Auswirkungen der Luftschadstoffe auf Mensch, Tier, Pflanzen, Boden und Wasser

Autor(en): **Wanner, Hans-Urs**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **80 (1988)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940722

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 Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Auswirkungen der Luftschadstoffe auf Mensch, Tier, Pflanzen, Boden und Wasser

Hans-Urs Wanner

Mit den folgenden Ausführungen wird zunächst ein Überblick gegeben über die in der Schweiz feststellbaren Auswirkungen von Luftschadstoffen. Da es sich dabei vor allem um multifaktoriell bedingte und oft ganz unspezifische Schädigungen handelt, sollen die heute verfügbaren Methoden zum Nachweis der verschiedenen Auswirkungen näher erläutert werden. In einem nächsten Kapitel folgt die Bewertung der Immissionen aufgrund der im Umweltschutzgesetz vorgegebenen Kriterien und schliesslich eine Beurteilung der Immissionssituation in der Schweiz mit Hinweisen auf die wichtigsten Massnahmen zur Verminderung der Belastung.

Feststellbare Auswirkungen in der Schweiz

Die im folgenden aufgeführten Ergebnisse sind *Beispiele* von Erhebungen und Untersuchungen, die zurzeit in der Schweiz über die Auswirkungen von Luftschadstoffen durchgeführt werden.

Waldschäden

Gemäss den Sanasilva-Waldschadenerhebungen, die seit 1983 von der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen durchgeführt werden (Bild 1), hat der Anteil geschädigter Bäume in den untereinander vergleichbaren Jahren 1984–1987 von 34 % auf 56 % zugenommen [3]. 1987 wurde gegenüber 1986 vor allem bei den Laubbäumen eine deutliche Verschlechterung des Gesundheitszustandes beobachtet. Die jährlichen Durchmessermessungen an den Probenahmen der Waldschadeninventur zeigen, dass Bäume mit Nadel- oder Blattverlusten mit zunehmendem Schädigungsgrad geringere Zuwachsleistungen im Vergleich zu Bäumen ohne Schäden aufweisen. Diese Zuwachsreduktion ist am deutlichsten bei den geschädigten Fichten und allgemein bei Nadelbäumen. In dieselbe Richtung weisen Jahrringanalysen an rund 900 Fichten und Tannen. Aus den diesbezüglichen Zeitreihen kann herausgelesen werden, dass spätestens seit Mitte der 50er Jahre ein neuer *Stressfaktor,* der über die witterungsbedingten Wachstumsschwankungen hinausgeht, wirksam sein muss. Aufgrund des heutigen Kenntnisstandes in der Waldschadenforschung wird angenommen, dass die festgestellten Nadel- und Blattverluste sowie die Wachstumsreduktionen und Wachstumsanomalien mit grösster Wahrscheinlichkeit im Zusammenhang mit der Luftverschmutzung stehen (Bild 2) [3, 8, 17, 20, 21].

Beeinträchtigung der Vegetation

Untersuchungen an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene in Liebefeld-Bern ergaben bei *Sommerweizen* rund 10 % geringere Erträge in nicht gefilterter Luft (im Mittel 70 µg Ozon/m³) als in gefilterter Luft (im Mittel 40 µg Ozon/m³). Die luftschadstoffbedingten *Ertragsausfälle* dürften in der Schweiz zwischen 5 und 15 % liegen, wobei *Ozon* als der bedeutsamste Schadstoff angesehen wird [10].

In umfangreichen Studien wurde auch die Beziehung zwischen der *Metallbelastung in unterschiedlichem Boden* und dem phytotoxischen Gehalt in Pflanzen untersucht. Bei gleichem Totalschwermetallgehalt des Bodens führen Böden mit geringer Schwermetallbindungskapazität früher zu *Ertragseinbussen* und zu *hohem Metallgehalt in Pflanzen.* Dadurch wird die Pflanzenqualität beeinträchtigt und die Nahrungskette belastet [25].

Luftverunreinigungen können die *Entwicklung von Pflanzenparasiten und Krankheitserregern* (z. B. Pilzen) fördern, wie aus Untersuchungen hervorgeht, die am Institut für Angewandte Pflanzenbiologie in Schönenbuch-Basel durchgeführt wurden. Aufgrund der bisher gewonnenen Erkenntnisse muss angenommen werden, dass bestimmte Gruppen von Schädlingen durch Einwirkungen von Luftschadstoffen – insbesondere von Stickstoff- und Ozonimmissionen – begünstigt werden. Im Zusammenhang mit der heute stark erhöhten Belastung durch Stickstoffverbindungen stehen auch die Ergebnisse von pflanzensoziologischen Untersuchungen an 19 Waldbeobachtungsflächen (10 in der Nordschweiz, 9 im Genfer Becken): In den letzten 40 bis 45 Jahren hat sich die *Artenzusammensetzung* bei 18 der 19 Flächen signifikant zugunsten eines vermehrten Auftretens stickstoffliebender Pflanzen verschoben [9].

Sehr empfindlich auf Luftschadstoffe reagieren auch *Flechten.* Wie Untersuchungen in der Region Biel-Seeland zeigen, stimmen Zonen mit einer geringen Flechtenflora oft auffallend genau mit Zonen erhöhter Schadstoffbelastung der Luft überein. Als Bioindikatoren der Luftverschmutzung eignen sich besonders jene Flechten, welche die Rinden an freistehenden Bäumen besiedeln. Die am Botanischen Institut der Universität Bern evaluierte «Kalibrierte Flechtenmethode zur Luftgütebewertung» ermöglicht quantitative Rückschlüsse auf die Gesamtbelastung der Luft [13].

Bei Untersuchungen auf dem Zugerberg (1000 m ü. M.) in der Zentralschweiz wurde festgestellt, dass Buchenkeimlinge, die während der Vegetationszeit der Umgebungsluft ausgesetzt waren, eine deutlich *grössere Frostempfindlichkeit* aufweisen als jene in Filterluft [8]. Vermutet wird eine Veränderung der Frostresistenz der Pflanzen als Folge der Luftverschmutzung, insbesondere jener durch Ozon während der Vegetationsperiode. Diese Vermutung ist insofern gerechtfertigt, als auch bei Fichten nach Ozonbegasung eine signifikant erhöhte Frostempfindlichkeit beobachtet wurde.

Saure Niederschläge und grauer Schnee

Aufgrund der von der EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) regelmässig durchgeführten Niederschlagsuntersuchungen hat ein typisch schweizerisches *Regenwasser* (ohne alpine Gebiete) einen pH-Wert von 4,3. Ein lediglich mit dem Kohlendioxid der Atmosphäre im Gleichgewicht stehendes Regenwasser würde eine etwa 20mal geringere Konzentration an freien H-Ionen aufweisen (pH $\approx$ 5,6). Trotzdem sind die Konsequenzen saurer Regen auf Böden und aquatische Ökosysteme in der Schweiz im Vergleich zu Skandinavien und Nordamerika gering, da unsere Böden und Sedimente fast überall hohe Anteile an Karbonaten (Kalk) enthalten, die die überschüssige Säure rasch neutralisieren. Dies ist in den *Tessiner Bergseen,* die in kristallinen bzw. kalkfreien Gebieten liegen, nicht der Fall (Bild 3). Die Verwitterung von Granit, Gneis und Glimmerschiefer bzw. die Reaktion von Säureionen mit diesen Gesteinen erfolgt viel langsamer als die Auflösung von Karbonaten. Deshalb kommen in diesen Berggebieten *saure Seen* vor: Untersuchungen des Gewässerschutzamtes des Kantons Tessin haben ergeben, dass in etwa 20 kleinen Bergseen die pH-Werte unterhalb 6 lagen; in 10 Seen waren die pH-Werte unterhalb 5,5, der tiefste pH-Wert betrug 4,6; die in

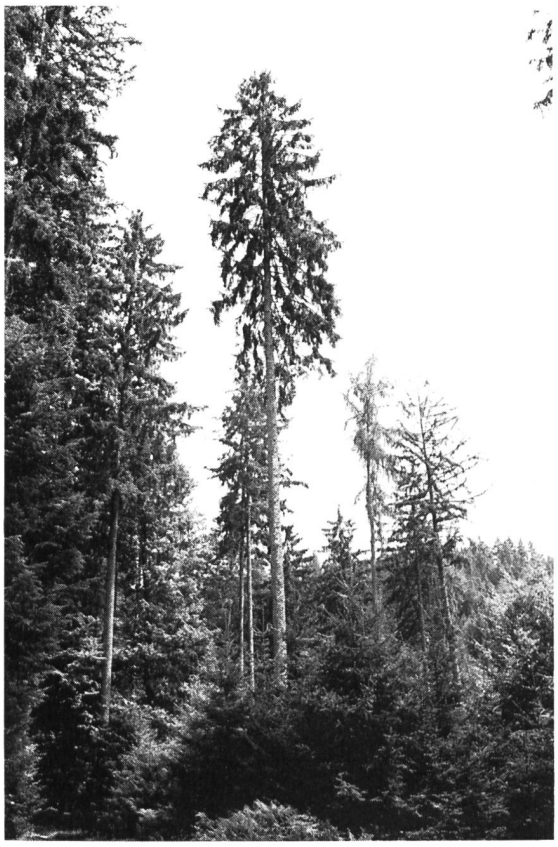


Bild 1. Kammfichte – mittelstark geschädigt (mittlere Verlichtung zirka 30 bis 35%). Der Anteil geschädigter Bäume hat in den untereinander vergleichbaren Jahren 1984 bis 1987 von 34% auf 56% zugenommen. (Quelle: EAFV, Birmensdorf).

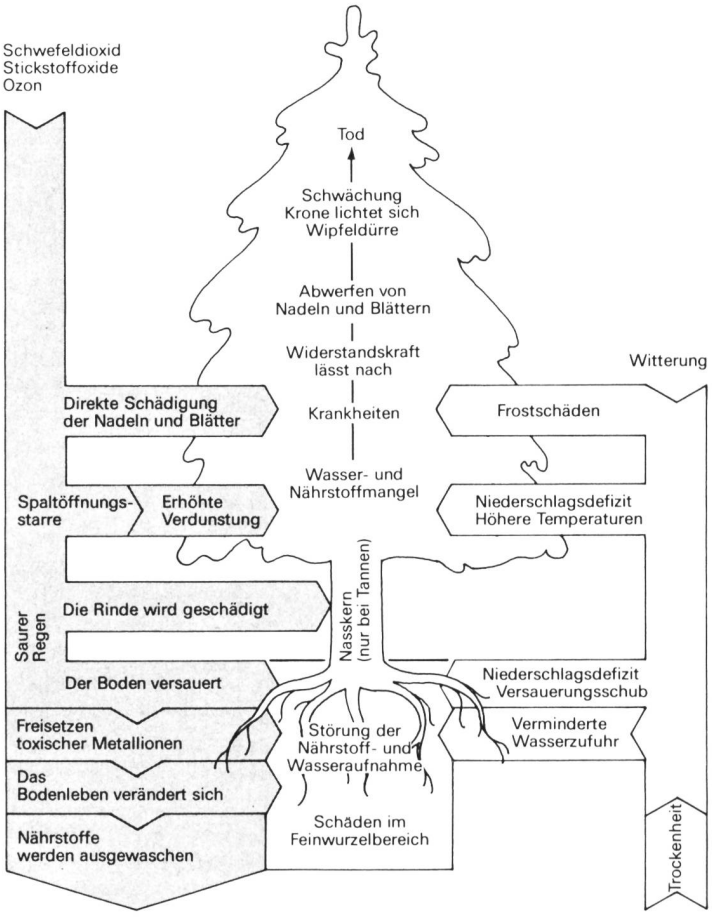


Bild 2. Luftschadstoffe können direkt oder indirekt über den Boden auf Pflanzen einwirken. (Quelle: Luftreinhaltung im Kanton Zürich, 1987)

Schweizer Seen üblichen pH-Werte liegen zwischen 7,5 und 8,2 [23].

Analog zum sauren Regen gibt es auch *sauren Schnee.* Im Januar 1987 war das gesamte schweizerische Mittelland von einer grauen Schneedecke überzogen. Die vom Anorganisch-Chemischen Institut der Universität Zürich durchgeführten Analysen haben ergeben, dass im grauen Schnee die Konzentrationen an Chlorid etwa sechsfach, an Nitrat vier- bis siebenfach und an Sulfat etwa zwölffach höher waren als in den Mittelwerten von Regen und von weissem Schnee. Der Säuregehalt lag ebenfalls bis zu zehnmal höher als im Regen und in üblichem Schnee, die pH-Werte betrugen 3,0 bis 3,5. Auch im *Nebel* werden Schadstoffkonzentrationen wie im grauen Schnee gefunden [12].

Von aktuellem Interesse sind Untersuchungen über das Vorkommen von *nitrierten Phenolen* im Regenwasser. Vor allem die dinitrierten Phenole (u.a. 2,4-Dinitrophenol, 4,6 Dinitro-o-kresol) sind biologisch hochaktive Substanzen mit herbiziden Eigenschaften, die in geringen Konzentrationen den pflanzlichen Zellstoffwechsel beeinträchtigen und demzufolge als Stressfaktoren für terrestrische und aquatische Ökosysteme in Frage kommen. Nitrierte Phenole können sich mittels photochemischer Prozesse aus Stickstoffoxiden, Benzol, Toluol und Methylphenolen bilden. Hinweise dazu geben Messungen, die zurzeit von der EAWAG durchgeführt werden [18].

Gebäudeschäden

Zu beachten sind die möglichen Schäden an Materialien und Bauten infolge der zersetzenden und korrosiven Wirkungen von Luftschadstoffen, insbesondere von Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden und deren sauren Umwandlungsprodukten. Besonders gefährdet sind Bau- und Kunstdenkmäler in Grossstädten. Von Bedeutung sind auch die beschleunigten Korrosionen an Metallen.

Die durch die Luftverschmutzung verursachten *Kosten* an den Gebäuden sind beträchtlich: Gemäss einer Studie der Infras liegen diese für den Kanton Zürich im Bereich von 120 Millionen Franken pro Jahr (Kapitalkosten der Gebäudehüllen, Reinigungskosten für Fenster, Läden, Storen und Metallfassaden bei Geschäftsbauten). Werden noch die zusätzlichen Reinigungskosten bei den Wohngebäuden dazugezählt, so erhöhen sich die durch die Luftverschmutzung verursachten Gebäudekosten auf 140 bis 150 Millionen Franken pro Jahr [15].

Gesundheitliche Auswirkungen

Ergebnisse von Untersuchungen in der Schweiz liegen nur wenige vor. Erst kürzlich wurde eine erste grössere Erhebung über Atemwegerkrankungen bei Kleinkindern in den Kantonen Basel-Stadt und Zürich abgeschlossen (Bild 4). Dabei ergab sich eine signifikante Beziehung zwischen der Häufigkeit *respiratorischer Symptome* (Husten nachts, Husten am Tag, laufende Nase, Halsweh) sowie Ohrenweh und Fieber einerseits und den am Wohnort der Kleinkinder in der Aussenluft gemessenen Konzentrationen von Stickstoffdioxid (als Leitkomponente) andererseits. Diese signifikante Beziehung bleibt bestehen, wenn in der Analyse der Einfluss anderer wichtiger Faktoren des Kindes (Geschlecht, Alter, Anamnese und Erkältungsanfälligkeit), der Familie (Wohndichte, Beruf der Mutter, Nationalität) und der Umgebung (Stickstoffdioxid in der Innenluft und beim Kind, Jahreszeit, Rauchen und subjektive Beurteilung der Wohnsituation) berücksichtigt werden [2].

Die akuten Auswirkungen von *Ozon* auf die *körperliche Leistungsfähigkeit* in Konzentrationen, wie sie bei Sommer-

smog-Situationen in der Schweiz vorkommen, wurden in einer Klimakammer bei standardisierten Bedingungen untersucht (Bilder 5 und 6). Bereits Ozonkonzentrationen von 120 bis 140 µg/m³ führten bei starker körperlicher Anstrengung zu Leistungsbeeinträchtigungen sowie zu einer Zunahme von subjektiven Beschwerden [19].

Zu den gesundheitlichen Auswirkungen sind auch die *subjektiven Belästigungen* zu zählen, die durch die Luftverschmutzung verursacht werden. Im Nahbereich starker Emittenten, wie zum Beispiel Schlammtrocknungs- und Müllverbrennungsanlagen sowie auch stark befahrener Strassen, fühlen sich bis zu 40% der befragten Personen durch die Immissionen stark belästigt [11].

Methoden zum Nachweis von Auswirkungen

Wie zu Beginn bereits erwähnt, stehen bei den Auswirkungen der Luftschadstoffe die *multifaktoriell* bedingten und oft ganz unspezifischen Schädigungen im Vordergrund. Die komplexen Wirkungen lassen sich nicht auf einfache Zusammenhänge zurückführen, wonach jede feststellbare Wirkung ihre bestimmte alleinige Ursache hat. Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, dass Schädigungsprozesse zunächst langsam und gewissermassen verdeckt verlaufen, da ein noch intaktes Ökosystem viele Stösse auffangen und verkraften kann. Es geht jedoch darum, die schädigenden Prozesse *frühzeitig* zu erkennen, bevor diese rascher verlaufen und sich einem kritischen Punkt nähern. Dazu notwendig ist ein *Denken in Zusammenhängen* und ein Loslösen vom alten linearen Denken, das sich nur auf monokausale Zusammenhänge abstützt.

Heute verfügt man über entsprechende *wissenschaftliche Methoden,* mit denen der Einfluss verschiedener Faktoren erfasst und mitberücksichtigt werden kann. Damit sind auch Aussagen über die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf den Menschen und seine Umwelt möglich. Für eine umfassende Beurteilung sind jedoch immer mehrere Untersuchungen mit verschiedenen Studienanlagen und Fragestellungen erforderlich.

Zwei wichtige *Studienarten* zum Nachweis der Auswirkungen von Luftschadstoffen sind *epidemiologische* und *experimentelle* Untersuchungen. Im folgenden werden diese für Studien über gesundheitliche Auswirkungen näher erläutert [24, 26]. Diese Studienarten werden auch für den Nachweis von Schadstoffwirkungen auf Tiere und Pflanzen angewendet.

Epidemiologische Studien sind Untersuchungen zur Ermittlung der tatsächlich vorkommenden Schadstoffbelastung auf eine bestimmte Bevölkerungsgruppe. Es sind Studien, bei denen die Häufigkeit bestimmter gesundheitlicher Beeinträchtigungen in Gegenden mit unterschiedlicher Schadstoffbelastung verglichen wird, oder es handelt sich um vergleichende Beobachtungen an denselben Bevölkerungen oder Bevölkerungsgruppen bei zeitlicher Veränderung der Schadstoffbelastung. Die Aussagekraft ist abhängig von der Grösse des Untersuchungskollektives und von der Grösse des gesuchten bzw. beobachteten Unterschieds bezüglich gesundheitlicher Beeinträchtigungen und der Schadstoffbelastungen. Die Verteilung bezüglich Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand und sozialen Status muss in den untersuchten Kollektiven vergleichbar sein. Ferner muss der Einfluss intervenierender Faktoren wie Rauchgewohnheiten, berufliche Exposition und Klima berücksichtigt werden.

Experimentelle Studien sind Untersuchungen zur Ermittlung der Wirkung einzelner Schadstoffe oder von Schadstoffgemischen in Abhängigkeit der Dosierung, der Zeitdauer der Exposition, der körperlichen Aktivität, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit. Es sind Studien, die mit freiwilligen Versuchspersonen bei standardisierten und genau kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden. Die Aussagen gelten für die untersuchten Personengruppen bei den überprüften experimentellen Bedingungen. Die Ergebnisse lassen sich nur bedingt übertragen auf die Verhältnisse in der Umwelt mit Schadstoffgemischen in unterschiedlicher Zusammensetzung und mit wechselnden klimatischen Bedingungen.

Die Auswirkungen der wichtigsten Schadstoffe

Im folgenden werden die heute bekannten direkten und indirekten Auswirkungen der Luftschadstoffe stichwortartig

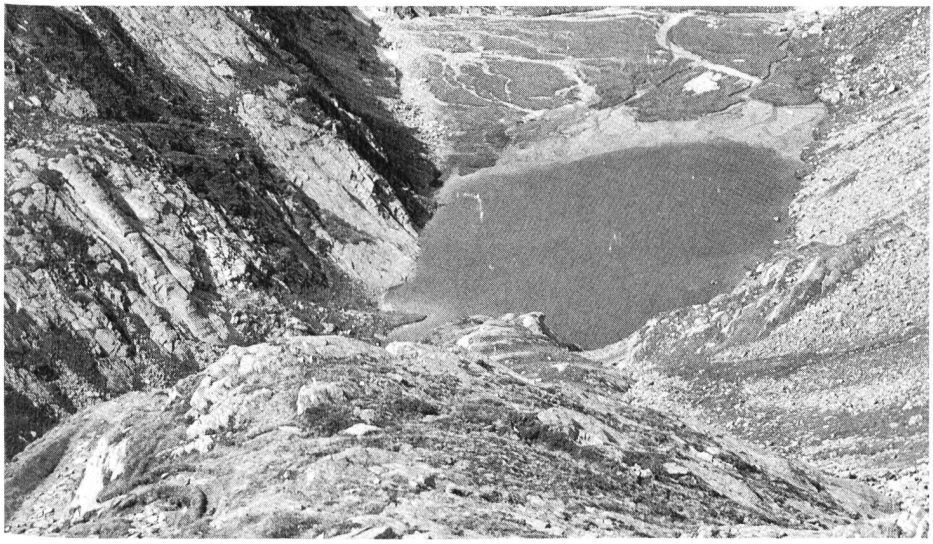


Bild 3, oben. Lago Bianco (Val Bavona). In den Tessiner Bergseen, die in kristallinen bzw. kalkfreien Gebieten liegen, wurden infolge saurer Niederschläge deutliche Abnahmen der pH-Werte festgestellt.

Bild 4, rechts. Die Studie über Atemwegserkrankungen bei Kleinkindern in den Kantonen Basel-Stadt und Zürich ergab eine signifikante Beziehung zwischen der Häufigkeit respiratorischer Symptome (u.a. Husten, laufende Nase, Halsweh) und den am Wohnort gemessenen Stickstoffdioxid-Konzentrationen (als Leitkomponente).

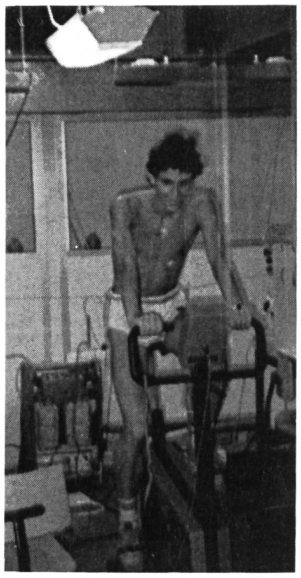
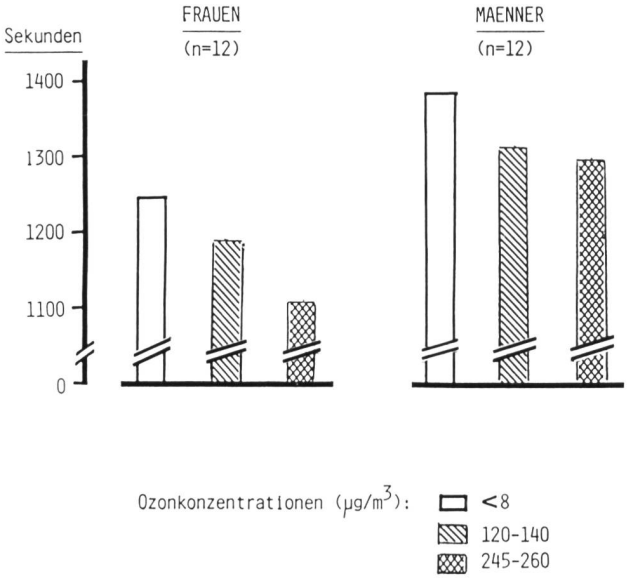


Bild 5, links. Untersuchungen in einer Klimakammer bei standardisierten Bedingungen haben ergeben, dass Ozon die körperliche Leistungsfähigkeit beeinträchtigen kann (vergleiche Bild 6).

Bild 6, rechts. Bei grossen körperlichen Anstrengungen kann Ozon in Konzentrationen, wie sie bei Sommersmog-Situationen vorkommen, zu Leistungsbeeinträchtigungen und zu einer Zunahme der subjektiven Beschwerden führen. Durchschnittswerte der gesamten Zeitdauer eines Ergometrie-Tests (maximale Leistung) bei verschiedenen Ozonkonzentrationen.



zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass das Ausmass der Auswirkungen je nach Art, Konzentration und Einwirkungsdauer der Schadstoffe verschieden ist (Bild 7).

Gesundheitliche Auswirkungen

- Geruchsbelästigungen
- Augen-, Nasen- und Halsreizungen
- Beeinträchtigung der Atemfunktionen
- Beeinträchtigung der körperlichen Leistungsfähigkeit
- erhöhte Anfälligkeit für Infektionen der Atemwege
- häufigeres Auftreten von chronischer Bronchitis
- grössere Häufigkeit von Asthma-Anfällen
- erhöhte Gefährdung bei Herz- und Kreislaufkrankheiten

Auswirkungen auf Tiere

- Rückgang oder starke Förderung einzelner Tierarten infolge Veränderung der Ökosysteme (Boden, Futterpflanzen)
- Verminderung der Vitalität und des Wachstums
- Schädigung der Atemorgane
- erhöhte Sterblichkeit

Auswirkungen auf Pflanzen

- Veränderungen im Wasser- und Mineralhaushalt
- Beeinträchtigung der Schliessmechanismen der Spaltöffnungen
- beschleunigte Alterung von Nadeln und Blättern
- Beeinträchtigung des Trieb-, Dicken- und Wurzelwachstums
- Beeinträchtigung der Widerstandsfähigkeit gegen Frost, Trockenheit und Schädlinge
- Veränderung der Artenvielfalt und -zusammensetzung als Folge veränderter Lebensbedingungen

Auswirkungen auf den Boden

- Anreicherung von Schwermetallen und schwer abbaubaren chlorierten Kohlenwasserstoffen
- Bodenversauerung bei schlechter Pufferwirkung
- Auswaschen von wichtigen Nährstoffen mit dem Sickerwasser
- vermehrte Freisetzung von toxisch wirkenden Metallionen (z.B. Aluminium) in sauren Böden
- Beeinträchtigung der Aktivität von Bodenmikroorganismen
- Schädigung der Lebensgemeinschaft zwischen den Baumwurzeln und Bodenpilzen (Mykorrhiza)

Auswirkungen auf Gewässer

- Anstieg des Säuregrades bei schlechter Pufferkapazität der Gewässer bzw. der Böden im Einzugsgebiet
- Eintrag von Schwermetallen bei Versauerung der Böden im Einzugsgebiet
- Aussterben ganzer Lebensgemeinschaften (vom Einzeller bis zum Fisch) infolge erhöhter Schwermetall- und Wasserstoffionen-Konzentrationen

Bewertung von Immissionen

Die massgebenden Kriterien zur Beurteilung der Schädlichkeit und Lästigkeit von Immissionen durch Luftschadstoffe sind in den Artikeln 8, 13 und 14 des *Umweltschutzgesetzes* (USG) festgelegt.

Art. 8 Beurteilung von Einwirkungen

Einwirkungen werden sowohl einzeln als auch gesamthaft und nach ihrem Zusammenwirken beurteilt.

Art. 13 Immissionsgrenzwerte

[1] Für die Beurteilung der schädlichen oder lästigen Einwirkungen legt der Bundesrat durch Verordnung Immissionsgrenzwerte fest.

[2] Er berücksichtigt dabei auch die Wirkung der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere.

Art. 14 Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen

Die Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen sind so festzulegen, 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.

Mit den *Immissionsgrenzwerten* muss somit ein Qualitätszustand der Luft festgelegt werden, der diesen Anforderungen gerecht wird. Die Immissionsgrenzwerte sind unabhängig von der technischen und betrieblichen Realisierbarkeit sowie der wirtschaftlichen Tragbarkeit von allenfalls zu treffenden Luftreinhaltemassnahmen festzulegen. Ebensowenig wird berücksichtigt, wie hoch die Luftverschmutzung heute bereits ist. Massgebend sind allein die Schutzbedürfnisse des Menschen und seiner Umwelt. Einzige Grundlagen zur Festlegung sind die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse und die allgemeinen Erfahrungen über Schadstoffwirkungen.

Die in der *Luftreinhalte-Verordnung* (LRV) vom 1. März 1986 festgelegten Immissionsgrenzwerte (siehe Tabelle 1) basie-

Tabelle 1. Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 1. März 1986.

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	Statistische Definition
Schwefeldioxid (SO_2)	30 µg/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m³	95% der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m³
	100 µg/m³	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Stickstoffdioxid (NO_2)	30 µg/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m³	95% der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m³
	80 µg/m³	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Kohlenmonoxid (CO)	8 mg/m³	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Ozon (O_3)	100 µg/m³	98% der ½-h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m³
	120 µg/m³	1-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Schwebestaub[1] insgesamt	70 µg/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	150 µg/m³	95% der 24-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 150 µg/m³
Blei (Pb) im Schwebestaub	1 µg/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Schwebestaub	10 ng/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Staubniederschlag insgesamt	200 mg/m²×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Blei (Pb) im Staubniederschlag	100 µg/m²×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Staubniederschlag	2 µg/m²×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Zink (Zn) im Staubniederschlag	400 µg/m²×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Thallium (Tl) im Staubniederschlag	2 µg/m²×Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)

Hinweis:
mg = Milligramm; 1 mg = 0,001 g
µg = Mikrogramm; 1 µg = 0,001 mg
ng = Nanogramm; 1 ng = 0,001 µg
Das Zeichen «≤» bedeutet «kleiner oder gleich».
[1] Feindisperse Schwebestoffe mit einer Sinkgeschwindigkeit von weniger als 10 cm/s.

ren weitgehend auf den heute bekannten Ergebnissen epidemiologischer und experimenteller Studien. Mitberücksichtigt wurde dabei vor allem die erhöhte Empfindlichkeit von Risikogruppen, also von Kindern sowie von Kranken und betagten Menschen. Auch neueste Kenntnisse über die phytotoxischen Wirkungen von Luftschadstoffen allein und in Kombination wurden miteinbezogen.

Die schweizerischen Immissionsgrenzwerte entsprechen dem Stand der Wissenschaft; sie decken sich auch weitgehend mit den kürzlich veröffentlichten Luftqualitätskriterien der Weltgesundheitsorganisation (WHO, Regionalbüro für Europa – 1987) sowie auch mit denjenigen des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI – 1985/87) [1]. Obwohl die Immissionsgrenzwerte insgesamt als streng zu bezeichnen sind, ist zu beachten, dass nur geringe Sicherheitsmargen bestehen und dass unterhalb der gesetzten Limiten nicht mit Sicherheit keine schädlichen Wirkungen auftreten können. Ein «Restrisiko» bleibt, das allerdings als gering bezeichnet werden kann.

Werden die Immissionsgrenzwerte überschritten, so heisst dies nicht, dass zum Beispiel die ganze Bevölkerung von einem Tag auf den andern erkrankt. Es besteht aber immer ein erhöhtes Risiko für gesundheitliche Auswirkungen sowie für Schädigungen von Pflanzen und allenfalls von ganzen Ökosystemen. Die Folgen sind meist nur allmählich und erst nach langer Dauer erkennbar. *Überschreitungen signalisieren somit immer auch die Notwendigkeit und Dringlichkeit, wirksame Massnahmen ohne weitere Verzögerungen anzuordnen.* Immissionsgrenzwerte haben somit eine doppelte Funktion: Sie sind erforderlich zur Beurteilung der Luftqualität und der möglichen Gefährdung; gleichzeitig sind sie auch ein wichtiges Instrumentarium zur Bekämpfung der Luftverschmutzung.

Bild 8 gibt eine Übersicht über die *Immissionssituation in der Schweiz.* Verglichen werden durchschnittliche Konzentrationen in ländlichen Gebieten, in Agglomerationen und in Städten mit den Immissionsgrenzwerten. Am höchsten sind die Belastungen durch *Stickstoffdioxid* und *Ozon,* die sehr oft über den Grenzwerten liegen.

Bedenklich sind vor allem die *Ozonimmissionen* in den Sommermonaten: Wie die Messwerte der letzten Jahre zeigen, wird in den Monaten April bis September der für Ozon festgelegte Immissionsgrenzwert (1-h-Mittelwert) oft überschritten. Ozon ist ein sogenannter sekundärer Luftschadstoff, der durch photochemische Prozesse aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen gebildet wird. Je nach Wetterlage werden das Ozon und weitere oxidierende Verbindungen, wie zum Beispiel Peroxyacylnitrat (PAN), während der Bildung über grössere Entfernungen verfrachtet. Weil das Ozon durch frisch emittierte Schadstoffe wieder abgebaut werden kann, werden erhöhte Ozonkonzentrationen nicht in den Städten, sondern in deren Umgebung und in ländlichen Gegenden gemessen.

Die Immissionen durch Schwefeldioxid, Schwebestaub und Kohlenmonoxid liegen gesamthaft niedriger, können aber in den Städten die Grenzwerte ebenfalls erreichen oder überschreiten.

Im Bereich der Grenzwerte liegen an einigen Messorten auch die Immissionen von *Blei* und *Cadmium* im Staubniederschlag – u.a. im Nahbereich stark befahrener Strassen sowie auch in Wohn- und Erholungsgebieten [14].

Wichtigste Massnahmen

Aufgrund der bekannten Schadstoffimmissionen mit den häufigen Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte von Stickstoffdioxid und Ozon ergeben sich klare Schwerpunkte für die zu treffenden Massnahmen. Dies auch aufgrund der Prognosen für die Entwicklung der Schadstoffemissionen bis ins Jahr 2010 [7]. Daraus geht hervor, dass die *Stickoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen* heute und in absehbarer Zukunft erheblich über dem Emissionsniveau von 1950 liegen werden. Dies ist deshalb bedenklich, weil aus den Kohlenwasserstoffen und den Stickoxiden während der Sommermonate Ozon und weitere Photooxidantien gebildet werden. Es müssen somit vor allem die Emissionen der Stickoxide und der Kohlenwasserstoffe vermindert werden.

Weit günstiger lauten die Prognosen für die Emissionen von Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff sowie für Staub und Russ. Bei diesen Schadstoffen dürfte in den nächsten Jahren das Emissionsziel von 1950 erreicht oder gar unterschritten werden. Problematisch bleiben – trotz vergleichsweise geringen Jahresemissionen – die *Schwermetalle* Blei, Cadmium und Zink. Diese werden in den Böden nicht abgebaut, sondern angereichert, und die bereits vorhandenen Belastungen verschwinden nicht; deshalb ist jeder Eintrag von schwer abbaubaren Verbindungen zu vermeiden.

Aufgrund der *möglichen Gefährdungen* gibt es einerseits solche Schadstoffe, die infolge der starken Zunahme der Emissionen die natürlichen Stoffkreisläufe überbelasten und zu Störungen der natürlichen Gleichgewichte führen. Dazu gehören die Stickoxide, Schwefeldioxid, Kohlenwasserstoffe, Ammoniak und Kohlendioxid. Bei diesen Schad-

Schadstoffe					
Säuren und Säurebildner $SO_2, NO_x / H_2SO_4, HNO_3$	●	●	●	●	●
Oxidantien O_3, PAN	●	●	●		
Schwermetalle Pb, Cd, Ni, Tl, Hg	○	○	○	●	○
Organische Verbindungen chlorierte KW	○	○	○	●	○

● direkte Wirkungen
○ indirekte Wirkungen

Bild 7. Auswirkungen von Luftschadstoffen. Direkte und indirekte Wirkungen der wichtigsten Schadstoffgruppen auf Mensch, Tier, Pflanzen, Boden und Wasser.

Region	Schwefeldioxid	Stickstoffdioxid	Ozon	Blei (im Staubniederschlag)	Cadmium (im Staubniederschlag)
	○	◒	●	○	○
	◒	●	●	○	◒
	●	●	●	◒	◒

○ unterhalb des Grenzwertes
◒ im Bereich des Grenzwertes
● Grenzwert überschritten

Bild 8. Bewertung von Immissionssituationen. Vergleich der Belastungen in ländlichen Gebieten, in Agglomerationen und in Städten mit den Immissionsgrenzwerten.

stoffen geht es vor allem darum, die zu *hohen Mengen zu reduzieren.* Andererseits gibt es Verbindungen, die persistent sind und sich akkumulieren. Es sind dies die Schwermetalle, die halogenierten organischen Verbindungen, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe sowie die Radionuklide. Alle diese Schadstoffe mit einem hohen ökotoxischen Potential sind *sehr restriktiv zu handhaben und nötigenfalls zu verbieten.*

An dieser Stelle sei auch noch auf die *Anteile der Emissionen aus natürlichen Quellen* (Böden, Pflanzen, Tiere, Brände, Blitze u.a.) hingewiesen. Berechnungen haben ergeben, dass der *anthropogene Anteil* von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Ammoniak gesamtschweizerisch etwa 95% der Gesamtemissionen ausmacht; für die Kohlenwasserstoffe beträgt der anthropogene Anteil etwa 85% [6]. *Die anthropogenen Emissionen in der Schweiz überwiegen also gegenüber den natürlichen Emissionen bei weitem.*

Von Bedeutung für die Auswirkungen sind aber vor allem die *flächenbezogenen Emissionen:* Vergleicht man Emissionen, die von bestimmten, begrenzten Flächen wie zum Beispiel vegetationsbedeckten Gebieten oder Siedlungsgebieten ausgehen, so überwiegen die flächenbezogenen anthropogenen gegenüber den flächenbezogenen natürlichen Emissionen in noch weit grösserem Masse, als dies bei der Betrachtung der gesamtschweizerischen Emissionsmengen allein der Fall ist. So sind die jährlichen mittleren flächenbezogenen Luftschadstoffemissionen in schweizerischem Siedlungsgebiet je nach Schadstoff rund 20- bis 350mal grösser als diejenigen in nichtbesiedelten, vegetationsbedeckten Gebieten. Dies ist insbesondere für die Bildung von sekundären Schadstoffen wie zum Beispiel der *Photooxidantien* von Bedeutung, indem bei diesen chemischen Prozessen in erster Linie die Konzentration der Schadstoffe entscheidend ist. Die Betrachtung der flächenbezogenen Emissionen verdeutlicht also noch weit mehr als die alleinige Betrachtung der Gesamtemissionen die Notwendigkeit, die anthropogenen Belastungen zu reduzieren.

Bedeutung einer sauberen Luft

In der Luftreinhalte-Verordnung sind mittels Immissionsgrenzwerten die noch zulässigen Schadstoffbelastungen in der Luft festgelegt, die zum Schutz des Menschen und seiner Umwelt erforderlich sind. Entsprechen aber die damit umschriebenen *Luftqualitätskriterien* den Vorstellungen einer sauberen Luft? Eine Umschreibung mittels Schadstoffbegrenzungen dürfte kaum mit den individuellen Wertungen übereinstimmen. Unter *sauberer Luft* verstehen wir mehr als nur das Einhalten bestimmter Minimalanforderungen – genau gleich wie Gesundheit mehr bedeutet als nur Abwesenheit von Krankheit.

Umfragen in der Bevölkerung zeigen immer wieder, dass *saubere Luft* bei Beurteilungen von Umweltbelastungen einen sehr hohen Stellenwert hat. Dieser ausgeprägte Wunsch nach sauberer Luft dürfte nicht nur auf wiederholte Belästigungen durch Gestank oder auf die Angst vor Schadstoffen zurückzuführen sein. Wir erkennen ja heute nicht nur die Folgen verschmutzter Luft auf die Wälder und auf die Gesundheit. Wir wissen auch, dass viele unserer Seen überbelastet sind, dass Lebensräume und Ökosysteme zerstört werden, dass seltene Pflanzen- und Tierarten aussterben, dass die Probleme bei der Beseitigung giftiger Abfälle keineswegs gelöst sind, und dass sich im Boden Schadstoffe anreichern, die in die Nahrungskette gelangen können. Dazu kommt der schleichende Verlust von naturnahen Landschaften und von Erholungsräumen.

Alle Massnahmen zur Reinhaltung der Luft sollen deshalb nicht isoliert betrachtet werden. Sie stehen in einem grösseren Zusammenhang und stellen einen Teilbereich aller Anstrengungen zur Reduktion der Umweltbelastungen dar. Für die erfolgreiche Durchsetzung der dazu notwendigen Massnahmen braucht es die Überzeugung, dass es dabei um *unsere Lebensgrundlagen* geht; es geht um den Schutz der Gesundheit der kommenden Generationen und um die Erhaltung einer intakten Umwelt in ihrer Vielfalt und Reichhaltigkeit.

Literatur

[1] *Achermann B.:* Die schweizerischen Immissionsgrenzwerte im Spiegel neuer internationaler Luftqualitätsrichtlinien. «Bulletin 2/88» Bundesamt für Umweltschutz, Bern.

[2] *Ackermann-Liebrich U., Braun-Fahrländer Ch., Gnehm H., Minder Chr., Rutishauser M., Landerer C., Huber-Burger E., Söhnlin E., Wood H.* and *Wanner H.U.:* Respiratory symptoms in preschool children: An indicator for the health effect of air pollution (in press).

[3] Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, Bern; Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf: Sanasilva – Waldschadenbericht 1987.

[4] Bundesamt für Umweltschutz: Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe. «Schriftenreihe Umweltschutz» Nr. 52, Bern, 1986.

[5] Bundesamt für Umweltschutz: Luftbelastung 1986, Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (Nabel). «Schriftenreihe Umweltschutz» Nr. 67, Bern, 1987.

[6] Bundesamt für Umweltschutz: Emissionen von luftverunreinigenden Stoffen aus natürlichen Quellen in der Schweiz. «Schriftenreihe Umweltschutz» Nr. 75, Bern, 1987.

[7] Bundesamt für Umweltschutz: Vom Menschen verursachte Schadstoff-Emissionen in der Schweiz 1950–2010. «Schriftenreihe Umweltschutz» Nr. 76, Bern, 1987.

[8] *Flückiger W., Braun S., Flückiger-Keller H., Leonardi S., Asile N., Bühler U.* und *Lier M.:* Untersuchungen über Waldschäden in festen Buchenbeobachtungsflächen der Kantone Basel-Landschaft, Basel-Stadt, Aargau, Solothurn, Bern, Zürich und Zug. «Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen» *137,* 917–1010, 1986.

[9] *Flückiger W.:* Stickstoff- und Stickstoffverbindungen in der Luft und ihre ökophysiologische Bedeutung. «Chimia» *42,* Nr. 2, 41–56, 1988.

[10] *Fuhrer J., Grandjean A., Lenherr B., Egger A.* und *Tschannen W.:* Effects of Ozone in ambient air on growth, yield and physiological parameters of spring wheat. Symposium «Effects of Air Pollution on Terrestrial and Aquatic Ecosystems» (Cost 612), Grenoble (F), 18-11 May 1987.

[11] *Hangartner M.:* Beurteilung von Geruchsbelästigungen. «Staub-Reinhaltung der Luft» *48,* 81–85, 1988.

[12] *Hertz J. Baltensperger U.* und *Zürcher F.:* Grauer Schnee als Zeichen der Zeit? «Neue Zürcher Zeitung» Nr. 39, Seite 66, 17.2.1988.

[13] *Herzig R., Liebendörfer L.* und *Urech M.:* Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. VDI Berichte Nr. 609, 1987.

[14] *Huter Chr.:* Schadstoffimmissionen in Wohn- und Erholungsgebieten. Diss. ETH Nr. 8097, 1986.

[15] Infras: Monetäre Kosten der Luftverschmutzung im Kanton Zürich (ohne historische Gebäude und Baudenkmäler). Infras – Infrastruktur- und Entwicklungsplanung, Zürich, November 1986.

[16] *Knutti R., Bucher P., Stengl M., Stolz M., Tremp J., Ulrich M.* und *Schlatter Chr.:* Cadmium in the Invertebrate Fauna of an Unpolluted Forest in Switzerland. «Environmental Toxin Series», Vol. 2, 171–191, 1988.

[17] *Krause G.H.M., Arndt U., Brandt C.J., Bucher J., Kenk G.* und *Metzner E.:* Forest Decline in Europe: Development and possible causes. «Water, Air and Soil Pollution» *31,* 647–668, 1986.

[18] *Leuenberger Chr., Czuczwa J., Tremp J.* und *Giger W.:* Nitrated phenols in rain: atmospheric occurrence of phytotoxic pollutants. «Chemosphere», *17,* 511–515, 1988.

[19] *Linder J., Herren D., Monn Chr.* und *Wanner H.U.:* Die Wirkung von Ozon auf die körperliche Leistungsfähigkeit. «Schweiz. Ztschr. Sportmed». *36,* 5–10, 1988.

[20] *Papke H.E., Krahl-Urban B., Peters K.* und *Schimansky Chr.:* Waldschäden – Ursachenforschung in der Bundesrepublik Deutschland und den Vereinigten Staaten von Amerika. Herausgeber: Projektträger für Biologie, Ökologie und Energie der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, 2. Auflage, 1987.

[21] *Prinz B.* und *Krause G.H.M.:* Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. «Staub-Reinhaltung der Luft» *47,* 3/4, 94–100, 1987.

[22] *Rink W.* und *Weigmann G.:* Entscheidungshilfen für die Prüfung in Sonderfällen nach TA Luft (Nr. 2.2.1.3), Berichte 8/87. Teil II – Beurteilung von Schwefeldioxid und Fluorwasserstoff auf Tiere. Erich Schmidt Verlag Berlin, 1987.

[23] *Schnoor J.L., Sigg L., Stumm W.* und *Zobrist J.:* Saure Niederschläge und ihr Einfluss auf die Schweizer Seen. Mitteilungen der EAWAG vom 15. Februar 1983.

[24] Schweizer Ärzte für Umweltschutz: Luftverschmutzung und Gesundheit, 1988. Herausgeber: Sekretariat Ärzte für Umweltschutz, 4058 Basel.

[25] *Stadelmann F.X.* und *Fuhrer J.:* Der Einfluss der Luftverschmutzung auf die Pflanzenproduktion. Schweiz. Verband der Ingenieur-Agronomen und der Lebensmittelingenieure, Weiterbildungskurs «Pflanzenproduktion und Umwelt», September 1986.

[26] *Van Eimeren W.* und *Horisberger B.* (Herausgeber): Umwelt und Gesundheit – Statistisch methodische Aspekte von epidemiologischen Studien über die Wirkung von Umweltfaktoren auf die menschliche Gesundheit. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1987.

[27] *Wanner H.U.:* Das Ausmass der Luftverschmutzung in der Schweiz. Dokumente und Information zur Schweiz. Orts-, Regional- und Landesplanung. «Disp» Nr. 93, 35–39, 1988.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. sc. nat. *Hans-Urs Wanner,* Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Eidg. Technische Hochschule Zürich, CH-8092 Zürich.

Schriftliche Fassung des Vortrags, den der Verfasser am Umweltschutztag vom 26. Mai 1988, veranstaltet von der Pro Aqua – Pro Vita, in Basel gehalten hat. Die nächste Pro Aqua – Pro Vita findet vom 6. bis 9. Juni 1989 in den Hallen der Schweizer Mustermesse in Basel statt.

Aus dem Reussverband: Hochwasser, Restwasser

Präsidialansprache von Regierungsrat Josef Brücker anlässlich der Generalversammlung des Reussverbandes vom 7. April 1988

Die Reuss, unser gemeinsamer Fluss, der nicht nur unser Verbandsgebiet bestimmt, sondern weitgehend auch die Verbandsarbeit, hat uns im letzten Sommer vielfältigen und eindrücklichen Anschauungsunterricht erteilt.

Sie hat uns mit aller Deutlichkeit demonstriert, dass das, was unsere Vorfahren immer befürchtet und immer wieder erlebt haben, auch heute noch möglich ist.

In der Nacht vom 24. auf den 25. August hat eine besondere Wetterlage hauptsächlich die westlichen Bäche am Ursprung der Reuss zwischen dem Furka- und dem Sustengebiet derart anschwellen lassen, dass auf der ganzen Länge der Reuss von Realp bis Flüelen gewaltige Schäden an den natürlichen und künstlichen Wuhren auftraten, dass die Verkehrswege bis auf die Bergspur der N2 unterbrochen waren und dass grosse Flächen und viele Wohnungen unter Wasser und Sand gesetzt wurden.

Der günstige Pegelstand des Vierwaldstättersees hat glücklicherweise verhindert, dass sich das Unwetter auch auf die Unterlieger auswirkte.

Was im letzten August geschah, geschah wie bereits gesagt im gleichen und noch grösseren Ausmass schon früher, hauptsächlich im ersten Drittel des letzten Jahrhunderts.

Das hat dazu geführt, dass um die Mitte des letzten Jahrhunderts mit dem Bau des Reusskanals zwischen Attinghausen und dem See begonnen worden ist. Genau wie es auch in andern Flussgebieten der Schweiz gemacht wurde, es war die Zeit der grössten Landbesitznahme oder Innenkolonisation.

Die Meliorationen erfolgten radikal und geometrisch. Man hatte genug von Wassernot und Krankheiten und legte keinen Wert auf Biotope.

Man hat dann auch die Nutzungsrechte für die gefährlichen Wildwasser, die bisher nur Schaden anrichteten, dem Meistbietenden günstig abgegeben.

Heute wissen wir mehr: Wir kennen sanftere Meliorationen und auch den Wert der Wasserkräfte.

Das heisst nicht, dass wir mit dem Wasser keine Probleme mehr hätten.

Heute wird, wohl als Reaktion, in bezug auf die Verhinderung der Nutzung der Gewässer des Guten zuviel getan.

Sie haben im letzten Jahr den Kampf im eidgenössischen Parlament um eine Übergangslösung für das Restwasser mitverfolgen können. Nur dem Widerstand des Ständerates ist es zu verdanken, dass das Problem nun erst mit dem Gewässerschutzgesetz geregelt wird.

Es muss zu denken geben, dass von den Mittellandkantonen her mit soviel scharfem Geschütz gegen die Bergkantone aufgefahren wurde, ohne dass ein konkreter Fall für einen gefährdeten Bach genannt werden konnte. Die bundesrätliche Unterstützung hat die Sache nicht besser gemacht.

Weshalb erwähne ich das? Weil wir Gefahr laufen, dass auf diesem Gebiet die föderalistischen Grundsätze ohne zwingenden Grund ausser Kraft gesetzt werden und dass überhaupt kein vernünftiges Werk mehr realisiert werden kann.

Heute sind wir bereits so weit, dass sich Besitzer kleiner Wasserkraftwerke – an sich die Idealwerke der engagierten Grünen! – überlegen müssen, ob sie noch an die notwendigen grösseren Investitionen herangehen dürfen, weil sie mit grosser Wahrscheinlichkeit Restwassermengen aufdiktiert