

Kriterien zur Festlegung von Immissionsgrenzwerten

B. Achermann

Bundesamt für Umweltschutz, 3003 Bern

1. Einleitung

Die Luftreinhaltung in der Schweiz beruht auf einem zweistufigen Konzept. Die *erste Stufe* verlangt, dass sämtliche Emissionen zunächst soweit zu begrenzen sind, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Die *zweite Stufe* besteht darin, dass die Emissionen über das Mass der ersten Stufe hinaus (d. h. schärfer) zu begrenzen sind, wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass die Luftverunreinigungen schädlich oder lästig sind.

Es ist deshalb nötig, eine *Grenze der Schädlichkeit oder Lästigkeit von Immissionen* gesetzlich festzulegen. Dazu sind gemäss schweizerischem Umweltschutzgesetz *Immissionsgrenzwerte* für Luftverunreinigungen vorgesehen. Überdies sind im Umweltschutzgesetz einige Kriterien konkret vorgegeben, welche bei der Festlegung von Immissionsgrenzwerten zu berücksichtigen sind.

Mit diesem Gesetzesauftrag sind eine Reihe von Detailfragen verbunden, auf die nachstehend kurz eingegangen wird. Auf einige weiterführende Arbeiten, die den folgenden Ausführungen teilweise zugrundeliegen, wird nur am Schluss hingewiesen.

2. Kriterien des schweizerischen Umweltschutzgesetzes zur Festlegung von Immissionsgrenzwerten

Nach Artikel 14 des Umweltschutzgesetzes müssen Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen derart festgelegt werden, dass nach dem *Stand der Wissenschaft* oder der *Erfahrung* Immissionen unterhalb dieser Werte

- a) Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume nicht gefährden;
- b) die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören;
- c) Bauwerke nicht beschädigen;
- d) die Fruchtbarkeit des Bodens, die Vegetation und die Gewässer nicht beeinträchtigen.

Dabei sind die Einwirkungen sowohl einzeln als auch gesamthaft und nach ihrem Zusammenwirken zu beurteilen (USG Art. 8).

Insbesondere müssen dabei auch die Wirkungen der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere berücksichtigt werden (USG Art. 13).

Die Festlegung der Immissionsgrenzwerte hat also unabhängig von der technischen und betrieblichen Realisierbarkeit sowie der wirtschaftlichen Tragbarkeit von allenfalls zu treffenden Luftreinhaltmassnahmen zu erfolgen. Ebenso wenig wird berücksichtigt, wie hoch die aktuelle Luftverschmutzung bereits ist. Vielmehr sind als einzige Grundlagen der Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis sowie die allgemeine

Erfahrung über Schadstoffauswirkungen heranzuziehen, mit Hilfe derer die Schutzbedürfnisse des Menschen und seiner Umwelt formuliert werden müssen.

Die Kriterien, welche bei der Festlegung von Immissionsgrenzwerten beachtet werden müssen, sind im USG also ganz klar festgehalten. Trotzdem ist es vielfach äusserst schwierig, diesen Anforderungen bei der Umsetzung des Erkenntnisstandes der Wissenschaft bzw. der Erfahrung in messtechnisch überprüfbare Grenzwerte vollumfänglich gerecht zu werden.

Ausgehend von der Erkenntnis oder der Vermutung, eine Luftverunreinigung sei umweltgefährdend, bis zur Festlegung eines Immissionsgrenzwertes sind etliche Abklärungen und Entscheidungen zu treffen, die einerseits auf wissenschaftlich ermittelte Grundlagen abgestützt, andererseits aber auch durch subjektive Bewertungen geprägt sein können. Dabei ist zu beachten, dass nicht allein die Ergebnisse der Wirkungsforschung zu Immissionsgrenzwerten führen können, sondern auch die Kenntnis der Transmissionsvorgänge in der Atmosphäre. So kann es beispielsweise nötig sein, einen primären Luftschadstoff deshalb zu begrenzen, weil er als Vorläufer eines schädlichen sekundären Luftschadstoffs von Bedeutung ist. Ansätze in dieser Richtung sind heute beispielsweise im Bereich der Photooxidantienbildung (Bildung von Ozon aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen) vorhanden.

In Figur 1 sind die erwähnten Zusammenhänge stark vereinfacht dargestellt.

3. Auswahl umweltgefährdender Luftverunreinigungen

Das Umweltschutzgesetz definiert Luftverunreinigungen als Veränderungen des natürlichen Zustandes der Luft, namentlich durch Rauch, Russ, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe, Geruch oder der Wärme (USG Art. 7).

Angesichts der Vielzahl heute vorhandener Luftfremdstoffe – in Ballungsgebieten enthält die Luft über tausend Fremdstoffe – sowie all ihrer verschiedenen und oft nur teilweise oder kaum bekannten Wirkungen wird erkennbar, dass kein abschliessender Katalog von Luftschadstoffen mit Immissionsgrenzwerten aufgestellt werden kann. Vielmehr muss eine Auswahl getroffen bzw. eine Art Prioritätsliste geschaffen werden, in welcher vor allem jene Luftfremdstoffe figurieren, die ein *hohes Umweltgefährdungspotential* besitzen. Als Grundlagen zur Beurteilung des Gefährdungspotentials dienen u. a. chemisch-physikalische Stoffdaten, Emissionsmengen, Verbreitung und Verhalten in der Umwelt, toxikologische Wirkprofile sowie die Erfahrung, wenn es beispielsweise um die Lästigkeit von Einwirkungen geht. Tabelle 1 gibt eine auf diese Weise erhaltene Auswahl umweltgefährden-

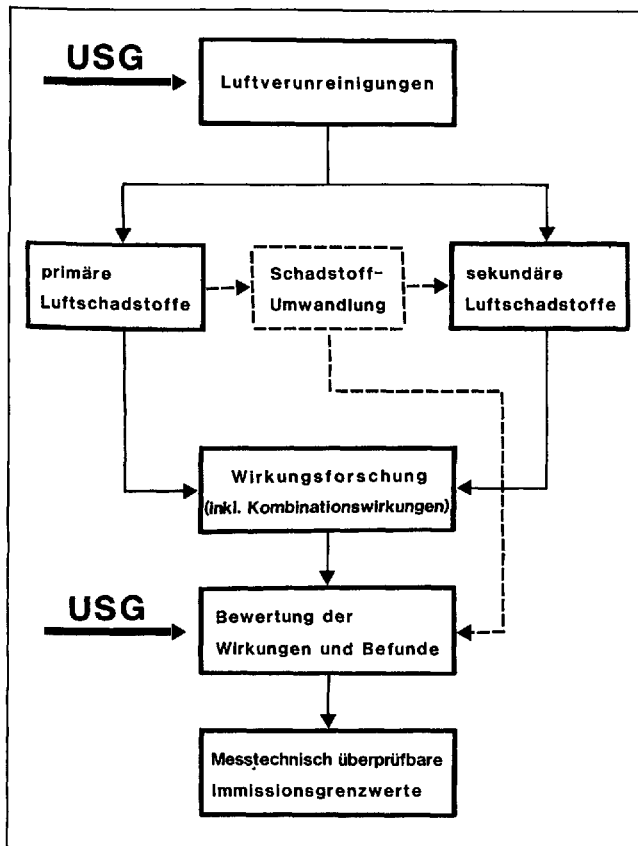


Fig. 1. Festlegung von Immissionsgrenzwerten für Luftverunreinigungen unter Berücksichtigung der Kriterien des Umweltschutzgesetzes (USG).

der Luftverunreinigungen wieder. Die Liste enthält u. a. diejenigen Schadstoffgruppen, für welche in der Luftreinhalte-Verordnung Immissionsgrenzwerte und auch Emissionsbegrenzungen vorgesehen sind.

4. Elemente der Wirkungsforschung

Erkenntnisse über die Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen und seine Umwelt können auf unterschiedliche Weise gewonnen werden:

- a) durch kontrollierte toxikologische Untersuchungen
 - in vitro an Zellen, Geweben, Organen
 - an Versuchstieren
 - an freiwilligen Versuchspersonen
 - an Pflanzen
 etc.
- b) durch epidemiologische Untersuchungen
 - an Bevölkerungsgruppen
 - an Pflanzengemeinschaften
 etc.
- c) durch Auswertung von Morbiditäts- und Mortalitätsstatistiken
- d) durch Exposition von Materialien.

Das kontrollierte toxikologische Experiment ist immer objektbezogen und meist auf einen einzigen Schadstoff und bestimmte Expositionsbedingungen beschränkt. Der Vorteil besteht in der hohen Spezifität der Ergebnisse, da äussere Einflussfaktoren kontrolliert werden können. Damit ergibt sich aber zwangsläufig das

- Schwefeldioxid (SO₂) und die daraus entstehenden Säuren (schwefelige Säure H₂SO₃ und Schwefelsäure H₂SO₄) sowie deren Salze (Sulfite, Sulfate).
- Stickoxide (NO, NO₂) und die daraus entstehenden Säuren (salpetrige Säure HNO₂ und Salpetersäure HNO₃) sowie deren Salze (Nitrite, Nitrate).
- Kohlenmonoxid (CO).
- Kohlendioxid (CO₂).
- Zahlreiche Kohlenwasserstoffe (HC) bzw. flüchtige organische Verbindungen (VOC):
 - Alkane und Alkene (z. B. Äthylen)
 - oxidierte Kohlenwasserstoffe (z. B. Aldehyde, Ketone)
 - halogenierte Kohlenwasserstoffe (z. B. 1,2-Dibromethan, Vinylchlorid)
 - aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Benzol und seine Derivate)
 - polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Benz(a)pyren)
 u. a.
- Photooxidantien, vor allem Ozon (O₃) sowie gewisse Peroxyverbindungen (z. B. PAN).
- Zahlreiche Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Thallium, Arsen, Quecksilber, Nickel, Zink u. a.
- Staubförmige Luftverunreinigungen wie der feinkörnige Schwebstaub und der grobkörnige Sedimentstaub sowie deren Inhaltsstoffe (z. B. Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe u. a.).
- Faserförmige Luftverunreinigungen (z. B. Asbest).
- Chlorwasserstoff (HCl).
- Fluorwasserstoff (HF) und Fluoride.
- Ammoniak (NH₃) und Ammoniumsalze.

Tab. 1. Auswahl umweltgefährdender Luftverunreinigungen.

Problem der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Objekte (z. B. vom Tier auf den Menschen oder von einer Pflanzenspecies auf eine andere) und auf die realen Expositionsverhältnisse in der Umwelt.

Die Ergebnisse epidemiologischer Studien spiegeln die realen Verhältnisse an sich besser wider. Man stösst dann aber auf das Problem der unspezifischen Krankheitssymptomatik. Die kausalen Zusammenhänge zwischen Luftverunreinigungen und Beeinträchtigungen der Gesundheit bzw. dem Auftreten nachteiliger Wirkungen ganz allgemein sind dabei nicht immer leicht aufzudecken, da einzelne Luftverunreinigungen nicht allein, sondern in Kombination mit andern Fremdstoffen und zahlreichen weiteren, oft unbekanntem Einflussfaktoren vorliegen, um deren Einfluss die Ergebnisse korrigiert werden sollten.

Bei der Auswertung von Morbiditäts- und Mortalitätsstatistiken ergeben sich häufig insofern Schwierigkeiten, als wichtige Informationen über die Kranken und Verstorbenen nicht mehr in Erfahrung gebracht werden können. Von den Statistiken ausgehende Hochrechnungen und Korrelationen mit bestimmten Luftverunreinigungen sind dann meist mit einer so grossen Unsicherheit behaftet, dass quantitative Aussagen schliesslich nur sehr eingeschränkt möglich sind und

Einzeleinflüsse praktisch nicht identifiziert werden können.

Bei der *Exposition von Materialien* ergeben sich prinzipiell die gleichen Schwierigkeiten wie beim kontrollierten toxikologischen Experiment bzw. bei epidemiologischen Untersuchungen.

Jede der beschriebenen Vorgehensweisen konfrontiert den Wissenschaftler also mit Schwierigkeiten, wenn es darum geht, aus den erhobenen Daten eine möglichst zutreffende Aussage über die Bedeutung von Luftverunreinigungen für den Menschen und seine Umwelt abzuleiten.

5. Bewertung der Wirkungen und Befunde

Aus der Fülle der Ergebnisse der Wirkungsforschung gilt es, für eine Risikobeurteilung und zur Ableitung von Grenzwerten vor allem jene auszuwählen, die nachweisbar im Zusammenhang mit einer möglichen Erkrankung des Menschen oder einer nachteiligen Wirkung auf seine Umwelt stehen. Entsprechend den Kriterien des Umweltschutzgesetzes ist dabei von Bedeutung, dass jenen Befunden eine besondere Beachtung geschenkt wird, welche an ausgesprochenen *Risikogruppen* bzw. an *Objekten mit erhöhter Empfindlichkeit* erhalten wurden (USG Art. 13). Beim Menschen sind dies insbesondere Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere, während aus phytotoxikologischer Sicht unter anderem die Wälder eines besonderen Schutzes bedürfen.

Sowohl zwischen als auch innerhalb von Objektgruppen (z. B. bei verschiedenen Pflanzen derselben Art) gibt es genetisch und/oder umweltbedingt eine grosse Variationsbreite individueller Empfindlichkeit bzw. Widerstandskraft, so dass bei gleicher Immissionsbelastung in einem Fall eine bestimmte Wirkung eintritt, in einem andern Fall, d. h. bei einem andern Individuum, dieselbe Wirkung dagegen ausbleibt. Wirkungsschwellen sollen daher nicht auf isolierten Einzelbefunden beruhen, sondern durch eine Vielzahl von Ergebnissen belegt sein. Denn mit der zunehmenden «Dichte» der Befunde aus unterschiedlichen Arbeitsgruppen in gewissen Schadstoff-Konzentrationsbereichen nimmt auch die Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit der beobachteten Veränderungen zu.

Klar muss aber auch festgehalten werden, dass aufgrund der erheblichen Variabilität der individuellen Empfindlichkeit der durch Immissionen betroffenen Objekte mit jedem von der Reinluftkonzentration verschiedenen Grenzwert ein Schutz jedes Individuums, auch des empfindlichsten, grundsätzlich nicht gewährleistet werden kann. Von besonderer Bedeutung ist diese fehlende Schutzgarantie bei den krebserzeugenden oder das Erbgut verändernden Substanzen, wo eine unschädliche Dosis nach heutiger Kenntnis nicht ermittelt werden kann.

Da es sich also in jedem Fall um ein Risikoproblem handelt, muss die noch bestehende Unsicherheit durch den Einbau angemessener *Sicherheitsfaktoren* kompensiert werden. Je schwerwiegender die Schadensart und die Schadensfolgen sind, desto grösser muss dieser

Faktor zur Risikoverminderung sein. Tolerierbare Risiken – und damit auch Immissionsgrenzwerte – liegen daher in der Regel unterhalb des Bereiches, in dem die meisten Immissions-Wirkungsbeziehungen beobachtet worden sind. Dies ist insbesondere dort von Bedeutung, wo eine einigermaßen zuverlässige Analyse der Immissions-Wirkungsbeziehungen infolge des Zeitfaktors nicht möglich ist. Damit sei vor allem auf die Problematik der experimentell nur unzureichend überblickbaren Langzeitwirkungen von Luftschadstoffen und deren Folgen hingewiesen. Gerade hinsichtlich der weniger gut dokumentierten Folgen von Langzeiteinwirkungen ist daher bei der Festlegung eines Langzeit-Immissionsgrenzwertes zur Verhütung chronischer Schädigungen in der Regel ein höherer Sicherheitsfaktor angezeigt als bei der Ableitung eines Kurzzeitgrenzwertes aus den im allgemeinen besser belegten akuten Schadstoffwirkungen.

Problematisch kann die Anwendung eines Sicherheitsfaktors dann werden, wenn dies bei einem Luftschadstoff zu geschehen hat, der auch natürlicherweise in gewissen Konzentrationen in den bodennahen Luftschichten vorkommt. Weil beispielsweise im Falle des Ozons bereits die höchsten natürlichen Konzentrationen oder nur geringfügige anthropogene Erhöhungen derselben in einen für empfindliche Pflanzen schädlichen Konzentrationsbereich fallen, ist es praktisch unmöglich, einen vernünftigen Sicherheitsfaktor vorzuschlagen.

6. Umsetzung der Immissions-Wirkungs-Beziehungen in messtechnisch überprüfbare Immissionsgrenzwerte

Da Immissionswirkungen im allgemeinen eine Schadstoffaufnahme voraussetzen, wird häufig die Auffassung vertreten, dass die Wirkung unmittelbar mit der Schadstoffaufnahme korreliert werden sollte, anstatt einen Zusammenhang mit der Immissionskonzentration (Schadstoffgehalt der Luft) herzustellen. Die objekt- oder akzeptorspezifische Schadstoffaufnahme im zeitlichen Verlauf ist jedoch nur selten messtechnisch erfassbar. Zudem ist infolge möglicher Umwandlungen der Schadstoffe nach der Aufnahme eine Korrelation der Schadstoffaufnahme mit der Wirkung streng genommen ebenso wenig exakt wie die direkte Beziehung zwischen der Luftschadstoffkonzentration und der Wirkung.

Im allgemeinen werden deshalb die Immissionen in Form von Schadstoffkonzentrationen oder -depositionen erfasst, in ihrem zeitlichen Verlauf charakterisiert und mit der Wirkung am Objekt korreliert. In diesem Sinne werden auch Immissionsgrenzwerte in der Regel als akzeptorunabhängige Grössen formuliert, das heisst durch Angabe der maximal zulässigen Schadstoffkonzentration in der Luft bzw. der Schadstoffdeposition pro Flächeneinheit eines möglichst inerten Akzeptorgefässes (z. B. Regensammler) während eines bestimmten Beurteilungszeitraums.

Bei der Umsetzung der vorhandenen Wirkungsdaten in Immissionsgrenzwerte sind in vielen Fällen Anpassungen notwendig, da in der realen Umwelt meist

andere Immissionszeitmuster angetroffen werden, deren Wirkungspotential in der Regel nicht mit jenen des toxikologischen Experiments übereinstimmt. Solche Anpassungen bringen zusätzliche Unschärfen in die an sich schon unscharfen Immissions-Wirkungsbeziehungen. Da die Immissionen in der Umwelt nicht nur von Ort zu Ort, sondern auch tageszeitlich, wöchentlich und jahreszeitlich starken Schwankungen unterliegen, beträgt der Beurteilungszeitraum für Immissionssituationen in der Regel ein Jahr. Allerdings genügt es dabei im allgemeinen nicht, nur einen als Jahresmittelwert definierten Grenzwert festzulegen, da dieser auch starke und unter Umständen nicht unbedenkliche zeitliche Schwankungen (Spitzen) der Immissionsbelastung zulässt. In den meisten Fällen muss daher neben einem Langzeit-Immissionsgrenzwert auch ein Kurzzeitgrenzwert festgelegt werden, welcher der Akutwirkung der Schadstoffe Rechnung trägt.

7. Schlussbetrachtungen

Für den gesamten Immissionswirkungsbereich ist es typisch, dass die Beziehungen zwischen der Immission auf der einen Seite und der Wirkung auf der andern Seite sehr unscharf sind. Dies hat seinen Grund sowohl in dem z. T. lückenhaften wissenschaftlichen Erkenntnisstand als auch in der grossen Variationsbreite der Empfindlichkeit aller durch Immissionen betroffenen Objekte, der Unspezifität vieler Immissionswirkungen und der ausserordentlich grossen Zahl möglicher Wechselwirkungen mit andern Einflussfaktoren. Es ist jedoch ein Irrtum zu glauben, man könne mit viel mehr Forschung viel mehr Schärfe in diese Beziehung hineinbringen. Demzufolge wäre es auch falsch, mit der Festlegung von Immissionsgrenzwerten zuzuwarten, bis man sicherer ist. Vielmehr muss die noch bestehende Unsicherheit durch den Einbau entsprechender Sicherheitsfaktoren kompensiert werden. Nur so kann das Risiko in tolerierbaren Grenzen gehalten werden. Mit andern Worten heisst dies aber auch, dass grundsätzlich jede Schadstoffkonzentration, die signifikant von sogenannten Reinluftkonzentrationen verschieden ist, ein Restrisiko für den Menschen und seine Umwelt bedeutet. Dies gilt insbesondere auch für die aufgrund von Immissionsgrenzwerten gesetzlich zugelassenen Schadstoffkonzentrationen. Ein Immissionsgrenzwert stellt also keine scharfe Grenze zwischen schädlich und unschädlich dar, ebenso wie ja auch kein scharfer Trennstrich zwischen «gesund» und «krank» gezogen werden kann. Es ist also nicht etwa so, dass beim Überschreiten von Immissionsgrenzwerten z. B. die ganze Bevölkerung von einem Tag auf den andern erkrankt. Es besteht aber ein erhöhtes Risiko für gesundheitliche Auswirkungen. Solche Auswirkungen ergeben sich meist nur allmählich und können oft erst nach langer Dauer erkannt werden (sog. Langzeitschäden). Auch wenn Schäden also nicht sofort und offensichtlich auftreten, müssen Immissionen über dem Grenzwert auf jeden Fall als

ungesund und als nicht unbedenklich für die Umwelt betrachtet werden.

Zusammenfassung

Für die Beurteilung der Schädlichkeit oder Lästigkeit von Immissionen müssen gemäss schweizerischem Umweltschutzgesetz u. a. Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen festgelegt werden. Das Umweltschutzgesetz enthält überdies einige Kriterien, welche bei der Festlegung der Grenzwerte zu berücksichtigen sind. Entscheidend ist, dass einzig die Schutzbedürfnisse des Menschen und seiner Umwelt die Höhe des Immissionsgrenzwertes bestimmen müssen und nicht etwa wirtschaftliche oder politische Überlegungen. Dabei sind insbesondere jene Erkenntnisse zu beachten, die an Risikogruppen mit erhöhter Empfindlichkeit gewonnen wurden. Es wird auf die Probleme hingewiesen, die es bei der Umsetzung des Erkenntnisstandes der Wissenschaft oder der Erfahrung in messtechnisch überprüfbare Immissionsgrenzwerte unter Berücksichtigung der Anforderung des Gesetzes zu lösen gilt.

Résumé

Pour évaluer les atteintes nuisibles ou incommodes dues aux pollutions de l'air, la loi fédérale sur la protection de l'environnement impose la mise en place de valeurs limites d'immissions. Cette loi comporte en outre quelques critères à observer lors de l'établissement des valeurs limites. Ainsi, c'est la protection de l'homme et de son environnement qui, à elle seule, doit définir le niveau des valeurs limites; ce ne sont donc ni des aspects économiques, ni des aspects politiques. On prendra notamment en considération les constatations faites au sujet de catégories de personnes particulièrement sensibles. L'exposé relève les difficultés qui se posent au moment de convertir en valeurs limites d'immissions vérifiables les faits que la science ou l'expérience ont permis d'établir, tout en respectant les exigences de la loi.

Summary

The Swiss Environmental Protection Law provides the setting of Air Quality Standards to assess the harmfulness or annoyance of air pollutants. Moreover the law contains some criteria which have to be taken into account for setting the standards. It is essential that protection of man and his environment are the only criteria to determine the level of the Air Quality Standards, whereas economic and political considerations haven't to be taken into account. Particular emphasis has to be given to the information obtained from risk groups of higher susceptibility with respect to pollutants. Problems arising from the transformation of scientific knowledge and experience into measurable and controllable Air Quality Standards which meet the legal requirements are pointed out.

Weiterführende Literatur

- Goldstein B.D.: Toxic substances in the atmospheric environment. A critical review. *Journal of the Air Pollution Control Association* 33, No. 5, 454-467 (1983).
- Higgins I.T.T.: What is an Adverse Health Effect? *Journal of the Air Pollution Control Association* 33, No. 7, 661-663 (1983).
- Martin W., Mauch S.: Zur Beurteilung von Schadstoffkonzentrationen in der Luft. *Wasser, Energie, Luft* 69, Heft 5, 107-110 (1977).
- Pott F.: Zur Frage der Grenzwertbemessung für krebserzeugende Stoffe. *Staub-Reinhalt. Luft* 44, Nr. 3, 123-128 (1984).
- Prinz B.: Probleme der Aufstellung von Maximalen Immissionswerten. *Staub-Reinhalt. Luft* 44, Nr. 3, 116-118 (1984).
- Schlipköter H.W.: Risikobetrachtung und Grenzwertfindung. *Staub-Reinhalt. Luft* 44, Nr. 3, 105-106 (1984).
- Schlipköter H.W., Beyen K.: Methoden der Untersuchung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf den Menschen. Symposium über Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Menschen. Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Heft 61, 5-16 (1984).
- Schwill U.: Zur Immissionsresistenz der Waldbaumarten. *Allg. Forst Zeitschrift* Nr. 48, 1208-1211 (1984).
- Verein deutscher Ingenieure: Ermittlung von maximalen Immissionswerten, Grundlagen. VDI-Richtlinien 2309, Blatt 1 (März 1983).
- Wagner H.M.: Probleme bei der hygienischen Bewertung von Luftschadstoffen - Wirkung einiger Primär- (CO, NO) und Sekundärprodukte (NO₂, O₃) aus Kfz-Emissionen. *Staub-Reinhalt. Luft* 44, Nr. 9, 390-395 (1984).