch nicht zum Anlaß genommen werden,

Arbeitsräume fensterlos zu bauen, weil zur Gesundheit völliges psychisches Wohlbefinden gehört und hierzu die stimulierende Wirkung des Tageslichtes zweifellos beiträgt. — Bei den modernen Großraumbüros („Bürolandschaften“), die sich über den gesamten Grundriß eines Gebäudes erstrecken und Flächen von mehreren hundert Quadratmetern überspannen, ist in den fensterfernen Zonen die *Tageslichtergänzungsbelichtung* eingeführt worden. Sie muß wesentlich höhere Beleuchtungsstärken haben als die bisher übliche künstliche Beleuchtung während der Dunkelheit, weil sie dem ungleich höheren Tagesbeleuchtungsniveau am Fenster angepaßt sein soll, um lästige Leuchtdichteunterschiede zu vermeiden.

### **Die chemische Komponente des Raumklimas**

Gleichzeitig mit den bisher beschriebenen drei physikalischen Raumklimakomponenten tritt, vorzugsweise in gewerblichen Betrieben, auch noch eine chemische Komponente in Erscheinung. Hierbei ist an staub- und gasförmige Verunreinigungen der Raumluft gedacht, die entweder bei Fensterlüftung mit der Außenluft in den Raum gelangen oder innerhalb des Raumes durch die Insassen oder durch Rohstoffe und Fertigungsvorgänge anfallen. Reine Raumluft ist auch eine Forderung der Appetitlichkeit und Ästhetik. Da während des Verweilens in einem schlecht gelüfteten Raum das Geruchsempfinden abstumpft, muß als subjektives Kriterium gelten, daß beim Betreten des Raumes kein Eindruck verbrauchter Luft aufkommt darf.

In Räumen mit Lüftungs- oder Klimaanlagen wird man in der Regel verlangen, daß die Reinheit der Raumluft größer ist als in der Außenluft. Die maximalen Immissionskonzentrationen (MIK-Werte) der Außenluft sind in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (Tafel 1) verbindlich festgelegt. — Die höchsten Forderungen an die Reinheit der Raumluft sind z. B. in einem Operationstrakt oder auf einer Frühgeborenen-Station zu stellen. Demgemäß wurden in der DIN 1946, Blatt 4 „Lüftung in Krankenanstalten“ (vgl. Tafel 1!) die Staubfiltertypen für die Zuluft und die Umluft der einzelnen Raumgattungen nach genau definierten Güteklassen festgelegt.

In dichtbesetzten Aufenthaltsräumen, wie Hörsälen, Theatern, Festsaalen ist eine Lüftungsanlage als Regelfall zu fordern. Sie wird im allgemeinen so berechnet und dimensioniert, daß trotz der Wärme- und Wasserdampfabgabe der Insassen vorgegebene Lufttemperaturen und -feuchtigkeiten eingehalten werden. Diese Bilanz ergibt immer Luftmengen bzw. Luftwechselzahlen, bei denen die Konzentration der Geruchsstoffe aus Körper-, Kleider-, Abortgerüchen u. ä. m. mit Sicherheit unterhalb der hygienisch zulässigen Grenzen bleibt. Die mitunter propagierte Desodorierung der Raumluft durch Beimischen von Ozon ist keine echte Luftverbesserung, da sie die Gerüche nicht zum Versiegen bringt, sondern bestimmte Spektralbereiche der Geruchsnerven maskiert. Außerdem läßt sich die Dosierung des Ozons, das zehnmal giftiger ist als Chlor, schwer einstellen und überwachen. Auch die *Luftschönung* durch Versprühen eines Gemisches aus z. B. Chlorophyll und ätherischen Ölen oder durch Verdampfen solcher Gemische, z. B. aus Dochtflaschen, bedeutet keine echte Luftverbesserung und sollte als Behelfsmittel klassifiziert werden, weil echte *Lufterneuerung hygienische Grundforderung* bleibt.

Wenn in dicht besetzten Aufenthaltsräumen keine Lüftungsanlage zur Verfügung steht, wie z. B. in Schulklassen, ist die regelmäßige und intensive Pausenlüftung (bei geräumter Klasse!) eine hygienische Grundforderung, weil gegen

Ende der Unterrichtsstunde erfahrungsgemäß die geruchliche Beschaffenheit der Raumluft schlecht ist. In diesem Zusammenhang sei kurz erwähnt, daß das Absinken des Sauerstoffgehaltes und Ansteigen des Kohlendioxidgehaltes infolge des Atmungsprozesses der Insassen in den genannten Raumarten niemals bedenkliche Grenzen erreicht, während dieser Vorgang in Schutträumen, U-Booten, Weltraumfahrzeugen u. ä. entscheidende Bedeutung hat.

In gewerblichen Betrieben, insbesondere in der chemischen Industrie, entwickeln sich beim Gewinnungs- oder Verarbeitungsprozeß häufig gesundheitsschädliche Gase und Dämpfe. Die Wünsche des Hygienikers an die chemische Beschaffenheit der Raumluft sind in der Regel erfüllt, wenn durch Absaugungsanlagen an der Quelle (!) der Verunreinigung und durch eine Belüftungsanlage des Arbeitsraumes sichergestellt wird, daß die im internationalen Erfahrungsaustausch festgelegten und laufend überprüften Werte der *Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen* (MAK-Werte) nicht überschritten werden. Die für eine ausreichende Schadstoffverdünnung notwendigen Zuluftmengen lassen sich leicht errechnen, wenn man den Schadstoffanfall kennt, was jedoch mitunter langwierige, subtile Messungen voraussetzt.

Die Aufgliederung der Raumklimafaktoren in die thermische, optische, akustische und chemische Komponente zeigt, wie vielseitig die Probleme und damit auch die Wünsche der Hygiene sind. So notwendig es auf der einen Seite ist, ganz spezielle Aufgaben wärmephysiologischer, bauphysikalischer, akustischer oder lichttechnischer Art zu lösen, so wichtig ist auf der anderen Seite ein gut überlegtes Abstimmen und Kombinieren der einzelnen Erkenntnisse aufeinander bzw. miteinander. Je mehr die technischen Einzeldisziplinen in die Isolation des Spezialistentums geraten, desto dringlicher ist das Koordinieren. Der oben skizzierte Beitrag, den die Hygiene hierzu leisten kann und muß, um für ein Raumklima zu sorgen, das nicht nur Gesundheit, sondern auch Wohlbefinden und Behaglichkeit in physischer und psychischer Hinsicht bietet, ist eine lohnende und dankbare Aufgabe.

Direktor und Professor Dr. ROEDLER  
Bundesgesundheitsamt  
1 Berlin 33  
Corrensplatz 1

