

# Zur Beurteilung von Schadstoffkonzentrationen in der Luft : ein Diskussionsbeitrag zur Frage, welchen Angaben nötig sind, um die Belastung der Luft durch Schadstoffe zu beschreiben und zu beurteilen

Autor(en): **Martin, Werner / Mauch, Samuel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **69 (1977)**

Heft 5

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941489>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Diskussionsbeitrag zur Frage, welche Angaben nötig sind, um die Belastung der Luft durch Schadstoffe zu beschreiben und zu beurteilen.

Werner Martin und Samuel Mauch

1. Einleitung Begriffe

Autos, Heizungsanlagen und Fabrikanlagen *emittieren* Schadstoffe wie Russ, Staub, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe in die Luft. Die dadurch in der Luft entstehenden Schadstoffkonzentrationen (gemessen z. B. in Gramm Schadstoff pro m<sup>3</sup> Luft) bezeichnet man als *Immissionsangebote* oder *Immissionskonzentrationen*. Sie stellen eine Verunreinigung oder eine Belastung der Luft dar. Diese Verunreinigungen können belästigende oder gesundheitsschädigende Wirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen haben, welche diese Luft einatmen und ihr durch Körperkontakt ausgesetzt sind.

Bild 1 versucht in einfacher Weise das «Luftverunreinigungssystem» zu umschreiben. Besondere Aufmerksamkeit erhält in diesem Aufsatz das rechts in der Figur eingezeichnete Subsystem «Immissionen».

In der Schweiz wurde in den letzten Jahren begonnen, Schadstoffkonzentrationen in der Aussenluft zu messen. Stadtluftuntersuchungen und lufthygienische Gutachten werden mancherorts vorgenommen. Dieses Erfassen und Beurteilen einer lokalen Luftbelastung hat deshalb sehr grosses politisches Gewicht bekommen, weil letztlich Lufthygiene im Interesse der Volksgesundheit und des Volkswohls betrieben werden soll [1]. Immissionsmessungen stellen heute die beste Grundlage zur Beurteilung des Luftzustandes dar. Immer wieder taucht aber das Problem der Interpretation solcher lufthygienischer Messwerte auf. Der folgende Diskussionsbeitrag setzt sich mit dieser Frage auseinander.

Oft entstehen Verwirrungen bei der Interpretation von lufthygienischen Daten deshalb, weil Angaben über Immissionskonzentrationen, die zum Beispiel «in der Stadtluft gemessen wurden», nicht eindeutig wiedergegeben werden, oder weil Messdaten ungenügend präzise umschrieben sind. Es ist zum Beispiel ungenügend, zu sagen: «Die SO<sub>2</sub>-Konzentration beträgt 60 mg/m<sup>3</sup>», ohne dass man dazu noch angibt, über welche Messzeit dieser Wert gemittelt wurde und wie häufig eine solche Situation auftritt.

Es fällt auf, dass oft bei Vergleichen von gemessenen Konzentrationen in der Aussenluft mit ausländischen Grenzwert und Richtwerten nicht darauf geachtet wird, ob beide Grössen von ihrer Form und Definition her vergleichbar sind. Ein weiterer Punkt gibt Anlass zu Verwirrungen: Man unterscheidet oft zu wenig bewusst zwischen *objektiver Feststellung* oder Beschreibung des *Zustandes* der Luft einerseits, und *normativer Festlegung* von *Qualitätsanforderungen* für die Luft andererseits. Im ersten Fall gibt man an, welche Immissionskonzentrationen an einem bestimmten Ort in der Luft vorkommen (aufgrund von Messungen oder Rechnun-

gen). Damit kann man den *Zustand* der Luft *beschreiben*. Man kann aber noch keine Aussage über die Luftqualität machen; man kann noch nicht sagen, ob dieser gemessene Zustand als gut oder schlecht zu bezeichnen sei. Im zweiten Fall werden aufgrund von bekannten wissenschaftlichen und oft auch politischen Kriterien Minimalanforderungen an den Zustand der Luft gestellt.

Im weiteren halten wir uns an folgende *Konventionen*: Mit *Luftzustand* bezeichnen wir objektiv messbare Angaben über die Zusammensetzung der Luft, den Gehalt an Luftfremdstoffen usw., also über den Zustand der Luft; *ohne* Bezug zu normativen Qualitätsanforderungen (Angaben in mg/m<sup>3</sup> mit den notwendigen statistischen Präzisionen).

Mit *Zielzustand* bezeichnen wir die Grenzwertgrössen der Luftzustandsparameter, die normativ aus gesundheitlichen oder anderen Gründen festgelegt werden, und die nicht oder nur mit einer bestimmten Häufigkeit überschritten werden dürfen.

Es ist das Ziel der folgenden Ausführungen, eine Uebersicht zu geben über die verschiedenen Parameter, die angegeben werden müssen, damit eine möglichst präzise Aussage über den Zustand oder die Qualität der Luft sowie ihre Bedeutung für die Auswirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen gewährleistet ist.

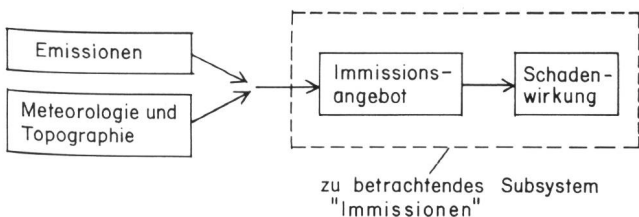


Bild 1. Vereinfachtes System der Luftverunreinigung.

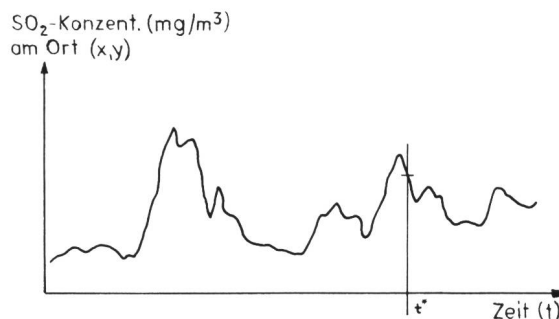


Bild 2. Die Zustandsparameter der Luft sind immer statistische Grössen, in Funktion der Zeit. Es ist unmöglich vorauszusagen, wie gross die SO<sub>2</sub>-Konzentration an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit t\* sein wird. Sinnvolle statistische Angaben sind aber möglich.

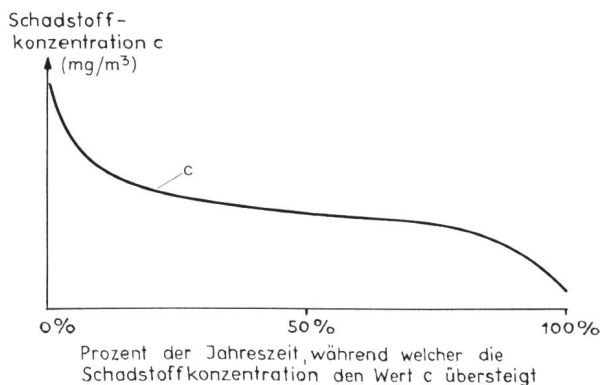


Bild 3. Summenhäufigkeit der Schadstoffkonzentration während der Beobachtungszeit von 1 Jahr, für einen bestimmten Ort (x, y).

## 2. Luftzustandsparameter: Durch welche Größen wird die Schadstoffkonzentration eindeutig beschrieben?

Da eine ganz bestimmte Konzentration eines Gases oder Aerosols in der Luft nur kurzzeitig auftritt und innerhalb eines gewissen Zeitabschnitts mit einer bestimmten Häufigkeit wiederkehrt, ist eine Konzentrationsangabe nur als statistische Grösse sinnvoll. Es muss also klar festgehalten werden: Die Schadstoffkonzentrationen der Luft an einem bestimmten Ort sind stochastische Funktionen der Zeit. Für alle planerischen Zwecke können sie deshalb nur als *statistische Grössen* beschrieben werden (siehe Bild 2).

Wie erwähnt, entstehen Missverständnisse oft, weil statistische Angaben ungenau wiedergegeben werden, und dann unbewusst als deterministische Grössen aufgefasst und interpretiert werden. Welche statistischen Angaben über die SO<sub>2</sub>-Konzentration kann man sinnvollerweise machen? Wir nehmen an, dass eine Beobachtungszeit von einem Jahr als Basis für die Beschreibung dieser Statistik geeignet sei. Das bedeutet, dass sich die wesentlichen Verhältnisse im Zyklus von einem Jahr wiederholen. Es wird auch angenommen, die Messungen geschehen kontinuierlich mit einer kleinsten, erfassten Mittlungszeit von ca. einer Minute. Eine erste Methode, diese Jahresstatistik anzugeben, ist die in Bild 3 dargestellte Summenhäufigkeitskurve der Schadstoffkonzentrationen.

Aus Bild 3 kann abgelesen werden, wie häufig eine bestimmte Konzentration  $c$  während des Jahres auftritt. Eine wichtige Information, die in der Lufthygiene gebraucht wird, kommt darin aber nicht zum Ausdruck: Wie häufig kommt es während eines Jahres vor, dass ein *Mittelwert*, gemessen über eine Minute, eine Stunde, einen Tag oder einen Monat, eine bestimmte Konzentration erreicht oder überschreitet? Eine Graphik, die darüber Auskunft gibt, ist in Bild 4 dargestellt. Diese *statistische Darstellung* ist in der Lufthygiene bereits seit einigen Jahren gebräuchlich [2]. Wegen ihrer generell gültigen Form wird sie als Pfeildiagramm bezeichnet (aus dem Amerikanischen «arrow head chart»). Das Pfeildiagramm gibt bedeutend mehr Information über die Jahresstatistik wieder als die Darstellung von Bild 3. Aus Bild 4 wird nun auch klar, wie eine Angabe über eine Schadstoffkonzentration gemacht werden muss, damit sie eindeutig und sinnvoll ist:

**Genügend präzise Angabe:** «Der 1%ige Stundenmittelwert der SO<sub>2</sub>-Konzentration am Ort (x, y) im Jahre 1974 betrug 80 mg/m<sup>3</sup>» (Punkt B<sub>1</sub> in Bild 4). Das heisst, 1% aller Stundenmittel während eines Jahres übersteigt den Stundenmittelwert 80 mg/m<sup>3</sup>.

**Ungenügend präzise Angabe:** «Der Stundenmittelwert der SO<sub>2</sub>-Konzentration am Ort (x, y) im Jahre 1974 betrug 80 mg/m<sup>3</sup>.»

Die zweite Aussage ist deshalb sinnlos, weil es nicht einen Stundenmittelwert während eines Jahres gibt, sondern eine ganze Häufigkeitsverteilung solcher Werte, wie Bild 4 zeigt (Punkte B<sub>1</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>90</sub>, B<sub>99</sub>). Einzig beim Jahresmittel gibt es nur einen einzigen Wert.

Man kann nun sagen, dass diese vieldimensionale Angabe zu kompliziert sei. Es kann im Sinne einer Vereinfachung nötig werden, sich auf die Angabe eines einzigen, repräsentativen Stundenwertes zu einigen, zum Beispiel auf den 10%-Wert B<sub>10</sub><sup>1)</sup>. Wichtig ist dann aber, dass diese Konvention bewusst und einheitlich getroffen wird, und dass

<sup>1)</sup> Dieser 10%-Stundenmittelwert gibt an, wie hoch die Konzentration ist, die während eines Jahres als Stundenmittelwert in nur 10% der Fälle überschritten wird.

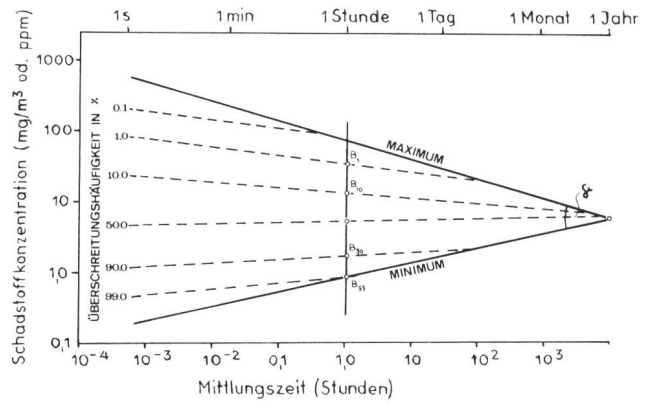


Bild 4. Das Pfeildiagramm (Doppellogarithmische Darstellung) beschreibt die Statistik der Schadstoffkonzentration  $c$  an einem bestimmten Ort während einer Zeitperiode von (normalerweise) einem Jahr.

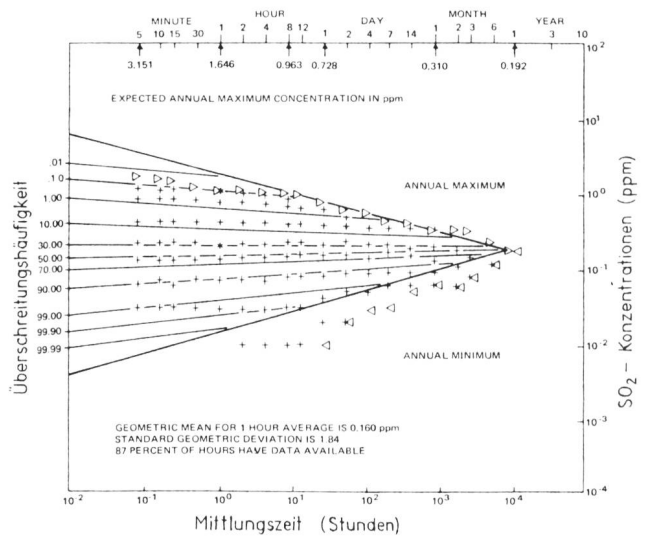


Bild 5. Beispiel 1. Konzentrationen von Schwefeldioxid, aufgetragen für verschiedene Mittlungszeiten und Überschreitungshäufigkeiten, gemessen in Chicago vom 1. 12. 1963 bis 1. 12. 1964 [3].

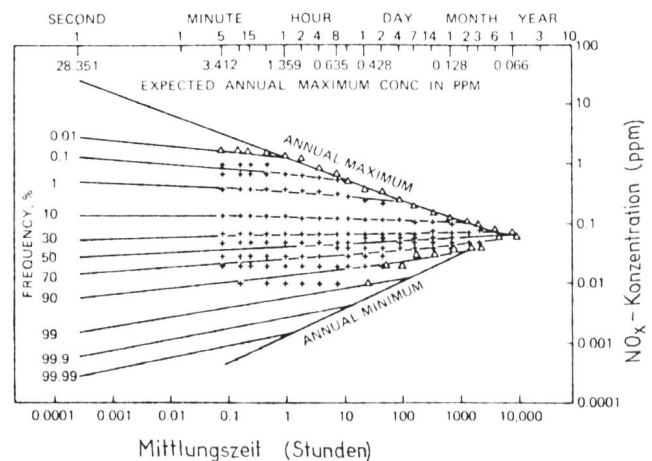


Bild 6. Beispiel 2. Konzentrationen von Stickstoffoxiden aufgetragen für verschiedene Mittlungszeiten und Überschreitungshäufigkeiten, gemessen in Washington, D. C. vom 1. 12. 1961 bis 1. 12. 1964 [2].

alle Angaben sich neu auf diesen 10%-Wert beziehen. Nur so kann eine anhaltende Verwirrung vermieden werden. Das Diagramm gemäss Bild 4 behält für die verschiedensten Situationen die gleiche Grundform. Der Winkel  $\gamma$  zwischen der Maximum- und der Minimum-Linie sowie die gegenseitigen Abstände der 1%, 10%, 50%, 90% und 99%-Linien variieren von Fall zu Fall. Ein grosser Winkel tritt zum Beispiel für eine Messstelle an einer Ueberlandstrasse auf, wo im allgemeinen — bei sehr geringem Verkehr — sehr kleine Konzentrationen vorherrschen, wo aber bei Verkehrsstockungen bei windstillem, stabilem Wetter hohe Konzentrationen auftreten können. Demgegenüber wird der Oeffnungswinkel  $\gamma$  kleiner sein für eine Messstelle irgendwo auf dem Land, wo geringe Schwankungen der Konzentration auftreten. Dort liegen dann die 1%- und die 99%-Werte viel näher beieinander als im ersten Fall.

### 3. Der Zusammenhang zwischen Schadstoffkonzentrationen und Schadenwirkung

In diesem Abschnitt fragen wir nach den Auswirkungen von Schadstoffen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Materialien. Die Wirkung eines bestimmten Schadstoffes hängt nicht nur von der Schadstoffkonzentration, sondern auch von deren Einwirkungszeit ab. Das Produkt dieser beiden Grössen bezeichnet man als Dosis (=Konzentration mal Einwirkungszeit), und der entsprechende Zusammenhang wird als Beziehung zwischen Dosis und Schadenwirkung dargestellt (Bild 7). Zusätzlich wird die Schadenwirkung noch durch die Empfindlichkeit des Objekts und die Art (Giftigkeit) des Schadstoffes bestimmt, so dass folgende Bestimmungsgrössen massgebend sind:

Schadenwirkung = f (Schadstoff, Empfindlichkeit des Objekts, Schadstoffkonzentration  $c$ , Einwirkungszeit  $\tau$ ).

Im folgenden beschränken wir uns darauf, für einen bestimmten Schadstoff und ein bestimmtes Objekt darzustellen, wie die Schadenwirkung von den beiden Parametern Konzentration und Einwirkungszeit abhängt.

Die drei Begriffe Konzentration, Einwirkungszeit und Schadenwirkung brauchen wiederum Präzisierungen: Wir nehmen an, dass die Beziehungen, wie sie zum Beispiel in Bild 8 dargestellt sind, empirisch ermittelt werden müssen und unter der idealisierten Bedingung gelten, dass ein Objekt (Mensch, Tier, Pflanze, Material) während einer bestimmten Zeit  $\tau$  einer konstanten Schadstoffkonzentration  $c$  ausgesetzt ist. Die vertikal aufgetragene Schadenwirkung ist genau zu identifizieren: Augenbrennen, Geruchsstörung, Atembeschwerden usw. beim Menschen; Blattverfärbung, Entlaubung, Schadstoffakkumulation bei der Pflanze. Für jede dieser Schadenwirkungen kann die Kurvenschar  $S(\tau, c)$  verschieden sein. Zudem ist die Funktion  $S(\tau, c)$  noch in dem Sinne statistisch, dass zum Beispiel nicht alle Menschen gleich empfindlich sind. Man muss also auch hier eine Zusatzangabe machen über den Anteil (die Fraktile) der Bevölkerung, die mindestens die Schadenwirkung  $S(\tau, c)$  zeigt; zum Beispiel  $S_{90}(\tau, c)$ .

In der Praxis unterscheidet man in bezug auf die Einwirkungszeit  $\tau$  zwischen drei Fällen: Mit kurzfristig meint man den Sekunden- und Minutenbereich (akute Wirkung), mit mittelfristig den Bereich Stunden bis Tage, und mit langfristig einen Zeitraum von Monaten und Jahren (chronische Wirkung).

Nun kann man die Information von Bild 8 in das Pfeildiagramm eintragen, siehe Bild 9. Für eine bestimmte Schadenwirkung (z. B. Augenbrennen infolge  $\text{SO}_2$ -Konzentration bei höchstens 10 % der Bevölkerung) ergibt dies eine Li-

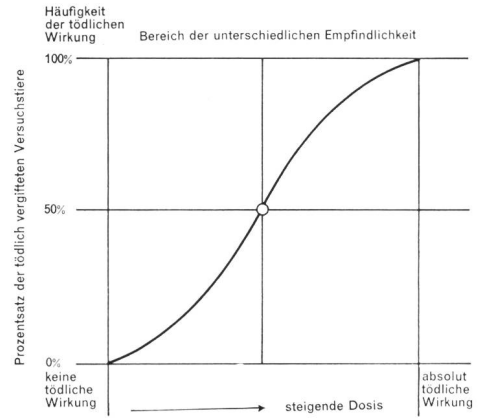


Bild 7. Beziehungen zwischen Dosis und Wirkung von Giften bei einmaliger Verabreichung [4].

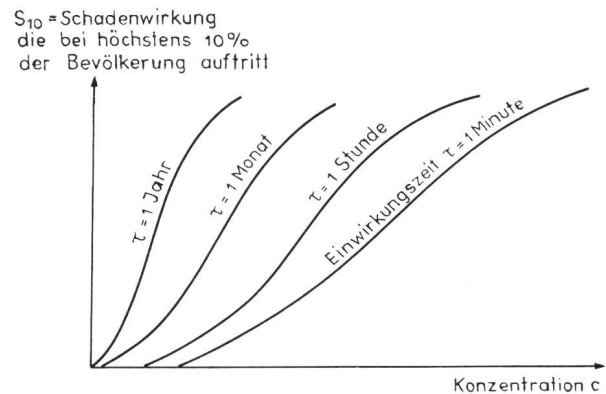


Bild 8. Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schadstoffkonzentration, Einwirkungszeit und Schadenwirkung.

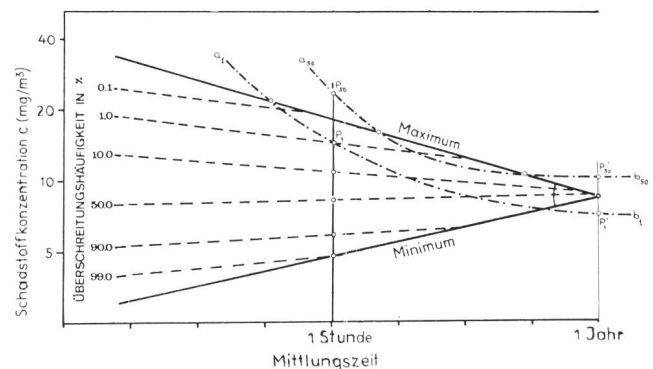


Bild 9. Die Schadenwirkungskurven für Augenbrennen a—b, eingetragen im Pfeildiagramm für die Schadstoffkonzentrationen.

nie a—b im Pfeildiagramm, weil die Konzentration  $c$ , bei welcher dieser Schaden auftritt, von der Einwirkungszeit abhängt. Die Einwirkungszeit  $\tau$  wird hier mit der Mittlungszeit gleichgesetzt.

Die Kurve  $a_1—b_1$  gilt für die empfindlichsten 1 %, die Kurve  $a_{50}—b_{50}$  für die empfindlichere Hälfte der betrachteten Bevölkerung. Punkt  $P_1$  bedeutet, dass bei 1 % der Bevölkerung mit akutem Augenbrennen zu rechnen ist, wenn die Konzentration  $c = 18 \text{ mg/m}^3$ , als Stundenmittel gemessen, auftritt. Der Punkt  $P_{50}$  bedeutet, dass bei 50 % der Bevölkerung chronisches Augenbrennen auftritt, wenn die Konzentration — als Jahresmittel —  $15 \text{ mg/m}^3$  erreicht.

## 4. Zur Festlegung von Qualitätsanforderungen als Zielgrössen des Luftzustandes

### Risikoproblem 1

Normwerte entstehen, wenn man die vorhandenen Informationen über die Dosis—Wirkung-Beziehungen übersetzt auf normative Vorstellungen darüber, welche Schäden man als Folge der Luftverschmutzung tolerieren bzw. verhindern will. Zum Beispiel: Nirgends darf die Verschmutzung der Luft so sein, dass bei dort sich aufhaltenden Personen in mehr als 1 % der Fälle mit akutem oder chronischem Augenbrennen zu rechnen ist.

Wenn Bild 9 als massgebend gelten soll, so bedeutete dies, dass der maximal zulässige Stundenmittelwert (die Maximum-Linie) auf 18 mg/m<sup>3</sup>, und der maximal zulässige Jahresmittelwert auf 10 mg/m<sup>3</sup> festgelegt werden müssten.

Es ist zu beachten, dass diese Ueberlegung das *individuelle Risiko* irgendeiner einzelnen Person limitiert. Neben dem individuellen Risiko gibt es ein kollektives. Das *kollektive Risiko* in unserem Falle wäre die Gesamtzahl der Fälle pro Jahr von akutem oder chronischem Augenbrennen. Das kollektive Risiko ist einerseits durch das festgelegte maximale individuelle Risiko (gegeben durch die Grenzwerte), und andererseits durch die geographische-zeitliche Verteilung der Luftverschmutzung und der Bevölkerung gegeben.

### Risikoproblem 2

Man weiss einiges, aber dennoch «viel zu wenig» über die Dosis—Wirkung- bzw. Dosis—Schaden-Beziehungen von Schadstoffen. Dies führt zu einer wichtigen Frage, die heute viel diskutiert wird: Wie kann man Richtwerte festlegen, wenn man noch zu wenig Kenntnis über diese Beziehungen hat?

Die einen sagen, man müsse warten mit der Festlegung der Richtwerte, bis man sicherer sei, wie hoch man sie festlegen müsse.

Wir glauben, dass diese Haltung falsch ist, weil sie einem wichtigen Grundsatz des gesellschaftlich verantwortungsvollen Handelns widerspricht, der in vielen anderen Bereichen des Ingenieurwesens und der Wissenschaft schon immer angewendet wurde. Es handelt sich um ein Risikoproblem, ähnlich wie zum Beispiel im Brückenbau: Man hat schon Brücken gebaut zu einer Zeit, da man weder die Widerstandsfähigkeit der Baumaterialien genau kannte noch die Brückenkonstruktionen genau berechnen konnte. Als Kompensation für diese noch bestehende Unsicherheit hat man entsprechend grosse Sicherheitsfaktoren eingebaut, um das Risiko in tolerierbaren Grenzen zu halten. Die Situation in der Lufthygiene — oder im Umweltschutz allgemein — ist analog: Dass an verschiedenen Orten noch grosse Unsicherheiten bei der Festlegung von Richtwerten vorhanden sind, berechtigt uns nicht abzuwarten, bis wir es «genügend» genau wissen, sondern sie verpflichtet uns, die Richtwerte mit vorläufigen Sicherheitsmargen festzulegen, die dem Ausmass der Unsicherheit angemessen sind. Denn Luftschadstoffe werden ja weiter-

hin produziert. Wenn in einigen Jahren der Unsicherheitsbereich als Folge weiterer Forschungen abnimmt, so können neue Richtwerte mit kleineren Sicherheitsmargen verwendet werden. In Ausnahmefällen kann es auch notwendig werden, die Richtwerte zu verschärfen, wenn neuere Forschungsergebnisse dies verlangen.

Die Scheu vor einer nicht perfekten Lösung, bei der man Richt- oder Grenzwerte ein für allemal festlegt, muss dem Verantwortungsgrundsatz weichen. Man muss bei jenen Richtwerten, die man noch nicht mit Sicherheit festlegen kann, bewusst ein dynamisches Vorgehen wählen und es als solches bezeichnen. Einem solchen Konzept haftet durchaus nichts von «die wissen nicht, was sie wollen» an. Es liegt in der Sache des Risikoproblems, das man als solches anerkennen muss.

## 5. Schlussbemerkung

Wir haben uns darauf beschränkt darzustellen, welche Gesichtspunkte es zu beachten gilt, wenn

- lufthygienische Messdaten verwendet werden, um den Luftzustand zu beschreiben (Abschnitt 2),
- der Zusammenhang zwischen Schadstoffen in der Luft und ihren Schadenwirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Materialien dargestellt werden soll (Abschnitt 3), und
- es darum geht, Zielgrössen für den tolerablen Luftzustand als Richt- oder Grenzwerte festzulegen.

In der Praxis der Lufthygiene kommen noch zwei weitere Probleme dazu: Einmal treten in der Regel immer verschiedene Schadstoffe miteinander auf. Damit stellt sich die Frage, wie diese zusammenwirken, und ob es sinnvoll und möglich sei, den Luftzustand in solchen Situationen mit einer einzigen Zahl, einem Luftqualitäts- oder Luftverschmutzungsindex, zu beschreiben.

In der Planungspraxis sollte man sinnvolle Regeln haben, nach welchen man den einzelnen Schadstoffemittenten Auflagen zur Reduktion ihrer Emissionen macht. Diese Regeln sollten so sein, dass die auf der Immissionsseite gestellten Qualitätsanforderungen mit möglichst kleinem volkswirtschaftlichem Aufwand erreichbar sind und gleichzeitig keine groben Bevorteilungen oder Benachteiligungen auf-treten.

Auf diese beiden Fragen soll in einem Folgeteil zu diesem Aufsatz eingegangen werden.

- [1] Artikel 24septies der Bundesverfassung über den Umweltschutz.
- [2] C. E. Zimmer und R. I. Larsen: Calculating Air Quality and Its Control. «Journal of Air Pollution Control Association» 15, 1965.
- [3] Air Quality Criteria for Sulfur Oxides. U. S. Department of Health, Education and Welfare, Washington, D. C., April 1970.
- [4] Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL). Probleme der Lufthygiene, Unterlagen zur Umweltgesetzgebung, zusammengestellt von der EKL. Sonderdruck zur Beilage B, Nr. 6/1973, «Bulletin des Eidg. Gesundheitsamtes».

Adresse der Verfasser: Werner Martin, Thunstrasse 41, 3005 Bern, und Samuel Mauch, INFRAS, Beratungsgemeinschaft für Infrastruktur- und Entwicklungsplanung, Umwelt- und Wirtschaftsfragen, Dreikönigstrasse 51, 8002 Zürich.