

Ausmass und Bewertung der Luftverschmutzung in der Schweiz

H. U. Wanner

Emission und Transmission von Schadstoffen

Zur Beurteilung der heutigen Immissionssituation in der Schweiz gehören auch Zahlen über die Entwicklung der *Schadstoffemissionen* in den letzten Jahrzehnten. Wie aus einem Bericht des Eidg. Departementes des Innern [1] hervorgeht, haben sich seit dem Jahr 1950 die von den Hausfeuerungen und Industriebetrieben stammenden Schwefeldioxid-Emissionen etwa verdoppelt; dabei ist seit 1970 eine eher abnehmende Tendenz festzustellen. Sehr stark angestiegen sind – mit einer weiterhin zunehmenden Tendenz – die Emissionen von Stickstoffoxiden und von Kohlenwasserstoffen; diese haben im gleichen Zeitraum um rund das Achtfache zugenommen. Hauptquelle der Stickstoffoxide ist der motorisierte Verkehr; bei den Kohlenwasserstoffen sind es etwa zu gleichen Teilen der Verkehr und die Industriebetriebe.

Für das Ausmass der Immissionen ist jedoch nicht nur die Menge der ausgestossenen Schadstoffe, sondern auch deren *Ausbreitung* von entscheidender Bedeutung. In unmittelbarer Nähe der Emittenten sind die Konzentrationen in der Regel am grössten. Die Ausbreitung bzw. Transmission ist vor allem von der Topographie und den jeweiligen Wetterlagen abhängig. In der Regel nehmen die Schadstoffkonzentrationen infolge der Verdünnung mit zunehmender Entfernung rasch ab. Stabile Inversionslagen, wie sie in der Schweiz häufig vorkommen, insbesondere im hügeligen Gelände des Mittellandes und in den Voralpen, führen jedoch zu einer Anreicherung von Schadstoffen und begünstigen deren Umwandlung in sog. *Sekundärschadstoffe*. So werden Stickstoffoxide zu Salpetersäure und Schwefeloxide zu Schwefelsäure umgewandelt; ferner werden aus Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen bei intensiver Sonnenstrahlung Photooxidantien – vor allem Ozon – gebildet. Solche Sekundärschadstoffe können über grössere Entfernungen verfrachtet werden und weitab der Schadstoff-Emissionsquellen zu erhöhten Immissionen führen. Deshalb muss heute der Verfrachtung und der chemischen Umwandlung der Luftschadstoffe eine besondere Bedeutung geschenkt werden.

Typische Immissionssituationen

In der Schweiz bestehen zur Überwachung der Luftverschmutzung verschiedene Messnetze. Auf nationaler Ebene existiert seit 1979 das «Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe» (NABEL): an 8 Standorten wird mit je zwei Stationen in Stadtzentren (Lugano, Zürich), in Agglomerationen (Stadtrand Basel, Dübendorf), in ländlichen Gebieten (Payerne, Sion, Tänikon) und im hochalpinen Gebiet (Jungfraujoch) die Luftqualität kontinuierlich überwacht. Auf kantonaler und städtischer bzw. kommunaler Ebene

bestehen zahlreiche Messstationen, an welchen die Luftverschmutzung in unterschiedlich belasteten Gebieten gemessen wird [1].

Die *Tabelle 1* gibt eine Übersicht über die Immissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Ozon. Angegeben sind typische Jahresmittelwerte aufgrund der Daten aus dem NABEL-Messnetz sowie aus kantonalen und kommunalen Messungen. Aus dieser Aufstellung ist ersichtlich, dass die Belastungen durch Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid in den Städten rund fünfmal grösser sind als auf dem Land, und rund 20 bis 30 mal höher als in «Reinluftgebieten». Umgekehrt liegen die Verhältnisse beim Ozon: hier treten infolge der grossräumigen Ozonverfrachtungen in den ländlichen Gebieten erhöhte Konzentrationen auf.

Bei den in der *Tabelle 1* aufgeführten Werten handelt es sich um Jahresmittelwerte. Beim Schwefeldioxid liegen während der Wintermonate die Werte zwei- bis dreimal höher als während der Sommermonate; die Stickstoffdioxid-Immissionen zeigen keinen ausgeprägten Jahresgang, während die Ozonwerte – infolge der photochemischen Prozesse – im Sommer deutlich höher liegen als im Winter. An stark belasteten Standorten – wie zum Beispiel in Strassenschluchten mit viel Verkehr – können kurzfristig hohe Werte von Stickstoffdioxid auftreten sowie auch von Kohlenmonoxid.

Region	Immissionskonzentrationen (Jahresmittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Schwefel- dioxid	Stickstoff- dioxid	Ozon
Ländliche Gebiete	8–12	20– 30	40–70
Agglomerationen	30–40	30– 50	30–50
Stadtzentren	50–70	60–140	20–30

Tab. 1. Typische Schadstoffkonzentrationen in unterschiedlich belasteten Gebieten der Schweiz (1).

Weiträumige Verfrachtungen von Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid haben nur einen geringen Einfluss auf die Immissionen in der Schweiz. Die Grundbelastungen dieser Schadstoffe betragen in den hochalpinen Gebieten ungefähr $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Daraus lässt sich ableiten, dass in den ländlichen Gebieten 60–80% der Schwefeldioxid- und Stickstoffdioxid- Immissionen hausgemacht sind, und in den Städten 90–95%.

Festlegung von Immissionsgrenzwerten

Zur Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung durch die verschiedenen Schadstoffbelastungen ist es notwendig, *Immissionsgrenzwerte* festzulegen. Dazu liefern die epidemiologischen Untersuchungen ausrei-

chende Grundlagen. Mögliche Kombinationswirkungen können dabei berücksichtigt werden. Weitere Anhaltspunkte liefern die Ergebnisse gezielter Studien über die Auswirkungen einzelner Schadstoffe. Auf Grund der verfügbaren Kenntnisse sind die Immissionsgrenzwerte so festzulegen, dass die aus präventivmedizinischer Sicht erforderlichen Mindestanforderungen erreicht werden, nämlich den Schutz der Gesundheit des Menschen.

In dem seit 1985 geltenden *schweizerischen Umweltschutzgesetz* werden diese Kriterien wie folgt berücksichtigt (Artikel 14): Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen sind so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume nicht gefährden, die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören, Bauwerke nicht beschädigen sowie die Fruchtbarkeit des Bodens, die Vegetation und die Gewässer nicht beeinträchtigen. Zu berücksichtigen sind dabei auch die Wirkungen der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit, wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere (Artikel 13).

In der *Tabelle 2* sind die Immissionsgrenzwerte aufgeführt, die in der schweizerischen Luftreinhalteverordnung vorgesehen sind. Diese Werte stützen sich weitgehend auf die Ergebnisse epidemiologischer Studien, wobei auch die neuesten Kenntnisse über die Schädigung von Pflanzen mitberücksichtigt wurden [2]. Zu beachten ist, dass bei den gasförmigen Schadstoffen zwischen Immissionsgrenzwerten und den beobachteten Auswirkungen nur sehr geringe Sicherheitsmargen bestehen. «Nullwerte» sind nicht erreichbar, da diese Belastungen auch von natürlichen Quellen stammen – vor allem bei den Stickstoffoxiden und beim Ozon. Ferner muss man auch festhalten, dass unterhalb der

Schadstoffe	Immissionsgrenzwert	Statistische Definition
Schwefeldioxid	30 µg/m ³	Jahresmittelwert
	100 µg/m ³	95 % der ½ h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m ³
Stickstoffdioxid	40 µg/m ³	Jahresmittelwert
	120 µg/m ³	95 % der ½ h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 120 µg/m ³
Kohlenmonoxid	8 mg/m ³	24 h-Mittelwert – darf pro Monat höchstens einmal überschritten werden
Ozon	80 µg/m ³	95 % der ½ h-Mittelwerte eines Monats ≤ 80 µg/m ³
Schwebstaub insgesamt	70 µg/m ³	Jahresmittelwert
	150 µg/m ³	95 % der 24 h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 150 µg/m ³
Blei im Schwebstaub	1 µg/m ³	Jahresmittelwert
Cadmium im Schwebstaub	0.01 µg/m ³	Jahresmittelwert

Tab. 2. Immissionsgrenzwerte für die Schweiz gemäss Luftreinhalteverordnung (Entwurf, 1984). Weitere Werte sind für den Staubbiederschlag vorgesehen.

Immissionsgrenzwerte nicht mit Sicherheit keine schädlichen Wirkungen auftreten können. Ein «Restrisiko» bleibt, das aufgrund der vorliegenden Kenntnisse allerdings als gering bezeichnet werden kann.

Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten bedeuten immer ein erhöhtes Risiko für gesundheitliche Schädigungen; gleichzeitig signalisieren sie die Notwendigkeit und Dringlichkeit, wirksame Massnahmen ohne weitere Verzögerungen anzuordnen. Dies betrifft insbesondere alle möglichen Massnahmen bei den Quellen sowie auch Bau-, Verkehrs- und Betriebsvorschriften, wie sie im Umweltschutzgesetz vorgesehen sind (Artikel 12). Immissionsgrenzwerte haben somit eine doppelte Funktion: sie sind erforderlich zur Beurteilung der Luftqualität und sind auch ein wichtiges Instrumentarium zur Bekämpfung der Luftverschmutzung.

Bewertung der Immissionen

Zur Bewertung einer Immissionssituation muss eine bestimmte Anzahl von Messwerten vorliegen, die während eines Jahres bzw. eines Monats (Kohlenmonoxid, Ozon) am gleichen Messort ermittelt wurden. Für die gasförmigen Schadstoffe dauert eine einzelne Messung jeweils eine halbe Stunde, für Schwebstaub, Blei, Cadmium jeweils 24 Stunden. Aus einer nach statistischen Kriterien festgelegten Mindestzahl von Einzelmessungen wird ein *Langzeitpegel* und ein *Kurzzeitpegel* gebildet. Diese beiden Werte werden mit den *Immissionsgrenzwerten* verglichen. Bewertungen sind jedoch nur zulässig, wenn Messwerte vorliegen, die während eines Jahres, bzw. eines Monats ermittelt wurden. Ist dies nicht der Fall, so sind nur annäherungsweise Vergleiche möglich und bei den Interpretationen sind entsprechende Hinweise notwendig.

Die zahlreichen Messungen, die in den letzten Jahren in Städten, Agglomerationen und ländlichen Gegenden durchgeführt wurden, zeigen, dass die Belastungen durch *Stickstoffdioxid* und während der Wintermonate auch durch *Schwefeldioxid* sehr oft über den Immissionsgrenzwerten liegen (vgl. *Abbildungen 1 und 2*). Bedenklich hoch sind während den Sommermonaten die Belastungen durch *Ozon*, das durch photochemische Prozesse aus Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen gebildet wird und über grössere Entfernungen verfrachtet werden kann. Deswegen werden heute nicht etwa in den Städten, sondern in deren Umgebung und in ländlichen Gebieten erhöhte Ozonkonzentrationen gemessen. Wie aus der *Abbildung 3* hervorgeht, liegen die gemessenen Ozonwerte durchwegs um das 1.5- bis 2.5-fache über dem Immissionsgrenzwert!

Gesamthaft weniger hoch sind die Belastungen durch *Schwebstaub* und *Kohlenmonoxid*. Hier treten vor allem im Nahbereich stark befahrener Strassen erhöhte Konzentrationen auf. Messungen in den Städten Zürich und Zug zeigen, dass vor allem der Kohlenmonoxid-Grenzwert sehr oft überschritten wird.

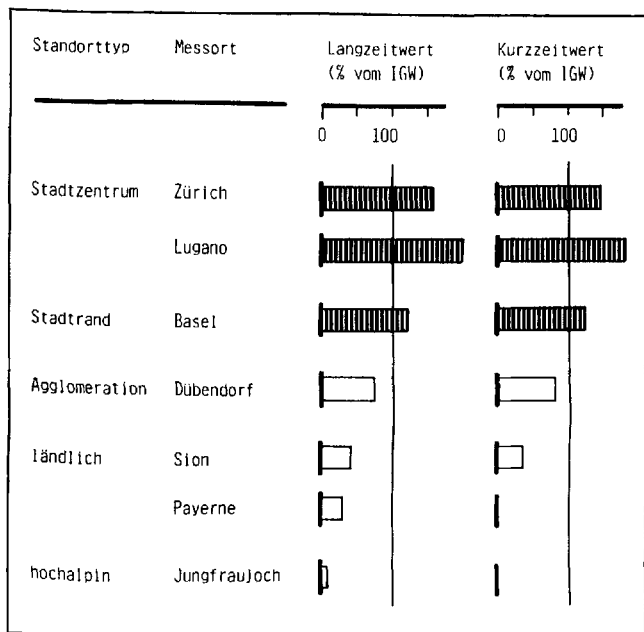


Abbildung 1: Schwefeldioxid-Immissionen. Vergleich von Langzeit- und Kurzzeitwerten mit den Immissionsgrenzwerten: Langzeit (100%) = 30 µg/m³, Kurzzeit (100%) = 100 µg/m³ (siehe Tabelle 2). Messwerte vom NABEL [3].

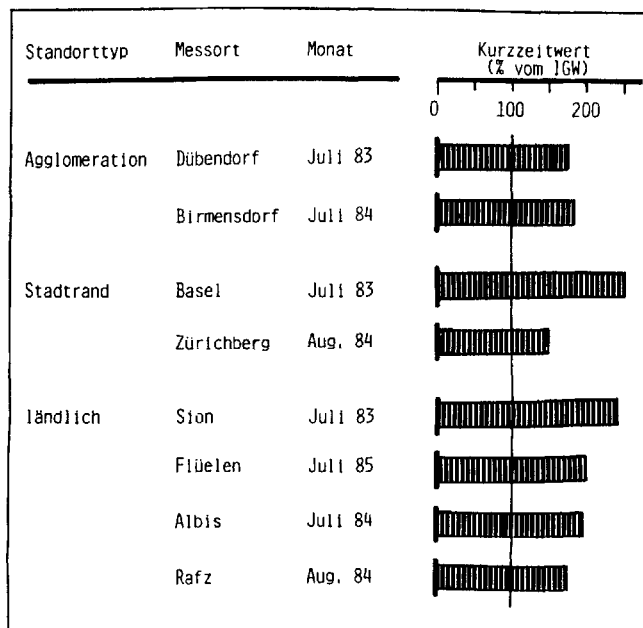


Abbildung 3: Ozon-Immissionen. Vergleich von Kurzzeitwerten mit dem Immissionsgrenzwert: Kurzzeit (100%) = 80 µg/m³ (siehe Tabelle 2). Messwerte vom NABEL [3] sowie weiterer Messreihen [4, 5, 6].

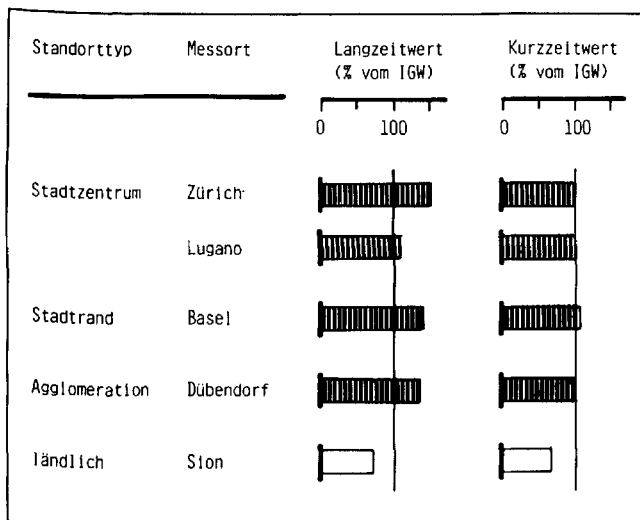


Abbildung 2: Stickstoffdioxid-Immissionen. Vergleich von Langzeit- und Kurzzeitwerten mit den Immissionsgrenzwerten: Langzeit (100%) = 40 µg/m³, Kurzzeit (100%) = 120 µg/m³ (siehe Tabelle 2). Messwerte vom NABEL [3].

Schlussfolgerungen

Die Abbildung 4 gibt eine Übersicht über die Immissionssituation in ländlichen Gebieten, in Agglomerationen und in Städten – verglichen mit den Immissionsgrenzwerten. Kritisch sind vor allem die Belastungen durch Stickstoffdioxid und Ozon, also durch Luftschadstoffe, die vorwiegend vom motorisierten Verkehr stammen. Ein Schwerpunkt der dringend notwendigen Massnahmen muss somit bei den mobilen

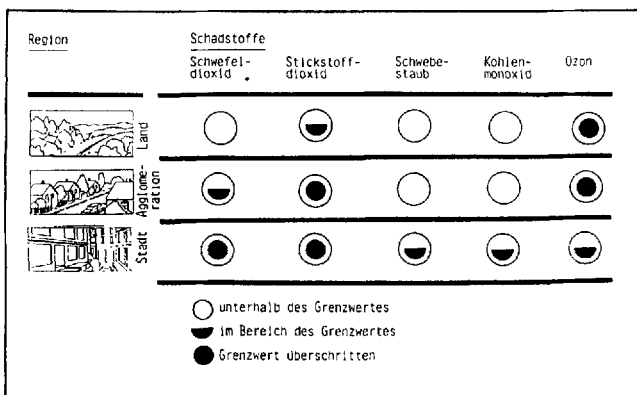


Abbildung 4: Bewertung der Schadstoffbelastungen in ländlichen Gebieten, in Agglomerationen und in Städten. Vergleiche mit den Immissionsgrenzwerten (siehe Tabelle 2).

Quellen liegen. Die Einführung von Katalysatoren wird zwar Verbesserungen bringen, doch wird es noch über 10 Jahre dauern, bis diese Massnahme zu spürbaren Auswirkungen führen wird. Dringend notwendig sind auch strengere Vorschriften für Dieselfahrzeuge, Motorräder und Motorfahräder sowie auch eine regelmässige Kontrolle aller Altfahrzeuge. Rasche Verbesserungen von kritischen Situationen, wie sie lokal in engen Strassen bei viel Verkehr und grossräumig im Sommer infolge der Bildung und Verfrachtung von Photooxidantien auftreten, können jedoch nur durch Einschränkungen des motorisierten Verkehrs erreicht werden.

Eine wirksamere Quellenbekämpfung ist natürlich auch bei den *Hausfeuerungen* und *Industriebetrieben* erforderlich. Dazu gehören u. a. die Herabsetzung des Schwefelgehaltes im Heizöl, Einschränkungen des Schwerölverbrauchs und wirksamere Rauchgasreinigungen. Ferner sind auch hier die *Kontrollen* zu intensivieren, vor allem bei den Heizanlagen.

Gelingt es nicht, innert weniger Jahre all die Emissionen stark zu reduzieren – kurzfristig auch mittels betrieblicher Einschränkungen, so müssen wir damit rechnen, dass die Belastungen durch Stickstoffdioxid und Ozon in den Agglomerationen und in ländlichen Gegenden noch während mindestens 10 Jahren über den Immissionsgrenzwerten liegen. Wir müssen uns bewusst sein, dass wir auf diese Weise unsere Gesundheit in zunehmendem Mass gefährden.

Zusammenfassung

Die in den letzten Jahren in der Schweiz durchgeführten Messungen von Luftschadstoffen zeigen, dass nicht nur in den Städten, sondern auch in deren Umgebung die Belastungen zum Teil sehr hoch sind. Die aus gesundheitlicher Sicht sowie zum Schutz der Umwelt noch als zumutbar erachteten Immissionen werden sehr oft überschritten. Kritisch sind vor allem die Belastungen durch Stickstoffdioxid und während der Wintermonate auch durch Schwefeldioxid. Bedenklich hoch sind im Sommer die Belastungen durch Ozon, das durch photochemische Prozesse aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen gebildet wird und über grössere Entfernungen – also auch in ländliche Gebiete – verfrachtet werden kann. Wirksame Massnahmen zur Reduktion der Luftschadstoffe sind dringend notwendig, um die Bevölkerung vor den möglichen gesundheitlichen Schädigungen zu schützen.

Résumé

Importance des immissions de la pollution de l'air en Suisse

Les mesures de pollution atmosphérique qui ont été effectuées en Suisse ces dernières années montrent que des niveaux élevés ne se rencontrent pas seulement dans les villes mais aussi dans les environs des villes. On constate que les limites d'immission qui devraient être respectées pour la protection de la santé aussi bien que pour la protection de l'environnement sont très souvent dépassées. La pollution par les oxydes d'azote est particulièrement préoccupante de même que celle due au SO₂ durant les mois d'hiver. Il faut se souvenir aussi de la pollution par l'ozone surtout forte en été,

l'ozone étant formé par la réaction des oxydes d'azote et des hydrocarbures grâce à des processus photochimiques. Cette pollution peut s'étendre très loin même dans des zones non habitées. La nécessité est impérative de prendre des mesures efficaces pour réduire la pollution atmosphérique, ceci afin de protéger la population contre les atteintes à la santé dont la pollution peut être responsable.

Summary

Valuation and extent of air pollution in Switzerland

The measurements of atmospheric pollution carried out in Switzerland during the last years revealed that high concentrations are not only found in city centers but in suburbs as well. The immission limits which should be respected in order to protect health and environment are very often exceeded. The pollution through nitrogen dioxide is specially crucial as well as that of sulfur dioxide during the winter months. Ozone concentrations are remarkably high in summer – ozone being formed by photochemical reactions of nitrogen oxides and hydrocarbons – and can be transported far away, even in rural areas. It is urgent to take the necessary steps now to reduce the atmospheric pollution in order to protect the population against possible health damages.

Literatur

- [1] Eidg. Departement des Innern: Waldsterben und Luftverschmutzung. Bern, September 1984.
- [2] Bundesamt für Umweltschutz: Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe. Ihre Bedeutung für die Lufthygiene und die Problematik ihrer Festlegung. Eine zusammenfassende Darstellung (im Druck).
- [3] Bundesamt für Umweltschutz: Luftbelastung 1983, Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bern, September, 1984.
- [4] Bleuler, P. und Bucher, J.B.: Luftbelastung 1984 im Raume Birmensdorf (ZH). Schweiz. Z. Forstwes. 136, No. 8, 665–670 (1985).
- [5] Immissionsökologische Untersuchungen an Dauerbeobachtungsflächen im Wald des Kantons Zürich. 1. Beobachtungsperiode, Bericht von der Pressekonferenz vom 29. 8. 1985.
- [6] Ozon-Alarm ist angezeigt. Bericht über die Messungen beim Bannwald oberhalb Flüelen. Neue Zürcher Zeitung, 20. 8. 1985.

Adresse des Autors

Prof. Dr. H.U. Wanner, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich