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

Autor(en): **Baumann, Jürg**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 51-52

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85868

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

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 Luftschadstoffen 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.

VON JÜRG BAUMANN, BERN

Menschliche Aktivitäten stossen jährlich grosse Mengen von Gasen, Ärosolen und Staubteilchen in die Atmosphäre 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 hat[1].

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.

[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.

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 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.

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

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-

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 Brennstoffverbrauchszahlen 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 Berechnung einer lokalen Belastungssituation nützlich sein kann.

Schadstoff	*Auswirkungen*
Kohlenmonoxid (CO)	Atemgift beim Menschen und bei Warmblütern
Schwefeldioxid (SO_2)	- Erkrankung der Atemwege - Vielfältige Schädigung der Pflanze in Kombination mit anderen Luftschadstoffen - Vorläufer der sauren Niederschläge
Stickoxide (NO_x)	- Erkrankung der Atemwege - Vielfältige Schädigung der Pflanze bei kombinierter Einwirkung mehrerer Schadstoffe - Vorläufer der sauren Niederschläge und Photooxidantien (z.B. Ozon)
Kohlenwasserstoffe (HC)	- Zusammen mit Stickoxiden Vorläufer von Photooxidantien (z.B. Ozon) - Einige davon sind krebserzeugend.
Staub und Russ	- Erkrankung der Atemwege - Belastung des Bodens
Ammoniak (NH_3)	- In hoher Konzentration direkte Schäden an der Vegetation - Versauerung der Böden
Chlorwasserstoff (HCl)	- In höherer Konzentration Schädigung der Atemwege - Schädigung der Vegetation im Nahbereich von HCl-Emittenten
Fluorwasserstoff (HF)	Schäden an Kulturpflanzen, Wäldern und Tieren
Blei (Pb)	- Beeinträchtigung der Blutbildung und des Nervensystems beim Menschen - Schädigung von Pflanzen und Tieren - Anreicherung in Nahrungsketten - Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit
Cadmium (Cd)	- 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 Luftschadstoffen 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

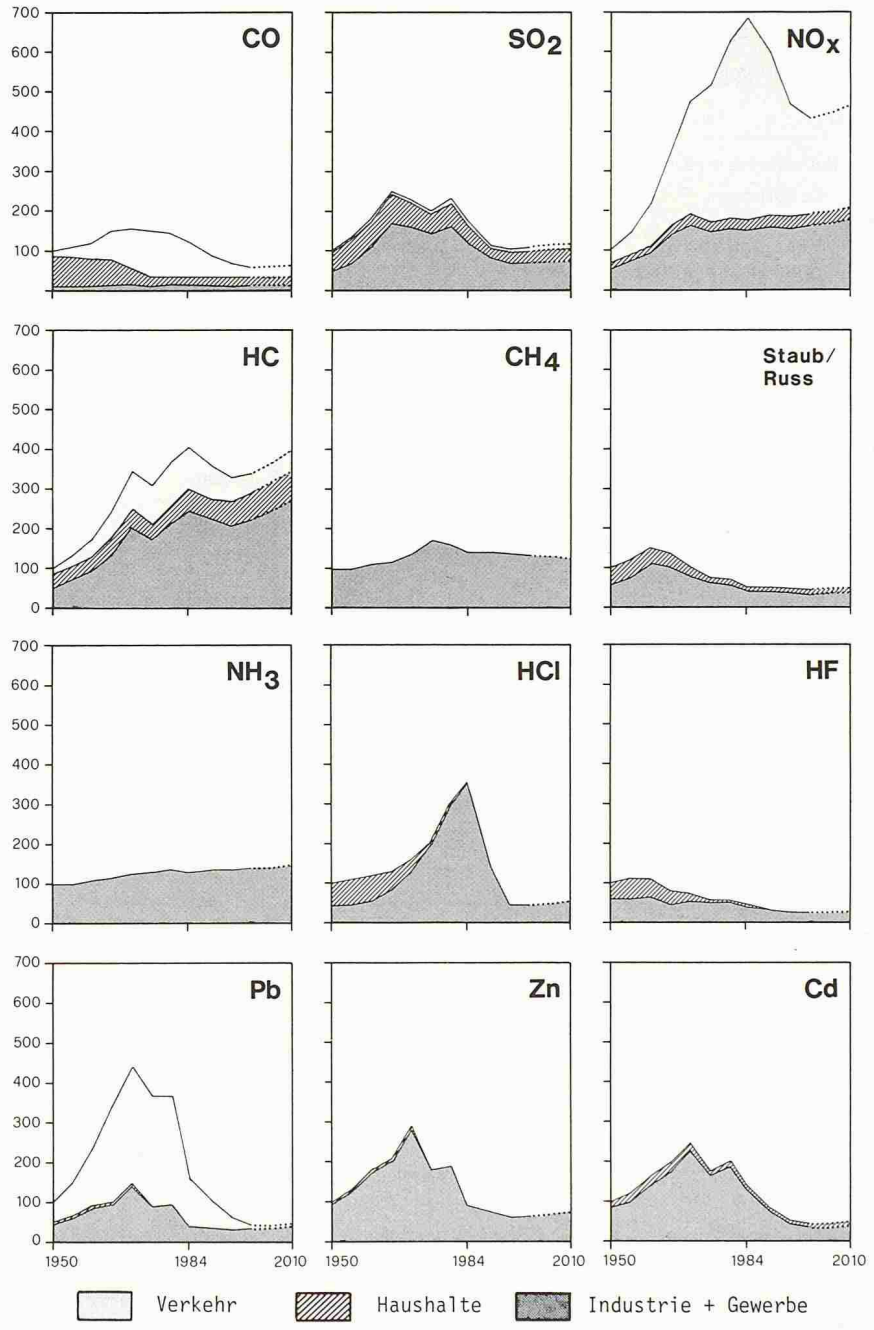
Sowohl Emissionsfaktoren wie auch die jährlichen Produktions- bzw. Verbrauchsmengen haben sich in den letzten Jahrzehnten verändert. Für die Zeit vor 1984 sind beide Datensätze im Prinzip bekannt oder doch rekonstruierbar, wenngleich mit etwas geringerer Genauigkeit als für das Jahr 1984. Für die zukünftige 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 verschiedensten 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 Emissionsminderung 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 gesetzlichen Massnahmen ihre volle Wirksamkeit entfalten, werden die Emissionen der meisten Schadstoffe auf das Niveau der fünfziger Jahre oder darunter absinken. 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 geringe 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 abgebaut, 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.

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.

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