



# Treibhausgasemissionen nach Kyoto-Protokoll

## Emissionsperspektiven 2010

### Inhalt

Zusammenfassung.....	2
Kohlendioxid.....	3
Methan.....	7
Lachgas.....	9
Synthetische Gase.....	10
Gesamtsumme der Treibhausgase nach Kyoto-Protokoll.....	11
Literatur.....	15

## Zusammenfassung

Der Bericht gibt einen Überblick über die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Schweiz bis zum Jahr 2010. Die Entwicklung berücksichtigt die bis Ende 2004 umgesetzten Massnahmen. Die Effekte einer CO<sub>2</sub>-Abgabe, des Klimarappens oder anderer geplanter Massnahmen sind nicht berücksichtigt. Das Ziel dieser Zusammenstellung ist das Aufzeigen der Ziellücke ohne diese Massnahmen.

Es werden die wahrscheinlichste Entwicklung (Referenz) und in einer Sensitivitätsanalyse mögliche alternative Entwicklungen präsentiert. Bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäss CO<sub>2</sub>-Gesetz, die über drei Viertel der Treibhausgasemissionen ausmachen, wird von Resultaten der Arbeiten der Energieperspektiven ausgegangen (Prognos 2005). Bei den restlichen Emissionen werden diverse Quellen benutzt (Zielvereinbarungen, Tierzahl- und Abfallprognosen, Perspektiven der synthetischen Gase, etc.). Die Referenzentwicklung geht davon aus, dass vor 2012 kein fossil-thermisches Kraftwerk in der Schweiz den Betrieb aufnimmt.

Die wahrscheinlichste Entwicklung der Emissionen ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Emissionswerte der Jahre 1990 und 2000 sind dem aktuellsten Treibhausgasinventar (publiziert am 15. Apr. 2005) entnommen.

Tab. 1: Treibhausgasemissionen nach Kyoto-Protokoll (Werte in Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010 <sup>1)</sup>
Kohlendioxid	44.37	43.66	43.45
davon Brennstoffe (nicht klimakorr.)	23.83	22.18	22.11
Treibstoffe	15.46	16.86	16.69
übrige (nicht-energetisches CO <sub>2</sub> )	5.08	4.62	4.65
Methan	4.45	3.74	3.45
Lachgas	3.34	3.19	2.88
Synthetische Gase	0.28	0.67	0.99
<b>Total</b>	<b>52.45</b>	<b>51.26</b>	<b>50.77</b>
<b>Zielwert Kyoto-Protokoll</b>			<b>48.25</b>

<sup>1)</sup> nur bis Ende 2004 umgesetzte Massnahmen berücksichtigt

Das Total der Treibhausgasemissionen geht zwischen 1990 und 2010 um 3.2 % zurück. Zu diesem Rückgang tragen vor allem die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Brennstoffen und den industriellen Prozessen sowie die Methan- und Lachgasemissionen bei. Zunahmen sind bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Treibstoffen und bei den synthetischen Gasen zu erwarten.

Im Vergleich mit dem Zielwert des Kyoto-Protokolls (-8 %) ergibt sich eine Ziellücke von 2.5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse werden die Unsicherheiten dieser Entwicklung geschätzt.

# 1. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

## 1.1 Energetische CO<sub>2</sub>-Emissionen nach CO<sub>2</sub>-Gesetz

Die Entwicklung der energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen nach CO<sub>2</sub>-Gesetz (Brenn- und Treibstoffe) wird unverändert aus Prognos (2005) übernommen. Die wichtigsten ökonomischen und demographischen Rahmendaten dieser Studie sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Ökonomische und demographische Rahmendaten aus Prognos (2005), Referenzszenario

	2000	2005	2010
Bevölkerung, in Mio	7.24	7.47	7.54
Mittleres BIP-Wachstum bis Stichjahr (% p.a)		1.75	1.32
Index der Industrieproduktion (1990 = 100)	127	129	139
Energiebezugsflächen (Mio. m <sup>2</sup> )			
Wohnungen	416	444	472
Dienstleistungen	140	147	155

In Anlehnung an die IEA wird ein Preisszenario mit real konstanten Weltmarkt-Rohölpreisen in Höhe von 30 \$/bbl angenommen. Die Preise für die übrigen Energieträger werden daraus abgeleitet.

Bei den energiepolitischen Rahmensetzungen und Annahmen wird von einer weitgehenden Kontinuität ausgegangen.

- Es wird angenommen, dass eines der wesentlichen energiepolitischen Instrumente der Schweiz, das Programm EnergieSchweiz, zukünftig in etwa gleicher Intensität fortgeführt wird.
- Es wird unterstellt, dass die Zielvereinbarungen mit der Wirtschaft zu einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von 0.3 Mio. Tonnen zwischen 2000 und 2010 führen (0.7 Mio. t zwischen 1990 und 2010).
- Im Bereich des Baurechts und der bautechnischen Normen wird eine moderate Fortschreibung des Standes der Technik angenommen, insbesondere im Neubaubereich. Es wird von einer Anpassung der Normen für Gebäudequalitäten (spezifischer Heizenergieverbrauch im Neubau und Richtwerte für die energetische Sanierung) ausgegangen, die zu einer Effizienzsteigerung von 10 % in 10 Jahren führen.
- Bei den Motorfahrzeugen wird realistischerweise davon ausgegangen, dass die Zielvereinbarung von 3 % Reduktion des spezifischen Verbrauchs bei Neuwagen pro Jahr nicht erbracht werden kann, sondern bis 2012 lediglich 1.5 % p.a. erzielt werden. Eine mögliche Regelung zur Förderung energieeffizienter Fahrzeuge sowie eine mögliche Begünstigung von Gas- und Biotreibstoffen sind nicht berücksichtigt. Der in den letzten Jahren zu beobachtende Diesel-Trend setzt sich fort.
- Ausserdem wird ein leichter autonomer Trend zu Erdgas als Treibstoff und zu biogenen Treibstoffen unterstellt.

Für eine ausführliche Diskussion der Rahmensetzungen sei im Weiteren auf die Originalarbeit verwiesen (Prognos 2005). Zusatzinformationen finden sich auch in Prognos (2004). Neben der Referenzentwicklung werden dort auch Sensitivitätsanalysen durchgeführt, die die CO<sub>2</sub>-Entwicklung bei unterschiedlicher Entwicklung der Rahmendaten zeigen.

Nicht berücksichtigt sind die Effekte einer CO<sub>2</sub>-Abgabe oder eines Klimarappens. Das Ziel dieser Zusammenstellung ist das Aufzeigen der Ziellücke ohne diese Massnahmen.

Im Weiteren geht die Referenzentwicklung davon aus, dass vor 2012 kein fossil-thermisches Kraftwerk in der Schweiz den Betrieb aufnimmt.

### 1.1.1 Brennstoffe

Im Gegensatz zum CO<sub>2</sub>-Gesetz darf für das Kyoto-Protokoll keine Klimabereinigung der Brennstoffemissionen vorgenommen werden. Mit der Klimabereinigung wird im CO<sub>2</sub>-Gesetz der Einfluss unterschiedlich kalter Winter ausgeschaltet. In den Prognos-Studien (2004 und 2005) sind deshalb alle publizierten Werte klimabereinigt, d.h. auf ein Normjahr mit einer Heizgradtagzahl (HGTZ) von 3588 umgerechnet.

Um den Vorgaben des Kyoto-Protokolls zu genügen, muss im Folgenden diese für das CO<sub>2</sub>-Gesetz relevante Klimabereinigung rückgängig gemacht werden. Für die Jahre 1990 und 2000 werden die realen Emissionen eingesetzt. Für die Zielperiode 2008 - 2012 müssen Annahmen über die zu erwartenden Wintertemperaturen getroffen werden. Als Referenz wird das Mittel der Heizgradtagzahlen der Jahre 1980 - 2002 herangezogen (Heizgradtagzahl, HGTZ = 3468).

Unter diesen Annahmen ergibt sich folgende Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Brennstoffverbrauch:

Tab. 3: CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mio. Tonnen) aus dem Verbrauch von Brennstoffen

	1990	2000	2010
<b>CO<sub>2</sub> aus Brennstoffen (Mio. t)</b>	<b>23.83<sup>1</sup></b>	<b>22.18<sup>2</sup></b>	<b>22.11<sup>3</sup></b>

Die in Tab. 3 aufgezeigte Entwicklung ist stark durch die Temperaturen der Wintermonate eines Jahres beeinflusst. Die Jahre 1990 wie auch 2000 wiesen beide sehr milde Wintermonate auf, weshalb in diesen Jahren die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Verbrauch von Brennstoffen niedrig waren. In den Jahren 2008 – 2012 kann nicht mit ähnlich milden Wintern gerechnet werden<sup>4</sup>. Dies bedeutet, dass allein auf Grund kühlerer Wintertemperaturen eine Mehremission im Vergleich zu 1990 oder 2000 entstehen dürfte. Zwischen 2000 und 2010 wird deshalb in Tab. 3 fast kein Rückgang der Emissionen ausgewiesen. Klimabereinigt wäre dagegen ein deutlicher Rückgang zu beobachten<sup>5</sup>.

Um die Grössenordnung des Einflusses der Wintertemperaturen abschätzen zu können, sind in der Tabelle 4 die Werte für die erste Verpflichtungsperiode für verschiedene Temperaturszenarien zusammengestellt. Würden in der Periode 2008 - 2012 kalte Winter wie Mitte der 80er Jahre auftreten, so würden die Brennstoffemissionen um 1.1 Mio. t höher liegen als in der Referenz. Diese Mengen müssten gemäss Kyoto-Protokoll (jedoch nicht gemäss CO<sub>2</sub>-Gesetz) zusätzlich reduziert werden. Würden dagegen in dieser 5-Jahresperiode die Wintertemperaturen ebenso mild sein wie 1990, würden die Brennstoffemissionen 1.1 Mio. t tiefer liegen als in der Referenzentwicklung. Würde aus diesem Grund das Kyoto-Ziel übererfüllt, so könnte der Betrag der Übererfüllung entweder auf die nächste Verpflichtungsperiode übertragen oder auf dem CO<sub>2</sub>-Markt verkauft werden.

<sup>1</sup> Reale Emission (HGTZ = 3203), verschieden von klimabereinigtem Wert in Prognos-Studien

<sup>2</sup> Reale Emission (HGTZ = 3081), verschieden von klimabereinigtem Wert in Prognos-Studien

<sup>3</sup> Zu erwartende Emissionen bei HGTZ = 3468, Wert verschieden von Prognos-Studien, da dort die ganze Zeitreihe auf HGTZ=3588 normiert wird.

<sup>4</sup> Für eine Periode von 5 aufeinander folgenden Jahren wurden bisher noch nie derart milde Wintermonate wie 1990 oder 2000 beobachtet. Es ist deshalb zu erwarten, dass im Mittel der Jahre 2008 - 2012 höhere Heizgradtagzahlen resultieren werden. Dies wurde in der Referenzentwicklung mit der Wahl von HGTZ = 3468 für das Jahr 2010, das stellvertretend für die Periode 2008-12 steht, berücksichtigt.

<sup>5</sup> Würde man die Werte für 1990 und 2000 auf die in diesem Bericht für das Jahr 2010 verwendete Heizgradtagzahl (HGTZ = 3468) umrechnen, so würden sich folgende CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben: 1990: 25.1 Mio. t, 2000: 23.9 Mio. t, 2010: 22.1 Mio. t. Daraus wird ersichtlich, dass die klimabereinigte Abnahme zwischen 2000 und 2010 grösser ist als diejenige zwischen 1990 und 2000, dies im Gegensatz zur Entwicklung in Tab. 3. Eine Klimabereinigung ist jedoch im Kyoto-Protokoll nicht vorgesehen und nicht erlaubt.

Tab. 4: Abweichungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Verbrauch von Brennstoffen der Jahre 2008 - 2012 bei unterschiedlichen mittleren Wintertemperaturen (T<sub>w</sub>) dieser Periode

Mittlere Wintertemperatur 2008-2012 (T <sub>w</sub> )	Heizgradtagzahl	Abweichung der CO <sub>2</sub> -Emission 2010 von der Referenzentwicklung (Mio. Tonnen)
T <sub>w</sub> wie 1990	3203	-1.1
T <sub>w</sub> wie im Mittel 1990 - 2002	3343	-0.5
<b>T<sub>w</sub> wie im Mittel 1980 – 2002 (Referenz)</b>	<b>3468</b>	<b>0.0</b>
T <sub>w</sub> wie im Norm-Jahr der Prognos-Studien	3588	+0.5
T <sub>w</sub> wie in der kalten 5 Jahresperiode 83-87	3733	+1.1

### 1.1.2 Treibstoffe

Die Perspektiven der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Verbrauch von Treibstoffen werden aus Prognos (2005) übernommen (Tab. 5). Gemäss CO<sub>2</sub>-Gesetz wird bei den Treibstoffen keine Klimabereinigung vorgenommen. Die Werte können somit unverändert für die Perspektiven gemäss Kyoto-Protokoll verwendet werden.

Tab. 5: CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mio. Tonnen) aus dem Verbrauch von Treibstoffen

	1990	2000	2010
<b>CO<sub>2</sub> aus Treibstoffen (Mio. t)</b>	<b>15.46</b>	<b>16.86</b>	<b>16.69</b>

### 1.1.3 Sensitivitäten

In Prognos (2004) werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Entwicklungen der wirtschaftlichen Rahmendaten auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmen zu können. Die Sensitivitäten sollen zeigen, wie sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen realistisch erscheinender Änderungen der Rahmenbedingungen bis 2010 verändern könnten. Folgende Resultate ergeben sich für die Brenn- und Treibstoffe sowie für das Total der energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäss CO<sub>2</sub>-Gesetz (Tab. 6):

Tab. 6: Abweichungen von der Referenzentwicklung der energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei unterschiedlicher Entwicklung der wirtschaftlichen Rahmendaten (Details siehe Prognos 2004)

	Abweichung der CO <sub>2</sub> -Emission 2010 von der Referenzentwicklung (Mio. Tonnen)		
	Brennstoffe	Treibstoffe	Total
Sensitivität „CO <sub>2</sub> hoch“ (höheres Wirtschafts- und Verkehrswachstum sowie stärkere Zunahme der beheizten Flächen, niedrigere Energiepreise)	+0.4	+0.8	+1.1
Sensitivität „CO <sub>2</sub> tief“ (niedrigeres Wirtschafts- und Verkehrswachstum sowie schwächere Zunahme der beheizten Flächen, höhere Energiepreise)	-0.5	-0.7	-1.2

Die in den Tabellen 4 und 6 aufgezeigten Sensitivitäten können als weitgehend kumulativ angesehen werden. Das Klima und die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind praktisch unabhängig voneinander (Ausnahme: kalte Winter in ganz Europa könnten zu einer Verknappung von Heizöl und damit zu einem witterungsbedingten Preisanstieg führen).

## 1.2 Nicht-energetische CO<sub>2</sub>-Emissionen

Nicht-energetische CO<sub>2</sub>-Emissionen, die dem CO<sub>2</sub>-Gesetz nicht unterstehen, jedoch Bestandteil des Kyoto-Protokolls sind, treten insbesondere bei der Zementherstellung und der Abfallverbrennung auf.

### 1.2.1 Geogene CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementproduktion

Die Menge dieser CO<sub>2</sub>-Emissionen ist im Wesentlichen abhängig von der produzierten Klinkermenge. Die Abnahme zwischen 1990 und 2000 ist auf den Rückgang der Klinkermenge zurückzuführen. Es ist gemäss der Zielvereinbarung mit der cemsuisse nicht zu erwarten, dass dieser Rückgang sich fortsetzt. Es wird von einer ungefähren Konstanz der produzierten Klinkermenge ausgegangen. Für das Jahr 2010 wird der Mittelwert der Jahre 2000 bis 2003 eingesetzt.

Tab. 7: Geogene CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mio. Tonnen) der Zementproduktion

	1990	2000	2010
<b>Geogene CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementproduktion<sup>a)</sup> (Mio. t)</b>	<b>2.52</b>	<b>1.69</b>	<b>1.67</b>

<sup>a)</sup> Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei der Zementherstellung durch das Verbrennen fossiler Energieträger entstehen, sind in den Brennstoffen (Kap. 1.1.1) enthalten.

### 1.2.2 Abfallverbrennung

Abfall enthält wesentliche Anteile, die fossilen Ursprungs sind (in der Schweiz wird von einem Verhältnis 40 % fossil, 60 % biogen ausgegangen). Das bei der Verbrennung in den KVA oder in den Zementwerken entstehende CO<sub>2</sub> fossilen Ursprungs muss im Treibhausgasinventar ausgewiesen werden. Die Menge dieser Emissionen ist abhängig von der Abfallmenge, die verbrannt wird. Die Gesamtmenge an Siedlungsabfall hat sich zwischen 1990 und 2000 nur wenig verändert. Zugenommen hat aber die Menge an Abfall, der verbrannt wird, so dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen angestiegen sind. Heute gilt das Deponieverbot. Ein weiterer Anstieg der verbrannten Menge ist nicht zu erwarten. Es wird somit angenommen, dass die emittierte CO<sub>2</sub>-Menge aus der Abfallverbrennung in der Zukunft in etwa konstant bleibt.

Tab. 8: CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mio. Tonnen) der Abfallverbrennung

	1990	2000	2010
<b>CO<sub>2</sub> der Abfallverbrennung (Mio. t)</b>	<b>1.84</b>	<b>2.08</b>	<b>2.09</b>

### 1.2.3 Andere CO<sub>2</sub>-Quellen

Weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen in der Stahlindustrie und der chemischen Industrie. Die Emissionen der Raffinerien werden ebenfalls hier aufgeführt. Die Zunahme zwischen 1990 und 2000 ist im Wesentlichen auf einen erhöhten Eigenverbrauch der Raffinerien zurückzuführen. Für die Zukunft wird nur noch eine leichte Zunahme der industriellen Emissionen, aber kein weiterer Kapazitätsausbau der Raffinerien angenommen.

Tab. 9: Übrige CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mio. Tonnen)

	1990	2000	2010
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen aus anderen Quellen (Mio. t)</b>	<b>0.72</b>	<b>0.85</b>	<b>0.89</b>

## 2. Methan (CH<sub>4</sub>)

Methanemissionen entstehen vor allem in der Landwirtschaft, in Abfalldeponien und in geringem Ausmass bei der Verbrennung und Verteilung fossiler Energieträger.

### 2.1 Landwirtschaft

Die Rindviehhaltung ist für über 90 % der Methanemissionen der Landwirtschaft verantwortlich. Die künftige Entwicklung des Rindviehbestandes bestimmt somit im Wesentlichen die Methanemissionen. Die Referenzentwicklung wird aus dem Bericht "Methan-Emissionen der schweizerischen Landwirtschaft" (BUWAL 1998) übernommen, wobei eine Eichung an den realen Werten des Jahres 2003 erfolgt. Dieser Entwicklung liegt eine weitere leichte Abnahme der Rindviehzahlen zu Grunde, die jedoch nicht mehr so stark sein wird wie die Abnahme zwischen 1990 und 2000. Die Entwicklung des Rindviehbestandes zwischen 2000 und 2003 bestätigt diese Annahme.

Tab. 10: Methanemissionen der Landwirtschaft (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010
<b>Methan der Landwirtschaft (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>3.22</b>	<b>2.93</b>	<b>2.86</b>

Sensitivität:

Wird eine Konstanz des Rindviehbestandes zwischen 2000 und 2010 angenommen, so würde dies eine Erhöhung der Methanemissionen um knapp 0.1 Mio. t CO<sub>2eq</sub> gegenüber der Referenzentwicklung bedeuten.

Wird ein Rückgang des Rindviehbestandes um 10% zwischen 2000 und 2010 angenommen, so würde dies zu einer zusätzlichen Abnahme der Methanemissionen um 0.2 Mio. t CO<sub>2eq</sub> gegenüber der Referenzentwicklung führen.

### 2.2 Abfall

Abfalldeponien sind bedeutende Quellen von Methanemissionen. Wird der Abfall verbrannt, entstehen dagegen praktisch keine Methanemissionen, dafür wird CO<sub>2</sub> emittiert. Durch das in der Schweiz ab 2000 geltende Verbot der direkten Ablagerung von Siedlungsabfällen, Klärschlamm und weiteren brennbaren Abfällen wird die Deponie von organischen Abfällen weitgehend eliminiert. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die bestehenden Deponien weiterhin Methan produzieren, mit jedoch von Jahr zu Jahr stark abnehmenden Mengen. Die Prozesse der Methanemissionen aus Deponien werden in einem "Deponiemodell" des BUWAL (Abt. Luftreinhaltung, Sicherheit und NIS) abgebildet. Das Modell wurde 2004 nach den Vorgaben des IPCC vollständig neu entwickelt. Die Resultate dieses Modells sind die Basis für die Entwicklung in Tab. 11. Wegen des Deponieverbots ist ein starker Rückgang der Methanemissionen aus den Abfalldeponien zu erwarten.

Tab. 11: Methanemissionen der Abfalldeponien (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>), inkl. kleine Mengen aus der übrigen Abfallverwertung

	1990	2000	2010
<b>Methan der Abfalldeponien (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>0.74</b>	<b>0.44</b>	<b>0.24</b>

### 2.3 Andere Methanquellen

Methanemissionen entstehen in geringen Mengen bei der Verbrennung fossiler Energieträger, bei der Erdgasverteilung und in industriellen Prozessen. Die Erdgasverluste im schweizerischen Gasverteilnetz sind zwischen 1990 und 2000 leicht zurückgegangen, eine Entwicklung, die sich fortsetzen dürfte. Im Transportsektor wird wegen der verbesserten Katalysatorstechnologie ebenfalls ein Rückgang erwartet. Bei den Methanemissionen aus Verbrennungs- und industriellen Prozessen wird eine leichte Zunahme erwartet. Daraus resultiert die Entwicklung in Tab. 12.

Tab. 12: Methanemissionen aus anderen Quellen (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010
<b>Methan aus anderen Quellen (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>0.48</b>	<b>0.37</b>	<b>0.35</b>

### 3. Lachgas (N<sub>2</sub>O)

Lachgas wird in grösseren Mengen von gedüngten Böden emittiert. Daneben entsteht Lachgas in den Katalysatoren von Personenwagen, bei der Abfallverwertung und bei industriellen Prozessen.

#### 3.1 Landwirtschaft

Lachgasemissionen entstehen bei der Anwendung von Mineral- und Hofdüngern, bei der Lagerung von Hofdüngern und indirekt aus Gewässern, die mit Stickstoff übermässig gedüngt sind. Die Emissionen sind im Wesentlichen abhängig von den Tierzahlen und der Menge an eingesetztem Mineraldünger. Insbesondere der Einsatz von mineralischen Düngern ist bis Ende der 90er Jahre deutlich zurückgegangen. Der Verbrauch hat sich seither stabilisiert. Von der Agrarpolitik 2011 kann ein weiterer Impuls zur Reduktion erwartet werden. Der Anfall von Hofdünger wird im Zusammenhang mit den leicht abnehmenden Tierzahlen weiter zurückgehen. Durch die Anwendung neuer Lager- und Ausbringtechniken nehmen die Emissionen ebenfalls leicht ab.

Die Referenzentwicklung wird aus dem Bericht der FAL (2000) übernommen, wobei eine Eichung an den realen Werten des Jahres 2003 erfolgt.

Tab. 13: Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010
<b>Lachgas der Landwirtschaft (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>2.86</b>	<b>2.57</b>	<b>2.35</b>

#### 3.2 Verkehr

Die Einführung der Katalysatoren für Personenwagen hat zu einer Zunahme der Lachgasemissionen der Motorfahrzeuge geführt. Die neueste Katalysatortechnologie ist wesentlich effizienter, so dass weniger N<sub>2</sub>O entsteht. In den nächsten Jahren ist eine Abnahme der Lachgasemissionen zu erwarten. Die Werte der Tabelle 14 stammen aus dem Verkehrsmodell, das für die Bestimmung der Luftschadstoffemissionen Verwendung findet (BUWAL, 2004, ergänzt mit Off-Road Emissionen).

Tab. 14: Lachgasemissionen des Verkehrs (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010
<b>Lachgas aus dem Verkehr (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>0.10</b>	<b>0.19</b>	<b>0.09</b>

#### 3.3 Andere Lachgasquellen

Lachgasemissionen entstehen in kleinen Mengen bei sehr vielen weiteren Quellen (Abfallverbrennung, industrielle Prozesse, Verbrennung fossiler Energieträger, Kläranlagen, Haushaltenwendungen etc.). Es wird von einer leichten Zunahme der Emissionen aus diesen Quellen bis 2010 ausgegangen, die jedoch geringer sein dürfte als zwischen 1990 und 2000.

Tab. 15: Lachgasemissionen aus anderen Quellen (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010
<b>Lachgas aus anderen Quellen (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>0.39</b>	<b>0.43</b>	<b>0.45</b>

## 4. Synthetische Gase

Im Kyoto-Protokoll sind die beiden Gruppen der HFC (Hydrofluorocarbons, teilfluorierte Kohlenwasserstoffe) und PFC (Perfluorocarbons, perfluorierte Kohlenwasserstoffe) sowie die Einzelsubstanz SF<sub>6</sub> (Schwefelhexafluorid) als klimaaktive Gase aufgeführt. Die grosse Gruppe der ebenfalls synthetisch hergestellten chlorierten Kohlenwasserstoffe (FCKW, HFCKW), die ebenfalls in hohem Masse klimaaktiv sind, sind im Kyoto-Protokoll nicht enthalten, da sie im Montreal-Protokoll geregelt sind.

### 4.1 HFC

Die HFC werden insbesondere als Ersatzstoffe für die weitgehend verbotenen FCKW und HFCKW in verschiedensten Anwendungen (Kältemittel, Schäumungsmittel, Treibmittel etc.) eingesetzt. Im Treibhausgasinventar müssen die aktuellen Emissionen verursacht durch Verbrauch, Leckagen, Ausgasen etc. ausgewiesen werden. Da 1990 praktisch keine HFCs verwendet wurden und diese erst mit dem Verbot der chlorierten Kohlenwasserstoffe vermehrt eingesetzt wurden, ist eine starke Zunahme zwischen 1990 und 2000 zu verzeichnen. Dank der 2003 in Kraft getretenen Änderung der Stoffverordnung ist in Zukunft mit einer schwächeren Zunahme zu rechnen. Die Prognose für das Jahr 2010 basiert auf Modellrechnungen (siehe Carbotech 2005). Die künftige Technologieentwicklung, die auf einen Ersatz dieser Stoffe zielt, ist sehr schwierig abzuschätzen, weshalb mit einer grossen Unsicherheit der Prognose zu rechnen ist (bis ±50 %).

Tab. 16: HFC-Emissionen (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010
<b>HFC-Emissionen (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>0.00</b>	<b>0.41</b>	<b>0.73</b>

### 4.2 PFC

PFCs entstehen bei der Aluminiumproduktion und sie werden als Reinigungsmittel in der Halbleiterherstellung eingesetzt. Im Gegensatz zu den HFCs ist bei den PFCs ein leichter Rückgang 1990 - 2000 zu beobachten (aus Aluminiumproduktion). Es wird von keiner wesentlichen Änderung des PFC-Einsatzes ausgegangen (Prognose aus Carbotech 2005).

Tab. 17: PFC-Emissionen (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010
<b>PFC-Emissionen (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>0.10</b>

### 4.3 SF<sub>6</sub>

SF<sub>6</sub> wird in grösseren Mengen in Hochspannungsanlagen eingesetzt und entsteht bei der Aluminium- und Magnesiumproduktion. Es wird von einer Konstanz der SF<sub>6</sub>-Emissionen im Bereich der Hochspannungsanlagen und von einem Rückgang der Emissionen in der Aluminium- und Magnesiumproduktion ausgegangen (Prognose aus Carbotech 2005).

Tab. 18: SF<sub>6</sub>-Emissionen (Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010
<b>SF<sub>6</sub>-Emissionen (Mio. t CO<sub>2eq</sub>)</b>	<b>0.18</b>	<b>0.20</b>	<b>0.16</b>

## 5. Gesamtsumme der Treibhausgase nach Kyoto-Protokoll

### 5.1 Referenzentwicklung

Aus den oben zusammengestellten Zahlen ergibt sich folgendes Gesamtbild der Entwicklung zwischen 1990 und 2010 für die einzelnen Klimagase wie auch für die Gesamtsumme (Tab. 19 und 20). Zusammengestellt ist die wahrscheinlichste Entwicklung (Referenz).

Tab. 19: Treibhausgasemissionen nach Kyoto-Protokoll  
(absolute Werte in Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	1990	2000	2010 <sup>1)</sup>
Kohlendioxid	44.37	43.66	43.45
davon Brennstoffe (nicht klimakorr.)	23.83	22.18	22.11
Treibstoffe	15.46	16.86	16.69
übrige (nicht-energetisches CO <sub>2</sub> )	5.08	4.62	4.65
Methan	4.45	3.74	3.45
Lachgas	3.34	3.19	2.88
Synthetische Gase	0.28	0.67	0.99
<b>Total</b>	<b>52.45</b>	<b>51.26</b>	<b>50.77</b>
<b>Zielwert Kyoto-Protokoll</b>			<b>48.25</b>

<sup>1)</sup> nur bis Ende 2004 umgesetzte Massnahmen berücksichtigt

Tab. 20: Treibhausgasemissionen nach Kyoto-Protokoll  
(relative Entwicklung, 1990 = 100 %)

	1990	2000	2010 <sup>1)</sup>
Kohlendioxid	100 %	98.4 %	97.9 %
davon Brennstoffe (nicht klimakorr.)		93.1 %	92.8 %
Treibstoffe		109.0 %	107.9 %
übrige		91.0 %	91.5 %
Methan		84.1 %	77.5 %
Lachgas		95.3 %	86.3 %
Synthetische Gase		241 %	354 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>97.7 %</b>	<b>96.8 %</b>

<sup>1)</sup> nur bis Ende 2004 umgesetzte Massnahmen berücksichtigt

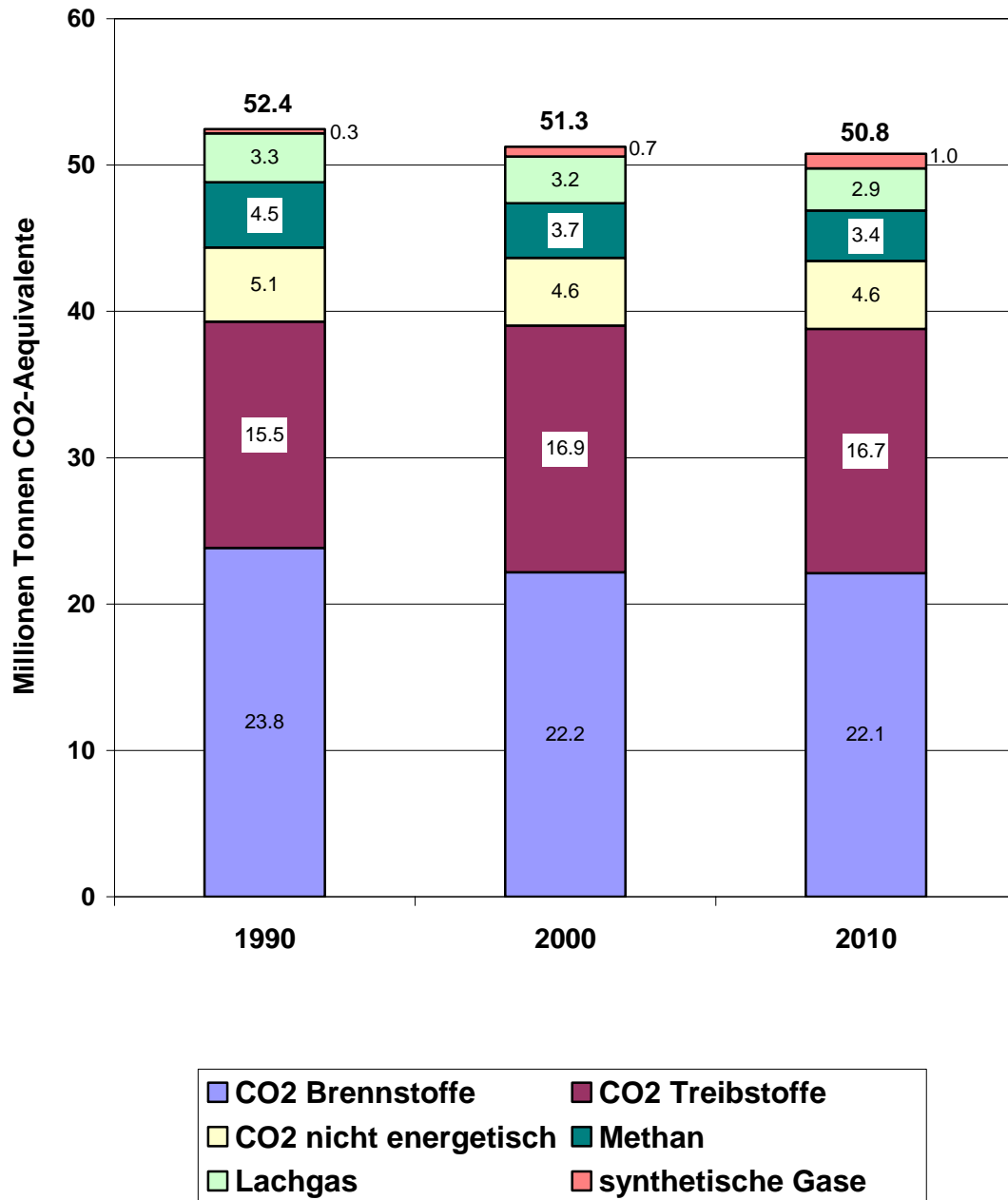


Abb. 1: Referenzentwicklung der Treibhausgasemissionen gemäss Kyoto-Protokoll 1990 - 2010 in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

## 5.2 Ziellücke

Die Schweiz hat sich im Kyoto-Protokoll zu einer Reduktion der Treibhausgase um 8 % zwischen 1990 und der 1. Verpflichtungsperiode 2008 - 2012 verpflichtet. Gemäss Referenzentwicklung werden in der Periode 2008 - 2012 pro Jahr 50.77 Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub> emittiert. Das Kyotoziel beträgt 48.25 Mio. Tonnen. Es besteht somit eine Kyoto-Ziellücke von 2.5 Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub> pro Jahr. (Tab. 21).

Tab. 21: Ziellücke für die Erreichung des Kyoto-Ziels in der 1. Verpflichtungsperiode 2008 - 2012 (in Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>)

	2010 <sup>1)</sup> (Mio. t CO <sub>2eq</sub> )
<b>Totale Treibhausgasemissionen (Referenzentwicklung)</b>	<b>50.77</b>
<b>Kyoto-Ziel (92 % von 1990)</b>	<b>48.25</b>
<b>Ziellücke</b>	<b>2.52</b>

<sup>1)</sup> nur bis Ende 2004 umgesetzte Massnahmen berücksichtigt, 2010 steht stellvertretend für Mittel 2008 - 2012

Die Umsetzung des Bundesratsbeschlusses vom 23. März 2005 und weiterer geplanter Massnahmen erlauben es, diese Ziellücke zu schliessen.

## 5.3 Sensitivitätsanalyse

Die in diesem Bericht vorgestellte Referenzentwicklung beruht auf einer Vielzahl von Annahmen zur Veränderung der wirtschaftlichen, demographischen und energiepolitischen Rahmenbedingungen, zur technischen Entwicklung und zu den Verhaltensweisen der Energieverbraucher wie auch zu den klimatischen Bedingungen der Verpflichtungsperiode. Diese Annahmen weisen notwendigerweise mehr oder weniger grosse Unsicherheiten auf. Sensitivitätsanalysen geben Auskunft darüber, wie die Entwicklung bei anderen Rahmensetzungen aussehen würde.

Zweck der Sensitivitätsanalysen ist es, einen Ergebniskorridor aufzuzeigen, innerhalb dessen die effektive Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz bis 2008-2012 verlaufen könnte.

Die Sensitivitätsanalyse berücksichtigt folgende Effekte:

- Einfluss unterschiedlicher Entwicklungen der wirtschaftlichen Rahmendaten auf die energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäss Prognos 2004 (siehe Tab. 6),
- Einfluss unterschiedlich kalter Winter während der 1. Verpflichtungsperiode 2008 - 2012 (Tab. 4),
- Einfluss unterschiedlicher Entwicklungen des Rindviehbestandes auf die Methanemissionen der Landwirtschaft,
- Einfluss unterschiedlicher Entwicklungen der HFC-Emissionen.

Kombiniert man alle diese Effekte (unter der Annahme einer kumulativen Wirkung) so resultieren die Sensitivitäten für die Treibhausgasentwicklung in der Schweiz gemäss Tab. 22. Die Breite des Ergebniskorridors liegt in der Grössenordnung von  $\pm 4$  % der gesamten Treibhausgasemissionen.

Es ist zu betonen, dass die Entwicklungen an den Rändern des Ergebniskorridors relativ unwahrscheinlich aber nicht unmöglich sind. Für die Planung und Umsetzung von Massnahmen muss von der wahrscheinlichsten Entwicklung in der Mitte des Ergebniskorridors ausgegangen werden.

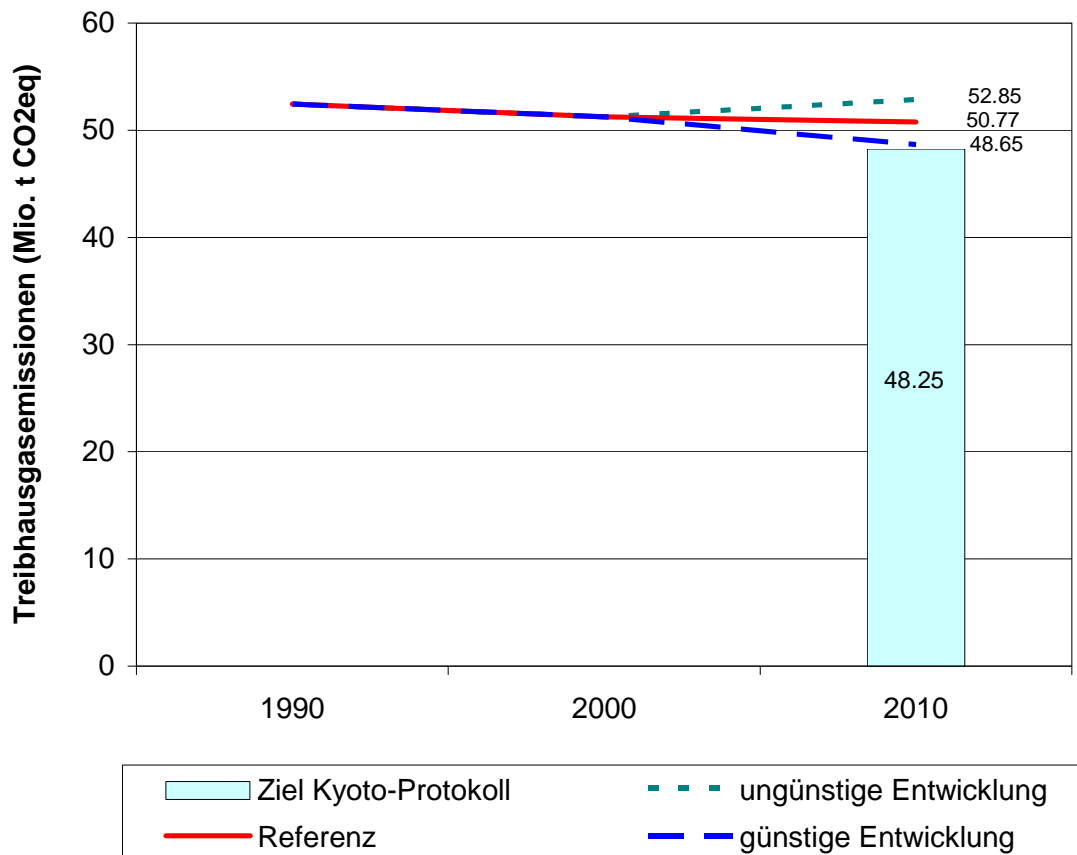
Wird bei ungünstiger Entwicklung die Ziellücke grösser, müsste die Schweiz ausländische CO<sub>2</sub>-Zertifikate zukaufen.

Wird im günstigen Fall das Kyoto-Ziel übererfüllt, können Emissionsrechte (assigned amount units) auf die nächste Verpflichtungsperiode übertragen oder auf dem internationalen Markt verkauft werden.

Tab. 22: Sensitivität der Treibhausgasentwicklung auf Grund unterschiedlicher Rahmensetzungen

Sensitivität	Abweichung der Treibhausgasemissionen 2008-12 von der Referenzentwicklung (Mio. Tonnen)
"ungünstige" Kombination höheres Wirtschafts- und Verkehrswachstum, stärkere Zunahme der beheizten Flächen, niedrigere Energiepreise, kühle Winter 08-12 (HGT= 3588), keine Abnahme der Rindviehzahlen, stärkeres HFC-Wachstum	+ 2.08
"günstige" Kombination niedrigeres Wirtschafts- und Verkehrswachstum, höhere Energiepreise, geringere Zunahme der beheizten Flächen, milde Winter 08-12 (HGT=3343), weitere deutliche Abnahme der Rindviehzahlen, schwächeres HFC-Wachstum (verstärkte Substitution durch techn. Entwicklung)	- 2.12

Abb. 2: Sensitivitäten der Treibhausgasentwicklung



## Literatur

- BUWAL (1998): Methan-Emissionen der schweizerischen Landwirtschaft. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 298.
- BUWAL (2004): Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 355.
- Carbotech (2005): Swiss Greenhouse Gas Inventory 2003: PFCs, HFCs and SF6 Emissions. Interner Bericht für das BUWAL.
- FAL (2000) - Schmid M., Neftel A., Fuhrer J.: Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAL Nr. 33.
- FAL (2003) - Leifeld J., Bassin S., Fuhrer J.: Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. Schriftenreihe der FAL Nr. 44.
- Infras (2003): CO<sub>2</sub>-Abgabe / Klimarappen bei Treibstoffen.  
(<http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/oekonomie/klima/politik/38.pdf>)
- Prognos (2002): Standortbestimmung CO<sub>2</sub>-Gesetz. CO<sub>2</sub>-Perspektiven und Sensitivitäten. Stand Oktober 2002, Basel.  
(<http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/oekonomie/klima/fakten/31.pdf>)
- Prognos (2003): CO<sub>2</sub>-Abgabe bei Brennstoffen, Basel, Mai 2003.  
(<http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/oekonomie/klima/politik/40.pdf>)
- Prognos (2004): Aufdatierung der Standortbestimmung CO<sub>2</sub>-Gesetz. CO<sub>2</sub>-Perspektiven und Sensitivitäten. Stand: März 2004, Basel.  
(<http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/oekonomie/klima/fakten/33.pdf>)
- Prognos (2005): Energieperspektiven 2035, Bundesratsvarianten zur Umsetzung des CO<sub>2</sub>-Gesetzes. Arbeitspapier zu Modellrechnungen auf der Basis der neuen Referenzentwicklung der Energieperspektiven des BfE. März 2005  
(<http://www.energie-schweiz.ch/imperia/md/content/statistikperspektiven/31.pdf>)
- UVEK (2004): Massnahmen zur Einhaltung der Reduktionsziele nach dem CO<sub>2</sub>-Gesetz. Vernehmlassung zu vier Varianten, 20. Oktober 2004.  
(<http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/buwalcontent/folder/04-10-20co2/d-vernehmlassungsbericht.pdf>)