Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 129 (1978)

Heft: 5

Artikel: Umwelttoxikologische Überlegungen zur Beurteilung von Industrie-Immissionen

Autor: Bauer, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-764352

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

129. Jahrgang | Mai 1978 | Nummer 5

Umwelttoxikologische Überlegungen zur Beurteilung von Industrie-Immissionen

Von *D. Bauer* Oxf.: 425
(Arbeitsärztlicher Dienst des BIGA und Institut für Toxikologie der ETHZ und der Universität Zürich)

Allgemeines

Bis vor kurzem war der Mensch gewohnt, Abgase aus Feuerungen, Verkehr, Industrie und Gewerbe sorglos in die Luft zu puffen. Denn die Luft «gehört» niemandem. Man darf sie daher für seine Zwecke beliebig brauchen, verbrauchen oder auch missbrauchen. Diese Einstellung ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass Umweltschäden im allgemeinen juristisch schwierig zu beurteilen sind. Bei dieser Art von Schadenfällen ist der Täter oft ein anonymes Kollektiv und das Opfer nur statistisch feststellbar. Auch spielt wohl bei dieser Einstellung die irrige Meinung des einfachen Mannes eine gewisse Rolle, dass die Luft über uns unerschöpflich sei. Dass dem nicht so ist, hat sich im breiteren Volksbewusstsein erst in letzter Zeit mit den bemannten Raumflügen festgesetzt.

Die Erde besitzt denn auch nur eine sehr dünne Lufthaut. Die Schicht, in der 99 Prozent der Luft enthalten sind, beträgt nur 30 Kilometer, das sind bei einem Modell der Erdkugel mit einem Durchmesser von 120 cm nur gerade 3 mm. Die Erdoberfläche beträgt etwa $5 \cdot 10^8$ km^2. Daraus lässt sich das Gesamtgewicht der Atmosphäre auf $5 \cdot 10^{18}$ kg schätzen. Mehr Luft ist auf der Erde nicht vorhanden. Luftverunreinigungen, die einmal global über die Erde verteilt sind, können aus der Atmosphäre nicht mehr entfernt werden. Die bodennahe Luftschicht hat zwar eine gewisse Selbstreinigungskraft, in höhere Schichten gelangende Verunreinigungen verursachen jedoch eine praktisch irreversible Verschmutzung dieses essentiellen und mengenmässig begrenzten Lebenselements.

Die Bedeutung der Luft für den Menschen

Die reine Luft besteht zu 99 Prozent aus Stickstoff und dem lebenswichtigen Sauerstoff (vergleiche Tabelle 1). Bei den übrigen, normalerweise vor-

kommenden, gasförmigen Luftbestandteilen ist mengenmässig noch das Argon und das Kohlendioxid zu erwähnen. Obwohl das Kohlendioxid an wichtigen Stoffwechselvorgängen beteiligt ist (Photosynthese) und als normaler Luftbestandteil gilt, stellt es dennoch als Hauptprodukt bei der Verbrennung eine potentielle Luftverunreinigung dar, wenn seine Konzentration über ein bestimmtes Mass ansteigt.

Tabelle 1. Zusammensetzung der Luft (trocken, Volumenprozente).

Stickstoff	78,09
Sauerstoff	20,94
Argon	0,93
Kohlendioxid	0,03
Andere Gase	0,01
Total	100,00

Pro Tag braucht der Mensch etwa 1,2 kg Nahrung und etwa 2 kg Wasser, aber etwa 14 kg Luft. Während mit der Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme mehr oder weniger lang ausgesetzt werden kann, muss die Luft-, respektive Sauerstoffzufuhr kontinuierlich erfolgen.

Dieser für die Luft einzigartige Umstand und der intensive Kontakt der Lunge mit grossen Luftmengen, der bei der Atmung erfolgt, ist der Grund dafür, dass sich Luftverunreinigungen bereits in sehr geringen Konzentrationen negativ auf das Allgemeinbefinden auswirken können. Die Luft ist auch ein essentielles Medium für die Sinnesempfindungen wie Sehen und Riechen. Schon geringe Fremdstoffkonzentrationen in der Luft können auch diese Empfindungen bereits erheblich stören.

Der durchschnittliche Sauerstoffverbrauch des Menschen beträgt etwa 500 Liter pro Tag. In der erdnahen Schicht wird dieser Sauerstoff durch Grünpflanzen aus Wasser und Kohlendioxid unter dem Einfluss von Sonnenlicht ständig regeneriert (Assimilation). In der höheren Atmosphäre entsteht er ausserdem durch photolytische Spaltung von Wassermolekülen. Das Kohlendioxid selbst wird innerhalb gewisser Grenzen für den Menschen nicht als Schadstoff angesehen. Der Kohlendioxidgehalt der Luft steigt aber weltweit als Folge der Verbrennung von fossilen Brennstoffen in einem Masse, dass von Fachleuten langfristig klimatologische Veränderungen mit schwerwiegenden Folgen befürchtet werden. Es zeichnet sich daher bereits heute die Tendenz ab, das durch Verbrennung künstlich gebildete Kohlendioxid vermehrt in umwelthygienische Überlegungen einzubeziehen und in Immissionsbeurteilungen zu berücksichtigen.

Von nicht geringer Bedeutung für die menschliche Gesundheit ist weiter die höhere Atmosphäre mit ihrer Ozonschicht, die einen wichtigen

Schutzschild vor schädlicher ultra-violetter Strahlung darstellt. Es wird unter anderem befürchtet, dass sich ein Eingriff in das Gleichgewicht dieser Ozonschicht, insbesondere ein Abbau (zum Beispiel durch halogenierte Kohlenwasserstoffe oder reaktive Abgase von Überschallflugzeugen), langfristig negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken könne.

Die industriellen Emissionen

In den letzten Jahrzehnten haben die Industrialisierung, der motorisierte Verkehr und der Energiekonsum enorm zugenommen. Die Folge davon ist eine Belastung der Luft mit unerwünschten Fremdbestandteilen und eigentlichen Schadstoffen, welche nicht nur die belebte, sondern auch die unbelebte Natur unerwünscht beeinflussen. Mengenmässig (ohne toxikologische Gewichtung) werden die Fremdstoffimmissionen zu je 25 Prozent der Energieerzeugung (inklusive Hausbrand) und der Industrie (inklusive Gewerbe) angelastet, während der Hauptanteil von etwa 50 Prozent dem motorisierten Verkehr zugeschrieben wird.

Als wichtigste industrielle Quellen von Luftverunreinigungen sind folgende Industriezweige und industriellen Prozesse zu nennen:

— Energieproduktion aus fossilen Brennstoffen
— Raffinerien
— Chemische Industrie
— Eisen- und Stahlindustrie
— Zementindustrie
— Aluminiumindustrie
— Kehrichtverbrennung
— Keramik- und Nichteisenindustrie

Diese Quellen verursachen ein weites Spektrum von Luftverunreinigungen, das von allgemeinen, unspezifischen Komponenten bis zu solchen reicht, die typisch für einen speziellen Prozess sind und sich daher in einem allfälligen Schadenfalle leicht identifizieren lassen. Einige dieser Schadstoffe und ihre möglichen Quellen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Technische und gesetzgeberische Massnahmen

Die technischen und gesetzgeberischen Massnahmen bei der Bekämpfung von Industrieemissionen haben sich bisher vor allem auf Staub und Schwefeldioxid konzentriert. Beim Grobstaub konnte durch gezielte Massnahmen eine weitgehende Reduktion erreicht werden. Dies trifft jedoch auf den ge-

Tabelle 2. Ausgewählte Luftverunreinigungen und ihre möglichen Quellen.

Komponente	*mögliche Quellen*
A. Allgemeine Luftverunreinigungen:	
Schwefeldioxid	Hausfeuerung, industrielle Feuerung (fossile Brennstoffe), Ölraffinerien, Ziegelfabrikation, Eisen- und Stahlherstellung, usw.
Rauch, Staub	Autoabgase, Hausfeuerung, industrielle Feuerung, Kehrichtverbrennung, Zementwerke, Ölraffinerien, Giessereien, Keramikindustrie, Hoch- und Tiefbau, usw.
Kohlenwasserstoffe	Autoabgase, Ölraffinerien, chemische Industrie, Kläranlagen
Stickoxide	Autoabgase, alle Feuerungen, Düngerfabriken
Kohlenmonoxid Kohlendioxid	Autoabgase, alle Feuerungen
B. Spezifische Luftverunreinigungen:	
Ammoniak	Ammoniakherstellung, Kläranlagen
Bromide	Autoabgase (aus Äthylendibromid-Additiven)
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	Chemische Reinigung, Metallentfettung
Chlorwasserstoff	Kehrichtverbrennung, Chlorfabriken
Fluoride	Ziegelfabriken, Glaswerke, Aluminiumherstellung
Mercaptane	Ölraffinerien, chemische Industrie, Kläranlagen
Schwermetalle	Giessereien (Buntmetall)

sundheitlich weit wichtigeren Feinstaub weniger zu. Dem Problem des Schwefeldioxids wurde durch eine Begrenzung des Schwefelgehalts der verwendeten Brennstoffe und durch den Bau hoher Kamine (Verdünnung der Abgase) begegnet. Die letztere Massnahme bringt jedoch keine eigentliche Lösung, sondern nur eine örtliche Verlagerung des Immissionsproblems und wird als eigentliche Umweltschutzmassnahme heute nicht mehr anerkannt («dilution is no solution for pollution»).

Nicht nur beim Feinstaub und Schwefeldioxid stossen die emissionsreduzierenden Massnahmen in der Praxis auf Schwierigkeiten. Auch für eine Reihe weiterer, relativ häufig anfallender Schadstoffe sind wirtschaftlich tragbare Massnahmen zur Elimination dieser Komponenten aus dem Abgas nicht bekannt, so für Kohlenmonoxid, die Stickoxide und die Kohlenwasserstoffe.

Solche Schadstoffemissionen können daher nur durch Eingriff in den technischen Prozess selbst vermieden werden, so dass sie entweder gar nicht entstehen (Kohlenmonoxid, Stickoxide) oder nicht ins Abgas gelangen können (Kohlenwasserstoffe).

Aber auch die mengenmässig geringeren Anteile von spezifischen Luftverunreinigungen, wie zum Beispiel Staub und Rauch von Blei und anderen Schwermetallen, Fluorwasserstoff, Biozide und viele andere organische Stoffe, können örtlich toxikologisch bedenkliche Konzentrationen erreichen.

Diese Stoffe üben ihre Wirkung nicht nur in der Luft aus, sondern auch nachdem sie mit den Niederschlägen in den Boden und ins Wasser gelangt sind. Zum Teil werden sie durch Mikroorganismen in der Nahrungskette wieder zu schädlichen Konzentrationen angereichert. Die zu treffenden, emissionsverhindernden Massnahmen sind daher komplex und müssen auf die einzelnen Fälle abgestimmt sein. Sie müssen die jeweils möglichen Sekundäreffekte auf das gesamte Ökosystem mitberücksichtigen.

Die Luftreinhaltung als Teilaufgabe des Umweltschutzes

Bei der Luftreinhaltung gilt es grundsätzlich emissionsseitig Massnahmen zu treffen, um schädliche Immissionen zu verhindern. Diese Aufgabe ist nur auf der Basis interdisziplinärer, wissenschaftlicher Grundlagen zu bewältigen. Die wichtigsten Beurteilungsgrundlagen, die dabei benötigt werden, sind die Quantifizierung und die Charakterisierung von Emission, Transmission und Immission (vergleiche Tabelle 3).

Tabelle 3. Beurteilungsgrundlagen für lufthygienische Massnahmen

Vorgang	*Aussage*
Emission	Welche Schadstoffe gelangen wo und wie in die Atmosphäre (qualitative und quantitative Aussage)?
Transmission	Wie breiten sich die Schadstoffe aus; was passiert dabei physikalisch und chemisch?
Immission	Mit welchen Schadstoffen wird das Zielsystem (Mensch, Tier, Pflanze, Ökosystem, unbelebte Natur) belastet (qualitive und quantitative Aussage)? Welche negativen Auswirkungen können beim Zielsystem festgestellt werden?

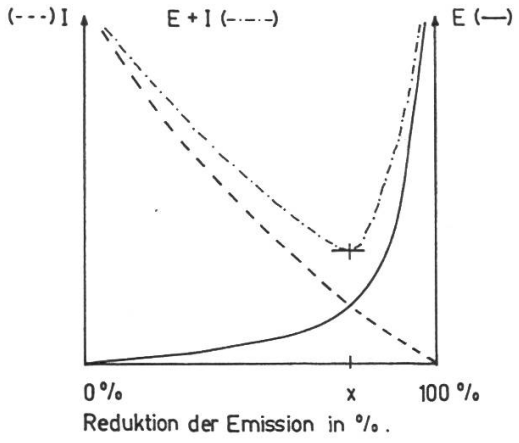
Die Risiko- und Sicherheitsevaluation von Immissionen

Für die Risiko- und Sicherheitsevaluation von Luftverunreinigungen gibt es kein allgemeingültiges Rezept. Jeder Fall erfordert eine sorgfältige, individuelle Abklärung. Einige verallgemeinernde Überlegungen, die in jede Beurteilung einbezogen werden sollten, können jedoch gemacht werden.

Von Industriebetrieben emittierte Luftverunreinigungen sind generell unerwünscht und sollten vermieden werden. Da dies nie zu 100 Prozent möglich ist, müssen die zu treffenden, lufthygienischen Massnahmen optimiert werden. Die Optimierung sollte dabei grundsätzlich auch einer Kosten-Nutzen-Analyse standhalten. Schematisch ist der Zusammenhang von Kosten und Nutzen bei emissionsreduzierenden Massnahmen in Abbildung 1 dargestellt. Ein optimaler Nutzeffekt ist gegeben, wenn die Gesamtkosten ein Minimum durchlaufen. Dieses Kostenminimum bestimmt den gesamtwirtschaftlich optimalsten Wirkungsgrad der Massnahme. Eine weitergehende Reduktion der Emission kostet wiederum mehr als sie nützt.

Repräsentative Kosten-Nutzen-Bilanzen sind leider nur schwer zu erstellen. Während die anfallenden Kosten der Emissionsmassnahmen relativ gut erfasst werden können, ist die kostenmässige Erfassung der negativen Immissionsauswirkungen unvergleichlich schwieriger. Materialschäden, direkte Schädigungen von Nutztieren und Nutzpflanzen können zwar noch einigermassen geschätzt werden. Fast unmöglich ist aber die Beurteilung der langfristigen Schädigung der menschlichen Gesundheit und des biologischen Ökosystems im Sinne einer Verschlechterung der allgemeinen Lebensqualität. Eine rein wissenschaftliche Beurteilung wird hier in der Praxis nie möglich sein, da in wirtschaftlichen, sozialen und politischen Fragen immer kontroverse Standpunkte existieren werden.

Abbildung 1. Funktion der Emissions- und Immissionskosten in Abhängigkeit vom Wirkungsgrad der emissionsreduzierenden Massnahme (alle Funktionen hypothetisch).



E (—): Emissionskosten = Kosten der Massnahme zur Emissionsverminderung.

I (- - -): Immissionskosten = Folgekosten, die durch die resultierenden Immissionen verursacht werden.

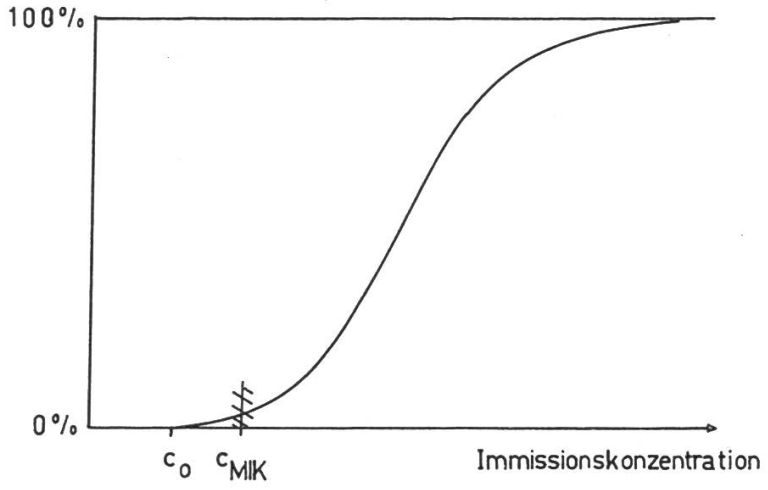
E + I (- : - : -): resultierende Gesamtkosten

x : optimaler Wirkungsgrad der emissionsreduzierenden Massnahme (E + I: Minimum).

Immissionsgrenzwerte

Aus präventivmedizinischer Sicht ist die Luft so rein wie möglich zu halten und nicht so schmutzig, wie es ein allfälliger Grenzwert gerade noch erlaubt. Immissionsgrenzwerte sollen grundsätzlich die Gewähr leisten, dass negative Auswirkungen nicht oder nur in unbedeutendem Masse auftreten. Bei Inertstaubimmissionen zum Beispiel, die von Industriebetrieben verursacht werden, ist die Wirkung primär in der Nachbarschaftsbelästigung zu sehen (vermehrte Staubablagerung und Oberflächenverschmutzung). Hier lässt sich ein solcher Immissionsgrenzwert im Prinzip anhand einer einfachen Dosis-Wirkung-Beziehung definieren, wie sie in Abbildung 2 schematisch wiedergegeben ist. Die Dosis ist dabei mit der Immissionskonzentration und die Wirkung mit der Häufigkeit der Klagen definiert. Im Idealfalle sollte der Grenzwert, die maximale Immissionskonzentration c_{MIK}, mit dem no-effect level c_o zusammenfallen, was in der Praxis allerdings nie zu erreichen ist. Im gewählten Beispiel ist der Grenzwert auch keine feste Grösse, sondern abhängig von den unterschiedlichen, regional als akzeptabel tolerierten Grundbelastungen (Unterschiede von Kurort, Dorf, Stadt, Industriezone usw.).

Abbildung 2. Häufigkeit von Belästigungsklagen in Abhängigkeit von der Einwirkungskonzentration im Falle von Staubimmissionen (schematisch).



Häufigkeit von Klagen wegen übermässiger, unzumutbarer Staubablagerung.

C_0: Immissionskonzentration, bei der keine Nachbarschaftsklagen registriert werden (no-effect level).

C_{MIK}: Grenzkonzentration zwischen zumutbarer und unzumutbarer Staubimmission (maximale Immissionskonzentration).

Bei toxischen Stoffen stösst die Festlegung von Immissionsgrenzwerten auf grosse Schwierigkeiten. Einerseits wegen der individuell unterschiedlichen Reaktionsbereitschaft der meist sehr heterogenen Bevölkerung (zum Beispiel junge und alte, gesunde und kranke Menschen) und anderseits wegen des

häufigen Fehlens eines eigentlichen no-effect levels, wie zum Beispiel bei den karzinogenen Stoffen, bei denen ein besonders hoher Sicherheitsfaktor gefordert werden muss, stellen solche Werte eigentliche Kompromisse dar.

Grundsätzlich sollen Immissionsgrenzwerte aber nicht nur die Wirkungen auf den Menschen berücksichtigen, sondern auch Wirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt. Schliesslich sollten sie auch einen Schutz der unbelebten Natur (zum Beispiel Bauwerke) garantieren sowie langfristig gefährliche Anreicherungen in biologischen Kreisläufen und unerwünschte Sekundäreffekte, wie sie zum Beispiel die Luftchemie zur Folge haben kann, verhindern. Im Falle des photochemischen Smogs ist die Bedeutung der Luftchemie für den Immissionsschutz erst an den katastrophalen Folgen erkannt worden. Bei den halogenierten Kohlenwasserstoffen, bei denen die möglichen chemischen Reaktionen in der Luft heute weitgehend untersucht und bekannt sind, sollte man daher in der Lage sein, geeignete Massnahmen rechtzeitig einzuleiten, um es zu den befürchteten Folgen eines Abbaus der Ozonschicht in der höheren Atmosphäre gar nicht kommen zu lassen.

Die Umwelttoxikologie im Rahmen der Lufthygiene

Der Umwelttoxikologie fällt vorwiegend die Aufgabe zu, die Wirkungen von Schadstoffen in niedrigen Dosisbereichen zu charakterisieren. Bei der Abklärung der Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit stützt man sich hauptsächlich auf zwei verschiedene, sich gegenseitig aber ergänzende Untersuchungsmethoden, einerseits die toxikologisch-biologische Abklärung und anderseits die epidemiologisch-statistische Feldstudie.

Aus epidemiologischen Studien ausgewählter, unter realistischen Bedingungen exponierter Populationen können die härtesten Beweise für Schadwirkungen gewonnen werden. Solche Studien ergeben zwar eher unspezifische, dafür aber realistische und wirklichkeitsgetreue Daten. Allgemein können die in Tabelle 4 aufgeführten Schweregrade der Einwirkung von Luftverunreinigungen auf den individuellen oder den kollektiven Gesundheitszustand unterschieden werden. Da epidemiologische Studien gewöhnlich durch die gleichzeitige Präsenz einer Vielzahl anderer, variabler Faktoren ebenfalls beeinflusst werden, bestehen erhebliche Schwierigkeiten, wenn kausale Zusammenhänge untersucht und präzise Aussagen über die Dosis-Wirkung-Beziehung gemacht werden sollen. Für solche Angaben sind daher meist mehrere, voneinander unabhängige Untersuchungen nötig. Ein typisches Beispiel ist die Abklärung des Zusammenhangs zwischen Rauchen und Lungenkrebs, der von mehreren, unabhängigen Studien bestätigt worden ist.

Quantitative und spezifische Informationen über Wirkungen von Schadstoffen können am besten mit toxikologisch-biologischen Experimenten ge-

Tabelle 4. Schweregrade der Einwirkung der allgemeinen Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit.

Wirkung	*Beurteilung*
1. Akute Krankheit, Tod	unzumutbar
2. Schleichende, verdeckte oder chronische Krankheit, Wachstumsverringerung, allgemeine Schwächung, Verkürzung der Lebenserwartung.	unzumutbar
3. Beeinträchtigung wichtiger physiologischer Funktionen: Lungenventilation, Sauerstofftransport, Empfindung, Reaktionszeit, usw.	unzumutbar
4. Störung der Leistungsfähigkeit: Lernen, Konzentration, Autofahren (Ermüdbarkeit), Sport (körperliche Leistungsfähigkeit).	unzumutbar
5. Belästigung; Sinnesreizungen, die zu Arztbesuchen führen können.	unzumutbar
6. Speicherung toxischer Stoffe, Akkumulierung potentiell gefährlicher Mengen.	unzumutbar
7. Unannehmlichkeiten wie Geruch, Verminderung von Sicht, Sonnenschein, Klima.	nur beschränkt zumutbar
8. Keine Wirkung feststellbar.	zumutbar

wonnen werden. Die Übertragung und Extrapolation von tierexperimentellen Resultaten ist aber immer mit einer grossen Unsicherheit behaftet, da das Laborexperiment den komplexen Verhältnissen des täglichen Lebens nie ganz entspricht. Insbesondere Langzeit-Expositionsbedingungen können im toxikologischen Experiment nicht realistisch simuliert werden. Toxikologische Laborversuche liefern zwar spezifische und quantitative Daten über Schadstoffeffekte und mögliche Wirkungsmechanismen. Sie erlauben es aber meist nicht, chronische Wirkungen im niedrigen, in der Praxis anzutreffenden Dosisbereich mit der gewünschten Genauigkeit abzuschätzen. Der besondere Wert von toxikologischen Modellstudien liegt darin, dass im Prinzip Schadwirkungen bereits erkannt werden können, bevor in der Praxis Immissionsschäden auftreten. Solche Modellstudien bilden daher eine wichtige Grundlage für eigentliche lufthygienische Präventivmassnahmen. Für die lufthygienische Beurteilung von bestehenden Immissionssituationen sollten immer toxikologische und epidemiologische Daten über die jeweiligen Schadstoffe herangezogen werden.

Eine häufige und mengenmässig bedeutende Quellengruppe, deren Immissionen häufig auch im unmittelbaren Lebensbereich des Menschen zu finden sind, ist die Verbrennung von fossilen und anderen Brennstoffen. Den toxikologisch vielleicht wichtigsten Anteil der Verbrennungsabgase dürfte die Fraktion der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe darstellen, die nachgewiesenermassen karzinogene Eigenschaften besitzt. Die krebsaus-

lösende Wirkung dieser Fraktion konnte zu einem grossen Teil (bis zu etwa 50 Prozent) auf den Gehalt an Benzo(a)pyren zurückgeführt werden, das daher als Leitsubstanz weit verbreitet ist. Die umwelttoxikologische Untersuchung zerfällt somit in die folgenden beiden Aufgaben:

1. Repräsentative Probenerhebung und quantitative Analyse der Leitkomponente (Dosis-Bestimmung).
2. Abschätzung des Gesamtrisikos anhand toxikologischer und epidemiologischer Daten (Wirkung-Bestimmung).

Die exakte, chemisch-analytische Expositionsbestimmung der Zielbevölkerung stellt dabei die Grundlage dar, ohne welche eine Beurteilung gar nicht möglich ist. Der Analytik ist daher besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Unerkannte, systematische oder zufällige Fehler beim Probensammeln oder bei der nachfolgenden chemischen Analyse können zu schwerwiegenden Fehlbeurteilungen führen.

Die analytischen Schwierigkeiten bei der Benzo(a)pyrenbestimmung sind mannigfaltig, da die Substanz als eigentliche Spurenkomponente vor der eigentlichen Analyse zuerst angereichert werden muss. Da Benzo(a)pyren nicht sehr stabil ist und vor allem photochemisch leicht oxydiert wird, können bei dieser Operation erhebliche Verluste entstehen. Alle bekannten analytischen Bestimmungsmethoden sind mehr oder weniger unspezifisch auf Benzo(a)pyren, das heisst ohne eine Abtrennung werden andere Komponenten miterfasst. Um zuverlässige Resultate zu erhalten, muss daher das Benzo(a)pyren für die Analyse aus dem Gesamtstaub mit einem chromatographischen Verfahren in reiner Form isoliert werden. Nur in Kombination mit einem solchen, selektiven Trennverfahren (zum Beispiel Säulen-, Dünnschicht-, Gas- oder Hochdruck-Flüssigkeitschromatographie) lassen sich reproduzierbare, quantitative Daten erhalten. Durch den unspezifischen Nullwert, der apparativ oder durch die Reinheit der verwendeten Lösungsmittel und Absorbentien bedingt ist, ergeben sich weitere Schwierigkeiten. Auch ist der Reinheitsgrad der Referenzsubstanz oft nicht genau bekannt, da er sich bei der Aufbewahrung verändern kann. Um diese Fehlermöglichkeiten auszuschliessen, sollte die Analyse im Prinzip nach der Methode des inneren Standards erfolgen (zum Beispiel mit 14-C-markiertem Benzo[a]pyren). Diese Methode wird jedoch von den meisten Laboratorien wegen des grossen Aufwands nicht routinemässig eingesetzt. Für Routinebestimmungen sind die heutigen Methoden entweder noch zu kompliziert, oder es müssen erhebliche Fehler in Kauf genommen werden. Der Vergleich von Daten, die mit verschiedenen Methoden erhalten worden sind, ist daher nach streng wissenschaftlichen Kriterien oft nicht zulässig. Es darf aber mit guten Gründen angenommen werden, dass diese heute noch aufwendigen Bestimmungsmethoden mit dem Fortschritt der modernen Instrumentalanalytik entscheidend verbessert und vereinfacht werden können.

Nicht nur die chemisch-analytische Quantifizierung von Benzo(a)pyren stösst auf Schwierigkeiten, sondern die Brauchbarkeit dieser chemischen Verbindung als Leitsubstanz für die Fraktion der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe wird zum Teil auch grundsätzlich in Frage gestellt. Das Benzo(a)pyren ist zwar die Komponente mit der stärksten karzinogenen Wirkung, die bis heute aus der polyaromatischen Staubfraktion isoliert werden konnte. Es besteht jedoch im allgemeinen keine Korrelation zwischen der Kanzerogenität der Gesamtfraktion und dem Gehalt an Benzo(a)pyren. Dies weist darauf hin, dass auch noch andere, unbekannte Faktoren die Kanzerogenität der Fraktion erheblich mitbestimmen. Bis heute ist aber noch keine andere, analytisch brauchbare Leitkomponente bekannt, die dem Benzo(a)pyren überlegen ist.

Trotz all dieser Schwierigkeiten und Komplikationen hat sich die Benzo(a)pyrenbestimmung als ein wertvolles, lufthygienisches Beurteilungskriterium erwiesen. Aufgrund der weltweit durchgeführten Messungen muss die Luftverschmutzung durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe für den geringen, aber doch feststellbaren Unterschied in der Krebshäufigkeit nichtrauchender Stadt- und Landbevölkerungen mitverantwortlich gemacht werden.

Allgemeine Schlussbemerkung

Unsere Kenntnisse über die Wirkungen industrieller Schadstoffe auf den Menschen sind gross. Das toxikologische Wissen basiert einerseits auf arbeitsmedizinischen Erfahrungen und anderseits auf tierexperimentellen Untersuchungen. Man stützt sich deshalb bei der umwelttoxikologischen Beurteilung von industriellen Immissionen bevorzugt auf die Humantoxikologie ab. Der Mensch ist aber nicht immer das empfindlichste Zielsystem bei industriellen Immissionen. Oft sind andere Systeme (zum Beispiel Pflanzen) empfindlicher. Neben humantoxikologischen Daten sollten daher vermehrt auch Wirkungen auf diese Systeme als Kriterien für Immissionsbegrenzungen berücksichtigt werden.

Herrn Professor Dr. Ch. Schlatter vom Institut für Toxikologie der ETHZ und der Universität Zürich danke ich bestens für die Durchsicht des Manuskripts und für wertvolle Diskussionen.

Résumé

Considérations choisies sur l'évaluation toxicologique des immissions industrielles

Dans cet exposé l'auteur discute d'une manière générale les problèmes d'hygiène de l'air que provoque l'activité industrielle humaine. D'abord, la signification de l'air pour l'homme ainsi que pour son environnement est examinée. Ensuite, les principales émanations industrielles, les grandes lignes de leur évaluation toxicologique et la philosophie des mesures à prendre sont traitées et illustrées par des exemples.

Il ressort que l'évaluation des «immissions» industrielles se base avant tout sur les effets sur l'homme. Pour une évaluation totale, les effets sur d'autres systèmes biologiques ne doivent pas être négligés.

Literatur

Stern, A. C., 1977: Air Pollution, Volume II: The effects of air pollution. Academic Press, New York, San Francisco, London

Benn, F. R. und *McAulifte, C. A.,* 1975: Chemistry and pollution. The Mac Millan Press, London and Basingstoke

Commission of the European Communities, 1976: The evaluation of toxicological data for the protection of public health, proceedings of the international colloquium, Luxemburg. Pergamon Press

Mehlman, M. A., Shapiro, R. E. und *Blumenthal, H.,* 1976: Advances in modern toxicology, Volume 1: New concepts in safety evaluation. John Wiley & Sons, New York

Lowrance, W. W., 1976: Of acceptable risk — science and the determination of safety. William Kaufmann, Inc./Los Altos, Calif.

National Academy of Sciences, 1975: Principles for evaluating chemicals in the environment — Report of a working conference, Washington

Saunders, P. J. W., 1976: The estimation of pollution damage. Manchester University Press