



SCHRIFTENREIHE UMWELT NR. 379

Luft



Weiterentwicklung des Luftreinhalte- Konzepts

**Stand, Handlungsbedarf,
mögliche Massnahmen**



**SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 379**

Luft

**Weiterentwicklung
des Luftreinhalte-
Konzepts**

**Stand, Handlungsbedarf,
mögliche Massnahmen**

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL
Bern, 2005**

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
*Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)*

Autor

Peter Künzler, Künzler, Bossert und Partner GmbH,
Fliederweg 10, 3007 Bern

Zitiervorschlag

Künzler, P. 2005: Weiterentwicklung des Luftreinhalte-
Konzepts – Stand, Handlungsbedarf, mögliche Mass-
nahmen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 379, Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 171 S.

Begleitung BUWAL

Brigitte Gälli Purghart, Abteilung Luft, NIS, Sicherheit

Bildnachweis

Abwasserreinigungsanlage Bern, M. Weilemann, EMPA,
BUWAL/AURA

Bezug

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Dokumentation
CH-3003 Bern
Fax + 41 (0)31 324 02 16
E-Mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: www.buwalshop.ch

Bestellnummer und Preis

SRU-379-D / CHF 20.– (inkl. MWSt)

© BUWAL 2005

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	7
Vorwort	9
Zusammenfassung	11
Emissionsgrundlagen: Herkunft und Aussagekraft (Kapitel 3 des Berichts)	11
Würdigung der bisher beschlossenen Massnahmen (Kapitel 4 bis 7 des Berichts)	12
Prioritätensetzung nach Massgabe der Zieleffizienz (Kapitel 8 des Berichts)	15
Synergien nutzen: Einbezug von Brenn- und Treibstoffverbrauch (Kapitel 9 des Berichts)	15
Erreichbare Verminderungen des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen im Jahr 2020	16
Erreichbare Verminderungen der Emissionen von NO _x im Jahr 2020 (Kapitel 10 des Berichts)	17
Erreichbare Verminderungen der Emissionen von NMVOC im Jahr 2020 (Kapitel 11 des Berichts)	18
Erreichbare Verminderungen der Emissionen von PM10 im Jahr 2020 (Kapitel 12 des Berichts)	19
Erreichbare Verminderungen der Emissionen von NH ₃ im Jahr 2020 (Kapitel 13 des Berichts)	20
Erreichbare Verminderungen der Emissionen von SO ₂ im Jahr 2020 (Kapitel 14 des Berichts)	21
Fazit (Kapitel 15 des Berichts)	22

Teil I: Grundlagen, Beurteilungskriterien und Würdigung der bisher getroffenen Massnahmen		23
1	Einleitung, Auftrag und Grundlagen	24
1.1	Einleitung	24
1.2	Auftrag der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats	24
2	Übersicht über den Bericht	25
2.1	Teil I: Ziellücken und Zieleffizienz der bisher getroffenen Massnahmen	25
2.2	Teil II: Evaluation von zusätzlichen Massnahmen	25
3	Emissionsgrundlagen: Herkunft und Aussagekraft	26
3.1	Grundlagedaten	26
3.2	Wichtigste berücksichtigte Berichte	27
3.3	Hinweise zur Verlässlichkeit der Emissionsdaten	28
4	Emissionsentwicklung bis 2020 und ökologische Ziele	33
4.1	Ökologische Ziele	33
4.2	Verursacherkategorien	34
4.3	Stickstoffoxide NO _x	35
4.4	Flüchtige organische Verbindungen (ohne Methan): NMVOC	38
4.5	Lungengängiger Feinstaub PM10	41
4.6	Ammoniak (NH ₃)	45
4.7	Ergänzung Schwefeldioxid SO ₂ : Emissionsentwicklung bis 2020	49
4.8	Ergänzung: Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen und CO ₂ -Ausstoss 2020	50
5	Bewertungskriterien von Massnahmen: Zieleffizienz	52
5.1	Einleitung	52
5.2	Effektivität und Effizienz	52
5.3	Zieleffizienz	53
6	Zieleffizienz der bisherigen Massnahmen nach Verursacherkategorien	55
6.1	Bilanzierungszeitraum	55
6.2	Verminderung der NO _x -Emissionen	55
6.3	Verminderung der NMVOC – Emissionen	59
6.4	Verminderung der PM10–Emissionen	62
6.5	Verminderung der NH ₃ -Emissionen	70
6.6	Verminderung des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen	74
7	Zusammenfassung: Bilanzen, Handlungs- und Vollzugsbedarf	80
7.1	Effektivität und Zielerreichung der bisher beschlossenen Massnahmen	80
7.2	Effektivität und Zieleffizienz der Massnahmen pro Verursacherkategorie	80
7.3	Vollzugsbedarf bei der Umsetzung von beschlossenen Massnahmen	81

8	Prioritätensetzung für zusätzliche Massnahmen nach Massgabe der Zieleffizienz	84
8.1	Einleitung: Vorgehensprinzip Zieleffizienz	84
8.2	Prioritätensetzung bei den Verursacherkategorien	84
8.3	Massnahmenerarbeitung und Bewertung der Einsparpotentiale	85
9	Verminderung des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen	86
9.1	Ansatzpunkt: Synergien erkennen und nutzen	86
9.2	Ökologische Steuerreform als Motor für die Ausnützung der Synergiepotentiale	86
9.3	Prioritätensetzung Brenn- und Treibstoffe	87
9.4	Zur Bewertung der Bilanzen	88
9.5	Verursacherkategorie erster Priorität: Raumheizung (BT 11)	89
9.6	Verursacherkategorie erster Priorität: motorisierter Personenverkehr (BT 12)	89
9.7	Verursacherkategorie erster Priorität: Industriefeuerungen (BT 13)	94
9.8	Verursacherkategorie erster Priorität: Schwere Nutzfahrzeuge und Busse (BT 14)	94
9.9	Verursacherkategorien zweiter Priorität	95
9.10	Übersicht: Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen. Verursacherkategorien erster Priorität	97
9.11	Übersicht: Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen. Verursacherkategorien zweiter Priorität	98
9.12	Massnahmenbilanz Brenn- und Treibstoffe	99
9.13	Bilanzierung: Vergleich mit dem ökologischen Ziel	100
9.14	Auswirkungen der Massnahmen auf den CO ₂ -Ausstoss der Schweiz, Vergleich mit den Zielen der CO ₂ -Gesetzgebung	100
9.15	Schlussfolgerungen und Empfehlung: Massnahmen bei Brenn und Treibstoffen	101
10	Verminderung der Emissionen von NO_x	102
10.1	Prioritätensetzung NO _x	102
10.2	Berechnung der Einsparpotentiale: Kombination von Energie- und Abgastechnik	103
10.3	Verursacherkategorie erster Priorität NO _x : PW und Motorräder (NO 11)	104
10.4	Verursacherkategorie erster Priorität NO _x : Schwere Nutzfahrzeuge (NO 12)	104
10.5	Verursacherkategorie erster Priorität NO _x : Maschinen der Land- und Forstwirtschaft (NO 13)	105
10.6	Verursacherkategorie erster Priorität NO _x : Flugverkehr (NO 14)	105
10.7	Verursacherkategorie erster Priorität NO _x : Maschinen Industrie und Gewerbe (NO 15)	105
10.8	Verursacherkategorie erster Priorität NO _x : Heizungen fossil (NO 16)	106
10.9	Übrige Verursacherkategorien NO _x	106
10.10	Übersicht: NO _x -Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster Priorität	108
10.11	Übersicht: NO _x -Massnahmen bei den Verursacherkategorien zweiter Priorität	109
10.12	Wirkung der NO _x -Massnahmen	110
10.13	Bilanzierung, Vergleich mit dem ökologischen Ziel	111
10.14	Schlussfolgerungen und Empfehlungen: NO _x Massnahmen	113
11	Verminderung der Emissionen von NMVOC	114
11.1	Prioritätensetzung	114
11.2	Verursacherkategorie erster Priorität NMVOC: Lösemittel	114
11.3	Verursacherkategorien zweiter Priorität NMVOC (V21, V22, V23, V24, V25)	115
11.4	Übersicht: NMVOC-Massnahmen bei Verursacherkategorien erster Priorität	115
11.5	Übersicht: NMVOC-Massnahmen bei Verursacherkategorien zweiter Priorität	116
11.6	Wirkung der NMVOC-Massnahmen	117
11.7	Bilanzierung, Vergleich mit dem ökologischen Ziel	118
11.8	Schlussfolgerungen und Empfehlungen: NMVOC-Massnahmen	119
12	Verminderung der Emissionen von PM10	120
12.1	Prioritätensetzung PM10	120
12.2	Verursacherkategorie erster Priorität PM10: Güterverkehr Strasse (PM 11)	122

12.3	Verursacherkategorie erster Priorität PM10: Personenverkehr Strasse (PM 12)	122
12.4	Verursacherkategorie erster Priorität PM10: Land- und forstwirtschaftliche Maschinen und Geräte (PM 13)	123
12.5	Verursacherkategorie erster Priorität PM10: Industrief Feuerungen Biomasse (PM 14)	123
12.6	Verursacherkategorie zweiter Priorität PM10	124
12.7	Übersicht: PM10-Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster Priorität	127
12.8	Übersicht: PM10-Massnahmen bei den Verursacherkategorien zweiter Priorität	128
12.9	Übersicht: PM10-Massnahmen bei den übrigen Verursacherkategorien	129
12.10	Wirkung der PM10-Massnahmen	130
12.11	Bilanzierung, Vergleich mit dem ökologischen Ziel	133
12.12	Schlussfolgerungen und Empfehlung: PM10-Massnahmen	134
13	<i>Verminderungen der Emissionen von NH₃</i>	136
13.1	Prioritätensetzung NH ₃	136
13.2	Verursacherkategorien erster Priorität NH ₃ : Verbesserte Stallsysteme (NH 11)	137
13.3	Verursacherkategorien erster Priorität NH ₃ : Ausbringung Hofdünger (NH 12)	138
13.4	Verursacherkategorien erster Priorität NH ₃ : Lagerung Hofdünger (NH 13)	138
13.5	Verursacherkategorie erster Priorität NH ₃ : Vermehrter Weidegang (NH 14)	139
13.6	Querschnittsmassnahme NH ₃ : Proteinreduzierte Fütterung (NH 15)	139
13.7	Verursacherkategorie zweiter Priorität NH ₃	140
13.8	Übersicht: NH ₃ -Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster Priorität	141
13.9	Übersicht: NH ₃ -Massnahmen bei den Verursacherkategorien zweiter Priorität	141
13.10	Wirkung der NH ₃ -Massnahmen	142
13.11	Bilanzierung, Vergleich mit dem ökologischen Ziel	143
13.12	Schlussfolgerungen und Empfehlung: NH ₃ -Massnahmen	144
14	<i>Emissionen von SO₂: Auswirkungen der Massnahmen bei den Brenn- und Treibstoffen</i>	145
14.1	Bilanzen der SO ₂ -Emissionen nach Verursacherkategorien (Erwartungswerte)	145
14.2	Bilanz SO ₂	146
15	<i>Zusammenfassung</i>	147
15.1	Vorgehensschritte	147
15.2	Prognoseunsicherheiten	149
15.3	Zielerreichung	150
	<i>Anhang 1: Tabellenwerte (Rechenwerte) der Emissionsbilanzen 1990 - 2020</i>	151
	<i>Anhang 2: Tabellenwerte (Rechenwerte) der Massnahmenbilanzen</i>	153
	<i>Anhang 3: Wirkung der Einsparungen von Brenn- und Treibstoff auf die Emissionen von Luftschadstoffen</i>	156
	<i>Anhang 4: Einsparungen von NO_x und PM10 in Bezug auf fossiles CO₂</i>	157
	<i>Anhang 5: Grundsätzliche Bemerkungen zu den PM10-Emissionen des Strassenverkehrs</i>	160
	<i>Anhang 6: Grundlagedaten für die Berechnung der NH₃-Emissionen der Landwirtschaft</i>	162
	<i>Literaturverzeichnis</i>	170

Abstracts

Keywords:

air pollutants, emissions, air pollution control targets, air pollution control measures, air pollution control strategy

The present study shows how emissions of various air pollutants – nitrogen oxides (NO_x), non-methane volatile organic compounds (NMVOC), respirable particulate matter (PM₁₀) and ammonia (NH₃) – have developed since 1900 and are likely to develop between now and 2020. It indicates the reductions that are required in pollutant emissions to prevent harmful impacts on human health and the environment. Air polluters are identified, together with priority areas for action. Possible measures are described in quantitative terms. In addition, synergies between climate and air pollution control policies are explored. The study was undertaken in response to a motion submitted by the Committee for the Environment, Spatial Planning and Energy of the National Council.

Stichwörter:

Luftschadstoffe, Emissionen, Luftreinhalteziele, Luftreinhalte-massnahmen, Luftreinhalte-Konzept

Die vorliegende Studie zeigt, wie sich der Ausstoss der Luftschadstoffe Stickoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), lungengängiger Feinstaub (PM₁₀) und Ammoniak (NH₃) seit 1900 entwickelt hat und sich voraussichtlich bis 2020 weiterentwickeln wird. Sie legt dar, um wie viel der Schadstoffausstoss gesenkt werden muss, damit Mensch und Umwelt vor schädlichen Auswirkungen geschützt werden. Die Verursacher der Luftverschmutzung werden aufgezeigt und prioritäre Handlungsfelder ermittelt. Mögliche Massnahmen werden beschrieben und quantifiziert. Zusätzlich werden Synergien zwischen Klima- und Luftreinhaltepolitik untersucht. Die Studie geht auf eine Motion der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates zurück.

Mots-clés:

polluants atmosphériques, émissions, objectifs de la lutte contre la pollution atmosphérique, mesures de protection de l'air, stratégie de lutte contre la pollution atmosphérique

La présente étude montre de quelle manière les rejets des polluants atmosphériques que sont les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COVNM), les poussières fines respirables (PM₁₀) et l'ammoniac (NH₃) ont évolué depuis 1900 et comment, selon toute vraisemblance, ils évolueront d'ici à 2020. Elle indique en outre de combien les rejets de polluants doivent être abaissés afin que l'homme et l'environnement soient protégés contre les atteintes nuisibles. Elle précise les sources de la pollution atmosphérique et détermine les champs d'action prioritaires. Ensuite, elle décrit et quantifie des mesures possibles. Enfin, elle examine les synergies potentielles entre la politique de lutte contre la pollution atmosphérique et celle de la protection du climat. L'étude fait suite à une motion de la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil national.

Parole chiave: inquinanti atmosferici, emissioni, obiettivi di protezione contro l'inquinamento atmosferico, misure contro l'inquinamento atmosferico, strategia contro l'inquinamento atmosferico

La presente ricerca illustra l'evoluzione dal 1900 delle emissioni inquinanti di ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili (COV), polveri fini respirabili (PM₁₀) e ammoniaca (NH₃) e il probabile andamento sino al 2020. Ne quantifica in particolare la riduzione necessaria per proteggere l'uomo e l'ambiente da effetti dannosi, indica le fonti dell'inquinamento atmosferico e individua i campi d'intervento prioritari. Inoltre descrive e definisce le possibili misure da adottare ed esamina le sinergie tra la politica climatica e la politica in materia di lotta contro l'inquinamento atmosferico. Lo studio è stato eseguito in seguito a una mozione inoltrata dalla Commissione dell'ambiente, della pianificazione del territorio e dell'energia del Consiglio nazionale.

Vorwort

Seit Mitte der 1980er - Jahre haben Bund und Kantone beträchtliche Anstrengungen unternommen, um die Luft sauberer zu machen und damit Schäden an Gesundheit und Umwelt zu begrenzen. Die bis heute ergriffenen Massnahmen haben bereits eine wesentliche Verbesserung der Luftqualität bewirkt. Bei einigen Schadstoffen (Ozon, lungengängiger Feinstaub, Stickstoffdioxid) werden die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung aber nach wie vor deutlich überschritten. Ausserdem sind die Stickstoff- und Säureeinträge in empfindliche Ökosysteme immer noch zu hoch. Hier besteht weiterer Handlungsbedarf. Damit die Immissionsgrenzwerte und die international festgelegten kritischen Belastungswerte eingehalten werden können, muss der Schadstoffausstoss nochmals wesentlich vermindert werden.

Im Luftreinhalte-Konzept hat der Bundesrat 1986 für drei Hauptschadstoffe Emissionsziele festgelegt, welche bis 1990 bzw. 1995 erreicht werden sollten. Im Jahr 1999 hat er die Situation umfassend analysiert, die Erfolge der Luftreinhaltepolitik aufgezeigt und den verbleibenden Handlungsbedarf ausgewiesen. Das Parlament hat ihm daraufhin den Auftrag erteilt, „ein Konzept vorzulegen, wie die Luftreinhalte-Ziele des Bundesrates erreicht und die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung bei allen Schadstoffen eingehalten werden können“. Der Bundesrat soll dabei die nötigen weiteren Massnahmen aufzeigen, „insbesondere in Bezug auf die Schadstoffe Stickoxide, flüchtige organische Verbindungen, Feinstaub und Ammoniak“.

Der vorliegende Expertenbericht bildet eine wichtige fachliche Grundlage für die vom Parlament verlangte Aktualisierung des Luftreinhalte-Konzepts durch den Bundesrat. Der Bericht aktualisiert die Zahlen und Prognosen zu den Luftschadstoff-Emissionen und bewertet die bisher umgesetzten Massnahmen. Er leitet sodann den Handlungsbedarf ab, untersucht und quantifiziert zusätzliche Massnahmen. Zusätzlich liefert er den Vollzugsbehörden aktuelle Emissionsbilanzen, Prognosen und wertvolle Unterlagen für ihre Arbeit.

Die Ergebnisse dieser Publikation erlauben es, Prioritäten zu setzen und Wege aufzuzeigen, wie die Luftreinhalte-Ziele erreicht werden können.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft

Dr. Martin Schiess
Chef der Abteilung Luft, NIS, Sicherheit

Zusammenfassung

I Auftrag der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats

Am 17.4.2000 reichte die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie (UREK) des Nationalrates eine Motion ein (2000.3184 Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes), welche am 23.6.2000 vom Nationalrat und am 27.11.2000 vom Ständerat angenommen wurde. Darin erhält der Bundesrat den Auftrag: „ein Konzept vorzulegen, wie die Luftreinhalte-Ziele des Bundesrates erreicht und die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung bei allen Schadstoffen eingehalten werden können“.

Im vorliegenden Bericht werden die Grundlagen für das geforderte Konzept erarbeitet.

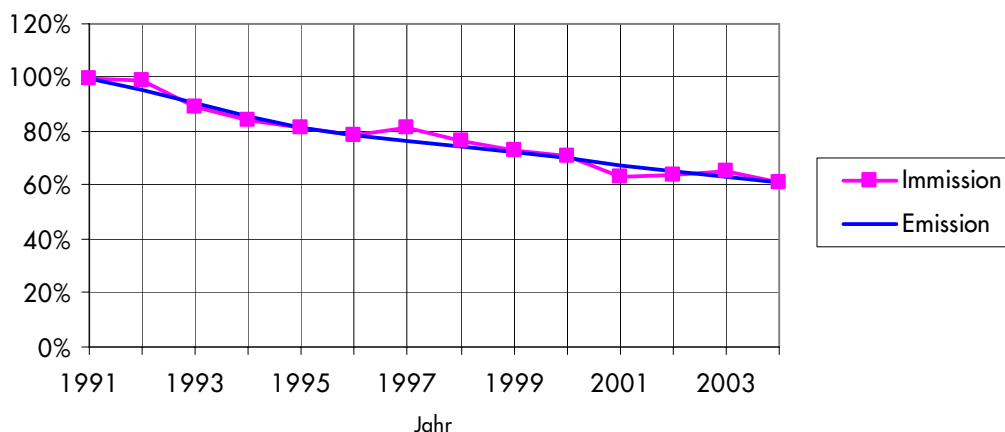
II Bisher getroffene Massnahmen (Teil I des Berichts)

Seit der Mitte der 1980er Jahre betreibt die Schweiz eine aktive Luftreinhaltepolitik. Im Teil I des Bericht werden die Auswirkungen dieser Politik dokumentiert und in Bezug gesetzt zu den Zielen der Luftreinhaltepolitik.

Emissionsgrundlagen: Herkunft und Aussagekraft (Kapitel 3 des Berichts)

Die heute im BUWAL vorhandenen Zahlen sind von *genügender Qualität*, um die Auswirkungen der bisher getroffenen Massnahmen zuverlässig zu beurteilen. Die untenstehende Figur illustriert diesen Befund anhand des Beispiels des Luftschadstoffs NO_x (vgl. Seite 28, Abschnitt 3.3.1. Für die übrigen Luftschadstoffe Abschnitte 3.3.2 bis 3.3.4).

Relative Entwicklung der Immissionen und Emissionen von NO_x



Legende und Kommentar zur Figur:

Prozentuale Veränderungen von Emissionen und Immissionen: 100% entsprechen dem Stand von 1991.

Der Verlauf der gemessenen NO_x -Belastungen der Aussenluft (Immission) und des berechneten Ausstosses des Luftschadstoffs NO_x (Emission) stimmt sehr gut überein.

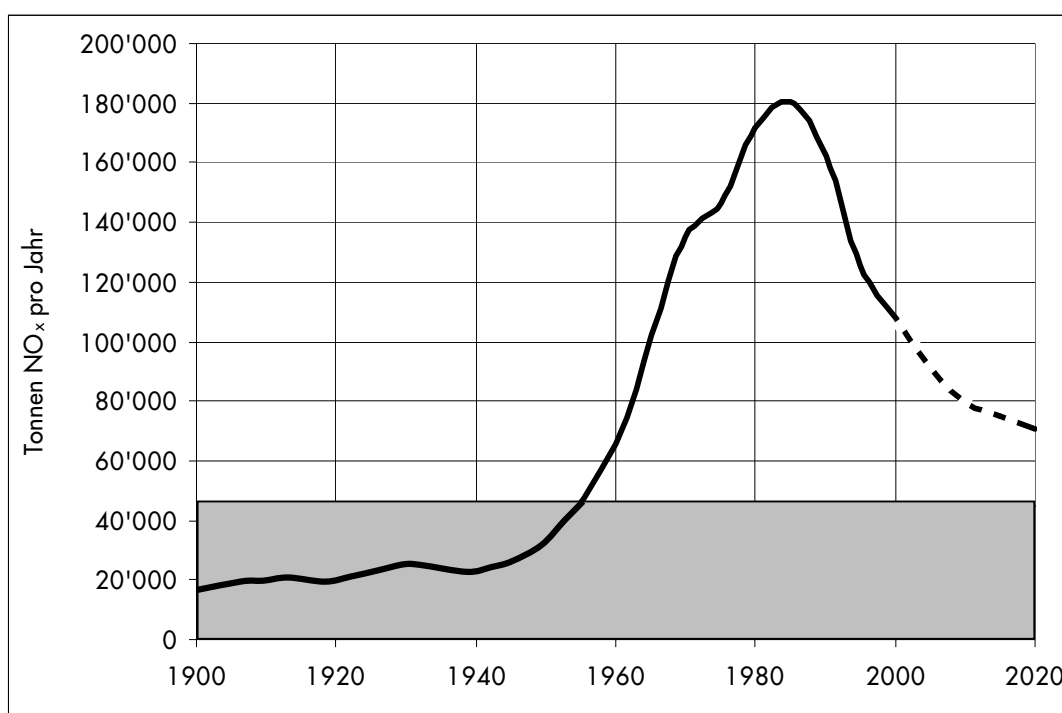
Würdigung der bisher beschlossenen Massnahmen (Kapitel 4 bis 7 des Berichts)

Grad der Zielerreichung der bisherigen Massnahmen (Kapitel 4 des Berichts)

Da nicht alle schon beschlossenen Massnahmen sich heute im vollen Ausmass ausgewirkt haben, muss der Zeitpunkt abgewartet, wo dies der Fall sein wird. Als Bezugszeitpunkt wird deshalb der Emissionsstand von 2020 gewählt.

Das folgende Bild illustriert den Sachverhalt am Beispiel von NO_x . Für die übrigen Luftschadstoffe mit Ausnahmen von SO_2 ergibt sich ein ähnliches Bild (vgl. Seite 49; für die übrigen Luftschadstoffe vgl. die Seiten 38, 41, 46,).

Beispiel Emissionsentwicklung von NO_x von 1990 bis 2020



Kommentar: Wenn die Emissionen die schattierte Zone erreichen, sind die ökologischen Ziele eingehalten

Auch wenn alle heute beschlossenen Massnahmen sich voll ausgewirkt haben, bleiben bei allen Luftschadstoffen mit Ausnahme von SO_2 beträchtliche Ziellücken bestehen: es besteht ein klar ausgewiesener Bedarf nach zusätzlichen Massnahmen.

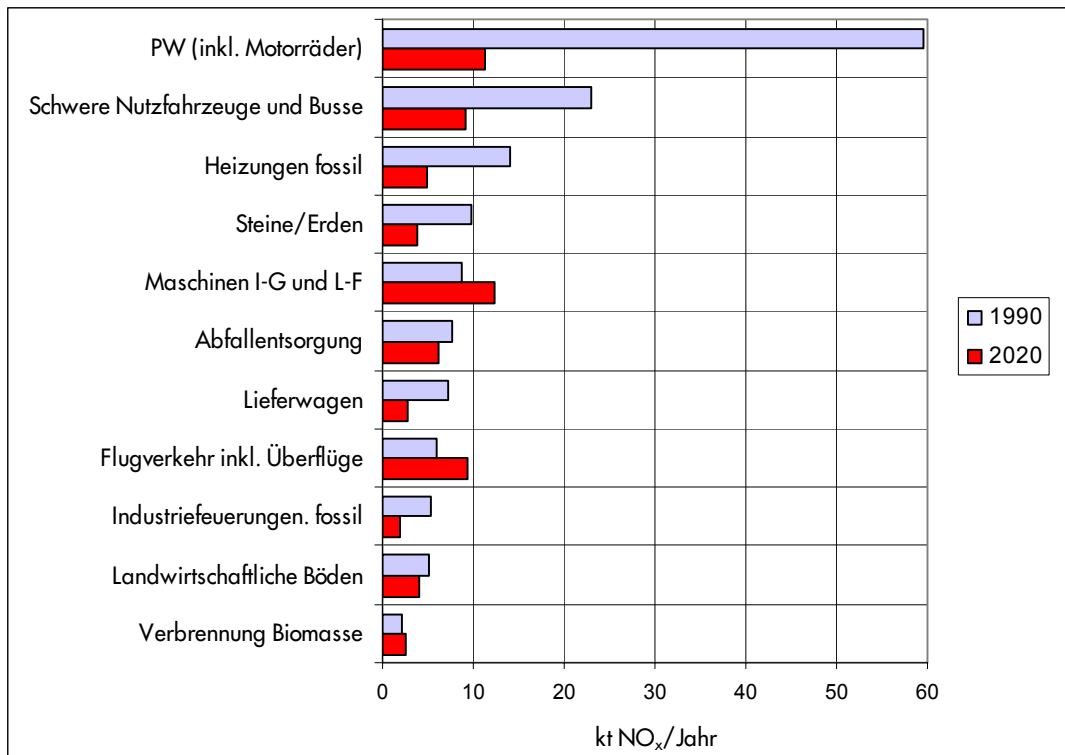
Diese Situation war der eigentliche Anlass für die Motion der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats UREK. Die 2004/2005 vorliegenden Zahlen bestätigen die 1999 getroffenen Schlussfolgerungen.

Wirkung der bisherigen Massnahmen (Kapitel 5 und 6 des Berichts)

Der Vergleich des Ausstosses von Luftschadstoffen 1990 mit demjenigen von 2020, zeigt bei welchen Verursacherkategorien die bisher getroffenen Massnahmen in welchem Ausmass gegriffen haben.

Das folgende Bild stellt die Situation für den Luftschadstoff NO_x dar (vgl. Seite 55). Für die übrigen Luftschadstoffe ergeben sich ähnliche Befunde (für NMVOC, PM10 und NH₃ vgl. die Seiten 59, 62, 70. Für den Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen vgl. Seite 77)

Beispiel NO_x (Stickstoffoxide)



Legende

Angegeben sind die gesamtschweizerischen Emissionen pro Verursacherkategorie in Kilotonnen (1000 Tonnen) pro Jahr.

PW	Personenwagen
Steine/Erden	Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.
Maschinen I-G und L-F	Maschinen von Industrie, Gewerbe und Hobby plus Maschinen der Land- und Forstwirtschaft
Flugverkehr inkl. Überflüge	Emissionen, die bei Start und Landung in der Schweiz und bei Überflügen entstehen.

Kommentar

Mit einigen Ausnahmen (im Fall von NO_x betreffend die Verursacherkategorien Flugverkehr, Maschinen I-G und L-F, Verbrennung von Biomasse) darf bei Weiterführung der bisher beschlossenen Massnahmen und der bisherigen Vollzugsanstrengungen *mit beträchtliche Verminderungen des Ausstosses von NO_x* gerechnet werden. Diese Aussage trifft im Grundsatz für alle Luftschadstoffe wie auch für den Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen zu.

Würdigung der bisher beschlossenen Massnahmen der Schweiz (Kapitel 7 des Berichts)

Die Würdigung der bisher beschlossenen Massnahmen und ihrer Wirkung erfolgt auf der Grundlage ihrer „Zieleffizienz“: Massnahmen sind dann zieleffizient, wenn sie ein gutes Verhältnis von Aufwand und Ertrag besitzen (*effizient* sind) und zugleich in der Gesamtsicht einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung der ökologischen Ziele leisten (*effektiv* sind).

Obwohl die bisher beschlossenen Massnahmen der Schweiz nicht ausreichen, um die ökologischen Ziele zu erreichen, haben die bisher getroffenen Massnahmen zum Teil *eindruckliche Teilerfolge* gebracht.

Die getroffenen Massnahmen waren zudem *zieleffizient*. Sie sollten aus diesem Grund im Rahmen der laufenden Umsetzungsaktivitäten von Bund und Kantonen *konsequent weitergeführt* werden.

Evaluation von zusätzlichen Massnahmen (Teil II des Berichts)

Prioritätensetzung nach Massgabe der Zieleffizienz (Kapitel 8 des Berichts)

Um die Erarbeitung von neuen Massnahmen zu vereinfachen, werden Kriterien für diejenigen Verursacherkategorien aufgestellt, bei denen die besten Chancen bestehen, zieleffiziente Massnahmen zu entwickeln.

Grundlage der Prioritätensetzung stellen die Anteile einer Verursacherguppe an der Emission eines bestimmten Luftschadstoffs (respektive am Brenn- und Treibstoffverbrauch) dar: Je grösser nämlich der Prozentanteil einer bestimmten Verursacherguppe an den Emissionen eines bestimmten Luftschadstoffs (respektive am Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen) ist, desto grösser ist der Massnahmenbedarf. In Hinblick auf die Zieleffizienz von Massnahmen werden zusätzlich drei weitere Einflussgrössen bewertet. Damit ergeben sich die folgenden vier Kriterien zur Beurteilung der Prioritätensetzung gemäss Zieleffizienz:

- *Emissionen von Luftschadstoffen einer Verursacherkategorie* (respektive Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen).
- *Wachstumodynamik*: Verursacherkategorien, bei denen eine Zunahme der Aktivitäten zu erwarten ist, kommt höhere Priorität zu als Verursacherguppen, deren Aktivitätsraten kaum oder wenig anwachsen.
- *Chancen der Technik*: Massnahmen in Bereichen, wo in Zukunft technische Verbesserungspotentiale bestehen, sollen mit hoher Priorität angegangen werden. Massnahmen mit ungewissem Verbesserungspotential (Beispiel Wasserstofftechnologie) kommt weniger Priorität zu.
- *Chancen im Vollzug*: Gibt es bereits gesetzliche Grundlagen für Massnahmen in bestimmten Verursacherkategorien, bestehen vergleichbar gute Voraussetzungen für den Vollzug. Müssen solche Voraussetzungen erst geschaffen werden sind diese Chancen schlechter.

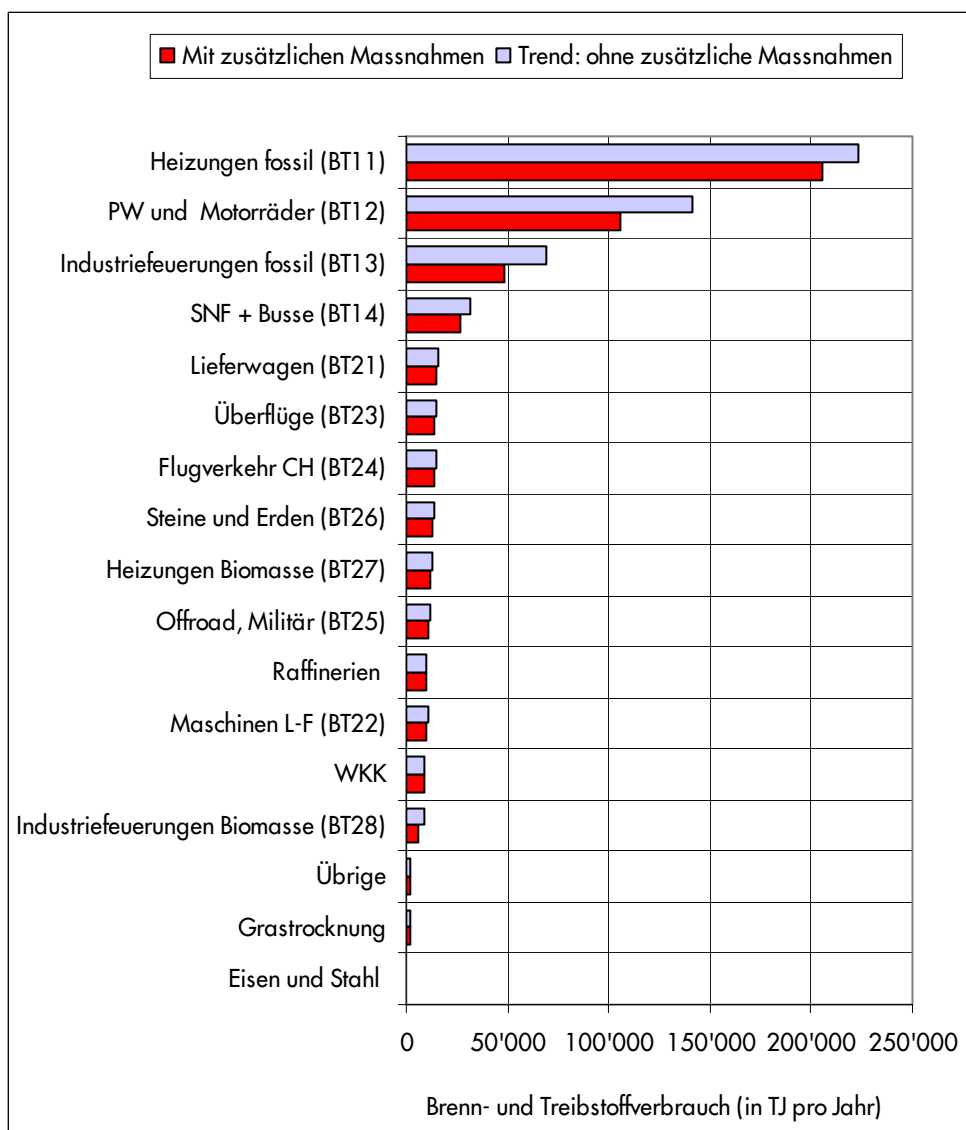
Auf der Grundlage dieser Vorgaben wurde ein Rangierungsschema für die Verursacherkategorien ausgearbeitet und bezüglich seiner Unempfindlichkeit auf kleine Änderungen der einzelnen Beurteilungskriterien getestet (Berechnungsformel auf Seite 85).

Synergien nutzen: Einbezug von Brenn- und Treibstoffverbrauch (Kapitel 9 des Berichts)

Zwischen den Zielen der Luftreinhaltung und der Entwicklung des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen bestehen ausgeprägte Zusammenhänge: Wenn zum Beispiel Häuser besser isoliert sind, muss weniger geheizt werden und es entstehen weniger Luftschadstoffe. Oder wenn die pro Jahr von Motorfahrzeugen gefahrenen Strecken abnehmen, nimmt parallel zur Verminderung der gefahrenen Kilometer auch der Ausstoss von Luftschadstoffen ab (es gibt allerdings Ausnahmen von dieser Regel. Diese werden in der Studie diskutiert und in den bilanzierten Massnahmenwirkungen berücksichtigt).

Massnahmen zur Verminderung von Brenn- und Treibstoffen tragen (in der Regel) zur schweizerischen Luftreinhaltungspolitik wie zur Klimapolitik (Kyoto-Protokoll) gleichermassen bei. Sie besitzen deshalb ausgeprägte *Synergiepotentiale* und sind besonders effizient. In Kapitel 9 des Berichts werden als Erstes Massnahmen zur Verminderung des Verbrauchs von *Brenn- und Treibstoffen* evaluiert. Eine Übersicht über die Verursacherkategorien, ihre Priorität und die Wirkung (Erwartungswerte) der einbezogenen Massnahmen findet sich in der folgenden Figur.

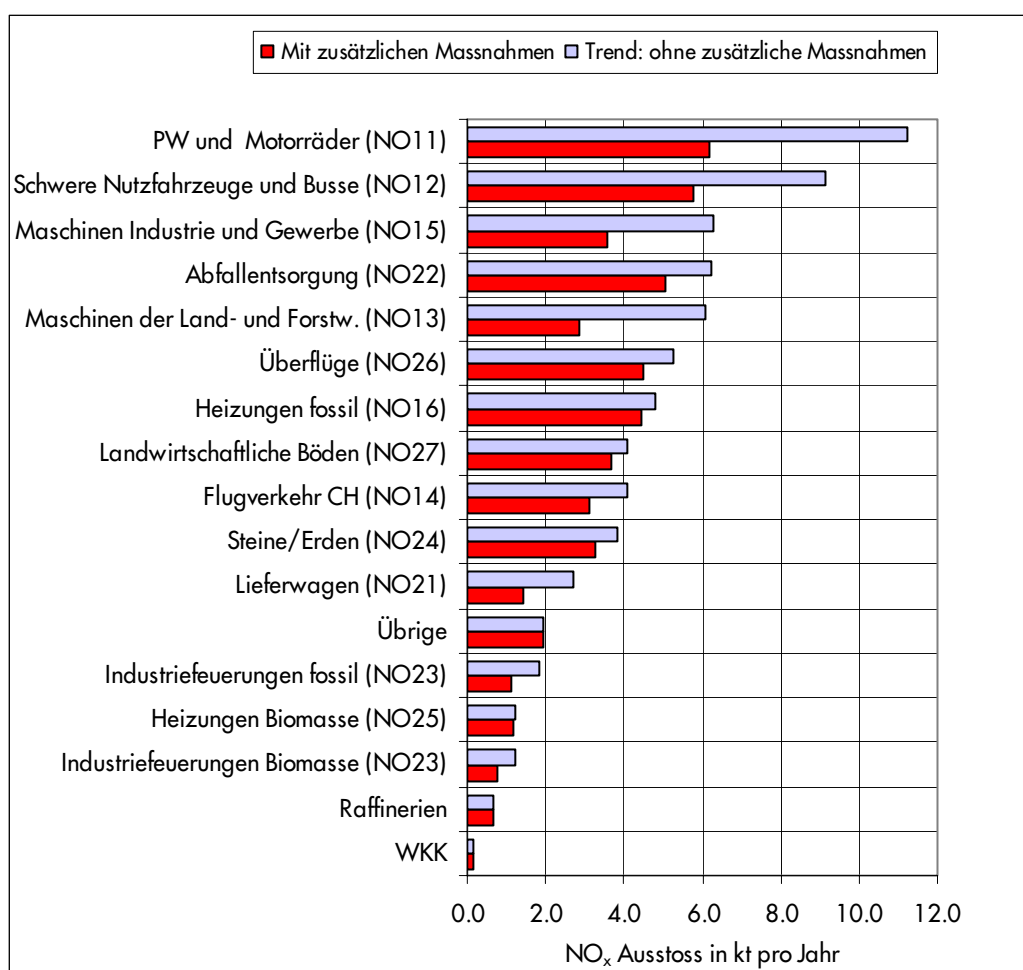
Erreichbare Verminderungen des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen im Jahr 2020



Legende: Wirkung der Massnahmen (Erwartungswerte) aufgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie gemäss den Übersichtstabellen 9.10 und 9.11 auf Seite 97 ff (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer). Für die Verursacherkategorien ohne Codeangaben sind keine speziellen Massnahmen vorgesehen.

In den folgenden Kapiteln 10 bis 14 werden die erreichbaren Verminderungen und die Prioritätensetzungen für sämtliche in Betracht gezogene Luftschadstoffe dargestellt (Kap. 10 Stickstoffoxide, NO_x ; Kap. 11 Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan, NMVOC; Kap. 12 Lungengängiger Feinstaub, PM_{10} ; Kap. 13 Ammoniak, NH_3 und Kap. 14 Schwefeldioxid, SO_2). Dargestellt werden durchwegs die Resultate von Kombinationen der Brenn- und Treibstoff-Einsparungen mit schadstoffspezifischen Massnahmen (Erwartungswerte).

Erreichbare Verminderungen der Emissionen von NO_x im Jahr 2020 (Kapitel 10 des Berichts)



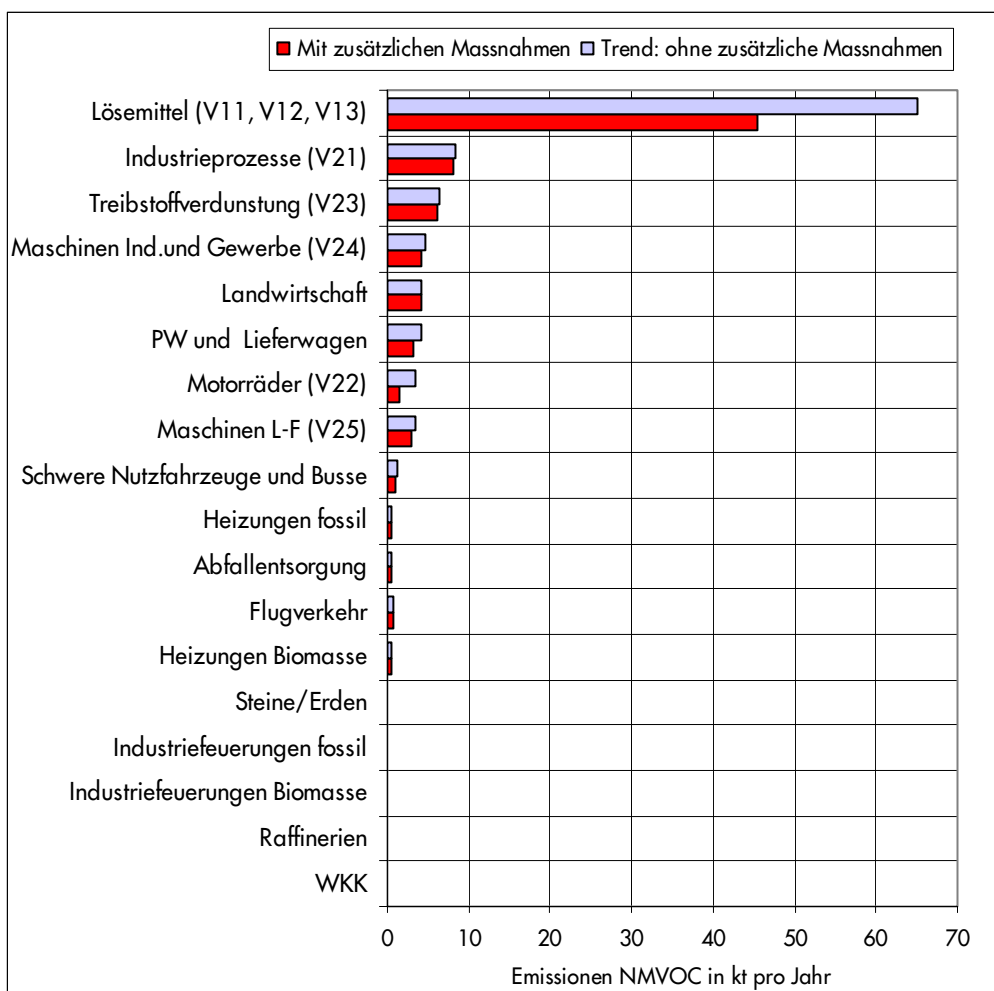
Legende: Wirkung der Massnahmen (Erwartungswerte) aufgegliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer) gemäss den Übersichtstabellen 10.10 und 10.11 auf Seite 108 ff. Für die Verursacherkategorien ohne Codeangaben sind keine speziellen Massnahmen vorgesehen.

Bilanz der Massnahmen (Erwartungswerte und Potentiale)

Ohne Massnahmen	71		
Massnahmen nach Verursacherkategorien (VK)	VK erster Priorität	VK erster Priorität plus	Alle Verursacherkategorien
Erwartungswerte (E-E)	52.7	50.8	49.8
Potentiale (P-P)	44.2	41.7	39.7
Emissionsziel	46		

Legende: Emissionen von NO_x in kt/Jahr; „VK“ = Verursacherkategorie; „VK erster Priorität plus“: Verursacherkategorien 1. Priorität ergänzt durch verwandte Kategorien zweiter Priorität (vgl. Seite 112). Erwartungswerten: Ziele, die sich bei Umsetzung der Massnahmen bis 2020 voraussichtlich erreichen lassen. Potentiale: bei voller Ausschöpfung der Massnahmen mittels beträchtlicher Zusatzanstrengungen maximal mögliche Emissionsminderung

Erreichbare Verminderungen der Emissionen von NMVOC im Jahr 2020 (Kapitel 11 des Berichts)



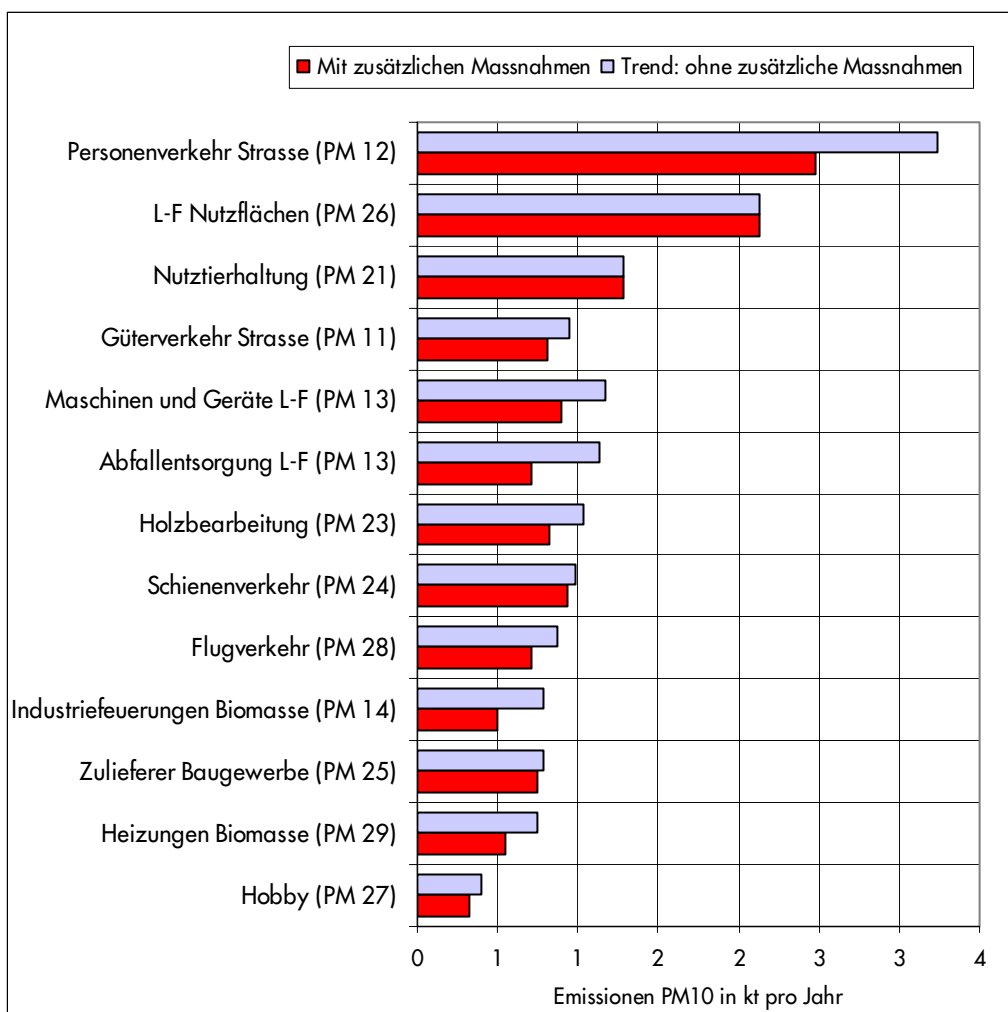
Legende: Wirkung der Massnahmen (Erwartungswerte) aufgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer) gemäss den Übersichtstabellen 11.4 und 11.5 auf Seite 115 ff. Für die Massnahmenentwicklung wurden nur Verursacherkategorien erster und zweiter Priorität berücksichtigt.

Bilanz der Massnahmen (Erwartungswerte und Potentiale)

Ohne Massnahmen	103.8	
Massnahmen nach Verursacherkategorien (VK)	VK erster Priorität	VK erster plus zweiter Priorität
Erwartungswerte (E-E)	82.1	79.4
Potentiale (P-P)	74.0	71.4
Emissionsziel	81	

Legende: Emissionen von NMVOC in kt/Jahr; „VK“ = Verursacherkategorie. Zahlenangaben in 1000 Tonnen (kt) pro Jahr. Erwartungswerte: Ziele, die sich bei Umsetzung der Massnahmen bis 2020 voraussichtlich erreichen lassen. Potentiale: bei voller Ausschöpfung der Massnahmen mittels beträchtlicher Zusatzanstrengungen maximal mögliche Emissionsminderung

Erreichbare Verminderungen der Emissionen von PM10 im Jahr 2020 (Kapitel 12 des Berichts)



Legende: Wirkung der Massnahmen (Erwartungswerte) aufgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer) gemäss den Übersichtstabellen 12.7, 12.8 und 12.9 auf Seite 127 ff. Resultate für die übrigen Verursacherkategorien vgl. 12.10.

Bilanz der Massnahmen (Erwartungswerte und Potentiale)

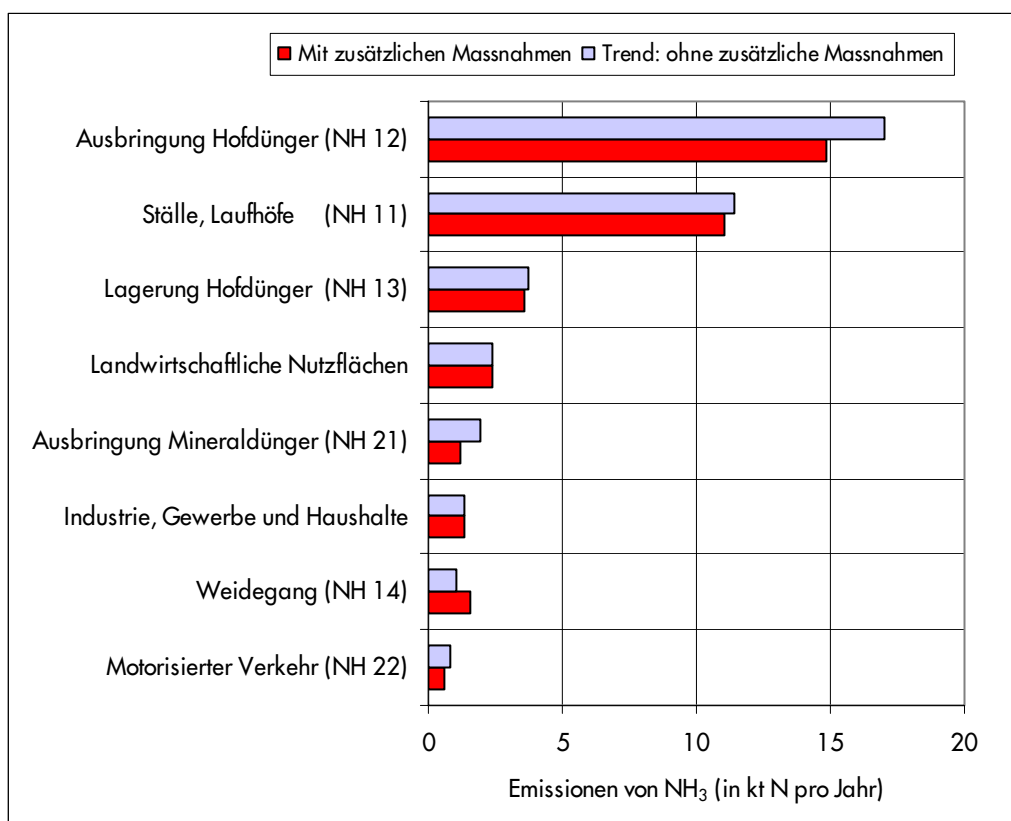
Ohne Massnahmen	17.9		
Massnahmen nach Verursacherkategorien (VK)	VK erster Priorität	VK erster plus zweiter Priorität	Alle Verursacherkategorien
Erwartungswerte (E-E)	16.0	15.2	14.9
Potentiale (P-P)	14.5	12.9	12.3
Emissionsziel	12		

Legende: Emissionen von PM10 in kt/Jahr; „VK“ = Verursacherkategorie. Zahlenangaben in 1000 Tonnen (kt) pro Jahr.

Erwartungswerte: Ziele, die sich bei Umsetzung der Massnahmen bis 2020 voraussichtlich erreichen lassen. Potentiale: bei voller Ausschöpfung der Massnahmen mittels beträchtlicher Zusatzanstrengungen maximal mögliche Emissionsminderung.

Nach dem heutigen Stand des Wissens erfahren die angegebenen Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung noch *wesentliche Modifikationen*. Deshalb sind Emissionsziel wie Massnahmenbilanzen als *vorläufig* zu betrachten. Eine *definitive Beurteilung der Erreichbarkeit des ökologischen Ziels* ist aus diesem Grunde noch nicht möglich. Es besteht noch Forschungsbedarf.

Erreichbare Verminderungen der Emissionen von NH₃ im Jahr 2020 (Kapitel 13 des Berichts)



Legende: Wirkung der Massnahmen (Erwartungswerte) aufgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer) gemäss den Übersichtstabellen 13.8 und 13.9 auf Seite 141 ff.

Bilanz der Massnahmen (Erwartungswerte und Potentiale)

Ohne Massnahmen	39.7
mit Massnahmen	
Erwartungswert 2020 (E _{Standard})	33.5
Potential 2020 (P _{Standard})	26.1
Emissionsziel	26

Legende: Emissionen von NH₃ in kt N pro Jahr. Erwartungswerte: Ziele, die sich bei Umsetzung der Massnahmen bis 2020 voraussichtlich erreichen lassen. Potentiale: bei voller Ausschöpfung der Massnahmen mittels beträchtlicher Zusatzanstrengungen maximal mögliche Emissionsminderung

Die Erarbeitung von Massnahmen im Bereich der Verminderung von NH₃ befindet sich erst *am Anfang*. Es bestehen noch erhebliche Wissens- und Vollzugslücken. Aus diesem Grund existieren auch deutliche Unterschiede zwischen den auf heutigem Wissens- und Vollzugsstand erwarteten Minderungen und den Potentialen von Minderungsmassnahmen.

Erreichbare Verminderungen der Emissionen von SO₂ im Jahr 2020 (Kapitel 14 des Berichts)

Bilanz der Massnahmen (Erwartungswerte und Potentiale)

Ohne Massnahmen	16.8
mit Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen	
Erwartungswert 2020 (E _{Standard})	15.7
Potential 2020 (P _{Standard})	13.7
Emissionsziel	25

Legende: Emissionen von SO₂ in kt pro Jahr.

Kommentar:

Im Fall von SO₂ ist das Emissionsziel schon seit geraumer Zeit eingehalten. As Folge der Massnahmen bei den Brenn- und Treibstoffen ergeben sich aber automatisch auch weitere Verminderungen der SO₂ - Emissionen.

Fazit (Kapitel 15 des Berichts)

Die Zielerreichung verlangt *durchwegs zusätzliche Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster bis zweiter Priorität sowohl im Bereich Brenn- und Treibstoffeinsparungen als auch bei den schadstoffspezifischen Massnahmen*. Eine wichtige Rolle spielen zudem *fokussierte Verbesserungen beim Vollzug* der schon beschlossenen Massnahmen.

Die Auswahl der Massnahmen gemäss Verursacherkategorien und systematischen Prioritätensetzungen hat zur Folge, dass die erforderlichen Emissionsverminderungen auf *möglichst zieleffiziente Weise* erreicht werden.

Einen integralen Teil der Vollzugsanstrengungen stellt die konsequente Anwendung von Vorsorgemassnahmen durch Bund, Kantone und Gemeinden dar. Gelingt dies, kann voraussichtlich auf eine vollständige Ausschöpfung aller zur Verfügung stehenden Massnahmen verzichtet werden.

Die Resultate der Arbeiten sind separat nach Luftschadstoffen (respektive Brenn- und Treibstoffverbrauch) in einer Reihe von *Empfehlungen* dargestellt.

Das vorgeschlagenen Vorgehen zur Verminderung der Brenn- und Treibstoffe ist in Kapitel 9.13 zusammengefasst und bilanziert (Empfehlung in 9.15).

Das vorgeschlagenen Vorgehen zur Verminderung der NO_x- Emissionen ist in Kapitel 10.13 dargestellt und bilanziert (Empfehlung in 10.14).

Das vorgeschlagenen Vorgehen zur Verminderung der NMVOC- Emissionen ist in Kapitel 11.7 dargestellt und bilanziert (Empfehlung in 11.8).

Das vorgeschlagenen Vorgehen zur Verminderung der PM10- Emissionen und die Empfehlungen sind in Kapitel 12.12 dargestellt und bilanziert.

Das vorgeschlagenen Vorgehen zur Verminderung der NH₃ - Emissionen und die Empfehlungen sind in Kapitel 13.12 dargestellt und bilanziert.

Teil I: Grundlagen, Beurteilungskriterien und Würdigung der bisher getroffenen Massnahmen

1 Einleitung, Auftrag und Grundlagen

1.1 Einleitung

1.1.1 Umfeld

Seit Mitte der 1980er-Jahre existieren auf Bundesebene klare gesetzliche Vorgaben für die Luftreinhaltung. Der Bund erlässt Vorschriften für vorsorgliche Emissionsbegrenzungen (z.B. Luftreinhalte-Verordnung, Abgasvorschriften), überwacht die Qualitätsanforderungen an Brenn- und Treibstoffe, ist zuständig für Typenprüfungen und ermittelt die Luftqualität im gesamtschweizerischen Rahmen. Die Kantone sind für den Vollzug des Hauptanteils der Luftreinhalte-Verordnung zuständig und überwachen die Luftverschmutzung auf ihrem Gebiet. Sind die Immissionsgrenzwerte überschritten, erstellen sie Massnahmenpläne für das betroffene Kantonsgebiet und erlassen verschärfte Luftreinhalte-Vorschriften. Diese Aufgabenteilung ermöglicht ein lokal und regional massgeschneidertes Vorgehen bei der Bekämpfung der Luftverschmutzung. Sind die Kantone zur Erfüllung ihrer Aufgaben auf weitere Massnahmen auf Bundesebene angewiesen, stellen sie entsprechende Aufträge an den Bundesrat. Dies gibt ihnen eine Mitwirkungs- und Mitgestaltungsmöglichkeit in der nationalen Luftreinhalte-Politik. Ein Resultat dieser fruchtbaren Zusammenarbeit ist z.B. die Lenkungsabgabe auf flüchtigen organischen Verbindungen (geregelt in der VOCV).

1.1.2 Luftreinhaltekonzept des Bundesrats

Der Bundesrat hat mit dem Luftreinhalte-Konzept (LRK) ein Planungsinstrument geschaffen, um die Luftverschmutzung in der Griff zu bekommen und die Anstrengungen der Kantone zu unterstützen. Es wurde mehrfach nachgeführt und der Bundesrat hat 1999 im Bericht über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone Bilanz über Erfolge und den verbleibenden Handlungsbedarf gezogen. Dieser Bericht kommt zu folgendem Schluss: „Die Luftreinhalte-Politik kann nicht isoliert betrachtet werden, sondern nur im Zusammenhang mit anderen Politikbereichen, welche die Entwicklung des Schadstoffausstosses wesentlich mitbestimmen. Die Verminderung der Schadstoffemissionen in einem Mass, das den Schutz von Mensch und Umwelt ermöglicht, bedingt eine bessere Berücksichtigung der lufthygienischen Interessen in der Verkehrs-, Energie-, Raumplanungs-, Landwirtschafts- und Finanzpolitik“ (Bundesblatt Nr. 38 vom 28.9.1999, S. 7736).

1.2 Auftrag der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats

In der Folge reichte die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie (UREK) des Nationalrates am 17.4. 2000 eine Motion ein (2000.3184 Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes), welche am 23.6.2000 vom Nationalrat und am 27.11.2000 vom Ständerat angenommen wurde. Darin erhält der Bundesrat den Auftrag „ein Konzept vorzulegen, wie die Luftreinhalte-Ziele des Bundesrates erreicht und die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung bei allen Schadstoffen eingehalten werden können“.

Im vorliegenden Bericht werden die Grundlagen für das geforderte Konzept erarbeitet.

2 Übersicht über den Bericht

2.1 Teil I: Ziellücken und Zieleffizienz der bisher getroffenen Massnahmen

Im vorliegenden Bericht werden zunächst die Grundlagen für die Emissionsberechnungen, insbesondere die Aktivitätsraten (z.B. Verkehrsentwicklung, Energieverbrauch) an den gegenwärtigen Stand des Wissens angepasst und die Wirkung der in der Zwischenzeit getroffenen Massnahmen einbezogen. Zusätzlich wird der Prognosehorizont bis ins Jahr 2020 erweitert. Ausgangspunkt der Arbeiten bilden die in der Schriftenreihe Nr. 272 (BUWAL 1996) und im Bericht über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone gemachten Aussagen zur Emissionsentwicklung der Schweiz.

Als Ergebnis dieses ersten Schritts ergibt sich eine Voraussage des lufthygienischen Handlungsbedarfs im Jahr 2020 bei Umsetzung der bis 2003 eingeführten oder rechtskräftig beschlossenen Massnahmen detailliert nach Verursacherkategorien und Luftschadstoff. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die Luftschadstoffe Stickoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC) sowie lungengängige Feinstäube (PM_{10}). Zusätzlich werden die Ergebnisse einer neuen Studie bezüglich Ammoniak (NH_3)-Emissionen aus der Landwirtschaft einbezogen. Auf der Grundlage dieser Zahlen können die bisher getroffenen oder rechtskräftig beschlossenen Massnahmen von Bund und Kantonen pro Verursacherkategorie bezüglich ihrer mittelfristigen Wirkung und ihrer Zieleffizienz beurteilt werden.

2.2 Teil II: Evaluation von zusätzlichen Massnahmen

Im zweiten Teil des Berichts werden basierend auf den Emissionen pro Verursacherkategorie Prioritäten zur Erarbeitung zusätzlicher Massnahmen festgelegt. Auf der Grundlage dieser Klassierung werden schliesslich Vorschläge für weitere Massnahmen pro Verursacherkategorien ausgearbeitet und bezüglich ihrer bis 2020 zu erwartenden Wirkung sowie ihres Wirkungspotentials beurteilt. Die Wahl des Prognosehorizonts 2020 bedeutet nicht, dass alle Luftreinhalte-Massnahmen bis ins Jahr 2020 aufgeschoben werden sollen. Vielmehr soll jede Massnahme so rasch wie möglich realisiert werden, damit die Luft sauberer und Mensch und Umwelt vor den schädlichen Auswirkungen geschützt werden.

3 Emissionsgrundlagen: Herkunft und Aussagekraft

3.1 Grundlagedaten

3.1.1 Grundsätze der Datenerhebung

Für diesen Bericht wurden *grundsätzlich keine neuen Emissionsdaten erhoben*. Er stützt sich in der Regel auf die jeweils aktuellsten veröffentlichten Emissionsinventare und Aktivitätsraten sowie Prognosen.

Während der Erarbeitung des Berichts erwies es sich als unvermeidlich, das Zahlenmaterial einige Male an Veränderungen der offiziellen Zahlen anzupassen. Dies galt in ausgeprägtem Masse für die Emissionen des Strassenverkehrs, wo die Zahlen des Berichts 355 zu übernehmen waren, die erst gegen Ende 2004 in endgültiger Form vorlagen. Ergänzungen des Zahlenmaterials erwiesen sich bezüglich der PM10-Emissionen als notwendig. Die Emissionsdaten für Ammoniak liegen schliesslich erst in vorläufiger Form vor und wurden auf einem Zwischenstand „eingefroren“. Soweit die vorgenommenen Anpassungen Emissionen betrafen, welche Eingang in die Klimainventare der Schweiz finden, erfolgte fallweise eine nachträglich Abstimmung mit den Zahlen der Klimainventare.

3.1.2 Details zur Herkunft der NO_x-, NMVOC- und SO₂-Daten

Die Emissionszahlen für diese Gase basieren auf dem aktuellen jährlichen Klimagasinventar der Schweiz zuhanden des UNFCCC (Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen; Swiss Greenhouse Gas Inventory 2002; Submission 2004, BUWAL, Bern 2004). Im Unterschied zum Klimagasinventar, wo das Absatzprinzip angewandt und grenzüberschreitende Flüge ausgeklammert werden ("bunker"), enthält der vorliegende Bericht die Emissionen, die auf und über dem Territorium der Schweiz entstehen (Territorialprinzip). Er ist damit vergleichbar mit der Methodik des LRK, der Emissionsberichte des BUWAL Nr. 255, 256 und ihren Nachführungen. Die Emissionszahlen können jedoch nicht direkt mit denjenigen des Treibhausgasinventars verglichen werden.

Weitere Unterschiede betreffen den nachträglichen Einbezug der neuesten Erhebung über die Strassenverkehrsemissionen (BUWAL 2004) und der mit dem BAZL festgelegten Flugverkehrsprognosen. In den Daten zu den NMVOC - Emissionen sind die neusten Erhebungen im Rahmen der VOC-Lenkungsabgabe berücksichtigt (BUWAL 2003, Anthropogene VOC-Emissionen Schweiz 1998 und 2001).

3.1.3 Details zur Herkunft der PM10-Zahlen

Die Emissionszahlen für die Jahre 1950 bis 2010 basieren auf dem Bericht Umweltmaterialien 136 (BUWAL 2001). Sie wurden aufgrund der neuen Aktivitätsraten und -prognosen gemäss Klimagasinventar (BUWAL 2004) angepasst und bis ins Jahr 2020 extrapoliert. Für den Strassenverkehr wurden die Zahlen aus Schriftenreihe Umwelt Nr. 355 (BUWAL 2004) verwendet. Die Schienenemissionen entsprechen dem Stand gemäss Umweltmaterialien Nr. 144 (BUWAL 2002). Ebenfalls berücksichtigt ist die Baurichtlinie Luft (gemäss BUWAL 2003, Umweltmaterialien Nr. 148)

3.1.4 Details zur Herkunft der NH₃ - Zahlen

Für die Emissionen von NH₃ in der Schweiz bestehen noch keine abschliessenden Zahlen. Die Analysen mussten auf einen Zwischenstand der Erhebungen abgestützt werden. Im Hinblick auf spätere Nachanalysen wurde der verwendete Zwischenstand im Anhang 6 dieses Berichts detailliert dokumentiert.

3.2 Wichtigste berücksichtigte Berichte

Brenn- und Treibstoffe

Prognos: Aufdatierung der Standortbestimmung CO₂-Gesetz. CO₂-Perspektiven und Sensitivitäten Stand: März 2004.

Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2002, Bundesamt für Energie 2003.

Für weitere Grundlagenberichte vgl. das Literaturverzeichnis am Schluss des Berichts.

PM10

PM10-Emissionen des Verkehrs betreffend Abrieb und Aufwirbelung: Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, UVEK/ASTRA 2003.

PM10 Schienenverkehr: PM10-Emissionen des Verkehrs; Statusbericht Teil Schienenverkehr, BUWAL, Bern 2002 (Umweltmaterialien Nr. 144).

PM10 Baumaschinen: Nachrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern, BUWAL, Bern 2002 (Umweltmaterialien Nr. 148).

Massnahmen zur Reduktion der PM10-Emissionen, BUWAL Umweltmaterialien Nr. 136, 2001

Für weitere Grundlagenberichte zu PM10 vgl. das Literaturverzeichnis am Schluss des Berichts.

NH₃

Ammoniakemissionen in der Schweiz: neues Emissionsinventar 2000. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL) im Auftrag des BUWAL (Publikation in Vorbereitung, Zahlen: Stand Febr. 05).

Für weitere Grundlagenberichte zu NH₃ vgl. das Literaturverzeichnis am Schluss des Berichts.

NO_x, NMVOC, SO₂

Swiss Greenhouse Gas Inventory 2002; Submission 2004, BUWAL, Bern 2004.

Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs; Schriftenreihe Umwelt Nr. 355, BUWAL 2004).

"Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010" (Schriftenreihe Umwelt Nr. 256, BUWAL 1995).

Anthropogene VOC-Emissionen Schweiz 1998 und 2001, BUWAL 2003; Internetpublikation BUWAL, Bern 1.11.2003.

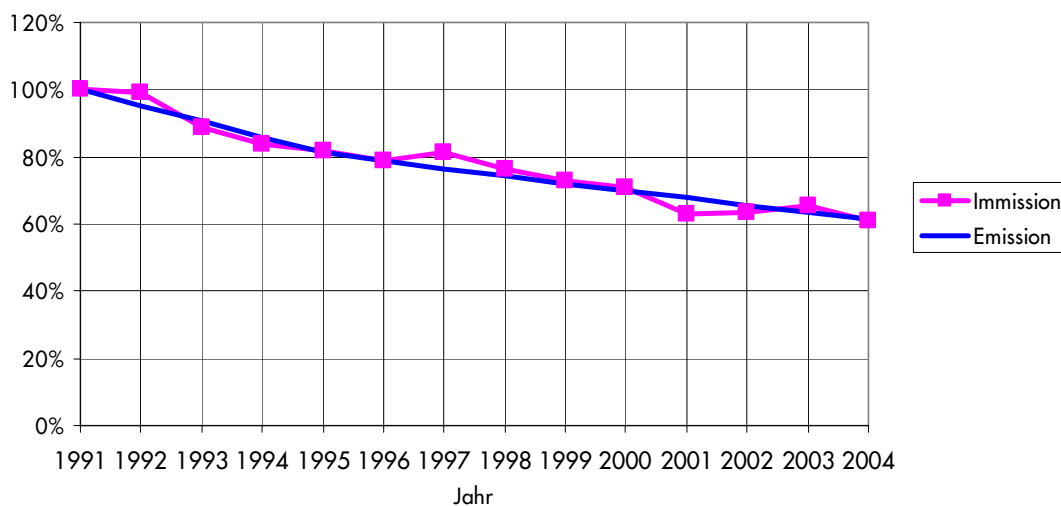
Für weitere Grundlagenberichte zu diesen Schadstoffen sowie den Ozonbelastungen der Schweiz vgl. das Literaturverzeichnis am Schluss des Berichts.

3.3 Hinweise zur Verlässlichkeit der Emissionsdaten

Eine unabhängige Möglichkeit, die Emissionsentwicklung auf ihre Plausibilität zu prüfen, besteht im Vergleich mit der Immissionsentwicklung. Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe NABEL erhebt die Luftbelastung in der Schweiz an 16 Messstellen, welche verschiedenen Standorttypen von Strassenschlucht bis hochalpin zugeordnet werden können. Die Daten dienen der Beurteilung der Luftqualität und der Erfolgskontrolle der getroffenen Luftreinemassnahmen. In den folgenden Figuren wird der relative Verlauf der Emissionen gemäss vorliegendem Bericht und der Immissionen im NABEL - Messnetz verglichen. Die Vergleichsperiode umfasst die Jahre 1991 bis 2004. 1991 nahm das erweiterte NABEL - Messnetz seinen Betrieb auf. Aufgrund der meteorologischen Einflüsse auf die Immissionen dürfen Trends nur aufgrund langjähriger Reihen (ab etwa 10 Jahren) interpretiert werden.

3.3.1 Vergleich der Emissions- und Immissionsentwicklung von NO_x

Relative Entwicklung der NO_x - Immissionen und -Emissionen (100% entsprechen Stand 1991)



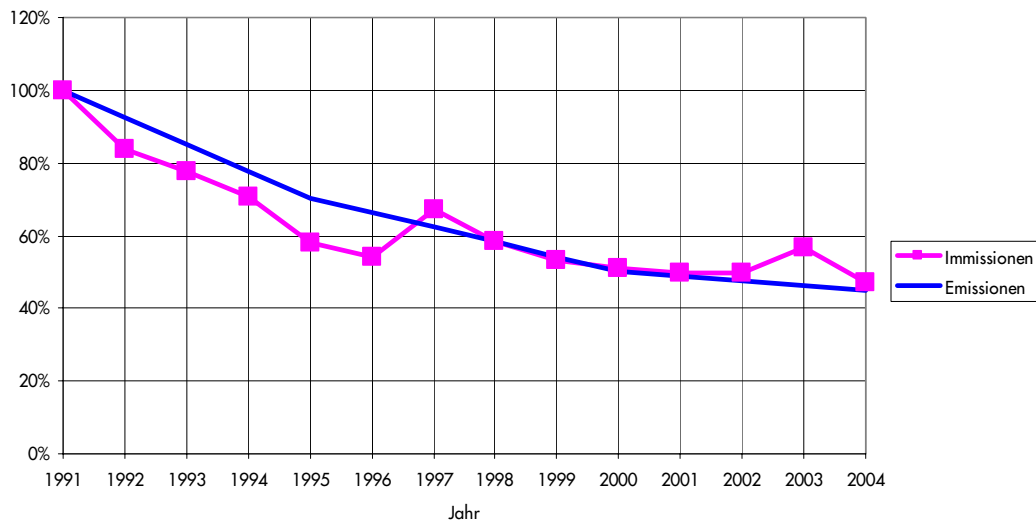
Legende

NO_x -Immissionen werden seit 1991 an 16 Standorten im NABEL-Messnetz erhoben. Die dargestellten Daten sind die Mittelwerte dieser Stationen mit Ausnahme der hochalpinen Station Jungfrauoch und des Strassenschluchtstandortes Bern. Dort musste die Messstation 1997 verlegt werden, was den Immissionsverlauf beeinflusste. Der relative Verlauf der NO_x -Immissionen und Emissionen stimmt gut überein, was die Qualität der Emissionsdaten belegt.

Die jährlichen Schwankungen dürfen nicht als Emissionstrends interpretiert werden, da die meteorologischen Verhältnisse, insbesondere das Auftreten winterlicher Inversionslagen grossen Einfluss haben.

3.3.2 Vergleich der Emissions- und Immissionsentwicklung von NMVOC

Relative Entwicklung der NMVOC-Immissionen und -Emissionen (100% entsprechen Stand 1991)



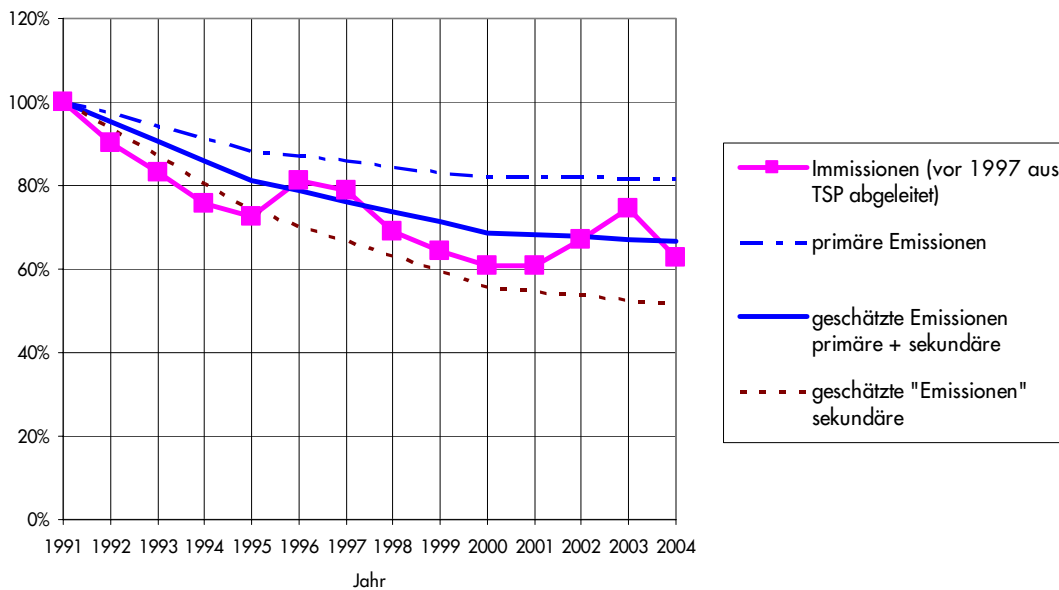
Kommentar zur Figur

NMVOC- Immissionen wurden im NABEL- Messnetz im betrachteten Zeitraum nur an zwei Standorten lückenlos erfasst. Trotzdem stimmen die Immissions- und Emissionsverläufe gut überein.

Die jährlichen Schwankungen dürfen nicht als Emissionstrends interpretiert werden, da die meteorologischen Verhältnisse, insbesondere die Dauer und Stärke winterlicher Inversionslagen, großen Einfluss haben.

3.3.3 Vergleich der Emissions- und Immissionsentwicklung von PM10

Relative Entwicklung der PM10-Immissionen und -Emissionen (100% entsprechen Stand 1991)



Kommentar zur Figur

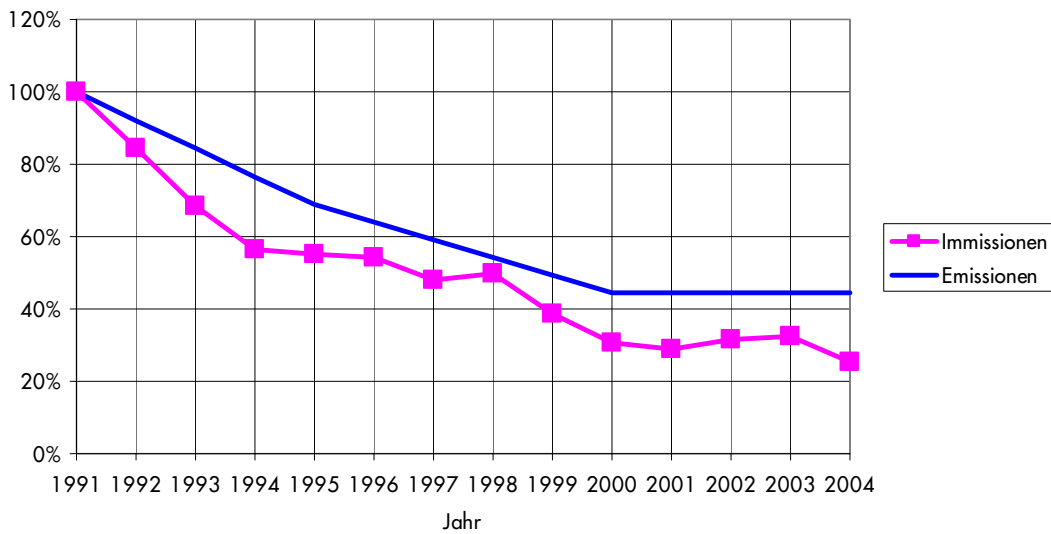
PM10 wird seit 1997 an 14 Standorten im NABEL gemessen. Die Immissionsdaten vor 1997 sind aufgrund der im NABEL ermittelten Beziehungen zwischen PM10 und Gesamtstaub (TSP) aus den TSP-Daten abgeleitet.

Die PM10-Immissionen als Mittel von 13 NABEL-Stationen (ohne die hochalpine Station Jungfrauoch) sinken stärker als die primären PM10-Emissionen im gleichen Zeitraum. Dies ist verständlich, da rund die Hälfte des PM10 in der Aussenluft aus sogenannt sekundärem Aerosol besteht. Diese Staubteilchen bilden sich in der Atmosphäre aus den Vorläufergasen SO_2 , NO_x , NMVOC und NH_3 . Nach umfassenden Untersuchungen im NFP41 (Hüglin 2000) kann die Zusammensetzung des Feinstaubes grob folgendermassen charakterisiert werden: 50% primäres PM10, 20% Sulfate, 20% Nitrate (beide meist als Ammoniumsalze) und 10% sekundäres organisches Material. Die Emissionen der Vorläufergase SO_2 , NO_x und NMVOC haben stärker abgenommen als das primäre PM10. Berechnet man die Kombination primärer und sekundärer "Emissionen" nach obigem Schlüssel, erhält man die ausgezogene Kurve, welche gut mit dem Immissionsverlauf übereinstimmt.

Auch bei den Feinstaubimmissionen spielen die meteorologischen Variationen von Jahr zu Jahr eine wichtige Rolle, insbesondere die Dauer und Stärke winterlicher Inversionslagen.

3.3.4 Vergleich der Emissions- und Immissionsentwicklung von SO₂

Relative Entwicklung der SO₂-Immissionen und -Emissionen (100% entsprechen Stand 1991)



Kommentar zur Figur

Die SO₂-Immissionen sinken stärker als die schweizerischen SO₂-Emissionen. Dies ist verständlich, weil der stärkste Emissionsrückgang in der Schweiz zwischen 1980 und 1990 erfolgte. Seit her bewegen sich die SO₂-Emissionen auf tiefem Niveau und werden heute noch an sechs NABEL-Stationen (und auf dem Jungfrauoch, das hier im Mittelwert nicht berücksichtigt ist) erhoben. Aus diesen Gründen spielen beim SO₂ auch die Emissionen der Nachbarländer eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Die grösste SO₂-Reduktion im europäischen Raum erfolgte nach 1990, also zeitlich verschoben zur Schweiz (vgl. Review of Strategies and Policies for Air Pollution 2000). Daher ist es verständlich, dass die Immissionen 1991 bis 2004 stärker abnehmen als die schweizerischen SO₂-Emissionen.

Die jährlichen Schwankungen dürfen nicht als Emissionstrends interpretiert werden, da die meteorologischen Verhältnisse, insbesondere die Dauer und Stärke winterlicher Inversionslagen, grossen Einfluss haben.

3.3.5 *Kommentar zu den Figuren*

In den Figuren sind die über die NABEL- Stationen gemittelten Immissionen relativ zu 1991 (100% = mittlere Luftbelastung 1991) und die Emissionszahlen der entsprechenden Schadstoffe relativ zu 1991 (100% = schweizerische Emissionen 1991) dargestellt. Diese Emissionsdaten liegen den Analysen des vorliegenden Berichts zugrunde.

Die Figuren zeigen, dass die im schweizerischen Mittel beobachteten Veränderung der Belastung der Aussenluft durch NO_x (Vorläufer des Luftschadstoffs NO₂ und Ozonbildner), NMVOC (Ozonbildner), PM10 und SO₂ *durchwegs gut übereinstimmt mit den Emissionszahlen der Schweiz.*

Die aufgezeigten Vergleiche zwischen Emissions- und Immissionsentwicklung belegen die gute Qualität der Emissionszahlen. Die vorhandene Datenbasis erlaubt zuverlässige Aussagen über die Emissionen der Schweiz und den lufthygienischen Handlungsbedarf.

4 Emissionsentwicklung bis 2020 und ökologische Ziele

4.1 Ökologische Ziele

Gemäss Umweltschutzgesetzgebung ist es Aufgabe der Luftreinhaltung, Mensch und Umwelt vor schädlichen und lästigen Einwirkungen zu schützen. Diese Schutzziele sind für verschiedene Schadstoffe in der Luftreinhalte-Verordnung als Immissionsgrenzwerte und in internationalen Abkommen¹ als kritische Belastungswerte konkretisiert. Der Bundesrat hat im Bericht über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone aufgezeigt, um wieviel die Schadstoffemissionen vermindert werden müssen, damit die geltenden Schutzziele eingehalten werden können. Bezogen auf das Jahr 2000 ergibt sich folgender Reduktionsbedarf:

<i>Schadstoff</i>	<i>notwendige Emissionsreduktion in der Schweiz gegenüber dem Jahr 2000</i>	<i>aufgrund des Schutzzieles</i>
SO ₂	Wiederanstieg verhindern	IGW SO ₂
	Wiederanstieg verhindern	CL Säure ²
NO _x	ca. 40 %	IGW NO ₂
	ca. 60 %	IGW O ₃ CL Säure ² CL Stickstoff ³
NM VOC	ca. 50 %	IGW Ozon
Feinstaub	ca. 45 %	IGW PM10
NH ₃	ca. 45%	CL Stickstoff ³
kanzerogene Stoffe	so weit wie technisch möglich	Gesundheit

Legende

IGW	Immissionsgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung
CL	Kritischer Belastungswert (critical load), der aufgrund internationaler Verpflichtungen längerfristig eingehalten werden soll (Genfer Konvention)
SO ₂	Schwefeldioxid
NO _x	Stickoxide (Stickstoffmonoxid und -dioxid)
NO ₂	Stickstoffdioxid
O ₃	Ozon
VOC	flüchtige organische Verbindungen
PM10	lungengängiger Feinstaub
NH ₃	Ammoniak

¹ UN/ECE Konvention von Genf vom 13. November 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung mit Zusatzprotokollen

² festgelegt im Protokoll über weitergehende Verminderungen der Schwefelemissionen

³ Protokoll betreffend die Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon

4.2 Verursacherkategorien

In den folgenden Kapiteln werden die bisher getroffenen Massnahmen aufgeteilt nach Luftschadstoff und *Verursacherkategorie* dargestellt und gewürdigt. Verursacherkategorien wurden nach der folgenden Definition festgelegt: *Eine Gruppe von Schadstoffverursachern gehört dann zur selben Verursacherkategorie, wenn ihre Emissionen durch ähnliche Massnahmen vermindert werden können.*

Die folgenden Beispiele illustrieren die Überlegungen, die zur Wahl einer Verursacherkategorie beitragen:

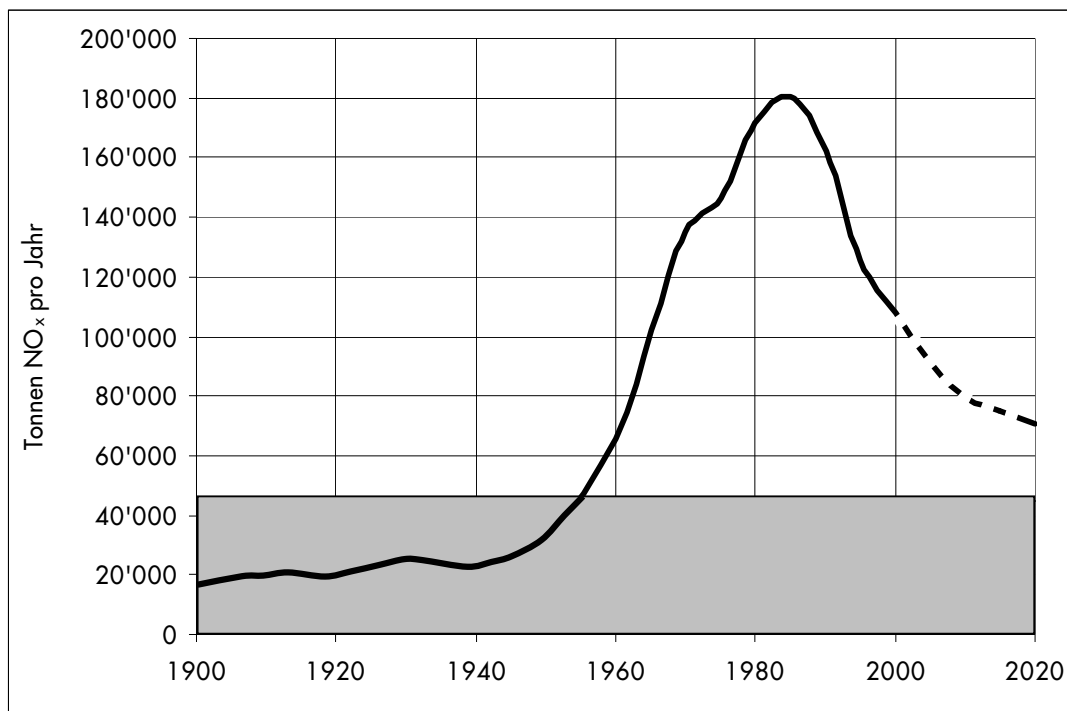
1. Personenwagen und Lieferwagen bilden zwei verschiedene Verursacherkategorien, weil sich Massnahmen zur Parkplatzbewirtschaftung stärker auf PW auswirken als auf Lieferwagen.
2. Die Maschinen der Land- und Forstwirtschaft und die Maschinen von Industrie und Gewerbe werden als eigene Verursacherkategorien betrachtet, obwohl viele davon dem Strassenverkehrsgesetz unterstehen (bei der Land- und Forstwirtschaft über 90%). Grund: Für diese Kategorien gelten spezielle Ausrüstungsvorschriften, die von denjenigen der Strassenfahrzeuge verschieden sind.
3. Für den Fall von PM10 liegen die Emissionszahlen des Verkehrs getrennt für Personenverkehr (PW plus Linienbusse plus Cars plus Motorräder) und für Güterverkehr (Schwerer Nutzverkehr plus Lieferwagen) vor. Entsprechend wurden die Verursacherkategorien angepasst.
4. Die Aktivitäten, welche zu Emissionen von NO_x und NMVOC Anlass geben, sind sehr unterschiedlich. Dominieren im Falle von NO_x Aktivitäten, die Abgase verursachen und vom Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen abhängen, stehen bei den NMVOC Aktivitäten wie Lösemittelleinsatz zur Entfettung oder zum Auftrag von Farben im Vordergrund (vgl. dazu auch Kapitel 6.6.1, das sich mit Aktivitäten und ihrer Beschreibung befasst). Bildet man Gruppen von Verursachern, auf die sich ähnliche Massnahmen anwenden lassen, ergeben sich demgemäss für NO_x und NMVOC sehr verschiedene Einteilungen und also verschiedenen Verursacherkategorien.

Wie Beispiel 4 zeigt, hängt die Wahl der *Verursacherkategorien* unter anderem vom *untersuchten Luftschadstoff* ab.

Aus praktischen Erwägungen werden Verursacherkategorien, die nur für einen sehr kleinen Anteil der Emissionen verantwortlich sind, jeweils in einer Kategorie „Übrige“ zusammengefasst.

4.3 Stickstoffoxide NO_x

4.3.1 NO_x -Emissionsentwicklung bis 2020



Legende

Grau schattiert „Ökologisches Ziel“ : Bereich innerhalb dessen die Totalemissionen nach heutigem Kenntnisstand liegen müssten, damit die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung für Ozon und die „critical loads“ für Säure und Stickstoff eingehalten werden könnten (ca. 46'000 Tonnen NO_x pro Jahr).

Kommentar

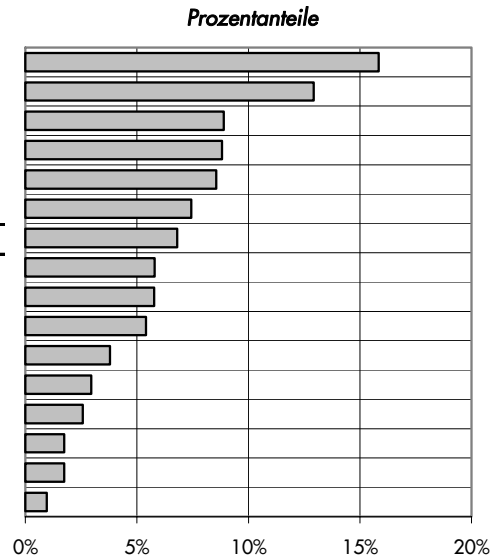
Seit dem Maximum Mitte der Achtzigerjahre haben die Emissionen kontinuierlich abgenommen. Dieser Rückgang dürfte sich bei Umsetzung der rechtskräftig beschlossenen Massnahmen weiter fortsetzen. Dennoch muss auch noch 2020 verglichen mit dem ökologischen Ziel mit einer *deutlichen Ziellücke* gerechnet werden.

4.3.2 NO_x-Prognose 2020 nach Verursacherkategorien

Heute beschlossene Massnahmen wirken sich zum Teil erst in Jahren aus. In diesem Abschnitt wird die Situation 2020 nach Verursachergruppen getrennt für den Prognosehorizont 2020 dargestellt und mit den Zielen in Bezug gesetzt, die zur Erfüllung der Vorgaben der LRV zu erreichen sind.

Tabelle der Emissionen 2020

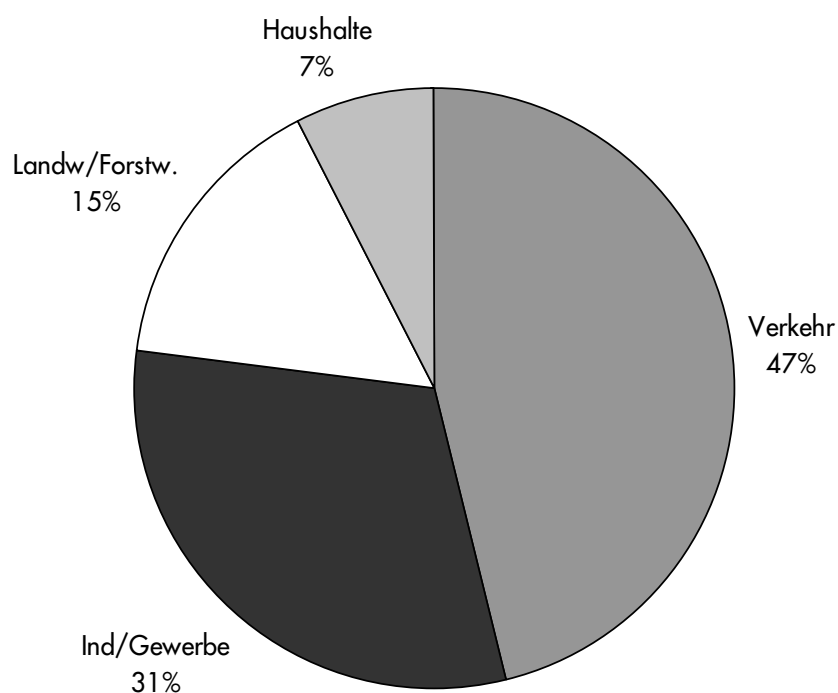
Verursacherkategorie	kt/a
PW (inkl. Motorräder)	11.2
Schwere Nutzfahrzeuge und Busse	9.2
Maschinen Industrie und Gewerbe	6.3
Abfallentsorgung (KVA's etc.)	6.2
Maschinen Land- und Forstw.	6.1
Überflüge	5.3
Heizungen fossil	4.8
Landwirtschaft (Böden, Viehhaltung)	4.1
Flugverkehr CH	4.1
Steine/Erden	3.8
Lieferwagen	2.7
Übrige	2.1
Industriefeuerungen fossil	1.8
Heizungen Biomasse	1.2
Industriefeuerungen Biomasse	1.2
Raffinerien	0.7
Total	71
Emissionsziel	46



Legende

kt/a	Kilotonnen pro Jahr
PW	Personenwagen
Maschinen Industrie und Gewerbe	Beinhaltet auch den Beitrag der Quellengruppe Hobby (Kleinmotoren)
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
Überflüge	Emissionen, die beim Überfliegen des Territoriums der Schweiz entstehen
Flugverkehr CH	Emissionen, die bei Start und Landung innerhalb der Schweiz inklusive Flug zwischen Schweizer Grenze und Flughafen entstehen
Steine/Erden	Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.
Übrige	Schifffahrt, Schienenverkehr, Stahlwerke, Gastrocknung etc.

NO_x-Emissionsanteile 2020: Zusammenfassung



Kommentar zu den Tabellenwerten und der Figur Emissionsanteile

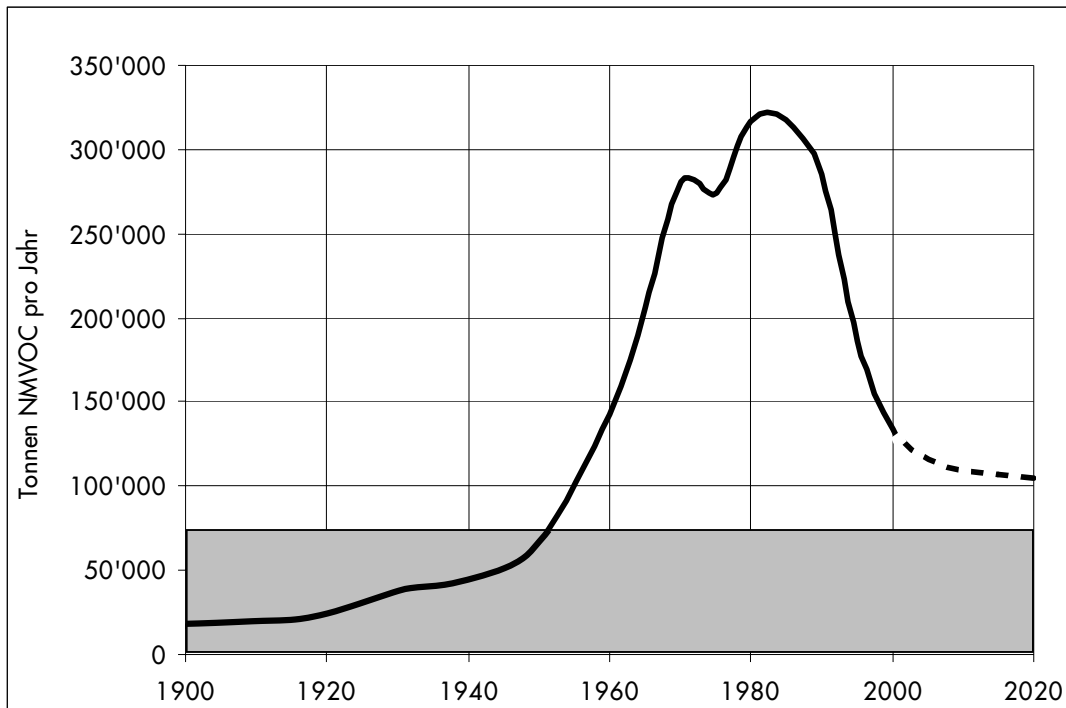
Die Personenwagen und die Nutzfahrzeuge dürften 2020 je etwa gleich viel zu den NO_x-Emissionen der Schweiz beitragen (rund 10 kt/a).

Unter den Verursachergruppen, die 2020 eine prominente Rolle spielen, fällt die grosse Bedeutung des Flugverkehrs auf: Die Verursacherkategorien Flugverkehr und Überflüge verursachen zusammen NO_x-Emissionen von 9.4 kt/a. Sie liegen somit in derselben Grösse wie die 2020 zu erwartenden NO_x-Emissionen des PW-, respektive des Schwerverkehrs (die vorliegenden Emissionen des Flugverkehrs wurden 2003 auf Grund von neuen Schätzungen der Zunahme des Luftverkehrs im Vergleich zu früheren Prognosen gegen unten korrigiert).

Mit der Weiterführung der rechtskräftig beschlossenen Massnahmen werden die Gesamtemissionen der Schweiz 2020 immer noch deutlich über dem ökologischen Ziel liegen. Die Mehremissionen betragen 24 kt/a, was rund 50% des Zielwerts entspricht.

4.4 Flüchtige organische Verbindungen (ohne Methan): NMVOC

4.4.1 NMVOC-Emissionsentwicklung bis 2020



Legende

Grau schattiert „Ökologisches Ziel“ : Bereich innerhalb dessen die Totalemissionen nach heutigem Kenntnisstand liegen müssten, damit die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung für Ozon eingehalten werden könnten (ca. 80'000 Tonnen NMVOC pro Jahr).

Kommentar

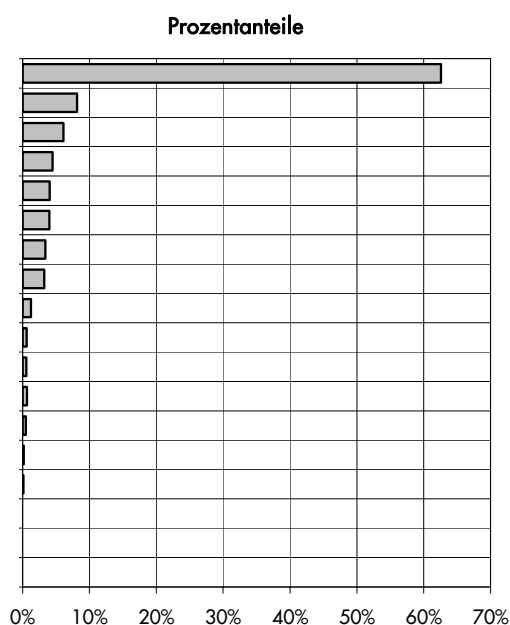
Ähnlich wie bei den Stickstoffoxiden NO_x nehmen die NMVOC-Emissionen der Schweiz seit Mitte der Achtzigerjahre ab. Mit der Weiterführung der bisher beschlossenen Massnahmen ist absehbar, dass die Emissionen der Schweiz 2020 deutlich über dem ökologischen Ziel liegen werden.

Die Stoffklasse der NMVOC enthält eine beträchtliche Zahl von krebserzeugenden Stoffen. Typische Beispiele sind: Benzol, Benzo(a)pyren, Trichlorethen oder Vinylchlorid (vgl. Anhang 1, 8 der Luftreinhalte-Verordnung). Stoffe dieser Kategorie sind auch in geringer Konzentration als gesundheitsgefährlich einzustufen. Auch bei Einhaltung der ökologischen Ziele kann von diesen Stoffen deshalb nach wie vor ein Gesundheitsrisiko ausgehen. Entsprechend sind die Emissionen dieser Stoffe auch bei Erreichung der ökologischen Ziele weiter zu beschränken.

4.4.2 NMVOC-Prognose 2020 nach Verursacherkategorien

Tabella der Emissionen 2020

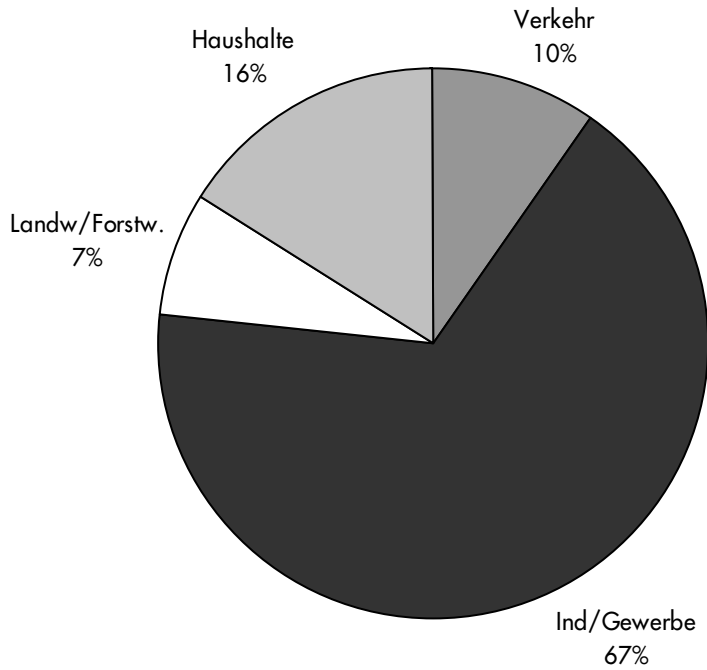
Verursacherkategorie	kt/a
Lösemittelverbrauch	65
Industrieprozesse	8.5
Verdunstung (Treibstoffe)	6.4
Maschinen Industrie und Gewerbe	4.7
Landwirtschaft (ohne Maschinen)	4.2
PW und Lieferwagen	4.1
Motorräder	3.5
L-F Maschinen und Geräte	3.4
Schwere Nutzfahrzeuge	1.3
Heizungen fossil	0.6
Abfall	0.6
Flugverkehr inkl. Überflüge	0.7
Heizungen Holz	0.5
Steine/Erden	0.2
Industriefeuerungen fossil	0.1
Industriefeuerungen Biomasse	0.06
Raffinerien	0.02
WKK	0.02
Total	103.8
Emissionsziel	81



Legende und Kommentar

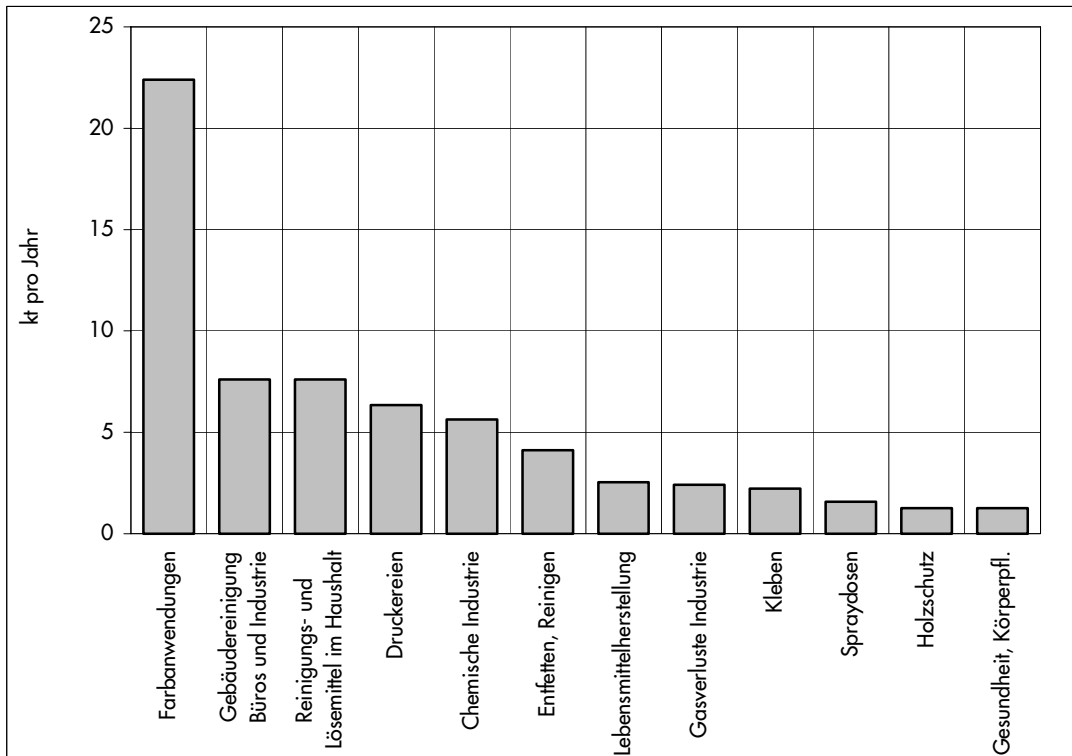
kt/a	Kilotonnen pro Jahr
Industrieprozesse	Mineralölproduktion, Asphaltproduktion u.ä. (keine Verbrennungsprozesse)
Maschinen Industrie und Gewerbe	beinhaltet auch den Beitrag der Quellengruppe Hobby
PW	Personenwagen
L-F Maschinen	Maschinen und Geräte der Land- und Forstwirtschaft
Flugverkehr inklusive Überflüge	Emissionen, die bei Start und Landung in der Schweiz und bei Überflügen entstehen
Steine/Erden	Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.
WKK	Anlagen mit Wärme-Kraft Kopplung

NMVOC-Emissionsanteile 2020: Übersicht



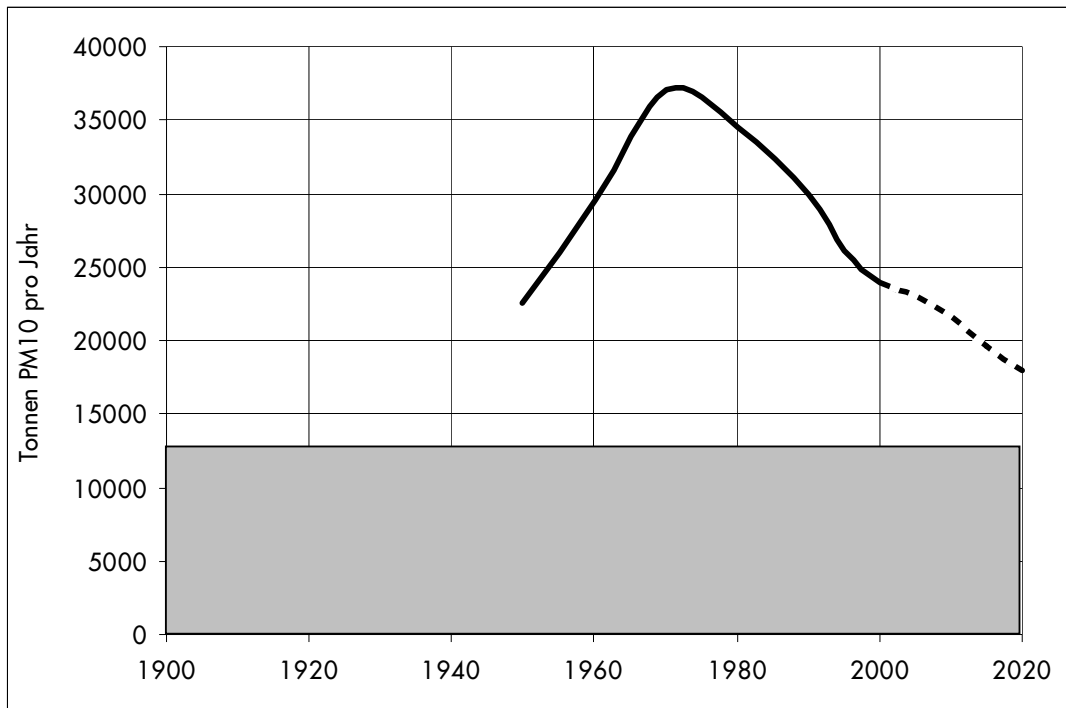
Detailprognose des Verbrauch von Lösemitteln 2020

Rund 70% der Emissionen von NMVOC entstehen 2020 durch den Einsatz von organischen Lösemitteln in Industrie, Gewerbe und Haushalten. Diese Beiträge teilen sich folgendermassen auf:



4.5 Lungengängiger Feinstaub PM10

4.5.1 PM10-Emissionsentwicklung bis 2020



Legende und Kommentar

Aussagen sind erst ab 1950 möglich. Grau schattiert „Ökologisches Ziel“ : Bereich, innerhalb dessen die Totalemissionen liegen müssten, damit die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung eingehalten werden könnten (ca. 12'000 Tonnen PM10 pro Jahr).

Seit 1970 gehen die Emissionen von Feinstäuben kontinuierlich zurück. Mit der Weiterführung der bisher beschlossenen Massnahmen werden die Emissionen der Schweiz aber 2020 deutlich über dem ökologischen Ziel liegen.

Ergänzung: Krebserzeugende Stäube

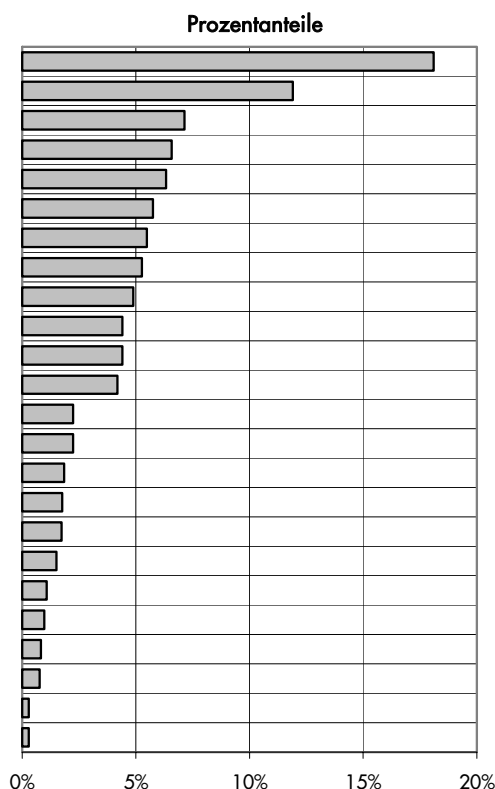
Unter den PM10-Teilchen finden sich Stoffe, die Krebs erregen. Dies gilt zum Beispiel für Russpartikel aus Dieselmotoren (Dieselruss), für Eichenholz- und Buchenholzstäube und für Aerosole, die Schwermetalle wie Cadmium oder Cobalt enthalten. Stoffe dieser Kategorie sind bereits in geringer Konzentration als gesundheitsgefährlich einzustufen. Auch bei Einhaltung des ökologischen Ziels bezüglich PM10 geht von diesen Stoffen deshalb nach wie vor ein Gesundheitsrisiko aus. Entsprechend sind die Emissionen dieser Stoffe auch nach Erreichung des ökologischen Ziels für PM10 weiter zu beschränken (vgl. LRV Anhang 1, Ziffer 83).

Je kleiner die Partikel sind, desto tiefer dringen sie in die Lungen ein, aber desto weniger tragen sie zur Masse bei. Aus gesundheitlicher Sicht ist es deshalb wichtig, dass die Emissionen (z.B. von Dieselmotoren) nicht nur bezüglich der gesamten PM10-Masse, sondern auch bezüglich der Anzahl der ganz feinen Partikel beurteilt werden. Minderungsmaßnahmen müssen so angelegt sein, dass sie neben den grösseren Partikeln, welche den Grossteil der PM10-Masse ausmachen, auch die in grosser Anzahl vorhandenen ultrafeinen Partikel, welche kaum zur PM10-Masse beitragen, effizient vermindern.

4.5.2 PM10-Prognose 2020 nach Verursacherkategorien

Tabella der Emissionen 2020

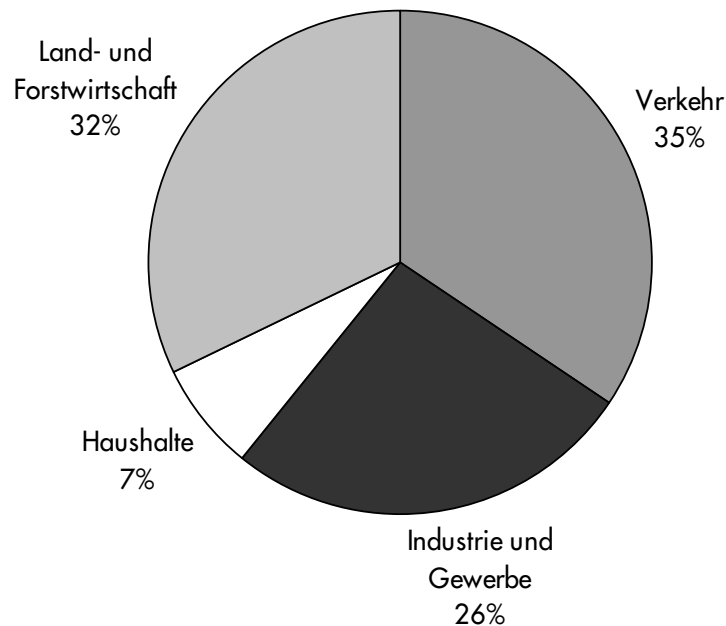
Verursacherkategorie	k t/a
Personenverkehr Strasse	3.2
Nutzflächen	2.1
Nutztierhaltung	1.3
L-F Maschinen und Geräte	1.2
Abfallentsorgung Land- und Forstw.	1.1
Holzbearbeitung	1.0
Schienenverkehr	1.0
Güterverkehr Strasse	0.94
Industriefeuerungen Biomasse	0.88
Baugewerbe (Zulieferer)	0.79
Heizungen Biomasse	0.79
Flugverkehr inkl. Überflüge	0.75
Haushalte und Hobby	0.40
Stahlwerke (Ofen)	0.40
Steine und Erden	0.33
Baustellen (insb. Maschinen)	0.32
Lebensmittelindustrie	0.31
Metallindustrie ohne Stahlwerke	0.27
Maschinen Industrie (exkl. Bau)	0.19
Übrige	0.17
Abfallentsorgung Ind. und Gewerbe	0.15
Graströcknung	0.14
Heizungen fossil	0.05
Industriefeuerungen fossil	0.05
Total	17.9
Emissionsziel	12



Legende

kt/a	Kilotonnen pro Jahr
Personenverkehr Strasse	Personenwagen, Motorräder, Cars und Busse
Nutzflächen	Staubaufwirbelung bei der Bearbeitung landwirtschaftlicher Böden
Abfallentsorgung Land- und Forstwirtschaft	v.a Verbrennung von Ästen und Rindenabfällen
Güterverkehr Strasse	Schwere Nutzfahrzeuge und Lieferwagen
Flugverkehr inkl. Überflüge	Emissionen, die bei Start und Landung in der Schweiz und bei Überflügen der Schweiz entstehen.
Steine/Erden	Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.
Übrige	Schifffahrt, Lebensmittelproduktion, Hobby etc.

PM10-Emissionsanteile 2020: Übersicht



4.5.3 Kommentar: Stand der Emissionsgrundlagen bei den PM10-Emissionen

PM10-Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung

Die PM10-Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung sind schwierig zu quantifizieren. Die meisten heute vorliegenden Angaben stellen Grobschätzungen dar, die auf den bekannten Emissionen des Gesamtstaubs und auf Literaturangaben oder Schätzungen zum Anteil des Feinstaubes an den jeweiligen Gesamtstaubemissionen basieren. Zum heutigen Zeitpunkt laufen eine ganze Reihe von Forschungsprojekten, welche diese Beurteilungsgrundlagen mittelfristig verbessern werden.

Eine erste verbesserte Untersuchung der PM10-Emissionen des Schienenverkehrs (Buwal Umweltmaterialien Nr. 144, 2002) zeigte, dass die Grobschätzungen (Umweltmaterialien Nr. 136) deutlich zu hohe Werte lieferten. Die Resultate dieser Arbeiten haben in die vorliegenden Emissionszahlen Eingang gefunden. In Bezug auf den Strassenverkehr liegen seit 2003 aus dem Projekt „Verifikation der PM10-Emissionen des Strassenverkehrs“ zuverlässige Zahlen vor. Für weitere Verursacherkategorien (Tierhaltung und Holzverarbeitung) sind ebenfalls Projekte im Gang.

Die vorliegenden Emissionszahlen stammen allerdings noch aus Grobschätzungen. Auch bei diesen Verursacherkategorien lassen erste Messresultate darauf schliessen, dass die bisherigen Grobschätzungen deutlich zu hohe Werte lieferten.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Die vorliegenden Schätzungen der Produktion von PM10 aus Abrieb und Aufwirbelung dürften mit Ausnahme des Strassen- und Schienenverkehrs *systematisch zu hoch* sein.

Schlussfolgerung

Bis 2020 liegen die Emissionen der Schweiz deutlich über dem ökologischen Ziel. Die Stoffbilanzen beruhen bezüglich den Emissionen aus Motoren und Verbrennungsprozessen auf soliden Grundlagen. Bei den Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung beruhen die Bilanzwerte zum Teil noch auf konservativen Grobschätzungen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass zukünftige PM10-Bilanzen bezüglich der durch Abrieb und Aufwirbelung erzeugten Stäube für gewisse Verursacherkategorien *deutlich unter den Grobschätzungen liegen*.

Veränderungen der PM10-Bilanz beeinflussen nicht nur die Emissionsmengen, sondern auch das ökologische Ziel. Diese Festlegung der ökologischen Ziele erfolgt nämlich mit Bezug zu den Emissionen eines Referenzjahrs. Sollten sich die ermittelten Emissionsmengen für das Referenzjahr vermindern oder erhöhen, verändert sich entsprechend auch das ökologische Ziel.

4.6 Ammoniak (NH₃)

4.6.1 Vorbemerkungen: Stand des Wissens

Die Probleme, die sich aus der Ammoniakbelastung der Luft ergeben, wurden deutlich später erkannt als die Problematik der "klassischen" Luftschadstoffe NO_x, SO₂ oder NMVOC. Als Folge davon ist auch das gegenwärtige Wissen über die Emissionsentwicklung und mögliche Massnahmen gegen die übermässigen Immissionen nicht auf dem gleichen Stand wie für die übrigen Luftschadstoffe. Generell erweist sich zum heutigen Zeitpunkt als schwierig, verlässliches, transparentes Zahlenmaterial für die Ammoniakbelastung der Luft in der Schweiz zu beschaffen. Bei den folgenden Ausführungen sollte deshalb beachtet werden, dass die Kenntnisse bezüglich Emissionen von Ammoniak und Emissionsminderungen durch Massnahmen noch auf einem im Vergleich zu den übrigen Luftschadstoffen *deutlich schwächeren Zahlengerüst* basieren.

Mit Ausnahme der Station Bachtel im Kanton Zürich sind für Ammoniak noch keine längeren Immissionsmessreihen vorhanden, welche zur Plausibilisierung der Emissionszahlen und der Emissionsentwicklung herangezogen werden könnten. Aus den Messungen am Bachtel zwischen 1993 und 2003 konnte bisher kein Trend der Ammoniakimmissionen abgeleitet werden (FUB 2004).

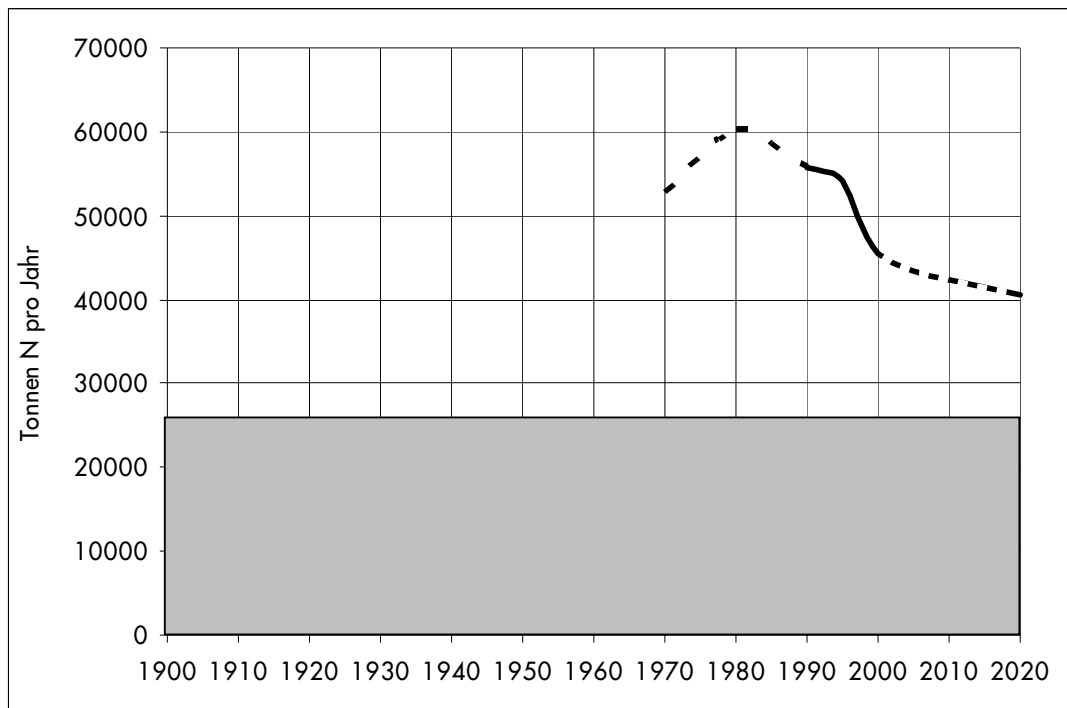
Gut bekannt sind zum heutigen Zeitpunkt demgegenüber die *Auswirkungen der hohen Ammoniakemissionen und des übermässigen Stickstoffeintrags in Ökosysteme*. Ebenfalls bekannt ist, um wie viel die Stickstoffeinträge vermindert werden müssen um diese Auswirkungen auf ein tragbares Mass zu vermindern. Diese Zahlen stellen wesentlich ab auf die umfangreichen Arbeiten im Rahmen der UN/ECE-Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung.

Gezielte Massnahmen zur Verminderung des Ammoniakausstosses haben sich bis heute auf den Bereich der Vorsorge beschränkt und betrafen vor allem nichtlandwirtschaftlich verursachte Emissionen.

Angesichts des verlässlich ausgewiesenen grossen Handlungsbedarfs ist es angezeigt, bereits heute auf den bestehenden unvollkommenen Grundlagen Massnahmen zu entwickeln und ihre Wirkung zu quantifizieren. Eine abschliessende Bewertung der Gesamtwirkung der vorgeschlagenen Massnahmen ist auf dem heutigen Stand (Februar 2005) der Zahlengrundlagen nur provisorisch möglich.

Im Anhang 6 sind die für die Berechnungen verwendeten Grundlagedaten zur landwirtschaftlichen Produktion zusammengestellt.

4.6.2 NH_3 -Emissionsentwicklung bis 2020 (als $\text{NH}_3\text{-N}$)



Legende

Die NH_3 -Emissionen werden als Massenanteil von N angegeben (entsprechend 82% der Masse von NH_3). Zahlen sind zur Zeit erst ab 1970 vorhanden. Bei den Angaben vor 1990 handelt es sich um Schätzungen, bei denen Veränderungen bei der landwirtschaftlichen Produktionstechnik nicht berücksichtigt wurden.

Gestrichelter Verlauf: Schätzwerte

Grau schattiert „Ökologisches Ziel“ : Bereich innerhalb dessen die Totalemissionen nach heutigem Kenntnisstand liegen müssten, damit die Grenzen des Eintrags von Stickstoff (N) in die Ökosysteme („critical loads“) eingehalten werden könnten (ca. 26'000 Tonnen $\text{NH}_3\text{-N}$ pro Jahr).

Kommentar

Die Ammoniakemissionen haben zwischen 1990 und 2000 abgenommen. Das „Ökologische Ziel“ dürfte allerdings auch bis 2020 massiv verfehlt werden. Bezogen auf den Stand von 2000 müssen die NH_3 -Emissionen um 42%, bezogen auf 2020 um 36% vermindert werden.

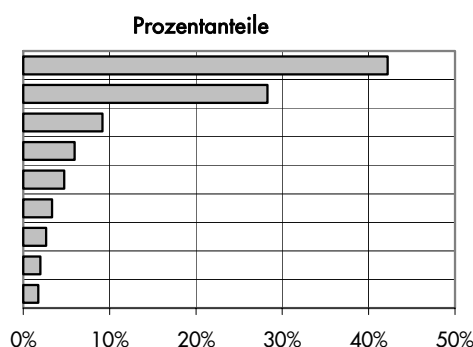
Eine entscheidende Einflussgrösse für die NH_3 -Emissionen stellt die landwirtschaftliche *Nutztierhaltung*, insbesondere die Zahl der Rinder und Schweine dar. Der in der Figur dargestellte Rückgang der NH_3 -Emissionen zwischen 1990 und 2000 ist *weitgehend auf den Rückgang der Tierzahlen* bei Rindvieh und Schweinen - den Tierkategorien mit den höchsten Emissionen - zurückzuführen.

Die Prognose der zukünftigen Entwicklung der Tierzahlen ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Bei den vorliegenden ersten Schätzungen der Emissionen bis 2020 wurde davon ausgegangen, dass die Milch- und Fleischproduktionsmenge erhalten bleibt, der Bestand an Schweinen und Milchkühen aufgrund der Leistungssteigerung durch Zuchtfortschritte jedoch abnehmen wird. Bei der Mutterkuhhaltung, bei Mastgeflügel und Pferden wird von einer Zunahme ausgegangen, während bei den übrigen Tierkategorien keine wesentliche Änderung erwartet wird (vgl. dazu Anhang 6). Zusätzlich wurde davon ausgegangen, dass die Laufställe stark zunehmen, was bei der heute üblichen Bauweise zu einer Emissionszunahme führt. Demgegenüber wird die prog-

notizierte Zunahme der Weidedauer, die Abdeckung bei Güllelagern, welche neu errichtet werden, und die zunehmende Umstellung auf emissionsarme Ausbringtechniken zur Emissionsminderung beitragen (vgl. Anhang 6). Diese gegenläufigen Entwicklungen *kompensieren sich in Bezug auf die Ammoniakemissionen zum grossen Teil*. Ohne zusätzliche Anstrengungen ist zwischen 2000 und 2020 nur die in der Figur dargestellte vergleichsweise geringfügige Abnahme der NH₃ - Emissionen zu erwarten.

4.6.3 NH₃-Emissionen 2020 nach Verursacherkategorien (angegeben als Stickstoff, N)

Verursacherkategorie	kt N/a
Ausbringung Hofdünger	17.1
Ställe, Lauhöfe	11.4
Lagerung Hofdünger	3.7
Landwirtschaftliche Nutzflächen	2.4
Ausbringen Mineraldünger	1.9
Industrie, Gewerbe, Haushalte	1.3
Weidegang	1.1
Motorisierter Verkehr	0.8
Natürliche Quellen	0.7
<i>Total (ohne natürliche Quellen)</i>	39.7
<i>Emissionsziel (ohne nat. Quellen)</i>	26



Legende:

kt N/a

Industrie, Gewerbe und Haushaltungen

Kilotonnen Stickstoff aus NH₃-Emissionen pro Jahr („Ammoniak-Stickstoff“). Die Emissionen dieser Verursacherkategorie stammen zu 60% (Stand 1990) bis 70% (Stand 2000) aus Kehrreichtdeponien und sind bis 2020 stark rückläufig (Deponieverbot).

Kommentar:

Die vorliegende Bilanz bezieht sich *ausschliesslich auf den in Form von NH₃ ausgestossenen Stickstoff (Ammoniak-Stickstoff)*. Zu diesen Emissionen kommt der Stickstoff hinzu, der in oxidierter Form (nämlich als NO_x) in die Atmosphäre gelangt. Mit rund 40 kt N/a Ammoniakstickstoff im Vergleich zu den 22 kt N/a oxidiertem Stickstoff (entsprechend 71 kt NO_x/a; vgl. Abschnitt 4.3.2) machen die N-Emissionen des Ammoniak-Stickstoffs *knapp das Doppelte des oxidierten Stickstoffs* aus.

Bemerkenswert ist im weiteren der *verschwindend kleine Anteil* von Ammoniak-Stickstoff, der von *natürlichen Quellen* stammt (Wälder, Wildtiere, etc.): Sein Anteil am 2020 gesamthaft in die Luft gelangenden Ammoniak-Stickstoffs ist kleiner als 2%.

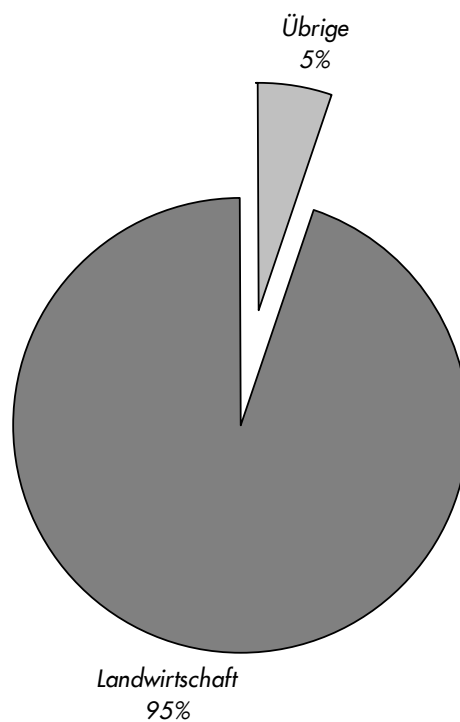
Die Hauptverursacher der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen sind die Kategorien Hofdüngerausbringung, Ställe und Hofdüngelagerung. Für die Beurteilung von Massnahmen in der Tierhaltung und Hofdüngewirtschaft ist eine zusätzliche Einteilung in Nutztiergattungen sinnvoll. Für gewisse Tierarten sind nämlich Reduktionsmöglichkeiten z.B. bei der Tierhaltung etabliert, bei anderen noch nicht. Zudem unterscheiden sich tierische Exkremente beträchtlich bezüglich ihres Gehalts an flüchtigem Stickstoff (vgl. Anhang 6).

4.6.4 Ökologisches Ziel für NH₃-Emissionen

Das Emissionsziel der Schweiz für NH₃ orientiert sich an der begrenzten Belastbarkeit der nicht-landwirtschaftlichen Ökosysteme für Stickstoffeinträge aus der Luft. Von besonderer praktischer und wirtschaftlicher Bedeutung ist dabei die Tatsache, dass Wälder zu diesen empfindlichen Systemen gehören. Besonders empfindlich reagieren aber auch Hochmoore und Magerwiesen. Schäden sind dort zu erwarten, wo es zu Überschreitungen einer kritischen Schranke des Eintrags von Stickstoff aus der Luft kommt („critical load“).

Die Gesamtstickstoffeinträge in die Umwelt setzen sich aus den Einträgen von Ammoniakstickstoff, NH₃ (= reduzierte Form von N) und oxidiertem Stickstoff NO_x zusammen. Die erforderliche Reduktion des oxidierten Stickstoffs wurde bereits bei den NO_x-Zielen berücksichtigt. Im gesamtschweizerischen Mittel macht der Ammoniakstickstoff etwa 65% der gesamten Stickstoffeinträge aus. Die Festlegung des ökologischen Ziels für NH₃ erfolgte unter der Voraussetzung, dass das ökologische Ziel für NO_x erreicht wird.

NH₃-Anteile 2020: Zusammenfassung

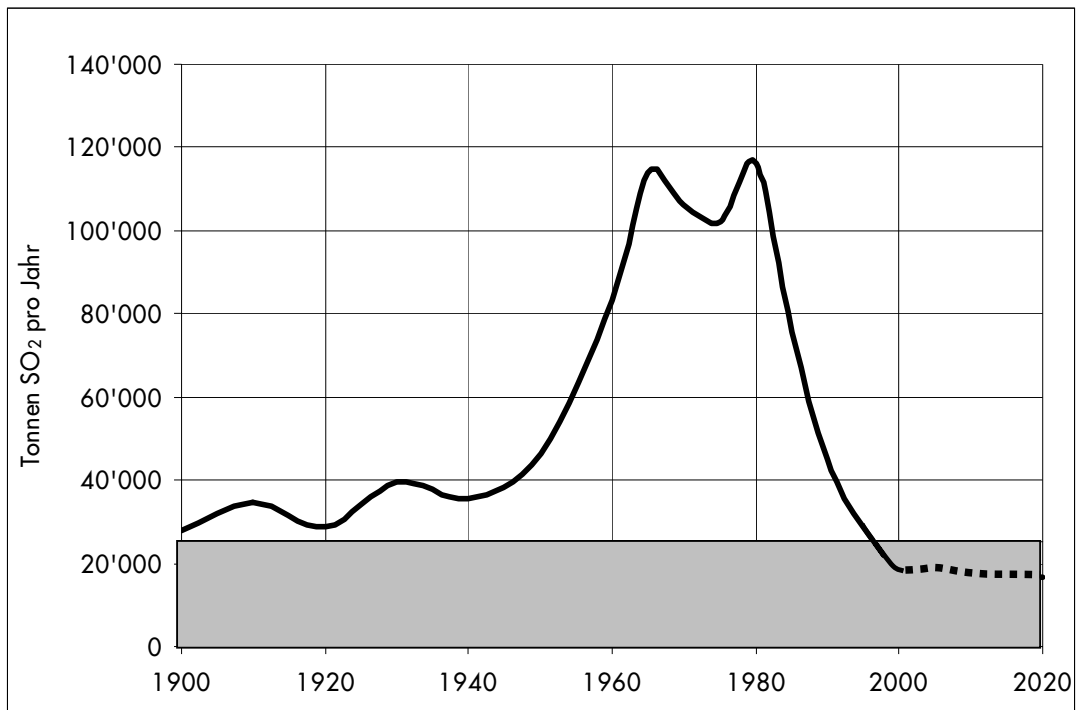


Kommentar:

Auch 2020 ist die Landwirtschaft die bei weitem wichtigste Emissionsquelle von Ammoniakstickstoff (respektive NH₃).

4.7 Ergänzung Schwefeldioxid SO_2 : Emissionsentwicklung bis 2020

Emissionsentwicklung bis 2020



Legende

Grau schattiert „Ökologisches Ziel“ : Bereich innerhalb dessen die Totalemissionen nach heutigem Kenntnisstand liegen müssten, damit die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung und die "critical loads" für Säureeinträge eingehalten werden können (ca. 25'000 Tonnen SO_2 pro Jahr). Dieses Ziel ist vorgegeben durch die zur Vermeidung der Versauerung noch tolerierbare Belastung unserer Böden (eine Vorgabe, die deutlich strenger ist als die Vorgabe der Einhaltung des Grenzwerts der Luftreinhalte-Verordnung für die Konzentration von SO_2 in der Atemluft).

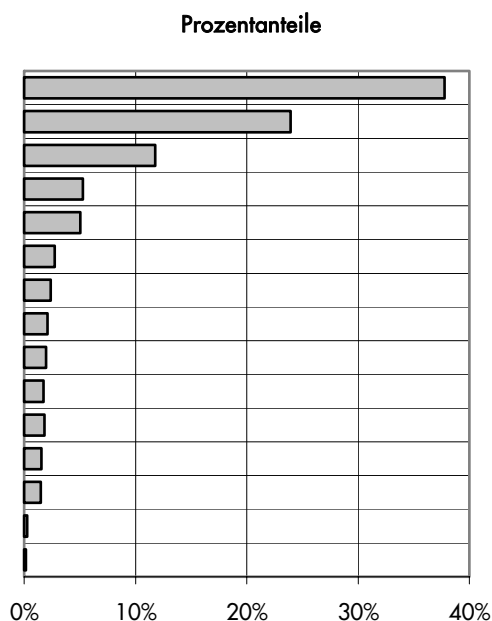
Kommentar:

Die Massnahmen zur Verminderungen der Emissionen von SO_2 haben dazu geführt, dass das ökologische Ziel bereits eingehalten ist. Weitere Massnahmen sind im Rahmen der Vorsorge sinnvoll, damit die Belastung so gering wie möglich gehalten werden kann.

4.8 Ergänzung: Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen und CO₂-Ausstoss 2020

4.8.1 Brenn- und Treibstoffverbraucher 2020

Verursacherkategorie	TJ/a
Heizungen fossil	223'006
<i>PW (inkl. Motorräder)</i>	141'420
Industriefeuerungen fossil	69'603
<i>Schwere Nutzfahrzeuge und Busse</i>	31'230
<i>Flugverkehr inkl. Überflüge</i>	29'709
<i>Lieferwagen</i>	16'178
Steine/Erden	14'136
Heizungen Holz	12'359
<i>Maschinen Industrie und Gewerbe</i>	11'556
Raffinerien	10'250
<i>Maschinen Land- und Forstw.</i>	10'672
WKK	9'170
Industriefeuerungen (Biomasse)	8'808
Grastrocknung	1'497
Eisen und Stahl	946
Total	590'540



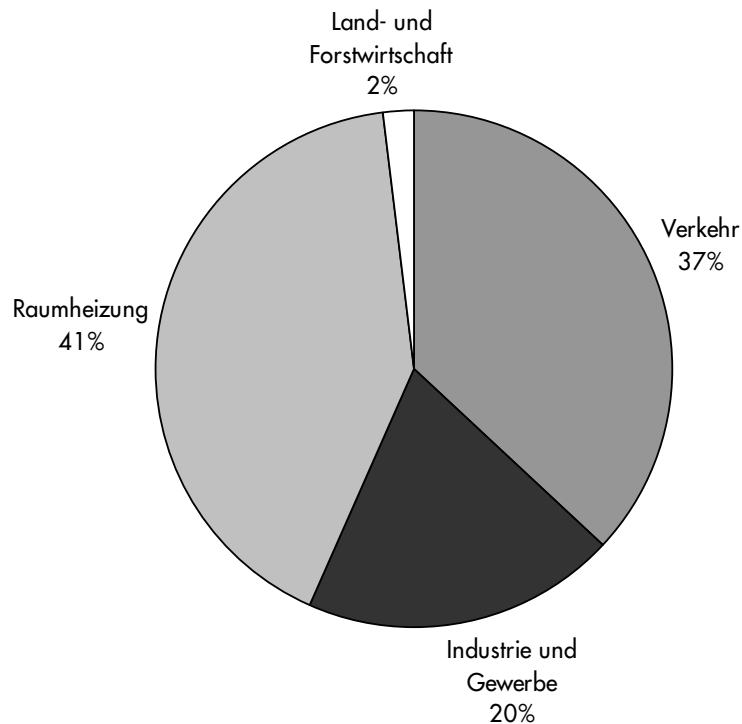
Legende

Kursiv: Treibstoffverbraucher. Übrige: Brennstoffverbraucher.

TJ/a	Brenn- und Treibstoffverbrauch in Terajoule pro Jahr
PW	Personenwagen
Flugverkehr inkl. Überflüge	Starts und Landungen in der Schweiz plus Überflüge über das Territorium der Schweiz
Steine/Erden	Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.
WKK	Anlagen mit Wärme-Kraft Kopplung

Ein direkter Vergleich mit den Zielen der Klimapolitik ist nicht möglich, da die vorliegenden Zahlen auf der Grundlage des Territorialprinzips berechnet sind.

Treib- und Brennstoffverbraucher 2020: Übersicht



Kommentar

2020 wird die Verursachergruppe der Heizungen und die Verursachergruppe Verkehr gleichviel Brenn- und Treibstoffe verbrauchen und zusammengenommen etwa 80% des schweizerischen Energieverbrauchs ausmachen.

4.8.2 CO₂-Ausstoss der Schweiz

Zwischen Luftreinhaltung und Klimaschutz bestehen ausgeprägte *Synergien*. Werden aus Gründen der Luftreinhaltung fossile Brenn- und Treibstoffe eingespart, entstehen automatisch auch Einsparungen bei den CO₂-Emissionen der Schweiz. Diese tragen zur Verbesserung der schweizerischen Klimabilanz bei, wie sie Kyoto-Abkommen und das CO₂-Gesetz verlangen.

Es gibt aber auch *Einschränkung* dieser Synergiepotentiale. So wirkt sich der Verbrauch von erneuerbarer Energie zwar günstig auf die CO₂-Bilanz der Schweiz aus, kann aber aus Sicht der Luftreinhaltung auch Probleme verursachen: Holzheizungen ohne Staubfilter verursachen zum Beispiel zur Zeit nicht unbedeutliche PM10-Emissionen. Oder motorentechnische Verbesserungen zur Verminderung des Treibstoffverbrauchs können die Emissionen von NO_x erhöhen.

Ein absoluter Vergleich zwischen den Brenn- und Treibstoffbilanzen der Luftreinhaltung und denjenigen der Klimabilanzen ist nicht möglich, weil die Luftreinhaltung ihre Bilanzen auf der Grundlage des sogenannten *Territorialprinzips* aufstellt: Aus Sicht der Luftreinhaltung müssen diejenigen Emissionen berücksichtigt werden, die auf oder über dem Territorium der Schweiz entstehen (analog auch bei den Verbräuchen an Brenn- und Treibstoffen). Demgegenüber verlangen die Klimabilanzen die Berücksichtigung des Absatzes von fossilen Brenn- und Treibstoffen (Absatzprinzip).

5 *Bewertungskriterien von Massnahmen: Zieleffizienz*

5.1 *Einleitung*

Im vorliegenden Kapitel geht es darum, Bewertungskriterien zur Beurteilung neuer Massnahmen zu entwickeln. Im Rahmen dieser Fragestellung wird untersucht, wie sich das Verhältnis zwischen Effektivität und Effizienz einer Massnahme aus Sicht des Umweltschutzgesetzes (USG) interpretieren lässt. Aus diesen Überlegungen resultieren schliesslich Bewertungsprinzipien von Massnahmen, die unter dem Begriff „Zieleffizienz“ zusammengefasst werden.

5.2 *Effektivität und Effizienz*

Die *Effektivität* einer Massnahme bezeichnet ihre *Wirkungskraft*, ihren absoluten Erfolg: Die Untersuchung der Effektivität einer Massnahme beantwortet also die Frage: Welchen Ertrag liefert eine Massnahme ?

Die *Effizienz* einer Massnahme bezeichnet ihre *Wirksamkeit*: Die Bewertung einer Massnahme in Hinsicht auf die Effizienz gibt also Antwort auf die Frage: In welchem Verhältnis stehen Aufwand und Ertrag einer Massnahme ?

Das Zweistufenprinzip der schweizerischen Umweltgesetzgebung liefert klare Vorgaben für die Beurteilung von Massnahmen bezüglich Effizienz und Effektivität:

Das *Vorsorgeprinzip* des Umweltschutzgesetzes (USG Art 11, Abs. 2) verlangt, dass Emissionen unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung so weit zu begrenzen sind „als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist“. Vorsorgliche Massnahmen zeichnen sich also dadurch aus, dass sie ein aus Sicht von Technik und Kosten angemessenes Verhältnis zwischen Aufwand und Wirkung besitzen (*Primat der Effizienz*).

Erst wenn verschärfte Emissionsbegrenzungen notwendig werden, können auch Massnahmen verlangt werden, die ein nicht optimales Verhältnis von Aufwand und Ertrag besitzen (USG, Art. 11, Abs. 3; *Primat der Effektivität*). Es ist lediglich nachzuweisen, dass die vorgesehenen Massnahmen wesentlich oder merkbar zur Verbesserung einer schädlichen oder lästigen Luftbelastung beitragen.

5.3 Zieleffizienz

5.3.1 Problemstellung

Da sich Luftschadstoffe über grosse Gebiete ausbreiten und nicht in Quellnähe verbleiben, kommen örtlich beobachtete Grenzwertüberschreitungen oft durch Zusammenwirken der Emissionen aus mehreren Quellen zustande (in der Regel von Verkehrsanlagen in Kombination mit stationären Anlagen). Die Luftreinhalte - Verordnung (LRV) verlangt in diesen Fällen die Erstellung eines Massnahmenplans (Art. 31 ff LRV). In diesem sind Angaben zu den Emissionsbeiträgen der einzelnen Verursacher sowie eine Beschreibung der Massnahmen und ihrer Wirkung gefordert.

Die Beurteilung von Effektivität und Effizienz von Massnahmen verlangt definitionsgemäss quantitative Kenntnisse der Wirkung, respektive der Ursache - Wirkungszusammenhänge.

Im Rahmen der Erarbeitung der kantonalen Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung erwiesen sich die Zusammenhänge zwischen Massnahmen und Wirkung oft als so komplex, dass quantitative Aussagen nicht mehr möglich waren. Dies zeigte sich in besonderem Masse bei nichtstationären Anlagen, wo Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung in enger Wechselwirkung mit Raum- und Verkehrsplanung stehen.

Die folgenden Beispiele machen diese Problematik deutlich:

Beispiel 1: Zuordnung von Ursache und Wirkung (Effektivität)

Seit etwa 1993 wird in Zentren grösserer Agglomerationen ein vermindertes Wachstum des motorisierten Individualverkehrs (MIV) gemessen. Ist dies die Folge:

1. eines veränderten *Problembewusstseins* der Bevölkerung ?
2. eines verbesserten *öV - Angebots* ?
3. der verminderten Zahl der *Parkplätze* in den Zentren ?
4. der *verstopften Strassen* und des damit verbundenen *Stresses* der Autofahrenden ?
5. eines Nullwachstums der *Wirtschaft* in den Zentren ?

Sehr wahrscheinlich ist die Entwicklung des Verkehrsaufkommens eine Folge des Zusammenwirkens vieler Einzelfaktoren und kann nicht einer Ursache, respektive Massnahme zugeordnet werden. Zum Beispiel könnte aufgrund eines veränderten Problembewusstseins der Bevölkerung zunächst das Umsteigen auf den öV zum Thema geworden sein. Und dies schuf in der Folge die Voraussetzung für den Ausbau des öV in den Agglomerationen.

Beispiel 2: Beurteilung des Aufwands für eine Massnahme (Effizienz)

Zur Koordination von Luftreinhaltung und Raumplanung bei publikumsintensiven Anlagen (z.B. Einkaufszentren) gelangen heute öfters „Fahrleistungsmodelle“ zum Einsatz. Diese legen auf Grund von Prognosen der Luftschadstoffbelastung das zulässige Wachstum der Fahrleistungen fest, bestimmen aber nicht, an welchen Orten und in welcher Grösse neue publikumsintensive Anlagen erstellt werden dürfen.

Welcher Aufwand ist, nebst den eigentlichen Planungskosten, mit der Inkraftsetzung eines Fahrleistungsmodells verbunden? Sind zum Beispiel volkswirtschaftliche Kosten durch Nichtrealisierung möglicher Projekte einzuberechnen? Oder werden solche Kosten durch die Verbesserung der Planungssicherheit für Anlagen, die innerhalb des Fahrleistungskontingents bewilligt werden, wettgemacht?

Im ersten Beispiel sind die Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkung so komplex, dass zahlenmässige Angaben zu den Kosten einer Massnahme nicht mehr möglich sind: Im zweiten Beispiel kann je nach Berechnungsannahmen von Positiv- oder Negativkosten gesprochen werden.

5.3.2 Zieleffiziente Massnahmen

Als zieleffizient werden Massnahmen bezeichnet, die in einer Gesamtbetrachtung für die Erreichung der Emissionsziele als zweckmässig und zielführend zu betrachten sind. Diese Gesamtbetrachtung geht aus von den zahlenmässig festlegbaren Kriterien (Effizienz und Effektivität), würdigt aber auch nicht zahlenmässig festlegbare, d.h. qualitative Beurteilungsgrössen und, wo angebracht, Kriterien ausserhalb des Bereichs der „reinen“ Luftreinhaltung (z.B. Klimaschutz, Arbeitsplatzhygiene). Massnahmen können also zieleffizient sein, auch wenn ein zahlenmässiger Nachweis ihrer Effizienz nicht möglich ist. Mit dieser Gesamtbetrachtung wird der in 5.3.1 beschriebenen Komplexität der Beurteilungssituation Rechnung getragen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Massnahmen dann zieleffizient sind wenn:

1. die Massnahmen genügend Effekt besitzen, um einen merkbaren Beitrag zur Verminderung der Gesamtemission zu leisten.
2. unter diesen Massnahmen diejenigen ausgewählt wurden, deren Umsetzung am wenigsten Aufwand erfordern.

Massnahmen werden zum Beispiel als *zieleffizient* gewürdigt:

- Wenn sie sowohl effektiv als auch effizient sind
- Wenn sie eine klar erkennbare Wirkung erzielen, auch wenn diese nicht direkt quantifizierbar ist
- Wenn ähnliche Massnahmen sich in anderen Massnahmenbereichen bewährt haben (Analogieschluss).

Massnahmen sind *nicht zieleffizient*

- Wenn sie nachweisbar ineffektiv sind
- Wenn der zeitliche, politische oder finanzielle Aufwand für ihre Umsetzung als unverhältnismässig beurteilt wird

6 Zieleffizienz der bisherigen Massnahmen nach Verursacherkategorien

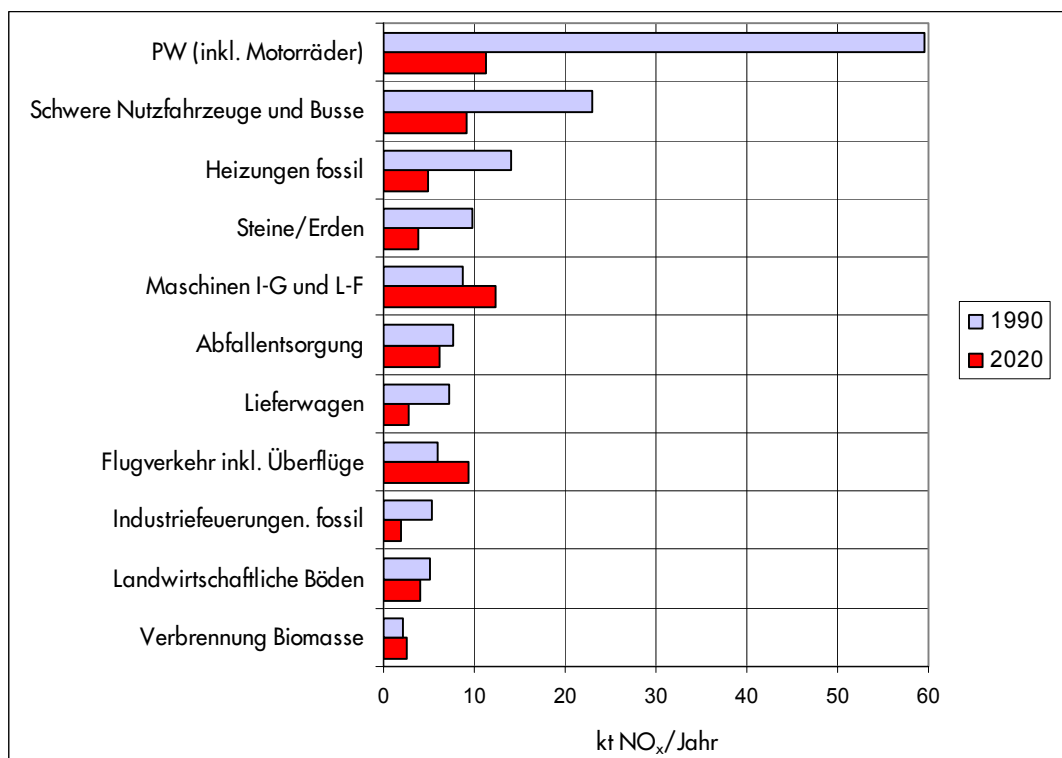
6.1 Bilanzierungszeitraum

Zum heutigen Zeitpunkt liegen keine Prognosen des Verbrauchs an Brenn- und Treibstoffen und Luftschadstoffemissionen vor, die für alle Verursacherkategorien über den Zeitpunkt 2020 hinausgehen und ein ausreichendes Mass von Detaillierung und Zuverlässigkeit besitzen. Wie die Figuren in Kapitel 4 zeigen, wäre es wünschenswert, den Anfangspunkt der Bilanzierung auf 1980, vor den Beginn der schweizerischen Luftreinhaltepolitik zu legen. Leider stehen ausreichend detaillierte Zahlen erst ab 1990 zur Verfügung. Deshalb werden im Folgenden die Emissionsveränderungen von 1990 bis 2020 beurteilt.

6.2 Verminderung der NO_x-Emissionen

6.2.1 Effektivität der Massnahmen nach Verursacherkategorie

Vergleich der Emissionen von 1990 und 2020 bei Umsetzung der bisher beschlossenen Massnahmen: Emissionen von NO_x für verschiedene Verursacherkategorien.



Legende

PW	Personenwagen
Steine/Erden	Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.
Maschinen I-G und L-F	Maschinen von Industrie, Gewerbe und Hobby plus Maschinen der Land- und Forstwirtschaft
Flugverkehr inkl. Überflüge	Emissionen, die beim Start und Landung in der Schweiz und bei Überflügen entstehen.

6.2.2 Verursacherkategorien Personenwagen, Motorräder, Lieferwagen

Effektivität

Wie 6.2.1 zeigt, sind die getroffenen und rechtskräftig beschlossenen Massnahmen im Bereich der PW bis auf 2020 hinaus *sehr effektiv* (Verminderungen um etwa 80% bezogen auf 1990).

Die Wirkung der Massnahmen ist in erster Linie auf Verbesserungen bei der Abgastechnik (Katalysator) der Benzinmotoren (Ottomotoren) zurückzuführen. Ursprünglich spielte die Schweiz bei der Einführung der Katalysatortechnik eine Vorreiterrolle, was gegenüber dem Ausland zu schnelleren Verminderungen der NO_x - Emissionen führte. Nach der Durchsetzung der Katalysatortechnik im europäischen Rahmen folgen die schweizerischen Normen den europäischen Standards. Das Potential dieser Massnahmen ist 2003 noch nicht ausgeschöpft. Auf Grund der heute schon beschlossenen EU-Normen, ist bis 2010 mit weiteren Verbesserungen zu rechnen.

Die abgastechnischen Massnahmen vermindern die spezifischen NO_x-Emissionen (NO_x-Emission pro gefahrenen Kilometer). Die NO_x-Bilanz reflektiert aber auch den zunehmenden Anteil von Personenwagen und Lieferwagen mit Dieselmotoren, die wesentlich mehr NO_x emittieren als Ottomotoren sowie die Entwicklung der pro Jahr gefahrenen Strecken (Fahrleistung). Da sich Veränderungen der Fahrleistung nicht nur auf den Ausstoss von NO_x, sondern auch auf den Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen auswirken, werden die Brenn- und Treibstoffbilanzen separat in Abschnitt 6.6 am Schluss dieses Kapitels dargestellt.

Zieleffizienz

Die Umsetzung der technischen Verbesserungen war und ist *effizient*: Die Verbesserungen der Motorentechnik erfolgen im Rahmen der Serienproduktion der Fahrzeuge und sind somit vergleichsweise kostengünstig. Als effektive und effiziente Massnahmen sind sie auch zieleffizient.

6.2.3 Verursacherkategorie Flugverkehr

Bei der Verursacherguppe Flugverkehr nehmen die Emissionen um rund 55% zu. Es wurden bisher nur vorsorgliche Massnahmen zur Emissionsbegrenzung getroffen. Wie die Figur 6.2.1 zeigt, wird damit diese Verursacherkategorie aber bis 2020 zu den *Hauptverursachern der NO_x - Emissionen der Schweiz* zählen.

Damit sind für diese Verursacherkategorie bisher noch keine zieleffizienten Massnahmen getroffen worden.

6.2.4 Verursacherkategorie schwere Nutzfahrzeuge

Effektivität

Wie 6.2.1 zeigt, werden auch bei den schweren Nutzfahrzeugen (inklusive Cars und Linienbusse) bis 2020 deutliche Verminderungen der Emissionen von NO_x erwartet (Verminderungen um ca. 65% bezogen auf 1990). Diese sind zwar prozentual kleiner als bei den PW's, sind aber immer noch *sehr effektiv*.

Zieleffizienz

Im Bereich des Nutzfahrzeuge sind technische Massnahmen an die Entwicklung der europäischen Normen gebunden. Einmal in Gang gesetzte Änderungen der Anforderung an die Typenprüfung wirken sich voraussagbar und mit vergleichsweise bescheidenen Kosten aus. Werden die technischen Massnahmen auf Herstellerseite in die Produktionsabläufe integriert sind sie effizient und damit auch zieleffizient.

6.2.5 Verursacherkategorie Heizungen fossil

Effektivität

Die bei den Haushalt- und Bürofeuerungen getroffenen und noch erwarteten Massnahmen dürften bis 2020, bezogen auf den Stand 1990, zu Emissionsverminderungen von gut 65% führen. Die getroffenen und beschlossenen Massnahmen sind demgemäss *sehr effektiv*.

Zieleffizienz

Die Verbesserung der Emissionen geschieht in erster Linie durch Ersatz von amortisierten Feuerungen durch solche mit verbesserter Technologie und führt damit zu vergleichsweise geringen Mehrkosten. Anfangs der Neunzigerjahre wurde als Folge der Verschärfung der Luftreinhalteverordnung (LRV 92) in vielen Kantonen eine beschleunigte Umrüstung der Heizungen durchgeführt, welche zu einer sehr schnellen Verbesserung führte und die mit grösseren Kosten verbunden war. Dieses Vorgehen rechtfertigte sich durch die Tatsache, dass zu diesem Zeitpunkt noch sehr viele technisch veraltete und abgeschriebene Heizungsanlagen in Gebrauch waren. Die Massnahmen bei den Heizungen waren und sind aus diesen Gründen effizient und deshalb auch zieleffizient.

6.2.6 Verursacherkategorie Steine und Erden; Verursacherkategorie Industriefeuerungen

Effektivität

Die getroffenen Massnahmen führten zu einer Emissionsverminderung von gut 60%. Sie waren somit *sehr effektiv*.

Die Umsetzung der Massnahmen ist weitgehend abgeschlossen. Ein wichtiger Aspekt der heutigen Vollzugsanstrengungen ist die Überwachung der bestehenden Anlagen und ihre kontinuierliche Verbesserung. Diese erfolgt zum Teil in enger Zusammenarbeit mit den betroffenen Branchen (Vereinbarungen).

Zieleffizienz

Ein erster Investitionsschub wurde durch die vorsorglichen Grenzwerte der Luftreinhalte Verordnung von 1985 ausgelöst. Die Umrüstungen im Rahmen des Vorsorgeprinzips waren definitionsgemäss effizient (Vorsorge = Primat der Effizienz; vgl. 5.2) und also auch zieleffizient.

Da diese Verursacherkategorie wesentlich zu den Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte – Verordnung beitrug, verlangte eine Anzahl von kantonalen Massnahmenplänen zur Luftreinhaltung Verschärfungen der Anforderungen an die Emissionsverminderung. Massnahmen technischer Art wie Rauchgasreinigung wurden ergänzt durch Substituierung von Brennstoffen: Heizöl Schwer wurde zum Beispiel in grossem Umfang durch Erdgas und Heizöl EL ersetzt. Die Effektivität der getroffenen Massnahmen führte zu sofortigen Verbesserungen der örtlichen Luftqualität. Deshalb rechtfertigten sich ihre zum Teil beträchtlichen Kosten. Auch die lokalen Massnahmen können somit als zieleffizient beurteilt werden.

6.2.7 Verursacherkategorien Maschinen Industrie und Gewerbe, Land- und Forstwirtschaft

Bei dieser Verursacherkategorie nehmen die Emissionen im Vergleich zu 1990 um gut 40% zu. Wie die Figur 6.2.1 zeigt, wird diese Verursacherkategorien bis 2020 zu den *Hauptverursachern der NO_x - Belastung* der Schweiz zählen.

Damit sind für diese Verursacherkategorien bisher noch zu wenig zieleffiziente Massnahmen getroffen worden.

6.2.8 Verursacherkategorie Abfallentsorgung

Effektivität

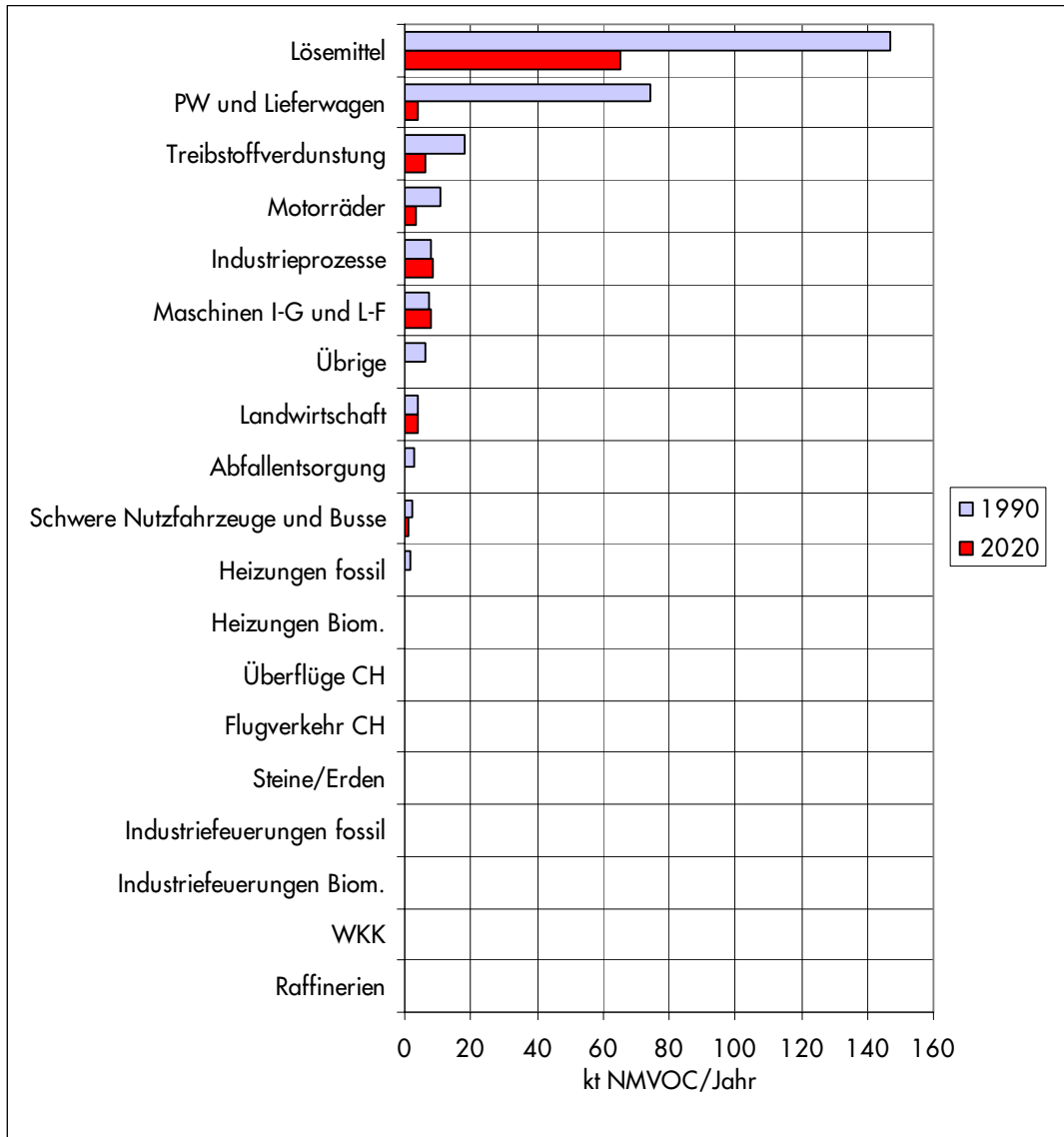
Die Massnahmen dürften bis 2020 Emissionsverminderungen von knapp 20% zur Folge haben. Im Hinblick darauf, dass sich die Kapazität der schweizerischen Abfallverbrennungsanlagen seit 1990 deutlich vergrössert hat (Deponieverbot von brennbaren Abfällen und Verbrennungspflicht ab 2000 gemäss TVA, Art. 11) waren die Massnahmen *effektiv*.

Zieleffizienz

Die beträchtlichen Kosten der Umrüstung von KVA's machen die Effizienz der getroffenen Umrüstungsmassnahmen kleiner als für die vorherigen Verursacherkategorien. Die für Entstickung der Abluft verwendete Technik stellt aber bei den heutigen Anlagen Teil eines Systems zum Abbau von Dioxinen und Furanen dar, einer Kategorie von Umweltgiften, die nach der Deposition auf den Böden in die Nahrungsketten gelangen. In dieser Gesamtsicht erweist sich die Massnahme als effizient und damit auch als zieleffizient.

6.3 Verminderung der NMVOC – Emissionen

6.3.1 Effektivität der Massnahmen nach Verursacherkategorie



Legende

PW	Personenwagen
Treibstoffverdunstung	Umschlag von Treibstoffen, Verdunstung aus Tanks
Maschinen I-G und L-F	Maschinen von Industrie und Gewerbe plus Land- und Forstwirtschaft inklusive Verursacherkategorie Hobby
Steine/Erden	Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.
WKK	Anlagen mit Wärme-Kraft Kopplung

6.3.2 Verursacherkategorie Emissionen von Lösemitteln

Effektivität

Bis 2020 kann gegenüber 1990 mit einer Verminderung der Emissionen von gut 50% gerechnet werden. Die getroffenen Massnahmen entfalten ihre Hauptwirkung bei der Verminderung der gefassten, messtechnisch bestimmaren Abluftströme von Industrie- und grösseren Gewerbebetrieben, sowie durch Substitution von lösemittelhaltigen Produkten. Zur Sicherstellung der Einhaltung der Grenzwerte ist auf Seiten der Kantone und der Betriebe ein beträchtlicher Vollzugs- und Messaufwand notwendig. Unter diesen Bedingungen sind die Massnahmen *effektiv*.

Zieleffizienz

Ein erster Investitionsschub wurde durch die vorsorglichen Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung von 1985 ausgelöst. Die Umrüstungen im Rahmen des Vorsorgeprinzips standen (definitionsgemäss vgl. 5.2) unter dem Primat der Effizienz. Im Rahmen der kantonalen Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung wurden in den Neunzigerjahren gewisse Verschärfungen eingeführt. Diese Anstrengungen der Kantone sind bezüglich der gefassten Quellen als *zieleffizient* zu bezeichnen.

*Mit der VOC-Abgabe werden spezifisch die schwer erfassbaren diffusen NMVOC-Emissionen vermindert. Im Bereich der Massnahmen zur Vermeidung diffuser Emissionen stellen ökonomische Massnahmen (Steuern oder Abgaben) das effektivste Mittel dar. Um die volkswirtschaftlichen Kosten zu minimieren, ist die VOC-Abgabe zudem nicht als Steuer konzipiert, sondern wird an die Bevölkerung zurückerstattet. Aus diesen Gründen ist sie *zieleffizient*.*

6.3.3 Verursacherkategorie PW und Verursacherkategorie Lieferwagen

Effektivität

Die getroffenen und beschlossenen Massnahmen sind bei den Personenwagen *ausserordentlich effektiv*. Bis 2020 ist mit einer Verminderung der NMVOC-Emissionen um über 90% zu rechnen.

Zieleffizienz

Die europäischen Normen erzwingen kontinuierliche Verbesserungen der Motorentechnik bei den Personenwagen. In den vorliegenden Zahlen sind die Normen bis 2007 berücksichtigt – bis 2020 dürften weitere Verschärfungen erfolgen. Diese Verbesserungen erfolgen bei der Zulassung von Neufahrzeugen, d.h. ohne Nachrüstungen von älteren Fahrzeugen (zur Entwicklung der Zusammensetzung des schweizerischen PW - Bestands vgl. BUWAL, Schriftenreihe Umwelt Nr. 355, zum Beispiel Figur 3). Sie sind deshalb kostengünstig und im Hinblick auf ihre ausserordentlich grosse Wirkung auch *sehr zieleffizient*.

6.3.4 Verursacherkategorie Verdunstungen (Treibstoffe)

Effektivität

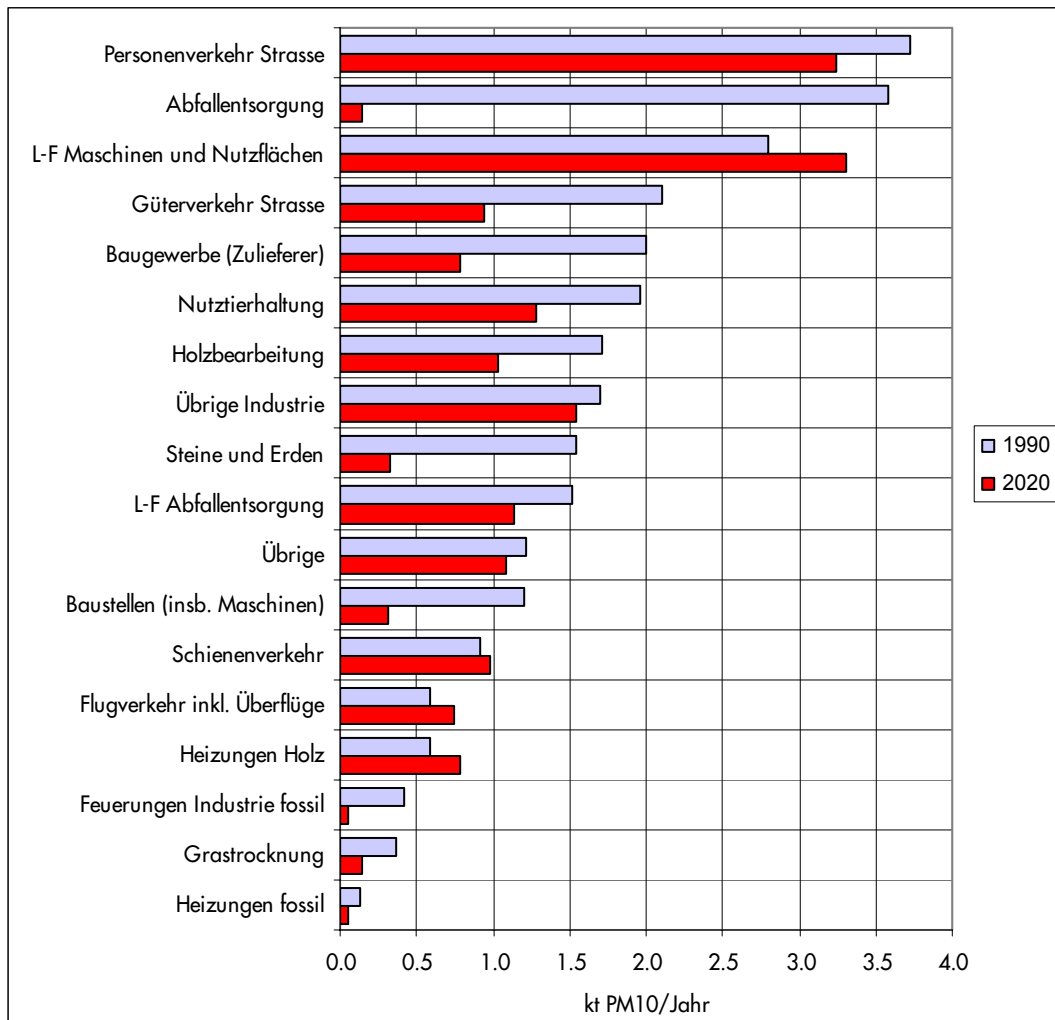
Die Massnahmen resultierten in einer Verminderung der Verdunstungsverluste (Treibstoffumschlag, Tankatmung) auf ca. 30%. Sie hatten ihren Haupteffekt in den Neunzigerjahren und sind heute weitgehend umgesetzt. Die Nachprüfung der Funktionsfähigkeit der Anlagen zur NMVOC-Rückgewinnung beim Treibstoffumschlag hat allerdings ergeben, dass gegenwärtig erhebliche technische Mängel bestehen, die sich mit wenig Aufwand beseitigen lassen. Unter der Voraussetzung, dass diese Defizite – als Folge von vermehrten Nachkontrollen der kantonalen Vollzugsstellen – behoben werden, waren die Massnahmen *effektiv*.

Zieleffizienz

Verdunstungsverluste entstehen vor allem beim Umschlag flüchtiger Kohlenwasserstoffe, insbesondere beim Umschlag von Motorenbenzin bei Tankstellen. Die erforderlichen Umbauten der Tankstellen erforderten beträchtliche Investitionen. Die freiwerdenden Treibstoffdämpfe enthalten aber unter anderem das krebserzeugende Benzol. Die Massnahmen kommen zudem nicht nur der Luftreinhaltung zugute, sondern erlauben auch die Verminderung der Belastung der Arbeitnehmer. Da der Aufwand für Unterhalt und Kontrolle der Anlagen aber vergleichsweise bescheiden ist, kann die Massnahme aus mittelfristiger Sicht als effizient und damit auch als zieleffizient bezeichnet werden.

6.4 Verminderung der PM10-Emissionen

6.4.1 Übersicht über die Effektivität der Massnahmen nach Verursacherkategorie



Legende

Personenverkehr Strasse	Personenwagen, Cars, öV-Busse und Motorräder
L-F Maschinen und Nutzflächen	Maschinen und Geräte der Land- und Forstwirtschaft plus Emissionen, welche bei der Bearbeitung von Nutzflächen entstehen
Güterverkehr Strasse	Schwere Nutzfahrzeuge und Lieferwagen
Übrige Industrie	Industriefeuerungen Holz, Stahlwerke, übrige Metallindustrie
Steine/Erden	Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.
Übrige	Schifffahrt, Lebensmittelproduktion, Hobby etc.
Flugverkehr inkl. Überflüge	Emissionen, die bei Start und Landung in der Schweiz und bei Überflügen der Schweiz entstehen.

6.4.2 Verursacherkategorie Abfallentsorgung

Effektivität

Die grossen Aufwendungen zur Abgasnachbehandlung bei KVA's haben sich in *massiven Verminderungen* der Emissionen von Stäuben niedergeschlagen. Bezogen auf 1990 betrug die Verminderungen gut 95%. Die getroffenen Massnahmen waren somit *äusserst effektiv*.

Zieleffizienz

Die Abgasnachbehandlung bei den Anlagen der Abfallentsorgung hat seit 1980 eine gewaltige technische Entwicklung erfahren, die auch nach 1990 noch im Gange war. In der ersten Entwicklungsphase standen Entstaubungsanlagen und die Abgaswäscher im Vordergrund, deren Aufgabe unter anderem auch in der Verminderung der Emissionen der im Abfall vorhandenen Schwermetalle bestand.

Angesichts der Tatsache, dass Entstaubungsanlagen auch einen grossen Teil der Schwermetallemissionen aus den Abgasen entfernen waren die Massnahmen trotz der sehr beträchtlichen Kosten der Nachreinigungsanlagen effizient und somit auch zieleffizient.

6.4.3 Verursacherkategorie Personenverkehr Strasse

Effektivität

Für den Fall der PM10-Bilanzen umfasst diese Verursacherguppe im Unterschied zu den übrigen Schadstoffbilanzen neben den PW auch Cars und die Busse des öffentlichen Verkehrs. Die PM10 - Emissionen dieser Verursacherkategorie werden sich bis 2020 gegenüber 1990 lediglich um gut 10% vermindert haben. Dies ist die Folge des bis 2020 massiv ansteigenden Anteils von PW mit Dieselmotoren, welche auf dem heutigen Stand der Abgasvorschriften pro gefahrene Strecke wesentlich mehr Partikel ausstossen als Benzinfahrzeuge (Ottomotoren). In der *Gesamtsicht* sind die Massnahmen wegen des massiv wachsenden Anteils der Dieselfahrzeuge *nicht effektiv*.

Der Anteil der mechanisch produzierten PM10 (Bremsabrieb, Aufwirbelung von Strassenstaub) an den Gesamtemissionen des PW-Verkehrs ist nach heutigem Wissenstand signifikant. Effektive Verminderungsmassnahmen sind zur Zeit nicht bekannt. Sie dürften in Zukunft jedoch eine wichtige Rolle spielen.

Zieleffizienz (motor- und abgasseitige Massnahmen)

In der Gesamtsicht sind die bisher getroffenen und beschlossenen Massnahmen nicht effektiv und deshalb *nicht zieleffizient*. Dies gilt in verstärkter Masse wegen des Krebsrisikos, das von Dieselpartikeln ausgeht (s. unten). Allerdings präsentiert sich die Situation für Benzin- und Dieselfahrzeuge sehr unterschiedlich.

Benzinfahrzeuge: Die Verminderung der PM10-Emissionen der *Otto-Motoren* ist die Folge von Verbesserungen der Motorentechnik seit etwa 1980. Zentral für die Verbesserungen waren einerseits der Verzicht auf verbleites Benzin und andererseits Schmiersysteme, die den Anteil von Schmierölen und deren Verbrennungsprodukten in den Abgasen drastisch verminderten. Diese Massnahmen stellten ganz oder teilweise eine Voraussetzung für die Funktion der Abgaskatalysatoren dar. Der Verzicht auf Verbleiung des Benzins war aber auch eine wichtige Umweltschutzmassnahme zur Vermeidung der weiteren Bleibelastung der Böden, die entlang viel befahrener Strassen ein alarmierendes Ausmass angenommen hatte. Die Verminderung der Schmierstoffanteile in den Abgasen trug bei zu der massiven Verminderung der NMVOC- Emissionen der PW.

Allein schon wegen der geschilderten Synergien waren die Massnahmen bei den Ottomotoren für sich betrachtet zieleffizient.

Dieselfahrzeuge: Gegenüber den Benzinfahrzeugen bedeuten Dieselfahrzeuge aus Sicht der Verminderung der PM10-Belastung der Luft einen *Rückschritt*, solange sie nicht mit Partikelfiltern oder ähnlich wirksamen Abgasreinigungssystemen ausgerüstet sind. Dieseleruss ist Krebs erregend und enthält eine grosse Anzahl ultrafeiner Partikel, welche tief in die Lungen eindringen. So lassen sich bei der Nachreinigung der Abgase eines Dieselmotors mit den heute gebräuchlichen Partikelfiltersystemen, wie sie zum Teil bei Baumaschinen, Bussen und vereinzelt bei PW's eingesetzt werden, praktisch alle Krebs erzeugenden Dieseleruss-Partikel aus dem Abgas entfernen.

6.4.4 Verursacherkategorie land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen inkl. Maschinen und Geräte

Effektivität und Zieleffizienz

Die Emissionen setzen sich zusammen aus Motorenemissionen und mechanisch bei der Bearbeitung von Nutzflächen produzierten Stäuben. Die prognostizierte Emissionsentwicklung bis 2020 (bezogen auf 1990 Zunahme um knapp 20%) widerspiegelt die Tatsache, dass bis heute kaum Massnahmen zur Verminderung vorgesehen wurden und die Fahrzeuge immer leistungsfähiger werden. Bei den Auspuffemissionen wären solche Massnahmen analog zu den übrigen Off-Road-Maschinen technisch ohne weiteres möglich.

Für diese Verursacherkategorien sind bisher noch keine zieleffizienten Massnahmen getroffen worden.

6.4.5 Verursacherkategorie Güterverkehr Strasse (Schwere Nutzfahrzeuge plus Lieferwagen)

Effektivität

Die Fahrzeuge dieser Verursacherkategorie (umfassen neben den schweren Nutzfahrzeugen auch die Lieferwagen) sind in der Regel dieselgetrieben (Schwere Nutzfahrzeuge) respektive weisen deutlich steigende Anteile von Dieselfahrzeugen auf (Lieferwagen). Die Motoremissionen von PM10 sind bei dieser Fahrzeugkategorie massiv grösser als bei den Benzinfahrzeugen und besitzen unter anderem auch Krebs erregende Wirkung. Von entsprechender hoher Bedeutung sind die Massnahmen zur Verminderung der Motoremissionen. Bis 2020 ist auf der Basis der heute wirksamen und beschlossenen Massnahmen mit einer Abnahme der Gesamtemissionen um gut 50% zu rechnen. Diese Massnahmen sind somit (bezogen auf die Masse der Partikel) *effektiv*.

Bei den Abrieb- und Aufwirbelungsemissionen pro Fahrzeug spielen vermutlich die unterschiedlichen mittleren Gewichte der Fahrzeugkategorien PW und Strassengüterverkehr eine Rolle: schwerere Fahrzeuge verursachen pro gefahrene Strecke mehr Abrieb/Aufwirbelung als leichtere. Gesicherte zahlenmässige Angaben zur Beurteilung von Massnahmen liegen heute nicht vor.

Zieleffizienz (motor- und abgasseitige Massnahmen)

Von den bis 2020 erwarteten Verbesserungen ist gegenwärtig noch vergleichsweise wenig zu spüren, da die erste deutliche Verminderung erst bei Fahrzeugen ab Jahrgang 1997 Vorschrift wurde (Euro -2-Norm) und die mittlere Lebensdauer dieser Fahrzeuge wesentlich höher ist als diejenige der PW. Die für 2020 erwartete Verbesserung dürfte sich aus diesem Grunde schwerwichtig nach 2010 bemerkbar machen.

Da die Umsetzung der Normen Euro-4 und -5 für Dieselmotoren voraussichtlich durch motorenseitige Massnahmen - also ohne Einsatz von Partikelfiltern - möglich ist, stellt sich bei der Beurteilung der Zieleffizienz der Massnahmen das analoge Problem wie bei den Personenwagen: es muss einbezogen werden, dass ein Teil der Partikelemissionen (Dieselrusspartikel oder EC - Partikel) *Krebs erregend* sind. Darunter sind eine grosse Anzahl ultrafeiner Partikel, welche tief in die Lungen eindringen, aber kaum zur PM10-Masse beitragen und durch motorenseitige Massnahmen nicht vermindert werden. (Bei der Nachreinigung der Abgase eines Dieselmotors mit den heute gebräuchlichen Partikelfiltersystemen, wie sie erst zum Teil bei Baumaschinen und Bussen und vereinzelt bei PW's eingesetzt werden, lassen sich praktisch alle Krebs erzeugenden Dieselruss-Partikel aus dem Abgas entfernen).

Die bisher bei den Dieselfahrzeugen des Nutzverkehrs getroffenen Massnahmen sind in Hinblick auf die Verminderung der Masse der Feinstäube zieleffizient. In einer Gesamtschau können sie, mit Rücksicht auf die bisher nur beschränkte Wirkung von Massnahmen gegen den Dieselruss, nur als *beschränkt zieleffizient* beurteilt werden.

6.4.6 Verursacherkategorie Baugewerbe (Zulieferer)

Diese Kategorie umfasst zum Beispiel Produktionsbetriebe für Faserplatten, Steinwolle, Strassenbeläge oder Mischgut, welche PM10 via Auspuffemissionen, Verbrennungsprozesse und mechanische Prozesse produzieren.

Effektivität

Die Emissionen haben sich seit 1990 um rund 60% vermindert. Die Grobstaubproduktion spielte bei dieser Verursacherkategorie eine wesentliche Rolle. Die getroffenen Massnahmen waren *effektiv*.

Zieleffizienz

Angeht es um den 1990 sehr beträchtlichen Anteil werden diese Anlagen im Rahmen der kantonalen Vollzugstätigkeit überwacht. Eine besondere Rolle spielen dabei die vorsorgliche Emissionsbegrenzungen wie sie in den Anhängen der LRV festgelegt wurden. Soweit es um Umsetzung von vorsorglichen Emissionsbegrenzungen geht, sind die Massnahmen per Definition auch effizient. Verschärfungen der Emissionsgrenzwerte erfolgen ausschliesslich im Einzelfall. Das Vorgehen ist deshalb auch gesamthaft gesehen zieleffizient.

6.4.7 Verursacherkategorie Nutztierhaltung

Effektivität und Zieleffizienz

Die ausgewiesenen Emissionen stammen von den Exkrementen der Tiere aus Intensivmastbetrieben (Schweine und Hühner). Aufgrund der gegenwärtig zur Verfügung stehenden Zahlen rechnet man mit Verminderungen der Emissionen um gut 10%.

Diese Emissionsmengen sind zur Zeit als *sehr unsicher* zu bewerten. Es ist davon auszugehen, dass sie konservative Grobschätzungen darstellen, die systematisch zu hoch sind. In den Zahlen bisher nicht erfasst sind jedoch die Emissionen von Rinderställen. Aus diesem Grund reichen die in der vorliegenden Bilanz ausgewiesenen Emissionen *gegenwärtig nicht aus* für eine systematischen Entwicklung und einer Wirkungsbeurteilung von Massnahmen.

Gegenwärtig werden auf nationaler und internationaler Ebene beträchtliche Forschungsanstrengungen gemacht. Es kann davon ausgegangen werden, dass die zurzeit fehlenden Grundlagendaten bis in wenigen Jahren mit ausreichender Qualität vorliegen werden.

6.4.8 Verursacherkategorie Holzbearbeitung

Effektivität und Zieleffizienz

Bei der Holzverarbeitung entstehen grosse Gesamtstaubemissionen. Die Verminderung der Emissionen von gröberem Staub stellt aus Sicht von Luftreinhaltung wie Arbeitnehmerschutz seit längerer Zeit ein wichtiges Teilziel dar. Die der Bilanzierung zugrunde liegenden Emissionsfaktoren sagen eine Verminderung der PM10-Mengen um rund 20% gegenüber dem Stand von 1990 voraus. Die Massnahmen waren somit beschränkt effektiv.

Welchen Beitrag diese Verursacherkategorie zur PM10-Bilanz der Schweiz leistet, muss, wie bei allen mechanisch erzeugten Stäuben, als zu unsicher gelten, um die bisher getroffenen Massnahmen bezüglich ihrer Zieleffizienz bewerten zu können. Auch bei der Verursacherkategorie Holzbearbeitung sind gegenwärtig Forschungsanstrengungen im Gang. Es kann davon ausgegangen werden, dass die zurzeit fehlenden Grundlagedaten in absehbarer Zeit mit ausreichender Qualität vorliegen werden. Die neuesten Zahlen werden demnächst publiziert werden.

6.4.9 Verursacherkategorie übrige Industrie

Effektivität und Zieleffizienz

Diese Kategorie umfasst die Betriebe der Metallindustrie wie Stahlwerke, Giessereien etc. Die Bilanzierung sagt zwischen 1990 und 2020 eine Verminderung der PM10-Emissionen um knapp 10% voraus. Dies ist wenig effektiv.

Bei der Bewertung der Zieleffizienz ist ähnlich wie bei der Holzbearbeitung in Rechnung zu stellen, dass diese Verursacher ihre Verminderungsanstrengungen als ehemalige Grossproduzenten von Grobstäuben geleistet haben. Eine abschliessende Beurteilung der PM10-Produktion aus dieser Art Stäuben liegt noch nicht vor.

6.4.10 Verursacherkategorie Steine und Erden

Effektivität und Zieleffizienz

Die Effektivität der Staub vermindern Massnahmen (Einführung von Staubfiltern) betrug rund 80%. Die Massnahmen zur Verminderung der Staubemissionen waren *sehr effektiv*.

Bei der Beurteilung der Zieleffizienz der Massnahmen gelten dieselben Einschränkungen wie bei den Emissionen der Kategorien „Holzverarbeitung“ und „übrige Industrie“.

6.4.11 Verursacherkategorie land- und forstwirtschaftliche Abfallentsorgung

Effektivität und Zieleffizienz

Diese Stäube entstehen zu 75% durch Verbrennung von Ästen und Rinde in der Forstwirtschaft. Bisherige Bestrebungen zur Verminderung dieser Verbrennungen hatten mit der Schwierigkeit zu kämpfen, dass vielerorts die Verbrennung von Ästen und Rinden vor Ort dazu diente, Borkenkäferpopulationen zu kontrollieren.

Es konnten bis heute keine Verminderungen der Verbrennungstätigkeit erreicht werden. Die bisherigen Massnahmen waren nicht effektiv und also nicht zieleffizient.

6.4.12 Verursacherkategorie Baustellen (insbesondere Maschinen)

Effektivität

Im Bereich Baustellenfahrzeuge und bei den Abläufen auf den Baustellen hat die Baurichtlinie Luft (BauRLL) von 2002 Verminderungsmassnahmen in Gang gesetzt. Bis 2020 rechnet man bei den motorischen Emissionen mit einer Verminderung der Emissionen um gesamthaft mehr als 90%. Die Massnahmen der BauRLL zur Verminderung der PM10-Emissionen sind somit als *äusserst effektiv* anzusprechen, sie beschränken sich allerdings in Bezug auf die Abgasreinigung bei Maschinen auf grössere Baustellen („Typ B“). Allerdings ist davon auszugehen, dass mit der Zeit einmal für Typ B Baustellen ausgerüstete Maschinen auf allen Baustellen zum Einsatz kommen.

Effizienz

Eine Kosten/Nutzenanalyse der Nachrüstung von Baumaschinen wurde anlässlich der Einführung der Baurichtlinie Luft durchgeführt und kam zum Schluss, dass die Massnahme aus volkswirtschaftlicher Sicht positiv zu bewerten ist (vgl. BUWAL Umweltmaterialien Nr. 148).

Zieleffizienz

Soweit neue Technologien direkt in die Serienproduktion von Off-Road Maschinen integriert werden können, sind diese auch *effizient*. Bei der Nachrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltersystemen fallen allerdings beträchtliche Kosten an. Diese rechtfertigen sich grundsätzlich dadurch, dass ein Massnahmenbedarf besteht und die Feinstäube aus Dieselmotoren unter anderem auch Krebs erregend sind. Besonders aus letzterem Grund spielen bei dieser Verursacherkategorie auch die Belange der Arbeitshygiene eine wichtige Rolle. Im Hinblick auf die im Vergleich zum Maschinenpreis sehr hohen Umrüstungskosten beschränkt die Baurichtlinie Luft die bei Grossbaustellen vorgeschriebene Umrüstungspflicht auf Grossgeräte von mehr als bei 18 kW Motorenleistung.

Trotz ihrer sehr hohen Effektivität stellt sich die Frage, ob diese Leistungsbeschränkung dem Aspekt der örtlichen Überbelastung der Luft genügend Rechnung trägt: Bei der Beurteilung der Kosten von Nachrüstungen wurden nur die direkten Kosten der Umrüstung in Rechnung gestellt. Ausser Betracht fiel bei der Kostenrechnung, dass auch die auf den Baustellen Beschäftigten einem Gesundheitsrisiko ausgesetzt sind.

Unter Berücksichtigung dieser Gefährdungen können die bisherigen Massnahmen bei den Baustellen vom Typ B bei grossen Baumaschinen als *zieleffizient* bezeichnet werden. Bei den kleineren Baustellen („Typ A“) bestehen dagegen die bisherigen Defizite weiter. Bei den Maschinen mit weniger als 18kW Leistung bestehen zwar ebenfalls Defizite. Es ist aber anzumerken, dass ein Teil dieser kleinen Maschinen mit Benzinmotoren angetrieben werden und entsprechend weniger PM10 emittieren.

Bei der Verminderung der mechanisch erzeugten Stäube gelten die in den vorhergehenden Abschnitten gemachten Einschränkungen.

6.4.13 Verursacherkategorie Schienenverkehr

Effektivität und Zieleffizienz

Beim Schienenverkehr fallen in erster Linie Stäube aus Brems-, Rad- und Schienenabrieb sowie allenfalls aus Aufwirbelung ins Gewicht. Neue Untersuchungen der PM10-Emissionen des Schienenverkehrs im Jahr 2002 (Umweltmaterialien Nr. 144) zeigen, dass die ursprünglich unter konservativen Annahmen hochgerechneten PM10-Mengen die tatsächlich erzeugten Mengen um mindestens einen Faktor 3 überschätzen. In der vorliegenden Bilanz wurden deshalb die ursprünglich hochgerechneten PM10-Frachten um den Faktor 3 vermindert. Zur Zeit ist ein Folgeprojekt im Gange, das eine weitere Verbesserung der Genauigkeit der Aussagen zu den Emissionen, speziell aber bezüglich der Relevanz dieser Emissionen für die Bevölkerung erlauben wird.

Bei der Beurteilung der Verursacherkategorie Schienenverkehr fehlen zurzeit noch Grundlagen für Massnahmen zur Emissionsverminderung.

6.4.14 Verursacherkategorie Flugverkehr

Die angegebenen Emissionen entstehen durch Treibstoffverbrennung und durch Abriebvorgänge bei Start und Landung. Bis 2020 ist aufgrund der Zunahme des Luftverkehrs gegenüber 1990 mit einem Anwachsen der Emissionen um knapp 30% zu rechnen (Anmerkung: Die diesen Zahlen zugrunde liegende Prognose wurde im Hinblick auf den Verkehrsrückgang 2002/2003 korrigiert).

Es konnten bis heute keine Verminderungen erreicht werden. Soweit bisher Massnahmen getroffen wurden, waren diese nicht effektiv und also nicht zieleffizient.

6.4.15 Verursacherkategorien Heizungen Holz und Heizungen fossil

Heizungen fossil

Effektivität: Die Aufwendungen zur Abgaskontrolle in Kombination mit dem Ersatz von kleinen Feststoff verbrennenden Öfen haben sich in *massiven Verminderungen* der Emissionen von Stäuben niedergeschlagen.

Die bisher getroffenen Massnahmen waren *äusserst effektiv*.

Zieleffizienz: Die Massnahmen betrafen in der Regel ältere und abgeschriebene Anlagen. Sie waren deshalb effizient und damit auch *zieleffizient*.

Heizungen Holz:

Effektivität: Bis jetzt wurden noch keine systematisch umgesetzten Massnahmen zur Abscheidung von Stäuben aus den Abgasen bei Holzheizungen etc. getroffen. Die Staubemissionen der heutigen Holzheizungen sind deshalb schon heute gesamthaft beträchtlich und werden ohne Massnahmen weiter zunehmen.

Zieleffizienz: Es konnten bis heute keine Verminderungen erreicht werden. Soweit bisher Massnahmen getroffen wurden, waren diese nicht effektiv und also nicht zieleffizient.

6.4.16 Verursacherkategorie Feuerungen Industrie fossil

Effektivität

Die für 2020 erwartete massive Verminderung der Stauberzeugung ist schon heute weitgehend erreicht. Sie ist die Folge des praktischen Verschwindens von Kohlefeuerungen und des sehr starken Rückgangs von Schwerölfeuerungen und von deren Ersatz durch Feuerungen, die Heizöl EL oder Erdgas verbrennen.

Die Brennstoffumstellungen sind *sehr effektiv* und besitzen ein gutes Kosten-Nutzen Verhältnis. Sie ist aus diesem Grunde auch zieleffizient.

6.4.17 Verursacherkategorie Gastrocknung

Effektivität

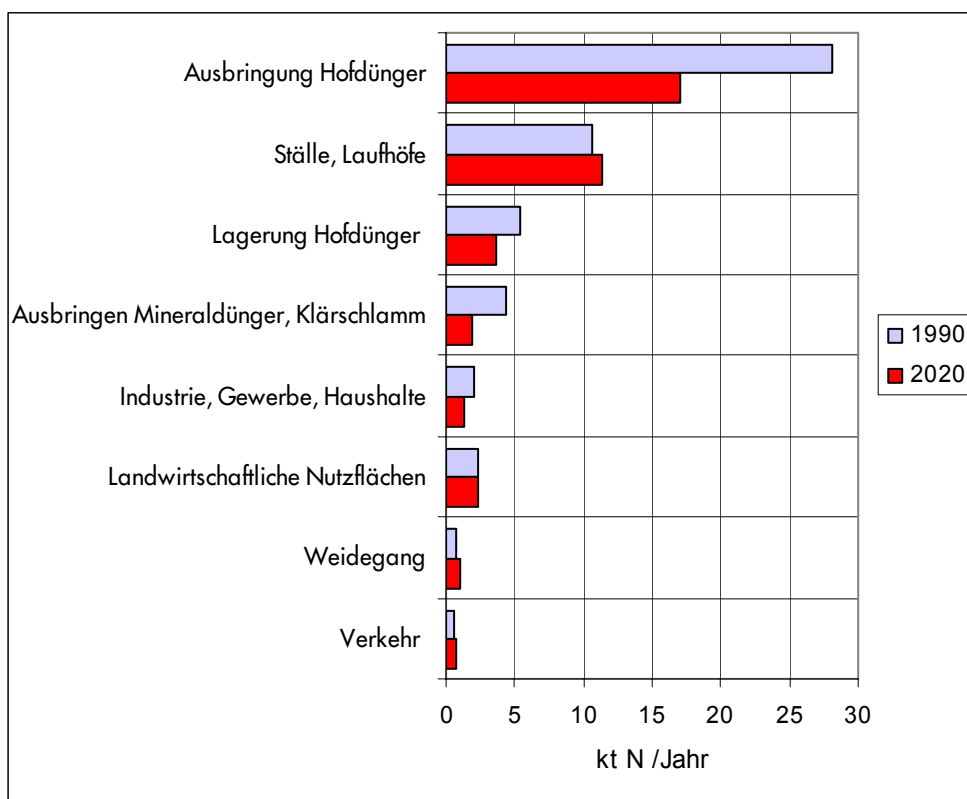
Bis 2020 ist eine Verminderung der Emission von Stäuben um rund 60% zu erwarten. Diese ist die Folge von Verbesserungen der Staubabscheidung (Zyklone). Die getroffenen Massnahmen waren *effektiv*.

Zieleffizienz

Angesichts ihrer geringen Kosten waren die Massnahmen effizient und damit auch zieleffizient.

6.5 Verminderung der NH₃-Emissionen

6.5.1 Übersicht über die die Effektivität der NH₃-Massnahmen von 1990 und 2020 (Angaben als N)



Kommentar zu der Figur

Bei den meisten Verursacherkategorien aus dem Bereich Landwirtschaft ergeben sich bis 2020 deutliche Abnahmen der Emissionen von NH₃. Diese Entwicklung ist in erster Linie die Folge der *in den Neunzigerjahren verringerten Rinder- und Schweinezahlen* in der Schweiz und nur in beschränktem Umfang die Folge von gezielten Massnahmen zur Verminderung der NH₃-Emissionen. Die Abnahme des Tierbestandes hat einen direkten (linearen) Einfluss auf die Entwicklung der Emissionen, solange die mittlere Milchleistung und das Gewicht der Tiere unverändert bleibt.

Die Emissionszunahme bei *Stallsystemen und Weidegang* ist auf die aus Tierschutzgründen erwünschte Umstellung auf Laufställe und den vermehrten Einsatz von Laufhöfen zurückzuführen, welche bezüglich ihres Emissionsverhaltens nicht optimal konzipiert sind und wegen der grösseren verschmutzten Fläche im Vergleich zu Anbindeställen vermehrte NH₃-Emissionen verursachen (vgl. dazu auch 6.5.3).

Die Emissionsabnahme bei der Verursacherkategorie *Ausbringen von Mineraldünger / Klärschlamm* ist auf den Rückgang des Mineraldüngereinsatzes und das Verbot der Klärschlamm-ausbringung zurückzuführen.

Die NH₃-Emissionen der Verursacherkategorie *Industrie, Gewerbe und Haushaltungen* gehen zu 60% bis 70% auf Kehrrichtdeponien zurück. Mit dem Inkrafttreten des Deponieverbots nehmen diese Emissionen kontinuierlich ab.

Die Zunahmen der NH₃-Emissionen beim *Verkehr* ist nach heutigem Stand des Wissens eine Folge der Einführung der Katalysatortechnik.

6.5.2 Verursacherkategorie Ausbringtechnik Hofdünger

Effektivität

Stand der Technik bei der Gülleausbringung ist im Ackerbau die Gülleinjektion oder die Ausbringung mittels Schleppschlauch mit sofortiger Einarbeitung der Gülle. Bei Grasland ist der Schleppschuh oder Schleppschlauch Stand der Technik, wobei sich gewisse Einschränkungen ergeben (z.B. Hangneigung).

Diese Techniken kamen bis 2000 erst bei ca. 12% der ausgebrachten Gülle zur Anwendung. In der Regel erfolgt zur Zeit die Ausbringung mittels Prallteller, was mit hohen Stickstoffverlusten sowie Ammoniak- und Geruchsemissionen verbunden ist. Bis 2020 ist mit vermehrtem Einsatz emissionsarmer Ausbringtechniken zu rechnen. Auch nehmen die Viehzahlen im Zeitraum nach 1990 beträchtlich ab. Zudem kann von einer Verminderung der Stickstoff-Ausscheidungen durch optimierte Fütterung und von vermehrtem Weidegang ausgegangen werden. Unter der Annahme, dass sich der Anteil der emissionsarm ausgebrachten Gülle auf rund 30% erhöht, ergibt sich gegenüber 1990 die in der Figur ersichtliche gesamthafte Verminderung der Ammoniakemissionen um fast 40%.

Angesichts der technischen Möglichkeiten der Ausbringtechnik und der vorgesehenen Erhöhung des emissionsarm ausgebrachten Hofdüngeranteils auf lediglich 30% waren die bisherigen Massnahmen nur *beschränkt effektiv*.

Zieleffizienz

Die Vermeidungskosten sind im Vergleich zur erreichbaren Einsparung von NH₃-Emissionen gering. Dank der verbesserten Ausbringmethoden gelangt zudem mehr des in der Gülle enthaltenen Stickstoffs in die Böden und steht für das Pflanzenwachstum zur Verfügung. Der Einsatz verbesserter Ausbringtechnik ist deshalb *effizient*. Aus Sicht des Vorsorgeprinzips der Umweltschutzgesetzgebung ist deshalb der bis 2020 vorgesehene Anteil von 30% emissionsarm ausgebrachter Gülle noch *zu gering*. Damit bestehen Vollzugsdefizite und die bisher vorgesehenen Massnahmen waren nur *beschränkt zieleffizient*.

6.5.3 Verursacherkategorie Ställe, Laufhöfe

Stallsysteme: Effektivität und Zieleffizienz

Aus Tierschutzgründen wird zunehmend von Anbindeställen und geschlossenen Stallsystemen auf Freilaufställe mit Laufhöfen umgestellt. Diese sind oft nicht optimal konstruiert, da Urin und Kot auf den planbefestigten Böden zu lange liegen bleiben. Abgesehen davon, dass es für die Tiere ungesund ist, in ihren Fäkalien herumzulaufen, führt dies zu hohen Ammoniakemissionen.

Ohne zusätzliche Massnahmen zur Verminderung der Ammoniakemissionen ist gegenüber 1990 von einer *Emissionszunahme um 8%* auszugehen. Die Luftreinhaltemassnahmen im Stallbereich waren deshalb bisher *nicht effektiv und damit auch nicht zieleffizient*.

Analog zu 6.5.2 gilt auch für diese Verursacherkategorie, dass diese Bilanz nochmals deutlich schlechter ausgefallen wäre, wenn nicht die Tierzahlen rückläufig wären, und nicht mit optimierter Fütterung und vermehrtem Weidegang gerechnet werden könnte.

6.5.4 Verursacherkategorie Lagerung Hofdünger

Effektivität

Bis in die 1980er-Jahren waren die Güllegruben nach alter Tradition grundsätzlich abgedeckt. Die später an Stelle der traditionellen Güllegruben in Gebrauch gekommenen Güllelagerbehälter wurden zunächst ohne Abdeckung hergestellt und verursachen den Grossteil der heute vorhandenen Emissionen. Stand der Technik und Vorschrift der LRV sind die *Abdeckung der Güllelager* (im Sinne eines Windschutzes, analog zur traditionellen Lagerung). Eine feste Abdeckung vermindert die Ammoniakemissionen eines Güllelagers um 80-90%. Trotzdem werden heute in der Schweiz 20% der Gülle in offenen Lagern gelagert. Bei den emissionsintensiveren Schweinegülle ist zudem der Anteil der offenen Lagerung höher als bei Rindergüllen.

Es wird davon ausgegangen, dass in Zukunft alle neu erstellten Güllebehälter mit einer wirksamen Abdeckung versehen werden. Damit vermindert sich der Anteil der offen gelagerten Gülle bis 2020 auf 10%. Gegenüber 1990 nehmen die Emissionen aus der Hofdüngerlagerung bis 2020 um 40% ab. Aufgrund der nach wie vor bestehenden Umsetzungs- und Vollzugsprobleme bei den bestehenden offenen Güllebehälter waren die bisher getroffenen Massnahmen *beschränkt effektiv*.

Zieleffizienz

Mit dem nachträglichen Abdecken der Behälter und der konsequenten Abdeckung von neu erstellten Lagern wird der vorherige, lufthygienisch günstigere Zustand wieder hergestellt. Die nachträgliche Abdeckung der ab 1980 erstellten offenen Lagerbehälter stellt eine effiziente Reparatur einer fehlerhaften Technologie dar. Angesichts der Probleme beim Vollzug waren diese Massnahmen bisher, trotz ihrer technisch gesehen unbestreitbaren Effizienz nur *beschränkt zieleffizient*.

Anmerkung:

Bei der Hofdüngerlagerung entsteht durch vermehrten Weidegang und dadurch vermindertes Lagervolumen in der Regel *keine Emissionsverminderung*: Massgeblich für das Verdunsten von NH₃ aus offenen Lagerbehältern ist nämlich die *Flüssigkeitsoberfläche* und nicht das Volumen des Behälters: auch wenn weniger Gülle gelagert wird, vermindern sich die Emissionen in der Regel nicht (Ausnahme: die Lagerbehälter stehen zeitweise leer).

6.5.5 Verursacherkategorie Mineraldünger / Klärschlamm

Effektivität und Zieleffizienz

Wegen der deutlichen Reduktion des Mineraldüngereinsatzes zwischen 1990 und 2000 und durch den etwas verringerten Anteil des Harnstoffs am Einsatz mineralischer N-Dünger haben sich auch die Emissionen stark vermindert. Aufgrund des Verbots des Ausbringens von Klärschlamm fallen zudem die darauf zurückzuführenden Emissionen weg. Gesamthaft haben sich dadurch die Ammoniakemissionen um 50%-60% vermindert. Die bisher getroffenen Massnahmen waren ausreichend *effektiv*, effizient und damit auch *zieleffizient*.

6.5.6 Verursacherkategorie Landwirtschaftliche Nutzflächen

Die Emissionen dieser Verursacherkategorie gehen auf Alterungs- und Abbauprozesse und auf Ernterückstände zurück. Bei der Berechnung der dadurch verursachten Ammoniak-Emissionen der Schweiz wurde berücksichtigt, dass die flächenmässig wichtigen Alpweiden pro Fläche deutlich weniger Emissionen verursachen als im internationalen Mittel angenommen (FAL 26; S.32 f).

Die Emissionen dieser Verursacherkategorie können nach heutigem Wissen in der Praxis *nicht beeinflusst werden*.

6.5.7 Verursacherkategorie Industrie /Gewerbe sowie Verursacherkategorie Haushaltungen

Effektivität und Zieleffizienz

Die NH₃-Emissionen der Verursacherkategorie *Industrie, Gewerbe und Haushaltungen* gehen zu 60% bis 70% auf Kehrrichtdeponien zurück und nehmen mit dem Inkrafttreten des Deponieverbots kontinuierlich ab.

Die 1990 noch bedeutende Ammoniak- und Ammoniumnitrat - Produktion (rund 10% der Emissionen der Verursacherkategorie Industrie, Gewerbe und Haushalte) trägt im Jahr 2000 kaum mehr zu den NH₃-Emissionen der Schweiz bei (weniger als 1%). Weitere Beiträge stammen aus der Bauindustrie (gut 10%); auch diese haben sich schon 2000 beträchtlich vermindert (um rund 40%).

Zusammengefasst waren die bei diesen Verursacherkategorien getroffenen Massnahmen effektiv und effizient und damit auch *zieleffizient*. Besonders herausgehoben zu werden verdient die Wirkung des Deponieverbots, wo ein grosses *Synergiepotential zum Gewässer- und Bodenschutz* ausgenutzt werden konnte.

6.5.8 Verursacherkategorie Weidegang

Bei der Verursacherkategorie Weidegang muss mit einer Zunahme der NH₃-Emissionen gerechnet werden. Diese geht auf vermehrten Weidegang zurück, der eine Folge der neuen Grundsätze der Tierhaltung darstellt. Die ausgewiesenen Mehremissionen sind *im Zusammenhang mit den Massnahmen bei der Verursacherkategorie Ställe, Laufhöfe* zu beurteilen: Die für die Verursacherkategorie Weidegang erwartete Emissionszunahme wird mehr als kompensiert durch die damit ermöglichte Abnahme der Stallemissionen und der Emissionen der Hofdüngerausbringung.

Die Weidehaltung stösst an Grenzen, unter anderem wegen Boden- und Gewässerschutzproblemen, Trittschäden, schlechterer Stickstoffeffizienz sowie geographisch ungünstiger Lage von Weiden.

6.5.9 Querschnittsmassnahme: optimierte Fütterung

Insbesondere in der Schweinehaltung trägt die optimierte Fütterung und die daraus resultierende geringere N-Ausscheidung zur Verminderung der Ammoniakemissionen bei. Gegenüber 1990 werden sich durch geringere N-Ausscheidung die Ammoniakemissionen bis 2020 um ca. 20% vermindern. Die Massnahme war *beschränkt effektiv und beschränktzieleffizient*.

6.6 Verminderung des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen

6.6.1 Einleitung: Aktivitäten und ihre Beschreibung

Standardschema

Die Berechnung der Emissionen von Luftschadstoffen wie den Stickstoffoxiden NO_x , den Feinstäuben PM_{10} oder der NMVOC erfolgt nach einem vereinfachten Berechnungsschema („Standardschema“).

$$(\text{Ausstoss von Luftschadstoffen}) = (\text{Aktivität}) \times (\text{Emissionsfaktor})$$

Aktivitäten sind zum Beispiel: die Wärmeenergie zur Beheizung von Gebäuden, die Produktion von Prozessdampf, die Produktion von gewalztem Stahl oder der Strassentransport von Gütern oder Personen. Das Mass der Aktivität kann verschieden gewählt werden. Statt z.B. die Menge Prozessdampf in Tonnen pro Tag anzugeben, kann man auch die Brennstoffaufwendungen für die Erzeugung des Prozessdampfes als Mass der Aktivität verwenden. Die jeweilige Wahl des Masses der Aktivität richtet sich zweckmässigerweise nach der Art der Emittenten, die zu untersuchen sind.

Folgt man dem Standardschema, teilt sich die Analyse der Emissionsentwicklung auf in voneinander unabhängige Veränderungen der Aktivitäten und der Emissionsfaktoren. Zur Verminderung der Emissionen von Luftschadstoffen kann man also ansetzen bei der *Verminderung der Aktivitäten oder bei der Verminderung der Emissionsfaktoren*. Die im Standardschema vorausgesetzte Unabhängigkeit der beiden Einflussfaktoren Aktivität und Emissionsfaktor ist im allgemeinen eine *Näherung*, die im Einzelfall zu merkbaren Fehlern führen kann.

Verbesserung der Genauigkeiten durch Unterklassen von Aktivitäten

Um die Genauigkeit des Standardschemas zu verbessern, greift man oft zu *Unterklassifikationen der Aktivitäten*: wählt man zum Beispiel die Fahrleistung als Mass der Aktivität des motorisierten Verkehrs, wird unterschieden zwischen Fahrleistungen auf Autobahnen, auf Ausserortsstrassen und auf Innerortsstrassen und es werden diesen Unteraktivitäten angepasste Emissionsfaktoren definiert (im Falle der Fahrleistungen des motorisierten Verkehrs existieren sogar Emissionsfaktoren für weitere Unterklassen, um die Prognosegenauigkeit nochmals zu verbessern). Ganz ähnlich kann man auch bei Grossfeuerungen verschiedene Betriebszustände unterscheiden und jeweils für diese spezifische Emissionsfaktoren bestimmen.

Die Grenzen der Unterklassierungen ergeben sich in der Regel aus dem Detaillierungsgrad respektive der Zuverlässigkeit der vorhandenen Daten über die Aktivität (Beispiel: Die Anzahl der Stunden pro Jahr, wo eine Prozessdampfanlage innerhalb einer bestimmten Leistungskategorie betrieben wird, hängt von den Bedürfnissen des Markts ab und kann nicht mit beliebiger Genauigkeit festgelegt werden).

6.6.2 *Brenn- und Treibstoffverbrauch als generelles Aktivitätsmass für die Luftreinhaltestrategie*

Es stellt sich demgemäss im Rahmen der vorliegenden Gesamtübersicht die Frage, welches Mass zur Beschreibung der Aktivitäten der verschiedenen Verursacherkategorien gewählt werden sollte. Das massgebliche Kriterium dafür stellt die möglichst *umfassende Vergleichbarkeit der Aktivitäten im ganzen Spektrum* der untersuchten Verursacherkategorien dar.

Ein grosser Teil der Luftschadstoffe wird beim Heizen, bei Erzeugung von Prozesswärme und beim Betrieb von Verbrennungsmotoren freigesetzt. Auch der Energieeinsatz der zu Abrieb und Aufwirbelung Anlass gibt, stammt zu einem guten Teil (mit Ausnahme etwa der Emissionen des Schienenverkehrs) aus Verbrennungsprozessen und Verbrennungsmotoren. Analog zur Darstellung der Emissionen der klimaaktiven Gase der Schweiz wird aus diesem Grund auch für die übergreifende Analyse der Emissionen der Luftschadstoffe der *Verbrauch an Brenn- und Treibstoffen, gemessen in Energieeinheiten* (Terajoule, TJ) verwendet, soweit er sich als geeignetes Mass für die entsprechende Aktivität verwenden lässt (bei NMVOC nur in geringem Umfang möglich; vgl. dazu Kapitel 4.2).

Bei dieser Wahl lautet das Standardschema folgendermassen:

(Ausstoss von Luftschadstoffen) = (Brennstoff- resp. Treibstoffverbrauch) × (Emissionsfaktor)

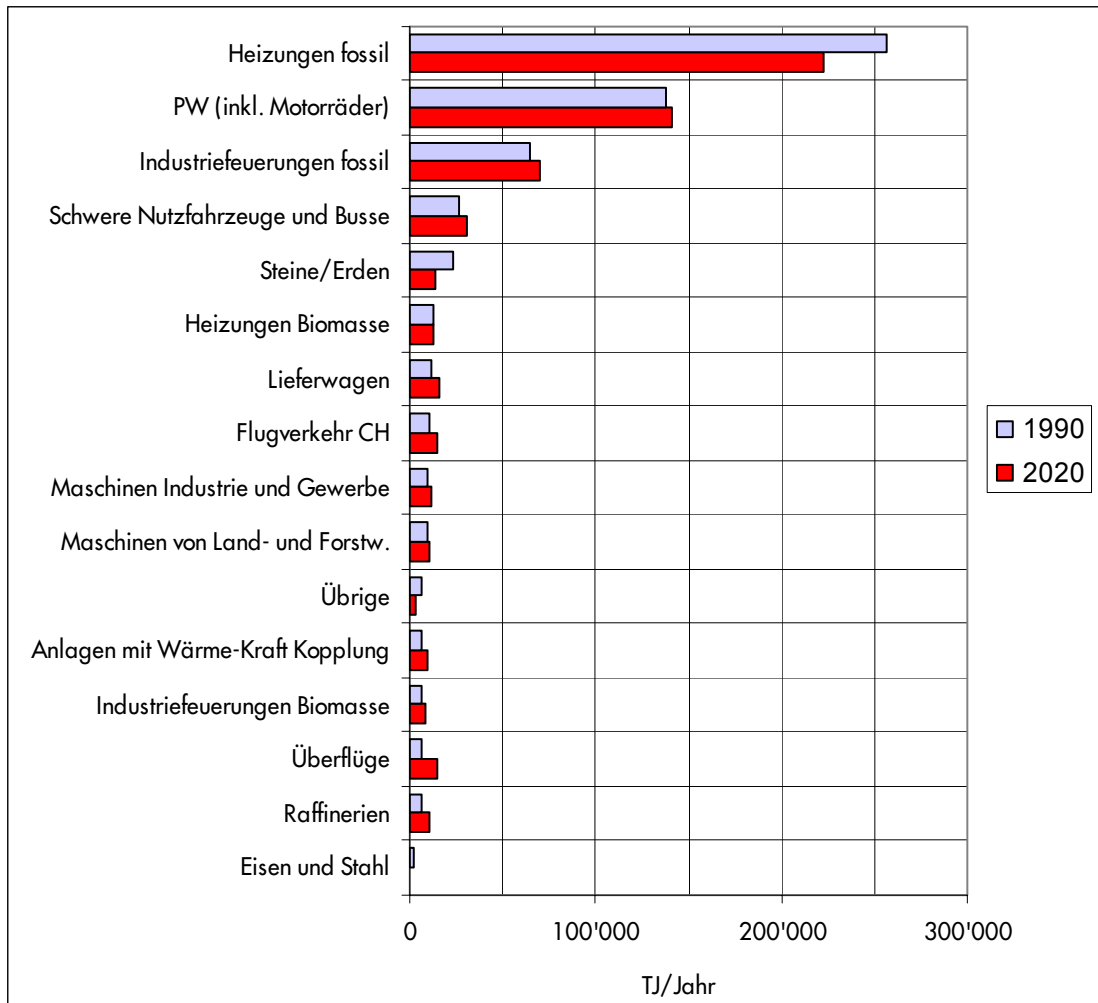
Veränderungen des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen wirken sich parallel auf mehrere Luftschadstoffe aus. Die Emissionsfaktoren sind schadstoffspezifisch.

Bei dieser Wahl der Aktivitätsmasses ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:

- Veränderungen des Verbrauchs von Heizenergie, Prozessenergie oder der Fahrleistungen des Verkehrs lassen sich gut durch Veränderungen des Brenn- und Treibstoffverbrauchs darstellen. Änderungen des Treibstoffverbrauchs reflektieren auch sehr gut die Auswirkungen von Veränderungen der Fahrzeugmasse oder von verschiedenen Verkehrssituationen auf den Ausstoss von Schadstoffen.
- Die Nachreinigung der Abgase durch Filter, Wäscher und Katalysatoren, bessere Verbrennungstechnik (Low-NO_x-Brenner) oder die Verbesserung der Treibstoffqualität (schwefelarme Brenn- und Treibstoffe, bleifreies Benzin) vermindern in erster Linie die Emissionsfaktoren. Sie erhöhen nur in geringfügiger Masse den Brenn- und Treibstoffverbrauch.
- Verbesserungen der Brenner- und Motorentechnik lassen sich demgegenüber durch Angabe der Brenn- und Treibstoffentwicklung weniger adäquat beschreiben, da sie sich sowohl in Form von Verminderung des Brenn- und Treibstoffverbrauchs (Aktivität) als in Form von Verminderungen der Emissionsfaktoren auswirken können. Besonders im Falle der Motorentechnik können diese Anforderung im Widerspruch zueinander stehen (z.B. bei der Einstellung der Verbrennungstemperatur), sich aber auch ergänzen (Verminderung des Luftüberschusses bei Ottomotoren im Zusammenhang mit der Katalysatorteknik). Bei der Berechnung der Schadstoffbilanzen sind deshalb Korrekturen erforderlich.

In den folgenden Kapiteln wird die Entwicklung des Brenn- und Treibstoffverbrauchs der Schweiz von 1990 bis 2020 prognostiziert und die getroffenen Massnahmen zur Verminderung bezüglich ihrer Zieleffizienz bewertet.

6.6.3 Ergänzung: Effektivität der Massnahmen zur Reduktion des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen



TJ/a Brenn- und Treibstoffverbrauch in Terajoule pro Jahr
 PW Personenwagen
 Steine/Erden Zementproduktion, Ziegelherstellung etc.

Ein direkter Vergleich mit den Zielen der Klimapolitik ist nicht möglich, da die vorliegenden Zahlen auf der Grundlage des Territorialprinzips berechnet sind.

6.6.4 Verursacherkategorie Heizungen fossil und Verursacherkategorie Heizungen Biomasse

Effektivität von Massnahmen (vgl. 6.6.3)

Bezogen auf die umbaute Fläche haben die bisherigen und vorgesehenen Massnahmen deutliche Verbesserungen gebracht. Der nach wie vor ansteigende Verbrauch von Fläche und beheiztem Raum pro Kopf der Bevölkerung wirkt diesen Verbesserungen jedoch entgegen. Trotz dieser gegenläufigen Entwicklungen dürfte 2020 im Vergleich zu 1990 eine Verminderung des schweizerischen Gesamtverbrauchs von fossilen Brennstoffen um gut 15% resultieren. Der Energieverbrauch der Heizungen mit Biomasse bleibt demgegenüber voraussichtlich konstant. Die bisherigen Massnahmen waren somit *beschränkt effektiv*.

Zieleffizienz der Massnahmen

Die Kampagnen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden haben in der Schweiz einen beträchtlichen Erfolg aufzuweisen. Viele dieser Massnahmen besitzen ein sehr gutes Verhältnis zwischen Investition und Schadstoffminderung und sind also effizient. Effizient sind auch Massnahmen, die das Heizverhalten der Bevölkerung und die Handhabung der Gebäudetechnik durch Abwarte betreffen. Im Bereich der Gebäudetechnik bestehen vergleichsweise wenige Widerstände gegen Umweltschutzmassnahmen: neue Technologieentwicklungen in diesem Gebiet geniessen beträchtliche Unterstützung aus breiten Kreisen der Bevölkerung. Unverkennbar ist aber auch, dass die Bauindustrie von vielen gebäudetechnischen Massnahmen direkt profitiert.

Demgegenüber erweist sich die Beschränkung des wachsenden Flächenverbrauchs in der Schweiz als sehr schwieriges Problem, dessen Lösung eng mit wichtigen Wertvorstellungen der Bevölkerung verbunden ist. Offensichtlich bestehen in diesem Problembereich sehr enge Synergien zwischen den Anliegen der Raumplanung und denjenigen des Umweltschutzes.

Die bisher getroffenen und beschlossenen Massnahmen im Bereich Haustechnik sind trotz der ungelösten Problematik des Wachstums des beheizten Bauvolumens *beschränkt zieleffizient*.

Anmerkung: Verbrennung von Biomasse

Die Energiemenge, die aus Biomasse gewonnen wird, hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Dies ist als Erfolg der schweizerischen Klimapolitik zu bewerten. Soll nicht in Zukunft ein Widerspruch zwischen den Anliegen des Klimaschutzes und der Luftreinhaltung entstehen, werden vermehrte Massnahmen zur Nachreinigung der Rauchgase aus Verbrennungen von Biomasse unumgänglich. Bei Verbrennung von Biomasse stellt aus Sicht der Luftreinhaltung im Moment die Produktion von Stäuben (PM10) das zentrale Problem dar.

6.6.5 Verursacherkategorie PW und Motorräder

Entgegen den bisherigen Erwartungen zeigen die neuesten Zahlen, dass bezogen auf 1990 der Treibstoffverbrauch bis 2020 um gut 10% (PW), respektive 45% (Lieferwagen) zunehmen wird. Hinter diesem Resultat stehen massive, zum Teil gegenläufige Entwicklungen:

- Die Fahrleistung der PW (d.h. die Anzahl pro Jahr gefahrenen Kilometer) wuchsen in den ersten 10 Jahren seit 1990 um etwa 20%. Diese Entwicklung dürfte (mit etwas vermindertem Tempo) weitergehen und bis 2020 zu Mehrfahrleistungen von mehr als 40% bezogen auf 1990 führen.
- Der spezifische Treibstoffverbrauch (Treibstoffverbrauch pro gefahrenem Kilometer) der PW - Flotte hat sich seit 1990 deutlich vermindert und dürfte sich bis 2020 weiter vermindern.

Effektivität der Massnahmen: Gesamtbewertung

Bei der Verursacherkategorie leichte Motorwagen wurden im Rahmen der kantonalen Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung verschiedene Pakete von Massnahmen zur Verminderung der Fahrleistungen und damit von Treibstoffverbrauch respektive Emissionen von Luftschadstoffen umgesetzt. Gleichzeitig sank durch Weiterentwicklung der Motorentechnik die pro Fahrstrecke benötigte Menge von Treibstoff. Die bisher getroffenen Massnahmen haben nicht ausgereicht, um das Wachstum der Fahrleistungen so zu begrenzen, dass der technische Fortschritt sich bis 2020 in einer Verminderung des Treibstoffverbrauchs niederschlägt. Aus diesem Grund waren die Massnahmenpakete *gesamthaft gesehen zu wenig effektiv* und damit *ungenügend zieleffizient*.

Anmerkungen: Gegen den aus Gründen der Energieeffizienz geforderten Übergang vom Otto zum Dieselmotor spricht aus Sicht der Lufthygiene, dass die heute vorhandene Technologie bei Dieselmotoren leider deutlich höhere Ausstösse von NO_x und PM10 pro gefahrenen Kilometer zur Folge hat.

6.6.6 Verursacherkategorien Industriefeuerungen fossil, Verursacherkategorie Steine und Erden

Effektivität der Massnahmen (vgl. 6.6.3):

Der Brennstoffverbrauch der Verursacherkategorie Steine und Erden wird sich 2020 gegenüber 1990 halbiert haben. Bei den Industriefeuerungen ist bis 2020 eine Zunahme um etwa 10% zu erwarten. Zusammengenommen bewegt sich der Brennstoffverbrauch dieser beiden Verursacherkategorien bis 2020 auf dem gleichen Niveau wie 1990.

Zieleffizienz der Massnahmen:

Im Unterschied zum Treibstoffverbrauch sind diese geringen Veränderungen nicht das Resultat einer Scherenbewegung zwischen grosser Wachstumsdynamik und bedeutenden technischen Verbesserungen.

Bei den Industriefeuerungen war die zum Einsatz gelangende Technologie 1990 bezüglich Energieverbrauch (nicht aber bezüglich Emissionen von Luftschadstoffen) weitgehend ausgereift. Bei der Verursacherkategorie Steine und Erden bestanden noch Verbesserungspotentiale. Beide Kategorien dürften bis 2020 eine geringe Wachstumsdynamik besitzen. Aus diesen Gründen können die getroffenen Massnahmen zur Energieeinsparung als *zieleffizient* bezeichnet werden.

6.6.7 Verursacherkategorie schwere Nutzfahrzeuge

Effektivität der bisher getroffenen Massnahmen (vgl. 6.6.3)

Der Treibstoffverbrauch des schweren Nutzverkehrs wird auf der Grundlage der bisher umgesetzten oder beschlossenen Massnahmen bis 2020 deutlich höher sein als 1990. Dies ist die Folge der massiv zunehmenden Fahrleistungen (Neufahrzeuge sind in der Regel nämlich aus betriebsökonomischen Gründen auf minimalen Treibstoffverbrauch pro gefahrenen Kilometer hin ausgelegt). Diese Fahrleistungszunahme ist in erster Linie auf die Zunahmen des Binnenverkehrs aber auch auf die Zunahme des motorisierten Transitverkehrs durch die Schweiz zurückzuführen. Die Förderung des Hucklepack- und Containerverkehrs, kombiniert mit der Vignettenpflicht war bisher nur *beschränkt effektiv*: Nach wie vor werden Transitgüterströme zu einem hohen Anteil durch schwere Nutzfahrzeuge befördert. Bezüglich des schweizerischen Binnenverkehrs dürfte die LSVA zum effizienten Einsatz der Fahrzeuge beitragen. Im Vergleich zum Handlungsbedarf ist auch diese Massnahmen nur *beschränkt effektiv*.

Zieleffizienz der Massnahmen

Aufgrund ihrer beschränkten Effektivität sind die bisher getroffenen Massnahmen zur Verminderung des Treibstoffverbrauchs des Schwerverkehrs auch nur *beschränkt zieleffizient*.

Für die Umlagerung von Güterströmen auf die Bahn (im europäischen Kontext auch auf Schiffe) scheint die Einführung von Strassenzöllen, Vignetten oder Formen der LSVA als ökonomische Lenkungsmassnahme mehr und mehr akzeptiert. Die bis heute nur beschränkt effektiven Massnahmen sind die Folge einer gewissen Pionierrolle der Schweiz. Steigt ihre Akzeptanz bei den Nachbarländern der Schweiz, besitzen sie das Potential, die Dynamik der Zunahme der Fahrleistungen merkbar zu beeinflussen. Sie sind deshalb, trotz der erheblichen Direktkosten für die Förderung des Huckepack- und Containerverkehrs als sektoriell zieleffizient zu bezeichnen.

6.6.8 Verursacherkategorie Flugverkehr

Effektivität von Massnahmen (vgl. 6.6.3)

Der Energieverbrauch des Flugverkehrs hat seit 1990 massiv zugenommen. Neue Flugzeugtypen sind in der Regel aus betriebsökonomischen Gründen auf minimalen spezifischen Treibstoffverbrauch ausgelegt. Die enormen Steigerungen des Verkehrsaufkommens haben aber die dadurch zu erwartenden Verbesserungen bei weitem kompensiert. Soweit bisher Massnahmen zur Beschränkung des Luftverkehrs getroffen wurden, waren sie *ungenügend effektiv* (Anmerkung: die den Luftschadstoffprognosen zugrunde liegende Verkehrsprognose reflektiert näherungsweise die heutige Situation und extrapoliert nicht einfach die Wachstumszahlen der Neunzigerjahre).

Zieleffizienz

Auf Grund ihrer geringen Effektivität waren bisher getroffenen Massnahmen *nicht zieleffizient*.

7 Zusammenfassung: Bilanzen, Handlungs- und Vollzugsbedarf

7.1 Effektivität und Zielerreichung der bisher beschlossenen Massnahmen

Die prognostizierte Entwicklung der Emissionen zeigt, dass die bisher getroffenen Massnahmen zur Verminderung der Emissionen der Luftschadstoffe NO_x , NMVOC, PM10 und SO_2 zu deutlichen Verminderungen der Luftschadstoffe führten: das Maximum der Emissionen der hier untersuchten Luftschadstoffe wurde etwa zwischen 1970 und 1985 erreicht. Seither nehmen die Emissionen durchs Band ab (vgl. die Figuren 4.3.1, 4.4.1, 4.5.1, 4.7). Bei den Emissionen von NH_3 wurden bisher noch keine gezielten Verminderungsmassnahmen ergriffen. Die feststellbare Verminderung der NH_3 -Emissionen widerspiegelt im Wesentlichen die Veränderungen der Tierbestände.

Vergleicht man die Jahresemissionen der verschiedenen Luftschadstoffe mit den ökologischen Zielen stellt man fest, dass diese lediglich für SO_2 eingehalten werden. *Bei allen übrigen untersuchten Luftschadstoffen (NO_x , NMVOC, PM10 und NH_3) muss auch 2020 noch mit deutlichen Überschreitungen der ökologischen Ziele gerechnet werden.* Daraus folgt: Die bisher getroffenen Massnahmen waren für sich genommen zwar durchaus effektiv, genügen im Ganzen aber nicht, um die Immissionsziele bis 2020 auch wirklich zu erreichen.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, *zusätzliche Massnahmen* zur weiteren Verminderung der meisten Luftschadstoffe treffen (Ausnahme Schwefeldioxid, SO_2).

7.2 Effektivität und Zieleffizienz der Massnahmen pro Verursacherkategorie

Als Hauptproblem bei den bisher getroffenen Massnahmen erwies sich die Tatsache, dass an sich sehr wirksame technische Massnahmen bei bestimmten Verursacherkategorien durch Wachstum der Aktivitäten zum Teil wieder zunichte gemacht wurden. Dies gilt in hohem Masse für den ständig anwachsenden Flächenverbrauch pro Kopf der Bevölkerung sowie die zunehmende Verkehrsleistung der Motorfahrzeuge und des Luftverkehrs. Die bisher getroffenen Massnahmen zur Kontrolle der Aktivitätswachstums waren bei den betreffenden Verursacherkategorien somit zu wenig effektiv und damit auch zu wenig zieleffizient.

Bei der Beurteilung nach Verursacherkategorien zeigten sich in erster Linie Probleme mit der *mangelnden Effektivität* von bisher beschlossenen Massnahmen. Soweit die Massnahmen genügend effektiv waren, erwiesen sie sich in der Regel auch *als zieleffizient*. Herausragende Beispiele für zieleffiziente Massnahmen finden sich bei der Verursacherguppe der Grossfeuerungen (Verminderungen der Emissionen aller Luftschadstoffe durch Abgasnachbehandlung, verbesserte Verbrennungstechnologien sowie Substitution von Brennstoffen).

Die Bilanzen des Energieverbrauchs und der sich daraus ergebenden Emissionen von CO_2 (vgl. 4.8.2) zeigen, dass auch aus Sicht des Klimaschutzes grosse *Handlungsdefizite* bestehen. Neue Massnahmen sollten möglichst in Abstimmung mit den Massnahmen zum Klimaschutz, insbesondere den Massnahmen zur Verminderung des Verbrauchs an fossilen Brenn- und Treibstoffen entwickelt werden. (Dazu ist zu bemerken, dass viele der bisherigen Massnahmen zur Luftreinhaltung schon einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten.)

7.3 Vollzugsbedarf bei der Umsetzung von beschlossenen Massnahmen

7.3.1 Grundsatz: Weiterführung von bewährten Massnahmen und Befolgung des Vorsorgeprinzips

Es ist von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Luftreinhaltestrategie der Schweiz, dass die Anstrengungen bei der Weiterführung der bisherigen Massnahmen *nicht nachlassen*. Schon auf kantonaler, besonders aber auf kommunaler Stufe erfolgt diese Umsetzung oft integriert in andere Tätigkeiten. Es hängt vom *kontinuierlichen Engagement* der Verantwortlichen auf kantonaler und kommunaler Stufe ab, ob den Belangen des Umweltschutzes, speziell auch der Luftreinhaltung, bei jeder sich bietenden Gelegenheit auch Rechnung getragen wird.

Zu den bestehenden Massnahmen kann man auch die Verpflichtung der schweizerischen Umweltgesetzgebung zur *Anwendung des Vorsorgeprinzips* zählen. Das Vorsorgeprinzip verpflichtet alle Beteiligten dazu, technisch und betrieblich mögliche und wirtschaftlich tragbare neue Technologien oder Verbesserungen von bestehenden Technologien ohne weiteres, das heisst auch ohne Vorliegen von schädlichen oder lästigen Luftbelastungen, einzuführen. Einen Ausdruck dieser Verpflichtung stellen die vorsorglichen Emissionsgrenzwerte in den Anhängen der schweizerischen Luftreinhalte-Verordnung (LRV) dar.

7.3.2 Typische Vollzugsprobleme bei der Durchsetzung von beschlossenen Massnahmen

Umsetzung der Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung der Kantone

In den Massnahmenplänen zur Luftreinhaltung der Kantone spielen die Massnahmen zur Kontrolle des Wachstums des motorisierten Verkehrs, welche auch den Verbrauch von Treibstoffen beeinflussen, eine zentrale Rolle. Die Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung haben durchwegs aufgezeigt, dass die wichtigsten Massnahmen, soweit sie nicht die Autobahnen betreffen, in der Kompetenz der Kantone liegen. Sollen Massnahmen auf Autobahnen getroffen werden, können die Kantone gemäss LRV entsprechende Anträge an den Bundesrat stellen.

Die Befolgung der Tempovorschriften des motorisierten Verkehrs ist ein Anliegen, das aus Sicht der Verkehrssicherheit, des Lärmschutzes, des Energieverbrauchs wie der Luftreinhaltung von beträchtlicher Bedeutung ist. Kantonale und kommunale Polizeikorps betreiben schon heute einen beträchtlichen Kontrollaufwand. Diese Anstrengungen dürfen nicht nachlassen. Wo immer rechtlich und technisch möglich, soll der Erfassungsgrad von Verstössen durch technische Hilfsmittel wie automatische Geschwindigkeitsüberwachungen verbessert werden.

Die grossen Schwierigkeiten beim Vollzug der Massnahmen zur Beschränkung des Wachstums des motorisierten Verkehrs stellen ein *Haupthindernis für die Erreichung der ökologischen Ziele* der Luftreinhaltung dar.

Branchenvereinbarungen (Bund, Kantone)

Bei der Zementindustrie erfolgt die Umsetzung des Vorsorgeprinzips erstmalig in der Schweiz im Rahmen einer Branchenvereinbarung, die sich in der Regel an die Grenzen des technisch und betrieblich Möglichen und wirtschaftlich Tragbaren hält. Nur wo in kantonalen Massnahmenplänen zur Luftreinhaltung verschärfte Emissionsbegrenzungen festgelegt sind (gegenwärtig in einem Kanton), werden verschärfte Emissionsgrenzwerte verlangt.

Branchenvereinbarungen müssen *frachtorientiert* sein. Sie können vom üblichen System der Emissionsgrenzwerte abweichen, die für alle Anlagen gleichmässig gelten. Branchenvereinbarungen, die stattdessen *effizienzorientiert* sind, laufen Gefahr, das primäre Ziel einer ausreichenden Ef-

ektivität nicht mit genügendem Nachdruck zu verfolgen und sind deshalb in der Regel *nicht ziel-effizient*. Die erzielten Effizienzgewinne können zum Beispiel die Tatsache verschleiern, dass die Zunahme des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen mit beträchtlichem Aufwand erzielte Effizienzgewinne bei weitem wettmachen.

Tankstellen (Bund und Kantone)

Bei der Funktionsfähigkeit der Benzindampf-Rückführungssysteme bestehen zur Zeit beträchtliche Probleme. Bei der Bilanzierung des Effektes der – beschlossenen und weitgehend umgesetzten – Massnahme wurde davon ausgegangen, dass die entsprechenden Anlagen und Einrichtungen technisch einwandfrei funktionieren. Angesichts der festgestellten Defizite bei den Massnahmen zur Verminderung der NMVOC-Emissionen kommt der Behebung der festgestellten technischen und betrieblichen Mängel grosse Bedeutung zu.

7.3.3 Spezialfall Landwirtschaft (Ammoniak)

Das Bewusstsein, dass die Ammoniakemissionen zu bedeutenden Umweltproblemen führen (Bodenversauerung, Überdüngung naturnaher Ökosysteme), besteht noch nicht seit langer Zeit. Entsprechend ist die Landwirtschaft als massgebender Verursacher dieser Emissionen erst seit kurzem ins Zentrum des Interesses gerückt. Der Vollzug von Massnahmen zur Emissionsminderung ist noch nicht sehr weit fortgeschritten. Die Landwirtschaft wird in beträchtlichem Mass durch Geldströme (Direktzahlungen) beeinflusst, welche noch ungenügend auf die Anforderungen der Lufthygiene ausgerichtet sind.

7.3.4 Zusammenfassung: Würdigung der bisher beschlossenen Massnahmen der Schweiz

Obwohl die bisher beschlossenen Massnahmen der Schweiz nicht ausreichen, um die ökologischen Ziele zu erreichen, haben die bisher getroffenen Massnahmen zum Teil *eindrückliche Teilerfolge* gebracht.

Wie die zusammenfassende Würdigung ergibt, waren die meisten der getroffenen Massnahmen zudem *zieleffizient*. Sie sollten aus diesem Grund im Rahmen der laufenden Umsetzungsaktivitäten von Bund und Kantonen *mit aller Energie weitergeführt* werden.

***Teil II:
Evaluation von zusätzlichen Massnahmen***

8 **Prioritätensetzung für zusätzliche Massnahmen nach Massgabe der Zieleffizienz**

8.1 **Einleitung: Vorgehensprinzip Zieleffizienz**

Um die Erarbeitung von neuen Massnahmen zu vereinfachen, sollen Kriterien für diejenigen Verursacherkategorien aufgestellt werden, bei denen die besten Chancen bestehen, zieleffiziente Massnahmen zu entwickeln. Die Evaluation dieser Verursacherkategorien erfolgt für alle Massnahmen ohne Rücksicht darauf, ob sie als Nachvollzug von internationaler Normen zustande kommen oder von Bund, Kantonen und Gemeinden zu treffen sind.

8.2 **Prioritätensetzung bei den Verursacherkategorien**

Grundlage der Prioritätensetzung stellen die Anteile einer Verursacherguppe an der Emission eines bestimmten Luftschadstoffs respektive am Brenn- und Treibstoffverbrauch dar: Je grösser nämlich der Prozentanteil einer bestimmten Verursacherguppe an den Emissionen eines bestimmten Luftschadstoffs, respektive am Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen, desto höhere Priorität kommt der Erarbeitung von Massnahmen für die betreffende Gruppe zu und desto grössere *Effektivität* besitzen potentielle Massnahmen.

Zusätzlich zum Emissionsanteil werden in Hinblick auf die Zieleffizienz von Massnahmen für jede Verursacherkategorie drei weitere Einflussgrössen bewertet. Diese Bewertung erfolgt semiquantitativ durch Angabe einer Gewichtung (3 Stufen).

Gesamthaft ergeben sich folgende Kriterien zur Prioritätensetzung nach Massgabe der Zieleffizienz

1. *Schadstoffemissionen* (respektive Verbrauch an Brenn- und Treibstoffen).
2. *Wachstumsdynamik (wd)*: Verursacherkategorien, bei denen eine Zunahme der Aktivitäten zu erwarten ist, kommt höhere Priorität zu als Verursacherguppen, deren Aktivitätsraten kaum oder wenig anwachsen. Im ersten Fall kann die Wirkung von Massnahmen durch die Entwicklung beeinträchtigt werden. Im zweiten Fall schlagen sie weitgehend in Form von Verminderungen der heute vorhandenen Emissionen zu Buche (Gewichtung 1: geringste, Gewichtung 3: höchste Wachstumsdynamik).
3. *Chancen der Technik (ct)*: Massnahmen in Bereichen, wo in Zukunft technische Verbesserungspotentiale bestehen, sollen mit hoher Priorität angegangen werden. Massnahmen mit ungewissem Verbesserungspotential (Beispiel Wasserstofftechnologie) kommt weniger Priorität zu (Gewichtung 1: geringste Chance, Gewichtung 3: beste Chance für Technologieentwicklungen, die zu Schadstoffminderungen beitragen).
4. *Chancen im Vollzug (cv)*: Gibt es bereits gesetzliche Grundlagen für Massnahmen in bestimmten Verursacherkategorien, bestehen vergleichbar gute Voraussetzungen für den Vollzug (Beispiel CO₂-Abgabe). Müssen solche Voraussetzungen erst geschaffen werden, sind diese Chancen schlechter. Eher ungünstig sind auch die Vollzugschancen, wenn Massnahmen nicht allein durch die Schweiz getroffen werden können (Beispiel Überflüge über die Schweiz). Können Verursacher vergleichsweise leicht erfasst und kontrolliert werden (Beispiel grössere stationäre Anlagen) bestehen bessere Chancen für den Vollzug als bei schlecht erfassbaren und kontrollierbaren Verursacherguppen (Beispiel: diffuse Emissionen von Lösemitteln).

Die Ermittlung der Reihenfolge der Prioritäten erfolgt für jede Verursachergroupe und jeden Luftschadstoff durch einen Gesamtgewichtsfaktor GGF gemäss der folgenden Formel:

$$\text{GGF} = (\text{Emissionsmenge})^2 \times (\text{wd}) \times (\text{ct}) \times (\text{cv})$$

respektive

$$\text{GGF} = (\text{Brenn- und Treibstoffverbrauch})^2 \times (\text{wd}) \times (\text{ct}) \times (\text{cv})$$

Dabei bedeuten (wd), (ct), (cv) die Einzelgewichte der Beurteilungskategorien Wachstumsdynamik, Chancen der Technik und Vollzugschancen. (Der Emissionsanteil wird gegenüber den anderen Einflussfaktoren erhöht gewichtet und geht deshalb als Quadrat in die Gewichtungformel ein).

Für jeden bewerteten Luftschadstoff und für den Verbrauch an Brenn- und Treibstoffen werden die Einzelgewichte aller Verursacherguppen zusammengezählt und gleich 100% gesetzt. Die Angabe der einzelnen Gewichte erfolgt dann in Form von Prozentzahlen bezogen auf die Summe der Einzelgewichte. In den folgenden Kapiteln werden die Resultate dieser Bewertung für Massnahmen zur Verminderung des Brenn- und Treibstoffverbrauchs sowie für abgasseitige Massnahmen dargestellt.

Die „Benotung“ der Verursacherkategorien gemäss den Kriterien wd, ct und cv erfolgte durch Schätzungen. Die Art der Berechnung stellt dabei sicher, dass die Rangierung der Verursacherkategorien nicht von den Details der Benotung abhängen, also gegenüber abweichenden Benotungen robust ist. Dies wurde durch Vergleich von unabhängigen Benotungen der beteiligten Fachleute des BUWAL und von kantonalen Vollzugsbehörden im Rahmen von verschiedenen Vernehmlassungen überprüft (Sensitivitätsanalyse).

8.3 Massnahmenerarbeitung und Bewertung der Einsparpotentiale

Die Rangierung von Verursacherkategorien aufgeteilt nach Luftschadstoffen sowie nach Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen dient zunächst dazu, die *Bearbeitungstiefe* festzulegen, mit der Massnahmen evaluiert werden: Verursacherkategorien mit hoher Priorität bezüglich Zieleffizienz werden auch mit grösster Bearbeitungstiefe untersucht.

Auf der Basis dieser Rangierung wurden detaillierte Massnahmenvorschläge ausgearbeitet. Diese sind in den folgenden Kapiteln dargestellt. Die Bewertung der Wirkung der Massnahmen erfolgte durch Schätzungen der Wirkung jeder Einzelmassnahme auf der Grundlage von Experteninterviews. Pro Verursacherkategorie wurde die Summe der Wirkung der evaluierten Massnahmen zusammengezählt (Potential P der Massnahmen). Zusätzlich wurde abgeschätzt, welcher Anteil dieses Potentials bis 2020 mit guter Wahrscheinlichkeit umgesetzt werden kann (Erwartungswert E der Massnahmen; in der Regel gut 50% des gesamten Potentials der Massnahmen einer Verursacherkategorie).

Entsprechend dem Standardschema und der Wahl des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen als universellem Mass für die Aktivitäten (vgl. dazu 6.6.1 und 6.6.2) wurden die Wirkungen der Massnahmen zur Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen und zur Verminderung von Schadstoffemissionen kombiniert (Multiplikation von Relativwerten). Eine Ausnahme macht die Kombination von Einsparungen durch Verbesserung der Effizienz von Motoren, wo Korrekturen angebracht wurden, um Überschätzungen der Einsparpotentiale zu vermeiden (vgl. 6.6.2).

9 Verminderung des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen

9.1 Ansatzpunkt: Synergien erkennen und nutzen

Die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung stellt eine wichtige Teilaufgabe der umfassenden Aufgabe eines *nachhaltigen Umgangs mit der Umwelt* dar. Die zieleffiziente Nutzung von Synergien mit anderen Teilaufgaben ist deshalb ein zentrales Anliegen des zu entwickelnden Massnahmenprogramms. Wie die Analyse in Teil I gezeigt hat, bestehen zwischen den Zielen der Luftreinhaltung und der Entwicklung des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen besonders ausgeprägte Synergiepotentiale.

Im vorliegenden Kapitel werden deshalb zunächst Massnahmen zur Verminderung des Verbrauchs von *Brenn- und Treibstoffen* evaluiert, ohne schon Aussagen über ihre Auswirkungen auf die Luftreinhaltung zu machen. Die Wirkungen dieser Massnahmen auf den *Ausstoss von Luftschadstoffen* werden in den folgenden Kapiteln kombiniert mit den Wirkungen der Massnahmen, die spezifisch für die jeweiligen Luftschadstoffe sind (Abgasnachreinigungen etc.). Das Resultat dieser Kombinationen wird für jeden Luftschadstoff gesondert berechnet. (Kapitel 10: Stickstoffoxide, NO_x; Kapitel 11: Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan, NMVOC; Kapitel 12: Lungengängiger Feinstaub, PM10; Kapitel 13: Ammoniak, NH₃ und Kapitel 14: Schwefeldioxid, SO₂).

Massnahmenbeschreibungen sind im Text durch einen Kasten markiert. Wo keine expliziten Massnahmen aufgeführt sind, wird mit technologischen Fortschritten gerechnet, welche voraussichtlich Verminderungen von Emissionsgrenzwerten im Rahmen des technisch Möglichen und wirtschaftlich Tragbaren zulassen.

9.2 Ökologische Steuerreform als Motor für die Ausnützung der Synergiepotentiale

Ökologische Steuerreform gemäss den Legislaturzielen des Bundesrates.

Die vorgesehene CO₂-Abgabe enthält bereits Elemente einer ökologischen Steuerreform. Detaillierte Überlegungen in Sachen ökologische Steuerreform können erst gemacht werden, wenn Entschiede über die Einführung und Ausgestaltung der CO₂-Abgabe getroffen sind.

Eine ökologische Steuerreform wirkt sich auf den gesamten Energieverbrauch der Schweiz aus. Die Wirkung einer solchen Massnahmen hängt sehr stark von ihrer konkreten Ausgestaltung ab.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist keine Quantifizierung möglich.
--

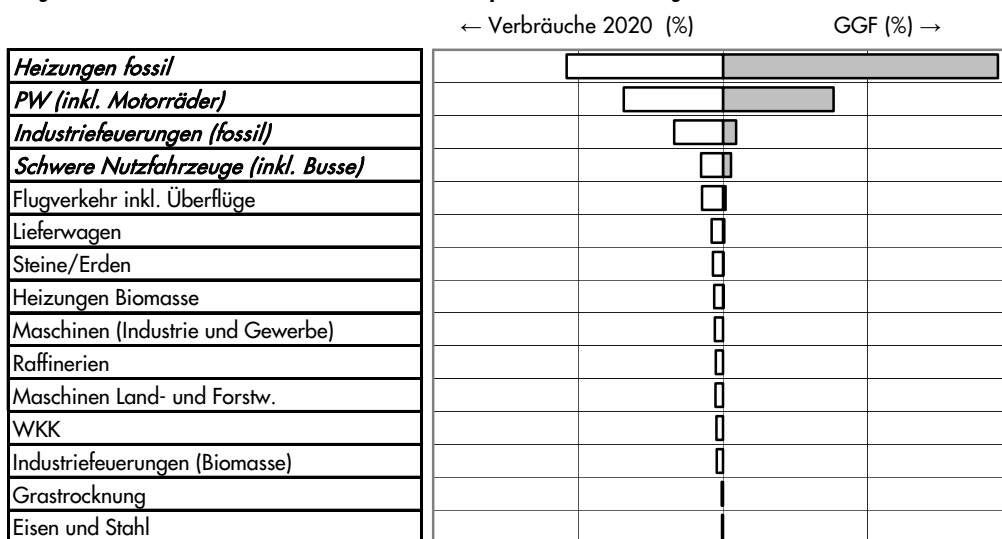
9.3 Prioritätensetzung Brenn- und Treibstoffe

Bewertung der Verursacherkategorien bezüglich Massnahmen

Verursacherkategorie	Verbrauch 2020 (TJ/a)	wd	ct	cv	GGF (%)
<i>Heizungen fossil</i>	223'006	2	3	2	66.5%
<i>PW (inkl. Motorräder)</i>	141'420	3	2	2	26.7%
<i>Industriefeuerungen fossil</i>	69'603	1	2	3	3.2%
<i>Schwere Nutzfahrzeuge und Busse</i>	31'230	3	2	3	2.0%
Lieferwagen	16'178	3	2	2	0.3%
Überflüge	14'883	3	3	1	0.2%
Flugverkehr CH	14'825	3	3	2	0.4%
Steine/Erden	14'136	1	2	2	0.1%
Heizungen Biomasse	12'359	3	2	2	0.2%
Maschinen Industrie und Gewerbe	11'556	1	2	2	0.1%
Raffinerien	10'250	1	2	2	0.05%
L-F Maschinen	10'672	1	1	2	0.03%
WKK	9'170	2	2	2	0.07%
Industriefeuerungen Biomasse	8'808	2	2	2	0.07%
Grastrocknung	1'497	1	1	1	0.00%
Eisen und Stahl	946	1	1	2	0.00%

Anmerkung: GGF: Gesamtgewichtungsfaktor, wd: Wachstumsdynamik; ct: Chancen der Technik, cv: Chancen Vollzug; wd,ct,cv = 0: keine Bewertung

Vergleich der GGF mit Brenn- und Treibstoffverbrauch pro Verursacherkategorie



Legende

Rechter Teil der Figur: Gesamtgewichtungsfaktoren (GGF) gemäss Tabelle 9.3. Linker Teil der Figur: Prozentuale Anteile der Verursacherkategorien am schweizerischen Gesamtverbrauch von Brenn- und Treibstoffen im Jahr 2020.

Schlussfolgerung

Bei den Massnahmen zur Verminderung der Brenn- und Treibstoffe kommt den Verursacherkategorien Heizungen und PW offensichtlich erste Priorität zu. Wegen der Ähnlichkeiten der möglichen Massnahmen zu denjenigen der PW, wird auch die Verursacherkategorie schwerer Nutzverkehr zu den Massnahmen erster Priorität geschlagen. Da die Industriefeuernungen fossil etwa den gleichen GGF besitzen wie der schwere Nutzverkehr, werden auch sie den Verursacherkategorien erster Priorität zugeschlagen.

Die Verursacherkategorien erster Priorität sind im Text der Tabelle im Abschnitt 9.3 hervorgehoben.

9.4 Zur Bewertung der Bilanzen

In den folgenden Kapiteln werden Detailmassnahmen, geordnet nach Verursacherkategorie beschrieben und die Wirkung der Massnahmen einzeln bewertet. In der Zusammenfassung der Wirkungen pro Verursacherkategorie (vgl. zum Beispiel die Tabellen 9.10, 9.11) werden pro Verursacherkategorie die *Potentiale P* und die *Erwartungswerte E* der Wirkung der Massnahmen angegeben. Diese sind folgendermassen definiert:

Bei der Ausschöpfung aller möglicher Einzelmassnahmen einer Verursacherguppe summieren sich die Wirkungen. Die „maximalen *Einsparpotentiale P*“ stellen somit die unter besten Umständen erreichbaren Einsparungen dar.

Berücksichtigt man Unsicherheiten bei der technischen Realisierung, realistische Umsetzungsfristen bis 2020 und die Unvollkommenheit der Vollzugsinstrumente, muss mit *erheblichen Abstrichen* gerechnet werden. Diese Abstriche sind einerseits die Folge davon, dass Entwicklungen von Technologien sich aus technischen Gründen (Anlagetechnik im engeren Sinne wie Betriebskosten- und Investitionsbedarf) nicht im erwarteten Ausmass umsetzen lassen. Neben solchen „objektiven“ Abstrichen hängt der effektiv erreichbare Umsetzungsgrad auch zu einem wesentlichen Teil von Faktoren ab, die sich von Seiten der Politik beeinflussen lassen (wie Aktivitäten im Vollzugsaufwand oder Höhe von Abgaben). Als realistisch wurde in der Regel die Annahme betrachtet, dass die die Einsparpotentiale *P* sich ohne spezielle Anstrengungen beim Vollzug *zu etwas mehr als 50%* in die Praxis umsetzen lassen. Diese Werte werden im Folgenden „*Erwartungswerte E*“ genannt.

Werden spezielle Anstrengungen im Vollzug gemacht, darf allerdings davon ausgegangen werden, dass sich die maximalen Einsparpotentiale bis 2020 zu mehr als gut 50% ausschöpfen lassen, dass also die Wirkung der Massnahmen die Erwartungswerte übertrifft. Dies gilt natürlich nicht nur für die Massnahmen zur Verminderung des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen, sondern auch für die in den folgenden Kapiteln vorgeschlagenen schadstoffspezifischen Massnahmen zur Verminderung der Abgase.

9.5 Verursacherkategorie erster Priorität: Raumheizung (BT 11)

(Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf die jeweilige Verursacherkategorie)

9.5.1 Minergie-Standard

Die schweizerischen Standards der Wärmedämmung für Neu- und Altbauten werden mittelfristig auf den Stand der Normen des (kantonalen) Minergie - Standards gebracht.

Diese Massnahme greift an der Wurzel des Problems an: beim Energiebedarf für die Heizung.

9.5.2 Einführung neuer Verbrennungstechnologien

Ab 2006 sind bei den Feuerungen nur noch kondensierende oder Niedertemperatursysteme zuzulassen.

Damit vermindert sich die an die Atmosphäre abgegebene Heizenergie um die Kondensationsenergie des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfs.

Wirkung der beiden Massnahmen: Einsparpotential: 15% bezogen auf die zu erwartende Entwicklung.

Umsetzung: Bund und Kantone.

9.6 Verursacherkategorie erster Priorität: motorisierter Personenverkehr (BT 12)

9.6.1 Einleitung

Die Bewältigung des zu erwartenden *Fahrleistungswachstums* von Personenwagen und Motorrädern ist ein zentrales Problem der Agglomerationspolitik von Bund und Kantonen, das gleichermassen Siedlungsraum und Verkehrsachsen betrifft.

Auf Seiten des Siedlungsraums sind Probleme bei der Belastung von Bevölkerung und Umwelt durch Luftverschmutzung, Lärmbelästigung und Flächenverbrauch zu bewältigen. Auf Seite der Verkehrsachsen stehen neben den Problemen der Verkehrssicherheit die Fragen nach den verfügbaren *Verkehrskapazitäten* und der Aufteilung des Verkehrs auf die verschiedenen *Verkehrsträger* („modal split“) im Vordergrund. Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf die jeweilige Verursacherkategorie.

9.6.2 Siedlungsstruktur

Generelle Massnahme

Die Planungsgrundsätze der schweizerischen Raumplanung befassen sich mit Nachdruck mit dem Problem der Siedlungsstruktur und ihrer Gefährdung durch Zersiedelung des schweizerischen Mittellands. So legt Artikel 3 des Raumplanungsgesetzes fest:

³ Die Siedlungen sind nach den Bedürfnissen der Bevölkerung zu gestalten und in ihrer Ausdehnung zu begrenzen. Insbesondere sollen

- a. Wohn- und Arbeitsgebiete einander zweckmässig zugeordnet und durch das öffentliche Verkehrsnetz hinreichend erschlossen sein;
- b. Wohngebiete vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen wie Luftverschmutzung, Lärm und Erschütterungen möglichst verschont werden

Aus Sicht der Luftreinhaltung spielt die Umsetzung der Vorgaben des Raumplanungsgesetzes eine *zentrale Rolle* bei der mittelfristigen Kontrolle des Verkehrswachstums: Je weniger es gelingt, die Zersiedelung der Schweiz zu verhindern, desto grösser werden die mittleren Fahrdistanzen/Fahrleistungen und desto unrentabler die Erschliessung mit öffentlichem Verkehr.

Da die Zersiedelung der Schweiz trotz dem Auftrag des Raumplanungsgesetzes weiter fortschritt und fortschreitet, wurden in von den Kantonen verabschiedeten Massnahmenplänen zur Luftreinhaltung zusätzliche Massnahmen zur Kontrolle der Zersiedelung festgelegt. In der Praxis haben sich mit dieser Doppelspurigkeit immer wieder Unklarheiten ergeben. Die grossen Anstrengungen, die für diese Kontrolle der Zersiedelung notwendig sind, und die Komplexität der gestellten Aufgabe verlangen *zusätzliche Koordinationsanstrengungen zwischen Raumplanung und Luftreinhaltung*:

Das Bundesamt für Raumentwicklung und das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft verbessern die Koordination zwischen den kantonalen Richtplänen und den Massnahmenplänen zur Luftreinhaltung. Dazu erarbeiten sie Vollzugsempfehlungen und prüfen zur Genehmigung eingereichte kantonalen Richtpläne systematisch auf die Einhaltung dieser Richtlinien.

Gesamtwirkung der Massnahmen: Verminderung des Wachstums der Fahrleistung gegenüber dem Trend: Einsparpotential 5%.

Umsetzung: Durch Kantone (Erarbeitung der Richtpläne) und Bund (Genehmigung der Richtpläne), Gemeinden (Erarbeitung kommunaler Richtpläne und Nutzungsplanungen).

Teilmassnahme: Koordination Raumplanung – Umweltschutz im Bereich Einkaufs- und Freizeitverkehr

Wie die Resultate des Mikrozensus 2000 zeigen, stellte in den letzten 15 Jahren der *Freizeitverkehr* das am stärksten wachsende Segment des Verkehrs dar. Die Distanz der Freizeitwege hat seit 1984 um rund 40% zugenommen (Schlussbericht Mikrozensus 2000, S. 78). Es ist davon auszugehen, dass sich diese Entwicklung fortsetzt. 80% der Freizeitwege werden für Besuche, Kultur-Sport, Aussenaktivitäten und Gastronomie zurückgelegt. Für „Einkauf als Freizeit“ wurden 2000 knapp 4% der gesamthaft zurückgelegten Wege eingesetzt (ibid. S. 52). Das Marktsegment „Einkaufen als Freizeit“ dürfte in Zukunft durch gezielte Angebote (neue publikumsintensive Anlagen ausserhalb der Siedlungszentren) deutlich zunehmen und die grosse Wachstumsdynamik im Bereich „Freizeit“ noch zusätzlich anheizen.

Durch eine umfassende Koordination der Planung von publikumsintensiven Einrichtungen in kantonalen und kommunalen Richtplänen werden die neu entstehenden Fahrleistungen minimiert. Dadurch erfahren Standorte in der Nähe von Bevölkerungsschwerpunkten eine Förderung.

Diese Massnahme setzt die generelle Massnahme in einem für die zukünftige Fahrleistungsentwicklung kritischen Teilbereich um. Als Resultat wird die Bremsung der Fahrleistungszunahme des MIV im Wachstumsbereich Freizeitverkehr erwartet. Die Koordination ist primär Sache der Kantone (kantonale Richtpläne, kantonale Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung). Die Erarbeitung von Fachgrundlagen ist auf Seiten des Bundes gegenwärtig im Gange (Umsetzung der nationalrätlichen Motion Büttiker; die Vernehmlassung zu einer Vollzugsempfehlung zu den publikumsintensiven Einrichtungen ist abgeschlossen).

Wirkung: Teilmassnahme in Wirkung der allgemeinen Massnahme einbezogen.

Umsetzung: Durch Kantone und Gemeinden (Richtpläne) sowie Bund und Kantone (Genehmigung der Richtpläne).

Eine Grundlage für derartige Koordinationsanstrengungen stellt die Schrift „Publikumsintensive Einrichtungen“ dar (Schriftenreihe Umwelt Nr. 346). Sie behandelt in erster Linie rechtliche Aspekte der Koordination.

9.6.3 Verlagerungen von Personentransporten auf öV und Langsamverkehr.

In den dicht besiedelten Gebieten des schweizerischen Mittellands finden derartige Verlagerungen bereits in einem gewissen Umfang statt. Dies dürfte die Folge von Kapazitätsproblemen beim MIV kombiniert mit der Förderung von öV und Langsamverkehr darstellen. Die Umlagerungen finden unter anderem ihren Niederschlag in der seit 1994 zu beobachtenden Abnahme der Durchschnittsgeschwindigkeit des MIV um 8.5% bei den PW und um 11.5% bei den MR während parallel dazu der Langsamverkehr wie Tram und Bus leicht schneller geworden ist (Schlussbericht Mikrozensus S. 77).

In den Siedlungszentren ist die Bewirtschaftung von Parkplätzen weiterzuführen und zu koordinieren. Diese Massnahme ist zu flankieren durch Bau und Betrieb von öV-Verbindungen zwischen zentralen und peripheren Bereichen der Agglomerationen und intensivierete Förderung von sicheren Routen für den Langsamverkehr.

Wirkung: Gegenüber dem Trend und in Kombinationen mit Abgaben und Gebührenerhebungen wird von einem Einsparpotential der Fahrleistungen von 5% ausgegangen.

Umsetzung: Kantone, Gemeinden durch Erlass von Reglementen und Ausarbeitung von Richtplänen. Bund: im Rahmen der Agglomerationspolitik und der kantonalen Richtpläne.

9.6.4 CO₂-Abgabe und Strassenbenutzungsgebühren

Das CO₂-Gesetz sieht die Einführung einer CO₂-Abgabe vor, wenn die Reduktionsziele durch freiwillige Massnahmen und den Klimarappen auf Treibstoffe nicht erreicht werden. (SR 641.71, Art. 3 Abs. 2). Beim Treibstoffverbrauch dürften diese Ziele deutlich verfehlt werden. Strassenbenutzungsgebühren können verursachergerecht zur Erreichung dieser Ziele beitragen.

In den Kernbereichen der grösseren Agglomerationen wird die Erhebung von Strassengebühren auf den Ein- und Ausfallachsen („Road Pricing“) in Zukunft einen weiteren Beitrag zur Entlastung der Zentren und der ins Zentrum führenden Verkehrsachsen leisten. Im Moment fehlen dazu in der Schweiz allerdings die gesetzlichen Grundlagen. (Es bestehen allerdings Möglichkeiten, sich an Pilotprojekten zu beteiligen.)

Erfüllt die Entwicklung des Treibstoffverbrauchs in der Schweiz nicht die Vorgaben des CO₂-Gesetzes, führt der Bund die im Gesetz vorgesehene CO₂-Abgabe auf Treibstoffen ein.

Der Bund schafft die gesetzlichen Grundlagen für die Einführung von Strassenbenutzungsgebühren („Road Pricing“) und unterstützt die Entwicklung von entsprechenden Systemen und die Möglichkeiten zur Integration in Verkehrsbeeinflussungssysteme (VBS). Die Einführung derartiger Systeme erfolgt durch Kantone und Gemeinden. Systeme für „Road Pricing“ sind in der Regel zu integrieren in regionale und kommunale Verkehrsbeeinflussungssysteme.

Wirkung: Förderung des Umsteigens auf öV und Langsamverkehr bei Berufspendlern. Verminderung des Einkaufs- und Freizeitverkehrs von den Agglomerationszentren aus zu den peripher gelegenen Einkaufs- und Freizeitzentren. Strassenbenutzungsgebühren und CO₂-Abgabe: Einsparpotentiale 5%.

Umsetzung: Bund durch Gesetzgebung und Unterstützung der Technologieentwicklung. Kantone und Gemeinden durch Einführung integrierter „Road Pricing“ Systeme auf geeigneten Zufahrtsachsen zu den Agglomerationszentren.

9.6.5 Verminderung der Fahrzeuggewichte

Durch Verminderung der Fahrzeuggewichte ergibt sich ein verminderter Energieverbrauch bei Beschleunigungsvorgängen: die pro Beschleunigungsvorgang zu erbringende Motorenleistung nimmt proportional zur Masse des Fahrzeugs zu. Dieser Effekt dürfte besonders bei Verkehr mit hoher Fahrdynamik (d.h. in Siedlungszentren und auf stark belasteten Autobahnen) zu Buche schlagen. Angesichts der heute im Automobilbau konstruktiv zur Verfügung stehenden Möglichkeiten sind deutliche Verminderungen der mittleren Fahrzeuggewichte ohne Komfortseinbussen realisierbar. Vermindern sich die durchschnittlichen Fahrzeuggewichte, entsteht durch die Benutzung leichterer Fahrzeuge auch kein zusätzliches Sicherheitsrisiko bei Unfällen.

Die Verminderung der mittleren Fahrzeuggewichte der PW um 5 bis 10% gegenüber heute wird durch Selbstverpflichtung des Autogewerbes und durch steuerliche Mehrbelastungen in Kombination mit technischen Vorschriften durchgesetzt. (Diese Massnahmen besitzt Synergien zu Massnahmen zur Förderung der Verkehrssicherheit.)

Wirkung: Verminderung des Treibstoffverbrauchs um 5%.

Umsetzung: Bund durch den Erlass von Vorschriften oder durch Abschluss von Vereinbarungen mit dem Autogewerbe ev. kombiniert mit Anreizsystemen für den Kauf emissionsärmerer PW. Kantone durch Fahrzeugbesteuerung nach Gewicht (soweit sie nicht schon nach Treibstoffverbrauch erfolgt) ev. kombiniert mit Zulassungsbeschränkungen oder Parkplatzbeschränkungen in Parkhäusern nach Fahrzeuggewicht.

9.6.6 Motorentechnik

Verminderungen des Energieverbrauchs pro gefahrene Strecke durch verbesserte Motorentechnik sind möglich und zu erwarten. Ein Problem stellen beim heutigen Stand der Technik unerwünschte Nebeneffekte dar. So ist beim Übergang von Otto- auf Dieselmotoren mit vermehrter PM10- und NO_x-Produktion zu rechnen. Eine Umstellung von Otto- auf Dieselmotoren ist gesamthaft gesehen nur dann zielführend, wenn sie nicht mit dem Preis eines wesentlich vergrösserten Ausstosses von Luftschadstoffen (NO_x, PM10) pro gefahrene Strecke verbunden ist (vgl. dazu die Massnahmen zur NO_x-Verminderung).

Rein motorentechnische Massnahmen zur Verminderung der Schadstoffe können in Widerspruch zu Massnahmen zur Verringerung des Treibstoffverbrauchs geraten. Bei Antriebstechnologien wie den Hybridantrieben kann aber davon ausgegangen werden, dass motorentechnische Verbesserungen einen positiven Beitrag zur Verminderung des Treibstoffverbrauchs leisten ohne die Emissionen von Luftschadstoffen zu erhöhen.

Umsetzung der Verbesserungen der Motorentechnik im Gleichschritt mit den europäischen Massnahmen. Massnahmen zur beschleunigten Einführung verbesserter Technologie im Einklang mit den europäischen Regeln mit besonderem Gewicht auf die Einführung von Hybridantrieben.

Wirkung: Einsparpotential gegenüber dem Trend: 20%.

Umsetzung: Bund durch Erlass entsprechender Zulassungsvorschriften.

Anmerkung: alternative Antriebstechnologien (mit Ausnahme der Hybridantriebe)

Batteriebetriebene reine Elektrofahrzeuge und Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieben ermöglichen es, stationär erzeugte Energie mobil zu machen. Beide Fahrzeugtypen weisen deshalb an ihrem Einsatzort sehr kleine Emissionen von Luftschadstoffen auf. In der Gesamtbetrachtung sind jedoch die Auswirkungen der stationären Energieerzeugung auf Luftreinhaltung und Klimaschutz einzubeziehen.

Der Übergang zur Wasserstofftechnologie ist mittelfristig noch nicht realistisch. Die Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff erfordert eine beträchtliche neue Infrastruktur deren Errichtung und Betrieb problematisch werden könnte. Innerhalb des Zeithorizonts bis 2020 dürfte diese Technologie keine praktisch bedeutenden Auswirkungen auf die schweizerische Fahrzeugflotte haben.

9.6.7 Verstetigung des Verkehrs

Durch eine stetigere Fahrweise, d.h. durch Verzicht auf rasante Beschleunigungsmanöver können Einsparungen von Treibstoff pro gefahrenen Kilometer erreicht werden. Diese schlagen vor allem im Agglomerationsverkehr und auf Innerortsstrassen zu Buche (Potential: etwa 20% Verminderung des Treibstoffverbrauchs pro gefahrenen Kilometer). Eine stetige Fahrweise kann durch Schulung der Lenkerinnen und Lenker gefördert werden. Parallel dazu können im Innerortsbereich bauliche Massnahmen zu Verstetigungen des Verkehrs führen.

Die Massnahmen zur Verstetigung des Verkehrs werden entsprechend der Wegleitung des BUWAL (Vollzug Umwelt 2002) beschleunigt umgesetzt.

Angesichts der heute schon beträchtlichen Aktivitäten der Kantone und der grösseren Agglomerationen sind gegenüber dem Trend keine massiven Verbesserungen mehr erreichbar.

Wirkung: Einsparpotential gegenüber Trend 5%.

Umsetzung: Kantone und Gemeinden im Rahmen von Planung und Bau von Innerortsstrassen, Bund: Förderung im Rahmen der Agglomerationspolitik.

9.6.8 Technische Massnahmen bei den Motorrädern

Motorräder kleinerer Hubräume und Leistung (Roller etc.) können, besonders im Stadtverkehr, PW ersetzen. Angesichts der geringeren Motorleistung ist dieser Umstieg aus Sicht von Luftreinhaltung wie Leistungsfähigkeit der Verkehrssysteme eher positiv zu bewerten. Voraussetzung dafür ist allerdings der Verzicht auf Zweitaktmotoren heutiger Technologie – positiv zu bewerten sind dagegen neben Viertaktmotoren allenfalls auch TSDI-Zweitaktmotoren (Direkteinspritzung) oder Zweitakter mit effektiver Abgasnachreinigung.

Aus Sicht von Lufthygiene (aber auch von Klimaschutz und Lärmentwicklung) besonders interessant ist die Möglichkeit, Roller etc. mit alternativer Abtriebstechnik auszustatten (Batterien etc.), da hier wesentlich kleinere Antriebsleistungen benötigt werden als bei PW.

Eine Beschränkung der Motorenleistung der MR wird über Vorschriften und steuerliche Belastungen umgesetzt.

Motorisierte Zweiradfahrzeuge mit alternativer Antriebstechnik (Elektro- und Hybridantriebe) werden steuerlich bevorzugt.

Wirkung: Im Bereich MR dürften ähnliche Treibstoffeinsparungen resultieren wie die erwarteten Verbesserungen der PW-Antriebe: Einsparpotential gegenüber dem Trend: 20%.

Umsetzung: Bund durch Zulassungsvorschriften, Kantone: durch verbesserte Kontrollen sowie steuerliche Massnahmen.

9.7 Verursacherkategorie erster Priorität: Industriefeuerungen (BT 13)

Einbau von Abgaswärmetauschern bei allen Industriefeuerungen (verschiedene ältere Industriefeuerungen werden heute noch ohne Abgaswärmetauscher, „economizer“ betrieben).

Wirkung: Einsparpotential 30% gegenüber dem Trend.

Umsetzung: Bund (Vorschriften) und Kantone (Vorschriften und Vollzug).

9.8 Verursacherkategorie erster Priorität: Schwere Nutzfahrzeuge und Busse (BT 14)

Eine ganze Zahl der für die PW definierten Massnahmen wirken sich auch für SNF und Busse aus. Dies ist beispielsweise der Fall für Massnahmen zur Verstetigung des Verkehrs (9.6.7: Einsparpotential 5%).

Besonders bei der Schulung der Berufschaffeuere spielt Eco Driving bereits eine beträchtliche Rolle. Im Innerstadtverkehr und auf überlasteten Autobahnen wird eine Treibstoff sparende Fahrtechnik zunehmend wichtiger.

Schulungen der Berufsschauffeure in Eco Driving und regelmässige Auffrischkurse werden in Selbstverpflichtungsaktionen des Gewerbes intensiviert.

Wirkung: Einsparpotential 10% gegenüber dem Trend.

Umsetzung: Bund und Kantone.

9.9 Verursacherkategorien zweiter Priorität

9.9.1 Lieferwagen (BT 21)

Bei den Lieferwagen können die technischen Massnahmen, welche bei den PW zur Anwendung gelangen, ebenfalls eingeführt werden. Die Verminderung der Fahrleistungen ist bei den Lieferwagen nicht in gleicher Weise möglich wie bei den PW. Die Einsparpotentiale beschränken sich deshalb auf die Wirkung der CO₂-Abgabe, Strassenbenutzungsgebühren, Verstetigung des Verkehrs und motorentechnische Massnahmen.

Wirkung: Gesamthaft 15% Einsparpotential bis 2020.

Umsetzung: Bund und Kantone über CO₂-Abgabe und „Road Pricing“.

9.9.2 Maschinen der Land- und Forstwirtschaft (BT 22)

90% dieser Fahrzeuge sind für den Strassenverkehr zugelassen. Für ihre Zulassung existieren spezielle Vorschriften. Mittelfristige Anpassung aller als Strassenfahrzeuge zugelassenen Fahrzeuge und Maschinen an die für den schweren Nutzverkehr geltenden Ausrüstungsnormen.

Wirkung: Einsparpotential gegenüber Trend: 5%.

Umsetzung: Bund und Kantone.

9.9.3 Flugverkehr (BT 23 und BT 24)

Die weitere Entwicklung des Flugverkehrs ist zurzeit sehr unsicher und hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, die kurzfristig ändern können. Besonders unsicher sind die Voraussagen der Entwicklung der Touristikflüge, die bei Verunsicherung des Publikums sehr kurzfristig zusammenbrechen. Die vorhandenen, auf der Entwicklung der Neunzigerjahre basierenden Trendprognosen wurden deshalb in Absprache mit dem Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) auf der Basis von Plausibilitätsbetrachtungen nach unten korrigiert. Die Trendprognosen sind auf der Grundlage dieser korrigierten Wachstumszahlen berechnet worden.

Durch Erhöhung der Startgebühren und durch Selbstverpflichtung der Flughafenbetreiber werden Flugzeugtriebwerke neuester Technologie mit minimalem Treibstoffverbrauch gefördert. Die Anstrengungen werden europäisch koordiniert.

Wirkung: Einsparpotential gegenüber Trend je 5% für Flugverkehr CH und Überflüge.

Umsetzung: Bund, Standortkantone und Flughafenbetreiber.

9.9.4 Maschinen von Industrie und Gewerbe (BT 25)

Mittelfristige Anpassung aller als Strassenfahrzeuge zugelassenen Fahrzeuge und Maschinen an die für den schweren Nutzverkehr geltenden Ausrüstungsnormen. Diese Verursacherkategorie schliesst den Treibstoffverbrauch der Militärfahrzeuge ein.

Wirkung: Einsparpotential 6% (10% Minderung des Energieverbrauchs abzüglich 4% Verluste durch Einführung der Partikelfiltertechnik).

Umsetzung: Bund über Ausrüstungsverordnungen.

9.9.5 Steine und Erden (BT 26)

Verbesserungen der Technologie über den heutigen Stand der Vereinbarungen hinaus unter Berücksichtigung der Auswirkungen der CO₂-Abgabe

Wirkung: Einsparpotential gegenüber Trend 10%.

Umsetzung: Bund im Rahmen des Vorsorgeprinzips.

9.9.6 Raumheizung und Industriefeuerungen mit Biomasse (BT 27 und BT 28)

Massnahmen analog den Raumheizungen und Industriefeuerungen, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden (vgl. BT 11 respektive BT 13). Da der Brennstoff CO₂-neutral ist, profitieren diese Verursacherkategorien nicht von den Wirkungen der CO₂-Abgabe.

Wirkung Raumheizung: bis 2020 8%, Potential 15%;

Wirkung Industriefeuerungen: bis 2020 Energieeinsparungen von 30%.

Umsetzung: Kantone (Förderung Minergie) und Bund (Vorschriften für Heizungen).

9.10 Übersicht: Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen. Verursacherkategorien erster Priorität

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Verbräuche bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	Einsparungen in TJ/a P E	
BT 11	Raumheizung (Haushalte und Industrie / Gewerbe)	Beschleunigte Einführung Minergie. Einsparungspotential 8% Verbrennungstechnologie (Niedertemperatur): Einsparpotential 7% Umsetzung: Kantone und Bund	15%	8%	33'500	17'800
BT 12	Personenwagen und Motorräder	Koordination Raumplanung – Umweltschutz: Einsparpotential 5% (Verminderung des Wachstums der Fahrleistungen durch Vermeidung der Zersiedlung) Verlagerungen auf öV und Langsamverkehr: Einsparpotential 5% Strassenbenutzungsgebühren Einsparpotential 5%, CO ₂ -Abgabe: Einsparpotential 5% Verminderung der Fahrzeuggewichte: Einsparpotential 5% Motortechnische Massnahmen: Einsparpotential 20% Verstetigung des Verkehrs und angebotsorientierte Verkehrsplanung: Einsparpotential 5% Umsetzung: Kantone und Bund	50%	25%	70'700	35'400
BT 13	Industriefeuerungen (fossile Brennstoffe)	Durchgehende Einführung von Economizern: ältere Industriefeuerungen werden heute noch oft ohne Abgaswärmetauscher („economizer“) betrieben. Einsparpotential und erwartete Einsparung bis 2020: 30% Umsetzung: Bund	30%	30%	20'900	20'900
BT 14	Schwere Nutzfahrzeuge und Busse (SNF / Busse)	Eco Driving: Einsparpotential (gegenüber Trend): 10% Verstetigung des Verkehrs analog PW: Einsparpotential 5% Motorentechnische Massnahmen analog PW: Einsparpotential 10% Umsetzung: Kantone und Bund	25%	15%	7'800	4'700
			Summen		132'900	78'800

Legende

- |* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen
- |** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der Potentiale).

9.11 Übersicht: Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen. Verursacherkategorien zweiter Priorität

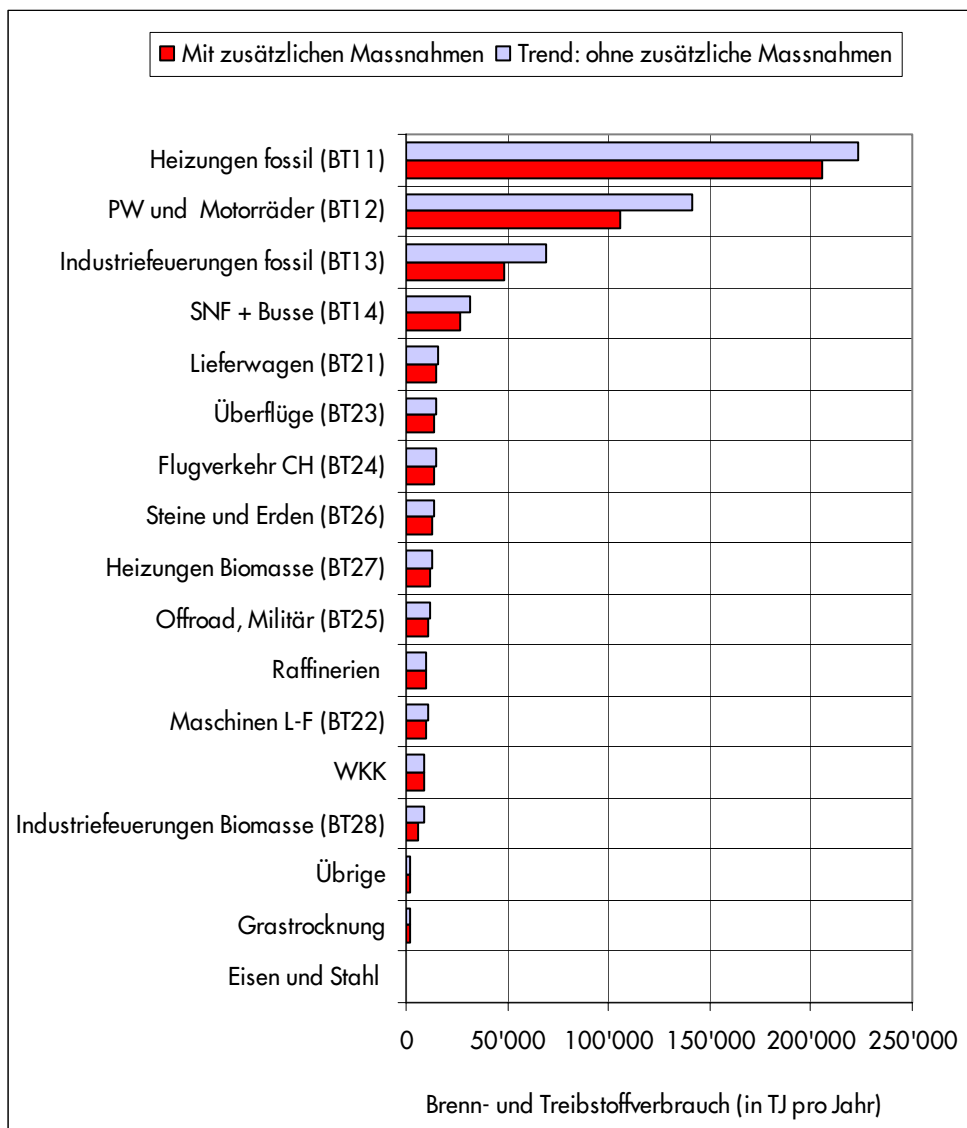
Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Verbräuche bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	Einsparungen in TJ/a	
					P	E
BT 21	Lieferwagen	Analog zu Massnahmen bei PW, soweit sinnvoll. CO ₂ -Abgabe: Einsparpotential 5% (Fahrleistungsverminderung). Strassenbenutzungsgebühren: Einsparpotential 5% . Verstetigung des Verkehrs: Einsparpotential 5%. Umsetzung: Kantone und Bund	15%	10%	2'400	1'600
BT 22	Maschinen von Land- und Forstwirtschaft	Unter Berücksichtigung der CO ₂ -Abgabe: 10% Einsparungspotential. Umsetzung: Bund	10%	5%	1'100	500
BT 23	Überflüge	5% zusätzliche Einsparungen gegenüber Trend durch Fortentwicklung der Technik. Umsetzung Bund im Rahmen von internationalen Verträgen.	5%	5%	700	700
BT 24	Flugverkehr	5% zusätzliche Einsparungen gegenüber Trend durch Fortentwicklung der Technik. Umsetzung: Bund (Normen- und Landegebührenanpassung)	5%	5%	700	700
BT 25	Off-Road, Militär	Unter Berücksichtigung der CO ₂ -Abgabe: 10% Verbesserung Motorentechnik abzüglich 4% Energiemehrverbrauch durch Abgasmassnahmen (insbesondere Partikelfilter). Umsetzung: Bund	6%	6%	700	700
BT 26	Steine und Erden	Verbesserung der Technologie über Vereinbarung hinaus. Umsetzung: Bund (unter Berücksichtigung der CO ₂ -Abgabe).	10%	10%	1'400	1'400
BT 27	Raumheizung mit Biomasse	Beschleunigte Einführung Minergie. Einsparungspotential 8% Verbrennungstechnologie (Niedertemperatur): Einsparpotential 7% Umsetzung: Kantone und Bund	15%	8%	1'900	1'000
BT 28	Industriefeuerungen mit Biomasse	Durchgehende Einführung von Economizern (analog Industriefeuerungen fossil). Einsparpotential 30% Umsetzung: Bund	30%	30%	2'600	2'600
			Summen		11'500	9'200

Legende:

- |* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen
- |** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der Potentiale).

9.12 Massnahmenbilanz Brenn- und Treibstoffe

Wirkung der Massnahmen nach Verursacherkategorien (alle Massnahmen berücksichtigt, Angaben in Terajoule, TJ)



Legende:

Wirkung aller Massnahmen (Erwartungswerte) aufgedgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer). Für die Verursacherkategorien ohne Codeangaben sind keine speziellen Massnahmen vorgesehen.

9.13 Bilanzierung: Vergleich mit dem ökologischen Ziel

9.13.1 Einleitung

Für die zusammenfassende Wirkungsbilanz werden die Massnahmen gemäss den verschiedenen Verursacherkategorien folgendermassen kombiniert:

1. Priorität:

Brenn- und Treibstoffverbrauch, der sich ergibt, wenn die Massnahmen bei den Verursacherkategorien 1. Priorität getroffen werden (vgl. 9.10)

1. plus 2. Priorität

Brenn- und Treibstoffverbrauch, der sich ergibt, wenn die Massnahmen bei den Verursacherkategorien 1. und 2. Priorität getroffen werden (vgl. 9.10 und 9.11)

Alle Massnahmen

Brenn- und Treibstoffverbrauch, der sich ergibt, wenn Massnahmen bei sämtlichen berücksichtigten Verursacherkategorien getroffen werden (vgl. dazu Figur 9.12). Bei den nicht explizit aufgeführten Verursacherkategorien werden die Auswirkungen des technischen Fortschritts berücksichtigt.

9.13.2 Total der Massnahmen nach Prioritäten

Brenn- und Treibstoffverbrauch 2020 (TJ/a)			
Ohne Massnahmen	590'500		
Massnahmen nach Verursacherkategorien (VK)	VK erster Priorität	VK erster plus zweiter Priorität *	Alle Verursacherkategorien
Erwartungswerte (E)	511'800	502'400	502'300
Potentiale (P)	457'700	446'100	446'000

/ *inklusive Industriefeuerungen mit Biomasse. Die Wirkung der Massnahmen bei dieser Gruppe von Verursacherkategorien wird für die Berechnungen der Schadstoffbelastungen in den folgenden Kapiteln berücksichtigt. Erwartungswert: *E_{Standard}*; Potential: *P_{Standard}* (fett gedruckte Werte in der Tabelle)

9.14 Auswirkungen der Massnahmen auf den CO₂-Ausstoss der Schweiz, Vergleich mit den Zielen der CO₂-Gesetzgebung

Einsparungen beim Verbrauch von fossiler (nicht aber von erneuerbarer) Energie wirken sich direkt auf den CO₂-Ausstoss der Schweiz aus.

Zur Bilanzierungsmethodik: Territorialprinzip vs. Absatzprinzip

Die aus den Massnahmenbilanzen des Luftreinhalte-Konzepts für Brenn- und Treibstoffe berechneten CO₂-Emissionen der Schweiz weisen gegenüber den Bilanzen im Rahmen des Kyoto-Protokolls Unterschiede auf. Diese kommen zustande durch Verschiedenheiten bei der Methodik, die sich aus unterschiedlichen Fragestellungen und Beurteilungspereimetern ergeben.

Die Zahlen des Luftreinhalte-Konzepts folgen aus der Anwendung des *Territorialprinzips*: Im Rahmen des Luftreinhalte-Konzepts werden strikte nur solche Emissionen berücksichtigt, die auf oder über dem Territorium der Schweiz entstehen. Zum Beispiel werden beim Flugverkehr diejenigen Emissionen berücksichtigt, die über dem schweizerischen Territorium entstehen. Im Unterschied zum Luftreinhalte-Konzept werden die CO₂-Emissionen der Schweiz zu Handen des Kyoto-Protokolls nach dem *Absatzprinzip* berechnet.

Die im vorliegenden Bericht ausgewiesenen Zahlen sind damit *nicht* direkt mit den CO₂-Bilanzen der Schweiz *vergleichbar*.

EnergieSchweiz

EnergieSchweiz ist das Programm des Bundesrates zur Realisierung der Schweizerischen energie- und klimapolitischen Ziele und zur Einleitung einer nachhaltigen Energieverwendung. Es fördert die erneuerbaren Energien und den sparsamen Energieverbrauch. Mit dabei sind die Kantone, viele Gemeinden, die Wirtschaft, Umwelt- und Konsumentenverbände. EnergieSchweiz ist das Nachfolgeprogramm von Energie 2000 und wird bis 2010 dauern.

CO₂-Ziele

Bei Umsetzung sämtlicher Energiesparmassnahmen des Luftreinhaltekonzeptes würde die Einhaltung der CO₂-Ziele für 2010, wie sie im Programm EnergieSchweiz formuliert sind, unterstützt werden.

Im Unterschied zu den Gesamtzielen der schweizerischen Energiepolitik konzentrieren sich die im Zusammenhang mit der Luftreinhaltepolitik vorgeschlagenen Massnahmenpakete auf Einsparungen beim Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen. Nicht in Betracht gezogen sind unter anderem Massnahmen, die direkt auf die Verminderung des Ausstosses klimaktiver Gase (wie z.B. Ersatz höhermolekularer Treibstoffe durch Methan) ausgerichtet sind. Weitgehend unberücksichtigt sind ebenfalls die Fragen, die im Zusammenhang mit Verbrauch und Erzeugung elektrischer Energie stehen. Die Ausarbeitung von Gesamtstrategien muss im Rahmen der Klimapolitik der Schweiz erfolgen.

9.15 Schlussfolgerungen und Empfehlung: Massnahmen bei Brenn und Treibstoffen

Die Umsetzung der Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster und zweiter Priorität erlaubt die weitgehende Ausschöpfung der Möglichkeiten zur Verminderung des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen.

Angesichts ihrer grossen Synergiepotentiale sollten sie raschmöglichst realisiert werden.

Mit den vorgeschlagenen Massnahmen werden die aus Sicht des Luftreinhaltekonzepts bis spätestens 2020 erwarteten Mindestanforderungen an die Klimapolitik definiert.

10 Verminderung der Emissionen von NO_x

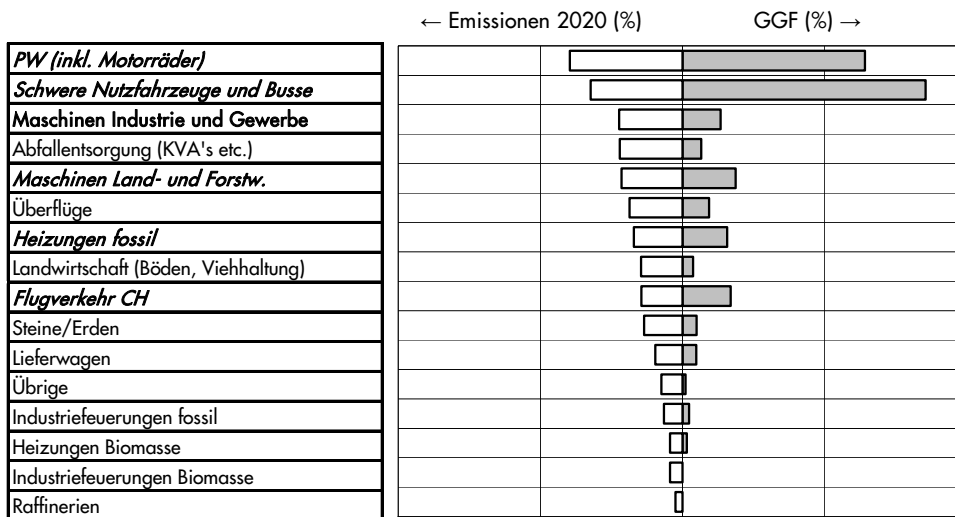
10.1 Prioritätensetzung NO_x

Bewertung der Verursacherkategorien bezüglich Massnahmen

Verursacherkategorie	Emissionen 2020 (kt/a)	wd	ct	cv	GGF (%)
PW und Motorräder	11.2	3	1	3	25.7%
Schwere Nutzfahrzeuge und Busse	9.2	3	2	3	34.2%
Maschinen Industrie und Gewerbe	6.3	1	2	3	5.4%
Abfallentsorgung (KVA's etc.)	6.2	1	1	3	2.7%
Maschinen der Land- und Forstw.	6.1	1	3	3	7.5%
Überflüge	5.3	3	2	1	3.8%
Heizungen fossil	4.8	2	2	3	6.3%
Landwirtschaft (primär Böden)	4.1	1	2	2	1.5%
Flugverkehr CH	4.1	3	3	2	6.8%
Steine/Erden	3.8	1	2	3	2.0%
Lieferwagen	2.7	3	2	2	2.0%
Übrige	2.1	0	0	0	0.0%
Industriefeuerungen fossil	1.8	1	2	3	0.5%
Heizungen Biomasse	1.2	3	3	3	0.9%
Industriefeuerungen Biomasse	1.2	2	3	3	0.6%
Raffinerien	0.7	1	1	3	0.0%

Anmerkung: GGF: Gesamtgewichtungsfaktor; wd: Wachstumsdynamik; ct: Chancen der Technik, cv: Chancen Vollzug; wd, ct, cv = 0 – keine Bewertung

Vergleich der GGF mit den Emissionen pro Verursacherkategorie



Legende:

Rechter Teil der Figur: Gesamtgewichtungs-faktoren (GGF) gemäss Tabelle 10.1. Linker Teil der Figur: Prozentuale Anteile der Verursacherkategorien an den schweizerischen Emissionen im Jahr 2020.

Schlussfolgerung

Die Bewertung ergibt, dass im Jahre 2020 bei den Emissionen von NO_x folgenden Verursacherkategorien erste Priorität zukommt:

- Personenwagen und Motorräder
- Schwere Nutzfahrzeuge
- Maschinen Industrie und Gewerbe
- Maschinen der Land- und Forstwirtschaft und
- Heizungen mit fossilen Brennstoffen
- Flugverkehr

10.2 Berechnung der Einsparpotentiale: Kombination von Energie- und Abgastechnik

Der Grossteil der Emissionen von NO_x entsteht bei Verbrennungen in Motoren und Feuerungen. Einsparungen beim Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen wirken sich deshalb in der Regel direkt auf die Verminderungen der Emissionen von NO_x aus (Ausnahme motorentechische Massnahmen: beim Ersatz von Benzin- durch Dieselmotoren entstehen Zunahmen der NO_x-Emissionen, da die meisten heutige Dieselmotoren keine Abgasnachreinigungen besitzen). Neben Massnahmen auf der Seite des Verbrauchs (beschrieben im vorhergehenden Kapitel) können NO_x-Emissionen auch durch *abgasseitige Massnahmen* vermindert werden. In den folgenden Kapiteln werden zunächst rein abgasseitige Massnahmen beschrieben und bezüglich ihrer Wirkung bewertet.

Die Abschätzungen werden angegeben als Verminderung der spezifischen Emissionen gegenüber dem Trend, d.h. der Verminderung der Abgasemissionen pro verbrauchte Energieeinheit. Bei der Gesamtbewertung der Wirkung der Massnahmen pro Verursacherkategorie werden die abgasseitigen Massnahmen kombiniert mit Massnahmen zur Energieeinsparung soweit diese einen Einfluss auf das Gesamtergebnis besitzen. Diese Kombinationen werden in Kapitel 10.10 ff beschrieben.

10.3 Verursacherkategorie erster Priorität NO_x: PW und Motorräder (NO 11)

Bis 2020 werden ca. 40% der Fahrleistung von PW's in der Schweiz durch Dieselfahrzeuge erbracht. Dieselmotoren mit heutiger Technologie stossen pro gefahrene Strecke wesentlich mehr NO_x (und massiv mehr PM10 !) aus als Benzinfahrzeuge.

Die mit Dieselmotoren betriebenen PW halten bis 2020 *dieselben Abgasnormen* ein wie die mit Benzin betriebenen Fahrzeuge (Emissionsäquivalenz).

Wirkung: Unter Berücksichtigung des allgemeinen technischen Fortschritts wird mit einem Potential von 45% gerechnet (Erwartungswert 35%).

Umsetzung: Bund: Solange keine entsprechenden EU-Vorschriften bestehen, durch Importsteuern. Kantone: Anpassungen der kantonalen Motorfahrzeugsteuern.

Auf Seiten der EU werden grosse Anstrengungen unternommen, um die Emissionen von NO_x durch fortlaufende Weiterentwicklung der Abgastechnik, kombiniert mit Verschärfungen der Zulassungsvorschriften, weiter zu senken. Die Schweiz vollzieht diese Vorgaben systematisch nach. In der Trendentwicklung sind die EU-Normen bis und mit Euro- 4 für PW einbezogen, welche 2006 in Kraft treten wird. Es darf aber davon ausgegangen werden, dass bis 2020 weitere Verbesserungsschritte wirksam geworden sind.

10.4 Verursacherkategorie erster Priorität NO_x: Schwere Nutzfahrzeuge (NO 12)

Im „Nationalen Programm der Bundesrepublik Deutschland über nationale Emissionshöchstmengen“ wird davon ausgegangen, dass bei Nutzfahrzeugmotoren ab 2008 eine Halbierung der spezifischen Emissionen gegenüber Euro-5 (entspricht der Trendprognose) möglich ist. Die Auswirkungen dieser Schritte und des Nachvollzugs durch die Schweiz dürften bis 2020 auf der Abgasseite zusätzliche Verminderungen des Schadstoffausstosses von 30% zur Folge haben.

Wirkung: Nachvollzug von Verbesserungen der Euro-Normen ab 2010 ergibt 30% Einsparungen gegenüber dem Trend.

Umsetzung: Bund (Nachvollzug der entsprechenden EU-Vorschriften).

10.5 Verursacherkategorie erster Priorität NO_x: Maschinen der Land- und Forstwirtschaft (NO 13)

90% dieser Fahrzeuge sind für den Strassenverkehr zugelassen (Traktoren). Für ihre Zulassung existieren spezielle Vorschriften. Das gesamte Minderungspotential ergäbe einer Verkleinerung der spezifischen Emissionen um 70% gegenüber dem Trend. Angenommen wird, dass bis 2020 eine Verminderung der spezifischen Emissionen um 50% erreicht werden kann.

Mittelfristige Anpassung aller als Strassenfahrzeuge zugelassenen Fahrzeuge und Maschinen an die für den schweren Nutzverkehr geltenden Ausrüstungsnormen.

Wirkung: Anpassung der Ausrüstungsvorschriften der Fahrzeuge und Maschinen mit Strassenzulassung: Einsparpotential 70%, Erwartungswert 50%.

Umsetzung: Bund über Ausrüstungsverordnung.

10.6 Verursacherkategorie erster Priorität NO_x: Flugverkehr (NO 14)

Erhöhung der emissionsabhängigen Landegebühren, Streichen von Steuervergünstigungen, Umsetzen der technisch möglichen Verbesserungen in Zusammenarbeit mit der EU.

Wirkung: Einsparpotential 40%, erwartet bis 2020: 20%

Umsetzung: Bund (Zusammenarbeit mit der EU und Nachvollzug von neuen EU-Normen), Standortkantone, Flughafenbetreiber

Anmerkung: gemäss unveröffentlichten Zahlen des BUWAL sind mit neuen Triebwerksgenerationen die LTO Emissionen um 80% senkbar. Unter Berücksichtigung der Flottenzusammensetzung kann bis 2020 25% dieses Potentials umgesetzt werden.

10.7 Verursacherkategorie erster Priorität NO_x: Maschinen Industrie und Gewerbe (NO 15)

Diese Kategorie umfasst zur Hauptsache die nicht für den Strassenverkehr zugelassenen Fahrzeuge aus Industrie und Gewerbe. Ebenfalls enthalten sind die Fahrzeuge des Militärs.

Mittelfristige Anpassung aller Fahrzeuge und Maschinen an die für den schweren Nutzverkehr geltenden Ausrüstungsnormen

Vorgehen analog zur Landwirtschaft. Gesamtes Minderungspotential 60%. Einsparungen der spezifischen Emissionen um 40% bis 2020.

Wirkung: Anpassung der Ausrüstungsvorschriften der Fahrzeuge und Maschinen mit Strassenzulassung: Einsparpotential 60%, erwartet bis 2020 40%.

Umsetzung: Bund über Ausrüstungsverordnung.

10.8 Verursacherkategorie erster Priorität NO_x: Heizungen fossil (NO 16)

Mit der Einführung der Low-NO_x-Technik hat sich der Stickoxid-Ausstoss von neuen Hausfeuerungen zu Beginn der 90er Jahre halbiert. Anstoss zur Innovation gaben die von den Umweltbehörden in Aussicht gestellten verschärften Abgas-Grenzwerte für kleine Heizanlagen. Diese Verbesserungen sind in der Trendprognose bereits berücksichtigt.

Die technischen Verbesserungen bei den Hausfeuerungen konzentrieren sich auf die Verbesserung ihrer *Energieeffizienz*. Entsprechende Massnahmen sind im Kapitel 9, Verminderung des Brenn- und Treibstoffverbrauchs, beschrieben.

10.9 Übrige Verursacherkategorien NO_x

10.9.1 Lieferwagen (NO 21)

Angleichung der NO_x-Emissionsnormen für diesel- und benzinbetriebene Lieferwagen und PW (bei Lieferwagen führt dies zu grösseren Verbesserungen als bei PW's). Nachvollzug der EU-Vorschriften analog den PW und SNF

Wirkung: Einsparpotential 50% (technische Verbesserungen bei der Abgasnachreinigung analog PW). Erwartungswert 40% Einsparungen gegenüber dem Trend.

Umsetzung: Bund (Nachvollzug der entsprechenden EU-Vorschriften).

10.9.2 Abfallentsorgung (NO 22)

Gegenüber der Trendprognose kann bis 2020 mit zusätzlichen Einsparungen durch den generellen Fortschritt bei der Abgasnachreinigung gerechnet werden. Die Umsetzung dieser neuen Möglichkeiten erfolgt im Rahmen des Vorsorgeprinzips. Zusätzliche Verminderungen der Emissionen sind durch die Verminderung der verbrannten Menge des Abfalls (vermehrtes Recycling) erreichbar.

Wirkung: Einsparpotential und Erwartungswert bis 2020 10% bezogen auf Trend (durch Abluftnachreinigung und Verminderung der Abfallmenge kombiniert).

Umsetzung: Durch Bund im Rahmen der Vorsorge über Verschärfung der Emissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung.

10.9.3 Industrief Feuerungen mit fossilen Brennstoffen und/oder Biomasse (NO 23)

Bei Feuerungen ab 1 MW und generell bei Schwerölf Feuerungen wird die Einführung moderner DeNO_x-Technologie gefordert.

Anmerkung: Der Beitrag der Schwerölf Feuerungen zur Gesamtbilanz der Schweiz ist weniger als 1% und spielt deshalb kaum mehr eine Rolle

Wirkung: Einsparpotential 50%, Erwartungswert bis 2020 10% gegenüber Trend.

Umsetzung: Bund durch Einführung neuer Grenzwerte.

10.9.4 Steine/Erden (NO 24)

Emissionsverbesserungen gemäss Trend berücksichtigen bereits die Vereinbarung mit der Zementindustrie. Gegenüber der Trendprognose wird mit zusätzlichen Verminderungen der Emissionen aufgrund des allgemeinen technischen Fortschritts gerechnet.

Wirkung: Einsparpotential und Erwartungswert 5% bezogen auf Trend.

Umsetzung: Durch Bund im Rahmen der Vorsorge über Verschärfung der Emissionsgrenzwerte.

10.9.5 Heizungen mit Biomasse (NO 25)

Bei neuen Heizungen mit mehr als 500 kW Leistung werden Abgasnachreinigungen mit DeNO_x-Technologie eingebaut.

Wirkung: Bei Heizungen > 500kW Leistung werden bis 2020 Verminderungen der Emissionen um 8% erwartet. Das Potential beträgt etwa 15%. Die Auswirkungen auf die Gesamtheit der Heizungen mit Biomasse betragen 2% (Erwartungswert), respektive 4% (Potential).

Umsetzung: Bund durch Einführung neuer Grenzwerte in der LRV.

10.9.6 Überflüge des Schweizerischen Territoriums (NO 26)

Verminderungen des spezifischen NO_x-Ausstosses müssen durch Startflughäfen ausserhalb der Schweiz oder internationale Übereinkommen beschlossen werden (für Start und Landungen in der Schweiz vgl. NO 14).

Wirkung: Erwartet bis 2020 Emissionsverminderung um 10% bezogen auf Trend. Potential 20%.

Umsetzung: Bund (Zusammenarbeit mit der EU und Nachvollzug von neuen EU-Normen).

10.9.7 Landwirtschaft (NO 27)

Verminderung der Emissionen der Landwirtschaft (Böden, Viehhaltung) durch Verminderung der eingesetzten und ausgebrachten Menge von Stickstoff.

Wirkung: Erwartungswert und Potential der Einsparungen gegenüber Trend 10%.

Umsetzung: Bund.

10.10 Übersicht: NO_x-Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster Priorität

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Abgastechnik bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	kt/a (Emissionsvermindierungen plus Wirkung BT Massnahmen) P E	
NO 11	Personenwagen und Motorräder	Die mit Dieselmotoren getriebenen PW halten bis 2020 dieselben Abgasnormen ein wie die mit Benzin betriebenen Fahrzeuge. Umsetzung: Bund (Nachvollzug der EU-Vorschriften)	45%	35%	7.5	5.0
NO 12	Schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und Busse	Nachvollzug von nach 2010 zu erwartenden EU Abgasnormen. Gemäss dem nationalen Programm von Deutschland vom 21.1.2001 ist gegenüber Euro 5 ab 2008/9 eine Halbierung möglich. Umsetzung: Bund (Nachvollzug der EU-Vorschriften), Kantone	50%	30%	5.5	3.4
NO 13	Maschinen und Geräte der Land- und Forstwirtschaft.	Motorentechnische Massnahmen analog zum SNF. Umsetzung: Bund	70%	50%	4.6	3.2
NO 14	Flugverkehr (Starts und Landungen plus Flugstrecke bis Landesgrenze)	Erhöhung der emissionsabhängigen Landegebühren, Streichen von Steuervergünstigungen (in Zusammenarbeit mit der EU). Umsetzung: Bund (Nachvollzug allfälliger EU-Vorschriften)	40%	20%	1.8	1.0
NO 15	Maschinen von Industrie und Gewerbe	Motorentechnische Massnahmen analog zum SNF. Umsetzung: Bund	60%	40%	3.9	2.7
NO 16	Heizungen fossil	Nur Massnahmen zur Verringerung des Brennstoffverbrauchs. Umsetzung: Bund (Normen) und Kantone (Vollzug)	0%	0%	0.7	0.4
			Summe 1. P		24	16

Legende

|* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen

|** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der Potentiale).

Bei der Berechnung der Schadstoffemissionen einbezogene Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen: Erwartungswerte E_{Standard}, Potentiale P_{Standard} (vgl. dazu 9.13.2).

10.11 Übersicht: NO_x-Massnahmen bei den Verursacherkategorien zweiter Priorität

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Abgastechnik bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	kt/a (Emissionsvermindierungen plus Wirkung BT Massnahmen) P E	
NO 21	Lieferwagen ⁺	Dieselanteil nimmt gemäss Trend bis 2020 stark zu. Massnahmen analog PW, d.h. bis 2020 Angleichung der Abgasnormen für Diesel- und Benzinfahrzeuge	50%	40%	1.5	1.2
NO 22	Abfallentsorgung ⁺	Verbesserungen der Abgasnachreinigung. Umsetzung: Bund (LRV-Anpassung)	10%	10%	1.2	1.2
NO 23	Industriefeuerungen (fossile Brennstoffe und Biomasse) ⁺	DeNO _x Technologie ab 1 MW. DeNO _x Technologie bei Schwerölf Feuerungen. Umsetzung: Bund und Kantone	50%	10%	1.2	0.7
NO 24	Steine und Erden ⁺	Emissionsverbesserungen gemäss Trend berücksichtigen bereits die Vereinbarung mit der Zementindustrie. Umsetzung: Bund (Weiterentwicklung des Vereinbarungswerks, ev. LRV-Verschärfung)	5%	5%	0.6	0.6
NO 25	Heizungen (Biomasse)	DeNO _x Technologie bei Heizungen >500 kW. Der heutige Anteil dieser Klasse ist sehr gering. Trotz sehr guter Wirkung bei Einzelanlagen ergibt sich gesamthaft keine grosse Wirkung. Umsetzung: Bund	4%	2%	0.1	0.0
NO 26	Überflüge	NO _x -Einsparmassnahmen müssten durch Startflughäfen oder internationale Übereinkommen beschlossen werden. Umsetzung: Bund	20%	10%	1.3	0.8
NO 27	Landwirtschaft (Böden, Viehhaltung)	Verminderung der Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden durch Verminderung der ausgebrachte Menge von Stickstoff. Umsetzung: Bund	10%	10%	0.4	0.4
⁺ Verursacherkategorien, die zur Klasse "Erste Priorität Plus" gezählt werden.			Summe 2. P		6.2	4.9

Legende

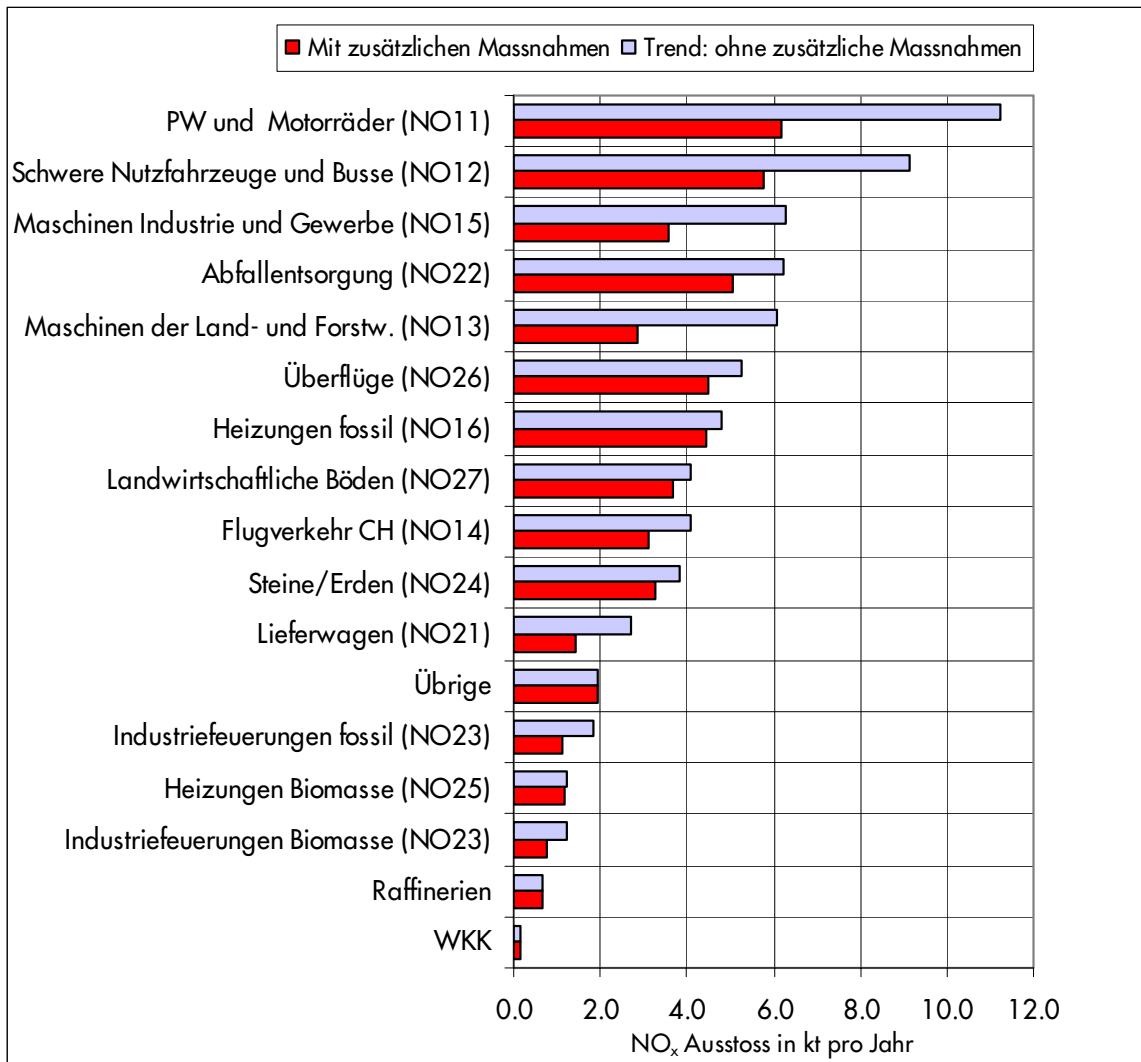
|* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen

|** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der Potentiale).

Bei der Berechnung der Schadstoffemissionen einbezogen Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen: Erwartungswerte E_{Standard}, Potentiale P_{Standard} (vgl. dazu 9.13.2).

10.12 Wirkung der NO_x-Massnahmen

10.12.1 Massnahmenbilanzen der NO_x-Emissionen nach Verursacherkategorien (Erwartungswerte)



Legende

Wirkung der zusätzlichen Massnahmen (Erwartungswerte E) aufgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer). Für die Verursacherkategorien ohne Codeangaben sind keine speziellen Massnahmen vorgesehen.

Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen: E_{Standard}.

Kommentar zur Figur

2020 ergeben sich Änderungen der Bedeutung von Verursacherkategorien:

- Der Luftverkehr (NO 26 plus NO 14) wird zu einer dominanten Verursacherkategorie.
- Die Emissionen der Abfallentsorgung (NO 22) und der Heizungen (fossil plus Biomasse: NO 16 plus NO 25)) werden anteilmässig wichtiger.
- Die Anteile der Verursacherkategorien Maschinen Industrie und Gewerbe und Maschinen der Land und Forstwirtschaft (NO 15 und NO 13) werden weniger wichtig.
- Bei den übrigen Kategorien bleiben die relativen Anteile an den Emissionen etwa gleich.
- *Anmerkung zur Verursacherkategorie „Schwere Nutzfahrzeuge und Busse“ und „PW (inkl. Motorräder)“:* Die Treibstoffeinsparung wurde bei den Erwartungswerten gegenüber Tabelle 9.10 um den Beitrag der Motorentechnik vermindert (bei Potentialen halbiert), um in Rechnung zu stellen, dass Verbesserungen der Treibstoffeffizienz und der Abgasnachreinigung nicht unabhängig voneinander sind.

10.13 Bilanzierung, Vergleich mit dem ökologischen Ziel

10.13.1 Einleitung

Für die zusammenfassende Bilanzierung der Wirkung der Massnahmen werden die Massnahmen gemäss den verschiedenen Verursacherkategorien folgendermassen kombiniert.

1. Priorität

NO_x-Emissionen, die sich ergeben, wenn die Massnahmen bei den Verursacherkategorien 1. Priorität getroffen werden, wobei bei allen Verursacherkategorien die Standard-Brenn- und Treibstoffeinsparungen berücksichtigt werden (vgl. 10.10).

1. Priorität plus

NO_x-Emissionen, die sich ergeben, wenn die Massnahmen bei den Verursacherkategorien 1. Priorität plus ein Teil der Massnahmen zweiter Priorität (vgl. Legende zu Tabelle 10.11) getroffen werden, wobei bei allen Verursacherkategorien die Standard-Brenn- und Treibstoffeinsparungen berücksichtigt werden (vgl. 9.13.2).

Alle Massnahmen

NO_x-Emissionen, die sich ergeben, wenn Massnahmen bei sämtlichen berücksichtigten Verursacherkategorien getroffen werden, wobei bei allen Verursacherkategorien die Standard - Brenn- und Treibstoffeinsparungen berücksichtigt werden (vgl. dazu Figur 10.12.1). Bei den nicht explizit aufgeführten Verursacherkategorien werden die Auswirkungen des technischen Fortschritts berücksichtigt.

10.13.2 Total der Massnahmen nach Prioritäten

Emissionen 2020 NO _x (kt/a)			
Ohne Massnahmen	71		
Massnahmen nach Verursacherkategorien (VK)	VK erster Priorität	VK erster Priorität plus	Alle Verursacherkategorien
Erwartungswerte (E-E)	52.7	50.8	49.8
Potentiale (P-P)	44.2	41.7	39.7
Emissionsziel	46		

Legende

„1. Priorität Plus“: Verursacherkategorien erster Priorität plus Massnahmen bei Lieferwagen, Industriefeuerungen, Verminderung der Abfallmengen, Steine und Erden.

Berücksichtigte Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen: E_{Standard} (E-E) respektive P_{Standard} (P-P)

10.13.3 Zielerreichungsgrad

Vorbemerkung

Die in der Tabelle ausgewiesenen Emissionsminderungen ergeben sich durch die Kombination von Brenn- und Treibstoffeinsparungen mit abgasspezifischen Massnahmen gemäss den Tabellen 10.10 und 10.11. Bei den Verursacherkategorien, bei denen keine spezifischen Massnahmen zur Abgasreduktion vorgesehen sind, ergeben sich Emissionsverminderungen durch die Einsparungen bei den Brenn- und Treibstoffen (Synergiepotential der Brenn- und Treibstoffeinsparungen). Aus diesem Grunde ergibt sich zum Beispiel bei den Massnahmen erster Priorität (E-E) eine Einsparung von 18.6 kt/a, obschon in Tabelle 10.10 16 kt/a ausgewiesen sind: die Einsparungen bei den Brenn- und Treibstoffen (gemäss E_{Standard}) bei den Verursacherkategorien kleinerer Priorität resultieren in zusätzlichen NO_x-Einsparungen von 2.4 kt/a, entsprechend einer Zusatzeinsparung von rund 15%.

Massnahmen erster Priorität (6 Verursacherkategorien)

Die Erwartungswerte der Reduktionen (E-E) allein reichen nicht aus, um das Emissionsziel zu erreichen. Bei voller Ausschöpfung der Einsparpotentiale (P-P) ist das Emissionsziel dagegen erreichbar. Mit speziellen Vollzugsanstrengungen liesse sich ein Teil der Potentiale ausschöpfen. Unter diesen Voraussetzungen reichen die Massnahmen erster Priorität *aus um das Emissionsziel bis 2020 zu erreichen*.

Massnahmenpakete „1. Priorität Plus“ (10 Verursacherkategorien)

Beim Massnahmenpaket „1. Priorität Plus“ (zusätzliche Schwergewichte bei Industriefeuerungen, Lieferwagen, Abfallmengen, Steine und Erden) ist das Ziel immer noch nicht ohne spezielle Vollzugsanstrengungen zu erreichen. Es lässt sich aber mit höherer Sicherheit durch vermehrte Anstrengungen bei Umsetzung und Vollzug erreichen.

„Alle Massnahmen umsetzen“ (17 Verursacherkategorien)

Setzte man sämtliche der evaluierten Massnahmen auf der Abgasseite in Kombination mit den Standardeinsparungen bei Brenn- und Treibstoffen um, ergeben sich gegenüber den Massnahmen „1. Priorität Plus“ kaum mehr Verbesserungen.

10.14 Schlussfolgerungen und Empfehlungen: NO_x Massnahmen

Die Erreichung der Emissionsziele ist grundsätzlich durch Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster Priorität, durch Einsparungen beim Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen und spezielle Vollzugsanstrengungen in 6 Massnahmenbereichen möglich. Berücksichtigt man die 10 Verursacherkategorien der Pakete „1. Priorität plus“, vermindern sich die erforderlichen Zusatzanstrengungen.

Der Einbezug der Verursacherkategorien erster Priorität, ergänzt durch ausgewählte Verursacherkategorien 2. Priorität (Verursacherkategorien „1. Priorität Plus“) und kombiniert mit konzentrierten Vollzugsanstrengungen bei den Massnahmen erster Priorität stellt das zieleffiziente Vorgehen zur Erreichung der Emissionsziele für die Stickstoffoxide NO_x bis 2020 dar.

Die Voraussetzung dafür stellt auf Seite des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen die Umsetzung der Empfehlung 9.15 dar.

11 Verminderung der Emissionen von NMVOC

11.1 Prioritätensetzung

Die Dominanz der Verursachergruppe Lösemittelverbrauch ist so gross, dass auf eine verfeinerte Prioritätensetzung verzichtet werden kann (vgl. Kapitel 4.4.2): Die Verursachergruppe Emissionen von Lösemitteln ist 2020 bezüglich NMVOC-Emissionen sehr stark dominierend. Massnahmen bei dieser Verursachergruppe kommt deshalb eindeutig erste Priorität zu.

11.2 Verursacherkategorie erster Priorität NMVOC: Lösemittel

Ein grosser Anteil der bis 2020 verbleibenden Lösemittlemissionen geht auf diffuse Quellen (Arbeiten im Freien, Kleinanwendungen, Heim und Hobby) zurück. Erfolg versprechend sind bei dieser Unterklasse in erster Linie Substitutionsmassnahmen. Falls diese auf Ersatz von organischen durch wässrige Lösemitteln beruhen, ist immer abzuwägen, in welchem Masse eine Verminderung der Luftbelastung mit einer Mehrbelastung des Wassers (etwa durch Tenside) bezahlt wird. Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf die jeweilige Verursacherkategorie.

11.2.1 Lenkungsabgabe (V 11)

Ausnutzen des gesetzlichen Spielraums der Lenkungsabgabe. Erhöhung der Lenkungsabgabe von Fr. 3.- auf Fr. 5.-

Wirkung: Verminderung der Emissionen dieser Verursacherkategorie um 15% bezogen auf den Trend.

Umsetzung: Bund (Anpassung der Verordnung).

11.2.2 Lösemittelleinsatz (V 12, V 13)

Verminderung der diffusen Emissionen von Lösemitteln durch Zusammenarbeit mit dem Gewerbe: Verschärfte Vorgaben zugunsten des Einsatzes von lösemittelarmen Farben im Freien und auf Baustellen.

Wirkung: Verminderungen der Emissionen dieser Verursacherkategorie gegenüber dem Trend 10%.

Umsetzung: Bund, ev. Kantone durch Vereinbarung mit dem Gewerbe und Durchsetzen entsprechender Vorgaben bei Auftragsvergaben.

Begrenzung, Kennzeichnung und Substitution von Lösemittel in Produkten

Wirkung: Verminderungen der Emissionen dieser Verursacherkategorie gegenüber dem Trend 15%.

Umsetzung: Bund in Zusammenarbeit mit den laufenden Anstrengungen der EU, durch Nachvollzug entsprechender EU-Vorschriften und Einführung analoger Labelsysteme.

11.3 Verursacherkategorien zweiter Priorität NMVOC (V21, V22, V23, V24, V25)

Die bisherigen und bis 2020 wirksamen Massnahmen haben die NMVOC-Emissionen dieser Verursacherguppen soweit vermindert, dass eine klare Dominanz der Probleme bei den Emissionen der Lösemittel besteht. Aus diesem Grunde sollten sich die Anstrengungen auf die Aufrechterhaltung des erreichten Standards und die Anpassungen der vorsorglichen Massnahmen an den jeweils aktuellen Stand der Technik konzentrieren. Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf die jeweilige Verursacherkategorie.

Bei den Motorrädern (Verursacherkategorie V22) sind die bisher beschlossenen Massnahmen im Vergleich zum Stand bei Lieferwagen und PW's wenig effektiv. Es bestehen ein beträchtliches Potential zur Verminderung, das im Rahmen der Vorsorge ausgeschöpft werden muss.

11.4 Übersicht: NMVOC-Massnahmen bei Verursacherkategorien erster Priorität

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Abgastechnik bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	kt/a (Emissionsvermindernungen plus Wirkung BT Massnahmen) P E	
V 11	Lösemittelverbrauch	Erhöhung der Lenkungsabgabe von Fr. 3.- auf Fr. 5.-	15%	12%	26	20
V 12	Lösemittelverbrauch	Verminderung der diffusen Emissionen von Lösemitteln durch Zusammenarbeit mit dem Gewerbe	10%	6%	3.8	3.5
V 13	Lösemittelverbrauch	Begrenzung und Kennzeichnung von Lösemitteln in Produkten	15%	12%	2.7	1.4
			Summe 1. P		32	24

Legende:

- |* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen
- |** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der Potentiale).

11.5 Übersicht: NMVOC-Massnahmen bei Verursacherkategorien zweiter Priorität

Code	Verursacher- kategorie	Behebung bestehender Vollzugsdefizite und Verschärfung der LRV- Grenzwerte und Abgasnormen im Rahmen der Vorsorge (es sind keine neuen Massnahmen vorgesehen)	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	kt/a (Emissionsvermin- derungen plus Wirkung BT Massnahmen)	
					P	E
V 21	Industrieprozesse	LRV-Verschärfung	5%	5%	0.4	0.4
V 22	Motorräder	Verschärfte Abgasvorschriften	50%	50%	2.0	1.9
V 23	Treibstoff- verdunstung	Verbesserung der Rückführsysteme	5%	5%	0.3	0.3
V 24	Maschinen Industrie und Gewerbe	Verschärfung der Abgasgrenzwerte	5%	5%	0.5	0.5
V 25	Maschinen der Land- und Forstw.	Verschärfung der Abgasgrenzwerte	5%	5%	0.5	0.3
			Summe 2. P		3.8	3.5

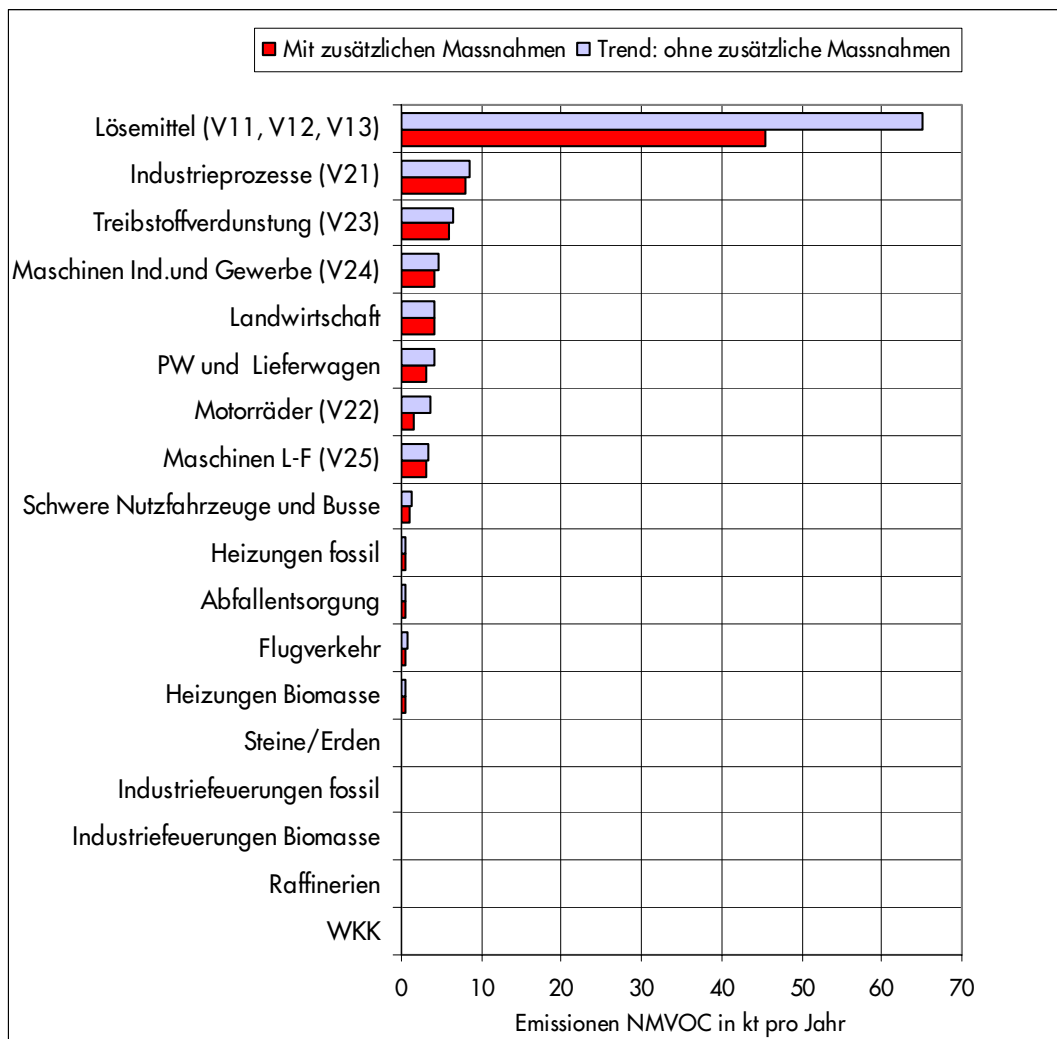
Legende:

|* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen
 |** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der
 Potentiale).

Bei der Berechnung der Schadstoffemissionen einbezogene Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen: Erwartungswerte
 E_{Standard}, Potentiale P_{Standard} (vgl. dazu 9.13.2).

11.6 Wirkung der NMVOC-Massnahmen

11.6.1 Massnahmenbilanzen der NMVOC-Emissionen nach Verursacherkategorien (Erwartungswerte)



Legende

Wirkung der zusätzlichen Massnahmen (Erwartungswerte E) aufgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer). Für die Verursacherkategorien ohne Codeangaben sind keine speziellen Massnahmen vorgesehen. Berücksichtigte Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen: (E_{Standard}).

11.6.2 Kommentar zur Figur

2020 ergeben sich keine Änderungen der Bedeutung von Verursacherkategorien:

- Die abgasspezifischen Massnahmen sind in erster Linie bei den Lösemitteln und bei den Motorrädern von Bedeutung.
- Auch bei den Verursacherkategorien, für welche keine spezifischen abgasseitigen Massnahmen vorgesehen sind (Kategorien ohne Codeangabe), ergeben sich Verminderungen. Diese sind die Folge der Massnahmen zur Einsparung von Brenn- und Treibstoffen.

11.7 Bilanzierung, Vergleich mit dem ökologischen Ziel

Vorbemerkung

Brenn- und Treibstoffeinsparungen wirken sich auf alle Verursacherkategorien unabhängig von der Prioritätensetzung bezüglich NMVOC aus - vergleiche dazu die Vorbemerkung in 9.1.

Für die zusammenfassende Bilanzierung werden die Massnahmen gemäss den verschiedenen Verursacherkategorien folgendermassen kombiniert:

1. Priorität:

NMVOC-Emissionen, die sich ergeben, wenn die Massnahmen bei den Verursacherkategorien 1. Priorität getroffen werden, wobei die Standard –Brenn- und Treibstoffeinsparungen bei allen Verursacherkategorien berücksichtigt werden.

1 plus 2. Priorität

NMVOC-Emissionen, die sich ergeben, wenn die Massnahmen bei den Verursacherkategorien 1. und 2. Priorität getroffen werden, wobei die Standard – Brenn- und Treibstoffeinsparungen bei allen Verursacherkategorien berücksichtigt werden).

Alle Massnahmen

NMVOC-Emissionen, die sich ergeben, wenn Massnahmen bei sämtliche berücksichtigten Verursacherkategorien getroffen werden, wobei die Standard – Brenn- und Treibstoffeinsparungen berücksichtigt werden. Bei den nicht explizit aufgeführten Verursacherkategorien werden die Auswirkungen des technischen Fortschritts berücksichtigt.

11.7.1 Total aller Massnahmen

Emissionen 2020 NMVOC (kt/a)		
Ohne Massnahmen	103.8	
Massnahmen nach Verursacherkategorien (VK)	VK erster Priorität	VK erster plus zweiter Priorität
Erwartungswerte (E-E)	82.1	79.4
Potentiale (P-P)	74.0	71.4
Emissionsziel	81	

Berücksichtigte Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen: E_{Standard} (E-E) respektive P_{Standard} (P-P)

11.8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen: NMVOC-Massnahmen

Zur Erreichung des Emissionsziels genügt es rechnerisch nicht ganz, die Erwartungswerte der Massnahmen erster Priorität auszuschöpfen. Setzt man zusätzlich die Massnahmen bei den Motorrädern um (V 22), lassen sich die Emissionsziele mit guter Wahrscheinlichkeit erreichen.

Zieleffizient ist die Kombination von Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster Priorität kombiniert mit denjenigen von Verursacherkategorie V22.

Als besonders wichtig erweisen sich bei diesen Verursacherkategorien Anstrengungen zur Beibehaltung und Durchsetzung der bereits beschlossenen Standards.

12 Verminderung der Emissionen von PM10

12.1 Prioritätensetzung PM10

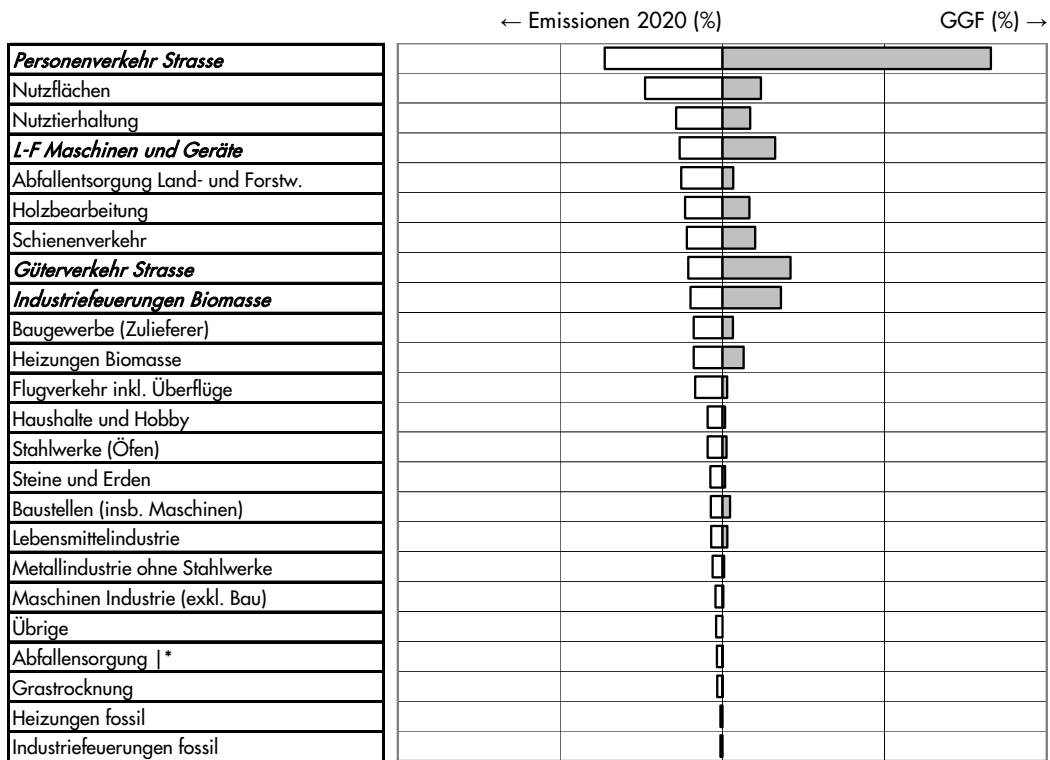
Bewertung der Verursacherkategorien bezüglich Massnahmen

<i>Verursacherkategorie</i>	Emissionen 2020 (kt/a)	wd	ct	cv	GGF (%)
Personenverkehr Strasse	3.2	3	1	2	41%
<i>Nutzflächen</i>	2.1	1	1	2	6.0%
<i>Nutztierhaltung</i>	1.3	1	2	2	4.3%
Güterverkehr Strasse	0.9	3	2	3	10.5%
L-F Maschinen und Geräte	1.2	1	3	3	8.2%
Abfallentsorgung Land- und Forstw.	1.1	1	1	2	1.7%
<i>Holzbearbeitung</i>	1.0	1	2	3	4.2%
<i>Schienenverkehr</i>	1.0	2	2	2	5.1%
Industriefeuerungen Biomasse	0.88	2	3	3	9.1%
<i>Baugewerbe (Zulieferer)</i>	0.79	1	2	2	1.6%
<i>Heizungen Biomasse</i>	0.79	2	2	2	3.3%
Flugverkehr inkl. Überflüge	0.75	2	1	1	0.7%
Haushalte und Hobby	0.40	2	2	1	0.4%
Stahlwerke (Öfen)	0.40	1	3	2	0.6%
Steine und Erden	0.33	1	2	3	0.4%
Baustellen (insb. Maschinen)	0.32	3	2	3	1.2%
Lebensmittelindustrie	0.31	2	2	3	0.8%
Metallindustrie ohne Stahlwerke	0.27	1	2	3	0.3%
Maschinen Industrie (exkl. Bau)	0.19	1	2	3	0.1%
Übrige	0.17	0	0	0	-
Abfallentsorgung *	0.15	1	2	3	0.09%
Grastrocknung	0.14	1	2	3	0.08%
Heizungen fossil	0.05	2	2	3	0.02%
Industriefeuerungen fossil	0.05	1	2	3	0.01%

Anmerkung: GGF: Gesamtgewichtungsfaktor; wd: Wachstumsdynamik; ct: Chancen der Technik, cv: Chancen Vollzug; wd, ct, cv = 0 – keine Bewertung.

/* KVA, Spitalabfallverbrennung, Sulfid/Celluloseverbrennung, Spezialabfallverbrennung, Klärschlammverbrennung u.ä.

Vergleich der GGF mit den Emissionen pro Verursacherkategorie



/* KVA, Spitalabfallverbrennung, Sulfid/Celluloseverbrennung, Spezialabfallverbrennung, Klärschlammverbrennung

Legende

Rechter Teil der Figur: Gesamtgewichtungsfaktoren (GGF) gemäss Tabelle 12.1. Linker Teil der Figur: Prozentuale Anteile der Verursacherkategorien an den schweizerischen Emissionen im Jahr 2020.

Kommentar und Schlussfolgerungen

Die Bewertung ergibt, dass den Verursacherkategorien Personenverkehr Strasse und Güterverkehr Strasse erste Priorität zukommt. Massnahmen bei den landwirtschaftliche Maschinen und Geräten (grossteils Traktoren mit Strassenzulassung) gehörten bezüglich Prioritätensetzung eher zu den Verursacherkategorien zweiter Ordnung. Da aber bei den Maschinen und Geräten mit Strassenzulassung Parallelmassnahmen zu denjenigen des Güterverkehrs möglich sind und sie zu den Verursachern von Krebs erregendem Dieselmotoren gehören, werden auch diese als Verursacherkategorie erster Priorität eingestuft. Zu den Verursacherkategorien erster Priorität werden auch die Industriefeuerungen mit Biomasse gezählt (die Verursacherkategorien erster Priorität sind in den Tabellentexten mit **Fettschrift** hervorgehoben).

Zu den Verursacherkategorien zweiter Priorität werden gezählt: Heizungen mit Biomasse, Schienenverkehr, Holzbearbeitung, Baugewerbe (Zulieferer ohne Holzbearbeitung), Nutztierhaltung, land- und forstwirtschaftliche Abfallentsorgung, landwirtschaftliche Nutzflächen.

12.2 Verursacherkategorie erster Priorität PM10: Güterverkehr Strasse (PM 11)

Angesichts der grossen Gesundheitsschäden, die durch PM10-Emissionen entstehen und des bedeutenden Anteils des schweren Nutzverkehrs an den PM10-Emissionen sind für Anlieferungsfahrzeuge in den Bevölkerungszentren und für Kommunalfahrzeuge eine *beschleunigte Einführung von Partikelfiltern*, respektive Beschaffung von erdgasbetriebenen Fahrzeugen (besonders geeignet für Kommunalfahrzeuge) vorzusehen. (Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf die jeweilige Verursacherkategorie).

Beschleunigte Einführung von Fahrzeugen, die mit Partikelfiltern aus- oder nachgerüstet oder erdgasbetrieben sind. Schwergewicht bei Zulieferungen in dicht besiedelten Gebieten und bei Kommunalfahrzeugen.

Wirkung: Bis 2020 sind Einsparungen von gesamthaft (d.h. motorische Emissionen plus Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung) ca. 5% zu erwarten. Gesamtpotential ca. 10%. Bezogen auf die motorischen Emissionen des Strassengüterverkehrs ergibt sich eine Einsparung von ca. 25%. Aufgrund der Tatsache, dass Dieseleruss Krebs erregend ist, sind möglichst schnelle lokale Verbesserungen wichtig (vgl. dazu den Kommentar in 6.4.5).

Umsetzung: Bund: Anpassung der LSVA. Bund und Kantone: UVP von Einzelanlagen, Vereinbarungen mit dem Gewerbe, steuerliche Anreize.

12.3 Verursacherkategorie erster Priorität PM10: Personenverkehr Strasse (PM 12)

Diese Verursacherkategorie umfasst neben den PW auch Cars und Busse.

Bei den PW's wird für die nächsten Jahren eine deutliche Zunahme der Dieselfahrzeuge erwartet. Diese weisen zur Zeit keine Partikelfilter auf. Partikelfiltersysteme oder ähnlich wirksame Massnahmen stellen die Voraussetzung dafür dar, bezüglich Emissionen von Feinstaub und Russpartikeln die Emissionsäquivalenz zu den Benzinfahrzeugen zu erreichen. (Für eine vollständige Emissionsäquivalenz bleibt allerdings noch das Problem der NO_x-Emissionen von Dieselfahrzeugen zu lösen. Diese sind ebenfalls beträchtlich höher als diejenigen der Benzinfahrzeuge; vgl. dazu die Massnahmen NO 11.)

Bei den Cars und den Bussen des öffentlichen Verkehrs werden bei Neufahrzeugen Partikelfiltersysteme vorgeschrieben. Zusätzlich sind aber auch Umrüstungen von vorhandenen Fahrzeugen auf Partikelfiltersystem vorzusehen. Die letztere Massnahme ist die Folge der höheren Lebensdauer der Cars und Busse.

Vollständige Umrüstung der Fahrzeuge des Personenverkehrs auf Partikelfiltersysteme oder Entwicklung äquivalenter Techniken. Beschleunigte Einführung von verschärften Emissionsgrenzwerten, welche dem jeweiligen Stand der Technik entsprechen.

Wirkung: Bis 2020 sind Einsparungen von gesamthaft (d.h. motorische Emissionen plus Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung) ca. 10% zu erwarten. Gesamtpotential ca. 15%. Bezogen auf die motorischen Emissionen des Strassenpersonenverkehrs ergibt sich eine Einsparung von ca. 30%. Aufgrund der Tatsache, dass Dieseleruss Krebs erregend ist, sind auch lokale Verbesserungen wichtig (vgl. dazu den ausführlichen Kommentar in 6.4.3).

Umsetzung: Bund: Ausrüstungsvorschriften. Kantone, Gemeinden (Vorbildrolle der öffentlichen Hand).

Anmerkung: Euro-5-Norm

Gegenwärtig wird eine neue Euro-5-Norm diskutiert. Diese sollte den PM10- Ausstoss der Diesel-PW drastisch senken. Ihre Einführung ist frühestens 2010 zu erwarten.

Anmerkung: Beitrag von Abrieb und Aufwirbelung

Ein gewichtiger Teil der vom Verkehr erzeugten PM10-Belastungen der Luft kommt durch Abrieb und Aufwirbelung zustande. Zur Verminderung dieser Emissionen können auf Seite der Technik Massnahmen bei *Strassenunterhalt und -wartung* in Kombination mit *Verbesserungen von Bremsbelägen und Reifen* beitragen. Unzweifelhaft tragen aber auch *Verminderungen der Fahrleistungen* des motorisierten Verkehrs sowie des *durchschnittlichen Gewichts* der Fahrzeuge sehr direkt zur Verminderung von Abrieb und Aufwirbelung bei.

Eine Quantifizierung entsprechender Massnahmen ist auf der Grundlage des heutigen Stands des Wissens noch nicht möglich.

12.4 Verursacherkategorie erster Priorität PM10: Land- und forstwirtschaftliche Maschinen und Geräte (PM 13)

Bei den land- und forstwirtschaftlichen Maschinen sind ab 2003 durch Nachvollzug von EU – Normen deutliche Verbesserungen zu erwarten. Dies gilt in besonderem Masse für Maschinen und Geräte, welche Strassenzulassung besitzen. Durch die Weiterentwicklung der Normen wird bis 2020 mit einer Verminderung der Motoremissionen von 20% gegenüber dem Trend gerechnet.

Wirkung: Einsparungen bei den Emissionen bei dieser Verursacherkategorie gegenüber Trend 20%.

Umsetzung: Bund (Vorschriften für Strassenzulassung von landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten. Verminderungsmassnahmen). Kantone (Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung).

12.5 Verursacherkategorie erster Priorität PM10: Industriefeuerungen Biomasse (PM 14)

Bis 2020 sind bei Holz- und Holzschnitzelfeuerungen ab Leistungen von ca. 500 kW Gewebefilter zur Abgasnachreinigung vorgeschrieben. Analog können bei Schwerölf Feuerungen Abgasnachreinigungen mit Elektrofiltern verlangt werden – dies ist bei DeNOx Anlagen nach SCR, SNCR ohnehin notwendig.

Wirkung: Gewebefilter reduzieren den Staub von 150 mg/m³ auf ca. 20 mg/m³. Dieses Minimierungspotential ist bis 2020 realisierbar. Reduktion der Emissionen dieser Verursacherguppe um 25% gegenüber Trend (Erwartungswert). Potential: Reduktion um 85% bezogen auf Trend.

Umsetzung: Bund (vorsorgliche Emissionsbegrenzung in der LRV) und Kantone (Vollzug).

12.6 Verursacherkategorie zweiter Priorität PM10

(Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf die jeweilige Verursacherkategorie)

12.6.1 Massnahmen bei den Laufställen (PM21)

Laufstallmassnahmen parallel zu den Massnahmen zur Verminderung der NH₃-Emissionen.

Wirkung: Potential 10%, bis 2020 sind kaum Einsparungen gegenüber dem Trend zu erwarten.

Umsetzung: Bund und Kantone

12.6.2 Land- und forstwirtschaftliche Abfallentsorgung (PM 22)

Der Grossteil dieser Emissionen entsteht in der Forstwirtschaft durch Verbrennen von Ästen und Rinden. Diese Praxis spielt heute eine wichtige Rolle bei der Beseitigung von Sturmschäden. Im Hinblick auf ihre nachgewiesenen lufthygienischen Nachteile ist diese Praxis im Rahmen einer forstwirtschaftliche Gesamtbetrachtung neu zu beurteilen.

Entsorgung von Rindenabfällen und Ästen durch Verbrennung im Freien werden minimiert. Auf eine routinemässige Verbrennung ist teilweise oder ganz zu verzichten.

Wirkung: Einsparungen bei den Emissionen dieser Verursacherkategorie gegenüber Trend 30%.

Umsetzung: Bund (Forschung und Entwicklung), Kantone (Vollzug, Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung).

12.6.3 Holzbearbeitung (PM 23)

Bei Schreinereien, Zimmereien: Verbesserungen der Abscheidegrade der Staubbachreinigungen durch Einbau von Gewebefiltern analog zu den Industriefeuerungen mit Biomasse.

Wirkung: Reduktion der Emissionen dieser Verursacherguppe um 20% gegenüber Trend.

Umsetzung: Bund (vorsorgliche Emissionsbegrenzung in der LRV) und Kantone (Vollzug).

12.6.4 Schienenverkehr (PM 24)

Einführung von Bremstechnologien mit minimalen Emissionen von Abrieb, insbesondere von Feinstaub, durch Verwendung von optimierter Materialien und Bremssystemen.

Wirkung: Reduktion der Emissionen dieser Verursacherguppe gegenüber Trend 10%.

Umsetzung: Entwicklung der Technik, Vorschriften Bund.

12.6.5 Baugewerbe: Zulieferer exkl. Holzbearbeitung (PM 25)

Fortentwicklung der Technik

Wirkung: gegenüber Trend 5%, Potential 10%.

Umsetzung: Kantone und Bund.

12.6.6 Landwirtschaftliche Nutzflächen (PM 26)

Nach heutigem Stand der Erkenntnis stellen die bei Bodenbearbeitung entstehenden Stäube eine sehr wichtige Verursacherguppe für die Entstehung von PM10 dar. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass der heutige Stand des Wissens noch sehr unvollständig ist und die in den vorliegenden Bilanzen aufgeführten Werte sehr unsicher sind. Entsprechend schwierig ist es deshalb, konkrete Massnahmen zur Verminderung der Stäube aus landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung zu definieren.

Sollten aber weitere Untersuchungen zeigen, dass die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung tatsächlich eine sehr wichtige Verursacherkategorie bei der Emission von PM10 darstellt, müssen Staubverminderungsmassnahmen getroffen werden. Angesichts der grossen praktischen Schwierigkeiten müssten diese Massnahme gezielt auf die Verminderung der Feinstaubanteile ausgerichtet werden.

Erforschung des Feinstaubanteils der Stäube, die aus landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung entstehen. Auf diesen Grundlagen, falls nötig, Entwicklung von Massnahmen zur Verminderung von PM10-Stäuben.

Ergebnisse/Wirkung: Korrektur der Bilanzen, respektive Einführung von PM10-spezifischen Minderungsmaßnahmen für diese Verursacherkategorie 30%.

Umsetzung: Bund (Vorschriften zur vorsorglichen Emissionsverminderung, Forschung), Kantone (Vollzug, Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung).

12.6.7 Hobby (PM 27)

Emissionen von Kleinmotoren vermindern

Wirkung: Einsparungen gegenüber Trend 20%.

Vollzug: Bund (Abgasvorschriften).

12.6.8 Flugverkehr (PM 28)

Der grösste Teil der PM10-Emissionen geht auf Startemissionen der Triebwerke zurück. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Triebwerkstechnologie bis 2020 wird zur Verminderung der Russentwicklung während der Maximalbeanspruchung in der Startphase und zu verminderter Emission von Feinstäuben führen.

Wirkung: Reduktion der Russ- und Feinstaubemissionen aus den Triebwerken während der Startphase gegenüber Trend 5%.

Umsetzung: Bund und Kantone. Anreize zur Beschleunigung der Einführung neuester Technologie.

12.6.9 Raumheizung mit Biomasse (PM 29)

Aus Sicht des Klimaschutzes stellt die Raumheizung mit Biomasse eine ausgezeichnete Möglichkeit dafür dar, die CO₂-Bilanz der Schweiz nachhaltig zu verbessern. Mit der heute vorhandenen Technologie weisen aber Heizanlagen für Biomasse im Vergleich zu der Raumheizung mit HEL oder Gas wesentlich grössere Emissionen auf. Wie neuere Pilotprojekte zeigen, dürften sich diese Nachteile mittelfristig durch Entwicklungen verbesserter Verbrennungstechnologien und durch neue Methoden der Abgasnachreinigung beseitigen lassen.

Eine erster konkreter Schritt zur Verbesserung der Situation wurde vom Kanton Zürich mit der Einführung einer *Typenprüfung* für Heizungen mit Biomasse gemacht. Dieser Schritt sollte auf Bundesebene nachvollzogen werden. Auf der Grundlage der Typenprüfungen kann dafür gesorgt werden, dass die in nächster Zeit zu erwartenden technischen Verbesserungen so schnell als möglich umgesetzt werden.

Analog zur Verursacherkategorie PM12 (Diesel-PW) gilt auch hier die Zielvorgabe der *Emissionsäquivalenz*: die spezifischen Emissionen der Raumheizungen aus Biomasse, insbesondere die Staubemissionen, dürfen langfristig nicht grösser sein als diejenigen der Heizungen mit HEL oder Gas.

Typenprüfungen für Heizungen gemäss dem Modell des Kantons Zürich. Förderung der laufenden Forschungsanstrengungen zur Verminderung der Staubemissionen aus Heizanlagen für Biomasse.

Wirkung: Reduktion der Emissionen dieser Verursacherguppe um 25% gegenüber Trend (Erwartungswert Typenprüfung). Potential (anlog Industriefeuerungen): Reduktion um 85% gegenüber Trend.

Umsetzung: Kantone, Bund.

12.7 Übersicht: PM10-Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster Priorität

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Abgastechnik bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	kt/a (Emissionsvermindierungen plus Wirkung BT Massnahmen) P E	
PM 11	Güterverkehr (umfasst SNF und Lieferwagen)	Beschleunigte Einführung von Partikelfiltersystemen der Fahrzeuge des Güterverkehrs (Schwere Nutzfahrzeuge und dieselbetriebene Lieferwagen). Umsetzung: Bund durch aktive Förderung	10%	5%	0.3	0.1
PM 12	Personenverkehr (umfasst PW und Fz. des öV)	Umrüstung von Fahrzeugen des öV auf Partikelfiltersysteme. Bei Neubeschaffungen konsequente Beschaffung von Fahrzeugen mit Partikelfiltersystemen durch die öffentliche Hand. Alle neuzugelassenen Dieselpersonenwagen werden mit Partikelfilter ausgerüstet. Umsetzung: Bund, Kantone, Gemeinden	15%	10%	1.6	0.8
PM 13	Maschinen und Geräte der Land- und Forstwirtschaft	Bis 2020 werden für alle Leistungsklassen die Werte verbindlich, die ab 2003 für die leistungsstarken Maschinen und Geräte gelten. Verminderung der Motoremissionen bis 2020 20%, Potential 25%. Umsetzung: Bund und Kantone	25%	20%	0.4	0.3
PM 14	Industrie-feuerungen, Biomasse	Holz- und Holzschnitzelfeuerungen >500 kW: Gewebefilter. Umsetzung: Bund, Kantone	85%	25%	0.8	0.4
			Summe 1. P		3.0	1.6

Legende

- |* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen
- |** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der Potentiale).

Bei der Berechnung der Schadstoffemissionen einbezogene Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen: Erwartungswerte $E_{Standard}$, Potentiale $P_{Standard}$ (vgl. dazu 9.13.2). Beachte: Die unterschiedlichen Gesamteinsparungen für P und E bei PM11 und PM12 sind die Folge der Unterschiede bei den berücksichtigten Einsparungen bei den Brenn- und Treibstoffen.

Anmerkung zur Verursacherkategorie „Güterverkehr“ und „Personenverkehr“: Die Treibstoffeinsparung wurde bei den Erwartungswerten gegenüber Tabelle 9.10 um den Beitrag der Motorentchnik vermindert (bei Potentialen halbiert), um in Rechnung zu stellen, dass Verbesserungen der Treibstoffeffizienz und der Abgasnachreinigung nicht unabhängig voneinander sind.

12.8 Übersicht: PM10-Massnahmen bei den Verursacherkategorien zweiter Priorität

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Abgastechnik bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	kt/a (Emissionsvermindernungen plus Wirkung BT Massnahmen) P E	
PM 21	Nutztierhaltung	Laufstallsanierungen (parallel zu den Massnahmen zur Verminderung der NH ₃ -Emissionen). Vollzug: Bund, Kantone	10%	0%	0.1	0.0
PM 22	Land- und forstwirtschaftl. Abfallverbrennung	Neue Methoden des Managements von Schädlingen, Alternativen zu Rinden und Astentsorgung durch Verbrennung im Freien. Vollzug: Bund, Kantone	30%	30%	0.4	0.4
PM 23	Holzbearbeitung	Schreinereien und Zimmereien: Verminderung der Feinstaubanteile aus der Produktion. Vollzug: Bund, Kantone	33%	20%	0.3	0.2
PM 24	Schienenverkehr	Einführung von Partikelfiltern bei Dieselloks und von Bremstechnologie mit minimalen Emissionen von Abrieb, insbesondere von Feinstaub durch Verwendung von optimierten Materialien und Bremssystemen. Vollzug: Bund	10%	5%	0.1	0.0
PM 25	Baugewerbe (Zulieferer)	Fortentwicklung der Technik. Vollzug: Bund, Kantone	10%	5%	0.1	0.0
PM 26	Landwirtsch. Nutzflächen	Entwicklung verbesserter Bodenbearbeitungsmethoden. Vollzug: Bund	0%	0%	0.0	0.0
PM 27	Haushalt und Hobby	Emissionen von Kleinmotoren. Vollzug: Bund	20%	20%	0.1	0.1
PM 28	Flugverkehr	Entwicklung der Triebwerkstechnik	5%	0%	0.1	0.0
PM 29	Raumheizung (Biomasse)	Typenprüfungen für Heizungen gemäss dem Modell des Kantons Zürich. Förderung der Entwicklung der Technologie zur verbesserten Verbrennung und Abgasnachreinigung. Vollzug: Bund	85%	25%	0.7	0.2
			Summe 2. P		1.9	1.1

Legende

- |* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen
 |** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der Potentiale).

Bei der Berechnung der Schadstoffemissionen einbezogene Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen: Erwartungswerte E_{Standard}, Potentiale P_{Standard} (vgl. dazu 9.13.2).

12.9 Übersicht: PM10-Massnahmen bei den übrigen Verursacherkategorien

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Abgastechnik bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	kt/a (Emissionsvermindierungen plus Wirkung BT Massnahmen) P E	
PM u1	Stahlwerke	Diffuse Ofenemissionen: Verbesserung Stauberfassung. Vollzug: Bund, Kantone	95%	20%	0.38	0.08
PM u2	Steine und Erden	Abgasseitige Massnahmen (Vereinbarungen). Vollzug: Bund, Kantone	5%	5%	0.05	0.05
PM u3	Baustellen	Verschärfung der Baurichtlinie Luft. Vollzug: Bund	10%	10%	0.05	0.05
PM u4	Lebensmittelindustrie	Verbesserung der Technik. Vollzug: Bund, Kantone	20%	20%	0.06	0.06
PM u5	Metallindustrie (ohne Stahlw.)	Verbesserung Stauberfassung. Vollzug: Bund, Kantone	20%	20%	0.05	0.05
PM u6	Übrige Industrie	Maschinen: Verbesserung der Abgasnachreinigung. Vollzug: Bund, Kantone	5%	5%	0.03	0.03
PM u7	Abfallentsorgung	Technischer Fortschritt . Vollzug: Bund, Kantone	5%	5%	0.02	0.02
PM u8	Grastrocknung	Technischer Fortschritt. Vollzug: Bund, Kantone	5%	5%	0.01	0.01
PM u9	Heizungen fossil	Verbesserung der Abgasnachreinigung. Vollzug: Bund, Kantone	5%	5%	0.01	0.01
PM u10	Industriefeuerungen fossil	Abgasnachreinigungen mit Elektrofiltern bei Schwerölf Feuerungen. Vollzug: Bund, Kantone	10%	10%	0.02	0.01
			Summe übr.		0.7	0.4

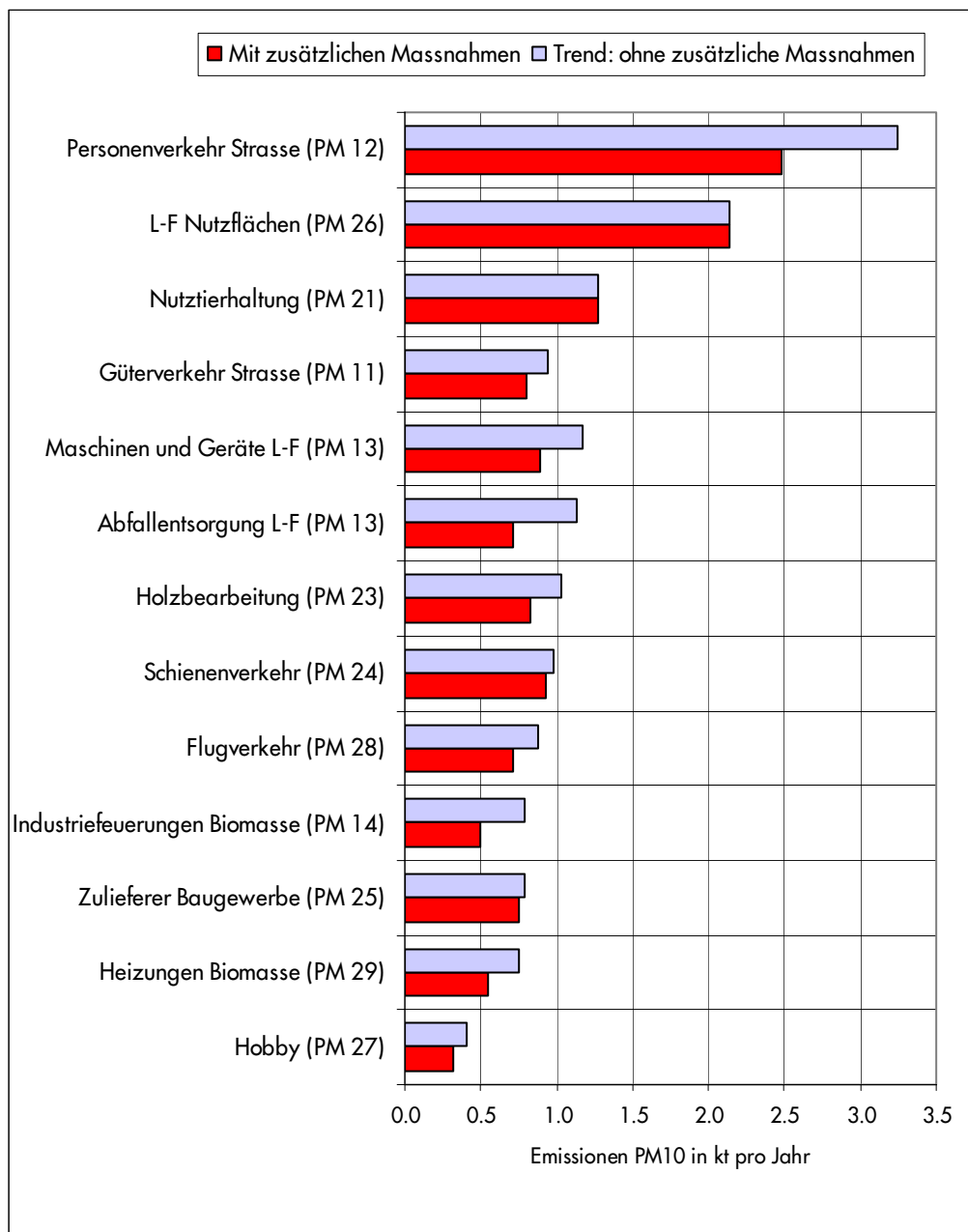
Legende:

|* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen
 |** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar (in der Regel ca. 50% der Potentiale).

Bei der Berechnung der Schadstoffemissionen einbezogene Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen: Erwartungswerte E_{Standard}, Potentiale P_{Standard} (vgl. dazu 9.13.2).

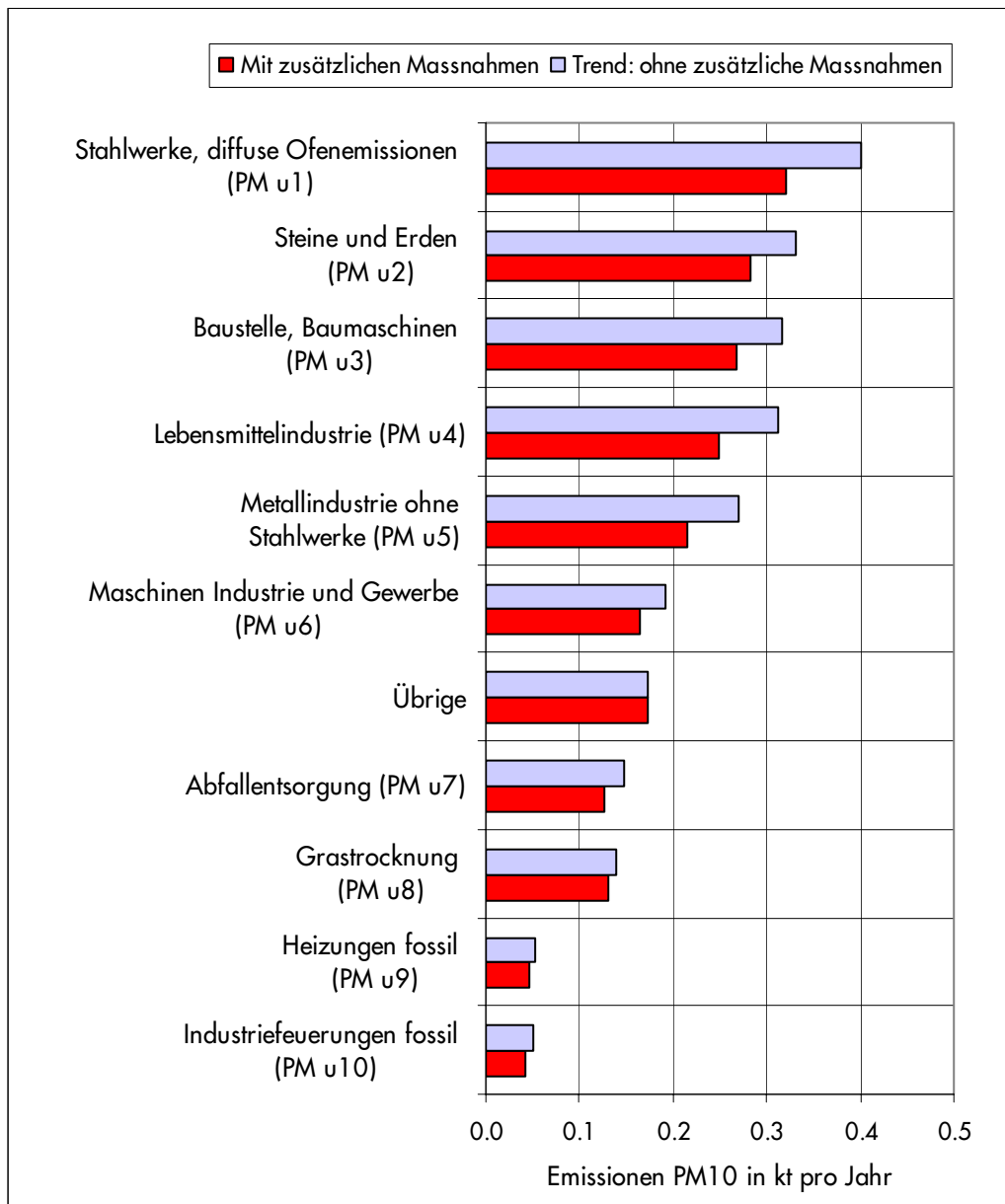
12.10 Wirkung der PM10-Massnahmen

Massnahmenbilanzen der PM10 -Emissionen der Verursacherkategorien 1. und 2. Priorität (Erwartungswerte)



Legende: Wirkung der zusätzlichen Massnahmen (Erwartungswerte E) aufgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer). Berücksichtigte Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen: (E_{Standard}).

Massnahmenbilanzen der PM10-Emissionen der übrigen Verursacherkategorien (Erwartungswerte)



Legende

Wirkung der zusätzlichen Massnahmen (Erwartungswerte E) aufgliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer). Berücksichtigte Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen: (EStandard).

12.10.1 Ergänzung: PM10-Emissionen aus Motorenabgasen des Strassenverkehrs

Die Bilanzen der PM10-Emissionen des motorisierten Verkehrs enthalten neben den Feinstäuben aus den Auspuffrohren auch aus Abrieb und anderen mechanischen Prozessen erzeugte Feinstäube. Wie in den Abschnitten 6.4.3 und 6.4.5 dargelegt, kommt den Motorenabgasen (insbesondere den Russpartikeln) eine besondere Rolle zu, da sie Krebs erregend sind. Auch bei Einhaltung des ökologischen Ziels bezüglich PM10 geht von diesen Stoffen deshalb nach wie vor ein Gesundheitsrisiko aus. Entsprechend sind die Emissionen dieser Stoffe auch nach Erreichung des ökologischen Ziels für PM10 weiter zu beschränken (vgl. LRV Anhang 1, Ziffer 83, USG Art. 11, Abs. 3).

Als Ergänzung zu Figur 6.4.1 zeigt die folgende Tabelle die Entwicklung der Motorenabgase aus Benzin- und Dieselfahrzeugen zwischen 1990 und 2020 und die Auswirkungen einer Ausrüstung der Dieselfahrzeuge mit Partikelfiltern.

Strassenverkehr	PM10 Abgasemissionen (t PM10/a)		
Dieselmotoren	1990 *	2020 *	2020 Option mit PF +
Personenwagen (Diesel)	425	440	22
Lieferwagen (Diesel)	489	142	7
Schwerer Nutzverkehr	1'068	131	7
Reisebusse	62	5	0
Linienbusse	216	18	1
Summe	2'260	736	37

Ottomotoren	1990 *	2020 *	2020 Option mit PF +
Personenwagen (Benzin)	801	38	38
Lieferwagen (Benzin)	40	1	1
Motorräder	374	82	82
Summe	1'215	121	121

Total Abgasemissionen	3475	857	158
------------------------------	-------------	------------	------------

* | Zahlen entsprechend dem Bericht SRU 355

* | PF: Partikelfilter

Kommentar

Die angegebenen Emissionsmengen in Tonnen pro Jahr setzen sich zusammen aus den hochgerechneten Emissionen der Diesel- und Benzinfahrzeuge. Es ist zu beachten, dass, wie aus den Darlegungen in Anhang 5 ersichtlich, die Grundlagedaten der einzelnen Emissionen sehr unterschiedlich sind. Zudem sind die Zusammensetzungen der Emissionen verschieden und gesundheitlich unterschiedlich relevant.

Durch den Einsatz von Partikelfiltern lässt sich der Krebs erzeugende Dieselmotorenabgas und auch die Anzahl der emittierten Partikel massiv vermindern.

12.11 Bilanzierung, Vergleich mit dem ökologischen Ziel

Für die zusammenfassende Bilanzierung der Wirkung der Massnahmen werden die Massnahmen gemäss den verschiedenen Verursacherkategorien folgendermassen kombiniert.

1. Priorität:

PM10-Emissionen, die sich ergeben, wenn die Massnahmen bei den Verursacherkategorien 1. Priorität getroffen werden, wobei die Standard – Brenn- und Treibstoffeinsparungen berücksichtigt werden (vgl.12.7).

1 plus 2. Priorität

PM10-Emissionen, die sich ergeben, wenn die Massnahmen bei den Verursacherkategorien 1. und 2. Priorität getroffen werden, wobei die Standard – Brenn- und Treibstoffeinsparungen bei allen Verursacherkategorien berücksichtigt werden (vgl. 12.7 und 12.8).

Alle Massnahmen

PM10-Emissionen, die sich ergeben, wenn sämtliche Verursacherkategorien und die Standard – Brenn- und Treibstoffeinsparungen bei allen Verursacherkategorien berücksichtigt werden (vgl. dazu 12.7 , 12.8 und 12.9). Bei den nicht explizit aufgeführten Verursacherkategorien werden die Auswirkungen des technischen Fortschritts berücksichtigt.

12.11.1 Bilanz der Massnahmen nach Prioritäten

Emissionen 2020 PM10 (kt/a)			
Ohne Massnahmen	17.9		
Massnahmen nach Verursacherkategorien (VK)	VK erster Priorität	VK erster plus zweiter Priorität	Alle Verursacherkategorien
Erwartungswerte (E-E)	16.0	15.2	14.9
Potentiale (P-P)	14.5	12.9	12.3
Emissionsziel	12		

Legende

Berücksichtigte Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen: Berücksichtigte Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen: E_{Standard} (E-E) respektive P_{Standard} (P-P)

Kommentar:

Die ausgewiesenen Emissionsminderungen ergeben sich durch die Kombination von Brenn- und Treibstoffeinsparungen mit abgasspezifischen Massnahmen gemäss den Tabellen 12.7, 12.8 und 12.9). Bei den Verursacherkategorien, bei denen keine spezifischen Massnahmen zur Abgasreduktion vorgesehen sind, ergeben sich in gewissen Fällen (z.B. 1.Priorität P-P) zusätzliche Emissionsverminderungen durch Einsparungen bei den Brenn- und Treibstoffen (Synergiepotential der Brenn- und Treibstoffeinsparungen; vgl. dazu auch den ausführlicheren Kommentar in 10.13.3)

Nach dem heutigen Stand des Wissens muss davon ausgegangen werden, dass die angegebenen Emissionszahlen aus Abrieb und Aufwirbelung im Verlauf der laufenden Untersuchung bei einigen Verursacherkategorien noch *wesentliche Modifikationen* erfahren können. Deshalb sind Emissionsziel wie Massnahmenbilanzen als *vorläufig* zu betrachten.

Eine *definitive Beurteilung der Erreichbarkeit des ökologischen Ziels ist aus diesem Grunde noch nicht möglich.*

12.12 Schlussfolgerungen und Empfehlung: PM10-Massnahmen

12.12.1 Massnahmen erster Priorität bei Verbrennungsanlagen und Motoren

Bei den Emissionen der Verursacherkategorien Güterverkehr, Personenverkehr und – mit Einschränkungen – Maschinen und Geräte der Land- und Forstwirtschaft spielen die PM10- Emissionen aus Motoren eine zentrale Rolle. Geht man davon aus, dass - aufgrund der konservativen Schätzverfahren - die Bilanzwerte für die mechanisch erzeugten Feinstäube eher zu hoch ausgefallen sind, bleiben die Prioritäten dieser drei Verursachergruppen auch in Zukunft unverändert: gerade weil die Abrieb- und Aufwirbelungsemissionen in den vorliegenden Bilanzen eher überschätzt werden, sind die Emissionen der Fahrzeuge des Güter- und Personentransports auch in Zukunft dominant.

*Die vorgeschlagenen Massnahmen zur Minderung der PM10 - Emissionen aus den Abgasen von Güter- und Personenverkehr sowie den Maschinen und Geräten der Land- und Forstwirtschaft basieren auf soliden Grundlagen bezüglich Emissionen. Sie sind deshalb mit erster Priorität umzusetzen.
Diese Massnahmen vermindern insbesondere auch die ultrafeinen und Krebs erregenden Dieselrusspartikel.*

12.12.2 Massnahmen zweiter Priorität bei Verbrennungsanlagen und Motoren

Die Verursacherkategorien Flugverkehr, Heizungen (Biomasse und fossil), Industriemaschinen und -feuerungen (Biomasse und fossil), Steine und Erden und Baumaschinen tragen auch unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in den Gesamtbilanzen mit Sicherheit wesentlich zu den Gesamtemissionen bei.

Auch die vorgeschlagenen Massnahmen bei Verbrennungsanlagen und Motoren der Verursacherkategorien zweiter Priorität können auf der Basis des heutigen Standes des Wissens umgesetzt werden.

Die Voraussetzung für die Umsetzung der Empfehlungen 12.12.1 und 12.12.2 stellt auf Seite des Verbrauchs von Brenn- und Treibstoffen die Umsetzung der Empfehlung 9.15 dar.

12.12.3 Massnahmen zweiter Priorität: Problematik der Feinstäube aus Abrieb und Aufwirbelung

Ein beträchtlicher Teil der Verursacherkategorien zweiter Priorität emittiert Feinstäube, die aus Abrieb und Aufwirbelung stammen. Der diesbezügliche Wissenstand betreffend Emissionen ist gegenwärtig nicht ausreichend, um konkrete Massnahmen anzuordnen. Es besteht die offensichtliche Notwendigkeit, so schnell wie möglich Grundlagen von ausreichender Zuverlässigkeit zu beschaffen. Die heute vorhandenen Grundlagen genügen jedoch, um vorsorgliche Massnahmen zur Minimierung der Staubemissionen zu begründen.

Die für die abschliessende Beurteilung von Massnahmen zur Luftreinhaltung noch *ungenügenden Grundlagen* zur Beurteilung von PM10-Emissionen von mechanischen Prozessen müssen schnellstmöglich verbessert werden. Deshalb sind die Forschungsanstrengungen im Bereich der PM10 aus Abrieb- und Aufwirbelung intensiv weiter zu betreiben und international zu koordinieren.

Die Massnahmen zweiter Priorität betreffend Abrieb und Aufwirbelung werden bis zum Vorliegen von zusätzlichen Forschungsergebnissen im Rahmen der Vorsorge umgesetzt.

13 Verminderungen der Emissionen von NH₃

13.1 Prioritätensetzung NH₃

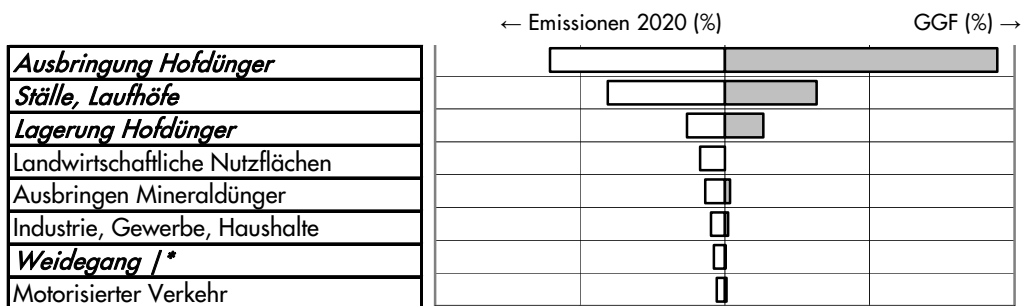
Bewertung der Verursacherkategorien bezüglich Massnahmen

Verursacherkategorie	Emissionen 2020 (kt N/a)	wd	ct	cv	GGF (%)
<i>Ausbringung Hofdünger</i>	17.1	1	2	2	66%
<i>Ställe, Laufhöfe</i>	11.4	3	1	1	22%
<i>Lagerung Hofdünger</i>	3.7	2	3	2	9.3%
Industrie, Gewerbe und Haushalte	1.3	2	2	2	0.8%
Landwirtschaftliche Nutzflächen	2.4	0	0	0	0.0%
Ausbringen Mineraldünger	1.9	1	3	2	1.3%
<i>Weidegang / *</i>	1.1	3	1	1	0.2%
Motorisierter Verkehr	0.8	3	2	2	0.4%

Anmerkung: GGF: Gesamtgewichtungsfaktor; wd: Wachstumsdynamik; ct: Chancen der Technik, cv: Chancen Vollzug; wd, ct, cv = 0: keine Bewertung

/* Die Entwicklung dieser Verursacherkategorie beeinflusst die Entwicklung der Ammoniakemissionen von Ställen, Laufhöfen und Hofdüngerausbringung. Aufgrund dieser Zusammenhänge kommt der Verursacherkategorie Weidegang erste Priorität zu.

Vergleich der GGF mit den Emissionen pro Verursacherkategorie



Legende:

Rechter Teil der Figur: Gesamtgewichtungsfaktoren (GGF) gemäss Tabelle 13.1.

Linker Teil der Figur: Prozentuale Anteile der Verursacherkategorien an den schweizerischen Emissionen im Jahr 2020 .

Übrige Angaben und Anmerkung /* analog obere Tabelle.

13.2 Verursacherkategorien erster Priorität NH₃: Verbesserte Stallsysteme (NH 11)

Für Schweine und Geflügel sind emissionsarme Stallkonstruktionen technisch möglich und erprobt. In der Geflügelhaltung trägt vor allem die Zunahme der Kotbandsysteme bei der Legehennenhaltung zur Reduktion der Emissionen bei. Für Rinderställe testen die Niederlande im Moment ein System. Je nach Umständen ist auch ein Einbau von Biowäschern oder anderen Abluftreinigungstechniken möglich (In Schweden wurde zum Beispiel ein Biofilter zur Abluftreinigung getestet, der in einen bestehenden Stall eingebaut wurde und die Ammoniakemissionen etwa um Faktor 7 reduzierte).

Auf der technischen Seite verlangt die Einführung solcher Systeme noch *Entwicklungsarbeit*, an der auch die Schweiz ihren Anteil leisten soll. Generell gilt: wo praxistaugliche Lösungen fehlen, ist die Entwicklung emissionsreduzierender Systeme zu fördern. Bei zwangsbelüfteten Ställen erlaubt es der heutige Stand der Technik, den Einbau von Abluftreinigungen vorzuschreiben.

Die *Umweltschutzgesetzgebung* ist in Bezug auf die Anforderungen an Ställe und Laufhöfe zu präzisieren. Bauten sollen so konstruiert werden müssen, dass der Harn sofort in einen geschlossenen Behälter abfließt und die verschmutzten Flächen häufig und auf einfache Art (ev. automatisch) gereinigt werden können.

Entwicklung emissionsarmer Stallsysteme durch entsprechende Forschung und Pilotprojekte
Vorschriften und Anreizsysteme zu Bau emissionsarmer Ställe und zur Abluftreinigung

Wirkung: Unter der Annahme, dass es durch zusätzliche Forschungen gelingt, bis 2020 Möglichkeiten zur Verminderung der NH₃-Emissionen zu erarbeiten, die bezüglich Nachreinigungen von Stallabgasen über das heute schon Absehbare hinausgehen, rechnen wir bis 2020 mit einem Einsparpotential von bis 2.3 kt N/a. Zu erwarten sind bis 2020 0.3 kt N/a.

Umsetzung: Bund und Kantone durch Erarbeitung von Vollzugsvorschriften und Anreizsysteme. Zusätzlich gezielte Forschungsförderung.

Anmerkungen zu den ausgewiesenen Potentialen:

- Verlustmindernde Massnahmen in den Ställen erhöhen den Anteil von leichtflüchtigem Stickstoff in der Gülle. Damit die erreichte Einsparung nicht in den nachgeschalteten Prozessen (Lagerung, Ausbringung) wieder grossteils zunichte gemacht wird, ist es unerlässlich, auch diese Prozesse möglichst emissionsarm zu gestalten.
- Der im Vergleich zum Potential geringe Erwartungswert erklärt sich dadurch, dass in den vergangenen und kommenden Jahren viele lufthygienisch nicht optimal konstruierte Ställe gebaut wurden und werden. Diese besitzen eine voraussichtliche Betriebszeit von 30 Jahren und können bis 2020 nicht ersetzt werden. Angesichts ihrer hohen Ammoniakemissionen ist deshalb auch die Frage von nachträglichen Massnahmen bei diesen neueren Bauten zu klären.
- Durch die Verminderung der Stallemissionen entschärft sich auch die Geruchsproblematik. Bei einer weitgehenden Reduktion, wie sie z.B. durch Abluftreinigung möglich ist, könnte eine Lockerung der Mindestabstandsregelung ins Auge gefasst werden, so dass Bauzonen und Tierhaltungsanlagen näher beieinander liegen dürften.

13.3 Verursacherkategorien erster Priorität NH₃: Ausbringung Hofdünger (NH 12)

Ein grosses Potential zur Reduktion der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen besteht bei der *Ausbringung von Hofdünger*. Bei dieser Verursacherkategorie sind effiziente Massnahmen bekannt, welche auf einem grossen Teil der Schweizer Landwirtschaftsbetriebe anwendbar sind. Diese umfassen *emissionsarme Ausbringtechniken* wie Schleppschlauch oder Gölledrill in Kombination mit Massnahmen, welche mehr die Organisation *der Hofdüngerausbringung* betreffen (z.B. Ausbringen am Abend, rasches Einarbeiten, Gölleverdünnung).

Förderung emissionsarmer Ausbringtechniken durch Umgestaltung der Direktzahlungen und / oder entsprechende Vorschriften

Wirkung: Unter Voraussetzungen dass sich Schleppschläuche oder äquivalente Technologien bis 2020 bei deutlich höheren Hangneigungen (bis 50%) einsetzen lassen als heute, kann mit einem Einsparpotential von 4.1 kt N/a gerechnet werden. Erwartet werden bis 2020 2.2 kt N/a.

Umsetzung: Bund (Änderung der Direktzahlungsverordnung: Aufnahme des Kriteriums "emissionsarmes Ausbringen des Hofdüngers" in den ökologischen Leistungsnachweis; Verlagerung von allgemeinen Flächenbeiträgen in Beiträge, die an Leistungen zur Luftreinhaltung geknüpft sind oder durch Vorschriften).

Anmerkung:

Während emissionsarme Ausbringtechniken Investitionen bedingen und an technische Einsatzgrenzen stossen (z.B. Hangneigung, Bodenbeschaffenheit), sind die organisatorischen Massnahmen grösstenteils kostengünstig aber kaum überprüfbar und häufig mit arbeitswirtschaftlichen oder sozialen Nachteilen verbunden.

13.4 Verursacherkategorien erster Priorität NH₃: Lagerung Hofdünger (NH 13)

Die Ammoniak-Emissionen dieser Verursacherkategorie gehen hauptsächlich auf *offene Lagerbehälter* zurück, die seit den 80ziger Jahren gebaut worden sind. Die traditionellen Göllegruben stellen dagegen kein Problem dar. Mit einer Abdeckung (Windschutz) kann die Ammoniakemission eines Göllebehälters um 60-90% vermindert werden. Da 2020 voraussichtlich noch ca. 10% der Gölle in ungedeckten Behältern gelagert werden, können die Gesamtemissionen bei der Göllelagerung durch nachträgliche Abdeckung aller noch offenen Lager um ca. 30% vermindert werden. Angesichts ihres vergleichsweise geringen Aufwands kann diese Massnahme allein schon auf der Grundlage des Vorsorgeprinzips des Umweltschutzgesetzes verlangt werden.

Offene Göllebehälter sind abzudecken. Dies kann auf der Grundlage des Vorsorgeprinzips des Umweltschutzgesetzes schon heute verlangt werden und erfordert keine zusätzlichen Vorschriften.

Wirkung: Potential 1.6 kt N/a, bis 2020 erwartet 0.1 kt N/a.

Umsetzung: Kantone (im Rahmen der Vorsorge; allenfalls auch von verschärften Massnahmen).

Anmerkung:

Mit der Verminderung der Verluste von Ammoniak aus der Göllelagerung erhöht sich der Anteil von leichtflüchtigem Stickstoff in der Gölle. Damit die erreichte Einsparung nicht bei der Ausbringung zum grossen Teil wieder zunichte gemacht wird, ist es unerlässlich, eine *verlustarme Ausbringtechnik* zu verwenden.

Misthaufen sollen so angelegt werden, dass sie eine möglichst kleine Oberfläche aufweisen, dreiseitig umschlossen, regen- und sonnengeschützt sind.

Wirkung: nicht quantifiziert.

Umsetzung: Bund und Kantone durch Empfehlungen und/oder Richtlinien.

13.5 Verursacherkategorie erster Priorität NH₃: Vermehrter Weidegang (NH 14)

Das vermehrte Weiden ist eine wirksame und wirtschaftlich interessante Möglichkeit zur Verminderung der Ammoniak-Emissionen. Grenzen ergeben sich aufgrund von Lokalklima, Bodenbeschaffenheit, Trittschäden und der Lage der Weideflächen. Wegen der ungleichmässigen Verteilung der Ausscheidungen auf den Weideflächen vermindert sich zudem die Stickstoffeffizienz. Dadurch besteht teilweise die Gefahr von Nitrat auswaschung ins Grundwasser und von erhöhten Lachgasemissionen. Unter Beachtung der erwähnten Randbedingungen lässt sich aber der Weidegang beim Rindvieh im Vergleich zum Trend noch ausdehnen.

Verlängerung der Weidedauer bei der Tierhaltung unter Berücksichtigung der Grenzen der Belastbarkeiten von Weideflächen und Grundwasser.

Wirkung: Durch das vermehrte Weiden nimmt zwar die Ammoniakemission auf den Weiden um 0.5 kt N/a zu. Durch den verminderten Gülleanfall sinken jedoch die Emissionen aus den Ställen und bei der Ausbringung. Netto resultiert damit eine Verminderung der Gesamtemissionen der Tierhaltung von 2.9 kt N/a (Potential).

Umsetzung: Bund und Kantone durch entsprechende Information, landwirtschaftliche Berater.

13.6 Querschnittsmassnahme NH₃: Proteinreduzierte Fütterung (NH 15)

Fütterungsmassnahmen, insbesondere die Reduktion der Proteinzufuhr für die Tiere können die N-Ausscheidungen, besonders die Ausscheidung von löslichem N, und damit N-Umsatz und Ammoniak-Emissionen verringern. Allerdings lassen sie sich bei der Rindviehhaltung nur begrenzt einsetzen, da der Ersatz der heutigen Grasfütterung durch Krafffutter nicht sinnvoll ist.

Empfehlungen betreffend Fütterungsmassnahmen

Wirkung: Diese Massnahmen wirkt sich gesamthaft auf die Tierhaltung aus und kann deshalb nicht einer einzelnen Verursacherkategorie zugeordnet werden. Ihre Wirkung ist zudem nicht unabhängig von den Massnahmen bei den Verursacherkategorien NH11 bis NH 14. Für sich genommen besitzt die Massnahme ein Einsparpotential von 3.2 kt N/a. Erwartungswert bis 2020 0.5 kt N/a. Die Gesamtwirkung der Massnahmen NH 11 bis NH 15 entspricht aber nicht einfach der Summenwirkung der Einzelmassnahmen (vgl. die Bemerkungen zur Tabelle 13.8).

Umsetzung: Bund und Kantone durch Information, landwirtschaftliche Beratung.

13.7 Verursacherkategorie zweiter Priorität NH₃

13.7.1 Ausbringung Mineraldünger (NH 21)

Im Bereich Mineraldünger ist besonders der Ersatz von Harnstoff durch andere N-Dünger während der heissen Jahreszeit eine wirkungsvolle und kosteneffiziente Massnahme. Allerdings beträgt der Anteil des Harnstoffes an den eingesetzten N-Düngern weniger als 20 %.

Verminderung der Einsatzes von harnstoffhaltigem Dünger durch Information, Beratung

Wirkung: 0.8 kt N/a (Potential), erwartet bis 2020 0.7 kt N/a.

Umsetzung: Bund, Kantone, landwirtschaftliche Beratung.

13.7.2 Verbesserungen der Abgasnachreinigung bei den Motorfahrzeugen (NH 22)

Durch Optimierungen der Abgasnachreinigungssysteme werden die heute noch vorhandenen Emissionen von NH₃ vermindert.

Wirkung: 0.4 kt N/a (Potential), erwartet bis 2020 0.2 kt N/a (Wirkung inklusive der erwarteten Auswirkungen der Massnahmen zur Verminderung des Verbrauchs an Treibstoff).

Umsetzung: Bund (Nachvollzug der entsprechenden EU-Vorschriften).

13.8 Übersicht: NH₃-Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster Priorität

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Abgastechnik bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P	E	kt/a (Emissionsvermindierungen)	
NH 11	Ställe, Laufhöfe	Entwicklung emissionsarmer Stallsysteme durch entsprechende Forschung und Pilotprojekte.	-	-	4.3	0.4
NH 12	Ausbringung Hofdünger	Emissionsarme Ausbringtechniken, organisatorische Massnahmen bei der Düngerausbringung	-	-	4.1	2.2
NH 13	Lagerung Hofdünger	Systematische Abdeckung der Güllelager.	-	-	1.6	0.1
NH 14	Weidegang	Verlängerung der Weidedauer bei der Tierhaltung	-	-	-0.5	-0.5

NH 15	Proteinreduzierte Fütterung	Querschnittmassnahme: Die Reduktion der Proteinversorgung vermindert generell die N-Ausscheidungen, besonders die Ausscheidung von löslichem N.	-	-	3.2	0.5
-------	-----------------------------	--	---	---	-----	-----

Totalwirkung der Massnahmen NH 11 bis NH 15 (Der Wirkungsmechanismus der kombinierten Massnahmen ist komplex, vgl. untenstehende Bemerkung)					12.4	5.3
---	--	--	--	--	------	-----

Bemerkungen zur Tabelle:

Die Beträge der Emissionsminderung sind *nicht additiv*. Massnahme NH14 bewirkt zwar eine Erhöhung der Weideemissionen, aber eine Verminderung der Emissionen aus der Tierhaltung (Stallemissionen, Gülleausbringung). Die Einsparungen bei den Stallemissionen und der Güllelagerung (NH11, NH13) können im Gesamtsystem nur dann ausgeschöpft werden, wenn die nachgelagerten Prozesse verlustarm ausgeführt werden.

13.9 Übersicht: NH₃-Massnahmen bei den Verursacherkategorien zweiter Priorität

Code	Verursacherkategorie	Kurzbeschreibung der Massnahmen und Bewertung ihrer Einsparpotentiale bezüglich Abgastechnik bezogen auf die 2020 erwarteten Emissionen	Einsparungen rel. Trend			
			P (%) *	E (%) **	kt/a (Emissionsvermindierungen, beim mot. Verkehr inkl. Wirkung BT Massnahmen)	
NH 21	Ausbringen Mineräldünger	Wahl von emissionsarmem Mineräldünger, insbesondere Verminderung des Einsatzes Ersatz von harnstoffhaltigem Dünger	-	-	0.8	0.7
NH 22	Motorisierter Verkehr	Verbesserung der Abgasnachreinigungstechnik	10%	5%	0.4	0.2
Summe 2. P.					1.2	0.9

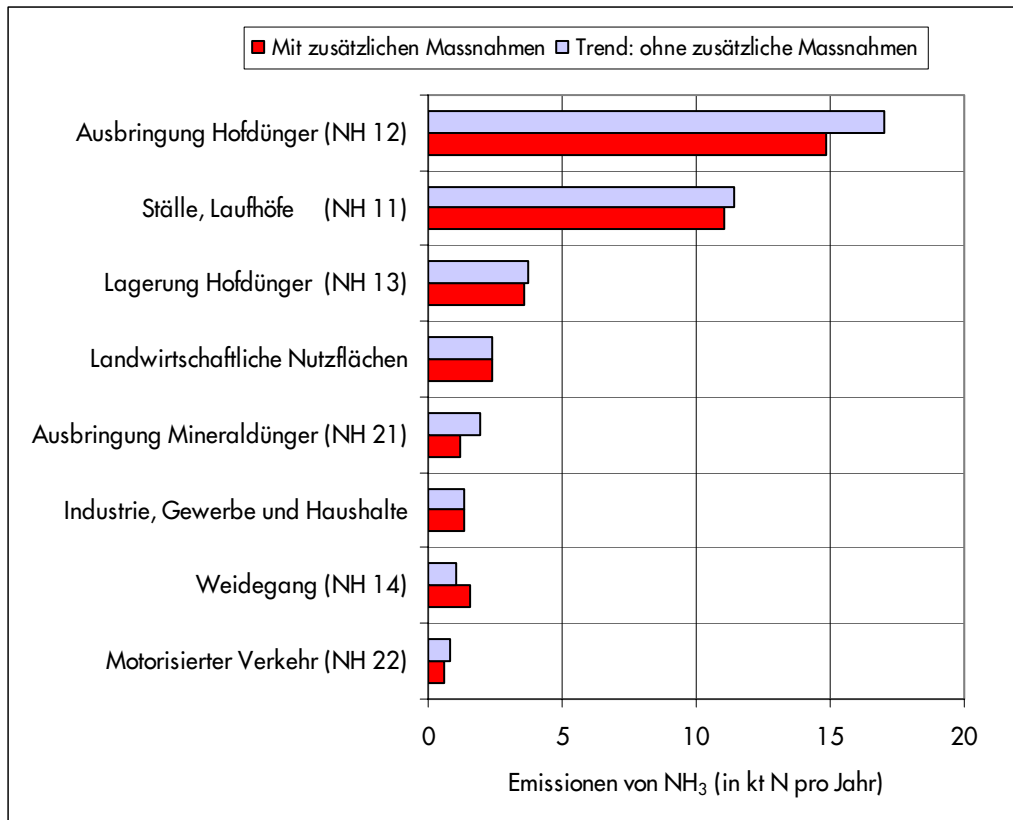
Legende:

|* P: Einsparpotentiale. Wenn mehrere Einsparmassnahmen aufgeführt sind: Summe der Einzeleinsparungen

|** E: Erwartungswerte der Einsparungen: Bis 2020 schätzungsweise erreichbar

13.10 Wirkung der NH₃-Massnahmen

Massnahmenbilanzen der NH₃-Emissionen nach Verursacherkategorien (Erwartungswerte)



Legende und Kommentar

Wirkung der zusätzlichen Massnahmen (*Erwartungswerte E*) aufgegliedert nach Verursacherkategorien. In Klammern der Code der Verursacherkategorie (erste Zahl Priorität der Verursacherkategorie, zweite Zahl Laufnummer). Für die Verursacherkategorien ohne Codeangaben sind keine speziellen Massnahmen vorgesehen. Massnahmen bei der Verursacherkategorie NH 22, Motorisierter Verkehr, unter Berücksichtigung der Einsparungen bei den Brenn- und Treibstoffen: (*E_{Standard}*).

Die Massnahmen NH 14 (Verlängerung der Weidedauer) führt zwar zu einer Zunahme der Weideemissionen, gleichzeitig aber zu einer beträchtlichen Abnahme der Stall- und Ausbringemissionen (vgl. 13.5). Die Massnahme NH 15 kann als Querschnittsmassnahme nicht einer bestimmten Verursacherkategorie zugeordnet werden.

13.11 Bilanzierung, Vergleich mit dem ökologischen Ziel

Emissionen 2020 NH ₃ (kt N/a)	
Ohne Massnahmen	39.7
mit Massnahmen	
Erwartungswert 2020 (E _{Standard})	33.5
Potential 2020 (P _{Standard})	26.1
Emissionsziel	26

Auf der Grundlage der Erwartungswerte der technischen Massnahmen zur Verminderung der Emissionen von NH₃ wird das Emissionsziel bis 2020 *massiv verfehlt*. Die erreichten Emissionsminderungen reichen nur gerade aus, um das halbe Leistungsdefizit abzudecken.

Wie schon in den Beschreibungen der einzelnen Massnahmen dargestellt, sind die hier ausgewiesenen *Potentiale* der Emissionsminderungen nur erreichbar, wenn in den nächsten 15 Jahren *deutliche technische Fortschritte* bei den Emissionsvermindernungen der Ställe (NH 11) und bei der Düngerausbringung in Hanglagen (NH 12) gemacht werden. Diese bedingen zusätzliche und spezifische Forschungsanstrengungen. *Erreicht man die in den Schlüsselbereichen NH 11 und NH 12 geschätzten Minderungspotentiale, rückt das Gesamt - Emissionsziel in greifbare Nähe* – und dies bei einer gegenüber dem Trend unverminderten landwirtschaftlichen Produktion, insbesondere auch bei gegenüber dem Trend nicht verminderten Tierzahlen.

13.11.1 Flankierende Massnahmen zur Erreichung des ausgewiesenen Minderungspotentials

Voraussetzung für die möglichst vollständige Ausschöpfung des Reduktionspotentials ist die Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen z.B. durch:

- Anreizprogramme (ev. Anpassung der Direktzahlungen) zur Förderung der emissionsarmer Hofdüngerausbringung.
- Intensive Informationsaktivitäten zu Ammoniakemissionen und emissionsmindernden Massnahmen.
- Aufnahme von lufthygienische Anforderungen in den ökologischen Leistungsnachweis.
- Aufnahme von lufthygienischen Kriterien in das Sanktionsschema, das bei Nichteinhaltung von Umweltvorschriften zu Kürzungen der Direktzahlungen führt
- Anleitung zum möglichen Selbstbau von Abdeckungen für Güllebehälter.

13.11.2 Weitere Ansatzpunkte

Zusätzliche Abklärungen über technische Möglichkeiten zur Emissionsminderung sind notwendig. Diese liefern die Grundlage dafür, viel versprechende technische Entwicklungen zu fördern und konsolidierte Prognosen der schweizerischen Ammoniak-Emissionen auszuarbeiten.

Bei den hier vorliegenden Prognosen stellt die bis 2020 zu erwartende *Entwicklung der Tierzahlen den grössten Unsicherheitsfaktor* bei den Emissionsschätzungen dar. Sollte die Rindvieh- und Schweinehaltung stärker abnehmen als gegenwärtig angenommen, würde sich auch die oben dargestellte Zielerreichungslücke vermindern. Sollte sie zunehmen (sinkende Futterpreise für Schweine, Geflügel), würde sie sich entsprechend vergrössern.

13.12 Schlussfolgerungen und Empfehlung: NH₃-Massnahmen

Weide

Die Weidedauer soll verlängert werden, soweit dies möglich ist und keine nachteiligen Wirkungen (Bodenverdichtung, erhöhte Nitratauswaschung und Lachgasemissionen) zu befürchten sind.

Stallsysteme

Durch Vorschriften oder Anforderungen bei der Subventionsausschüttung soll erreicht werden, dass Ställe lufthygienisch optimal konstruiert und/oder mit Abluftfiltern versehen werden. Neue viel versprechende Techniken sollen in Pilotprojekten erprobt und gefördert werden.

Lagerung Hofdünger

Offene Güllelager sind überall mit Abdeckungen zu versehen. Misthaufen sind allseitig vor Wind, Sonne und Niederschlägen zu schützen.

Ausbringung von Hofdünger

Emissionsarme Ausbringtonen (z.B. Schleppschlauch) bei möglichst vielen Flächen und sofortiges Einarbeiten der Gülle auf Ackerflächen sind zu fördern. Das Gleiche gilt für organisatorische Massnahmen zur Minimierung der NH₃-Emissionen

Weitere Massnahmen

Angepasste Fütterung zur Verminderung von NH₃-Emissionen. Verminderung des Einsatzes von Harnstoff bei Kunstdüngern. Verbesserung der Abgasreinigungstechnik beim motorisierten Verkehr.

Überprüfung der Direktzahlungen auf ihre lufthygienische Wirkung und nötigenfalls Anpassung

Die Landwirtschaft erhält jährlich ca. 3 Milliarden CHF Subventionen durch den Bund. Es ist systematisch zu prüfen, wie diese Gelder auch in Bezug auf die Lufthygiene wirkungsvoll eingesetzt werden können, bzw. welche lufthygienischen Anforderungen an die Ausschüttung der Gelder geknüpft werden müssen.

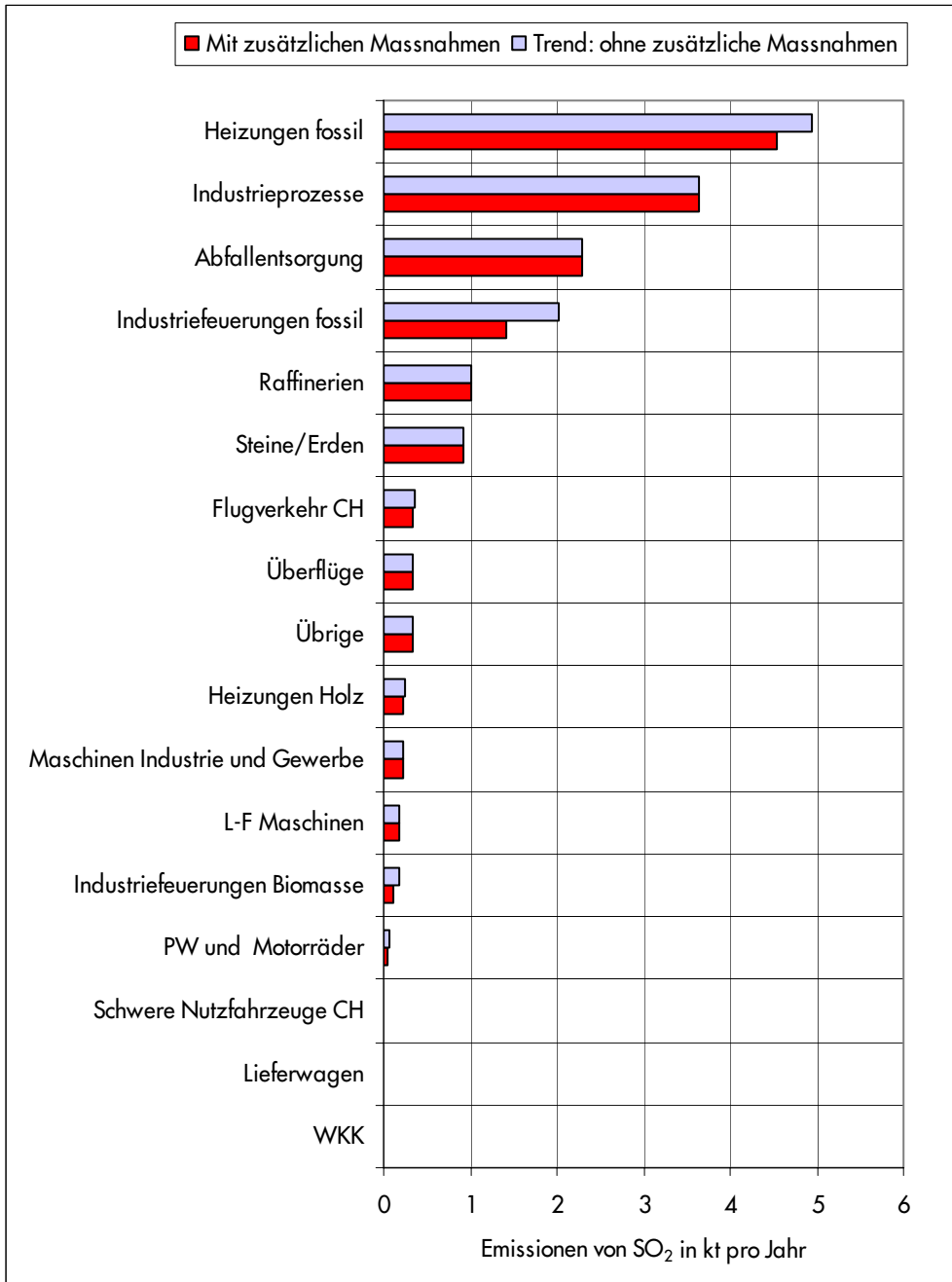
Weitere Massnahmen: das Problem der Entwicklung der Tierzahlen

Die vorliegenden Prognoserechnungen basieren wesentlich auf recht unsicheren Annahmen sowohl bezüglich des Erfolgs von zusätzlichen Forschungsanstrengungen als auch bezüglich der Entwicklung der Tierzahlen.

Zusätzliche Massnahmen zur Verminderung der NH₃-Emissionen sind periodisch auf der Grundlage der neuesten Entwicklungen zu erarbeiten und umzusetzen.

14 Emissionen von SO₂: Auswirkungen der Massnahmen bei den Brenn- und Treibstoffen

14.1 Bilanzen der SO₂-Emissionen nach Verursacherkategorien (Erwartungswerte)



Berücksichtigte Massnahmen: Erwartungswert der Brenn- und Treibstoffeinsparungen: E_{Standard}

14.2 Bilanz SO₂

Im Falle von SO₂ wurden keine speziellen abgasseitigen Massnahmen festgelegt, da die ökologischen Ziele zum heutigen Zeitpunkt erreicht sind und voraussichtlich auch in Zukunft eingehalten werden. Dennoch sind aufgrund der vorgesehenen Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen weitere Verbesserungen bei der Belastung der Umwelt durch SO₂ zu erwarten. Die entsprechenden Bilanzen sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Emissionen 2020 SO ₂ (kt/a)	
Ohne Massnahmen	16.8
mit Massnahmen bei Brenn- und Treibstoffen	
Erwartungswert 2020 (E _{Standard})	15.7
Potential 2020 (P _{Standard})	13.7
Emissionsziel	25

Anmerkung: Berücksichtigte Massnahmen: Erwartungswert, respektive Potential der Brenn- und Treibstoffeinsparungen: E_{Standard}; P_{Standard}.

Kommentar

Die deutliche zusätzliche Verminderung illustriert das Synergiepotential der Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen, welche dem Strategieansatz zugrunde liegt: es ergeben sich „*Gratiseinsparungen*“ von SO₂ um 7% (Erwartungswert der Brenn- und Treibstoffeinsparung), *respektive um knapp 20%* (Synergiepotential der Brenn- und Treibstoffeinsparung).

Das Emissionsziel ist vorgegeben durch die noch tolerierbare Belastung unserer Böden mit Säuren (eine Vorgabe, die deutlich strenger ist als die Vorgabe der Einhaltung des Grenzwerts der Luftreinhalte-Verordnung für die Konzentration von SO₂ in der Atemluft). Das Ziel ist *schon heute erreicht*. Dennoch bedeutet jede Reduktion der SO₂-Emissionen eine Verminderung der Säurebelastung von Böden und empfindlichen Ökosystemen und ist im Sinne der Vorsorge als höchst erwünscht zu werten.

15 Zusammenfassung

15.1 Vorgehensschritte

15.1.1 Die bisher beschlossenen Massnahmen reichen nicht aus, um die ökologischen Ziele zu erreichen

Bei allen beurteilten Luftschadstoffen (mit Ausnahme von SO₂) zeigt sich, dass die bisher beschlossenen Massnahmen *nicht genügen, um die Ziele der Luftreinhaltung zu erreichen*. Wie die Figuren der Emissionsentwicklungen in Kapitel 4 belegen, werden die Emissionen der meisten Luftschadstoffe ab etwa 2010 nicht mehr wesentlich abnehmen. Aus diesem Grunde ist es *unerlässlich, heute zusätzliche Massnahmen zu treffen*.

15.1.2 Die Verminderung des Verbrauchs an Brenn- und Treibstoffen ist unerlässlich, reicht aber nicht aus

Ein Grossteil der Emissionen von Luftschadstoffen geht auf den Einsatz von fossilen Brenn- und Treibstoffen zurück. Massnahmen zur Verminderung von fossilen Brenn- und Treibstoffen tragen sowohl zur Luftreinhaltung als auch zur Erreichung der Ziele der schweizerischen Klimapolitik und des CO₂-Gesetzes bei. Aufgrund der *Synergien* zwischen Luftreinhaltung und Klimapolitik der Schweiz kommt der Verminderung des Verbrauchs von fossilen Brenn- und Treibstoffen aus Sicht der Luftreinhaltung hohe Priorität zu.

Das vorliegende Programm zur Erreichung der ökologischen Ziele der Luftreinhaltung legte deshalb in einem ersten Schritt Verminderungsziele für den Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen fest. Wie die Tabellen in Anhang 3 zeigen, tragen die Brenn- und Treibstoffe *rund einen Drittel zu den Gesamteinsparungen der Luftschadstoffe* bei. Bei den NMVOC sind Emissionen in hohem Masse durch den Lösemittelverbrauch bestimmt. Aus diesem Grund tragen Einsparungen bei den Brenn- und Treibstoffen deutlich weniger, nämlich *rund 10% zu den Gesamteinsparungen* bei. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Emissionen von NH₃.

Trotz ihres zum Teil beachtlichen Beitrags zur Erreichung der ökologischen Ziele reichen aber die Massnahmen bei den Brenn- und Treibstoffen *bei weitem nicht aus, um die ökologischen Ziele der Luftreinhaltung zu erreichen*.

Anmerkung

Die im Zusammenhang mit der Luftreinhaltungspolitik formulierten Ziele zur Einsparung von Brenn- und Treibstoffen können somit als – spätestens bis 2020 zu erreichende - *Mindestanforderung* der Luftreinhaltung an die Klimapolitik interpretiert werden.

15.1.3 *Zusätzliche schadstoffspezifische Massnahmen sind unerlässlich um die Ziele zu erreichen*

Aus diesem Grunde ist es unumgänglich, *schadstoffspezifische zusätzliche Massnahmen* zu treffen. Dabei geht es zunächst darum, die Möglichkeiten, die sich aus dem technischen Fortschritt ergeben, konsequent zu nutzen. Dies geschieht vorzugsweise durch Verschärfung der vorsorglichen Emissionsbegrenzungen in der LRV, durch frühzeitige Anpassung der Abgasvorschriften an den jeweiligen Stand der Technik und wo sinnvoll durch Nachrüstung bestehender Anlagen und Fahrzeuge. Auch bei konsequenter Umsetzung der Vorsorgemassnahmen sind aber die ökologischen Ziele aber aus heutiger Sicht nicht erreichbar.

Aus diesem Grunde werden in den vorhergehenden Kapiteln zusätzliche schadstoffspezifischen Massnahmen festgelegt. Diese besitzen, bezogen auf den jeweiligen Schadstoff, das grössere Minderungspotential als die Massnahmen zur Verminderung von Brenn- und Treibstoffen. Aber auch bei Ausschöpfung der heute absehbaren technischen Möglichkeiten muss davon ausgegangen werden, dass sie allein nicht ausreichen werden, um die ökologischen Ziele der Luftreinhaltung zu erreichen. Zudem dürfte die vollständige Ausschöpfung der schadstoffspezifischen Massnahmen mit sehr hohem Aufwand verbunden sein.

15.1.4 *Die Kombination von Massnahmen ist zieleffizient*

Eine zieleffiziente Strategie zur Erreichung der ökologischen Grenzen stellt aus diesem Grunde die *Kombination von Brenn- und Treibstoffeinsparungen mit schadstoffspezifischen Emissionsverminderungen* dar. Wie die Prognoserechnungen zeigen, erlaubte es eine vollständige Ausschöpfung aller Massnahmen in Kombination die ökologischen Ziele mit hoher Wahrscheinlichkeit deutlich zu untertreffen. Es stellt sich damit die Frage, welches die *zieleffizientesten Kombinationen von Massnahmen* sind, welche zur *Zielerreichung* genügen.

Angesichts der vielen Möglichkeiten der Kombination von Massnahmen wurde eine *Systematik der Auswahl von Massnahmen* entwickelt. Diese stützt sich ab auf die Einteilung der Verursacher von Luftschadstoffen, respektive der Verbraucher von Brenn- und Treibstoffen in Verursacherkategorien. Durch eine systematische Bewertung der Verursacherkategorien wurde versucht, diejenigen Kombinationen von Massnahmen zur Verminderung des Brenn- und Treibstoffverbrauchs und der Verminderungen der Schadstoffemissionen herauszuschälen, welche möglichst zieleffizient zum Ziel führen.

15.2 Prognoseunsicherheiten

15.2.1 Einzelmassnahmen

Bei der Interpretation der Resultate ist zu berücksichtigen, dass der Zeithorizont von 2020 an der *Grenze des heute Prognostizierbaren* liegt: Aufgrund von Neuentwicklungen im Bereich der Technik wie des sozialen, wirtschaftlichen und politischen Umfelds können heute im Vordergrund stehende Einzelmassnahmen im Laufe der nächsten Jahre bezüglich Wirkung oder Realisierbarkeit neu zu beurteilen sein. Die vorausgesagte Wirkung der Einzelmassnahme muss deshalb als *sehr unsicher* angesehen werden.

15.2.2 Massnahmenpakete pro Verursacherkategorie

Für die Beurteilung der Massnahmenwirkung wurden Einzelmassnahmen pro Verursacherkategorie in Paketen zusammengefasst und gesamthaft beurteilt. Aufgrund möglicher Kompensationen der Wirkung der Einzelmassnahmen des Pakets dürfte die Unsicherheit der vorausgesagten Wirkung deutlich kleiner sein als bei den Einzelmassnahmen.

Bei den *Verursacherkategorien niedriger Priorität* wird auf den laufenden *Vollzug von vorsorglichen Massnahmen* abgestellt. Die in diesem Bericht erarbeiteten Massnahmen stellen demgemäss den schon erreichten oder mit grosser Wahrscheinlichkeit erreichbaren Stand der Technik dar. Die Beurteilung ihrer Wirkung ist aus diesem Grunde mit *geringeren Unsicherheiten* behaftet als bei den Massnahmen der Verursacherkategorien höherer Priorität.

15.2.3 Prioritätensetzung der Verursacherkategorien

Die *Definitionen der Verursacherkategorien und die Festlegung ihrer jeweiligen Prioritäten* stellen ab auf eine generellere Sichtweise, und werden sich voraussichtlich bis 2020 *wenig ändern*.

15.3 Zielerreichung

Die Zielerreichung verlangt *durchwegs zusätzliche Massnahmen bei den Verursacherkategorien erster bis zweiter Priorität*. Eine wichtige Rolle spielen zudem *fokussierte Verbesserungen beim Vollzug* der schon beschlossenen Massnahmen.

Einen integralen Teil dieser Vollzugsanstrengungen stellt die konsequente Anwendung von Vorsorgemassnahmen auf Stufe Bund, Kantone und Gemeinden dar. Gelingt dies, kann voraussichtlich auf eine vollständige Ausschöpfung aller zur Verfügung stehenden Massnahmen verzichtet werden.

Die Auswahl der Massnahmen nach Verursacherkategorien hat zur Folge, dass das Ziel auf *möglichst zieleffiziente Weise* erreicht werden kann.

Die Resultate der Arbeiten sind separat nach Luftschadstoffen, respektive Brenn- und Treibstoffverbrauch, zusammengefasst in einer Reihe von *Empfehlungen*.

Das vorgeschlagene Vorgehen zur Verminderung der Brenn- und Treibstoffe ist in Kapitel 9.13 zusammengefasst und bilanziert (Empfehlung in 9.15).

Das vorgeschlagene Vorgehen zur Verminderung der NO_x- Emissionen ist in Kapitel 10.13 dargestellt und bilanziert (Empfehlung in 10.14).

Das vorgeschlagene Vorgehen zur Verminderung der NMVOC- Emissionen ist in Kapitel 11.7 dargestellt und bilanziert (Empfehlung in 11.8).

Das vorgeschlagene Vorgehen zur Verminderung der PM₁₀- Emissionen und die Empfehlungen sind in Kapitel 12.12 dargestellt und bilanziert.

Das vorgeschlagene Vorgehen zur Verminderung der NH₃ - Emissionen und die Empfehlungen sind in Kapitel 13.12 dargestellt und bilanziert.

Anhang 1: Tabellenwerte (Rechenwerte) der Emissionsbilanzen 1990 - 2020

Die folgenden Tabellen enthalten die Zahlenwerte für die Emissionsbilanzen nach Verursacherkategorien in Teil I, Kapitel 6.

Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen (TJ pro Jahr)

	1990	2020
Eisen und Stahl	1'828	946
Raffinerien	5'906	10'250
Überflüge	6'084	14'883
Industriefeuerungen Biomasse	6'128	8'808
Anlagen mit Wärme-Kraft Kopplung	6'323	9'170
Übrige	6'451	3'590
Maschinen von Land- und Forstw.	9'205	10'672
Maschinen Industrie und Gewerbe	9'622	11'556
Flugverkehr CH	10'905	14'825
Lieferwagen	12'026	16'178
Heizungen Biomasse	12'299	12'359
Steine/Erden	23'111	14'136
Schwere Nutzfahrzeuge und Busse	26'343	31'230
Industriefeuerungen fossil	65'033	69'603
PW (inkl. Motorräder)	137'309	141'420
Heizungen fossil	256'576	223'006
Total (Rechenwert)	595'148	592'633

Emissionen von NO_x (kt pro Jahr)

	1990	2020
Verbrennung Biomasse	2.1	2.5
Landwirtschaftliche Böden	5.2	4.1
Industriefeuerungen. fossil	5.4	1.8
Flugverkehr inkl. Überflüge	6.0	9.4
Lieferwagen	7.1	2.7
Abfallentsorgung	7.7	6.2
Maschinen I-G und L-F	8.7	12.4
Steine/Erden	9.8	3.8
Übrige	10.6	2.8
Heizungen fossil	14.1	4.8
Schwere Nutzfahrzeuge und Busse	22.9	9.2
PW (inkl. Motorräder)	59.7	11.2
Total (Rechenwert)	159.3	70.8

Emissionen von NMVOC (kt pro Jahr)

	1990	2020
Raffinerien	0.01	0.02
WKK	0.02	0.02
Industriefeuerungen Biom.	0.04	0.06
Industriefeuerungen fossil	0.2	0.1
Steine/Erden	0.3	0.2
Flugverkehr CH	0.3	0.7
Überflüge	0.4	0.02
Heizungen Biomasse	0.5	0.5
Abfallentsorgung	2.7	0.6
Heizungen fossil	1.9	0.6
Schwere Nutzfahrzeuge und Busse	2.3	1.3
Industrieprozesse	8.2	8.5
Motorräder	11.0	3.5
Maschinen I-G und L-F	11.5	12.3
Treibstoffverdunstung	18.3	6.4
PW und Lieferwagen	74.3	4.1
Lösemittel	147.0	65.0
Übrige	6.5	0.5
Total (Rechenwert)	285.4	104.4

Emissionen von PM10 (kt pro Jahr)

	1990	2020
Heizungen fossil	0.1	0.1
Grastrocknung	0.4	0.1
Feuerungen Industrie fossil	0.4	0.1
Heizungen Holz	0.6	0.8
Flugverkehr inkl. Überflüge	0.6	0.8
Schienenverkehr	0.9	1.0
Baustellen (insb. Maschinen)	1.2	0.3
Übrige	1.2	1.1
L-F Abfallentsorgung	1.5	1.1
Steine und Erden	1.5	0.3
Übrige Industrie	1.7	1.5
Holzbearbeitung	1.7	1.0
Nutztierhaltung	2.0	1.3
Baugewerbe (Zulieferer)	2.0	0.8
Güterverkehr Strasse	2.1	0.9
L-F Maschinen und Nutzflächen	2.8	3.3
Abfallentsorgung	3.6	0.1
Personenverkehr Strasse	3.7	3.2
Total (Rechenwert)	28.1	17.9

Emissionen von NH₃ (kt pro Jahr)

	1990	2020
Verkehr	0.5	0.8
Weidegang	0.7	1.1
Landwirtschaftliche Nutzflächen	2.4	2.4
Industrie, Gewerbe, Haushalte	2.1	1.3
Ausbringen Mineraldünger, Klärschlamm	4.4	1.9
Lagerung Hofdünger	5.4	3.7
Ställe, Laufhöfe	10.7	11.4
Ausbringung Hofdünger	28.1	17.1
Total (Rechenwert)	54.3	39.7

Anhang 2: Tabellenwerte (Rechenwerte) der Massnahmenbilanzen

Die folgenden Tabellen enthalten die Zahlenwerte für die Emissionsbilanzen nach Verursacherkategorien in Teil II, Kapitel 9 bis 14.

Massnahmenbilanz Brenn- und Treibstoffe (TJ pro Jahr)

	Trend: ohne zusätzliche Massnahmen	Mit zusätzlichen Massnahmen
Eisen und Stahl	946	851
Grastrocknung	1'497	1'497
Übrige	2'093	2'093
Industrief Feuerungen Biomasse (BT28)	8'808	6'166
WKK	9'170	9'170
Maschinen L-F (BT22)	10'672	10'139
Raffinerien	10'250	10'250
Offroad, Militär (BT25)	11'556	10'863
Heizungen Biomasse (BT27)	12'359	11'370
Steine und Erden (BT26)	14'136	12'723
Flugverkehr (BT24)	14'825	14'084
Überflüge (BT23)	14'883	14'139
Lieferwagen (BT21)	16'178	14'560
SNF + Busse (BT14)	31'230	26'545
Industrief Feuerungen fossil (BT13)	69'603	48'722
PW und Motorräder (BT12)	141'420	106'065
Heizungen fossil (BT11)	223'006	205'166
Total (Rechenwert)	592'633	504'403

Massnahmenbilanz NOx (kt pro Jahr)

	Trend: ohne zusätzliche Massnahmen	Mit zusätzlichen Massnahmen
WKK	0.2	0.1
Raffinerien	0.7	0.6
Industrief Feuerungen Biomasse (NO23)	1.2	0.8
Heizungen Biomasse (NO25)	1.2	1.2
Industrief Feuerungen fossil (NO23)	1.8	1.1
Übrige	1.9	1.9
Lieferwagen (NO21)	2.7	1.5
Steine/Erden (NO24)	3.8	3.3
Flugverkehr CH (NO14)	4.1	3.1
Landwirtschaftlicht (NO27)	4.1	3.7
Heizungen fossil (NO16)	4.8	4.4
Überflüge (NO26)	5.3	4.5
Maschinen der Land- und Forstw. (NO13)	6.1	2.9
Abfallentsorgung (NO22)	6.2	5.1
Maschinen Industrie und Gewerbe (NO15)	6.3	3.6
Schwere Nutzfahrzeuge und Busse (NO12)	9.2	5.8
PW und Motorräder (NO11)	11.2	6.2
Total (Rechenwert)	70.8	49.8

Massnahmenbilanz NMVOC (kt pro Jahr)

	Trend: ohne zusätzliche Massnahmen	Mit zusätzlichen Massnahmen
WKK	0.02	0.02
Raffinerien	0.02	0.02
Industriefeuerungen Biomasse	0.1	0.05
Industriefeuerungen fossil	0.1	0.1
Steine/Erden	0.2	0.2
Heizungen Biomasse	0.5	0.5
Flugverkehr	0.7	0.6
Abfallentsorgung	0.6	0.6
Heizungen fossil	0.6	0.6
Schwere Nutzfahrzeuge und Busse	1.3	1.1
Maschinen L-F (V25)	3.4	3.0
Motorräder (V22)	3.5	1.6
PW und Lieferwagen	4.1	3.1
Landwirtschaft	4.2	4.2
Maschinen Industrie und Gewerbe (V24)	4.7	4.2
Treibstoffverdunstung (V23)	6.4	6.0
Industrieprozesse (V21)	8.5	8.0
Lösemittel (V11, V12, V13)	65.0	45.5
Total (Rechenwert)	103.8	79.4

Massnahmenbilanz PM10 (kt pro Jahr)

	Trend: ohne zusätzliche Massnahmen	Mit zusätzlichen Massnahmen
Industriefeuerungen fossil (PM u10)	0.05	0.04
Heizungen fossil (PM u9)	0.05	0.05
Grastrocknung (PM u8)	0.14	0.13
Abfallentsorgung (PM u7)	0.15	0.13
Übrige	0.17	0.17
Maschinen Industrie und Gewerbe (PM u6)	0.19	0.16
Metallindustrie ohne Stahlwerke (PM u5)	0.27	0.22
Lebensmittelindustrie (PM u4)	0.31	0.25
Baustelle, Baumaschinen (PM u3)	0.32	0.27
Steine und Erden (PM u2)	0.33	0.28
Stahlwerke, diffuse Ofenemissionen (PM u1)	0.40	0.32
Hobby (PM 27)	0.40	0.32
Heizungen Biomasse (PM 29)	0.75	0.54
Zulieferer Baugewerbe (PM 25)	0.79	0.75
Industriefeuerungen Biomasse (PM 14)	0.79	0.49
Flugverkehr (PM 28)	0.88	0.71
Schienenverkehr (PM 24)	1.0	0.9
Holzbearbeitung (PM 23)	1.0	0.8
Abfallentsorgung L-F (PM 13)	1.1	0.7
Maschinen und Geräte L-F (PM 13)	1.2	0.9
Güterverkehr Strasse (PM 11)	0.9	0.8
Nutztierhaltung (PM 21)	1.3	1.3
L-F Nutzflächen (PM 26)	2.1	2.1
Personenverkehr Strasse (PM 12)	3.2	2.5
Total (Rechenwert)	17.9	14.9

Massnahmenbilanz NH₃ (kt pro Jahr)

	Trend: ohne zusätzliche Massnahmen	Mit zusätzlichen Massnahmen
Motorisierter Verkehr (NH 22)	0.8	0.6
Weidegang (NH 14)	1.1	1.6
Industrie, Gewerbe und Haushalte	1.3	1.3
Ausbringung Mineraldünger (NH 21)	1.9	1.2
Landwirtschaftliche Nutzflächen	2.4	2.4
Lagerung Hofdünger (NH 13)	3.7	3.6
Ställe, Laufhöfe (NH 11)	11.4	11.0
Ausbringung Hofdünger (NH 12)	17.1	14.9
Total (Rechenwert)	39.7	36.6

Massnahmenbilanz SO₂ (kt pro Jahr)

	Trend: ohne zusätzliche Massnahmen	Mit zusätzlichen Massnahmen
Lieferwagen	0.007	0.006
WKK	0.030	0.030
Schwere Nutzfahrzeuge CH	0.015	0.013
PW und Motorräder	0.06	0.04
Industriefeuerungen Biomasse	0.18	0.12
L-F Maschinen	0.18	0.17
Maschinen Industrie und Gewerbe	0.23	0.22
Heizungen Holz	0.25	0.23
Übrige	0.34	0.34
Überflüge	0.34	0.33
Flugverkehr CH	0.35	0.34
Steine/Erden	0.92	0.92
Raffinerien	1.0	1.0
Industriefeuerungen fossil	2.0	1.4
Abfallentsorgung	2.3	2.3
Industrieprozesse	3.6	3.6
Heizungen fossil	4.9	4.5
Total (Rechenwert)	16.8	15.7

Anhang 3: Wirkung der Einsparungen von Brenn- und Treibstoff auf die Emissionen von Luftschadstoffen

Wirkung der Massnahmen auf die Emissionen von NO_x (Emissionsziel 46 kt NO_x/a)

	Emissionen in kt NO _x /a			Erreichte Einsparungen	
	Ohne Massnahmen	Erwartungswerte (E-E)	Potentiale (P-P)	Erwartungswert (E)	Potential (P)
Energie plus Abgase *	70.8	49.8	39.7	21.1	31.2
nur fossile Energie **	70.8	64.9	59.8	6.0	11.1
Anteil Energie an den Einsparungen (%)				28%	35%

Wirkung der Massnahmen auf die Emissionen von PM10 (Emissionsziel 12 kt PM10/a)

	Emissionen in kt PM10/a			Erreichte Einsparungen	
	Ohne Massnahmen	Erwartungswerte (E-E)	Potentiale (P-P)	Erwartungswert (E)	Potential (P)
Energie plus Abgase *	17.9	14.9	12.3	3.0	5.6
nur fossile Energie **	17.9	17.2	16.2	0.8	1.7
Anteil Energie an den Einsparungen (%)				25%	31%

Wirkung der Massnahmen auf die Emissionen von NMVOC (Emissionsziel 81 kt NMVOC/a)

	Emissionen in kt NMVOC/a			Erreichte Einsparungen	
	Ohne Massnahmen	Erwartungswerte (E-E)	Potentiale (P-P)	Erwartungswert (E)	Potential (P)
Energie plus Abgase *	103.8	79.4	71.4	24.4	32.5
nur fossile Energie **	103.8	101.6	100.3	2.2	3.5
Anteil Energie an den Einsparungen (%)				9%	11%

Legende:

|* kombinierte Massnahmen gemäss den Bilanzen

|** nur Massnahmen zur Einsparung von fossilen Brenn- und Treibstoffen

Kommentar

Bei den Luftschadstoffen NO_x und PM10 dominieren Aktivitäten, die in hohem Masse mit dem Verbrauch von fossiler Energie in Beziehung stehen. Dies zeigt sich denn auch beim Einfluss, den Einsparungen bei fossilen Brenn- und Treibstoffen auf das Gesamtergebnis besitzen: Die Einsparungen bei den fossilen Brenn- und Treibstoffen tragen *rund einen Drittel zu den Gesamteinsparungen* bei (Erwartungswerte: etwas weniger als ein Drittel, Potentiale: etwas mehr als ein Drittel).

Die weitere Entwicklung der Emissionen von NMVOC ist stark durch die Entwicklung des Lösemittelverbrauchs bestimmt. Der Einfluss von Einsparungen von Brenn- und Treibstoffen ist deshalb kleiner als bei NO_x oder PM10. Im Fall der NMVOC-Emissionen tragen Einsparungen bei den fossilen Brenn- und Treibstoffen *rund 10% zu den Gesamteinsparungen* bei.

Die Entwicklung der Emissionen von NH₃ ist in erster Linie von der Düngewirtschaft bestimmt. Auch in diesem Falle ist zu erwarten, dass Einsparungen bei den fossilen Brenn- und Treibstoffen weniger Einfluss auf die Gesamteinsparungen besitzen als bei NO_x oder PM10.

Anhang 4: Einsparungen von NO_x und PM10 in Bezug auf fossiles CO₂

Die im Teil II der vorliegenden Arbeit dargestellten Szenarien für Einsparungen von Luftschadstoffen pro Verursacherkategorie, enthalten als wesentlichen Teil Einsparungen bei den Brenn- und Treibstoffen. Soweit diese Einsparungen fossile Brenn- und Treibstoffe umfassen, tragen sie auch zu der CO₂-Bilanz der Schweiz bei.

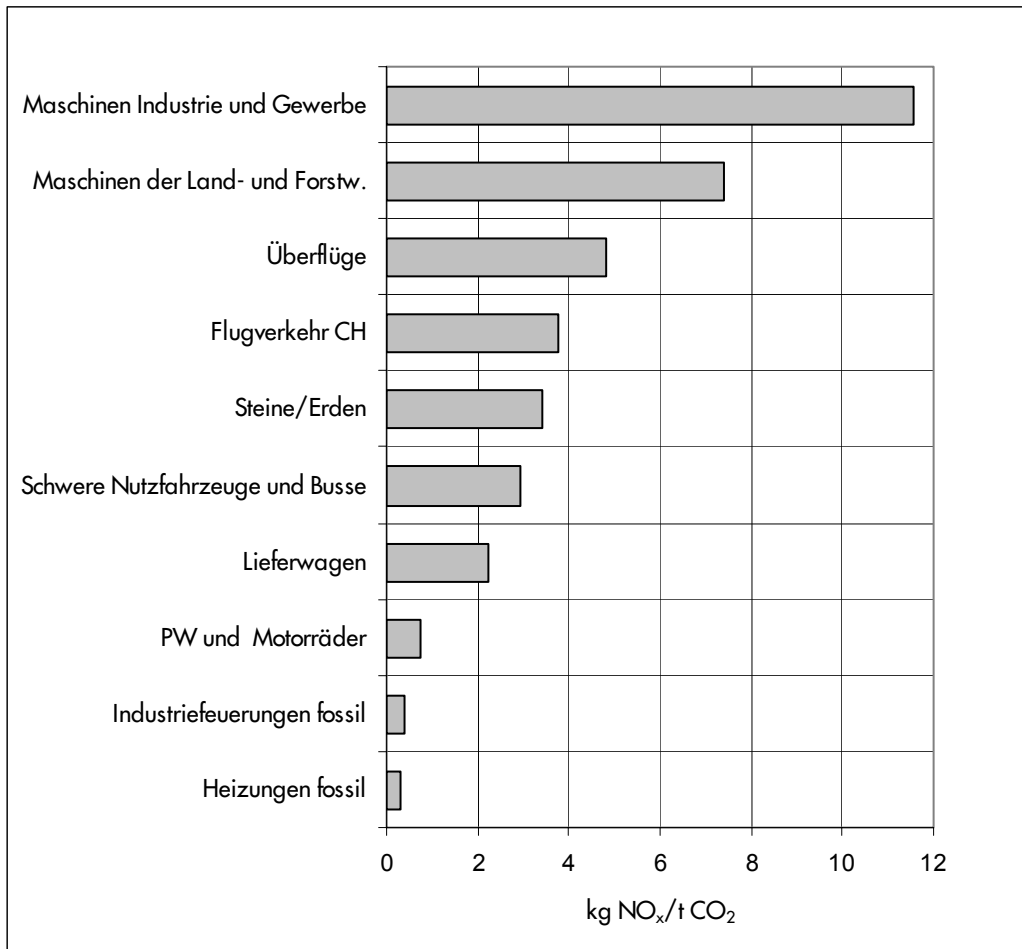
Unter der Voraussetzung, dass die für 2020 vorgesehenen schadstoffseitigen Massnahmen im empfohlenen Ausmass umgesetzt werden, kann das Verhältnis zwischen eingesparten fossilen Brenn- und Treibstoffen und dadurch eingesparten Luftschadstoffen pro Verursacherkategorie berechnet werden.

Die folgenden zwei Figuren zeigen die Resultate für die Luftschadstoffe NO_x und PM10 und die wichtigsten Verursacherkategorien. Der Vergleich der Auswirkungen der Szenarien E-E und P-P (Kombination der Erwartungswerte der Einsparungen bei Brenn- und Treibstoffen und Luftschadstoffen, respektive Kombination der Potentiale) ergab für beide betrachteten Luftschadstoffe sehr geringe Unterschiede. Die Figuren zeigen die Mittelwerte der beiden Szenarien.

Zur Sensitivität

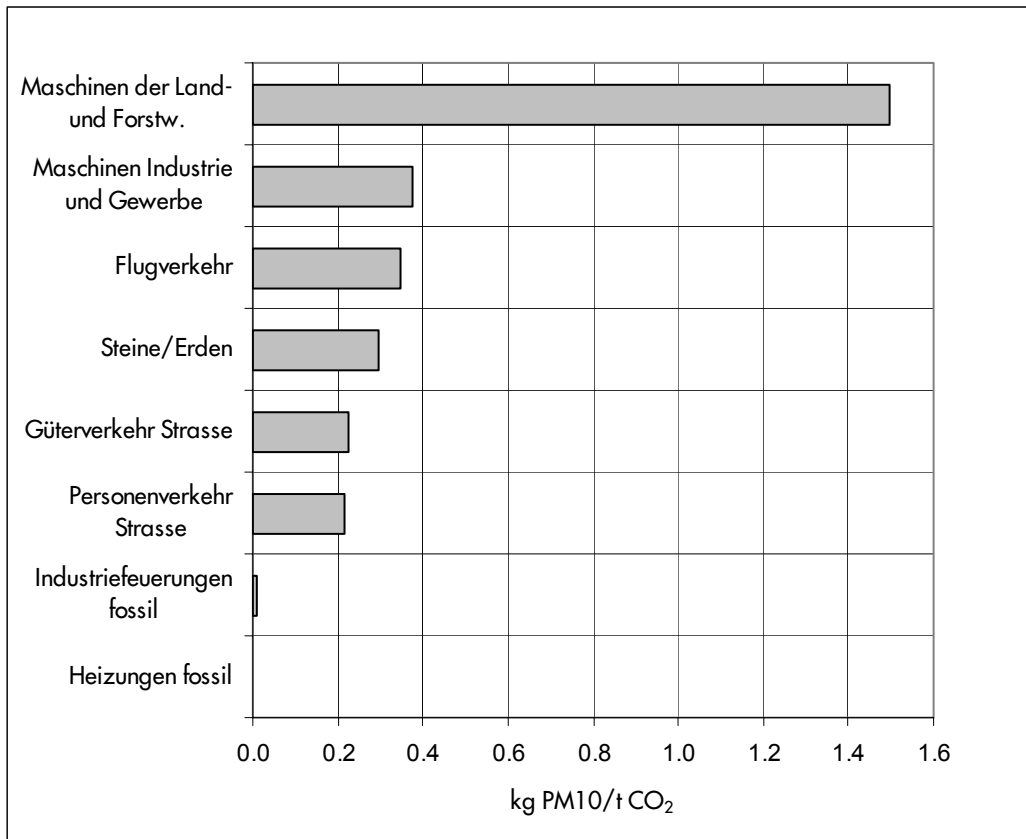
Der Vergleich der Berechnungen der Massenverhältnisse von NO_x, respektive PM10 zu CO₂ unter Berücksichtigung der Einsparungen „Erwartungswerte“ (E-E), respektive „Potentiale“ (P-P) ergab nur sehr geringe Unterschiede. Die oben dargestellten Zahlen entsprechen den arithmetischen Mittelwerten von E-E und P-P.

Kilogramm eingespartes NO_x pro Tonne eingespartes CO₂ (fossil erzeugt)



Kommentar: Je besser schadstoffspezifische Motorentchnik/Nachreinigung wirkt, desto weniger NO_x wird pro Tonne eingespartes CO₂ vermieden. Deshalb sind die relativen Wirkungen der Treibstoffeinsparungen bei PW's vergleichsweise geringer als beim Schwerverkehr oder bei den Maschinen von Industrie und Gewerbe oder Landwirtschaft.

Kilogramm eingespartes PM10 pro Tonne eingespartes CO₂ (fossil erzeugt)



Kommentar: Je besser schadstoffspezifische Motorentechnik/Nachreinigung wirkt, desto weniger NO_x wird pro Tonne eingespartes CO₂ vermieden. Deshalb sind die relativen Wirkungen der Treibstoffeinsparungen beim Personenverkehr vergleichsweise geringer als bei den Maschinen von Industrie und Gewerbe oder Landwirtschaft.

Anhang 5: Grundsätzliche Bemerkungen zu den PM10-Emissionen des Strassenverkehrs

Verursacher von PM10-Emissionen und Zusammensetzung von PM10

Die Partikelemissionen des Strassenverkehrs lassen sich in drei *Hauptkategorien* einteilen:

1. Abgasemissionen aus Dieselmotoren (Lastwagen, Busse, Lieferwagen und PW)
2. Abgasemissionen aus Benzinmotoren (Lieferwagen, PW und Motorräder)
3. Nichtmotorische Emissionen (vorwiegend Abrieb und Wiederaufwirbelung)

Die *Zusammensetzung* der Partikelemissionen ist deutlich unterschiedlich:

1. Dieselabgase bestehen hauptsächlich aus festen Russanteilen und zusätzlich noch kleineren Anteilen von flüssigen Partikeln aus Treibstoff und Schmieröl.
2. Benzinabgase bestehen vorwiegend aus flüssigen Partikeln aus Treibstoff und Schmieröl und kleinen Anteilen Russ. Bei direkt einspritzenden Benzinmotoren ist der Russanteil deutlich höher.
3. Abriebemissionen: Strassenabrieb und Aufwirbelung sowie Bremsabrieb weisen verschiedenste chemischen Zusammensetzungen auf. Reifenabrieb besteht zum Teil aus Russ.

Die *Grössenverteilung* ist ebenfalls deutlich unterschiedlich:

1. Die Abgase von Diesel- und Benzinmotoren bestehen aus Teilchen der Grössenklasse 20nm bis 500 nm.
2. Die Abrieb- und Aufwirbelungspartikel gehören zur Grössenklasse von 1 µm bis 10 µm, es können auch grössere, gesundheitlich nicht mehr relevante Partikel entstehen.

Emissionsmessungen

Die Abgasemissionen werden heute *gewichtsmässig* gemessen (g/km). Für Dieselmotoren stehen genaue Emissionsfaktoren zur Verfügung. Diesel-PW emittieren beispielsweise 1990 im Durchschnitt 0,149 g/km, 2000 0,071 g/km und 2020 0,016 g/km. Für Benzinmotoren stehen nur einzelne Messungen zur Verfügung. Daraus wurden zusammenfassend durchschnittliche Faktoren abgeleitet: z.B. für Benzin-Personenwagen: 2000 0,003 g/km und 2020 0,001 g/km.

Auch die *Anzahl der Partikel* ist gesundheitlich relevant. Es besteht allerdings noch keine international anerkannte Messmethode dazu. Eine solche Messmethode wird im Hinblick auf die zukünftige Euro-5-Norm für PW und Euro-6-Norm für Lastwagen entwickelt. Daher sind auch noch keine Anzahl-Grenzwerte für Fahrzeuge in der EU festgelegt. Aus einzelnen Messungen geht aber hervor, dass Benzinfahrzeuge ca. 1000 x weniger Partikel ausstossen als Dieselfahrzeuge. Direkt einspritzende Benziner stossen immer noch ca. 100 x weniger Partikel aus als Dieselfahrzeuge. Partikelfilter stellen den Stand der Technik dar und sind eine gute Lösung, die Partikelanzahl um 99% und die Partikelmasse um bis zu 95% zu reduzieren.

Die *Emissionsmengen* in Tonnen pro Jahr werden mit den durchschnittlichen Emissionsfaktoren und den Fahrleistungen der Fahrzeuge hochgerechnet.

Fazit: Zusammensetzung und Auswirkungen von PM10

Die angegebenen Emissionsmengen in Tonnen pro Jahr setzen sich zusammen aus den hochgerechneten Emissionen der Diesel und Benzinfahrzeuge sowie der Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen. Es ist zu beachten, dass, wie aus den obigen Darlegungen ersichtlich, die Grundlagendaten der einzelnen Emissionen sehr unterschiedlich sind. Zudem sind die Emissionen in ihrer Zusammensetzungen verschieden und gesundheitlich unterschiedlich relevant.

Anhang 6: Grundlagedaten für die Berechnung der NH₃-Emissionen der Landwirtschaft

Die Zahlen basieren auf Statistiken, repräsentativen Umfragen und Schätzungen von Experten der FHL und des BLW.

1. Entwicklung der Tierzahlen in der Schweiz

Tabelle 1: Entwicklung der Tierzahlen von 1990 bis 2020.

Tierart	1990	2000	2020
Milchkühe	792'340	669'410	592'600
Aufzucht	745'359	587'672	500'500
Grossviehmast	115'738	140'168	180'000
Mast- und Vormastkälber	212'290	145'873	130'000
Mutter und Ammenkühe		44'882	90'000
Total Rindvieh	1'865'727	1'588'005	1'492'600
Zuchtsauen	182'329	141'448	128'500
Mastschweine	1'001'327	750'869	680'000
Total Schweine (ohne Saugf.)	1'183'656	1'195'193	1'083'500
Legehennen	2'818'609	2'150'303	2'100'000
Junghennen	784'083	831'663	800'000
Mastpoulets	2'927'125	3'807'754	4'400'000
Truten	95'677	172'582	170'000
Anderes Geflügel	27'444	21'249	20'000
Total Geflügel	6'652'938	6'983'551	7'490'000
Pferde	29'953	40'214	50'000
Pferde <3 Jahre	12'364	10'133	10'000
Esel und Ponies	7'945	11'808	12'000
Total Pferde und Ponies	50'262	62'155	72'000
Mastschafe (Muttertiere)	205'017	216'646	220'000
Milchschafe (Muttertiere)	4'265	6'731	6'000
Ziegen (Muttertiere)	40'419	41'405	40'000
Total Schafe und Ziegen	238'945	264'782	266'000

2. Entwicklung der Weidestunden

Tabelle 2a. Annahmen zu Weidestunden und -tagen sowie Anteil der geweideten Tiere im Jahr 1990.

Tierkategorie	1990		
	Stunden	Tage	Anteil %
Milchkühe	8	120	67
Aufzucht	24	150	100
Grossviehmast	24	150	5
Mastkälber	24	150	5
Vormastkälber	24	150	5
Mutterkühe	-	-	-
Pferde >3 Jahre	4	150	100
Pferde <3 Jahre	4	150	100
Esel und Ponies	4	150	100
Milchschafe	24	250	100
Mastschafe	24	250	100
Ziegen	12	150	100

Tabelle 2b. Annahmen zu Weidestunden und -tagen sowie Anteil der geweideten Tiere im Jahr 2000.

Tierkategorie	2000		
	Stunden	Tage	Anteil %
Milchkühe	8	157	99
Aufzucht ¹	15	155	99
Grossviehmast	4	145	27
Mastkälber	1	71	9
Vormastkälber	1	131	7
Mutterkühe	17	169	100
Pferde >3 Jahre	9	184	100
Pferde <3 Jahre	12	150	100
Esel und Ponies	6	113	100
Milchschafe	8	91	100
Mastschafe	16	170	100
Ziegen	8	150	100

¹Mittelwert der drei Kategorien

Tabelle 2c. Annahmen zu Weidestunden und -tagen sowie Anteil der geweideten Tiere im Jahr 2020.

Tierkategorie	2020		
	Stunden	Tage	Anteil %
Milchkühe	12	160	99
Aufzucht	18	170	99
Grossviehmast	4	145	27
Mastkälber	1	7	9
Vormastkälber	1	3	7
Mutterkühe	18	175	100
Pferde >3 Jahre	9	184	100
Pferde <3 Jahre	12	150	100
Esel und Ponies	6	113	100
Milchschafe	8	91	100
Mastschafe	16	170	100
Ziegen	8	150	100

3. Entwicklung der Aufstallungssysteme

Tabelle 3a. Annahmen für Anteile der verschiedenen Aufstallungssysteme im Jahr 1990.

Tierkategorie	Vollgüllesysteme		Gülle-/Mistsysteme		Laufstallmistsysteme		Total % Laufställe
	% Tierbest.	% Laufställe	% Tierbest.	% Laufställe	% Tierbest.	% Laufställe	
Milchkühe	30	15	70	1	0	100	5
Aufzucht	22	10	60	0	18	100	20
Masttiere	85	100	10	0	5	100	90
Mastkälber	0	nr	0	nr	100	100	100
Vormastkälber	0	nr	0	nr	100	100	100
Mutter und Ammenkühe	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
Pferde und Esel	0	nr	20	20	80	100	84
Schafe und Ziegen	0	nr	0	nr	100	100	100

	Vollgülle	Gülle/Mist	Mistsysteme	Freilandhaltung
Galtsauen	90	10	0	nr
Säugende Sauen	90	10	0	nr
Eber	nr	nr	nr	nr
Ferkel <25 kg	nr	nr	nr	nr
Mastschweine	90	5	5	nr

	Kotgrube	Kotband	Tiefstreue	Aussenklimabereich	Auslauf	Tränkenip-pel
Junghennen	30	70	0	nr	nr	nr
Legehennen	30	70	0	nr	nr	nr
Mastpoulets	-	-	100	nr	nr	nr
Truten	-	-	100	nr	nr	nr
Andere Geflügel	-	-	100	nr	nr	nr

Legende:

nr: Nicht relevant

Tabelle 3b. Annahmen für Anteile der verschiedenen Aufstallungssysteme im Jahr 2000.

Tierkategorie	Vollgüllesysteme		Gülle-/Mistsysteme		Laufstallmistsysteme		Total % Laufställe
	% Tierbest.	% Laufställe	% Tierbest.	% Laufställe	% Tierbest.	% Laufställe	
Milchkühe	49	39	50	13	1	100	26
Aufzucht ¹	19	57	63	29	20	100	47
Masttiere	25	96	62	90	13	100	93
Mastkälber	1	25	27	25	72	100	79
Vormastkälber	1	87	36	87	63	100	95
Mutter und Ammenkühe	20	92	67	85	13	100	89
Pferde und Esel					100		
Schafe und Ziegen					100		

	Vollgülle		Gülle/Mist	Mistsysteme	Freilandhaltung
Galtsauen	61		24	13	2
Säugende Sauen	75		18	7	0
Eber	48		38	12	2
Ferkel <25 kg	80		9	11	0
Mastschweine	72		17	10	1

	Kotgrube	Kotband	Tiefstreu	Aussenklimaber.	Auslauf	Tränkenippel
Junghennen	6	37	57	83	6	43
Legehennen	14	65	21	69	36	61
Mastpoulet	-	-	100	74	30	65
Truten	-	-	100	100	100	81
Andere Geflügel	-	-	100	-	100	-

¹Mittelwert der drei Kategorien

Tabelle 3c. Annahmen für Anteile der verschiedenen Aufstallungssysteme im Jahr 2020.

Tierkategorie	Vollgüllesysteme		Gülle-/Mistsysteme		Laufstallmistsysteme		Total % Laufställe
	% Tierbest.	% Laufställe	% Tierbest.	% Laufställe	% Tierbest.	% Laufställe	
Milchkühe	70	75	29	75	1	100	75
Aufzucht	60	85	20	85	20	100	88
Masttiere	20	85	60	85	20	100	88
Mastkälber	-	-	25	85	75	100	96
Vormastkälber	-	-	25	85	75	100	96
Mutter und Ammenkühe	20	85	60	85	20	100	88
Pferde und Esel					100		
Schafe und Ziegen					100		

	Vollgülle	Gülle/Mist	Mistsysteme	Freilandhaltung
Galtsauen	70	20	9	1
Säugende Sauen	70	20	9	1
Eber	70	20	9	1
Ferkel <25 kg	80	10	10	1
Mastschweine	60	30	9	1

	Kotgrube	Kotband	Tiefstreu	Aussenklimabereich	Auslauf	Tränkenippel
Junghennen	0	50	50	80	10	90
Legehennen	5	85	10	60	20	90
Mastpoulets	-	-	100	75	20	90
Truten	-	-	100	50	20	90
Andere Geflügel	-	-	100	-	100	-

In der Geflügelhaltung wurde von einer weiter zunehmenden Bedeutung der Kotbandsysteme für Legehennen ausgegangen. Um den aktuellen und zukünftigen umweltpolitischen Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen, wurde für die Lagerung der Hofdünger angenommen, dass der Anteil abgedeckter Güllelager stark zunehmen wird (Tabelle 4a) und sich in der Ausbringung zunehmend emissionsarme Techniken durchsetzen (Tabelle 4b). Für die restlichen produktionstechnischen Parameter wurde im Vergleich zu 2000 keine wesentlichen Änderungen angenommen.

4. **Güllelager und Gülleausbringung**

Tabelle 4a. Schätzung zu Anteil und Art der Abdeckung von Güllelagern für das Jahr 1990, 2000 und 2020.

Art der Abdeckung	Anteil der gesamten Hofdüngermenge in %				
	1990	2000	2020 Trend'	2020 E	2020 P
Abgedeckt fest	80 bzw. 65 ¹	67	50	50	100
Abgedeckt perforiert		12	20	25	0
Abgedeckt Folie		0	20	25	0
Keine Abdeckung/Schwimmschicht	20 bzw. 35 ¹	21/7	0/10	0	0

¹80% der Rindviehgülle bzw. 65% der Schweinegülle

Tabelle 4b. Annahmen zu angewendeten Techniken zur Gülleausbringung für 1990, 2000 und 2020.

Art der Ausbringung	Anteil der gesamten Hofdüngermenge in %				
	1990	2000	2020 Trend'	2020 E	2020 P
Prallteller	100	88	68	61	51
Schleppschläuche	0	11	30	30	26
Schleppschuh	0	0	0	8	16
Flache Injektion	0	0	2	1	4
Tiefe Injektion	0	1	0	0	3

5. Detaillierte Angaben zu den NH₃ - Emission (Trend)

Emissionen 1990

	Weide	Stall/Laufhof	Lagerung	Ausbringung	total	%
Rindvieh	0.68	5.26	4.33	21.55	31.8	71%
Schweine	0.00	3.24	0.57	5.82	9.6	22%
Geflügel	0.00	1.46	0.17	0.26	1.9	4%
Pferde	0.01	0.20	0.16	0.23	0.6	1%
Ziegen	0.04	0.53	0.16	0.23	1.0	2%
Exoten						
Summen	0.72	10.69	5.39	28.09	44.9	100%
%	2%	24%	12%	63%	100%	

Emissionen 2000

	Weide	Stall/Laufhof	Lagerung	Ausbringung	total	%
Rindvieh	0.73	5.79	3.37	17.05	26.9	74%
Schweine	0.00	2.36	0.51	3.15	6.0	17%
Geflügel	0.00	1.33	0.15	0.27	1.8	5%
Pferde	0.02	0.23	0.15	0.21	0.6	2%
Ziegen	0.06	0.49	0.15	0.20	0.9	2%
Exoten	0.00	0.03	0.01	0.06	0.1	0%
Summen	0.81	10.2	4.34	20.9	36.3	100%
%	2%	28%	12%	58%	100%	

Emissionen 2020

	Weide	Stall/Laufhof	Lagerung	Ausbringung	total	%
Rindvieh	0.98	7.23	2.70	13.64	24.7	74%
Schweine	0.00	2.11	0.48	2.59	5.2	16%
Geflügel	0.00	1.30	0.18	0.32	1.8	5%
Pferde	0.02	0.27	0.17	0.24	0.7	2%
Ziegen	0.06	0.49	0.15	0.20	0.9	3%
Exoten	0.00	0.03	0.01	0.06	0.1	0%
Summen	1.1	11.4	3.7	17.1	33.4	100%
%	3%	34%	11%	51%	100%	

Literaturverzeichnis

Allgemein

Motion UREK Nr. 2000.3184. Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes
Luftreinhalte-Konzept des Bundesrates; Stand der Realisierung und Ausblick, Schriftenreihe Um-
welt Nr. 272, BUWAL, 1996

"Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010"
(Schriftenreihe Umwelt Nr. 256, BUWAL 1995)

Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980-2030 (Schriftenreihe Umwelt Nr. 355,
BUWAL 2004)

Massnahmenplanung in den Kantonen (Stand Ende 2002), Cercl'Air 2003; Anhang Übersicht
über alle Massnahmen

Bericht des Bundesrates über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone
vom 23. Juni 1999 (99.077)

Anträge des Kantons Zürich an den Bundesrat vom 31.7.02 im Rahmen des Massnahmenplans
Luftreinhaltung wohin? Cercl'Air, November 2001

Nationales Programm der Bundesrepublik Deutschland nach Art. 6 der Richtlinie 2001/81/EG
vom 23. Oktober 2001 über nationale Höchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe".

Raumplanung und Verkehr

Verkehr gestern-heute-morgen, GVF-Bericht 1/98, 1998

Die Zukunft des Verkehrs in der Schweiz, GVF-Bericht 2/95, 1995

Schlussbericht Mikrozensus 2000: Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus 2000
zum Verkehrsverhalten. ARE BFS, 2001

Publikumsintensive Einrichtungen. Verbesserte Koordination zwischen Luftreinhaltung und Raum-
planung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 346 BUWAL / ARE 2002.

Wegleitung für Strassenplanung und Strassenbau; BUWAL 1997/2002 (Vollzug Umwelt)

Brenn- und Treibstoffe

Prognos: Aufdatierung der Standortbestimmung CO₂-Gesetz. CO₂-Perspektiven und Sensitivitä-
ten Stand: März 2004.

Prognos: Bestimmung der Heizenergiebedarfe von Wohnbauten; 2001

PM10

Massnahmen zur Reduktion der PM10-Emissionen, BUWAL Umweltmaterialien Nr. 136, 2001

Modellierung der PM10-Belastung in der Schweiz, BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. 310, 1999

Richtlinie Luftreinhaltung auf Baustellen (Baurichtlinie Luft): BUWAL, 1. September 2002

PM10-Emissionen des Verkehrs: Abrieb und Aufwirbelung. Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, UVEK/ASTRA 2003

PM10-Emissionen des Verkehrs; Statusbericht Schienenverkehr: BUWAL Umweltmaterialien Nr. 144, 2002)1

PM10 Nachrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern: BUWAL Umweltmaterialien Nr. 148, 2003

Partikelfilter für schwere Nutzfahrzeuge: BUWAL Umweltmaterialien Nr. 130, 2000

Hügli, Anteil des Strassenverkehrs an den PM10- und PM2.5-Immissionen, ed. Programmleitung NFP41, BBL/EDMZ Bern 2000)

Ozon

Massnahmen zur Reduktion der Ozon-Vorläuferschadstoffe, Abteilung Luftreinhaltung und NIS, 5. Juli 2002

Sommersmog, Stellungnahme der Eidg. Kommission für Lufthygiene, Juni 2004

NM VOC

Anthropogene VOC-Emissionen Schweiz 1998 und 2001, BUWAL 2003; Internetpublikation BUWAL, Bern 1.11.2003

SO₂

UN/ECE, 2000 Review of Strategies and Policies for Air Pollution Abatement, Executive Summary; abrufbar unter www.unece.org/env/lrtap.

NH₃

Ammoniakemissionen in der Schweiz: neues Emissionsinventar 2000. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL) im Auftrag des BUWAL (Publikation in Vorbereitung)

Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft, Grundlagen zur Luftreinhaltung; Positionspapier des Cercl'Air 2002.

Grundlagen für die Düngung in Acker und Futterbau; Agrarforschung 8 (6): 2001)

FAL 26: Ammoniak Emissionen der Schweiz; Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarbiologie und Landbau, Zürich-Reckenholz, 1997.

Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2003 (FUB, 2004).