

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 106 (1988)
Heft: 51-52

Artikel: Vom Menschen verursachte Schadstoff-Emissionen in der Schweiz 1950-2010
Autor: Baumann, Jürg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85868>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 23.02.2026

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

Vom Menschen verursachte Schadstoff-Emissionen in der Schweiz 1950-2010

In einer Studie des Bundesamtes für Umweltschutz (BUS) wird dargelegt, wie sich die vom Menschen verursachten Emissionen von 12 Luftschatstoffen von 1950 bis 1984 verändert haben und wie sie sich bis zum Jahr 2010 voraussichtlich entwickeln werden. Die Emissionen sind in Quellengruppen zusammengefasst. Dieser Bericht bildet ein wesentliches Instrument für die schweizerische Luftreinhalteplanung sowohl auf Bundes- wie auf lokaler Ebene. Es lassen sich darin die Wirkungen bereits eingeleiteter Luftreinhaltemassnahmen ablesen und Bereiche eingrenzen, wo zusätzliche Massnahmen notwendig und wirksam sein werden.

Menschliche Aktivitäten stossen jährlich grosse Mengen von Gasen, Äerosolen und Staubteilchen in die Atmosphäre

VON JÜRG BAUMANN,
BERN

re aus. Dies brachte in den letzten Jahrzehnten eine erhebliche und andauernde Belastung der Umwelt, welche heute ein für Menschen, Tiere und Pflanzen bedrohliches Ausmass angenommen hat¹.

Vordringliches Ziel der schweizerischen Luftreinhaltepolitik ist es daher, die Luftbelastung möglichst rasch wieder auf ein unschädliches Mass zu reduzieren. Dies erfordert die Verminderung der Emissionen; wirksame Luftreinhalte-Massnahmen sind dazu nötig. Um ihre Auswirkungen berechnen und beurteilen zu können, braucht es möglichst genaue Kenntnisse über Ausmass und Entwicklung der Schadstoff-Emissionen aller Einzelquellen. Die Emissionen des privaten Strassenverkehrs wurden in drei früheren Artikeln («Schweizer Ingenieur und Architekt» Hefte 18/87, 20/87 und 40/87) bereits vorgestellt. Hier folgt nun die Ausweitung dieser Untersuchung auf alle bekannten Quellen, die Schadstoffe in nennenswertem Ausmass emittieren. Während bisher, im Zusammenhang mit den Waldschäden, die Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe im Vordergrund standen, sind in der vorliegenden Arbeit

neun weitere Schadstoffe einbezogen worden. Damit liegt im gesamtschweizerischen Rahmen für zwölf Schadstoffe ein nach heutigem Kenntnisstand umfassendes Bild vor.

Die detailliertesten Erhebungen wurden für das Jahr 1984 gemacht. Ausgehend von diesen Daten hat man die Entwicklung zurück bis 1950 und in die Zukunft bis 2010 nach Methoden abgeschätzt, die im folgenden näher erläutert werden.

Schadstoffe und Quellen

In Tabelle 1 sind die untersuchten Schadstoffe zusammen mit ihren schädlichen Auswirkungen auf Lebewesen und Boden aufgeführt. Es handelt sich dabei ausschliesslich um sogenannte Primärschadstoffe, wie sie direkt von der Quelle emittiert werden. Im Verlaufe ihres Aufenthalts in der Atmosphäre können einige davon chemisch umgewandelt werden und führen dann beispielsweise zu den Sekundärschadstoffen Ozon oder zu den sauren Niederschlägen. Diese Sekundärschadstoffe sind in der Studie nicht berücksichtigt, hingegen ihre Vorläufersubstanzen Stickoxide, Schwefeldioxid und Kohlenwasserstoffe. Die Kohlenwasserstoffe stellen eine sehr heterogene Gruppe aus einer Vielzahl von organischen Verbindungen dar, wovon einige sehr toxisch und teilweise krebserregend sind, andere zwar keine direkte schädigende Wirkungen ausüben, aber als Vorläufersubstanzen in Kombination mit den Stickoxiden und Sonnenlicht zur Ozonbildung führen. Obwohl Methan ebenfalls zu den Kohlenwasserstoffen gerechnet wird, haben wir dieses Gas wegen der grossen Menge, die emittiert wird, und wegen seiner im

Vgl. hierzu Beiträge in «Schweizer Ingenieur und Architekt»
Nr. 18/87, Seiten 487-494
Nr. 20/87, Seiten 554-559
Nr. 40/87, Seiten 1169-1174

Vergleich zu andern Kohlenwasserstoffen etwas besonderen chemischen Eigenschaften separat behandelt.

Von den vielen verschiedenen Emittenten sind diejenigen berücksichtigt worden, die nach dem heutigen Kenntnisstand für die Gesamtbilanz von Bedeutung sind. Sie sind in die drei Quellengruppen Haushalte, Verkehr sowie Industrie und Gewerbe zusammengefasst worden. Die Landwirtschaft und der Dienstleistungssektor sind dabei der Quellengruppe Industrie und Gewerbe zugeteilt. Die feinere Aufschlüsselung innerhalb der einzelnen Quellengruppen geht aus den Tabellen 3-5 hervor.

Berechnungsmethode

Die Jahresemission JE_{is} des Schadstoffs s durch einen Einzelemittenten i berechnet sich im allgemeinen nach dem Schema

$$JE_{is} = L_i \times EF_{is}.$$

Dabei bedeutet L_i je nach betrachteter Emissionsquelle eine jährliche Fahrleistung oder Produktions- bzw. Verbrauchsmenge.

EF_{is} ist der sogenannte Emissionsfaktor, der die Menge des emittierten Schadstoffs s pro Einheit von L_i angibt. Zur Illustration sind im folgenden einige Beispiele angeführt:

| Jahresleistung L_i | Emissionsfaktor EF_{is} gültig für 1984 |
|---|---|
| Fahrleistung der Personenwagen bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h (km/Jahr) | 3,9 g NO _x /km |
| Verbrauch von Heizöl Extraleicht (kg/Jahr) | 6,0 g SO ₂ /kg Heizöl |
| Produktion von Aluminium (t/Jahr) | 250 g HF/t Aluminium |
| Stück Rindvieh | 77 kg CH ₄ /Stk und Jahr |

Die Emissionsfaktoren sind der Fachliteratur entnommen. In den Fällen, wo die Einzelquellen ein und desselben Prozesses einen unterschiedlichen technischen Stand bezüglich Abgasreini-

¹ Verglichen mit den vom Menschen verursachten Schadstoffemissionen sind diejenigen aus natürlichen Quellen unbedeutend. Dieser Sachverhalt ist in einem weiteren Bericht des BUS näher ausgeführt: «Emissionen von luftverunreinigenden Stoffen aus natürlichen Quellen in der Schweiz», Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 75, Bern 1987.

gung aufweisen, wurde für den Emissionsfaktor aufgrund der bekannten Verteilung dieser Anlagen in der Schweiz ein gewichteter Mittelwert gebildet. So sind zum Beispiel noch nicht alle Kehrichtverbrennungsanlagen mit den neusten Verfahren zur Rauchgasreinigung ausgestattet, ebenso wie noch nicht für den ganzen Personenwagenpark die Katalysatortechnik verwirklicht ist.

Die Produktions- und Verbrauchsmengen wurden aus verschiedenen statistischen Werken entnommen: Die Brennstoffverbrauchsdaten folgen aus der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik, die Produktions- und Verbrauchsdaten von Industrie und Gewerbe aus statistischen Quellenwerken, Aussenhandelsstatistiken, Jahresberichten von Verbänden sowie vereinzelt direkt aus Angaben von Anlage-Betreibern oder Branchenverbänden. Die Fahrleistungen des privaten Strassenverkehrs sind im Heft 40/87 des «Schweizer Ingenieur und Architekt» abgehandelt.

Vom obigen Berechnungsschema ist man in zwei Fällen abgewichen:

- In der Quellengruppe Industrie und Gewerbe ist mangels Grundlageninformationen darauf verzichtet worden, die Kohlenwasserstoffemissionen den einzelnen Branchen zuzuordnen. Diese Emissionen sind über Bilanzierungsrechnungen aus der importierten Menge, dem Alkoholabsatz, dem durch chemische Produktionsprozesse umgewandelten, nicht emittierbaren Anteil sowie den durch Verbrennung und Export entsorgten Lösungsmittelabfällen ermittelt worden und werden der Quellengruppe Industrie und Gewerbe als ganzes zugeschrieben.
- Emissionen aus Industriefeuerungen sind nur für die Zementwerke und Ziegeleien, die Mineralölindustrie, Gasindustrie und konventionell thermische Kraftwerke diesen Branchen einzeln zugeteilt. Die Feuerungen aller übrigen Branchen sind in einer gemeinsamen Rubrik zusammengefasst.

Alle Ergebnisse beziehen sich auf die Emissionsverhältnisse im gesamtschweizerischen Rahmen. Diese sind hiermit hinreichend beschrieben. In einzelnen Regionen oder lokal kann die Situation allerdings – je nach den dort vorhandenen Emissionsquellen – mehr oder weniger stark von den durchschnittlichen gesamtschweizerischen Verhältnissen abweichen. Der Bericht des BUS enthält jedoch eine Fülle von Zahlenmaterial, das auch für die Beurteilung einer lokalen Belastungssituation nützlich sein kann.

| Schadstoff | Auswirkungen |
|----------------------------------|---|
| Kohlenmonoxid (CO) | Atemgift beim Menschen und bei Warmblütern |
| Schwefeldioxid (SO_2) | <ul style="list-style-type: none"> - Erkrankung der Atemwege - Vielfältige Schädigung der Pflanze in Kombination mit anderen Luftschatdstoffen - Vorläufer der sauren Niederschläge |
| Stickoxide (NO_x) | <ul style="list-style-type: none"> - Erkrankung der Atemwege - Vielfältige Schädigung der Pflanze bei kombinierter Einwirkung mehrerer Schadstoffe - Vorläufer der sauren Niederschläge und Photooxidantien (z.B. Ozon) |
| Kohlenwasserstoffe (HC) | <ul style="list-style-type: none"> - Zusammen mit Stickoxiden Vorläufer von Photooxidantien (z.B. Ozon) - Einige davon sind krebserzeugend. |
| Staub und Russ | <ul style="list-style-type: none"> - Erkrankung der Atemwege - Belastung des Bodens |
| Ammoniak (NH_3) | <ul style="list-style-type: none"> - In hoher Konzentration direkte Schäden an der Vegetation - Versauerung der Böden |
| Chlorwasserstoff (HCl) | <ul style="list-style-type: none"> - In höherer Konzentration Schädigung der Atemwege - Schädigung der Vegetation im Nahbereich von HCl-Emitenten |
| Fluorwasserstoff (HF) | Schäden an Kulturpflanzen, Wäldern und Tieren |
| Blei (Pb) | <ul style="list-style-type: none"> - Beeinträchtigung der Blutbildung und des Nervensystems beim Menschen - Schädigung von Pflanzen und Tieren - Anreicherung in Nahrungsketten - Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit |
| Cadmium (Cd) | <ul style="list-style-type: none"> - Als Kumulationsgift vor allem Beeinträchtigung der Niere beim Menschen und bei Tieren - Störung des Pflanzenwachstums und der Pflanzenqualität - Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit |

Tab. 1. Auswirkungen von Luftschatdstoffen auf Lebewesen und Boden

Emissionen 1984

Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der Emissionen des Jahres 1984. Es fällt auf, dass einige Schadstoffe, wie Kohlenmonoxid und die Kohlenwasserstoffe, in sehr grossen Mengen anfallen, während andere, wie zum Beispiel die Schwermetalle, mengenmässig weniger ins Gewicht fallen. Das darf aber nicht zum Schluss führen, sie seien toxikologisch weniger bedenklich. Gerade bei den Schwermetallen muss man die Tatsache berücksichtigen, dass diese in der Umwelt nicht abgebaut werden, d.h. sich anreichern.

Neben der absoluten Menge interessiert auch der Anteil, den jede Quellengruppe an den Emissionen hat. Der Verkehr dominiert bei den Emissionen von Kohlenmonoxid (CO), den Stickoxiden (NO_x) und dem Blei (Pb), während Industrie und Gewerbe Hauptemittent beim Schwefeldioxid (SO_2), den Kohlenwasserstoffen (HC), bei Staub/Russ sowie den spezifischen Industrieschadstoffen Chlorwasserstoff (HCl), Fluorwasserstoff (HF) und den Schwermetallen Zink (Zn) und Cadmium (Cd) ist. Zur Hauptsache aus der Landwirtschaft stammen dagegen die Emissionen von Methan (CH_4) und Ammoniak (NH_3).

(vgl. Tab. 5). Die Quellengruppe Haushalte ist bei keinem Schadstoff Hauptemittent.

Tabellen 3–5 geben die Emissionen des Jahres 1984 für die drei Quellengruppen im Detail wieder.

Innerhalb der Quellengruppe Verkehr (Tab. 3) dominieren die Emissionen des privaten Strassenverkehrs gegenüber den Rubriken öffentlicher Strassenverkehr sowie Luft- und Schiffahrt.

Innerhalb der Quellengruppe Haushalte (Tab. 4) sind die Feuerungen für den Hauptanteil der nicht unbeträchtlichen Kohlenmonoxid (CO)-, Schwefeldioxid (SO_2) – sowie Staub/Russ-Emissionen verantwortlich. Die Kohlenwasserstoff (HC)-Emissionen dagegen entstehen hauptsächlich infolge Verdampfung organischer Lösungsmittel bei der Anwendung von Farben, Lacken, Spraydosen, Putzmitteln u.a.

Die Quellengruppe Industrie und Gewerbe (Tab. 5) präsentiert erwartungsgemäss ein heterogenes Bild. Dominierende Anteile haben

- die Feuerungen beim Schwefeldioxid (SO_2)
- die Verdampfung organischer Stoffe bei den Kohlenwasserstoff (HC)-Emissionen

| Quellengruppe | Schadstoffe | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|----------------|-----------------|--------|-----|-----|-----|------|
| | CO | SO ₂ | NO _x | HC | CH ₄ | Staub/ Russ | NH ₃ | HCl | HF | Pb | Zn | Cd |
| Verkehr | 456 500 | 5 500 | 157 800 | 90 300 | | 850 | | | | 510 | | |
| Haushalte | 105 100 | 23 400 | 8 500 | 42 500 | | 4 700 | | 120 | 14 | 4,8 | 5,3 | 0,35 |
| Industrie und Gewerbe ¹ | 59 600 | 66 400 | 48 000 | 206 500 | 239 200 | 16 100 | 60 200 | 11 300 | 220 | 170 | 630 | 4,3 |
| Total Emissionen 1984 | 621 200 | 95 300 | 214 300 | 339 300 | 239 200 | 21 700 | 60 200 | 11 400 | 230 | 680 | 640 | 4,7 |

Tab. 2. Vom Menschen verursachte Emissionen 1984 (in t)

¹ inkl. Landwirtschaft

| Emissionsquellen | Schadstoffe | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|------------------|-----------------|-----|----|-----|----|----|
| | CO | SO ₂ | NO _x | HC | CH ₄ | Staub/ Russ | NH ₃ | HCl | HF | Pb | Zn | Cd |
| Privater Strassenverkehr: Personenwagen | 370 000 | 1 300 | 107 500 | 53 700 | | 80 | | | | 450 | | |
| Lieferwagen | 25 900 | 230 | 7 500 | 4 100 | | 80 | | | | 35 | | |
| Lastwagen | 11 700 | 3 100 | 32 700 | 7 000 | | 470 | | | | 2 | | |
| Gesellschaftswagen | 400 | 140 | 1 500 | 300 | | 20 | | | | | | |
| Motorräder | 12 000 | 10 | 150 | 6 500 | | | | | | 5 | | |
| Motorfahrräder | 22 000 | 20 | 150 | 13 400 | | | | | | 10 | | |
| Total privater Strassenverkehr | 442 000 | 4 800 | 149 500 | 85 000 | | 650 | | | | 500 | | |
| Öffentlicher Strassenverkehr | 2 200 | 340 | 3 500 | 1 100 | | 60 | | | | 0,5 | | |
| Luftfahrt | 3 000 | 230 | 3 700 | 440 | | 125 ¹ | | | | 3 | | |
| Schiffahrt | 9 300 | 90 | 1 100 | 3 800 | | 15 | | | | 3,5 | | |
| Total Verkehr | 456 500 | 5 500 | 157 800 | 90 300 | | 850 | | | | 510 | | |

Tab. 3. Emissionen der Quellengruppe Verkehr 1984 (in t)

¹ Gesamtpartikel

| Emissionsquellen | Schadstoffe | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|----------------|-----------------|-----|------|------|-----|------|
| | CO | SO ₂ | NO _x | HC | CH ₄ | Staub/ Russ | NH ₃ | HCl | HF | Pb | Zn | Cd |
| Hausfeuerungen: Heizöl | 7 700 | 22 100 | 6 930 | 2 000 | | 77 | | 7,7 | 0,77 | 3,1 | 3,1 | 0,31 |
| Kohle | 10 900 | 1 200 | 140 | 290 | | 590 | | 110 | 13 | 1,3 | 2,2 | 0,04 |
| Holz | 84 000 | 64 | 520 | 7 800 | | 3 900 | | | | | | |
| Gas | 950 | 14 | 860 | 250 | | 3,8 | | | | | | |
| Total Hausfeuerungen | 103 600 | 23 400 | 8 500 | 10 300 | | 4 600 | | 120 | 14 | 4,4 | 5,3 | 0,35 |
| Übrige Emissionen: Verdampfung von organischen Stoffen | | | | 32 000 | | | | | | | | |
| Rasenmäher | 760 | | 46 | 240 | | | | | | 0,39 | | |
| Feuerwerke | 700 | | | | | 140 | | | | | | |
| Total übrige Emissionen | 1500 | | 46 | 32 200 | | 140 | | | | 0,39 | | |
| Total Haushalte | 105 100 | 23 400 | 8 500 | 42 500 | | 4 700 | | 120 | 14 | 4,8 | 5,3 | 0,35 |

Tab. 4. Emissionen der Quellengruppe Haushalte 1984 (in t)

- die Metallindustrie beim Zink (Zn)
- die Abfallentsorgung beim Chlorwasserstoff (HCl) und beim Cadmium (Cd).

Emissionsentwicklung 1950-2010

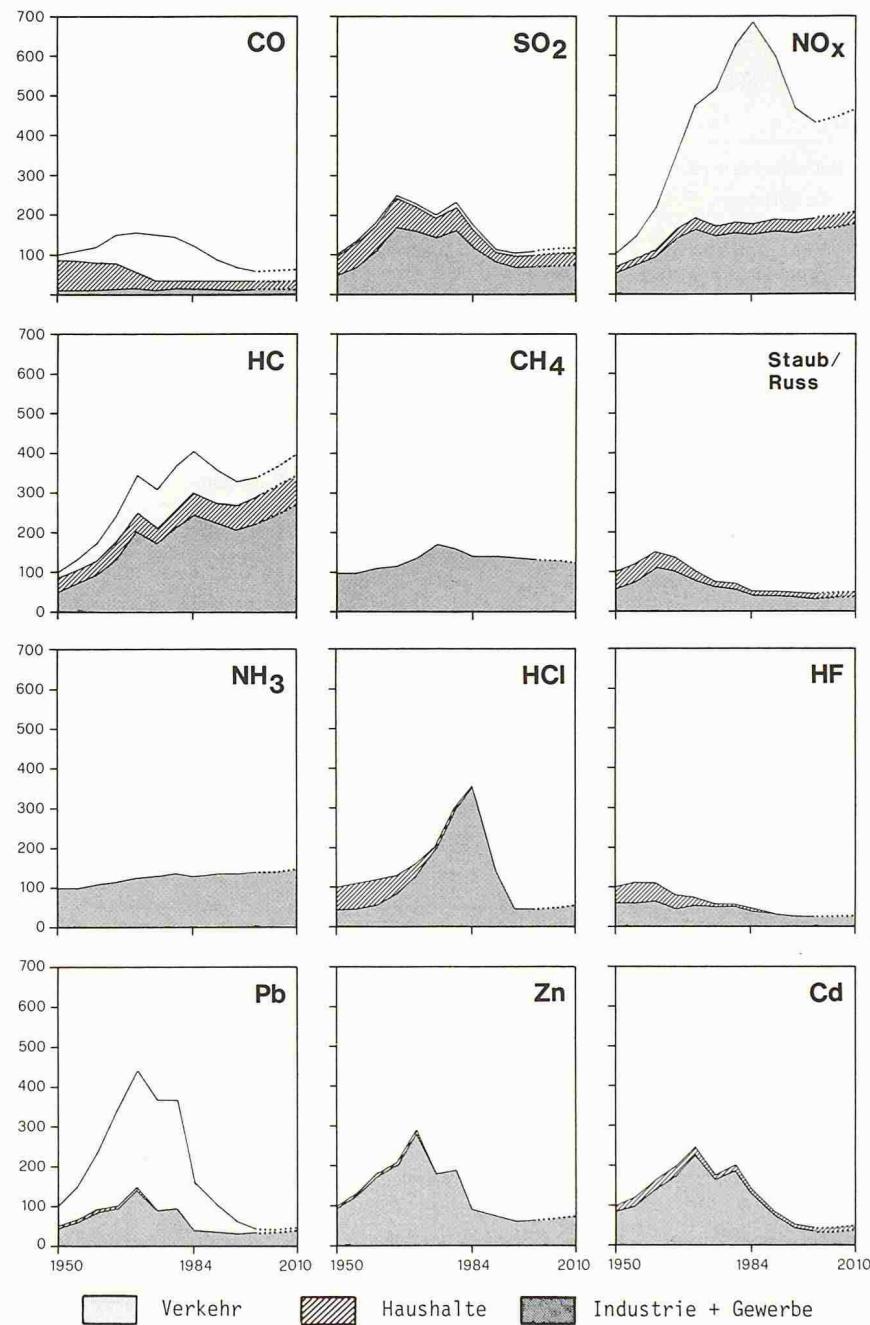
Sowohl Emissionsfaktoren wie auch die jährlichen Produktions- bzw. Verbrauchsmengen haben sich in den letzten Jahrzehnten verändert. Für die Zeit vor 1984 sind beide Datensätze im Prinzip bekannt oder doch rekonstruierbar, wenngleich mit etwas geringerer Genauigkeit als für das Jahr 1984. Für die zukünftige Entwicklung ging man von Wachstumsprognosen des Energieverbrauchs, der industriellen Produktion und der Gesamtfahrleistungen aus und hat diese Größen ausgehend vom Jahr 1984 bis zum Jahr 2010 extrapoliert. Für die Landwirtschaft nahm man den Viehbestand nach 1984 als konstant an.

Die Emissionsfaktoren der künftigen Jahrzehnte werden sich als Folge der bereits ergriffenen Luftreinhaltemassnahmen zum Teil drastisch ändern. Diese Änderungen sind berücksichtigt worden. Stellvertretend für die grosse Anzahl von Emissionsfaktoren der verschiedenen Prozesse sind diejenigen für die Kehrichtverbrennungsanlagen in Tabelle 6 wiedergegeben. Nach einer Übergangsfrist, während der alle Kehrichtverbrennungsanlagen umgerüstet werden, wird ab 1995 die Emission vieler Schadstoffe stark reduziert sein.

Insgesamt wurden die folgenden, bis April 1988 beschlossenen Luftreinhaltemassnahmen in die Prognosen einbezogen:

- die Luftreinhalteverordnung vom 16. Dezember 1985
- die Verordnung über die Abgasemissionen leichter Motorwagen, sog. US-83-Vorschriften vom 22. Oktober 1986 (FAV1)
- die Verordnung über die Abgasemissionen schwerer Motorwagen, erste Stufe vom 22. Oktober 1986 (FAV2)
- die Verordnung über die Abgasemissionen der Motorräder, erste und zweite Stufe vom 22. Oktober 1986 und 24. Februar 1988 (FAV3)
- die Verordnung über die Abgasemissionen der Motorfahrräder vom 22. Oktober 1986 (FAV4)

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Gesamtemissionen jedes Schadstoffs im Verlauf der Zeit. In Figur 1 sind die gleichen Daten, aufgeteilt in die drei Quellengruppen, graphisch dargestellt. Dabei wurde die Emissionsmenge jedes Schadstoffs im Jahr 1950 als 100% definiert. Erfreulich ist, dass die Emissionen aller Schadstoffe, mit Ausnahme von Ammoniak, gegenüber heute abnehmen werden.



Figur 1. Relative Entwicklung der Schadstoff-Emissionen 1950-2010 (Gesamtemission 1950 = 100)

Allerdings wird nach dem Jahr 2000, nachdem alle jetzt eingeleiteten gesetzlichen Massnahmen ihre volle Wirkung zeigen, wieder eine Zunahme der Emissionen stattfinden, sofern die Prognosen für das Wirtschaftswachstum sich als richtig erweisen.

Im Luftreinhaltekonzept vom 10. September 1986 hat der Bundesrat als Maximalziel die Rückführung der Emissionen auf den Stand von 1950 bis zum Jahr 1990 formuliert. Dieses Ziel kann für Kohlenmonoxid, Staub/Russ, Fluorwasserstoff, Zink und Cadmium erreicht werden. Bis zum Jahr 1995 werden zusätzlich folgende Schadstoffemissionen auf das Niveau von 1950

oder darunter zurückkehren: Schwefeldioxid (knapp), Chlorwasserstoff und Blei. Weiterhin etwas über dem Stand der fünfziger Jahre bleiben die Emissionen von Methan und Ammoniak, welche beide zur Hauptsache aus der Landwirtschaft stammen.

Die eigentlichen Problemstoffe sind jedoch die Stickoxide und die Kohlenwasserstoffe. Der Bundesrat sieht für diese beiden Stoffklassen als Minimalziel eine Reduktion auf den Stand von 1960 bis zum Jahr 1995 vor. Dieses Ziel kann mit den eingeleiteten Massnahmen bei weitem nicht erreicht werden. Die Emissionen beider Schadstoffe werden 1995 ungefähr doppelt so hoch sein wie

| Emissionsquellen | Schadstoffe | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|----------------|-----------------|--------|------|------|------|-------|
| | CO | SO ₂ | NO _x | HC | CH ₄ | Staub/ Russ | NH ₃ | HCl | HF | Pb | Zn | Cd |
| Allgemeine Emissionen: Feuerungen | 5 900 | 33 500 | 16 100 | 2 200 | | 1 900 | | 330 | 40 | 9,0 | 6,8 | 0,29 |
| Verdampfung von organischen Stoffen | | | 164 000 | | | | | | | | | |
| Spezielle Emissionen: Industrie der Steine und Erden | 13 100 | 4 280 | 13 000 | 830 | | 2 000 | | 20 | 75 | 1,3 | 3,3 | 0,06 |
| Chemische Industrie | 230 | 1 000 | 2 000 | | | 380 | 100 | 780 | | | 0,46 | 0,03 |
| Mineralölindustrie | 66 | 3 780 | 830 | 14 200 | | 47 | | | | | | |
| Gasindustrie | | | | 4 500 | 34 400 | | | | | | | |
| Konventionell thermische Kraftwerke | 10 | 1 450 | 300 | 14 | | 45 | | 3,6 | 0,36 | 0,41 | 0,16 | 0,003 |
| Metallindustrie | 25 800 | 2 000 | 16 | 1 300 | | 3 900 | | 36 | 23 | 90 | 510 | 1,5 |
| Landwirtschaft | 8 400 | 420 | 4 900 | 1 900 | 152 000 | 870 | 54 300 | | | 5 | | |
| Lebensmittelindustrie | 74 | | | 5 500 | | 260 | | | | | | |
| Abfallentsorgung | 3 800 | 19 100 | 5 030 | 810 | 52 800 | 1 400 | 4 900 | 10 100 | 84 | 68 | 110 | 2,4 |
| Verschiedenes | 2 200 | 910 | 5 800 | 11 200 | | 5 300 | 870 | | | | | |
| Total Industrie und Gewerbe | 59 600 | 66 400 | 48 000 | 206 500 | 239 200 | 16 100 | 60 200 | 11 300 | 220 | 170 | 630 | 4,3 |

Tab. 5. Emissionen der Quellengruppe Industrie und Gewerbe 1984 (in t)

| Jahr | CO | SO ₂ | NO _x | HC | CH ₄ | Staub/ Russ | NH ₃ | HCl | HF | Pb | Zn | Cd |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|----------------|-----------------|----------------|------|-----|-----|------|
| | [kg/t Kehricht] | | | | | | | [g/t Kehricht] | | | | |
| 1950 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 0,3 | | 3,0 | | | | 105 | 260 | 6,0 |
| 1955 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 0,3 | | 3,0 | | | | 105 | 260 | 6,0 |
| 1960 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 0,3 | | 1,5 | | 800 | 7,0 | 52 | 130 | 3,0 |
| 1965 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 0,3 | | 1,5 | | 1700 | 15 | 52 | 130 | 3,0 |
| 1970 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 0,3 | | 1,0 | | 2600 | 22 | 35 | 87 | 2,0 |
| 1975 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 0,3 | | 0,62 | | 3500 | 30 | 22 | 54 | 1,2 |
| 1980 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 0,3 | | 0,62 | | 4400 | 38 | 22 | 54 | 1,2 |
| 1984 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 0,3 | | 0,55 | | 5200 | 44 | 19 | 48 | 1,1 |
| 1990 | 1,4 | 1,15 | 1,5 | 0,3 | | 0,45 | | 1400 | 13,5 | 16 | 39 | 0,45 |
| 1995 | 1,4 | 1,0 | 1,5 | 0,3 | | 0,30 | | 80 | 3,0 | 10 | 26 | 0,20 |
| 2000 | 1,4 | 1,0 | 1,5 | 0,3 | | 0,30 | | 80 | 3,0 | 10 | 26 | 0,10 |
| 2005 | 1,4 | 1,0 | 1,5 | 0,3 | | 0,30 | | 80 | 3,0 | 10 | 26 | 0,10 |
| 2010 | 1,4 | 1,0 | 1,5 | 0,3 | | 0,30 | | 80 | 3,0 | 10 | 26 | 0,10 |

Tab. 6. Emissionsfaktoren von Kehrichtverbrennungsanlagen, für den schweizerischen Anlagenbestand gemittelt

| Schadstoffe | 1950 | 1955 | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 | 1984 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Kohlenmonoxid | 493 400 | 549 500 | 595 100 | 718 700 | 771 100 | 736 300 | 711 300 | 621 200 | 439 400 | 314 100 | 273 200 | 280 200 | 289 300 |
| Schwefeldioxid | 54 400 | 72 400 | 97 100 | 135 400 | 125 600 | 109 400 | 126 300 | 95 300 | 62 600 | 57 700 | 60 500 | 62 100 | 63 800 |
| Stickoxide | 31 400 | 46 200 | 67 200 | 110 300 | 148 500 | 162 300 | 195 800 | 214 100 | 186 100 | 145 200 | 133 400 | 135 800 | 139 000 |
| Kohlenwasserstoffe | 83 800 | 113 100 | 146 900 | 207 700 | 287 900 | 261 000 | 311 100 | 339 300 | 297 600 | 265 000 | 272 500 | 294 300 | 318 800 |
| Methan | 168 300 | 170 900 | 187 500 | 193 400 | 229 700 | 287 300 | 262 300 | 239 200 | 233 500 | 226 300 | 221 300 | 217 300 | 213 800 |
| Staub/Russ | 41 600 | 49 300 | 62 500 | 56 500 | 41 000 | 30 300 | 27 800 | 21 700 | 20 500 | 18 700 | 19 300 | 20 300 | 21 200 |
| Ammoniak | 45 600 | 46 600 | 51 000 | 52 800 | 56 300 | 59 200 | 61 800 | 60 200 | 61 400 | 62 300 | 63 300 | 64 300 | 65 500 |
| Chlorwasserstoff | 3 200 | 3 500 | 3 800 | 4 100 | 5 100 | 6 600 | 9 600 | 11 400 | 4 400 | 1 500 | 1 400 | 1 600 | 1 800 |
| Fluorwasserstoff | 530 | 570 | 570 | 430 | 410 | 300 | 310 | 230 | 160 | 130 | 130 | 140 | 140 |
| Blei | 410 | 610 | 960 | 1 400 | 1 800 | 1 500 | 1 500 | 680 | 440 | 260 | 160 | 170 | 190 |
| Zink | 730 | 940 | 1 300 | 1 500 | 2 100 | 1 300 | 1 400 | 640 | 530 | 430 | 460 | 500 | 530 |
| Cadmium | 3,4 | 4,1 | 5,4 | 6,6 | 8,3 | 6,0 | 6,8 | 4,7 | 2,9 | 1,9 | 1,6 | 1,6 | 1,7 |

Tab. 7. Entwicklung der Schadstoff-Emissionen 1950–2010 (in t)

1960. Es sind denn auch vor allem diese beiden Schadstoffe, bei denen zusätzliche Massnahmen zur Emissionsminde rung geprüft werden.

Schlussfolgerungen

Die vorgestellte Studie präsentiert den Stand und die zeitliche Entwicklung der Emissionen von zwölf Schadstoffen in der Schweiz. Ausser für Ammoniak ist für alle Schadstoffe nach 1984 ein Rückgang der Emissionen vorauszusehen. Wenn die eingeleiteten gesetzli-

chen Massnahmen ihre volle Wirksamkeit entfalten, werden die Emissionen der meisten Schadstoffe auf das Niveau der fünfziger Jahre oder darunter ab sinken. Diese erfreuliche Tatsache darf jedoch aus folgenden Gründen nicht zum Schluss verleiten, dass die Emissionen nun überall und in jedem Bereich genügend reduziert seien:

- Nach dem Jahr 2000 muss, bedingt durch das erwartete Wirtschaftswachstum, wieder mit einer Zunahme der Emissionen gerechnet werden.
- Für die zum grossen Teil aus dem Verkehr stammenden Stickoxide und die vor allem durch Industrie und Gewerbe emittierten Kohlenwasserstoffe wird das Minimalziel des Bundesrates ohne zusätzliche Massnahmen nicht zu erreichen sein.
- Auch Schadstoffe, die nur in kleinen Mengen freigesetzt werden, können toxikologisch bedenklich sein. So sind zum Beispiel die Schwermetalle, obwohl sie eine vergleichsweise ge-
- ringe Jahresemission aufweisen und teilweise bereits heute unter dem Emissionsniveau von 1950 liegen, nach wie vor problematisch. Die aus der Luft in die Böden gelangenden Schwermetalle werden dort nicht ab gebaut, sondern sie akkumulieren sich. Jeder zusätzliche Schadstoffeintrag verschärft somit die Belastungssituation. Auch bei den anderen Schadstoffen muss teilweise berücksichtigt werden, dass die früheren Emissionen oder ihre Folgeprodukte nicht einfach verschwinden, sondern weiterhin in der Umwelt vorhanden sind.
- Die lokale oder regionale Belastungssituation kann sich, je nach den dort vorhandenen Emissionsquellen, vom hier berechneten gesamtschweizerischen Durchschnitt wesentlich unterscheiden.

Adresse des Verfassers: Jürg Baumann, Dr. chem. Bundesamt für Umweltschutz, 3003 Bern.

Der Bericht «Vom Menschen verursachte Schadstoff-Emissionen in der Schweiz 1950-2010. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 76» mit Nachtrag vom September 1988 kann in deutsch oder französisch beim Dokumentationsdienst des Bundesamtes für Umweltschutz, 3003 Bern, bezogen werden.