

# **THG-Vermeidungskosten und - potenziale in der Schweiz**

**Literaturanalyse und Konzeption für weitere Erhebungen**

**Schlussbericht**

**7. Juni 2012**

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt

# Impressum

## Empfohlene Zitierweise

Titel: THG-Vermeidungskosten und -potenziale in der Schweiz  
Untertitel: Literaturanalyse und Konzeption für weitere Erhebungen  
Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Klima, CH-3003 Bern. Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).  
Auftragnehmer: Ecoplan  
Autoren: André Müller, Patrick Scheuchzer  
Ort: Bern  
Jahr: 7. Juni 2012  
Bezug: [www.ecoplan.ch](http://www.ecoplan.ch)

## Begleitgruppe BAFU

Reto Burkard  
Raphael Bucher  
Isabel Junker  
Brigitte Gälli Purghart  
Alexandra Quandt  
Hugo Amacker

## Projektteam Ecoplan

André Müller (Projektleitung)  
Patrick Scheuchzer

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Ecoplan

Forschung und Beratung  
in Wirtschaft und Politik

[www.ecoplan.ch](http://www.ecoplan.ch)

Thunstrasse 22  
CH - 3005 Bern  
Tel +41 31 356 61 61  
Fax +41 31 356 61 60  
[bern@ecoplan.ch](mailto:bern@ecoplan.ch)

Postfach  
CH - 6460 Altdorf  
Tel +41 41 870 90 60  
Fax +41 41 872 10 63  
[altdorf@ecoplan.ch](mailto:altdorf@ecoplan.ch)

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Das Wichtigste in Kürze .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung, Motivation für diese Studie.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Wem dienen THG-Vermeidungskostenkurven? Wie sind sie zu interpretieren? .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>Konzeption und Auswahl der Studien .....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>Schweizer THG-Vermeidungskosten und –potenziale im Vergleich .....</b>	<b>29</b>
4.1	Vergleich der Methodik, Annahmen und Modell .....	29
4.1.1	Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt .....	29
4.1.2	Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung .....	33
4.1.3	Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen .....	40
4.1.4	Verflechtung der Studien.....	41
4.1.5	Zusammenfassung.....	41
4.2	Diskussion der Resultate .....	43
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>Anhang A: Analyisierte Studien im Überblick.....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Anhang B: Vergleich von Methodik, Annahmen und Modell der analysierte Studien .....</b>	<b>61</b>
<b>8</b>	<b>Anhang C: Vergleich der Resultate der analysierte Studien .....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Anhang D: Exkurs technologische vs. gesamtwirtschaftliche Kosten und Berechnungsbeispiel für CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten .....</b>	<b>96</b>
<b>10</b>	<b>Anhang E: Faktenblätter der analysierten Studien.....</b>	<b>103</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>207</b>

## Das Wichtigste in Kürze

### a) Ausgangslage und Zielsetzung

Nationalrat Girod hat im Juni 2011 ein Postulat (11.3523) eingereicht, welches vom Bundesrat eine Studie zur Analyse der Potenziale und Kosten von Treibhausgasreduktionen verlangt. Aufgrund der grossen Unterschiede in bestehenden Studien bezüglich angewandeter Methodik, unterstellter Annahmen und Zeithorizonte soll im Hinblick auf zukünftige Studien in diesem Gebiet mit dem vorliegenden Bericht in einem ersten Schritt eine Übersicht über die bereits existierenden Arbeiten erstellt und Empfehlungen für das weitere Vorgehen abgegeben werden.

### b) Vorgehen

Die Auswahl der zu analysierenden Studien erfolgte durch das BAFU und wurde im Laufe der Arbeiten ergänzt mit ausgewählten Studien mit einem Fokus auf gesamtwirtschaftliche Aspekte. Für die Analyse der ausgewählten Studien unterscheiden wir drei Ebenen:

- Studien mit *Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt*
- Studien mit *sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung*
- Studien mit *gesamtwirtschaftlichen Modellen*

Zur besseren Vergleichbarkeit teilten wir die in den ausgewerteten Studien untersuchten Reduktionsmassnahmen in verschiedene Sektoren und Verwendungszwecke auf. Analysiert und verglichen wurden die Studien in erster Linie in Bezug auf das Ziel der Studie, den unterstellten Referenzfall, den verwendeten methodischen Ansatz, weitere Annahmen bezüglich Zins-/Diskontsätze, Energiepreise und Elastizitäten sowie in Bezug auf die unterstellten Potenzialbegriffe und den Umgang mit dem technologischen Fortschritt. Zusätzlich wurden die wichtigsten Resultate für THG-Vermeidungspotenziale und -kosten zusammengefasst. Für jede analysierte Studie wurde anhand der oben genannten Kriterien ein zusammenfassendes Faktenblatt erstellt (vgl. Anhang E).

### c) Übersicht über die Ansätze zur Berechnung von Vermeidungskosten

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Ansätze zur Berechnung von THG-Vermeidungskosten. Wichtig ist, dass die jeweiligen Ansätze für unterschiedliche Fragestellungen eingesetzt werden. Es werden also unterschiedliche Ziele verfolgt: Während bei den Einzelmassnahmen die Abschätzung der Kosten und Potenziale für einzelne Technologien ohne Berücksichtigung von Verflechtungen mit anderen Massnahmen und gesamtwirtschaftlichen Rückkoppelungen im Vordergrund steht, fokussieren die gesamtwirtschaftlichen Modelle auf die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von energie- bzw. klimapolitischen Massnahmenpaketen. In den Kosten und Potenzialen von Einzelmassnahmen ist eine ganze Reihe von Effekten nicht berücksichtigt. Ein Rückschluss von den Einzelmassnahmen auf gesamtwirtschaftliche Auswirkungen ist daher nicht möglich. Die gesamtwirt-

schaftlichen Modelle bieten dagegen nicht ausreichend Detailinformationen zur Konzeption von energie- und klimapolitischen Massnahmen.

**Abbildung 1: Übersicht über die Ansätze zur Berechnung von Vermeidungskosten**

	<b>Einzelmassnahmen</b>	<b>Sektorale Modelle</b>	<b>Gesamtwirtschaftliche Modelle</b>
<b>Typische Fragestellung</b>	Wie hoch sind CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten und -potenziale von Einzelmassnahmen bezogen auf einen Zeitpunkt?	Wie hoch sind CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten und -potenziale von Massnahmenpaketen im Zeitablauf?	Mit welchen volkswirtschaftlichen Auswirkungen ist bei der Umsetzung von sektorübergreifenden Massnahmen im Zeitablauf zu rechnen?
<b>Berechnung / Modelle / Methodik</b>	Discounted Cash-Flow für Einzelmassnahme	Spezifische bottom-up-Ansätze	Gesamtwirtschaftliche Modelle (meist Gleichgewichtsmodelle)
<b>Berücksichtigung von:</b>			
Verhaltensänderungen	Nein	teilweise	Ja
Abhängigkeiten zwischen Massnahmen	Nein (teilweise berücksichtigt)	Ja (innerhalb des betrachteten Sektors)	Ja
Referenzentwicklungen / Entwicklungspfade	Nein	Ja	Ja
Externalitäten	Nein	Nein	Teilweise (meist exogen, nicht endogen)
Opportunitätskosten	Nein	teilweise (je nach Modellansatz)	Ja
Indirekte Kosten der Massnahmen	Nein	teilweise	Ja
Rebound-Effekt	Nein	Nein	Ja
Optionsnutzen des Abwartens	Nein	Nein	Ja, nur indirekt über die Parametrisierung
Bedürfnisse/Präferenzen der Investoren	Nein	Nein	Ja
Volkswirtschaftliche Grenzkosten	Nein	teilweise (je nach Modellansatz)	Ja
Details zu einzelnen Technologien	Ja	Ja	Nein (Regelfall, teilweise Berücksichtigung einzelner Technologien)
<b>Umgang mit Unsicherheiten</b>	Unvollständig, einzig durch Variation der Annahmen -> tatsächliche Bandbreiten massiv unterschätzt	teilweise im Rahmen von Sensitivitätsanalysen -> tatsächliche Bandbreiten stark unterschätzt	teilweise im Rahmen von Sensitivitätsanalysen -> Bandbreite unterschätzt, da der Einfluss der Modellstruktur i. d. R. nicht betrachtet wird.
<b>Verständlichkeit und Kommunizierbarkeit der Resultate</b>	Einfache, verständliche Resultate	Komplexe, aber gut kommunizierbare Resultate	Komplexe Modellstruktur, „black-box-Syndrom“ -> Modelle werden in Frage gestellt
<b>Aussagen möglich zu...</b>	Priorisierung und Detailkonzeption energie-, klimapolitischer Massnahmen		Gesamtwirtschaftliche Kosten
<b>Keine Aussagen möglich zu...</b>	Gesamtwirtschaftliche Kosten	Gesamtwirtschaftliche Kosten	Detailkonzeption von Massnahmen

#### d) Vergleich der Methodik und der Annahmen der untersuchten Studien

Die analysierten Studien unterscheiden sich stark hinsichtlich Methodik und unterstellten Annahmen. Die nachfolgenden Ausführungen zeigen, gegliedert nach den drei Ansätzen, die wichtigsten Erkenntnisse aus der vergleichenden Analyse:

##### Studien mit Einzelmassnahmen

- *Referenzfall/Referenzentwicklung*: In den Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt spielt die Wahl des jeweiligen Referenzfalls eine entscheidende Rolle. Das heisst, mit welchem Zustand werden die Reduktionsmassnahmen verglichen (z.B. keine Erneuerungsmassnahmen (Ist-Zustand) vs. nicht-energetische Instandsetzung)? Die Wahl des Referenzfalls hat einen entscheidenden Einfluss auf die Emissionseinsparungen und damit auf die Vermeidungskosten. Die untersuchten Studien beziehen sich bei der Berechnung der Vermeidungspotenziale und -kosten auf einen bestimmten aktuellen oder künftigen Zeitpunkt. Bei den Studien, die sich auf einen künftigen Zeitpunkt beziehen, sind die bereits in der Referenzentwicklung umgesetzten Massnahmen meist nicht nachvollziehbar dokumentiert.
- *Technologische Entwicklung*: Die Studien basieren meist auf vorhandenen Datengrundlagen, Erfahrungswerten (ex-post Evaluation bereits durchgeführter Massnahmen). Dies gilt auch für diejenigen Studien, die sich auf einen künftigen Zeitpunkt beziehen. Der Einfluss der technologischen Entwicklung – sofern sie denn unterstellt wurde – wird in der Regel nicht ausgewiesen.
- *Zinssätze*: Die gewählten Zinssätze zur Diskontierung bewegen sich alle zwischen 3% und 3.5%. Die Berechnungen der Vermeidungskosten werden also meist mit der sozialen Diskontrate durchgeführt. Nur vereinzelt werden auch Rechnungen mit höheren (privaten) Diskonraten angestellt.
- *Energiepreise*: Bezüglich der angenommenen Energiepreise zeigen sich jedoch grössere Bandbreiten (so z.B. steigende Preise für Heizöl in neueren Studien). Die Annahmen zu den Energiepreisen sind stark vom momentanen Erfahrungshorizont geprägt, in welchem die Studien erstellt werden.
- *Unterschiedliche Potenzialbegriffe*: Betrachtet wird meist das heutige Potenzial zur THG-Vermeidung. Insgesamt wird der Potenzialbegriff in den ausgewerteten Studien unterschiedlich genau definiert und verwendet.
- *Unsicherheiten*: Allgemein kann festgehalten werden, dass die Studien – auch wenn Sie mit Bandbreiten für die Investitionskosten oder CO<sub>2</sub>-/Energieeinsparungen rechnen – den bestehenden Unsicherheiten zu wenig oder gar nicht Rechnung tragen.

##### Studien mit sektoralen Modellen

- *Mittel- bis langfristiger Zeithorizont*: Obwohl die unterstellten Referenzszenarien meist einem zukünftigen Zustand ohne zusätzliche CO<sub>2</sub>-Reduktionsmassnahmen entsprechen, zeigt sich eine beträchtliche Vielfalt bezüglich des untersuchten Zeithorizonts (1990 bis 2050). Eine gewisse Konzentration ergibt sich jedoch für einen Zeithorizont bis 2020.

- *Modellvielfalt:* Je nach Fragestellung wird jeweils ein spezielles sektorales Modell verwendet. Ein allgemeines Modell zur Berechnung der THG-Vermeidungspotenziale und -kosten existiert nicht. Die Modelle werden jeweils auf die Fragestellung hin konzipiert.
- *Zinssätze:* Die Bandbreite der angenommenen Zinssätze zur Diskontierung ist ein wenig grösser als bei den Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt und liegt zwischen 2% und 4%. Auch hier werden somit in erster Linie soziale Diskontraten unterstellt.
- *Unterschiedliche Potenzialbegriffe:* Bezüglich der untersuchten Potenziale zeigt sich in den analysierten Studien eine beträchtliche Vielfalt. Der Potenzialbegriff wird in den ausgewerteten Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung insgesamt unterschiedlich genau definiert und verwendet.

#### **Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen**

- *Gesamtwirtschaftlicher Fokus:* Mit gesamtwirtschaftlichen Modellen werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von vorgegebenen Massnahmen untersucht. Der Fokus ist hier also ein anderer als bei den Studien zu den Einzelmassnahmen oder den sektoralen Modellen (vgl. dazu auch die Ausführungen im Kapitel 2). Die Modellwahl sowie die unterstellten Annahmen spielen aber auch bei gesamtwirtschaftlichen Modellen eine wichtige Rolle (vgl. oben).

#### **e) Vergleich der Resultate der untersuchten Studien**

Die Resultate aus den untersuchten Studien lassen sich nicht direkt vergleichen, da

- die untersuchten Massnahmen und Szenarien in den Studien sehr unterschiedlich sind,
- die Wirkungen der Massnahmen sich auf unterschiedliche Referenzfälle und Zeitpunkte beziehen und
- die in den Studien zu Grunde liegenden allgemeinen Annahmen verschieden sind.

Aus dem Resultatvergleich lassen sich einige Schlussfolgerungen ziehen:

- *Grosse Bandbreiten:* Die Studien weisen bezüglich den Resultaten teilweise grosse Bandbreiten auf. Die Berechnungen werden - insbesondere bei ex-ante-Analysen – für einen Standardinvestor und Modellgebäuden durchgeführt. Die ausgewiesenen Werte geben lediglich einen Anhaltspunkt, wie hoch die Vermeidungspotenziale und -kosten für Standardannahmen ausfallen. In der Realität werden die Vermeidungskosten und -potenziale stark schwanken, weil die Investoren bspw. unterschiedliche Diskontraten bzw. Rentabilitätsvorgaben haben und dieselbe Vermeidungsmassnahme je nach Gebäude unterschiedlich viel bringt bzw. unterschiedlich viel kostet.
- *Referenzfall:* Weiter zeigt sich deutlich die Wichtigkeit der Wahl des jeweiligen Referenzfalls für Reduktionsmassnahmen. Die Vermeidungskostenpotenziale und auch deren -kosten hängen sehr stark von der unterstellten Referenzentwicklung bzw. vom Referenzzeitpunkt ab.

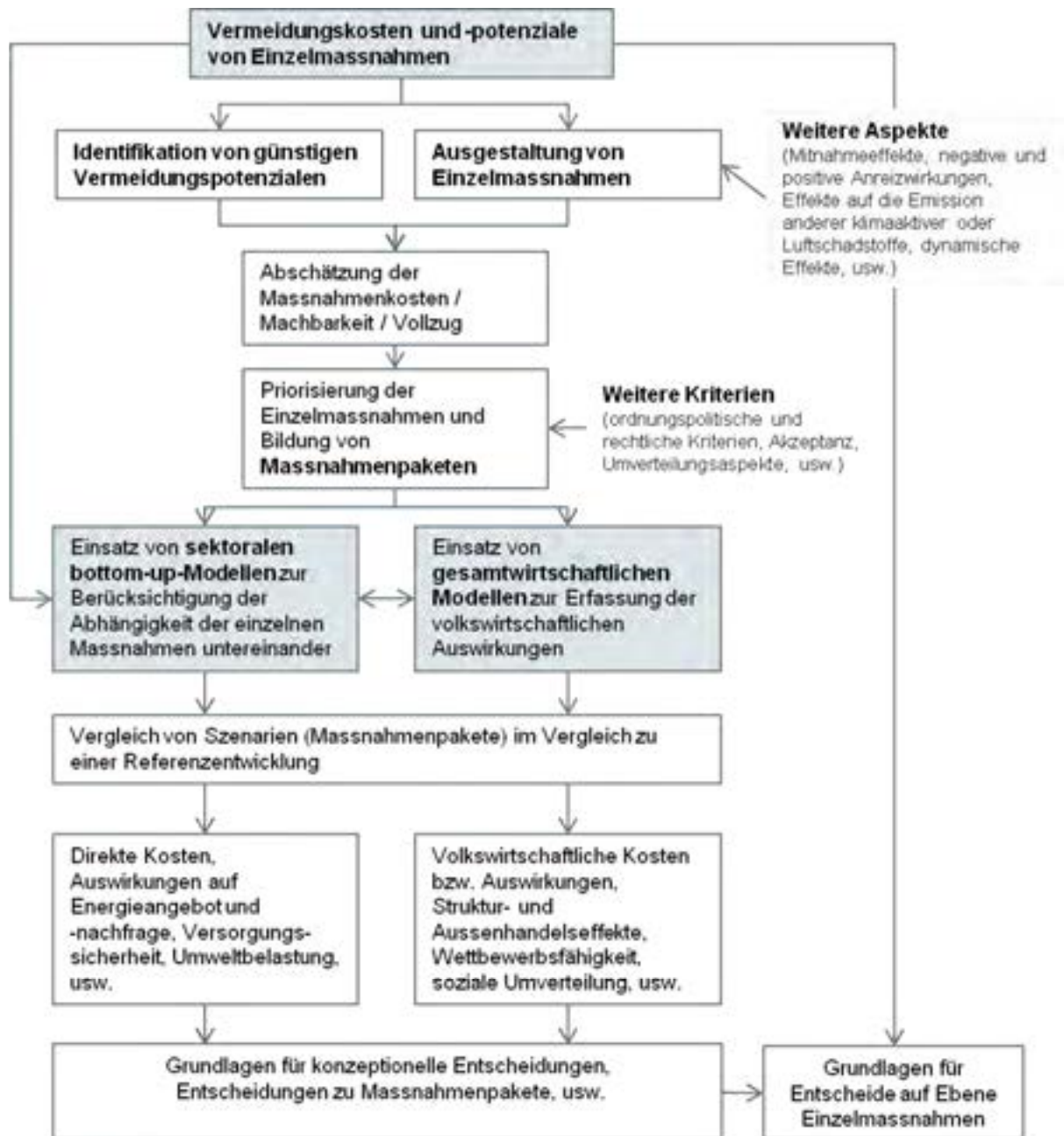
**f) Einordnung der verschiedenen Vermeidungskostenansätze in einen Gesamtkontext**

Wie können die einzelnen Ansätze zur Berechnung der Vermeidungskosten in einen Gesamtkontext gesetzt werden, der die gesamte Dimension der Aufbereitung von Informationen für die politische Entscheidungsfindung von energie- und klimapolitischen Massnahmen umfasst?

Die nachfolgende Abbildung 2 illustriert diese Einordnung. Die **Vermeidungskostenstudien zu Einzelmassnahmen** sind ein wichtiger Startpunkt für die **Identifikation von Ansatzpunkten für politisches Handeln**: Sei es indem mögliches Marktversagen (bspw. „split incentives“ bei der Mieter-Vermieter-Problematik) identifiziert oder günstige Vermeidungspotenziale adressiert werden können. Weiter dienen die Informationen zu den Einzelmassnahmen auch als **Grundlagen für die bottom-up-Modellierung**.



Abbildung 2: Einordnung der verschiedenen Vermeidungskostenansätze in einen Gesamtkontext



Für die Ausgestaltung von Einzelmassnahmen, welche „brachliegende“ Vermeidungspotenziale haben sollen, sind aber neben den Vermeidungskosten noch viele weitere Aspekte mit zu berücksichtigen: Mitnahmeeffekte, negative und positive Anreizwirkungen, allfällige Spill Overs, dynamische Effekte, wichtige Nebeneffekte auf die Umwelt (Emission anderer klimaaktiver Stoffe oder Luftschadstoffe), usw.

Als nächsten wichtigen Schritt gilt es die Massnahmen auf ihre Machbarkeit hin zu prüfen, die Kosten der Massnahmen abzuschätzen und insbesondere darzulegen, ob die Vollzugsaufwendungen in einem sinnvollen Verhältnis zur erwarteten Wirkung stehen. Die Einzelmass-

nahmen, welche diese Hürde schaffen, werden dann priorisiert und in **Massnahmenpaketen** zusammengefasst. Auch müssen wieder weitere Kriterien berücksichtigt werden (ordnungs- und rechtliche Kriterien, Akzeptanz, usw.). Zu beachten ist, dass den marktwirtschaftlichen Massnahmen/Instrumenten bei diesem deduktiven Vorgehen der nötige Stellenwert eingeräumt wird.<sup>1</sup>

Die Auswirkungen der Massnahmenpakete sind mit in sich konsistenten **sektoralen bottom-up und gesamtwirtschaftlichen Modellen** zu analysieren. Wichtig sind folgende Aspekte:

- Klare Definition einer Referenzentwicklung
- Berücksichtigung der Pfadabhängigkeit der Massnahmen (Berücksichtigung von max. möglichen jährlichen Realisierungs- bzw. Durchdringungsgraden, in der Vorperiode aufgebautes Realkapital (bspw. Kraftwerke) ist bis zum Ablauf der Nutzungsdauer fixiert, usw.)
- Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeiten der verschiedenen Einzelmassnahmen
- Berücksichtigung von Sekundärnutzen/-kosten, Synergien bzw. negativen Auswirkungen auf andere eng gekoppelte Umweltaspekte

Die Resultate aus solchen sektoralen bottom-up oder gesamtwirtschaftlichen Modellen sind geeignet, die nötigen Informationen im Hinblick auf die politische Entscheidungsfindung insbesondere bei konzeptionellen Entscheidungen, Entscheidungen zu Massnahmenpaketen, usw. bereitzustellen.

Die Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen, zusammen mit der Berücksichtigung weiterer Aspekte, können als Grundlage für Entscheidungen auf Ebene Einzelmassnahmen, im Idealfall basierend auf vorgängigen konzeptionellen Entscheiden, hilfreich sein bei der Ausgestaltung und Konzeption der umzusetzenden Einzelmassnahme.

## **g) Empfehlungen für das weitere Vorgehen**

### **Empfehlung 1: Verzicht auf eine umfassende Vermeidungskostenkurve-Studie**

In der Antwort auf das Postulat Girod hat sich der Bundesrat bereit erklärt, in Ergänzung zu den bereits existierenden Analysen eine umfassendere Studie in Auftrag zu geben, welche für verschiedene Sektoren das langfristige Reduktionspotenzial, die Reduktionsmassnahmen und ihre Kosten analysieren soll.

Die vorliegende Analyse hat gezeigt, dass sich die bereits existierenden Studien nicht vergleichen lassen und eine Konsolidierung all dieser Studien nicht möglich ist oder mit grossem

---

<sup>1</sup> Dies wird hier nicht weiter thematisiert. Es geht hier im Wesentlichen um die strategische Ausrichtung von energie- und klimapolitischen Massnahmen: Marktwirtschaftliche Instrumente als „Grobsteuerung“, ergänzt mit selektiv eingesetzten, unterstützenden Einzelmassnahmen vs. marktwirtschaftliche Instrumente als subsidiäre Massnahme und zu vielen, flächendeckend eingesetzten Einzelmassnahmen.

Aufwand verbunden wäre.<sup>2</sup> Daraus folgt auch, dass eine konsolidierte Darstellung der bereits existierenden Studien, ergänzt mit punktuell ausgelösten Analysen zur Abklärung von noch vermuteten Potenzialen, nicht möglich ist:

**Empfehlung 1:** Verzicht auf eine umfassende, allgemein gehaltene Studie zur Erfassung der langfristigen Reduktionspotenziale und deren Vermeidungskosten sowie der Darstellung in Form einer Vermeidungskostenkurve.

Eine solche umfassende, allgemein gehaltene Studie mit der Darstellung von Einzelmassnahmen in Form von Vermeidungskostenkurven beinhaltet viele Kosten nicht und berücksichtigt viele Abhängigkeiten nicht. Die Umsetzung einer stringenten und zielführenden Energie- und Klimapolitik ist viel zu komplex, als dass sie sich auf eine Kurve reduzieren lässt. Eine Reduktion der Komplexität ist zwar erstrebenswert, aber nur soweit sie nicht irreführend ist.<sup>3</sup>

Empfehlung 1 bedeutet aber nicht, dass keine weiteren Abklärungen zu Vermeidungskosten sinnvoll sind. Wie vorgängig erwähnt, dienen die verschiedenen Ansätze zu Vermeidungskosten und Vermeidungspotenzialen unterschiedlichen Zielen:

- *Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen:* Startpunkt und Grundlage für die Ausgestaltung eines optimalen Massnahmenmixes und für die Konzeption von Einzelmassnahmen.
- *Sektorale bottom-up und gesamtwirtschaftliche Modelle:* Informationsbereitstellung für die politische Entscheidungsfindung im Hinblick auf konzeptionelle, strategische Entscheide.

Die sektoralen bottom-up und gesamtwirtschaftlichen Modelle werden im Rahmen der Energiestrategie 2050 entwickelt bzw. eingesetzt. Empfehlungen zur Weiterentwicklung dieser Modelle würden den Rahmen dieser Arbeiten sprengen und sind auch nicht im Fokus des Postulats Girod.

---

<sup>2</sup> Die Arbeiten an der Energiestrategie 2050 zeigen, dass eine solche Konsolidierung von verschiedenen Massnahmen und ihre Einbindung in eine konsistente Referenzentwicklung sehr aufwendig sind.

<sup>3</sup> Dass eine simple, auf Einzelmassnahmen basierende Vermeidungskostenkurve irreführend sein kann, zeigt die Diskussion um die Vermeidungskostenkurve von McKinsey. Obwohl im Bericht von McKinsey die Limiten für die Interpretation der Vermeidungskostenkurve aufgezeigt werden, suggeriert die Kurve, dass 40% CO<sub>2</sub> zu Null bzw. sogar negativen Kosten eingespart werden kann. Dass dies aus volkswirtschaftlicher Sicht nicht haltbar ist, folgt schon alleine daraus, dass viele Kostenelemente in dieser Vermeidungskostenkurve nicht enthalten sind. Die Gefahr besteht, dass auf Basis der vermeintlich volkswirtschaftlich rentablen Reduktion von 40% CO<sub>2</sub> zu ambitionierte Ziele in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Reduktion gesetzt werden.

**Empfehlung 2: Erstellung der Grundlagen für ein Inventar von Vermeidungskosten**

Bei den Einzelmassnahmen ist – wie erwähnt – eine Konsolidierung der bereits durchgeführten Studien nur mit unverhältnismässig hohem Aufwand möglich. Wir empfehlen, die Grundlagen zur Erstellung eines Inventars von Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen zu erarbeiten, so dass:

- die künftig erarbeiteten Vermeidungskostenstudien auf einer gemeinsamen Basis mit konsolidierten Annahmen erstellt werden,
- einzelne bereits durchgeführte Studien (bspw. diejenigen im Gebäudebereich) gezielt aktualisiert werden können.

**Empfehlung 2:** Erstellung der Grundlagen für ein Inventar von Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen oder sektoralen Massnahmen.

Die *Ziele* dieses Inventars bzw. dieser Auslegeordnung sind:

- Identifikation von günstigen Vermeidungspotenzialen (über alle Sektoren und alle Treibhausgase)
- Informationen und Grundlage für die bottom-up-Modellierung
- Ideensammlung zur Umsetzung der Einzelmassnahmen (Standards, Info-Kampagnen, Abgaben, usw.) und Abschätzung von Massnahmenkosten
- Identifikation von positiven und negativen Sekundäreffekten (bspw. Luftbelastung von Holzfeuerungen)

Folgende *Arbeiten* wären in einem ersten Schritt auszulösen (für weitere Ausführung vgl. den Exkurs am Ende von Kapitel 5):

- Ausarbeitung von standardisierten Annahmen- und Resultate-Tableaus für zukünftige oder zu aktualisierende Vermeidungskostenstudien (vgl. dazu Abbildung 5-3).
- Prüfung, ob eine Aktualisierung ausgewählter, bereits durchgeführter Studien möglich und sinnvoll ist (bspw. im Gebäudebereich)

Empfehlung 2 geht über den bisherigen Zweck von Berechnungen der Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen hinaus. Es geht darum, neue Einsichten für die bottom-up-Modellierung zu gewinnen und sich vermehrt der Thematik „Ausgestaltung und Konzeption der Einzelmassnahmen“ anzunehmen.

Das vorgeschlagene Inventar soll also nicht auf den alten Studien aufbauen, sondern prospektiv für die künftigen Studien und allenfalls die Aktualisierung bestimmter bereits durchgeführter Studien aufgebaut werden.

Mit Empfehlung 2 sollen die Resultate der Vermeidungskostenstudien besser vergleichbar werden. Allerdings sind die standardisierten Annahmen nicht zu eng zu fassen, da die Vermeidungskostenstudien meist in einem bestimmten Kontext stehen (bspw. im Hinblick auf die Ausgestaltung des Gebäudeprogramms) und sich diesem unterzuordnen haben. Nach der

Auswertung und Sichtung der bestehenden Vermeidungskostenstudien sehen wir insbesondere in folgenden Punkten **Handlungsbedarf**, d.h. hier sollten **standardisierte Vorgaben** bzw. **detailliertere Anleitungen** oder **Definitionen** ausgearbeitet werden:

- Vorgaben zu den wichtigsten Annahmen (Zinssatz/Diskontrate, zukünftige Energiepreise (inkl., exkl. Abgaben), Nutzungsdauer)
- Referenzentwicklung
- Definition der Potenzialbegriffe
- Umgang mit technologischem Fortschritt
- Umgang mit Unsicherheiten / Bandbreiten (Sensitivitätsanalysen)
- Einbezug wichtiger Synergien und negativer Nebeneffekte von Massnahmen
- Minimalanforderung an die Dokumentation

# 1 Einleitung, Motivation für diese Studie

## Ausgangslage

Nationalrat Girod hat im Juni 2011 ein Postulat (11.3523, vgl. Exkurs) eingereicht. Dieses verlangt vom Bundesrat, eine Studie in Auftrag zu geben, welche die Potenziale und Kosten zur Reduktion der Treibhausgasemissionen analysiert. Das Postulat steht im direkten Zusammenhang mit dem im Rahmen der Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes vom Parlament unterstützten Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 20 Prozent zu reduzieren. Dieses Ziel soll ausschliesslich durch die Umsetzung von Massnahmen im Inland erreicht werden.

Zu den Potenzialen und Kosten der Emissionsreduktionsmassnahmen im Inland liegen einige Studien vor, die sich aber methodisch wie auch in Bezug auf die unterstellten Annahmen und Zeithorizonte unterscheiden.

### Exkurs: Postulat Girod (11.3523)

**Eingereichter Text:** Der Bundesrat wird beauftragt, eine Studie in Auftrag zu geben und darüber zu berichten, welche zeigt, welche Potenziale zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu welchen Kosten bestehen.

**Begründung:** In der aktuellen Diskussion um das CO<sub>2</sub>-Gesetz wurde klar, dass eine Mehrheit des Parlamentes aus wirtschaftlichen und klimapolitischen Gründen eine Reduktion der Treibhausgase in der Schweiz gegenüber Reduktionen im Ausland bevorzugt. Verschiedene Studien zeigen grosse Potenziale bei Kläranlagen, Nachrüstung von Personenwagen mit Leichtöl, Fernwärmeversorgung von Gebäude oder in der Landwirtschaft. Es fehlt aber eine konsistente Beurteilung der Kosten dieser Treibhausgasreduktionen sowie des jeweiligen Potenzials. Eine solche Studie würde einen Entscheid über künftige Reduktionen der Treibhausgasemissionen im Inland vereinfachen. Auch würden die wirtschaftlichen Chancen solcher Massnahmen deutlich.

**Stellungnahme des Bundesrates vom 24.08.2011:** Der Bundesrat anerkennt das Bedürfnis und die Notwendigkeit einer umfassenden und auf einheitlichen Annahmen beruhenden Analyse der Kosten und des Potenzials verschiedener Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Schweiz. Deshalb ist er bereit, in Ergänzung zu den bereits existierenden Analysen eine umfassendere Studie in Auftrag zu geben, welche für verschiedene Sektoren das langfristige Reduktionspotenzial, die Reduktionsmassnahmen und ihre Kosten analysieren soll. Die Studie soll über bestehende Forschungsgelder finanziert werden.

**Antrag des Bundesrates vom 24.08.2011:** Der Bundesrat beantragt die Annahme des Postulates.

## Zielsetzungen

Im Hinblick auf zukünftige Studien über die Potenziale und Kosten zur Reduktion der Treibhausgasemissionen soll mit dem vorliegenden Bericht in einem ersten Schritt eine Übersicht über die bereits existierenden Studien erstellt und Empfehlungen für das Konzept zur Erstellung einer oder mehrerer auf einheitlichen Kriterien basierenden Studie(n) abgegeben werden. Dazu werden folgende Teilschritte durchgeführt:

- Erstellung einer *Übersicht über die Reduktionskosten und -potenziale* in den verschiedenen Sektoren basierend auf den bereits existierenden Studien
- Analyse der verwendeten *Modelle*, inkl. der modellspezifischen Annahmen (z.B. die verwendeten Elastizitäten)
- Analyse und Vergleich der für die existierenden Studien getroffenen *Annahmen* (z.B. makro-ökonomische Annahmen)
- Evaluation der geeignetsten *Methodik für eine bessere Vergleichbarkeit* weiterführender Studie(n) zu den Vermeidungskosten und -potenzialen
- Ausformulierung von *Empfehlungen* (bzgl. Sektorenabdeckung, Methodik, Berechnungsmodelle, Annahmen) *für die Konzeption* von einer oder mehreren weiterführenden, vergleichbaren Studie(n).

## Zielpublikum und Erkenntnisse

Die Erkenntnisse des Berichts sollen Folgendem dienen:

- *Alle*: Identifikation kostengünstiger THG-Reduktionspotentiale in der Schweiz<sup>4</sup>
- *Politik/Verwaltung*: Vereinfachung der künftigen Entscheide über Reduktionsanstrengungen im Inland
- *Importeure fossiler Treibstoffe und Betreiber fossil-thermischer Kraftwerke*: Kompensation des Inlandanteils der verursachten Treibhausgasemissionen

## Aufbau des Berichts

Der vorliegende Bericht gliedert sich wie folgt:

- *Kapitel 2* gibt einen einleitenden und generellen Überblick über die Thematik von THG-Vermeidungskostenkurven und deren Berechnung.
- In *Kapitel 3* werden die Auswahl und die Konzeption der Auswertung der analysierten Studien erläutert.

---

<sup>4</sup> THG = Treibhausgase. Im Kyoto-Protokoll reglementierte THG: Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>, dient als Referenzwert), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffmonoxid (Lachgas, N<sub>2</sub>O), Fluorkohlenwasserstoffe (FCKWs) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>).

- Im Zentrum des Berichts steht *Kapitel 4*, in welchem einerseits die Methodik, Annahmen und verwendeten Modelle der analysierten Studien verglichen und andererseits deren Resultate diskutiert werden.
- *Kapitel 5* beinhaltet schliesslich die aus der Analyse gewonnenen Erkenntnisse sowie Empfehlungen für die Konzeption weiterführender Arbeiten hinsichtlich THG-Vermeidungspotenzialen und –kosten für die Schweiz. Diskutiert werden insbesondere bestehende Lücken, Probleme und Unsicherheiten, Vorgaben für Methodik und Annahmen, sowie Vorschläge für das weitere Vorgehen in Bezug auf künftige Studien.



## 2 Wem dienen THG-Vermeidungskostenkurven? Wie sind sie zu interpretieren?

In diesem Kapitel wollen wir aufzeigen, wie THG-Vermeidungskostenkurven zu „lesen“ sind. Das heisst, wir beantworten die Fragen für wen und welchen Zweck sie heute eingesetzt werden und wie sie zu interpretieren sind. Dabei gehen wir auch auf den immer wieder diskutierten Unterschied zwischen technologischer und gesamtwirtschaftlicher THG-Vermeidungskostenkurve ein.

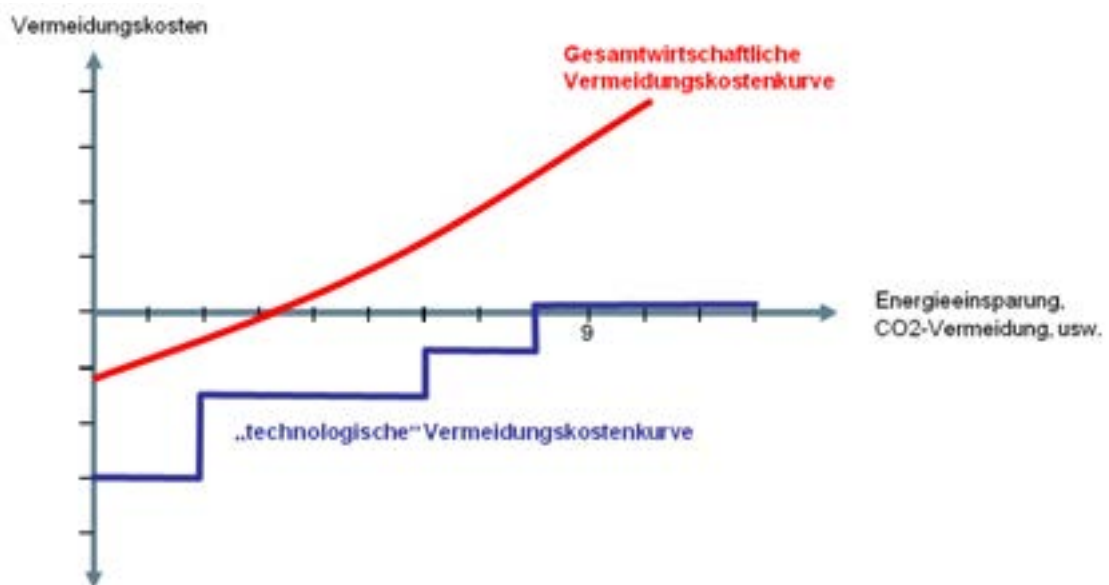
### Was sind THG- bzw. CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurven

THG- bzw. CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurven messen die Kosten der THG/CO<sub>2</sub>-Vermeidung (Reduktion / Stabilisierung der Emissionen).<sup>5</sup> Dabei werden zuerst diejenigen Potenziale aufgezeigt, die zu geringen oder gar negativen Kosten zu erreichen sind und danach diejenigen Potenziale, die höhere Kosten für die CO<sub>2</sub>-Vermeidung aufweisen. Diese CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurven werden üblicherweise für einzelne technologische Massnahmen oder dann als gesamtwirtschaftliche Grenzvermeidungskostenkurve dargestellt (vgl. nachfolgende Abbildung 2-1).

---

<sup>5</sup> Hinweis: Wird im Folgenden von CO<sub>2</sub>(-Vermeidungspotenziale/-kosten/kurven etc.) gesprochen, sind jeweils alle THG mit eingeschlossen.

**Abbildung 2-1: Gesamtwirtschaftliche vs. technologische Vermeidungskostenkurve (fiktives Beispiel)**



Quelle: Eigene Darstellung.

Solche Vermeidungskostenkurven können für energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen oder auch für nicht energiebedingte CO<sub>2</sub>- bzw. THG-Emissionen (bspw. in der Landwirtschaft, usw.) berechnet werden. Werden die THG-Emissionen – je nach Schädlichkeit für das Klima – in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet, können auch Treibhausgase wie Methan in einer einzigen Vermeidungskostenkurve zusammen mit den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzialen dargestellt werden. Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, betragen in der Schweiz die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen 81% aller Treibhausgasemissionen, gefolgt von der Landwirtschaft (11%) und den industriellen Prozessen (6%). Die gewählte Gewichtung bezieht sich auf einen Horizont von 100 Jahren und nur auf die im Kyoto-Protokoll reglementierten Treibhausgase. Werden ein kürzerer Zeithorizont gewählt und weitere klimaaktive Substanzen berücksichtigt, fallen kurzlebige Stoffe wie Methan, Ozon oder Russ stärker ins Gewicht und ergeben Verschiebungen in den Anteilen der Sektoren.

**Abbildung 2-2: Energie- und nicht energiebedingte Treibhausgasemissionen 1990 bis 2009 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die Schweiz**

	1990	2000	2009	Anteil 2009
Energie	42.1	42.5	42.3	81%
Industrielle Prozesse	3.4	2.9	3.2	6%
Lösungsmittel	0.1	0.1	0.1	0%
Landwirtschaft	6.1	5.6	5.6	11%
Abfall	1.0	0.7	0.6	1%
Andere	0.3	0.2	0.1	0%
Total	53.1	52.0	51.9	100%

Quelle: BAFU (2011), Treibhausgasinventar. Ohne Landnutzungsänderungen/Forstwirtschaft und internationalem Flug- und Schiffsverkehr.

### Wer nutzt THG/CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurven und für welchen Zweck?

Die für die Schweiz erstellten Vermeidungskostenkurven dienen in erster Linie folgenden Akteuren zu folgenden Zwecken:

- Verwaltung/Regierung:
  - Identifikation von günstigen THG/CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzialen als Hinweis für die Ausgestaltung einer kostenoptimalen THG/CO<sub>2</sub>-Minderungspolitik.
  - Hinweise und Ansätze für die Ausgestaltung von bestimmten THG/CO<sub>2</sub>-Minderungsmassnahmen (bspw. Gebäudeprogramm).
- Verschiedene energiepolitische Akteure: Argumentationsbasis für die Forderung bestimmter THG/CO<sub>2</sub>-Minderungsziele.<sup>6</sup>

Die THG/CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurven werden in der politischen Diskussion aufgenommen und kontrovers diskutiert. Insbesondere werden die verschiedenen Ansätze von Vermeidungskostenkurven gegeneinander ausgespielt (bspw. die technologische vs. die gesamtwirtschaftliche Vermeidungskostenkurve) und je nach Position die eine oder andere Sichtweise vertreten. Nachfolgend soll der Unterschied zwischen den technologischen und gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskostenkurven herausgearbeitet werden und damit auch die Basis für deren Interpretation gelegt werden.

### Technologische und gesamtwirtschaftliche Vermeidungskosten

Üblicherweise – aber nicht immer – zeigt die „technologische“ Vermeidungskostenkurve deutlich tiefere CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten als die gesamtwirtschaftliche Vermeidungskostenkurve.

<sup>6</sup> Vgl. dazu bspw. die Vernehmlassungsantworten zur CO<sub>2</sub>-Gesetzesrevision im Jahr 2009.

Es besteht also aus technologischer Sicht eine Effizienzlücke zwischen den am Markt erhältlichen besten Technologien und den tatsächlich eingesetzten Technologien.

Wie diese „vermeintliche“ Differenz der beiden Vermeidungskostenkurven zu interpretieren ist, wollen wir im Folgenden kurz ausführen. Wie die Abbildung 2-3 zeigt, ist zwischen Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Effizienz und ökonomischer Effizienz zu unterscheiden. Mit steigender Energie- oder CO<sub>2</sub>-Effizienz nimmt der Energieinput pro produzierter Einheit ab. Mit steigender ökonomischer Effizienz sinkt der gesamte Input pro produzierter Einheit. Die Abbildung zeigt die verschiedenen Optima aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln:

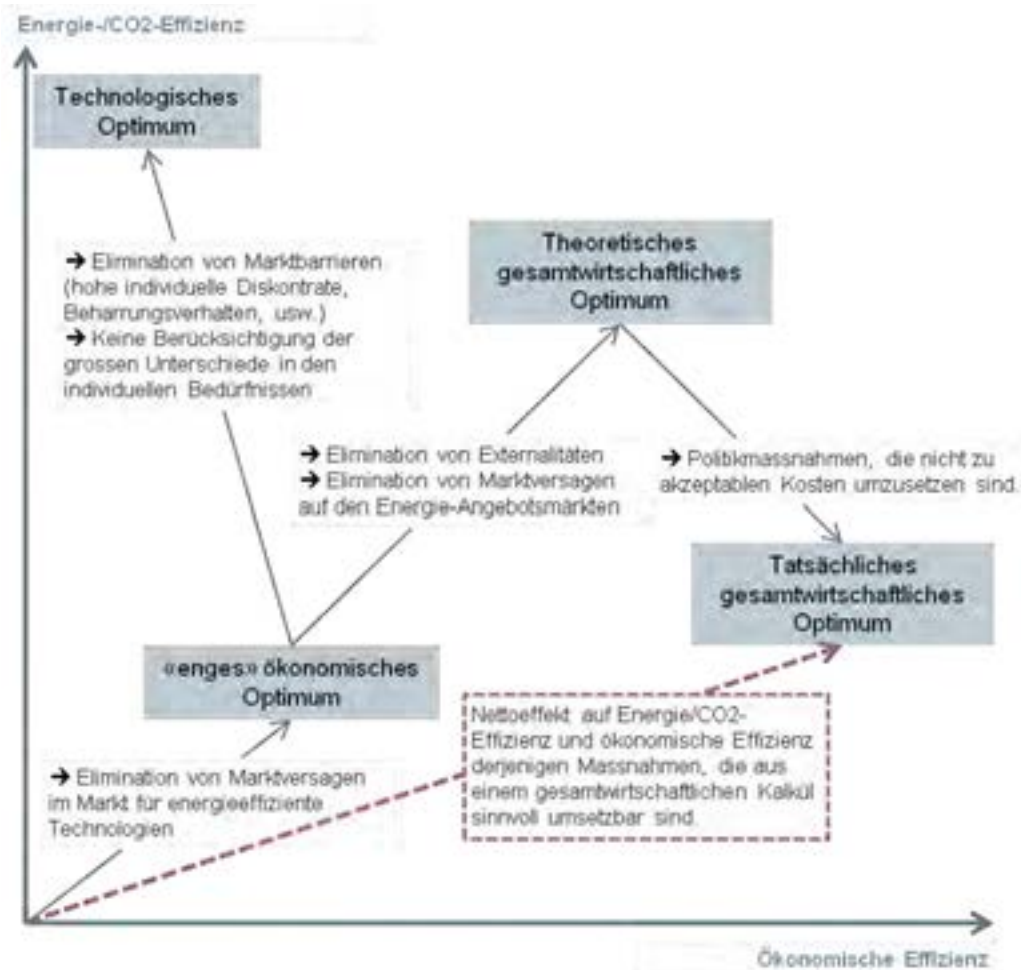
### 1) Ökonomische – gesamtwirtschaftliche Sichtweise:

Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten erklären sich aus einer gesamtwirtschaftlichen Sichtweise, aus den Präferenzen und den Bedürfnissen der Marktakteure. Dabei sind folgende Situationen zu unterscheiden:

- **„Enges“ ökonomisches Optimum:** Liegt ein klares Marktversagen (bspw. Monopol- oder Kartellmissbräuche, asymmetrische Informationen, usw.) auf dem Markt für energieeffiziente Technologien vor, kann mit der Elimination dieses Marktversagens eine „win-win-Situation“ eintreten und die energetisch wie auch ökonomische Effizienz verbessert werden (sog. „no-regret“-Massnahme).
- **Theoretisches gesamtwirtschaftliches Optimum:** Die Elimination von weiteren Marktversagen (Berücksichtigung von Externalitäten (Luftverschmutzung, usw.) oder Marktversagen auf den Energie-Angebotsmärkten) führt zu einem „theoretisch“ möglichen Maximum an energetischer und ökonomischer Effizienz.
- **Tatsächliches gesamtwirtschaftliches Optimum:** In der realen Welt wird es aber nicht möglich sein, alle Marktversagen durch geeignete Massnahmen zu akzeptablen Kosten zu eliminieren (bspw. weil die Massnahme zu kostspielig im Vollzug wäre oder andere soziale Werte konkurriert würden).

Bei der Berechnung der gesamtwirtschaftlichen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten werden in der Regel folgende Effekte nicht berücksichtigt:

- **Externalitäten:** Die externen Kosten werden in der Regel nicht direkt in die Nutzenfunktion der Marktakteure integriert. Die vermiedenen externen Kosten werden in der Regel nachgelagert berechnet und ausgewiesen. Es wird also kein volkswirtschaftliches Optimum unter Einrechnung der Externalitäten ausgewiesen.
- **Marktversagen:** Häufig wird ein funktionierender Markt unterstellt, der unter den Bedingungen des vollständigen Wettbewerbs funktioniert. Nur vereinzelt wird – aufgrund fehlender empirischer Abstützung – explizit ein Marktversagen unterstellt.
- **Explizite Formulierung der Technologien:** In den gesamtwirtschaftlichen Modellen zur Berechnung der gesamtwirtschaftlichen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurve sind die Vermeidungstechnologien nicht einzeln abgebildet. Die Technologien werden implizit durch die unterstellten Produktions- und Nutzenfunktionen repräsentiert.

Abbildung 2-3: Energie-/ CO<sub>2</sub>-Effizienz vs. ökonomische Effizienz

Quelle: Adam B. Jaffe, Richard G. Newell, Robert N. Stavins (1999), Energy-Efficient Technologies and Climate Change Policies: Issues and Evidence, S. 5.

## 2) Technologische Sichtweise

Die technologische Sichtweise ist eine andere: Hier werden in der Regel Einzelmassnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion bewertet:

- **Technologisches Optimum:** Den Energieeffizienz-Investitionen werden die erzielbaren Energie- und Betriebskostenreduktionen gegenübergestellt und so die Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung berechnet. Dabei wird häufig von einem Standardinvestor ausgegangen und für diese Annahmen wie Diskontrate, Preiserwartungen, usw. unterstellt. Den grossen Unterschieden in den individuellen Bedürfnissen der Marktakteure wird nicht Rechnung getragen.

In den Studien zur Berechnung der technologischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten werden (in der Regel) folgende Effekte nicht berücksichtigt:

- **Unterschiedliche Bedürfnisse (Präferenzen) der Investoren** (vgl. dazu Exkurs 2 am Ende dieses Kapitels): Den „Standardinvestor“ gibt es nicht: Investoren sehen sich unterschiedlichen Entscheidungssituationen gegenübergestellt, d.h. die „Standardannahmen“ gelten nicht für alle Investoren. Die Bandbreite der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten, berechnet für einzelne Massnahmen, ist schon aufgrund der unterschiedlichen Entscheidungssituationen riesig (vgl. dazu den nachfolgenden Exkurs 1 „Berechnung der technologischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für einen „Standardinvestor“). Die Bedeutung der heterogenen Typen von Konsumenten betonen auch Allcott H., Greenstone Michael (2012): Sie fordern zukünftige Forschung anhand von randomisierten Experimenten und weiteren quasi-experimentellen Techniken zur Abschätzung des Einflusses von Energieeffizienzprogrammen auf heterogene Konsumenten.<sup>7</sup>
- **Unsicherheit bezüglich der wichtigsten Annahmen (Investitionskosten, Energieeinsparung, Ölpreis, Nutzungsdauer, vgl. dazu Exkurs 2):** Bei der technologischen Sichtweise werden häufig Standardmassnahmen (bspw. der Ersatz von Fenstern) definiert und dann für diese Standardmassnahmen die Kosten und die Vermeidungspotenziale bestimmt. Dabei bleibt unberücksichtigt, dass im Einzelfall sowohl die Investitionskosten, erzielbare Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparung, Ölpreis und Nutzungsdauer deutlich von der „Standardsituation“ abweichen können (sowohl im positiven wie auch im negativen Sinne).
- **Abhängigkeit zwischen den einzelnen Massnahmen:** Die einzelnen Massnahmen werden in der Regel in Bezug auf ihre CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten unabhängig voneinander analysiert: Bspw. werden Massnahmen im Haustechnikbereich und Massnahmen an der Gebäudehülle isoliert betrachtet, ohne dass berücksichtigt wird, dass Massnahmen an der Gebäudehülle die Rentabilität der Massnahmen der Haustechnik massgeblich beeinflussen (Gefahr von Doppelzählungen).
- **Volkswirtschaftliche Grenzkosten:** Die technologische Rentabilitätsrechnung kalkuliert (in der Regel) nicht mit volkswirtschaftlichen Grenzkosten (für Details zu diesem und den nächsten Punkten sei auf den Exkurs „technologische vs. gesamtwirtschaftliche Kosten“ in Anhang D verwiesen).
- **Opportunitätskosten:** Die Opportunitätskosten werden nicht miteinberechnet.
- **Indirekte Kosten der Massnahmen:** Die Massnahmen zur Hebung der Energieeffizienzpotenziale, also bspw. zur Überwindung von Marktbarrieren, sind nicht gratis zu haben. Sie werden in den technologischen Vermeidungskosten nicht miteingerechnet. (Bspw. muss zur Überwindung von Informationsdefiziten eine Kampagne finanziert werden).
- **Rebound-Effekt:** Werden Energiekosten eingespart, können dafür an anderer Stelle vermehrt mehr oder weniger energieintensive Güter konsumiert werden. Dieser Rebound-Effekt wird ebenfalls nicht in den technologischen Vermeidungskosten berücksichtigt.

---

<sup>7</sup> Vgl. Allcott H., Greenstone Michael (2012), Is There an Energy Efficiency Gap?, S. 25: “We believe that this area is ripe for rigorous empirical research. Future research should utilize randomized controlled trials and quasi-experimental techniques to estimate the impacts of energy efficiency programs on heterogeneous consumer types and to address the challenges posed by unobserved costs and benefits.”

- **Optionsnutzen des Abwartens:** Ein nicht zu unterschätzender Effekt ist der Optionsnutzen für das Abwarten. Wer eine Investition zeitlich hinausschiebt, kann u.U. verschiedene Unsicherheiten (Preisentwicklung, Technologieentwicklung, usw.), die den Investitionsentscheid beeinflussen, vermindern. Dieser Optionsnutzen für das Abwarten ist einer der „rationalen“ Gründe für das „Beharrungsverhalten“, d.h. für das zeitliche Hinausschieben von Reduktionsmassnahmen.
- **Externalitäten:** Werden in der Regel nicht berücksichtigt.

### Technologische und gesamtwirtschaftliche Sichtweise ergänzen sich

Die **technologische Sichtweise ist als Grundlage für die Ausgestaltung eines optimalen Massnahmenmixes** zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Minderungsziele hilfreich. Mit Hilfe der technologischen Vermeidungskosten können die grossen und günstigen Vermeidungspotenziale identifiziert und damit die Prioritäten bei den klima- und energiepolitischen Massnahmen richtig gesetzt werden. Weiter bietet die technologische Sichtweise eine Grundlage, die allgemein verständlich ist und damit als Startpunkt für die Diskussion klima- und energiepolitischer Massnahmen dienen kann. **Aus den technologischen Vermeidungskosten können aber keine Rückschlüsse auf die gesamtwirtschaftlichen Kosten und Potenziale einer CO<sub>2</sub>-Minderung gezogen werden**, weil viele kostenrelevante Aspekte nicht berücksichtigt sind (vgl. obige Aufzählung der nicht berücksichtigten Effekte).

Bei der gesamtwirtschaftlichen Sichtweise werden die Massnahmen bzw. der Massnahmenmix vorgegeben und daraus die gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten berechnet. **Die gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten sind somit die Grundlage zur Beurteilung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen von energie- und klimapolitischen Massnahmen.**

Die beiden Sichtweisen stehen somit nicht in Konkurrenz zueinander, sondern ergänzen sich.

### Einordnung der Schweizer CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenstudien

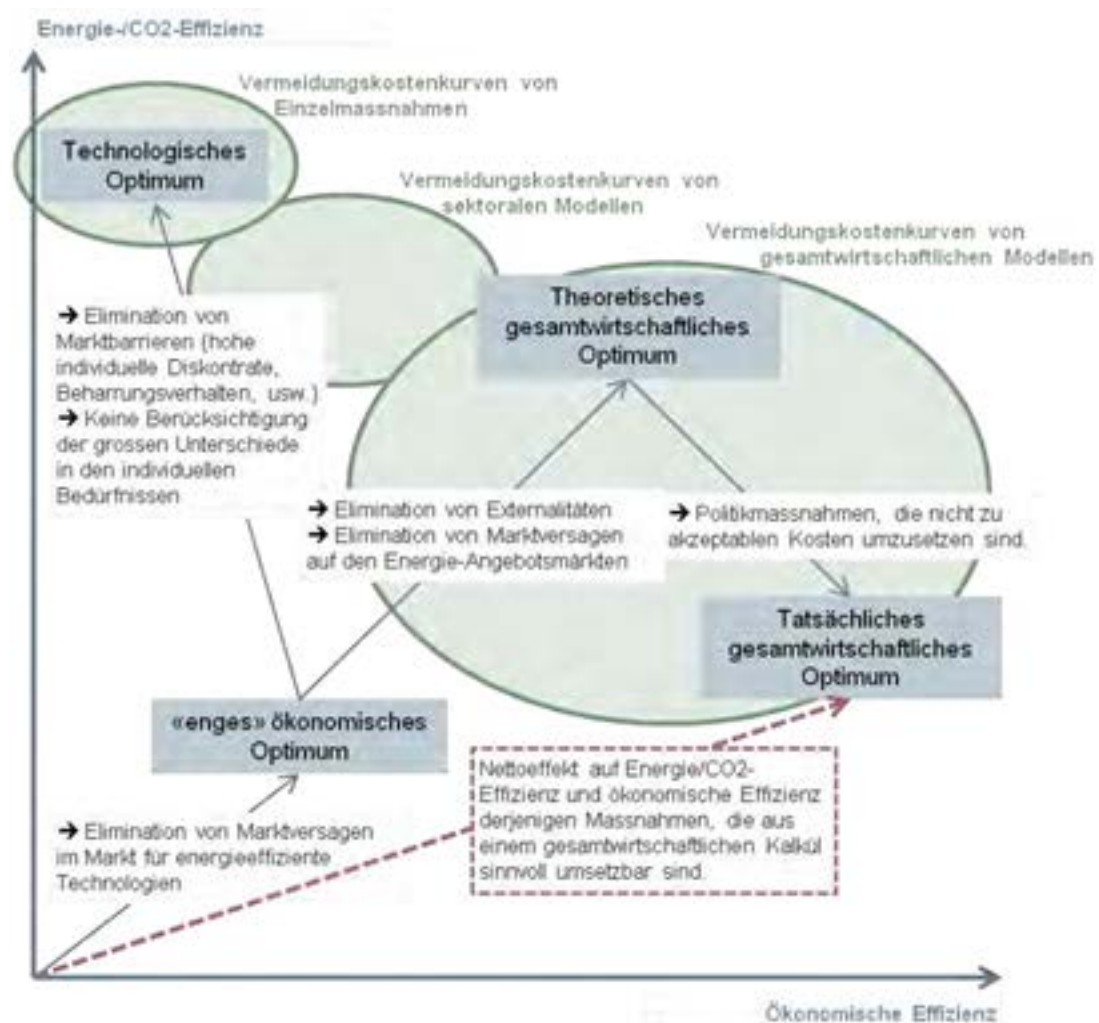
Die bestehenden Schweizer CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenstudien sind unterschiedlich einzuordnen, wobei die Einordnung nicht immer eindeutig ist. Wie die nachfolgende Abbildung 2-4 zeigt, unterscheiden wir zwischen:

- *Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen (bottom-up approach):* technologische Vermeidungskosten, meist aus Sicht eines Standardinvestors und der Annahme, dass Marktbarrieren beseitigt sind.
- *Vermeidungskosten in sektoralen Modellen (bottom-up- oder top-down-approach):* Vermeidungskosten eines ganzen Sektors (bspw. Landwirtschaft) mit Hilfe von partialanalytischen Modellen. Hier wird (teilweise) das Verhalten von Akteuren eines Sektors explizit modelliert und sektorale Optima berechnet. Gesamtwirtschaftliche Rückkopplungseffekte werden nicht berücksichtigt.
- *Vermeidungskosten in gesamtwirtschaftlichen Modellen (top-down-approach):* Vermeidungskosten der gesamten Volkswirtschaft mit Hilfe von gesamtwirtschaftlichen Modellen.

Das Verhalten der zentralen Wirtschaftsakteure wird explizit modelliert und gesamtwirtschaftliche Rückkopplungseffekte werden berücksichtigt. Häufig sind diese Modelle aber stark aggregiert und daher in Bezug auf die Modellierung der möglichen Massnahmen eingeschränkt.

Seit etwa 10 Jahren werden – je nach Fragestellung – auch gekoppelte Modelle eingesetzt: Dabei werden gesamtwirtschaftliche Modelle in Teilbereichen mit einem bottom-up-Modell ergänzt.

**Abbildung 2-4:** Energie-/ CO<sub>2</sub>-Effizienz vs. ökonomische Effizienz bezüglich Vermeidungskostenkurven von Einzelmassnahmen, sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Modellen



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Adam B. Jaffe, Richard G. Newell, Robert N. Stavins (1999), Energy-Efficient Technologies and Climate Change Policies: Issues and Evidence, S. 5.



**Exkurs 1: Berechnung der technologischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für einen „Standardinvestor“**

Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten werden oft mit Hilfe der sogenannten nicht amortisierbaren Mehrkosten (NAM) berechnet. Die NAM sind die Mehrkosten einer energieeffizienten Investition gegenüber dem Referenzfall und ergeben sich somit aus der Differenz der Investitionskosten und der kapitalisierten Energiekosteneinsparungen (Netto-Differenz zwischen Mehrinvestitionen und dem Barwert für die jährlichen Mehrkosten für Unterhalt und Einsparung von konventioneller Energie). Sind die NAM positiv, also grösser als 0, sind die Massnahmen unwirtschaftlich. Sind sie negativ, sind die Massnahmen wirtschaftlich, d.h., die Energiekosteneinsparungen sind grösser als die (Mehr-)Investitionskosten der entsprechenden Massnahme. Beide Werte werden hierbei auf zu definierende Referenzfälle bezogen.

Die berechneten NAM und somit auch die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten variieren stark mit den erwarteten künftigen Energiepreisen, dem angenommenen Kapitalzinssatz, resp. Diskontsatz, der unterstellten Nutzungs- und Lebensdauer, den Investitionskosten, den Energieverbrauchseinsparungen, sowie der Vergleichsbasis (Instandsetzungsmassnahme vs.. keine Massnahmen) und weiteren wichtigen Einflussfaktoren. Diese Abhängigkeiten werden in Abbildung 9-3 in Anhang D anhand eines einfachen Beispiels einer energieeffizienten Investition dargestellt. Demzufolge fallen die NAM und somit auch die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten folglich tiefer aus,

- je tiefer der unterstellte Zins-/Diskontsatz,
- je länger die angenommene Nutzungsdauer einer Massnahme,
- je höher der erwartete Energiepreis,
- je tiefer die Investitionskosten
- und je höher die zu erwartenden Energieverbrauchseinsparungen einer Massnahme.

**Fazit:** Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten sind massiv von Zins-/Diskontsatz, vom erwarteten Energiepreis, von der Nutzungsdauer abhängig. Weiter beeinflussen auch die Unsicherheiten zu den Investitionskosten und zu den erwarteten Energieverbrauchseinsparungen die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten massgeblich. Insbesondere die Diskontrate und auch die Erwartungen in Bezug auf die künftigen Preise sind für jeden Investor stark unterschiedlich. Die auf Basis eines „Standardinvestors“ berechneten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten einer Einzelmassnahme berücksichtigen also nicht die grosse Breite der Entscheidungssituationen aller potenziellen Investoren. Wird für einen „Standardinvestor“ für eine einzelne Massnahme die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten berechnet, so ist die Bandbreite der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für die Gesamtheit aller Investoren immer sehr gross.

## Exkurs 2: Einfluss unterschiedlicher Bedürfnisse (Präferenzen) der Investoren und Unsicherheiten bei den wichtigsten Annahmen – illustriert an einem fiktiven, theoretischen Beispiel

Anhand eines einfachen Beispiels wollen wir den Einfluss unterschiedlicher Bedürfnisse der Investoren und der Unsicherheiten der wichtigsten Annahmen auf die Interpretation der technologischen Vermeidungskosten darstellen. Das nachfolgende Beispiel erhebt nicht den Anspruch der Repräsentativität, sondern soll lediglich helfen, die technologischen Vermeidungskosten „richtig“ zu interpretieren. Es werden die technologischen Vermeidungskosten aus Sicht des Investors berechnet. Da sich die Objekte bzw. Situationen und die Bedürfnisse der Investoren stark unterscheiden, fallen auch die technologischen Vermeidungskosten derselben Massnahmen unterschiedlich aus. Mit dem nachfolgenden Beispiel soll die Verteilung der Vermeidungskosten aus Sicht der einzelnen Investoren aufgezeigt werden.

### *Technologische Vermeidungskosten eines Standardinvestors an einem Standardobjekt*

Wir gehen davon aus, dass die Vermeidungskosten einer Einzelmassnahme (bspw. Fensterersatz) für einen Standardinvestor an einem Standardobjekt 100 CHF/t CO<sub>2</sub> betrage. Der Standardinvestor hätte eine Diskontrate von 3%. Wird diese Einzelmassnahmen auf die Gesamtschweiz hochgerechnet (bspw. unter der Annahme, dass bei x% der Gebäude dieser Fensterersatz gemacht wird), dann würde sich ein CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial von 100 Einheiten CO<sub>2</sub> ergeben. In der nachfolgenden Abbildung 2-5 wird dies mit der roten Fläche dargestellt (100 Einheiten CO<sub>2</sub> können zu 100 CHF/t CO<sub>2</sub> eingespart werden).

### *Verteilung der technologischen Vermeidungskosten bei unterschiedlichen Bedürfnissen der Investoren und Unsicherheiten (Bandbreiten) bei den wichtigsten Annahmen*

Wir rechnen nun damit, dass die einzelnen Investoren unterschiedliche Bedürfnisse (Präferenzen) haben, die sich in unterschiedlichen individuellen Diskonraten manifestieren: Wir gehen davon aus, dass sich die individuellen Diskonraten zwischen 2% und 10% bewegen. Bei der unterstellten Ölpreiserwartung gehen wir von einer Bandbreite von -50% bis +100% aus. Für die Investitionskosten und die erzielbaren Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparung unterstellen wir eine Unsicherheit bzw. Bandbreite von +/- 30%. Für die Nutzungsdauer wurden 40 Jahre unterstellt, die unterstellte Bandbreite liegt hier zwischen 10 und 50 Jahren (eine kürzere Nutzungsdauer kann bspw. auch damit begründet werden, dass neue Technologien auf den Markt kommen, die zu einem vorzeitigen Ersatz führen). Für alle diese Bandbreiten wurde eine uniforme Verteilung unterstellt. Kombinieren wir nun die verschiedenen Bedürfnisse der Investoren und die Unsicherheiten bzw. Bandbreiten bei den Annahmen im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation, so ergibt sich eine Verteilung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten gemäss Abbildung 2-5.

Aus dieser einfachen Beispielberechnung können folgende Schlüsse gezogen werden:

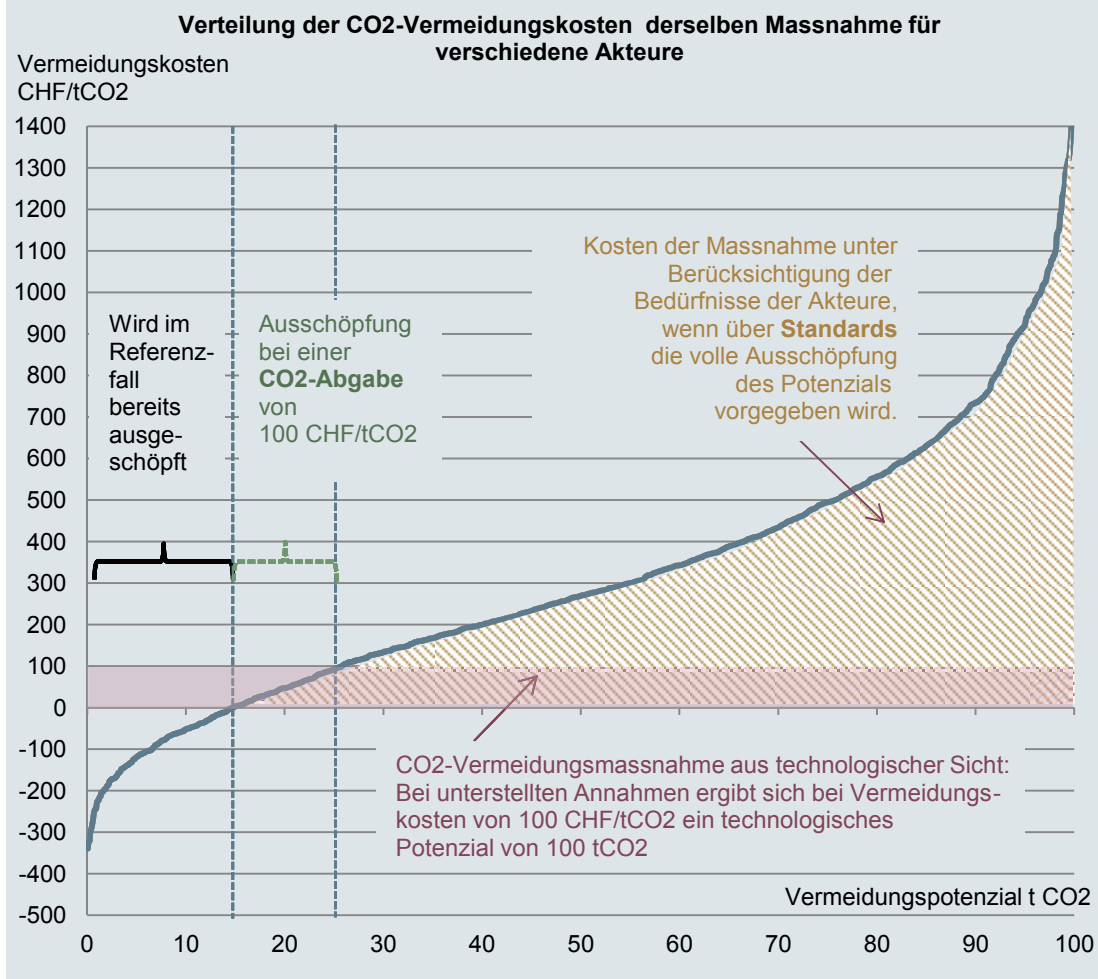
- Werden klar definierte Einzelmassnahmen bei verschiedenen Investoren und in unterschiedlichen Situationen angewendet, ergibt sich eine **riesige Bandbreite** der individuellen Vermeidungskosten. Die am Standardfall durchgerechnete Einzelmassnahme mit Vermeidungskosten von 100 CHF/tCO<sub>2</sub> hat eine Bandbreite von -300 CHF/tCO<sub>2</sub> bis über 1'000 CHF/tCO<sub>2</sub>.
- Obwohl die Vermeidungskosten für den Standardfall 100 CHF/tCO<sub>2</sub> betragen, wird **ein Teil dieses Potenzials bereits im Referenzfall ausgeschöpft** (dies sind bspw. diejenigen Situationen, bei denen der Investor eine tiefe Diskontrate hat und die mit geringeren Investitionskosten oder höheren Energieeinsparungen als im Standardfall unterstellt, durchgeführt werden können). In unserem einfachen Beispiel sind dies immerhin 15% des Potenzials, das bereits im Referenzfall ausgeschöpft würde.
- Liegt allein die Information zum Standardfall vor, so ist man versucht anzunehmen, dass bei einer CO<sub>2</sub>-Abgabe von 100 CHF/ tCO<sub>2</sub> – also einer CO<sub>2</sub>-Abgabe, die den Vermeidungskosten entspricht –

ein Potenzial von 100 Einheiten CO<sub>2</sub> ausgeschöpft werden kann. Die Abbildung zeigt aber, dass bei der unterstellten Verteilung nur gerade 10% dieses gesamten Potenzials ausgeschöpft wird. **Die technologischen Kostenkurven können somit nicht direkt zur Bestimmung der nötigen Höhe einer CO<sub>2</sub>-Abgabe beigezogen werden.**

- Wird an Stelle einer CO<sub>2</sub>-Abgabe ein Standard eingeführt, der dazu führt, dass die Einzelmassnahmen an allen Objekten durchgeführt werden, so kann das Potenzial voll ausgeschöpft werden. Die Kosten für diesen Standard entsprechen unter Anwendung der technologischen Vermeidungskosten von 100 CHF/t CO<sub>2</sub> der roten Fläche in der Abbildung. Die individuell wahrgenommenen Kosten unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bedürfnisse der Investoren und den Unsicherheiten bei Investitionskosten, erzielbaren Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparungen, der Nutzungsdauer und des Ölpreises deutlich höher. In der Abbildung entspricht die gelb schraffierte Fläche diesen individuell wahrgenommenen Kosten. Berücksichtigt man auch noch die weiteren, nicht in den technologischen Vermeidungskosten berücksichtigten Kosten und Effekte, so wird klar, dass **die gesamtwirtschaftlichen Kosten** (approximiert durch die individuell wahrgenommenen Kosten) **nicht direkt aus den technologischen Vermeidungskosten abgeleitet werden können.**

Es muss noch einmal erwähnt werden, dass das obige Beispiel nur dazu dienen soll, den Einfluss unterschiedlicher Präferenzen der Investoren und der Unsicherheit bei den wichtigsten Annahmen grafisch zu erläutern.

**Abbildung 2-5: Fiktives Beispiel für eine mögliche Verteilung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten einer Massnahme (wie bspw. Fensterersatz) für verschiedene Investoren und Entscheidungssituationen**



### 3 Konzeption und Auswahl der Studien

Die Auswahl der zu analysierenden Studien erfolgte durch das BAFU (Übersichtsliste mit wichtigen Studien zu THG-Vermeidungspotenziale und –kosten) und wurde im Laufe der Arbeiten ergänzt. Dies insbesondere mit ausgewählten Studien mit einem Fokus auf gesamtwirtschaftliche Aspekte.

Für die Analyse der ausgewählten Studien unterscheiden wir **drei Ebenen**:

- Studien mit *Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt*: Diese Studien untersuchen eine oder mehrere Einzelmassnahmen zum aktuellen Stand der Technik. Das heisst, sie vergleichen die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und -kosten mit einem heutigen Referenzfall. Teilweise werden die Resultate, jedoch ohne zukünftige Referenzentwicklung, auf die Zukunft hochgerechnet.
- Studien mit *sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung*: Diese Studien analysieren CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und -kosten zusammengefasst für verschiedene Massnahmen eines Sektors / Bereichs oder anhand eines Simulationsmodells (betriebswirtschaftliche oder volkswirtschaftliche Ebene) und unterstellen eine zukünftige Referenzentwicklung. Das heisst, sie vergleichen die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und –kosten mit einem zukünftigen Referenzfall.
- Studien mit *gesamtwirtschaftlichen Modellen*: Diese verwenden meist ein berechenbares Gleichgewichtsmodell und untersuchen die Wirkungen verschiedener Reduktionsmassnahmen bzw. klimapolitische Instrumente in unterschiedlichen Politikszenerarien. Die Referenzfälle entsprechen dabei einer Entwicklung ohne klimapolitische Massnahmen.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die in den ausgewerteten Studien untersuchten Reduktionsmassnahmen den folgenden **Sektoren und Verwendungszwecken** zugeteilt (vgl. Abbildung 3-1). Eine Übersicht über die ausgewählten Studien, gegliedert nach den drei untersuchten Ebenen, sowie nach Sektoren und Verwendungszwecken, liefert Anhang A.

**Abbildung 3-1: Betrachtete Sektoren und Verwendungszwecke**

Sektoren	Verwendungszweck
– Haushalte (HH)	– Wärme / Gebäude (W/G)
– Industrie (I)	– fuel switch (Wechsel des Treib-
– Verkehr (V)	– /Brennstoffs) / Erneuerbare Energien
– Dienstleistungen (DL)	– (FS/EE)
– Landwirtschaft (LW)	– Licht / Kälte / Prozess (L/K/P)
– Elektrizität (E)	

Analysiert und verglichen wurden die Studien in erster Linie anhand folgender **Charakteristika und Parameter**:

- Ziel und analysierte (Einzel-)Massnahmen
- Referenzfälle und -entwicklungen
- Verwendeter Ansatz und Modell
- Zins-/Diskontsätze
- Energiepreise
- Elastizitäten und weitere Modellannahmen
- Potenzialbegriff
- Umgang mit dem technologischen Fortschritt

Anhang B beinhaltet den zusammenfassenden Vergleich von Methodik, Annahmen und Modell der analysierten Studien.

Zusätzlich wurden die wichtigsten **Resultate** für THG-Vermeidungspotenziale und –kosten zusammengefasst. Die tabellarische Zusammenfassung der Resultate der analysierten Studien findet sich in Anhang C.

Für jede analysierte Studie wurde anhand der oben genannten Kriterien ein zusammenfassendes Faktenblatt erstellt (vgl. Anhang E).

## 4 Schweizer THG-Vermeidungskosten und –potenziale im Vergleich

Nach dem in den vorangehenden Kapiteln erläuterten Vorgehen wurden insgesamt 23 Studien im Bereich der THG-Vermeidungspotenziale und -kosten ausgewertet (vgl. Tabelle in Anhang A – Teil 1). In diesem Kapitel werden in einem ersten Schritt die in den Studien angewendete Methodik, die wichtigsten unterstellten Annahmen, sowie die verwendeten Modelle verglichen (Kapitel 4.1). In einem zweiten Schritt werden die Resultate zu den THG-Vermeidungspotenzialen und -kosten diskutiert (Kapitel 4.2). Der Vergleich von Methodik, Annahmen und Modell wird jeweils separat für Studien auf Ebene von Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt (Abschnitt 4.1.1), Studien mit sektoralen Modellen und einer zukünftigen Referenzentwicklung (Abschnitt 4.1.2), sowie Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen (Abschnitt 4.1.3) vorgenommen.

### 4.1 Vergleich der Methodik, Annahmen und Modell

Für die Berechnung der THG-Vermeidungspotenziale und -kosten sind diverse Annahmen hinsichtlich Referenzfall, Nutzungsdauer der Massnahmen, Zinssätzen, Energiepreisen usw. zu unterstellen. Ebenfalls bedeutsam ist der jeweils verwendete Ansatz, resp. das Modell. Diese Aspekte der ausgewerteten Studien werden in diesem Kapitel zusammengefasst beurteilt und in den Tabellen in Anhang B miteinander verglichen (vgl. Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2). Ein wesentlicher Punkt zur Berechnung der THG-Vermeidungskosten sind dabei auch die in diversen Studien zu Grunde liegenden nicht amortisierbaren Mehrkosten, welche wie die Vermeidungskosten stark von den unterstellten Annahmen abhängen (vgl. dazu Kapitel 2).

Zusätzlich zu den in den Tabellen betrachteten Kriterien werden auch Aussagen zum in den Studien verwendeten Potenzialbegriff, zum Umgang mit dem technologischen Fortschritt und zur Verflechtung der ausgewerteten Studien gemacht.

Weiter wird zudem die Verflechtung der analysierten Studien dargestellt. Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Beurteilung und Interpretation der Annahmen und der Methodik.

#### 4.1.1 Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt

Für die Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt gibt Abbildung 7-1 in Anhang B – Teil 1 einen Überblick über die untersuchten Massnahmen, die wichtigsten Annahmen und den verwendeten Ansatz. Konkret werden folgende Kategorien dargestellt: Sektoren / Verwendungszweck, Ziel / Einzelmassnahmen, Referenz / Zeitraum, Modell / Ansatz, Zinssatz, Energiepreise sowie allfällige zusätzliche Bemerkungen. In den nachfolgenden Abschnitten werden die wichtigsten dieser Charakteristika diskutiert.

### a) Betrachtete Sektoren und Verwendungszwecke

Neun der ausgewerteten Studien betrachten THG-Vermeidungspotenziale und –kosten auf der Ebene von Einzelmassnahmen und zum heutigen Zeitpunkt (ohne zukünftige Referenzentwicklung). Untersucht werden Einzelmassnahmen in einem oder mehreren der folgenden Sektoren, resp. bezüglich Verwendungszweck (vgl. Abbildung 4-1). Dabei dominieren eindeutig Studien mit Fokus auf THG-Vermeidungspotenziale und –kosten im Bereich der Wohngebäude.

**Abbildung 4-1: Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt nach Sektoren und Verwendungszweck**

	Sektoren						Verwendungszweck		
	HH	I	V	DL	LW	E	W/G	FS/EE	L/K/P
Econcept, CEPE (2007)									
Econcept, CEPE (2008)									
TEP Energy (2010)									
Econcept, Amstein & Walther, TEP Energy (2011)									
B,S,S. (2008a)									
B,S,S. (2008b)									
Infras (2008)									
ETHZ, IED, De Haan (2007)									
BFE (2007)									
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>-</b>

### b) Referenzfälle und -entwicklungen

Die „Gebäudestudien“ von Econcept, CEPE, Amstein & Walther und TEP Energy betrachten die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und -kosten über die gesamte Lebensdauer einer Massnahme für zwei verschiedene Referenzfälle (keine Erneuerungsmassnahmen / Instandsetzung der Gebäudehülle, ohne oder nur mit geringer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen ('Pinselrenovation')). In den B,S,S.-Studien werden die Massnahmen 2008/9-2012, 2008/9-2020 und über die gesamte Wirkungsdauer betrachtet; es wird jedoch keine zukünftige Referenzentwicklung angenommen. In der Studie von ETHZ, IED, De Haan (2007) werden die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale über die technische Lebensdauer von Neuwagen abgeschätzt. Infras (2008) analysiert die Massnahmen kurzfristig bis 2012 und längerfristig bis 2035 ebenfalls im Vergleich zum heutigen Zustand (Energieverbrauch resp. CO<sub>2</sub>-Emissionen)<sup>8</sup> und in BFE (2007) wird ein Zeitraum von 2000 bis 2020 betrachtet.

<sup>8</sup> Bei Econcept, CEPE (2007), Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen?, Econcept, CEPE (2008), CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Bereich der Gebäudeerneuerung in der Schweiz und Infras (2008), CO<sub>2</sub>-



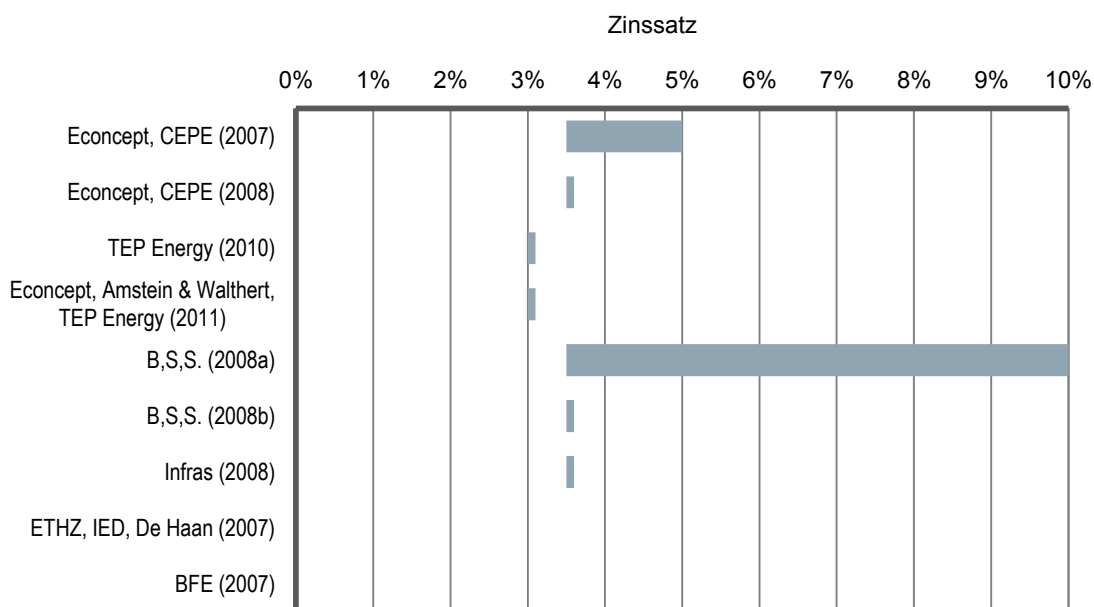
### c) Ansatz und Modell

Bezüglich des verwendeten Modells, bzw. Ansatzes handelt es sich in den meisten Studien um technische Abschätzungen oder Modellrechnungen basierend auf vorhandenen Datengrundlagen, Erfahrungswerten (ex-post Evaluation bereits durchgeführter Massnahmen) oder Mengengerüsten. In TEP Energy (2010) und Econcept, Amstein & Walthert, TEP Energy (2011) werden die Vermeidungskosten empirisch bestimmt (empirische Erhebung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten, ex-post Evaluation, Auswertung der elektronisch verfügbaren Gesuchs- und Abrechnungsdatenbank der Stiftung Klimarappen mit einem Regressionsmodell). Bei der Studie ETHZ, IED, De Haan (2007) wird ein Autokaufsimulationsmodell verwendet, basierend auf dem Jahr 2005.

### d) Zinssätze

Die in den analysierten Studien angenommenen Zinssätze zur Diskontierung bewegen sich alle zwischen 3% und 3.5% (vgl. Abbildung 4-2, Ausnahme: 5% bzw. 10% für die Analyse aus privatwirtschaftlicher Perspektive). In zwei Studien werden keine Angaben zum Zinssatz angegeben.

**Abbildung 4-2: Bandbreiten der in den Studien angenommenen Zinssätze**

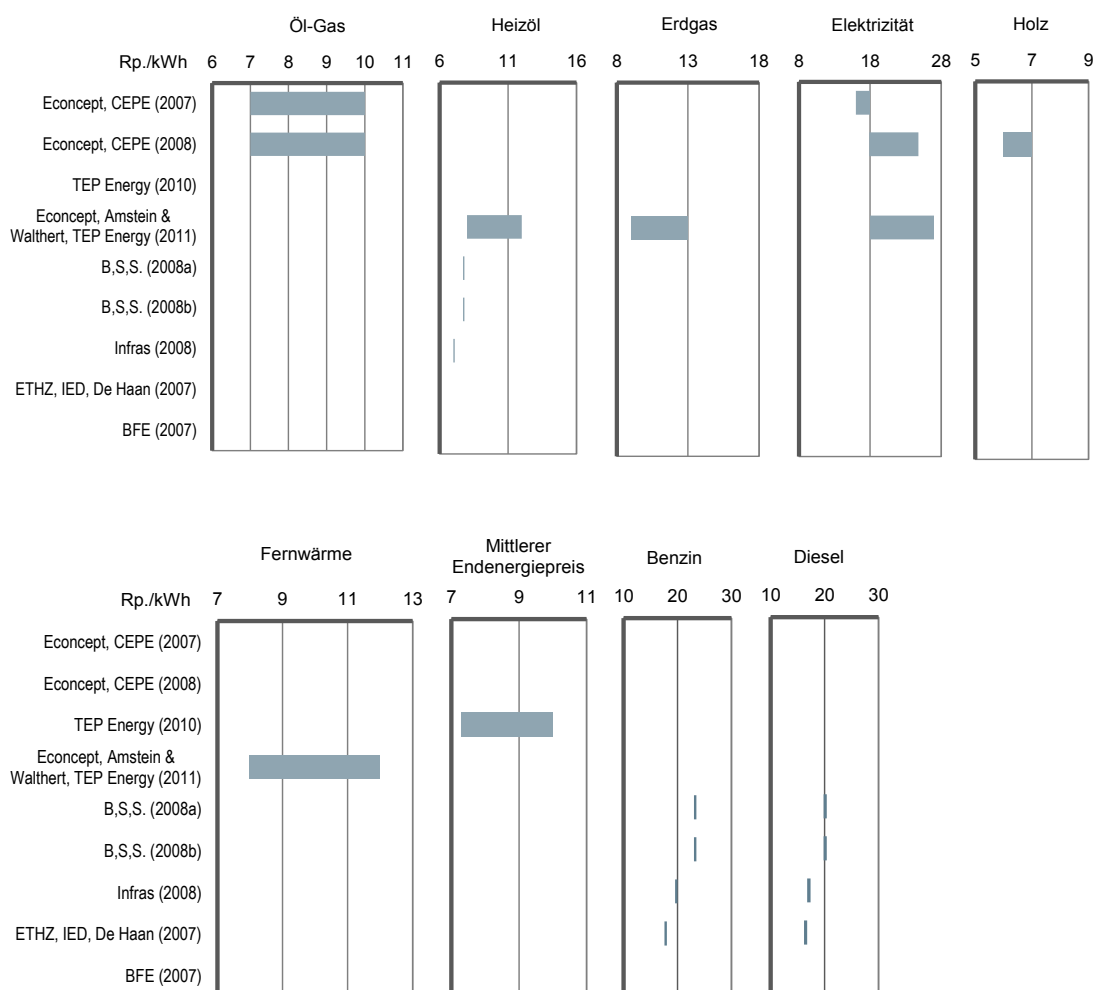


Vermeidungskosten im Inland: Bei Erneuerbaren Energien, Industriellen Prozessen und Mobilität handelt es sich um Parallelprojekte.

### e) Energiepreise

Die angenommenen Energiepreise für verschiedene Energieträger sind in Abbildung 4-3 dargestellt. Sie schwanken für Heizöl zwischen ca. 7 und 12 Rp./kWh, für Elektrizität zwischen ca. 16 und 27 Rp./kWh, für Erdgas zwischen 9 und 13 Rp./kWh und für Holz zwischen 6 und 7 Rp./kWh. In einer Studie wird für den Gebäudebereich ein mittlerer Endenergiepreis von 7.3 Rp./kWh unterstellt (10 Rp./kWh als Sensitivität). Die angenommenen Treibstoffpreise für den Verkehrssektor liegen zwischen 1.53 CHF/l (Benzin) bzw. 1.64 CHF/l (Diesel) und 2 CHF/l (in einer Studie wird für volkswirtschaftliche Betrachtung zusätzlich ein Preis ohne Steuern und Abgaben von 0.88 CHF/l unterstellt).

**Abbildung 4-3: Bandbreiten der angenommenen Energiepreise (Rp./kWh)<sup>9</sup>**



<sup>9</sup> Umrechnung: Diesel: 1l = 9.9 kWh, Benzin: 1l = 8.6 kWh.

**f) Potenzialbegriff und betrachtete Vermeidungspotenziale**

Die „Gebäudestudien“ von Econcept, CEPE, TEP Energy und Amstein & Walthert betrachten die heute bestehenden energetischen Effizienzpotenziale über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen. In den Studien von B,S,S. wird ebenfalls das heute bestehende Potenzial rentabler Massnahmen untersucht.

In Infrac (2008) werden hingegen das technisch-ökologische Potenzial (bis 2035), der jährliche Zubau bis 2012 und das kurzfristige Potenzial bis 2012 (theoretisches Ausbaupotenzial) im Vergleich zum heutigen Zustand ausgewiesen.

Insgesamt wird der Potenzialbegriff in den ausgewerteten Studien unterschiedlich genau definiert und verwendet.

**g) Umgang mit dem technologischen Fortschritt**

In den ausgewerteten „Gebäudestudien“ werden keine spezifischen Angaben zum Umgang mit dem technologischen Fortschritt gemacht. In den Studien von B,S,S. und Infrac wird der technologische Fortschritt vernachlässigt, resp. werden die Massnahmen im Vergleich zur heutigen Technologie betrachtet.

**4.1.2 Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung**

Für die Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung vergleicht Abbildung 7-2 in Anhang B – Teil 2 die wichtigsten Annahmen und die verwendeten Ansätze. Konkret werden folgende Kategorien dargestellt: Sektoren / Verwendungszweck, Thema / Ziel, Referenz / Zeitraum, Modell / Ansatz, Zinssatz, Energiepreise, Elastizitäten sowie allfällige zusätzliche Bemerkungen. In den nachfolgenden Abschnitten werden die wichtigsten dieser Charakteristika der Studien diskutiert.

**a) Betrachtete Sektoren und Verwendungszwecke**

Zwölf der ausgewerteten Studien analysieren CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und -kosten zusammengefasst für verschiedene Massnahmen eines Sektors bzw. Bereichs oder anhand eines Simulationsmodells (betriebswirtschaftliche oder volkswirtschaftliche Ebene) mit zukünftiger Referenzentwicklung. Die Aufgliederung nach den betrachteten Sektoren und Verwendungszwecken präsentiert sich gemäss Abbildung 4-4. Dabei fokussiert die Mehrheit der analysierten Studien auf den Bereich Verkehr.

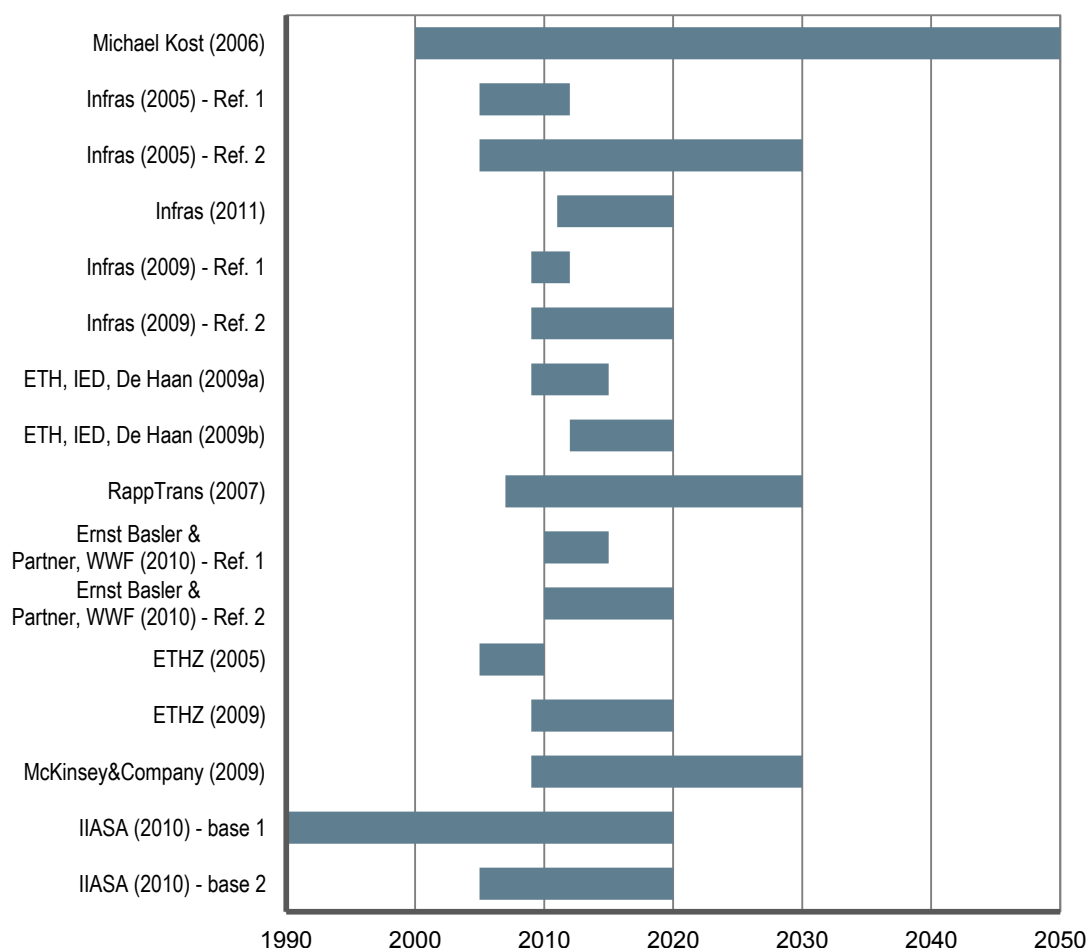
**Abbildung 4-4: Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung nach Sektoren und Verwendungszweck**

	Sektoren						Verwendungszweck		
	HH	I	V	DL	LW	E	W/G	FS/EE	L/K/P
Michael Kost (2006)									
Infras (2005)									
Infras (2011)									
Infras (2009)									
ETH, IED, De Haan (2009a)									
ETH, IED, De Haan (2009b)									
RappTrans (2007)									
Ernst Basler & Partner, WWF (2010)									
ETHZ (2005)									
ETHZ (2009)									
McKinsey&Company (2009)									
IIASA (2010)									
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>2</b>

## b) Referenzfälle und -entwicklungen

Die in den Studien unterstellten Referenzentwicklungen reichen bis 2010, 2012, 2015, 2020, 2030 oder 2050. Auch bezüglich Ausgangsjahr sind die untersuchten Studien verschieden (vgl. Abbildung 4-5).

**Abbildung 4-5: Ausgangsjahr und Referenzentwicklungen**



Die unterstellten Referenzszenarien entsprechen dabei meist einem zukünftigen Zustand ohne zusätzliche CO<sub>2</sub>-Reduktionsmassnahmen für welchen die heutigen Trends in die Zukunft fortgeführt werden. ETHZ, IED, De Haan verwenden in ihren Studien das Szenario I der BFE-Energieperspektiven,<sup>10</sup> Ernst Basler & Partner, WWF (2010) die Referenzentwicklung

<sup>10</sup> Vgl. BFE (2007), Die Energieperspektiven 2035.

gemäss Botschaft des Bundesrates zum CO<sub>2</sub>-Gesetz<sup>11</sup> als ein mögliches Referenzszenario. Der Referenzfall im GAINS-Modell basiert auf den Energievorhersagen des World Energy Outlook 2008 der internationalen Energieagentur IEA.

### c) Ansatz und Modell

Hinsichtlich des verwendeten Modells / Ansatzes wird in neun der ausgewerteten Studien ein Simulationsmodell verwendet:

- BWS (Bauwerk Schweiz)-Simulations-Modell (BWSSiM) zur Analyse von Wohngebäudeparks der Schweiz in Michael Kost (2006).
- Berechnungsmodell SECAN-ET (Sectoral Analysis of economic impacts of emission trading systems) für die Analyse eines Einbezugs des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS in Infras (2009).
- Autokaufsimulationsmodell sim.car (Neuwagenkauf-Simulationsmodell) zur Analyse möglicher Absenkungs- und Zielpfade sowie Abschätzungen der Auswirkungen verschiedener Vollzugmodelle zur Orientierung an die EU im Bereich Emissionen der PW-Neuzulassungen in ETHZ, IED, De Haan (2009a und 2009b).
- Nationales Personenverkehrsmodell NPVM 35 und ein „Tisch-Finanzmodell“ in RappTrans (2007) zum Mobility Pricing.
- Integriertes agrarwirtschaftliches Allokationsmodell S\_INTAGRAL (Umfassendes landwirtschaftliches Angebotsmodell) zur Quantifizierung des technologischen und ökonomischen THG-Reduktionspotenzials im Schweizer Landwirtschaftssektor in ETHZ (2005 und 2009).
- „Fact-based economic model“ in McKinsey&Company (2009).
- GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) model in IIASA (2010).

Drei Studien stützen sich auf technische Schätzungen mittels Elastizitäten oder eine qualitativ-argumentative Ableitung von möglichen realisierbaren Potenzialen (Infras 2009 und 2011, Ernst Basler & Partner, WWF 2010). In Infras (2009 und 2011) werden für die Abschätzungen direkte **Preiselastizitäten** der Nachfrage nach Treibstoffen für den motorisierten Individualverkehr und die Flugbewegungen unterstellt.

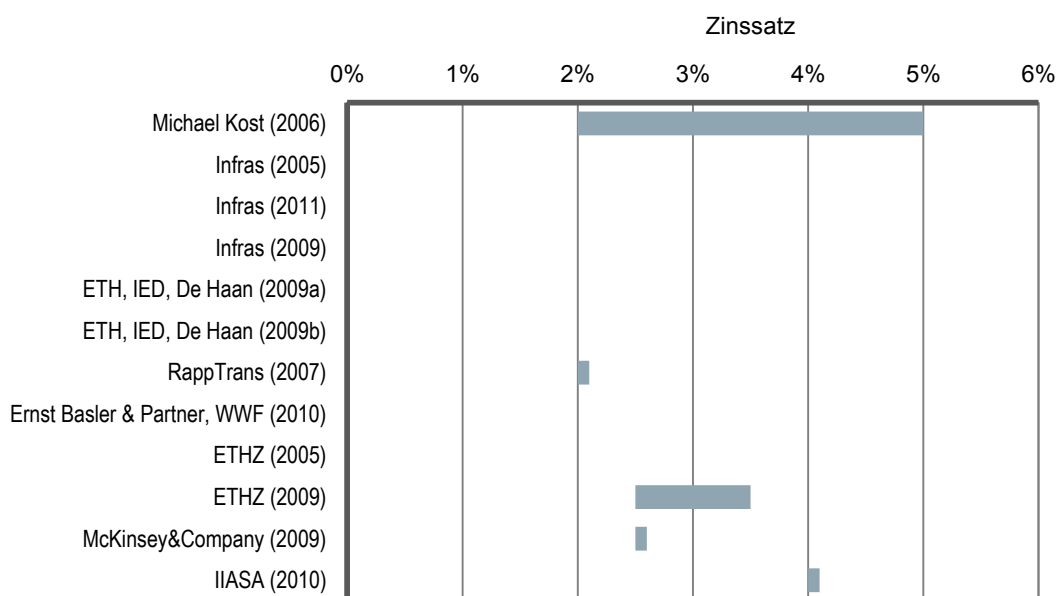
---

<sup>11</sup> Vgl. Botschaft über die Schweizer Klimapolitik nach 2012 (Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes und eidgenössische Volksinitiative «Für ein gesundes Klima»), vom 26. August 2009.

#### d) Zinssätze

Die angenommenen Zinssätze zur Diskontierung liegen zwischen 2% und 4% (in einer Studie mit einer Grundannahme von 2% für die gesamtwirtschaftliche Analyse werden zusätzlich 3.5% für private Investoren und 5% für die Abbildung hoher Gewinnerwartungen unterstellt). In sieben Studien finden sich jedoch keine Angaben zum Zinssatz (vgl. Abbildung 4-6).

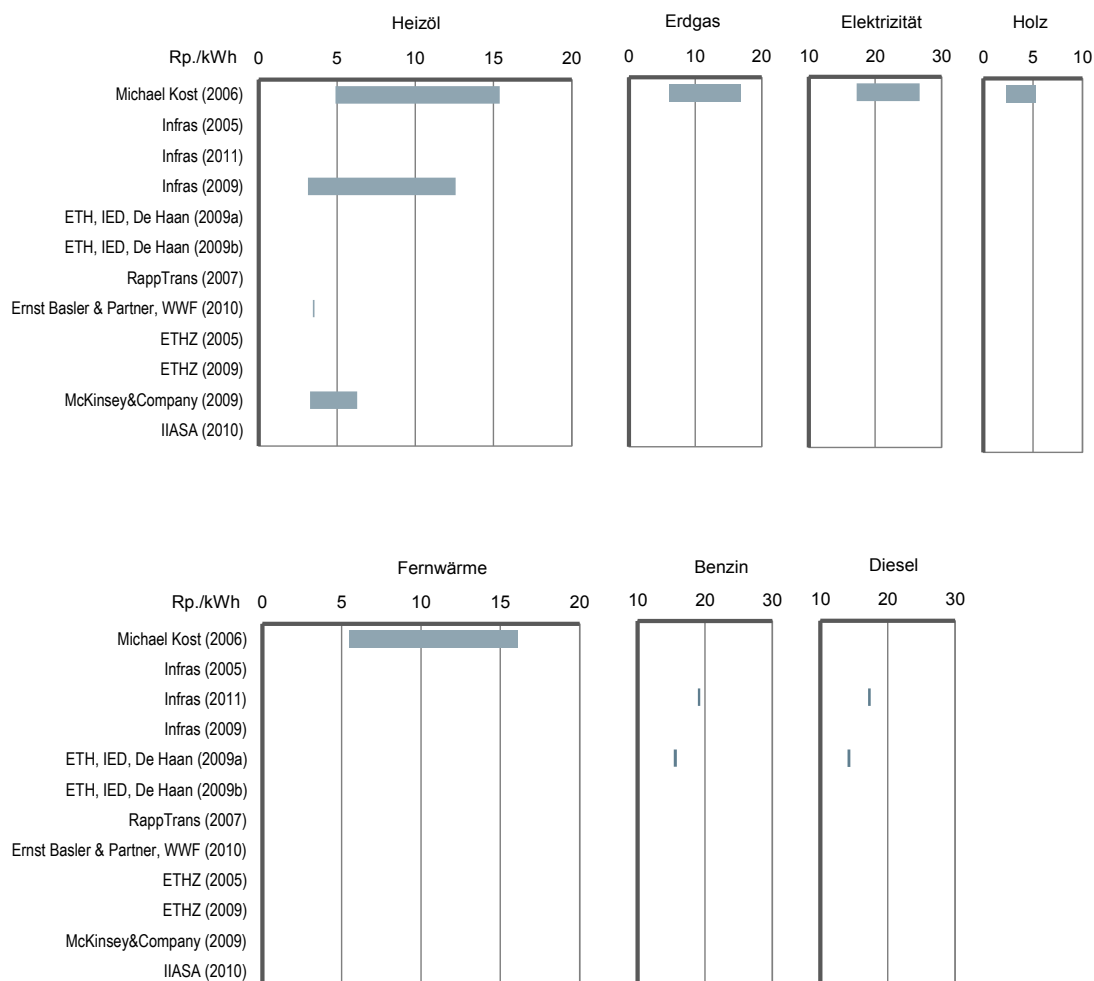
**Abbildung 4-6: Bandbreiten der angenommenen Zinssätze**



#### e) Energiepreise

Die angenommenen Energiepreise für verschiedene Energieträger sind in Abbildung 4-7 dargestellt. Sie bewegen sich für Öl in drei Studien zwischen 50 und 55 USD/barrel (in einem Sensitivitätsszenario von McKinsey&Company (2009) wird ein Ölpreis von 100 USD/barrel unterstellt). In einer anderen Studie bewegen sich die Energiepreise zwischen 4.9 und 15.4 Rp./kWh.<sup>12</sup> Die Treibstoffpreise schwanken zwischen 1.34 und 1.64 CHF/l für Benzin sowie 1.42 und 1.71 CHF/l für Diesel.

<sup>12</sup> Für die graphische Darstellung in Abbildung 4-7 wurden folgende Umrechnungsfaktoren verwendet: 50 USD/Fass = 3.14 Rp./kWh (Wechselkurs: 1 CHF/USD).

**Abbildung 4-7: Bandbreiten der angenommenen Energiepreise (Rp./kWh)<sup>13</sup>****f) Potenzialbegriff und betrachtete Vermeidungspotenziale**

Die drei ausgewerteten Studien von ETHZ, IED und De Haan im Verkehrsbereich fokussieren auf das geschätzte jährliche Reduktionspotenzial, resp. auf das maximale jährliche technische CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial. Auch in McKinsey&Company (2009) wird das maximal technische THG-Reduktionspotenzial betrachtet (unter der Annahme, dass die Massnahme 2030 vollständig implementiert bzw. ausgeschöpft wird; das wirtschaftliche Potenzial wird nicht berücksichtigt). Ernst Basler & Partner, WWF (2010) hingegen unterscheiden zwischen dem realistischen Reduktionspotenzial und dem technisch realisierbaren Potenzial.

<sup>13</sup> Umrechnung: Diesel: 1l = 9.9 kWh, Benzin: 1l = 8.6 kWh.



In Infras (2005) zum CO<sub>2</sub>-Potenzial des Langsamverkehrs wird klar zwischen technisch(-theoretischem)<sup>14</sup> und realisierbarem<sup>15</sup> Potenzial unterschieden. In Infras (2011) wurde der Lenkungseffekt aufgrund der Einführung einer CO<sub>2</sub>-Abgabe untersucht und die daraus resultierende Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgewiesen.

Die Berechnungen im GAINS-Modell von IIASA (2010) beziehen sich auf das Vermeidungspotenzial, das 2020 durch die Anwendung von verfügbaren Massnahmen erreicht werden kann (maximale Anwendbarkeit im Jahr 2020).

Die ETH-Studie zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase untersucht das technologische sowie das ökonomische THG-Reduktionspotenzial. Michael Kost (2006) konzentriert sich auf das langfristige Reduktionspotenzial bezüglich Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Wohngebäudepark der Schweiz bis 2050.<sup>16</sup>

Insgesamt wird der Potenzialbegriff auch in den ausgewerteten Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung unterschiedlich genau definiert und verwendet. In vier Studien werden keine konkreten Aussagen zum analysierten Potenzial gemacht.

#### **g) Umgang mit dem technologischen Fortschritt**

In Infras (2009) zum Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS wird eine Verbesserung der Flotteneffizienz und somit des CO<sub>2</sub>-Ausstosses bis 2012, resp. 2020, unterstellt (Sonst wird die Frage zum Umgang mit dem technologischen Fortschritt nur in den Interviews zur Einschätzung wichtiger Akteure thematisiert). Berücksichtigt wird der technologische Fortschritt in ETHZ, IED, De Haan (2007) für die CO<sub>2</sub>-Emissionswerte und CO<sub>2</sub>-pro-Kilogramm-Leergewicht-Effizienzkennzahlen der Fahrzeuge. In ETHZ, IED, De Haan (2009a, 2009b) wird eine autonome technische Entwicklung unterstellt (Technisches Innovationspotenzial: jährliche Innovation 1996-2007 (CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion, Leergewichtsänderung und Änderung der relativen Motorenleistung), welche die CO<sub>2</sub>-Emissionen um jährlich -2.4% absenken könnte, d.h. die einzelnen Neuwagenmodelle werden energieeffizienter, ohne dass sich der reale Listenpreis ändert). Auch in IIASA (2010) beinhaltet das Baseline-Szenario des GAINS-Modells autonomischen technologischen Fortschritt. Michael Kost (2006) berücksichtigt Kostendegressionen für verschiedene Varianten (Kostenreduktionen aufgrund von Lerneffekten und grösseren Stückzahlen). In Ernst Basler & Partner, WWF (2010) wird eine Unterscheidung zwischen erprobten (auf bestehenden Methoden), weiterführenden (Voraussetzung mehr Mittel) und neuen Ansätzen (erfordern neuartige Methoden) vorgenommen.

---

<sup>14</sup> Theoretisches Substitutionspotenzial von MIV-Fahrten auf den LV unter Berücksichtigung von äusseren Hemmnissen wie Wetter, Topografie, Siedlungsdichte, Verkehrszweck.

<sup>15</sup> Berücksichtigung von zusätzlich wirkenden Hemmnisfaktoren wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und individueller Natur, sowie von (verkehrs-) politischen Rahmenbedingungen.

<sup>16</sup> Ob dabei das technische oder das ökonomische Potenzial untersucht wird, wird nicht weiter spezifiziert.

Im Bereich der Landwirtschaft gilt in ETHZ (2009) für die Abschätzung von Vermeidungskosten und Reduktionspotenzial der aktuelle Stand der Technik als Grundlage. Dasselbe gilt auch für McKinsey&Company (2009), wobei dort laufende Kosteneinsparungen bei bereits existierenden Massnahmen berücksichtigt werden.

In fünf Studien finden sich keine konkreten Angaben in Bezug auf den Umgang mit dem technologischen Fortschritt.

#### 4.1.3 Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen

Zusätzlich zu den Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt (Abschnitt 4.1.1) und Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung (Abschnitt 4.1.2) wurden zwei weitere Studien ausgewertet, in welchen gesamtwirtschaftliche Modelle verwendet werden:

- Ecoplan (2009), Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik. Analyse mit einem dynamischen Gleichgewichtsmodell für die Schweiz.
- EPFL École Polytechnique Fédérale de Lausanne (2009), Assessment of the economic impacts of the revision of the Swiss CO<sub>2</sub> law with a hybrid model.

In diesen beiden Studien wird je ein unterschiedliches **dynamisches Gleichgewichtsmodell** verwendet. Dafür werden verschiedene **Politikszenerarien** hinsichtlich zukünftiger Massnahmen im Klimabereich konstruiert, welche jeweils die THG-Vermeidungspotenziale vorgeben. Das heisst, im Unterschied zu den vorherigen Studien, wird hier nicht die Ausgestaltung der Massnahmen vorgegeben (z.B. Grenzwerte für energetische Standarderneuerung), sondern das Ausmass der Massnahmen ergibt sich durch die Vorgabe von Vermeidungspotenzialen. Die **Referenzentwicklung** geht in beiden Studien bis 2020 und wird als Entwicklung ohne klimapolitische Massnahmen definiert.

Bezüglich **Sektoren und Verwendungszweck** fokussiert die Studie von EPFL (2009) vorwiegend auf die Sektoren Haushalte und Verkehr sowie die Verwendungszwecke Wärme / Gebäude und fuel switch / Erneuerbare Energien, während Ecoplan (2009) alle Sektoren und Verwendungszwecke mit einschliesst.

Es werden folgende **Reduktionsmassnahmen** bzw. klimapolitische Instrumente untersucht (dieselben in beiden Studien):

- Emissionshandelssystem (ETS) für die energieintensiven Sektoren
- Kompensationspflicht bei Treibstoffen: Die Importeure von Treibstoffen müssen zertifizierte Emissionsreduktionen (CER) zukaufen
- Steuer auf Brennstoffe (CO<sub>2</sub>-Abgabe)
- Gebäudeprogramm
- Emissionsvorschriften für Neuwagen

Beide Modelle rechnen mit endogenen realen Zinssätzen, welche durch das Gleichgewicht zwischen Sparen und Investieren bestimmt werden (die Zinssätze verbinden die verschiedenen Zeitperioden im Modell).

Im Modell von Ecoplan (2009) wird ein **Ölpreis** von 55 USD/Fass angenommen, in demjenigen von EPFL (2009) ein Ölpreis von 50 USD/Fass. Beide Modelle arbeiten mit **exogenem technologischen Fortschritt**.

Da in Studien mit gesamtwirtschaftlichem Fokus jeweils unterschiedliche Gleichgewichtsmodelle angewendet werden (dynamisch vs. statisch, unterschiedlicher Umgang mit technologischem Fortschritt, unterschiedliche Politikszenerarien etc.) gestaltet sich einerseits ein Vergleich der gesamtwirtschaftlichen Studien untereinander als schwierig. Andererseits sind die Annahmen und Resultate dieser Studien auch **kaum vergleichbar** mit denjenigen aus Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt und Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung. Der Grund dafür liegt darin, dass die gesamtwirtschaftlichen Modelle meistens keine Vermeidungskostenkurven darstellen. Deshalb wird an dieser Stelle darauf verzichtet, vertiefter auf Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen einzugehen. Für Interessierte finden sich jedoch Literaturangaben zu weiteren Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen in Anhang A.

#### 4.1.4 Verflechtung der Studien

Zwischen den ausgewerteten Studien existieren verschiedene Verflechtungen, resp. einzelne Studien verweisen und bauen auf andere frühere Studien auf:

- Im Bereich Wärme / Gebäude wurden die Erkenntnisse und Annahmen von Econcept, CEPE (2007) bis Econcept, Amstein & Walthert, TEP Energy (2011) laufend weiterentwickelt.
- Zusätzlich war die Studie von Infrac (2008) ein Parallelprojekt von Econcept, CEPE (2007) und Econcept, CEPE (2008).
- Von Infrac wurden insgesamt vier Studien ausgewertet, welche insbesondere hinsichtlich der Annahmen im Verkehrsbereich aufeinander aufbauen.
- Zusätzlich bauen auch die Studien von ETHZ, IED, De Haan im Verkehrsbereich aufeinander auf (insgesamt drei ausgewertete Studien) und Erkenntnisse daraus werden in Infrac (2011) verwendet.
- Schliesslich verweisen diverse Studien auf die Arbeiten von McKinsey&Company im Bereich der CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und -kosten.

#### 4.1.5 Zusammenfassung

##### Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt

- *Referenzfall/Referenzentwicklung*: In den Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt spielt die Wahl des jeweiligen Referenzfalls eine entscheidende Rolle. Das

heisst, mit welchem Zustand werden die Reduktionsmassnahmen verglichen (z.B. keine Erneuerungsmassnahmen (Ist-Zustand) vs. nicht-energetische Instandsetzung). Die Wahl des Referenzfalls hat einen entscheidenden Einfluss auf die Emissionseinsparungen und damit auf die Vermeidungskosten. Die Studien beziehen sich bei ihren Vermeidungspotenzialen und –kosten auf einen bestimmten aktuellen oder einen künftigen Zeitpunkt. Bei den Studien, die sich auf einen künftigen Zeitpunkt beziehen, sind die bereits in der Referenzentwicklung umgesetzten Massnahmen meist nicht nachvollziehbar dokumentiert.

- *Technologische Entwicklung:* Die Studien basieren meist auf vorhandenen Datengrundlagen, Erfahrungswerten (ex-post Evaluation bereits durchgeführter Massnahmen). Dies gilt auch für die Studien, die sich auf einen künftigen Zeitpunkt beziehen. Der Einfluss der technologischen Entwicklung – sofern sie denn unterstellt wurde – wird in der Regel nicht ausgewiesen.
- *Zinssätze:* Die gewählten Zinssätze zur Diskontierung bewegen sich alle zwischen 3% und 3.5%. Die Berechnungen der Vermeidungskosten werden also meist mit der sozialen Diskontrate durchgeführt. Nur vereinzelt werden auch Rechnungen mit höheren (privaten) Diskonraten durchgeführt.
- *Energiepreise:* Bezüglich der angenommenen Energiepreise zeigen sich jedoch grössere Bandbreiten (so z.B. steigende Preise für Heizöl in neueren Studien). Die Annahmen zu den Energiepreisen sind stark vom momentanen Erfahrungshorizont geprägt, in dem die Studien erstellt werden.
- *Unterschiedliche Potenzialbegriffe:* Betrachten meist das heutige Potenzial zur THG-Vermeidung. Insgesamt wird der Potenzialbegriff in den ausgewerteten Studien unterschiedlich genau definiert und verwendet.
- *Unsicherheiten:* Allgemein kann festgehalten werden, dass die Studien – auch wenn Sie mit Bandbreiten für die Investitionskosten oder CO<sub>2</sub>-, Energieeinsparungen rechnen – den Unsicherheiten zu wenig oder gar nicht Rechnung tragen.

### **Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung**

- *Mittel- bis langfristiger Zeithorizont:* Obwohl die unterstellten Referenzszenarien meist einem zukünftigen Zustand ohne zusätzliche CO<sub>2</sub>-Reduktionsmassnahmen entsprechen, zeigt sich eine beträchtliche Vielfalt bezüglich des untersuchten Zeithorizonts (1990 bis 2050). Eine gewisse Konzentration ergibt sich jedoch für einen Zeithorizont bis 2020.
- *Modellvielfalt:* Je nach Fragestellung wird jeweils ein spezielles sektorales Modell verwendet. Ein allgemeines Modell zur Berechnung der THG-Vermeidungspotenziale und –kosten existiert nicht. Die Modelle werden jeweils auf die Fragestellung hin konzipiert.
- *Zinssätze:* Die Bandbreite der angenommenen Zinssätze zur Diskontierung ist ein wenig grösser als bei den Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt und liegt zwischen 2% und 4%. Auch hier werden somit in erster Linie soziale Diskonraten unterstellt.
- *Unterschiedliche Potenzialbegriffe:* Bezüglich der untersuchten Potenziale zeigt sich in den analysierten Studien eine beträchtliche Vielfalt. Der Potenzialbegriff wird auch in den

ausgewerteten Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung insgesamt unterschiedlich genau definiert und verwendet.

### Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen

- *Gesamtwirtschaftlicher Fokus:* Mit gesamtwirtschaftlichen Modellen werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von vorgegebenen Massnahmen untersucht. Der Fokus ist hier also ein anderer als bei den Studien zu den Einzelmassnahmen oder den sektoralen Modellen (vgl. dazu auch die Ausführungen im Kapitel 2).

## 4.2 Diskussion der Resultate

Eine zusammenfassende Übersicht über die Resultate der untersuchten Studien geben die Tabellen in Anhang C:

- Abbildung 8-1 und Abbildung 8-2 für die Studien auf Ebene Einzelmassnahmen (separat für die jeweils betrachteten Bereiche Wärme / Gebäude und fuel switch / Erneuerbare Energien (Sektoren Haushalte, Industrie, Dienstleistungen) sowie den Sektor Verkehr)
- Abbildung 8-3 für die Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung (für die Bereiche bzw. Sektoren Wärme / Gebäude (Haushalte), Verkehr, Landwirtschaft, Elektrizität und Industrie)<sup>17</sup>
- und Abbildung 8-4 für die Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen.

Ein umfassender Vergleich der Resultate der analysierten Studien gestaltet sich aus folgenden Gründen als schwierig:

- Die untersuchten Massnahmen und Szenarien in den Studien sind sehr unterschiedlich.
- Die Wirkungen der Massnahmen beziehen sich jeweils auf einen oder mehrere Referenzfälle und Zeitpunkte, welche sich in den untersuchten Studien ebenfalls unterscheiden.
- Die in den Studien zu Grunde liegenden allgemeinen Annahmen sind verschieden.

Aus diesen Gründen gestaltet sich ein Vergleich der Resultate der analysierten Studien als schwierig, weshalb wir uns hier auf einen Vergleich ausgewählter Aspekte resp. Massnahmen aus einzelnen Studien beschränken. Auf diese Weise kann zumindest eine qualitative Beschreibung vorgenommen und ein Einblick in die relativ grossen Bandbreiten der in den Studien berechneten Resultate gegeben werden. Es gilt jedoch festzuhalten, dass es sich beim Vergleich nicht immer um exakt dieselben Resultate hinsichtlich Einzelmassnahme, Referenzfall und weiteren Annahmen handelt. So können sich die Bandbreiten z.B. auch durch unterschiedliche Annahmen bezüglich der Entwicklung der Energiepreise ergeben (z.B. zwei Szenarien in einer Studie).

---

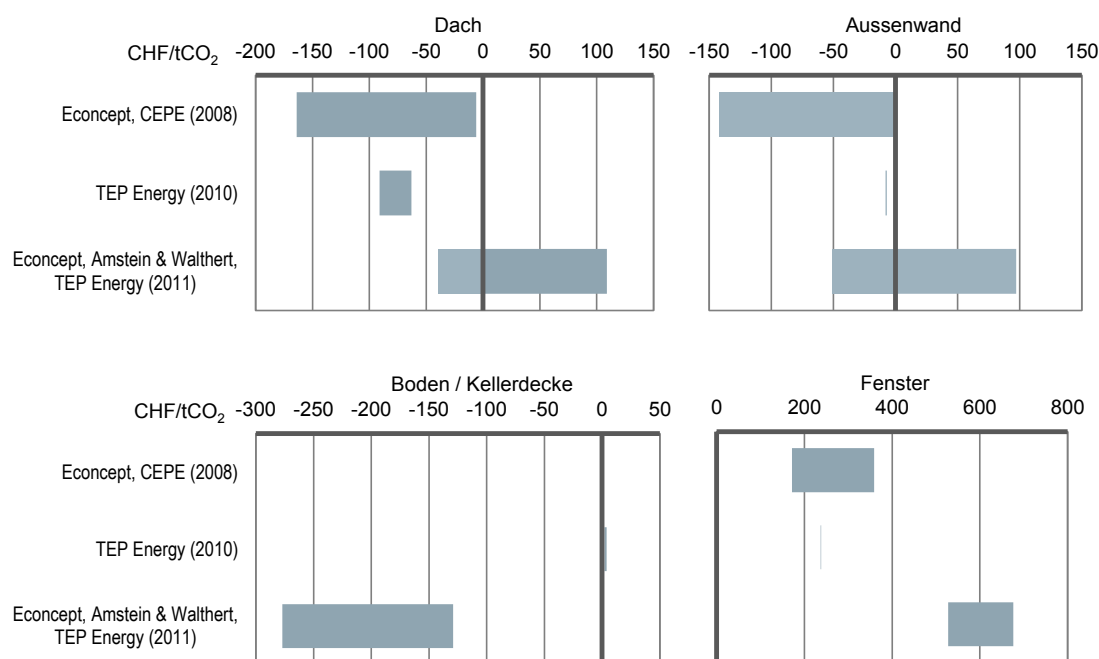
<sup>17</sup> Die Studie McKinsey&Company (2009) (unterster Eintrag in der Tabelle) präsentiert Resultate für alle Sektoren und Verwendungszwecke.

Vergleichen lassen sich die Resultate für CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Massnahmen an einzelnen Bauteilen sowie von Massnahmen an der Gebäudehülle (Sektor Haushalte, Bereich Wärme / Gebäude). Zusätzlich machen wir weiter unten einen Vergleich von CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für Massnahmen an der Gebäudehülle im Vergleich zu unterschiedlichen Referenzfällen. Für einen Vergleich der Resultate für die Sektoren Industrie, Dienstleistungen, Verkehr, Landwirtschaft und Elektrizität und die anderen Verwendungszwecke sind die in den Studien untersuchten Massnahmen jedoch zu unterschiedlich, resp. sind nicht genügend Angaben vorhanden.

### Vergleich der Resultate für Einzelmassnahmen an der Gebäudehülle

Abbildung 4-8 zeigt einen Vergleich der Resultate für die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Massnahmen an einzelnen Bauteilen aus den sogenannten „Gebäudestudien“ von Econcept, CEPE (2008), TEP Energy (2010) und Econcept, Amstein & Walther, TEP Energy (2011). Präsentiert werden die Bandbreiten der Resultate für die Bauteile Dach, Aussenwand, Boden / Kellerdecke und Fenster, jeweils im Vergleich zum Referenzfall „Nicht-energetische Instandsetzung“. Die berechneten Bandbreiten für die Vermeidungskosten sind gross und variieren beträchtlich.

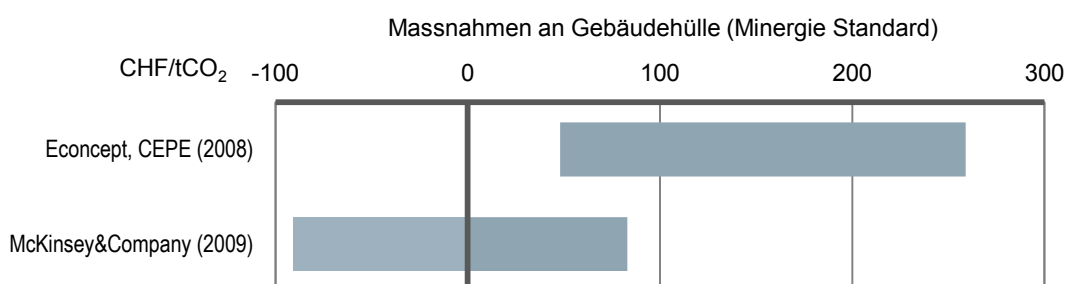
**Abbildung 4-8: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (CHF/tCO<sub>2</sub>) für Massnahmen an einzelnen Bauteilen aus den „Gebäudestudien“ im Vergleich zum Referenzfall „Nicht-energetische Instandsetzung“**



### Vergleich der Resultate für ganze Massnahmenpakete an der Gebäudehülle

Ein Vergleich Resultate für CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von Massnahmen an der Gebäudehülle aus den Studien von Econcept, CEPE (2008) und McKinsey&Company (2009) ist in Abbildung 4-9 dargestellt. Die untersuchten Massnahmen entsprechen dabei dem Minergie-Standard und werden im Vergleich zum Referenzfall „Ist-Zustand“ gegenübergestellt, d.h. die gesamten Kosten der Erneuerung werden den erzielbaren Energiekosteneinsparungen gegenübergestellt. Auch hier fallen die Bandbreiten für die berechneten Vermeidungskosten im Vergleich zum Referenzfall „Ist-Zustand“ gross aus.

**Abbildung 4-9: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (CHF/tCO<sub>2</sub>) für Massnahmen an der Gebäudehülle (Minergie-Standard) im Vergleich zu einem Referenzzustand „Ist-Zustand“**



### Auswirkungen des unterstellten Referenzfalls

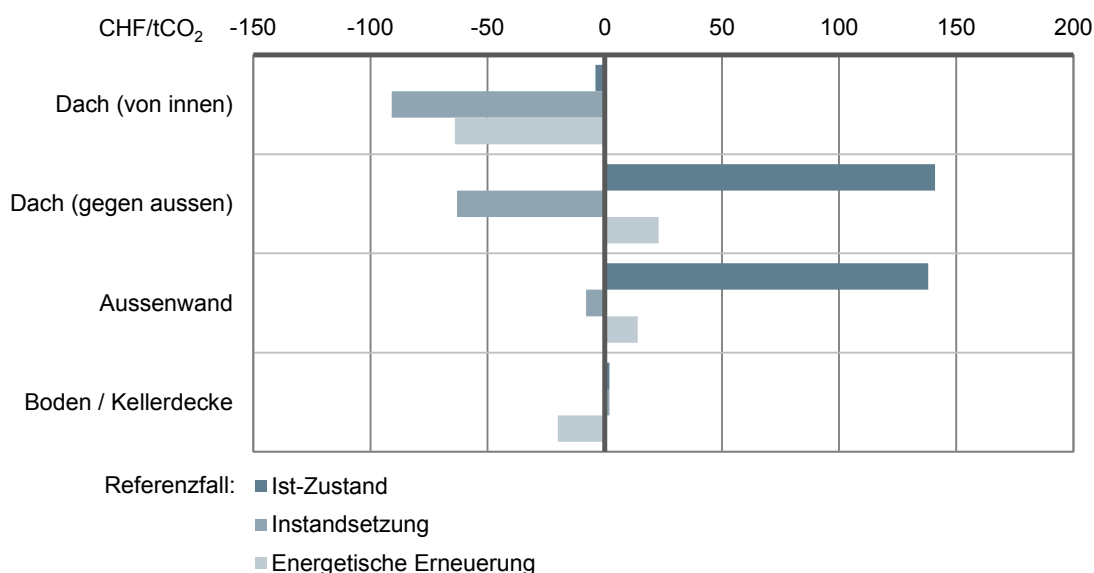
Abbildung 4-10 zeigt die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (CHF/tCO<sub>2</sub>) von Massnahmen an der Gebäudehülle gemäss Grundförderung des Förderprogramms des Gebäudeprogramms im Vergleich zu drei verschiedenen Referenzfällen aus TEP Energy (2010):

- **Referenzfall Ist-Zustand:** Die gesamten Kosten der Erneuerung werden den erzielbaren Energiekosteneinsparungen gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die Massnahmen im Vergleich zum Ist-Zustand eines Gebäudes generell mit positiven Vermeidungskosten verbunden sind und somit nur im Falle einer so oder so anstehenden Erneuerung der Gebäudehülle wirtschaftlich sind. Anders ausgedrückt rentiert sich eine vorgezogene energetische Erneuerung gemäss Grundförderung in den meisten Fällen nicht.
- **Referenzfall Instandsetzung (im Vergleich zur Pinselrenovation):** Nur die zusätzlichen – über die Instandsetzung hinausgehenden – Kosten der Energieeffizienzmassnahmen werden den gesamten erzielbaren Energieeinsparungen gegenübergestellt.
- **Referenzfall energetische Erneuerung:** Nur die zusätzlichen – über die gesetzlichen Anforderungen einer energetischen Erneuerung hinausgehenden – Kosten der Energieeffizienzmassnahmen werden zusätzlich durch die Energieeffizienzmassnahme erzielbaren Energieeinsparungen gegenübergestellt.

Die Unterschiede in den Vermeidungskosten für die verschiedenen Referenzfälle sind beträchtlich. Der Zeitpunkt einer energetischen Gebäudesanierung bzw. einer sowieso anste-

henden Instandsetzung spielt somit für die Berechnung der Vermeidungskosten eine entscheidende Rolle. Weiter spielt auch eine wesentliche Rolle, ob man nur die zusätzlichen über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehenden Massnahmen betrachtet (also im Vergleich zum Referenzfall energetische Erneuerung) oder die gesamten Kosten der energetischen Erneuerung einrechnet. Hier geht es also um die Frage, ob die Vermeidungskosten der Standards mitberücksichtigt werden oder nicht. Je nach Fragestellung ist der Referenzfall unterschiedlich zu wählen.

**Abbildung 4-10: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (CHF/tCO<sub>2</sub>) von Massnahmen an der Gebäudehülle gemäss Grundförderung des Förderprogramms des Gebäudeprogramms im Vergleich zu drei verschiedenen Referenzfällen**



Ist-Zustand: Ohne Erneuerungsmassnahmen

Instandsetzung: Nicht-energetische Instandsetzung der Gebäudehülle

Energetische Erneuerung: Gemäss gesetzlicher Anforderung (2006)

Quelle: TEP Energy (2010), Energetische Gebäudeerneuerungen - Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten, S. 158.

Die „Gebäudestudien“ liefern Vermeidungskosten im Vergleich zu verschiedenen Referenzzuständen. Die Frage, was ein beschleunigter Sanierungsrhythmus (bspw. mittels Vorziehen von sowieso künftig anstehenden Instandsetzungsmassnahmen) wurde noch nicht untersucht.

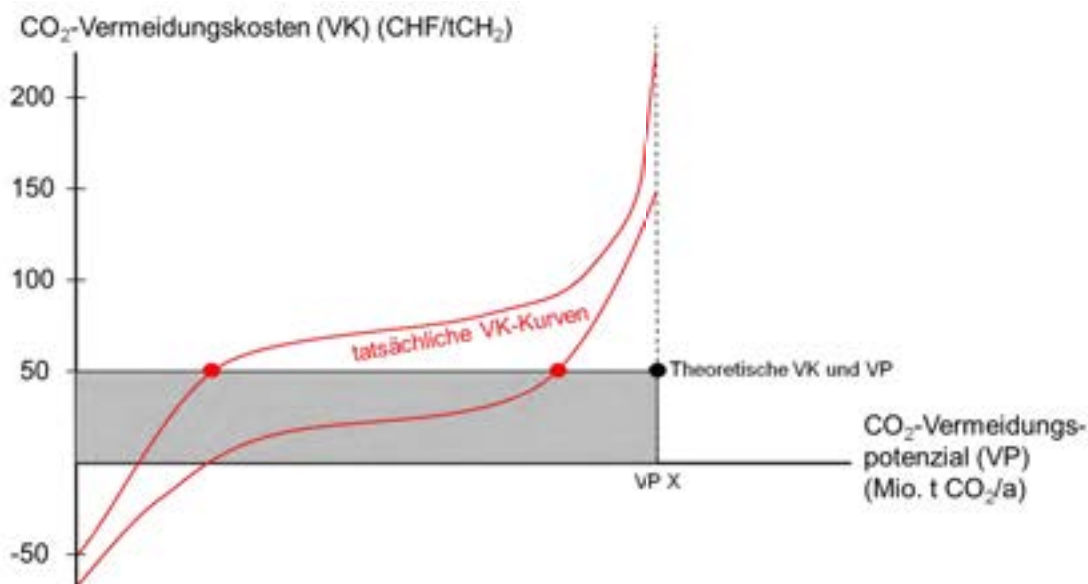


## Folgerungen

Trotz des leider nur beschränkt möglichen Vergleichs der Resultate der analysierten Studien lassen sich jedoch einige Schlussfolgerungen ziehen.

- **Grosse Bandbreiten:** Die Studien weisen bezüglich den Resultaten teilweise grosse Bandbreiten auf. Diese für einen Standardinvestor und an Modell- bzw. Standardgebäuden berechneten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten streuen aber noch deutlich mehr, als in den Studien dargestellt. Die ausgewiesenen Werte geben lediglich einen Anhaltspunkt, wie hoch die Vermeidungspotenziale und -kosten für Standardannahmen wirklich ausfallen werden. Diesen Fall illustriert Abbildung 4-11: Im dargestellten Beispiel belaufen sich die modellhaft berechneten Vermeidungskosten für ein Vermeidungspotenzial VP X auf 50 CHF/tCO<sub>2</sub>. Der Verlauf der tatsächlichen Vermeidungskostenkurve ist jedoch weiter nicht bekannt. Er ist abhängig von den Präferenzen der Investoren, den Unsicherheiten in Bezug auf die Investitionskosten, den erzielbaren Energieeinsparungen und den erwarteten Energiepreisen. Die tatsächlichen Vermeidungskosten streuen deutlich stärker, als dies die Berechnung von Einzelmassnahmen vorgibt. Dies ist insbesondere bei der Konzeption von Massnahmen zur Hebung des Vermeidungspotenzials zu beachten: Würde bspw. eine CO<sub>2</sub>-Abgabe in der Höhe von 50 CHF/t CO<sub>2</sub> als Massnahme vorgeschlagen, so würde das Potenzial dieser Einzelmassnahme – je nach Lage der tatsächlichen Vermeidungskostenkurve – nur zu einem geringen oder beträchtlichen Teil ausgeschöpft (vgl. rote Punkte in der Abbildung).

**Abbildung 4-11: Fiktives Beispiel: Theoretisch berechnete CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und -kosten vs. tatsächliche Vermeidungskostenkurven**



- **Referenzfall:** Weiter zeigt sich deutlich die Wichtigkeit der Wahl des jeweiligen Referenzfalls für Reduktionsmassnahmen. Diese kann wie gesehen zu einer grossen Diskrepanz

in den Resultaten führen (vgl. die Ausführungen weiter oben). Daneben sind auch weitere Annahmen, z.B. bezüglich der Zinssätze, Energiepreise, etc., verantwortlich für die grossen Bandbreiten in den Resultaten für die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und –kosten.

## 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Nachfolgend fassen wir die wichtigsten Erkenntnisse aus der Analyse der vorliegenden Studien zu den THG/CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und -potenziale zusammen. Darauf aufbauend zeigen wir, für welche Zwecke die Vermeidungskostenberechnung von Einzelmassnahmen, sektoralen Modellen und gesamtwirtschaftlichen Modellen einzusetzen sind. Das Kapitel wird abgeschlossen mit Empfehlungen und einem Vorschlag zum weiteren Vorgehen.

### a) Übersicht über die Ansätze zur Berechnung von Vermeidungskosten

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Ansätze zur Berechnung von THG-Vermeidungskosten. Wichtig ist, dass die jeweiligen Ansätze für unterschiedliche Fragestellungen eingesetzt werden. Es werden also unterschiedliche Ziele verfolgt: Während bei den Einzelmassnahmen die Abschätzung der Kosten und Potenziale für einzelne Technologien ohne Berücksichtigung von Verflechtungen mit anderen Massnahmen und gesamtwirtschaftlichen Rückkoppelungen im Vordergrund steht, fokussieren die gesamtwirtschaftlichen Modelle auf die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von energie- bzw. klimapolitischen Massnahmenpaketen. In den Kosten und Potenzialen von Einzelmassnahmen ist eine ganze Reihe von Effekten nicht berücksichtigt. Ein Rückschluss von den Einzelmassnahmen auf gesamtwirtschaftliche Auswirkungen ist daher nicht möglich. Die gesamtwirtschaftlichen Modelle bieten dagegen nicht ausreichend Detailinformationen zur Konzeption von energie- und klimapolitischen Massnahmen. Seit etwa 10 Jahren werden – je nach Fragestellung – auch gekoppelte Modelle eingesetzt: Dabei werden gesamtwirtschaftliche Modelle in Teilbereichen mit einem bottom-up-Modell ergänzt.

**Abbildung 5-1: Übersicht über die Ansätze zur Berechnung von Vermeidungskosten**

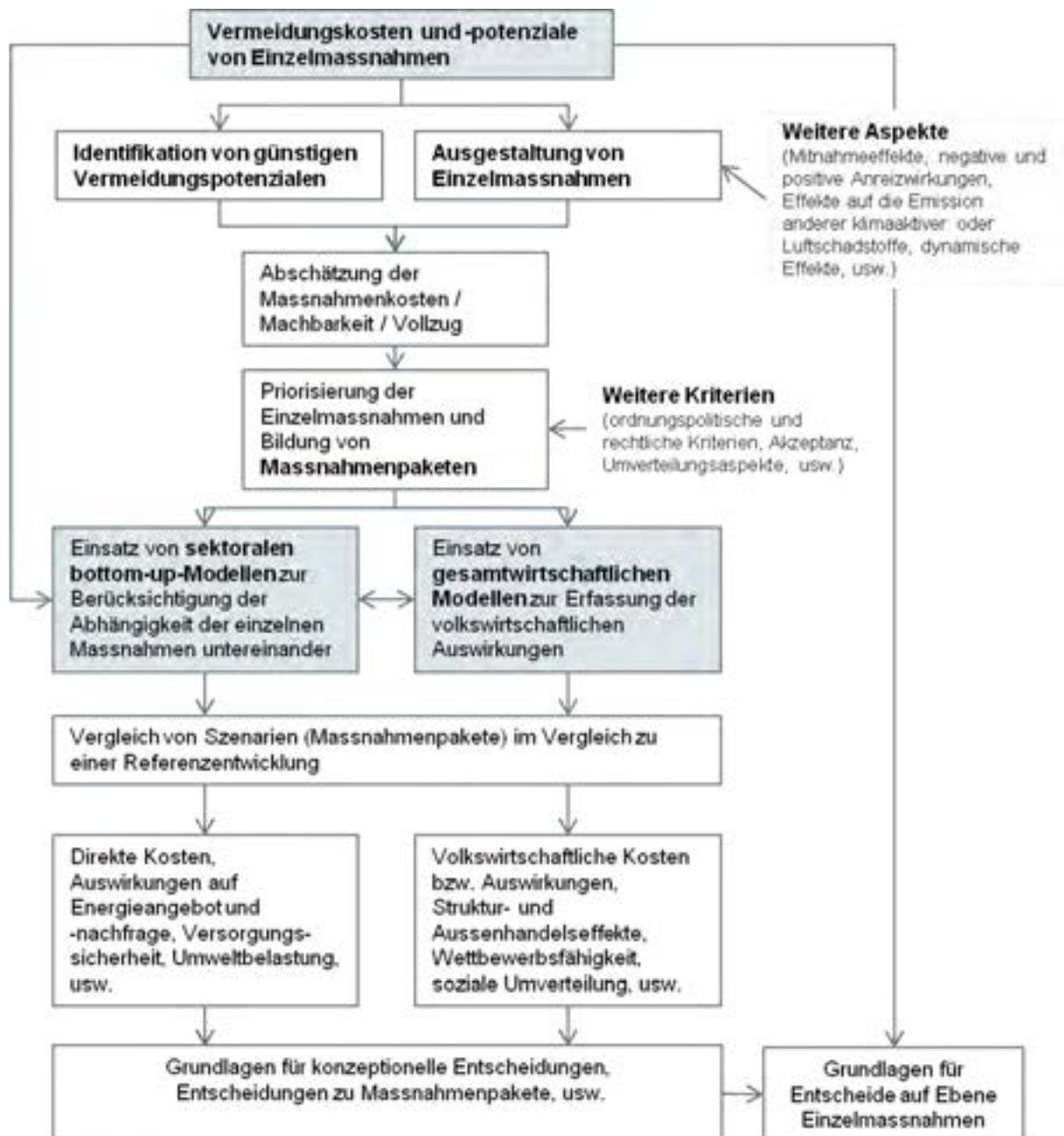
	<b>Einzelmassnahmen</b>	<b>Sektorale Modelle</b>	<b>Gesamtwirtschaftliche Modelle</b>
<b>Typische Fragestellung</b>	Wie hoch sind CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten und -potenziale von Einzelmassnahmen bezogen auf einen Zeitpunkt?	Wie hoch sind CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten und -potenziale von Massnahmenpaketen im Zeitablauf?	Mit welchen volkswirtschaftlichen Auswirkungen ist bei der Umsetzung von sektorübergreifenden Massnahmen im Zeitablauf zu rechnen?
<b>Berechnung / Modelle / Methodik</b>	Discounted Cash-Flow für Einzelmassnahme	Spezifische bottom-up-Ansätze	Gesamtwirtschaftliche Modelle (meist Gleichgewichtsmodelle)
<b>Berücksichtigung von:</b>			
Verhaltensänderungen	Nein	teilweise	Ja
Abhängigkeiten zwischen Massnahmen	Nein (teilweise berücksichtigt)	Ja (innerhalb des betrachteten Sektors)	Ja
Referenzentwicklungen / Entwicklungspfade	Nein	Ja	Ja
Externalitäten	Nein	Nein	Teilweise (meist exogen, nicht endogen)
Opportunitätskosten	Nein	teilweise (je nach Modellansatz)	Ja
Indirekte Kosten der Massnahmen	Nein	teilweise	Ja
Rebound-Effekt	Nein	Nein	Ja
Optionsnutzen des Abwartens	Nein	Nein	Ja, nur indirekt über die Parametrisierung
Bedürfnisse/Präferenzen der Investoren	Nein	Nein	Ja
Volkswirtschaftliche Grenzkosten	Nein	teilweise (je nach Modellansatz)	Ja
Details zu einzelnen Technologien	Ja	Ja	Nein (Regelfall, teilweise Berücksichtigung einzelner Technologien)
<b>Umgang mit Unsicherheiten</b>	Unvollständig, einzig durch Variation der Annahmen -> tatsächliche Bandbreiten massiv unterschätzt	teilweise im Rahmen von Sensitivitätsanalysen -> tatsächliche Bandbreiten stark unterschätzt	teilweise im Rahmen von Sensitivitätsanalysen -> Bandbreite unterschätzt, da der Einfluss der Modellstruktur i. d. R. nicht betrachtet wird.
<b>Verständlichkeit und Kommunizierbarkeit der Resultate</b>	Einfache, verständliche Resultate	Komplexe, aber gut kommunizierbare Resultate	Komplexe Modellstruktur, „black-box-Syndrom“ -> Modelle werden in Frage gestellt
<b>Aussagen möglich zu...</b>	Priorisierung und Detailkonzeption energie-, klimapolitischer Massnahmen		Gesamtwirtschaftliche Kosten
<b>Keine Aussagen möglich zu...</b>	Gesamtwirtschaftliche Kosten	Gesamtwirtschaftliche Kosten	Detailkonzeption von Massnahmen

**b) Einordnung der verschiedenen Vermeidungskostenansätze in einen Gesamtkontext**

Wie können die einzelnen Ansätze zur Berechnung der Vermeidungskosten in einen Gesamtkontext gesetzt werden, der die gesamte Dimension der Aufbereitung von Informationen für die politische Entscheidungsfindung von energie- und klimapolitischen Massnahmen umfasst?

Die nachfolgende Abbildung 5-2 illustriert diese Einordnung. Die **Vermeidungskostenstudien zu Einzelmassnahmen** sind ein wichtiger Startpunkt für die **Identifikation von Ansatzpunkten für politisches Handeln**: Sei es indem mögliches Marktversagen (bspw. „split incentives“ bei der Mieter-Vermieter-Problematik) identifiziert oder günstige Vermeidungspotenziale adressiert werden können. Weiter dienen die Informationen zu den Einzelmassnahmen auch als **Grundlagen für die bottom-up-Modellierung**.

Abbildung 5-2: Einordnung der verschiedenen Vermeidungskostenansätze in einen Gesamtkontext



Für die Ausgestaltung von Einzelmassnahmen, welche „brachliegende“ Vermeidungspotenziale haben sollen, sind aber neben den Vermeidungskosten noch viele weitere Aspekte mit zu berücksichtigen (Mitnahmeeffekte, negative und positive Anreizwirkungen, allfällige Spill Overs, dynamische Effekte, wichtige Nebeneffekte auf die Umwelt (Emission anderer klimaktiver Stoffe oder Luftschadstoffe) usw.).

Als nächsten wichtigen Schritt gilt es die Massnahmen auf ihre Machbarkeit hin zu prüfen, die Kosten der Massnahmen abzuschätzen und insbesondere darzulegen, ob die Vollzugsaufwendungen in einem sinnvollen Verhältnis zur erwarteten Wirkung stehen. Die Einzelmass-

nahmen, welche diese Hürde schaffen, werden dann priorisiert und in **Massnahmenpaketen** zusammengefasst. Auch müssen wieder weitere Kriterien berücksichtigt werden (ordnungs- und rechtliche Kriterien, Akzeptanz, usw.). Zu beachten ist, dass den marktwirtschaftlichen Massnahmen/Instrumenten bei diesem deduktiven Vorgehen der nötige Stellenwert eingeräumt wird.<sup>18</sup>

Die Auswirkungen der Massnahmenpakete sind mit in sich konsistenten **sektoralen bottom-up und gesamtwirtschaftlichen Modellen** zu analysieren. Wichtig sind folgende Aspekte:

- Klare Definition einer Referenzentwicklung
- Berücksichtigung der Pfadabhängigkeit der Massnahmen (Berücksichtigung von max. möglichen jährlichen Realisierungs- bzw. Durchdringungsgraden, in der Vorperiode auf- gebautes Realkapital (bspw. Kraftwerke) ist bis zum Ablauf der Nutzungsdauer fixiert, usw.)
- Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeit der verschiedenen Einzelmassnahmen
- Berücksichtigung von Sekundärnutzen/-kosten, Synergien bzw. negativen Auswirkungen auf andere eng gekoppelte Umweltaspekte

Die Resultate aus solchen sektoralen bottom-up oder gesamtwirtschaftlichen Modellen sind geeignet, die nötigen Informationen im Hinblick auf die politische Entscheidungsfindung insbesondere bei konzeptionellen Entscheidungen, Entscheidungen zu Massnahmenpaketen, usw. bereitzustellen.

Die Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen, zusammen mit der Berücksichtigung weiterer Aspekte, können als Grundlage für Entscheidungen auf Ebene Einzelmassnahmen, im Idealfall basierend auf vorgängigen konzeptionellen Entscheiden, hilfreich sein bei der Ausgestaltung und Konzeption der umzusetzenden Einzelmassnahme.

### c) Empfehlungen für das weitere Vorgehen

#### **Empfehlung 1: Verzicht auf eine umfassende Vermeidungskostenkurve-Studie**

In der Antwort auf das Postulat Girod hat sich der Bundesrat bereit erklärt, in Ergänzung zu den bereits existierenden Analysen eine umfassendere Studie in Auftrag zu geben, welche für verschiedene Sektoren das langfristige Reduktionspotenzial, die Reduktionsmassnahmen und ihre Kosten analysieren soll.

Die vorliegende Analyse hat gezeigt, dass sich die bereits existierenden Studien nicht vergleichen lassen und eine Konsolidierung all dieser Studien nicht möglich ist oder mit grossem

---

<sup>18</sup> Dies wird hier nicht weiter thematisiert. Es geht hier im Wesentlichen um die strategische Ausrichtung von energie- und klimapolitischen Massnahmen: Marktwirtschaftliche Instrumente als „Grobsteuerung“, ergänzt mit selektiv eingesetzten, unterstützenden Einzelmassnahmen vs. marktwirtschaftliche Instrumente als subsidiäre Massnahme und zu vielen, flächendeckend eingesetzten Einzelmassnahmen.

Aufwand verbunden wäre.<sup>19</sup> Daraus folgt auch, dass eine konsolidierte Darstellung der bereits existierenden Studien, ergänzt mit punktuell ausgelösten Analysen zur Abklärung von noch vermuteten Potenzialen, nicht möglich ist:

**Empfehlung 1:** Verzicht auf eine umfassende, allgemein gehaltene Studie zur Erfassung der langfristigen Reduktionspotenziale und deren Vermeidungskosten sowie Darstellung in Form einer Vermeidungskostenkurve.

Eine solche umfassende, allgemein gehaltene Studie mit der Darstellung von Einzelmassnahmen in Form von Vermeidungskostenkurven beinhaltet viele Kosten nicht und berücksichtigt viele Abhängigkeiten nicht. Die Umsetzung einer stringenten und zielführenden Energie- und Klimapolitik ist viel zu komplex, als dass sie sich auf eine Kurve reduzieren lässt. Eine Reduktion der Komplexität ist zwar erstrebenswert, aber nur soweit sie nicht irreführend ist.<sup>20</sup>

Empfehlung 1 bedeutet aber nicht, dass keine weiteren Abklärungen zu Vermeidungskosten sinnvoll sind. Wie vorgängig erwähnt, dienen die verschiedenen Ansätze zu Vermeidungskosten und Vermeidungspotenzialen unterschiedlichen Zielen:

- *Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen:* Startpunkt und Grundlage für die Ausgestaltung eines optimalen Massnahmenmixes und für die Konzeption von Einzelmassnahmen.
- *Sektorale bottom-up und gesamtwirtschaftliche Modelle:* Informationsbereitstellung für die politische Entscheidungsfindung im Hinblick auf konzeptionelle, strategische Entscheide.

Die sektoralen bottom-up und gesamtwirtschaftlichen Modelle werden im Rahmen der Energiestrategie 2050 entwickelt bzw. eingesetzt. Empfehlungen zur Weiterentwicklung dieser Modelle würden den Rahmen dieser Arbeiten sprengen und sind auch nicht im Fokus des Postulats Girod.

---

<sup>19</sup> Die Arbeiten an der Energiestrategie 2050 zeigen, dass eine solche Konsolidierung von verschiedenen Massnahmen und ihre Einbindung in eine konsistente Referenzentwicklung sehr aufwendig ist.

<sup>20</sup> Dass eine simple, auf Einzelmassnahmen basierende Vermeidungskostenkurve irreführend sein kann, zeigt die Diskussion um die Vermeidungskostenkurve von McKinsey. Obwohl im Bericht von McKinsey die Limiten für die Interpretation der Vermeidungskostenkurve aufgezeigt werden, suggeriert die Kurve, dass 40% CO<sub>2</sub> zu Null bzw. sogar negativen Kosten eingespart werden kann. Dass dies aus volkswirtschaftlicher Sicht nicht haltbar ist, folgt schon alleine daraus, dass viele Kostenelemente in dieser Vermeidungskostenkurve nicht enthalten sind. Die Gefahr besteht, dass auf Basis der vermeintlich volkswirtschaftlich rentablen Reduktion von 40% CO<sub>2</sub> zu ambitionierte Ziele in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Reduktion gesetzt werden.



**Empfehlung 2: Erstellung der Grundlagen für ein Inventar von Vermeidungskosten**

Bei den Einzelmassnahmen ist – wie erwähnt – eine Konsolidierung der bereits durchgeführten Studien nur mit unverhältnismässig hohem Aufwand möglich. Wir empfehlen, die Grundlagen zur Erstellung eines Inventars von Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen zu erarbeiten, so dass:

- die künftig erarbeiteten Vermeidungskostenstudien auf einer gemeinsamen Basis mit konsolidierten Annahmen erstellt werden,
- einzelne bereits durchgeführte Studien (bspw. diejenigen im Gebäudebereich) gezielt aktualisiert werden können.

**Empfehlung 2:** Erstellung der Grundlagen für ein Inventar von Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen oder sektoralen Massnahmen.

Die *Ziele* dieses Inventars bzw. dieser Auslegeordnung sind:

- Identifikation von günstigen Vermeidungspotenzialen (über alle Sektoren und alle Treibhausgase)
- Informationen und Grundlage für die bottom-up-Modellierung
- Ideensammlung zur Umsetzung der Einzelmassnahmen (Standards, Info-Kampagnen, Abgaben, usw.) und Abschätzung von Massnahmenkosten
- Identifikation von positiven und negativen Sekundäreffekten (bspw. Luftbelastung von Holzfeuerungen)

Folgende *Arbeiten* wären in einem ersten Schritt auszulösen (für weitere Ausführung vgl. nachfolgenden Exkurs):

- Ausarbeitung von standardisierten Annahmen- und Resultate-Tableaus für zukünftige oder zu aktualisierende Vermeidungskostenstudien (vgl. Abbildung 5-3)
- Prüfung, ob eine Aktualisierung ausgewählter, bereits durchgeführter Studien möglich und sinnvoll ist (bspw. im Gebäudebereich)

Empfehlung 2 geht über den bisherigen Zweck von Berechnungen der Vermeidungskosten von Einzelmassnahmen hinaus. Es geht darum, neue Einsichten für die bottom-up-Modellierung zu gewinnen und sich vermehrt der Thematik „Ausgestaltung und Konzeption der Einzelmassnahmen“ anzunehmen.

Das vorgeschlagene Inventar soll also nicht auf den alten Studien aufbauen, sondern prospektiv für die künftigen Studien und allenfalls der Aktualisierung bestimmter bereits durchgeführter Studien aufgebaut werden.

Mit Empfehlung 2 sollen die Resultate der Vermeidungskostenstudien besser vergleichbar werden. Allerdings sind die standardisierten Annahmen nicht zu eng zu fassen, da die Vermeidungskostenstudien meist in einem bestimmten Kontext stehen (bspw. im Hinblick auf die Ausgestaltung des Gebäudeprogramms) und sich diesem unterzuordnen haben. Nach der

Auswertung und Sichtung der bestehenden Vermeidungskostenstudien sehen wir insbesondere in folgenden Punkten **Handlungsbedarf**, d.h. hier sollten **standardisierte Vorgaben** bzw. **detailliertere Anleitungen** oder **Definitionen** ausgearbeitet werden:

- *Vorgaben zu den wichtigsten Annahmen (Zinssatz/Diskontrate, zukünftige Energiepreise (inkl., exkl. Abgaben), Nutzungsdauer):* Die Resultate für CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und -kosten reagieren sensitiv auf die unterstellten Annahmen, weshalb sich ein Vergleich der Ergebnisse der analysierten Studien ohne standardisierte Vorgaben schwierig gestaltet.
- *Referenzentwicklung:* Die unterstellte Referenzentwicklung ist in Bezug auf die Interpretation der Resultate zentral. Es ist zu prüfen, ob künftige Studien jeweils auf die Referenzentwicklung der Energieperspektiven basieren könnten.
- *Definition der Potenzialbegriffe:* Die Potenzialbegriffe werden uneinheitlich verwendet. Eine klare Definition ist gefordert (bspw. angelehnt an die Definition wie sie in den Energieperspektiven verwendet wird).
- *Umgang mit technologischem Fortschritt:* Es gibt verschiedene Arten, wie der technologische Fortschritt berücksichtigt werden kann (Lernkurven, Kostendegressionen, kein Fortschritt, usw.). Die möglichen Arten zur Berücksichtigung des technologischen Fortschritts sind zu umschreiben, damit die künftigen Studien dieselben Begrifflichkeiten verwenden können.
- *Unsicherheiten / Bandbreiten:* Die Unsicherheiten bzw. die Bandbreiten sind explizit im Rahmen von Sensitivitätsüberlegungen zu adressieren. Hierzu könnten Leitlinien zur Erstellung von Sensitivitätsanalysen erstellt werden (diese muss allerdings sehr einfach sein, damit sie für die sehr unterschiedlich gelagerten Studien anwendbar bleiben).
- *Nebeneffekte:* Haben die Massnahmen Synergien mit eng gekoppelten Bereichen (z.B. Ausstoss anderer Treibhausgase oder Luftschadstoffe) können sie in der Gesamtbetrachtung kostengünstiger sein als in der isolierten Betrachtung (umgekehrt bei negativen Nebeneffekten)<sup>21</sup>
- *Minimalanforderung an die Dokumentation:* Die bereits durchgeführten Studien sind teilweise ungenügend dokumentiert. Dies ist aus dem Kontext in dem die Studien erstellt wurden (bspw. im Rahmen von schnell zu erarbeitenden Grundlagen für die parlamentarische Diskussion) verständlich und nicht zu vermeiden.

Die nachfolgende Abbildung 5-3 zeigt als ein erster Vorschlag zu welchen Aspekten Vorgaben gemacht werden sollten und welche Resultate darzustellen sind. Dieses Tableau kann als Minimalanforderung für die Dokumentation dienen.

<sup>21</sup> Vgl. bspw. Hjorth J., Raes F. (2009), Answers to the Gothenburg Questions - ACCENTs Second Policy-Driven Synthesis; Hammingh P., Smekens K.E.L., Plomp A.J., Koelemeijer R.B.A. (2010), Co-impacts of climate policies on air polluting emissions in the Netherlands; Pleijel H. (Hrsg.) (2009), Air pollution & climate change, Ullstein B (2011), Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone; UNEP (2011), Near-term climate protection and clean air benefits: Actions for controlling short-lived climate forcers.

**Exkurs: Vorschlag für die Umsetzung der nächsten Schritte**

- **Workshop oder Hearings** mit ausgewählten Autoren von Vermeidungskostenstudien und von bottom-up-Modellierer:
  - Diskussion der Methodik und der Annahmen für zukünftige Studien
  - Machbarkeit für Aktualisierung einzelner Vermeidungskostenstudien abschätzen
  - Wünsche seitens bottom-up-Modellierer aufnehmen (bspw. Analyse der Vermeidungskosten bei vorzeitigem Ersatz bzw. Beschleunigung Sanierungsrhythmus, usw.)
- Ausarbeitung eines **Vorschlags** für (koordiniert mit BFE):
  - Vorgaben zu Methodik und Annahmen
  - Vorgaben für die Darstellung der Resultate und Anleitung / Leitlinien für die Kommunikation der Resultate zu THG-Vermeidungskosten und –potenzialen
  - Aufbau des Inventars
- **Pretest** am Beispiel einer aktualisierten Studie
- Ausarbeitung **def. Vorgaben**

**Abbildung 5-3: Vorgaben zu Annahmen / Resultattableau / Minimalanforderung an Dokumentation**

<b>Annahmen / Resultate</b>	<b>Vorgaben</b>
Referenz	Vorgaben für die zu unterstellende Referenzentwicklung: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bezieht sich die Studie auf das aktuelle Jahr, so ist dieses zu bezeichnen. Der Bezug ist auf heizgradtagkorrigierte Grössen zu machen (gemäss Energieperspektiven).</li> <li>– Für künftige Zeithorizonte sind die Jahre 2020, 2035 und 2050 zu wählen. Auch hier ist der Bezug auf das Referenzszenario der Energieperspektiven herzustellen.</li> </ul>
Sektoren / Verwendungszweck	Für eine bessere Vergleichbarkeit sind die Sektoren und Verwendungszwecke zu definieren (gemäss Energieperspektiven).
Zinssatz	Vorgabe von Zinssätzen/Diskontraten (volkswirtschaftliche und individuelle Diskontraten)
Energiepreise	Vorgabe der Energiepreisentwicklung (gemäss Referenzentwicklung der Energieperspektiven)
Technologischer Fortschritt	Definition der verschiedenen Arten zur Berücksichtigung techn. Fortschritts (Lernkurven, Kostendegressionen, usw.)
Potenzialbegriff	Eindeutige Bestimmung der analysierten Vermeidungspotenziale. Eine Grundlage mit Definitionen zu den einzelnen Potenzialen findet sich in einem Exkurs der Energieperspektiven 2035: <sup>22</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Theoretisches Potenzial</li> <li>– Technisches Potenzial</li> <li>– Ökologisches Potenzial</li> <li>– Wirtschaftliches Potenzial</li> <li>– Ausschöpfbares Potenzial</li> <li>– Erwartetes Potenzial</li> <li>– Ausbaupotenzial</li> </ul>
Darlegung zusätzlich berücksichtigter Effekte (volkswirtschaftliche Ebene)	Es sollte aufgezeigt werden, welche der folgenden Effekte wie berücksichtigt werden: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Volkswirtschaftliche Grenzkosten bzw. –nutzen</li> <li>– Opportunitätskosten</li> <li>– Kosten der politischen Instrumente / der Massnahmen</li> <li>– Rebound-Effekt</li> <li>– Optionsnutzen</li> <li>– evtl. weitere</li> </ul>
Vermeidungskosten	Darstellung in CHF/t CO <sub>2</sub>
Vermeidungspotenziale	Darstellung in t CO <sub>2</sub>
Sensitivitätsanalyse	Vorgaben zu sinnvollen Bandbreiten für die Sensitivitätsanalyse

<sup>22</sup> Vgl. BFE (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 4 Exkurse. 5. Exkurs: Potenzialbegriffe, S. 59ff.

## 6 Anhang A: Analyisierte Studien im Überblick

### Anhang A - Teil 1: Berücksichtigte Studien

<b>Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt</b>
<b>Gebäude</b>
Econcept, CEPE (2007), Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen?
Econcept, CEPE (2008), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Bereich der Gebäudeerneuerung in der Schweiz
TEP Energy (2010), Energetische Gebäudeerneuerungen - Wirtschaftlichkeit und CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten
Econcept, Amstein & Walther, TEP Energy (2011), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten
<b>Gebäude und Verkehr</b>
B,S,S. (2008a), Vermeidungskosten Industrie und Verkehr
B,S,S. (2008b), Treibhausgasemissionen Gebäude und Emissionen synthetische Treibhausgase
Ernst Basler & Partner, WWF (2010), CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale bis 2020 in der Schweiz mittels Förderprogrammen
Infras (2008), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität
BFE (2008), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität (stellt eine Zusammenfassung des Berichts dar, welcher von INFRAS im Auftrag des BFE erstellt wurde)
<b>Verkehr</b>
BFE (2007), Auswirkungen ausgewählter Massnahmen im Verkehr
<b>Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung</b>
<b>Gebäude</b>
Michael Kost (2006), Langfristige Energieverbrauchs- und CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale im Wohngebäudektor der Schweiz
<b>Verkehr</b>
Infras (2005), CO <sub>2</sub> -Potential des Langsamverkehrs
Infras (2011), CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Treibstoffe
Infras (2009), Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS
ETHZ, IED, De Haan (2007), Förderung energieeffizienter und emissionsarmer Fahrzeuge mittels Automobilsteuer - Differenzierung oder Bonusprämien
ETHZ, IED, De Haan (2009), CO <sub>2</sub> -Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU
ETHZ, IED, De Haan (2009b), Umsetzung der 130g CO <sub>2</sub> /km-Strategie für die Schweiz: CO <sub>2</sub> -Reduktionseffekte 2012-2020
RappTrans (2007), Mobility Pricing - Synthesebericht
<b>Landwirtschaft</b>
ETHZ (2005), Eine ökonomische Analyse zur Reduktion der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen in der Schweiz
ETHZ (2009), „THG 2020“ - Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz

**Alle Sektoren / Verwendungszwecke**

McKinsey&Company (2009), Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve

IIASA (2010), GAINS-Model: Mitigation Potentials and Costs in 2020 (Switzerland)

**Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen**

Ecoplan (2009), Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik, Analyse mit einem dynamischen Gleichgewichtsmodell für die Schweiz

EPFL École Polytechnique Fédérale de Lausanne (2009), Assessment of the economic impacts of the revision of the Swiss CO<sub>2</sub> law with a hybrid model. Research group on the economics and management of the environment (REME)

**Anhang A - Teil 2: Weitere Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen****Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen**

BFE (2007), Die Energieperspektiven 2030 – Band 3 Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Ergebnisse des dynamischen Gleichgewichtsmodells

Ecoplan (2001), Wirtschaftliche Auswirkungen der Volksinitiativen „Strom ohne Atom“ und MoratoriumPlus“, Analyse mit einem Gleichgewichtsmodell

Ecoplan (2010), Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik – UREK-N-Szenarien, Analyse mit einem dynamischen Gleichgewichtsmodell für die Schweiz, Ergänzende Simulationen, Bafu-internes Arbeitspapier

Lucas Bretschger, Roger Ramer und Florentine Schwark (2010), Long-Run Effects of Post-Kyoto Policies: Applying a Fully Dynamic CGE model with Heterogeneous Capital, Working Paper 01/129

Roger Ramer (2011), Dynamic Effects and Structural Change under Environmental Regulation in a CGE Model with Endogenous Growth, Working Paper 11/153

A. Sceia, J.-C. Altamirano-Cabrera, L. Drouet, T.F. Schulz, und M. Vielle (2008), Integrated assessment of Swiss GHG mitigation policies after 2012 - focus on the residential sector, NCCR-Climate Working Papers

## 7 Anhang B: Vergleich von Methodik, Annahmen und Modell der analysierte Studien

### Anhang B - Teil 1: Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt

Abbildung 7-1: Vergleich der wichtigsten Annahmen in den Studien mit Ebene Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Ziel / Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Bemerkungen
Gebäude							
Econcept, CEPE (2007), Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen?	HH W/G	<p>Wirtschaftlichkeitsbeurteilungen von energetischen Effizienzmassnahmen bei erneuerten Gebäuden.</p> <p>Massnahmen (unterschiedlich weitgehende energetische Standards):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- M1: Grenzwert SIA 380/1 (140% des SIA-Neubau-Grenzwertes, vielerorts heutige Vorschrift bei umfassenden Renovationen);</li> <li>- M2: Primäranforderung Minergie (ohne Komfortlüftung, 120% des SIA-Neubau-Grenzwertes), wichtigste Bauteile wie Fenster, Wand, Dach gemäss Minergie-Modulen erneuert;</li> <li>- M3: Minergie Sanierungsstandard (mit Komfortlüftung)</li> <li>- M4: Minergie-P Standard (mit Komfortlüftung)</li> </ul>	<p>I0: Keine Erneuerungsmassnahmen (Referenzvariante 1)</p> <p>M0: Instandsetzung der Gebäudehülle, keine oder nur geringe Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Referenzvariante 2; 'Pinselfernhaltung'):</p> <p>Erneuerung Fassaden- und Fensteranstrich, ev. mit Ausbesserungen des Putzes und Heizungserneuerung</p> <p>Betrachtung über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.</p>	<p>Technische Schätzungen</p> <p>Drei Annahmenszenarien:</p> <p>A) Volkswirtschaftliche Optik: Energiepreise + Abgaben hoch, aktive Nachhaltigkeitspolitik</p> <p>B) Hauptszenario: Realistisch-konservative Variante</p> <p>C) Privatwirtschaftliche Optik mit hoher Gegenwartspräferenz: Konservative Preis- und Politikentwicklung</p>	<p>A) / B): 3.5% (real)</p> <p>C) 5.0% (real)</p>	<p>- Öl-Gas: 10 Rp./kWh (A), 7 Rp./kWh (B &amp; C)</p> <p>- Elektrizität: 18 Rp./kWh (A), 16 Rp./kWh (B &amp; C)</p>	<p>- Parallelprojekt von Infrac (2008)</p> <p>- Es werden lediglich die jährlichen Gesamtkosten der untersuchten Erneuerungsmassnahmen ausgewiesen.</p>

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Ziel / Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Bemerkungen
Econcept, CEPE (2008), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Bereich der Gebäudeerneuerung in der Schweiz	HH W/G	Ermittlung der Kosten der Reduktion von CO <sub>2</sub> -Emissionen durch energetische Erneuerungsmassnahmen und durch den Einsatz erneuerbarer Energie im Bereich bestehender Wohngebäude  Massnahmen: wie in Econcept, CEPE (2007). Daneben zusätzlich CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten von Massnahmen an einzelnen Bauteilen, des Energieträgerwechsels zu einer WP oder zu einer Holzfeuerung sowie der Installation einer thermischen Solaranlage zur Warmwasservorwärmung.	I0: Keine Erneuerungsmassnahmen (Referenzvariante 1) M0: Instandsetzung der Gebäudehülle, keine oder nur geringe Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen (Referenzvariante 2; 'Pinselfernovation'): Erneuerung Fassaden- und Fensteranstrich, ev. mit Ausbesserungen des Putzes und Heizungserneuerung  Referenz: Öl beheizt und Gas beheizt  Betrachtung über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.	Technische Schätzungen  Zwei Annahmeszenarien: A) Volkswirtschaftliche Optik: Hohe Energiepreise und / oder Abgabe, aktive Nachhaltigkeitspolitik B) Betriebswirtschaftliche Optik: Realistisch-konservative Variante	3.5%	- Öl-Gas: 10 Rp./kWh (A), 7 Rp./kWh (B) - Elektrizität: 24.8 Rp./kWh (A), 17.9 Rp./kWh (B) - Holz: 7 Rp./kWh (A), 6 Rp./kWh (B)	Parallelprojekt von Infrac (2008)
TEP Energy (2010), Energetische Gebäudeerneuerungen - Wirtschaftlichkeit und CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	HH W/G	Berechnung der Wirtschaftlichkeit und CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten von baulichen Energieeffizienzmassnahmen auf der empirischen Grundlage von Kostenkennwerte anhand der Gesuchs- und Abrechnungsunterlagen des Gebäudeprogramms.  Einzelmassnahmen an Fenster, Wand (Fassade), Dach, Estrichboden und Kellerdecke.	Definition von typischen Referenzfällen: nicht-energetische Instandsetzung von Gebäudehülle bzw. Ist-Zustand als Referenzfall (d.h. keine Massnahmen im Referenzfall).  Betrachtung über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.	Auswertung der elektronisch verfügbaren Gesuchs- und Abrechnungsdatenbank der Stiftung Klimarappen mit einem Regressionsmodell zur Bildung der Kostenkennwerte. Darauf aufbauend wurden die Kosten der baulichen Massnahmen für einzelne Fall-Archetypen abgeschätzt.	3.0% (real)	Mittlerer Endenergiepreis: 7.3 Rp./kWh (10 Rp./kWh als Sensitivität)	



Studie	Sektoren / Verw.zweck	Ziel / Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Bemerkungen
Econcept, Amstein & Walther, TEP Energy (2011), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten	HH W/G	Ermittlung der effektiven CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten einer grösseren Zahl energetisch erneuerter Wohnbauten und des Kosten-/Nutzenverhältnis unterschiedlicher energetischer Massnahmen an der Gebäudehülle.  Einzelmassnahmen an Fenster, Wand (Fassade), Dach, Estrichboden und Kellerdecke sowie verbrauchsrelevante Änderungen an der Gebäudetechnik.	Referenzvarianten ohne energetische Massnahmen: Beim Referenzfall wird von derselben Funktionsfähigkeit, denselben Unterhaltskosten und einer vergleichbaren Lebenszyklusdauer ausgegangen wie beim real sanierten Bauteil. Der Referenzfall entspricht somit einer nicht energetisch wirksamen Instandsetzung mit einer Lebenszyklusdauer, welche mit den real ausgeführten Massnahmen vergleichbar ist (Vergleich der energetischen Sanierung mit nicht energetischen Instandsetzungsmassnahmen, individuell pro Objekt).	Empirische Vermeidungskostenbestimmungen von energetisch erneuerten Gebäuden (empirische Erhebung der CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten, ex-post Evaluation)	3.0% (real)	Aktueller Preis (2010): - Heizöl (HEL): 80 Fr./100 l - Erdgas: 9 Rp./kWh - Strom: 18 Rp./kWh - Holz: Brennholz: 120 Fr./Ster - Holz: Pellets: 395 Fr./t - Fernwärme: 8 Rp./kWh Für Sensitivität 1.5mal höher.	

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Ziel / Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Bemerkungen
Gebäude und Verkehr							
B,S,S. (2008a), Vermeidungs- kosten Industrie und Verkehr	I / V W/G	<p>Ermittlung der Grössenordnungen der Vermeidungskosten von ausgewählten Massnahmen mit grossem Reduktionspotenzial über deren Lebensdauer sowie bis zum nächsten klimapolitischen Meilenstein im Jahre 2020 für die Sektoren Industrie und Verkehr.</p> <p>Massnahmen Industrie: Gebäudehülle, Gebäudetechnik Infrastruktur, Produktionstechnik, Substitution von Energieträgern.</p> <p>Massnahmen Verkehr: Steuerung des Kaufverhaltens (Analyse von Daten von AutoSchweiz), Fahrzeugeffizienz / technische Massnahmen, Mobilitätsmanagement, Umstieg auf emissionsärmere Treibstoffe.</p>	<p>- Industrie (Auswertung der EnAW Daten) 2008-2012, 2008-2020</p> <p>- Verkehr: 2009-2012 und 2009-2020</p> <p>- Es wird jedoch keine zukünftige Referenzentwicklung angenommen</p>	<p>Technische Schätzung / Modellrechnungen auf der Grundlage von ex-post Analysen bereits durchgeführter Massnahmen.</p> <p>Zusätzlich Expertengespräche und Befragung von Unternehmen.</p>	3.5% <sup>23</sup>	<p>- Industrie: ca. 77 CHF/100l Heizöl (eine mögliche Verteuerung der Brennstoffe wird nicht berücksichtigt)</p> <p>- Verkehr: Treibstoffpreis durchschnittlich 2 CHF/l; bezüglich Tanktourismus Super: 1.2 EUR/l, Diesel: 1.35 EUR/l</p>	<p>- Hochrechnung von bereits umgesetzten Massnahmen auf den gesamten Sektor</p> <p>- Vernachlässigung des technologischen Fortschritts</p>
B,S,S. (2008b), Treibhausgasemissionen Gebäude und Emissionen synthetische Treibhausgase	HH / I W/G / FS/EE	<p>Möglichkeiten zur Erreichung des angestrebten Absenkpads von -1.5% CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr bei bestehenden Gebäuden und synthetischen Gasen.</p> <p>Einzelmassnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion des Wärmeenergieverbrauchs pro Fläche</li> <li>- Emissionsärmere Wärmeenergieerzeugung (Steigerung des Wirkungsgrads des Heizsystems, Wahl eines Brennstoffs mit besserer CO<sub>2</sub>-Effizienz</li> <li>- Diverse Vorschläge bzgl. synthetische Gase</li> </ul>	<p>Ausgangsjahr 2010, Resultate für 2015, 2020, 2030</p> <p>Es wird jedoch keine zukünftige Referenzentwicklung angenommen</p>	<p>Technische Schätzung / Modellrechnungen auf der Grundlage von ex-post Analysen bereits durchgeführter Massnahmen.</p>	Vgl. B,S,S. (2008a)	Vgl. B,S,S. (2008a)	<p>Zusatzmandat zu B,S,S. (2008a), Vermeidungskosten Industrie und Verkehr; Ansatzpunkte zur Reduktion der Emissionen werden nur andiskutiert.</p>

<sup>23</sup> Bei der durchgeführten Befragung von Unternehmen: 10% (zur Berücksichtigung des unternehmerischen Risikos).

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Ziel / Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Bemerkungen
Infras (2008), CO <sub>2</sub> - Vermeidungs- kosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität	HH / I / DL / V W/G / FS/EE	Wie teuer ist die Vermeidung von CO <sub>2</sub> -Emissionen im Inland und in welchen Bereichen sind kurz- und langfristig relevante Potenziale vorhanden?  Einzelmassnahmen in den Bereichen  - Autonome erneuerbare Anlagen zur Bereitstellung von Wärme im Bereich von erneuerbaren Energien - Industrie und Dienstleistungen: Gebäudebereich und Einsparpotenziale der industriellen Prozesse (nur Wärme) - Mobilität	- Kurzfristig bis 2012 - Längerfristig bis 2035  Potenziale / Massnahmen im Vergleich zum heutigen Zustand (Energieverbrauch resp. CO <sub>2</sub> -Emissionen)	Technische Abschätzungen basierend auf bereits vorhandenen in- und ausländischen Datengrundlagen	3.5% (real)	- Heizöl, HEL, Erdgas: 7 Rp./kWh (70 CHF/100l Heizöl)  - Treibstoff: 1.70 CHF/l (allerdings wird für volkswirtschaftliche Betrachtung ein Preis ohne Steuern und Abgaben von 0.88 CHF/l unterstellt)	- Parallelprojekt von Econcept, CEPE (2007) und Econcept, CEPE (2008)  - Kurzbericht: Relativ grobes Bild der Vermeidungskosten und Potenziale  - Klare Unterscheidung zwischen technisch-ökologisches Potenzial, jährlicher Zubau bis 2012 und kurzfristiges Potenzial bis 2012 (=theoretisches Ausbaupotenzial)

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Ziel / Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Bemerkungen
Verkehr							
ETHZ, IED, De Haan (2007), Förderung energieeffizienter und emissionsarmer Fahrzeuge mittels Automobilsteuer - Differenzierung oder Bonusprämien	V/FS/EE	Untersuchung der voraussichtlichen (Markt- und Umwelt-) Wirkung und der Massnahmeneffizienz verschiedener Vollzugsmodelle (Anreizmodelle) für eine Differenzierung der Automobilsteuer auf Bundesebene aufgrund von Umwelt- und Energieeffizienzkriterien. Geprüft wurden drei sogenannte Vollzugsmodelle / Massnahmen: - Differenzierung der Automobilsteuer - Bonusprämien für zu fördernde Autos, finanziert über generelle Automobilsteuer-Erhöhung - Bonusprämien finanziert über Maluszahlungen	2005 CO <sub>2</sub> -Effekt über technische Lebensdauer der Neuzulassungen-Jahreskohorte	Autokaufsimulationsmodell sim.car (Neuwagenkauf-Simulationsmodell), geht über die meisten mikroökonomischen Modelle, welche nur die monetäre Wirkung auf der Nachfrageseite abbilden, hinaus. Das Modell weist zunächst niedrigere Auswirkungen von Anreizsystemen auf das Autokaufverhalten auf (nicht alle Konsumenten nehmen die monetären Anreize wahr oder lassen sich von diesen beeinflussen), gleichzeitig aber höhere Auswirkungen von Anreizsystemen (Berücksichtigung psychologischer Effekte).	k.A.	- Benzin: 1.53 CHF/l - Diesel: 1.64 CHF/l	Modell stützt sich nicht auf Preiselastizitäten (vgl. Modell / Ansatz)
BFE (2007), Auswirkungen ausgewählter Massnahmen im Verkehr	V / FS/EE	Überschlagsmässige Einschätzungen zu den Wirkungen von Vorschlägen zu einer Reduktion der Treibhausgase im Verkehrsbereich: - CO <sub>2</sub> -Abgabe von 25 Rp./Liter Treibstoff - Umlegen der kantonalen Motorfahrzeugsteuern auf den Treibstoff - Einführung einer Verschrottungsprämie	2000-2020	Technische Abschätzungen auf Basis von Mengengerüsten	k.A.	k.A.	Kurzbericht mit überschlagsmässigen Einschätzungen

Sektoren: HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft.

Verwendungszweck: W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse.

## Anhang B - Teil 2: Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung

Abbildung 7-2: Vergleich der wichtigsten Annahmen in den Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
Gebäude								
Michael Kost (2006), Langfris- tige Energiever- brauchs- und CO <sub>2</sub> - Reduktionspo- tenziale im Wohngebäude- sektor der Schweiz	HH / W/G	Analyse von Wohngebäudeparks der Schweiz mit Fokus auf den Energiever- brauch für Heizung und Warmwasser. Simuliert wurden verschiedene Szena- rien, welche sich hinsichtlich Energie- standard für Neubauten und Sanierun- gen, Heiz- und Warmwassersystem, Effizienzsteigerung, Intensivierung der Bautätigkeit (höherer Anteil sanierter Gebäude, vorgezogene Gebäudesanie- rungen und vermehrter Ersatzneubau) und Nachfrageentwicklung (Energiebe- zugsflächennachfrage und Nachfrage nach Warmwasser) unterscheiden.	Simulation ausgehend vom Gebäude- bestand 2000 bis zum Jahr 2050 ,business as usual' Entwicklung, welche heutige Trends in Zukunft fortführt und keine speziellen Massnahmen zur Reduktion von Energieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen beinhaltet.	Top-down, dynamisch. BWS (Bau- werk Schweiz)-Simulations-Modell (BWSSiM): ermöglicht die Simulation der zeitlichen Entwicklung des Wohn- gebäudebestandes der Schweiz. CO <sub>2</sub> -Reduktionskosten: Bestimmung der Barwerte der Kostenbestandteile bezogen auf das Jahr 2006, d. h. die jährlichen Kostenbestandteile werden auf das Jahr 2006 abdiskontiert. Die Strategiekosten (gesamte Mehrkosten gegenüber dem Referenzszenario) werden ins Verhältnis zu den kumu- lierten eingesparten CO <sub>2</sub> -Emissionen gesetzt. Die CO <sub>2</sub> -Emissionsredukt. werden jedoch nicht abdiskontiert, d.h. zukünftige Emissionsreduktionen zählen gleich wie heutige.	2.0% (für gesamt- volkswirt- schaftliche Analysen geeignet), 3.5% (Kalkulati- onsbereich privater Investoren) und 5.0% (hohe Gewinner- wartungen)	Unterschiedli- che Entwicklung der Energie- preise von 2000 bis 2050 je nach Szenario (ins- gesamt 4 Sz.) Bsp. Öl: 2050 4.9-15.4 Rp./kWh	k.A.	ETH Dissertation

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
Verkehr								
Infras (2005), CO <sub>2</sub> -Potential des Langsam- verkehrs	V	Quantifizierung der CO <sub>2</sub> -Potenziale des Langsamverkehrs (LV) im Personen- verkehr (MIV-Substitutionspotenzial) anhand folgender Massnahmen: - LV+: Spezifische LV- Fördermassnahmen - LV+/MIV-: LV fördernde und MIV hemmende Massnahmen	Referenzfall für 2012 und 2030	„Technisches“ Potenzial: Analyse des Verlagerungspotenzials der kurzen MIV-Etappen zum LV, basie- rend auf dem Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2000, bottom-up, technische Schätzungen. „Realisierbares Potenzial“: Top-down Betrachtung: - In- und ausländischer Modal Split Vergleich bzgl. LV-Anteile - Wirkungspotenziale von Förderpro- grammen - Verkehrspolitische Zukunftsbilder Qualitativ-argumentative Ableitung von möglichen realisierbaren Poten- zialen (Setzen von Ausschöpfungs- faktoren vom technischen Potenzial).	k.A.	k.A.	k.A.	Klare Unterschei- dung zwischen „technisches“ und „realisierbares“ Potenzial“
Infras (2011), CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Treibstoffe	V / FS/EE	Auswirkungen einer CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Treibstoffen: Lenkungseffekt (Inland- nachfrage) und Auswirkungen auf den Tanktourismus und auf die Einnahmen aus der Mineralölsteuer. Abgabe von 36, 60 und 120 CHF pro Tonne CO <sub>2</sub> . Das entspricht bei Benzin einem Aufschlag von 8, 14 bzw. 28 Rp./L, bei Diesel von 9, 16 bzw. 31 Rp./L.	BAU ohne CO <sub>2</sub> -Abgabe 2020: - stabiler Treibstoffabsatz - inkl. Limite für Neuwagenflotte ab 2015: max. 130 g CO <sub>2</sub> /km (Diese Massnahme bringt eine Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen in 2020 von rund 1.7 Mio. t CO <sub>2</sub> )	Technische Schätzungen mittels Elastizitäten (direkte Preiselastizität der Nachfrage)	k.A.	- Benzin: 1.64 CHF/l - Diesel: 1.71 CHF/l	Direkte Prei- selastizität der Nachfrage: - Benzin PV: - 0.34 - Diesel PV: - 0.23 - GV/Offroad: - 0.17 - gewichtet: - 0.27	Analysiert werden ebenfalls Auswir- kungen auf Tank- tourismus

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
Infras (2009), Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS	V	Aufzeigen der möglichen Bandbreite der Wirkungen des Einbezugs des Luftverkehrs in das bestehende Europäische Emissionssystem (EU ETS) auf die Schweiz.	Baseline-Szenario 2012 und 2020, ohne klimapolitische Massnahmen für den Flugverkehr (in CH und international)	Berechnungsmodell SECAN-ET (Sectoral Analysis of economic impacts of emission trading systems; vgl. Anhang der Studie):  - Als Grundlage dienen die Flugbewegungen und Passagierzahlen des Jahres 2007 sowie Flugverkehrsprognosen (Extrapolation auf die Jahre 2012 und 2020)  - Direkte Verknüpfung zwischen Wert- (Ticketpreise) und Mengengerüst (Nachfrage nach Flügen)  - Gruppierung der Flugbewegungen	k.A.	- 50 USD/barrel - Leasure (plus Sensitivität mit 200 USD/barrel)  - Für Annahmen zum CO <sub>2</sub> -Preis vgl. Anhang	- Leasure Europaflüge: - 0.9 bis 1.3  - Leasure Interkontinentalflüge: -0.8 bis -1.0  - Business Europaflüge: - 0.3 bis -0.5  - Business Interkontinentalflüge: -0.3	
ETHZ, IED, De Haan (2009a), CO <sub>2</sub> -Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU	V / FS/EE	Analyse möglicher Absenkungs- und Zielpfade sowie Abschätzungen der Auswirkungen verschiedener Vollzugmodelle zur Orientierung an die EU im Bereich Emissionen der PW-Neuzulassungen.  Betrachtet werden zwei angebotsseitige Absenkungspfade (alternative Geschwindigkeiten der Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen der angebotenen Neuwagenflotte) und zwei nachfrageseitige preisliche Anpassungen (Sanktionsmodell und Zertifikatmodell).	2015  - REFBFE: Szenario I der BFE-Energieperspektiven. Mit den angenommenen Absenkungsraten wird das 130 g CO <sub>2</sub> /km Ziel weder in der EU noch in der CH im Jahre 2015 erreicht.  - REFETH: In den ersten Jahren leicht zurückhaltender als REFBFE	Autokaufsimulationsmodell sim.car (Neuwagenkauf-Simulationsmodell), geht über die meisten mikroökonomischen Modelle, welche nur die monetäre Wirkung auf der Nachfrageseite abbilden, hinaus. Das Modell weist zunächst niedrigere Auswirkungen von Anreizsystemen auf das Autokaufverhalten auf (nicht alle Konsumenten nehmen die monetären Anreize wahr oder lassen sich von diesen beeinflussen), gleichzeitig aber höhere Auswirkungen von Anreizsystemen (Berücksichtigung psychologischer Effekte).	k.A.	- Benzin: 1.34 CHF/l  - Diesel: 1.42 CHF/l	Modell stützt sich nicht auf Preiselastizitäten (vgl. Modell / Ansatz)	

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
ETHZ, IED, De Haan (2009b), Umsetzung der 130g CO <sub>2</sub> /km-Strategie für die Schweiz: CO <sub>2</sub> -Reduktionseffekte 2012-2020	V / FS/EE	Berechnung der Auswirkungen einer Umsetzung der 130g CO <sub>2</sub> /km-Strategie für die Schweiz auf die CO <sub>2</sub> -Emissionen (Reduktionswirkung) in den Jahren 2012-2020 (je Kalenderjahr) für die Vollzugsmodelle in ETHZ, IED, De Haan (2009a). Ausserdem werden weitere Szenarien entwickelt, welche kompatibel sind mit dem 95 g CO <sub>2</sub> /km Ziel der EU ab 2020.	2012-2020 - REFBFE: Szenario I der BFE-Energieperspektiven. Mit den angenommenen Absenkungsraten wird das 130 g CO <sub>2</sub> /km Ziel weder in der EU noch in der CH im Jahre 2015 erreicht. - REFETH: In den ersten Jahren leicht zurückhaltender als REFBFE - REF_BAFU: Ab 2016 kommen höhere Absenkungspfade als in den BFE-Szenarien zur Anwendung	Autokaufverhalten- und Automarkts-Simulationsmodell sim.car (vgl. Modell / Ansatz in ETHZ, IED, De Haan (2009a) oben)	k.A.	k.A.	Modell stützt sich nicht auf Preiselastizitäten (vgl. Modell / Ansatz)	Nachfolgeprojekt / Zusatzbericht von: ETHZ, IED, De Haan (2009a).
RappTrans (2007), Mobility Pricing - Synthesebericht	V	Neben verkehrlichen und finanziellen Auswirkungen sowie technischen und betrieblichen Aspekten des Mobility Pricing wurden auch umweltrelevante Auswirkungen verschiedener Szenarien für die Schweiz analysiert.	Grundzustand des Mobilitätsangebots und der Mobilitätsnachfrage ohne Mobility Pricing. - Für die verkehrlichen Überlegungen: 2030 - Für die Abschätzung der finanziellen Auswirkungen gilt die heutige Situation als Referenzzustand	- Verkehrsmodell: Nationales Personenverkehrsmodell NPVM 35 - Finanzmodell: „Tischmodell“: Auf Stufe Gesamtschweiz, ohne räumliche Unterteilung, werden die Veränderungen der Mobilitätsnachfrage aufgrund der veränderten Mobilitätskosten mit Hilfe von Nachfrageelastizitäten berechnet.	2.0% (real)	k.A.	Annahmen für direkte Kostenelastizitäten und direkte Reisezeitelastizitäten	Auswirkungen bzgl. Schadstoffen neben verkehrlichen und finanziellen Auswirkungen sowie techn. und betr. Aspekten des Mobility Pricing eine untergeordnete Rolle ein.



Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
Gebäude und Verkehr								
Ernst Basler & Partner, WWF (2010), CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale bis 2020 in der Schweiz mittels Förderprogrammen	HH / I / V / DL W/G / FS/EE	<p>Abschätzung des realistischen Reduktionspotenzials eines Inlandprogramms „à la Stiftung Klimarappen“, aber von grösserem Umfang.</p> <p>Untersuchte Massnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Brennstoffe: Holz-, Fern- und Abfallwärme, Unternehmen innerhalb ETS, Unternehmen mit EnAW-Zielvereinbarung, KMU-Prozessoptimierung Wärme, Gebäudeautomatisierung, GP+: Erhöhung Geldmittel für Gebäudeprogramm, GP+: Förderung kant. Zusatzprogramme, Programme zur Reduktion der Raumtemperatur, GP+: Aus- und Weiterbildung, Projektbegleiter</li> <li>- Treibstoffe: Zielvereinbarungen, Biotreibstoffe, Elektromobilität, Förderung effizienter Nutzfahrzeuge, Zielvereinbarung mit Erstausrüster (Generalimport.), Energieberatung Autofahrer, CarSharing- und Autoverzicht-Community-Verpflichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2020, Referenzentwicklung gemäss Botschaft des Bundesrates zum CO<sub>2</sub>-Gesetz</li> <li>- 2015 für die Umsetzung des EU-Richtwerts von 130g CO<sub>2</sub>/km für neue PW</li> </ul>	<p>Technische Abschätzungen basierend auf Erfahrungswerten der bisherigen Stiftung Klimarappen, kantonaler und nationaler Förderprogramme sowie eigener Abschätzungen</p> <p>Die Massnahmen werden gruppiert in "erprobte", "weiterführende" sowie "neue" Massnahmen.</p>	k.A.	55 USD/Fass	k.A.	Kurzbericht (in relativ kurzer Zeit erstellt)

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
Landwirtschaft								
ETHZ (2005), Eine ökonomi- sche Analyse zur Reduktion der landwirt- schaftlichen Treibhausgas- Emissionen in der Schweiz	LW	Aufzeigen und ökonomische Bewertung der landwirtschaftlichen Leistungen zur Reduktion ihrer THG-Emissionen seit 1990 sowie der zukünftig noch zu erwartenden Emissions-Reduktionen im Hinblick auf die Zielerfüllung im Rahmen des Kyoto-Protokolls.	2010 - Szenario CH: Verhältnismässig geringe Abnahme der schweizerischen Produzentenpreise - Szenario EU: Kontinuierliche Annäherung an das EU-Preisniveau mit entsprechend geringeren Produzentenpreisen in der Schweiz	Rekursiv-dynamisches lineares Optimierungsmodell: Integriertes agrarwirtschaftliches Allokationsmodell S_INTAGRAL (Umfassendes landwirtschaftliches Angebotsmodell).	k.A.	k.A.	k.A.	
ETHZ (2009), „THG 2020“ - Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftli- cher Treibhaus- gase in der Schweiz	LW	Quantifizierung des technologischen und ökonomischen THG-Reduktionspotenzials im Schweizer Landwirtschaftssektor.	2020 3x3 Szenarien: Agrarpolitische Szenarien: Agrarpreise - HOCH: Agrarpreise nach Umsetzung der AP 2011 - MITTEL: Erwartete Preise unter Freihandelsbedingungen - TIEF: Effektive EU-Preise (Durchschnitt 2002/2004) Umweltpolitische Szenarien: - Referenzszenario (ohne Eingriffe) - THG-Abgabe von 50 CHF/t CO <sub>2</sub> eq auf LW-THG-Emissionen ab 2012 - Förder-Szenario (Förderung von THG-Reduktionstechniken) Für die Quantifizierung der THG-Vermeidungskosten: Referenzszenario Tierbestandsreduktion.	Rekursiv-dynamisches lineares Optimierungsmodell: Integriertes agrarwirtschaftliches Allokationsmodell S_INTAGRAL (Umfassendes landwirtschaftliches Angebotsmodell). Input-Output-Beziehungen werden über linear limitationale Leontief-Produktionsfunktionen abgebildet.	2.50% (Ställe) bzw. 3.50% (Maschinen)	k.A.	k.A.	

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
Alle Sektoren / Verwendungszwecke								
McKinsey&Company (2009), Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve	HH / I / DL / V / E / LW W/G / FS/EE / L/K/P	Erarbeitung von Grundlagen und Erstellung eines einheitlichen Datensets als Ausgangspunkt zur Diskussion der Prioritäten und besten Strategien für die Reduktion von THG-Emissionen. Massnahmen in den Bereichen Landwirtschaft, Industrie, Elektrizität, Transport und Gebäude.	2030 ohne zusätzliche Reduktionsmassnahmen ausser den bereits heute beschlossenen (basierend auf IEA und BFE Prognosen). Wirtschaftliche Wachstumsraten entsprechen den vergangenen Durchschnittswerten. Schwacher Anstieg der gesamten THG-Emissionen von 54.6 Mio. t CO <sub>2e</sub> in 2005 auf 55.9 Mio. t CO <sub>2e</sub> in 2030 (inkl. THG-Emissionen aus direkten Netto-Elektrizitätsimporten): - Gebäude: -0.8%/a (Wechsel von Öl hin zu Gas, Strom und erneuerbare Energien) - Verkehr: -0.1%/a - Industrie: +0.8%/a - Landwirtschaft: -0.4%/a - Elektrizität: +0.5%/a Betrachtung über die gesamte Nutzungsdauer einer Massnahme.	„Fact-based economic model“ - Top-down für Massnahmen in den Bereichen Landwirtschaft und Industrie - Bottom-up für Massnahmen in den Bereichen Elektrizität, Transport und Gebäude	2.50%	- Base case: 52 k.A. USD/barrel - 100 USD oil-price scenario: 100 USD/barrel		Basiert methodisch auf der globalen und anderen länderspezifischen Studien von McKinsey&Company

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
IIASA (2010), GAINS-Model: Mitigation Potentials and Costs in 2020 (Switzerland)	HH / I / DL / V / E / LW W/G / FS/EE / L/K/P	Kohärenter internationaler Vergleich der THG-Vermeidungspotenziale und – kosten (und Luftverschmutzung) in den Annex 1 Länder der Klimarahmenkon- vention der Vereinten Nationen	Basisjahre 1990 und 2005 Referenzfall (baseline) 2020 (basierend auf den Energievorhersagen des World Energy Outlook 2008 der internationa- len Energieagentur IEA)	GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) model: Bottom-up Bewertung der THG-Vermeidungspotenziale und – kosten basierend auf technischen Vermeidungspotenzialen und –kosten und exogenen Prognosen für die zukünftige Entwicklung. GAINS identifiziert für jedes Land dasjenige Massnahmenportfolio, welches das vorgegebene THG-Reduktionsziel am kosteneffizientesten erreichen kann. Das heisst, das Modell liefert direkt vergleichbare nationale THG- Vermeidungskostenkurven.	Privater Zinssatz von 4%	k.A.	k.A.	

Sektoren: HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft.

Verwendungszweck: W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse.

## Anhang B - Teil 3: Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen

Abbildung 7-3: Vergleich der wichtigsten Annahmen in Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
Ecoplan (2009): Volkswirtschaft- liche Auswir- kungen der Schweizer Post- Kyoto-Politik	HH / I / DL / V / E / LW W/G / FS/EE / L/K/P	Gesamtwirtschaftliche Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Post-Kyoto-Massnahmenpakets des Bundesrats und einer weiteren Vari- ante, die an die Klimainitiative angelehnt ist.  Drei Hauptszenarien: - «Szenario BR -20%»: Verbindliche Klimaziele ohne internationales Ab- kommen - «Szenario BR -30%»: Verbindliche Klimaziele mit internationalem Ab- kommen - «Szenario Klimainitiative» Klimapolitische Instrumente: - Emissionshandelssystem (ETS) - CO <sub>2</sub> -Abgabe - Kompensationspflicht bei Treibstoffen - Gebäudeprogramm - Emissionsvorschriften für Neuwagen	Referenzentwicklung BAU für 2020, Entwicklung ohne klimapolitische Massnahmen: - BIP-Entwicklung: Zunahme um +24% bis 2020 gegenüber 2005 (gemäss SECO) - Bevölkerungsentwicklung: Zunahme um +10% bis 2020 gegenüber 2005 (gemäss Bevölkerungsszenario Trend des BFS) - Klima: ohne Erwärmung - Ölpreis: 55 USD/Fass Zusätzlich: alternative Annahmen hinsichtlich Klima (+2°C bis 2050, d.h. +0.6°C bis 2020) und Ölpreis (100 USD/Fass)	Berechenbares dynamisches Einländer- Gleichgewichtsmodell, top-down. Damit lassen sich insbesondere preisliche Instrumente, wie eine CO <sub>2</sub> -Abgabe, analysieren.	k.A.	Ölpreis: 55 USD/Fass (Preis 2005)	Treibstoffe: -0.2 (kurz- bis mittel- fristig), -0.4 (mittel- bis langfristig), -0.6 (sehr langer Zeithorizont, ca. 50 Jahre)	

Studie	Sektoren / Verw.zweck	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	Modell / Ansatz	Zinssatz	Energiepreise	Elastizitäten	Bemerkungen
EPFL (2009), Assessment of the economic impacts of the revision of the Swiss CO <sub>2</sub> law with a hybrid model	HH / V / W/G / FS/EE	Gesamtwirtschaftliche Analyse der vorgeschlagenen Massnahmen im Rahmen der Revision des CO <sub>2</sub> - Gesetzes für den Verkehr- und den Gebäudesektor mit einem Hybridmodell (Kombination eines CGE- und zwei Energiemodellen, detaillierte Modellie- rung) zur Analyse der volkswirtschaftli- chen Auswirkungen von zukünftigen Klimaschutzmassnahmen	- Basisjahr 2000 für das MARKAL- CHRES Energiemodell: Kalibriert auf Daten der IEA und Schweizer Statistiken. - Baseline Szenario bis 2020, divi- diert in Zeitperioden von je 5 Jahren	Hybridmodell: Kupplung einer aggre- gierten Version des GEMINI-E3 Modells mit den Energiemodellen MARKAL- CHRES und MARKAL-CHTRA  <i>Aggregierte Version des GEMINI-E3 Modells:</i> Rekursiv-dynamisches Gleich- gewichtsmodell mit einer sehr detaillier- ten Abbildung der indirekten Steuern, welches die globale Volkswirtschaft in sechs Regionen und 18 Sektoren einteilt.  Regionen: Schweiz, Europäische Union, Europäische und Euro-asiatische Län- der, Japan, USA / Kanada / Australien / Neuseeland, Restliche Länder (haupt- sächlich Entwicklungsländer)  <i>MARKAL-CHRES und MARKAL- CHTRA:</i> Bottom-up Energiesystemmo- delle, welche das Schweizer Wohnge- bäude- und Transportenergiesystem beschreiben.  - Baseline Szenario bis 2050, Zeithori- zont von 50 Jahren (dividiert in 11 Zeitperioden von je 5 Jahren)  - Beinhalten 173 resp. 184 Technolo- gien, welche unterschiedliche Ener- giequellen nutzen (Kohle, Öl, Diesel, Benzin, Erdgas, Elektrizität, Holz, Pellets und Fernwärme)	Endogene reale Zinssätze, welche durch das Gleichge- wicht zwischen Sparen und Investieren bestimmt werden. Die Zinssätze verbinden die ver- schiedenen Zeitperio- den im Modell.	Ölpreis: 50 USD/Fass bis 2020	Verschiedene Elastizitätspa- rameter für die verschiedenen Sektoren und Regionen in den Produktions- und Konsum- funktionen.	THG Vermei- dungspotenziale werden exogen, durch Politiksze- narien vorgege- ben

Sektoren: HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft.

Verwendungszweck: W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse.

## 8 Anhang C: Vergleich der Resultate der analysierte Studien

### Anhang C - Teil 1: Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt

#### Bereiche Wärme / Gebäude und fuel switch / Erneuerbare Energien

**Abbildung 8-1: Vergleich der Resultate der Studien auf Ebene Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt, Bereiche Wärm / Gebäude und fuel switch / Erneuerbare Energien**

Studie	Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
Wärme / Gebäude				
Econcept, CEPE (2007), Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäu- deerneuerungen?	Haushalte  Es werden lediglich die jährlichen Gesamtkosten der untersuchten Erneuerungsmassnahmen und der Einfluss unterschiedlicher Überwälzungsmöglichkeiten ausgewiesen.			
Econcept, CEPE (2008), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Bereich der Gebäu- deerneuerung in der Schweiz	Haushalte Referenz: Öl beheizt  Szenario A) Volkswirtschaftliche Optik: Hohe Energiepreise und / oder Abgabe, aktive Nachhaltigkeitspolitik Szenario B) Betriebswirtschaftliche Optik: Realistisch-konservative Variante			
	M1: Grenzwert SIA 380/1 (140% des SIA Neubau-Grenzwertes, vielerorts heutige Vorschrift bei umfassenden Renovationen)	Vergleichsbasis M0: Instand- setzung der Gebäudehülle, keine oder nur geringe Reduk- tion der CO <sub>2</sub> -Emissionen (Referenzvariante 2; 'Pinsel- renovation'): Erneuerung Fassaden- und Fensteran- strich, ev. mit Ausbesserungen des Putzes und Heizungser- neuerung  Betrachtung über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen	A) & B): 34 (EFH) bis 23 (MFH) Öl kg/m <sup>2</sup> /a	A) -148 (EFH) bis -172 (MFH) CHF/tCO <sub>2</sub>  B) 14 (EFH) bis -8 (MFH) CHF/tCO <sub>2</sub>
	M2: Primäranforderung Minergie (ohne Komfortlüftung, 120% des SIA Neubau-Grenzwertes): Erneue- rung der wichtigsten Bauteile wie Fenster, Wand, Dach gemäss Minergie-Modulen		A) & B): 40 (EFH) bis 28 (MFH) Öl kg/m <sup>2</sup> /a	A) -128 (EFH) bis -150 (MFH) CHF/tCO <sub>2</sub>  B) 61 (EFH) bis 53 (MFH) CHF/tCO <sub>2</sub>
	M3: Minergie Sanierungsstandard (mit Komfortlüftung)		A) & B): 45 (EFH) bis 33 (MFH) Öl kg/m <sup>2</sup> /a	A) 42 (EFH) bis 105 (MFH) CHF/tCO <sub>2</sub>  B) 261 (EFH) bis 353 (MFH) CHF/tCO <sub>2</sub>
	M4: Minergie-P Standard (mit Komfortlüftung)		A) & B): 56 (EFH) bis 43 (MFH) Öl kg/m <sup>2</sup> /a	A) 106 (EFH) bis 129 (MFH) CHF/tCO <sub>2</sub>  B) 329 (EFH) bis 372 (MFH) CHF/tCO <sub>2</sub>

Studie	Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
	Fenster	Massnahmen an einzelnen Bauteilen: Energetische Standarderneuerung (M1) im Vergleich zur Instandsetzung (M0)	k.A.	A) 172 CHF/tCO <sub>2</sub> B) 359 CHF/tCO <sub>2</sub>
	Wand gegen aussen		k.A.	A) -142 CHF/tCO <sub>2</sub> B) 1 CHF/tCO <sub>2</sub>
	Dach		k.A.	A) -164 CHF/tCO <sub>2</sub> B) -6 CHF/tCO <sub>2</sub>
	Estrichboden		k.A.	A) -154 CHF/tCO <sub>2</sub> B) 6 CHF/tCO <sub>2</sub>
TEP Energy (2010), Energetische Gebäudeerneuerungen - Wirtschaftlichkeit und CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	Haushalte			
	Fenster Fall 1: Instandsetzungsmassnahmen mit geringer Eingriffstiefe (Holzfenster)	Nicht-energetische Instandsetzung von Gebäudehülle als Referenzfall.	k.A.	237 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Fenster Fall 2: Fensterersatz (Holzfenster)	Grundförderung vs. Instandsetzung, ohne Berücksichtigung der Förderbeiträge, über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.	k.A.	-53 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Wand gegen aussen / < 2m im Erdreich		k.A.	-8 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Dach von innen		k.A.	-91 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Dach gegen aussen		k.A.	-63 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Estrichboden		k.A.	9 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Kellerdecke / Boden/Wand gegen unbeheizt > 2m im Erdreich		k.A.	2 CHF/t CO <sub>2</sub>
Econcept, Amstein & Walthert, TEP Energy (2011), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten	Haushalte		Mittleres CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenzial für 38 EFH, 14 kleine und 9 grosse MFH	Mittlere CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten für 38 EFH, 14 kleine und 9 grosse MFH
	Dach	Referenzvarianten ohne energetische Massnahmen: Der Referenzfall entspricht somit einer nicht energetisch wirksamen Instandsetzung mit einer Lebenszyklusdauer, welche mit	8.16 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	-39 CHF/t CO <sub>2</sub> (Energiepreis hoch: 120 CHF/100l) bis 109 CHF/t CO <sub>2</sub> (Energiepreis Referenz: 80 CHF/100l))
	Aussenwand	den real ausgeführten Massnahmen vergleichbar ist (Vergleich der energetischen	14.9 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	-51.1 bis 97.1 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Fenster	Sanierung mit nicht energetischen Instandsetzungsmassnahmen, individuell pro Objekt).	9.1 (Ref. Fensterersatz) bis 24.4 (Ref. Instandsetzung) kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	528 bis 676 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Boden	Für die Referenzfälle nach	15.4 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	-277 bis -129 CHF/t CO <sub>2</sub>



Studie	Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
	Gesamt	Bauteil vgl. Kap. 4.4., S. 15.	k.A.	42 bis 190 CHF/t CO <sub>2</sub>
B,S,S. (2008), Vermeidungskosten Industrie und Verkehr	Industrie			
	Literaturüberblick und Schätzungen		Heute: 1-1.5 Mio. t CO <sub>2</sub> /a bis 2012: 0.025-1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a bis 2020: 0.3 Mio. t CO <sub>2</sub> /a bis 2035: 0.27-2.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	-1'112 bis 460 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Gebäudehülle	Auswertung der EnAW Daten: Vermeidungspotenzial: 2020 Vermeidungskosten:	8'338 t CO <sub>2</sub> /a	1) 1'357 CHF/t CO <sub>2</sub> 2) 388 CHF/t CO <sub>2</sub> 3) 104 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Gebäudetechnik Infrastruktur	1) 2008-2012 2) 2008-2020 3) Über die gesamte Wirkungsdauer der Massnahmen	57'460 t CO <sub>2</sub> /a	1) -59 CHF/t CO <sub>2</sub> 2) -157 CHF/t CO <sub>2</sub> 3) -161 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Produktionstechnik		124'845 t CO <sub>2</sub> /a	1) -88 CHF/t CO <sub>2</sub> 2) -168 CHF/t CO <sub>2</sub> 3) -124 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Substitution von Energieträgern		126'246 t CO <sub>2</sub> /a	1) -174 CHF/t CO <sub>2</sub> 2) -201 CHF/t CO <sub>2</sub> 3) -199 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Andere		152'072 t CO <sub>2</sub> /a	1) 52 CHF/t CO <sub>2</sub> 2) -114 CHF/t CO <sub>2</sub> 3) -89 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Hochrechnung auf gesamten Industriesektor		1.52 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (das Potenzial rentabler Massnahmen beträgt rund 1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a)	
	Gespräche mit Experten (Fallbeispiele)	2020	11'500 t CO <sub>2</sub> /a	-121 bis -263 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Befragung von Unternehmen (Hochgerechnet auf den gesamten Industriesektor)	Bis 2010 resp. 2020 geplante Reduktionsmassnahmen	1.46 Mio. t CO <sub>2</sub> /a 1.0 Mio. t CO <sub>2</sub> /a mit Vermeidungskosten <0	

Studie	Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
B,S,S. (2008), Treibhausgasemissionen Gebäude und Emissionen synthetische Treibhausgase	Haushalte			
	Reduktion des Wärmeenergieverbrauchs pro Fläche (bei Erneuerungsrate von 1.5%)	Ausgangsjahr 2010 Resultate für 2015, 2020, 2030	2020: 1.3 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	k.A.
	Emissionsärmere Wärmeenergieerzeugung - Steigerung des Wirkungsgrad des Heizsystems (5%/a) - Wahl eines Brennstoffs mit besserer CO <sub>2</sub> -Effizienz (Annahme, dass 10% der Hausbesitzer bei der Erneuerung von Heizöl auf Erdgas resp. erneuerbare Brennstoffe wechseln )		2020: 0.13 (Wechsel zu Erdgas) resp. 0.53 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (Wechsel zu erneuerbarem Brennstoff)	k.A.
Wärme / Gebäude und fuel switch / Erneuerbare Energien				
Infras (2008), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität	Haushalte / Industrie / Dienstleistungen			
	Autonome erneuerbare Anlagen zur Bereitstellung von Wärme im Bereich von erneuerbaren Energien			
	Automat. Holzfeuerungen 50 kW bis 300 kW (inkl. Pellet)	kurzfristig bis 2012 längerfristig bis 2035 (basierend auf dem langfristigen energetischen Restpotenzial, bis zum Jahr 2035)	2012: 40'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 200'000 t CO <sub>2</sub> /a	135-180 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Automat. Holzfeuerungen 300 kW bis 500 kW (inkl. Pellet)	Die kurzfristigen CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale werden unter der Annahme abgeschätzt, dass nur HEL substituiert wird. Für die langfristigen Potenziale wird unterstellt dass der bestehende Mix zwischen Erdgas und HEL mit erneuerbaren Energien substituiert werden kann.	2012: 15'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 80'000 t CO <sub>2</sub> /a	75-125 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Automat. Holzfeuerungen über 500 kW (inkl. Pellet)		2012: 65'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 350'000 t CO <sub>2</sub> /a	40-75 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Anlagen für Abfallholz		2012: 75'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 150'000 t CO <sub>2</sub> /a	40-115 CHF/t CO <sub>2</sub>
	KVA (Holzwärmenutzung)		2012: 40'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 80'000 t CO <sub>2</sub> /a	-40 bis 75 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Neubau / Anschluss an Wärmenetze Holz		k.A.	k.A. bis 35 CHF/t CO <sub>2</sub>

Studie	Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
	Wärme aus feuchter Biomasse (LW-Biogasanlagen, ARA, Kompo- gasanlagen)		2012: 10'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 560'000 t CO <sub>2</sub> /a	75-190 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Verbrennung oder Vergasung von Biogenen Abfällen (KVA, Industrie etc.)		2012: 120'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 240'000 t CO <sub>2</sub> /a	-40 bis 75 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Unverglaste thermische Sonnenkol- lektoren (z.B. Solare Freischwimm- bäder)		2012: 5'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: k.A.	0-40 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Wärmepumpen >100 kW (nur erneuerbarer Anteil, inkl. Geother- mische WP und Abwärme aus ARA)		2012: 90'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 720'000 t CO <sub>2</sub> /a	0-75 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Tiefe Geothermie (nur Anteil der ohne Wärmepumpe genutzt wird)		2012: 0 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 1.6 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	115-230 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Industrie und Dienstleistungen: Gebäudebereich und Einsparpotenziale der industrielle Prozesse (nur Wärme)			
	Heizung und Warmwasser in DL- Gebäuden	kurzfristig bis 2012 längerfristig bis 2035	2012: 220'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 2.6 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	-100 bis 190 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Heizung und Warmwasser in In- dustrie-Gebäuden		2012: 25'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 270'000 t CO <sub>2</sub> /a	-100 bis 135 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Industrielle Prozesse (nur Wärme)		2012: 225'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 2.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	-75 bis 220 CHF/t CO <sub>2</sub>

## Sektor Verkehr

Abbildung 8-2: Vergleich der Resultate der Studien auf Ebene Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt, Sektor Verkehr

Studie	Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
Verkehr				
B,S,S. (2008), Vermeidungskosten Industrie und Verkehr	Verkehr			
	Steuerung des Kaufverhaltens, Szenario 1: Umstieg auf eine um eine Kategorie kleinere Motorisierung	2009-2012 und 2009-2020	2012: 0.1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a 2020: 0.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	k.A.
	Steuerung des Kaufverhaltens, Szenario 2: Umstieg auf die kleinste Motorisierung der jeweiligen Modellvariante		2012: 0.2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a 2020: 0.6 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	k.A.
	Steuerung des Kaufverhaltens, Szenario 3: Umstieg auf die Motorisierung mit den tiefsten CO <sub>2</sub> -Emissionen des jeweiligen Modelltyps		2012: 0.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a 2020: 1.3 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	k.A.
	Fahrzeugeffizienz / technische Massnahmen		2020: 2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	etwa die Hälfte (0.9 Mio. t CO <sub>2</sub> ) mit negativen Kosten
	Mobilitätsmanagement		2012: 40'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 130'000 t CO <sub>2</sub> /a	-340 bis 600 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Emissionsärmere Treibstoffe, Szenario A: Dieselquote bei Neufahrzeugen bleibt bis zum Jahr 2020 bei 35%		2012: 0.1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a 2020: 0.2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	k.A.
	Emissionsärmere Treibstoffe, Szenario B: Dieselquote steigt bis 2020 linear auf 50%		2012: 0.1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a 2020: 0.2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	k.A.
	Emissionsärmere Treibstoffe, Szenario C: Dieselquote bei Neuzulassungen kann durch eine gezielte politische Förderung bis 2012 auf 70% und bis 2020 auf 85% angehoben werden		2012: 0.1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a 2020: 0.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	k.A.

Studie	Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
Infras (2008), CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität	Verkehr: Mobilität			
	Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen am Fahrzeug (130 g CO <sub>2</sub> /km per 2012); d.h. in CH: graduelle Absenkung der spezifischen Emission von Neuwagen von 184 g CO <sub>2</sub> /km (2005) bis 2012 auf 145 g CO <sub>2</sub> /km; bis 2020 auf 110g CO <sub>2</sub> /km	kurzfristig bis 2012 längerfristig bis 2035 Einbusse (Kosten) für gewisse Mobilitätsteilnehmer, z.B. aufgrund weniger leistungsfähigeren oder kleineren Fahrzeugen, werden nicht einbezogen (schwierig monetarisierbar)	2012: 110'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	200-300 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen (Reifen)		2012: 30-50'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 330'000 t CO <sub>2</sub> /a	-75 bis -35 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen (Klimaanlagen)		2012: 15-30'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 50-100'000 t CO <sub>2</sub> /a	50-100 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Effizienzverbesserung durch Änderung im Kaufverhalten von PW (Bonus-Malus)		2012: 100'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: k.A.	-50 bis 10 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Effizienzverbesserung durch Änderung im Fahrverhalten (EcoDrive)		2012: 60'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 550'000 t CO <sub>2</sub> /a	-120 bis -60 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Mobilitätsmanagement		2012: 70'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: 300'000 t CO <sub>2</sub> /a	-340 bis 600 CHF/t CO <sub>2</sub>
	Alternative Treibstoffe, Agro-Treibstoffe		2012: 150-200'000 t CO <sub>2</sub> /a 2020: k.A.	150-200 CHF/t CO <sub>2</sub>
ETHZ, IED, De Haan (2007), Förderung energieeffizienter und emissionsarmer Fahrzeuge mittels Automobilsteuern - Differenzierung oder Bonusprämien	Untersuchung der voraussichtlichen (Markt- und Umwelt-)Wirkung und der Massnahmeneffizienz verschiedener Vollzugsmodelle (Anreizmodelle) für eine Differenzierung der Automobilsteuern auf Bundesebene aufgrund von Umwelt- und Energieeffizienzkriterien.	2005 CO <sub>2</sub> -Effekt über technische Lebensdauer der Neuzulassungen-Jahreskohorte	72'000 - 409'000 t CO <sub>2</sub> /a (je nach Vollzugsmodell / Szenario)	k.A.

Studie	Einzelmassnahmen	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
BFE (2007), Auswirkungen ausgewählter Massnahmen im Verkehr	Verkehr: CO <sub>2</sub> -Abgabe von 25 Rp./Liter Treibstoff	2015	2008: 200'000 t CO <sub>2</sub> /a 2010: 420'000 t CO <sub>2</sub> /a 2015: 615'000 t CO <sub>2</sub> /a	k.A.
	Umlegen der kantonalen Motorfahrzeugsteuern auf den Treibstoff und Verteilung der Einnahmen an die Kantone		Etwa ähnlich wie CO <sub>2</sub> -Abgabe	k.A.
	Verschrottungsprämie		26'000 t CO <sub>2</sub> /a	k.A.

## Anhang C - Teil 2: Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung

**Abbildung 8-3: Vergleich der Resultate der Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung**

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
<b>Wärme / Gebäude</b>				
Michael Kost (2006), Langfristige Energieverbrauchs- und CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale im Wohngebäudesektor der Schweiz	Analyse von Wohngebäudeparks der Schweiz mit Fokus auf den Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser. Simuliert wurden verschiedene Szenarien, welche sich hinsichtlich Energiestandard für Neubauten und Sanierungen, Heiz- und Warmwassersystem, Effizienzsteigerung, Intensivierung der Bautätigkeit (höherer Anteil sanierter Gebäude, vorgezogene Gebäudesanierungen und vermehrter Ersatzneubau) und Nachfrageentwicklung (Energiebezugsflächennachfrage und Nachfrage nach Warmwasser) unterscheiden.	Simulation ausgehend vom Gebäudebestand 2000 bis zum Jahr 2050	Je nach Szenario: Gesamthaft 3 - 8 Mio. t CO <sub>2</sub> /a im Jahr 2050	Gebäude: -100 bis +150 CHF/t CO <sub>2</sub>
Ernst Basler & Partner, WWF (2010), CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale bis 2020 in der Schweiz mittels Förderprogrammen	Haushalte / Industrie / Dienstleistungen			
	Holz-, Fern-, Abfallwärme	2020	200'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Unternehmen innerhalb ETS (inkl. freiwillig in ETS)		200'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Unternehmen mit EnAW-Zielvereinbarung		100'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	KMU-Prozessoptimierung Wärme		110'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Gebäudeautomatisierung (höherer Preise je vermiedene Tonne CO <sub>2</sub> oder ein eigentliches Gebäudeautomationsprogramm mit Beratungsangebot)		100'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	GP+: Erhöhung Geldmittel für Gebäudeprogramm		400'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	GP+: Förderung kantonaler Zusatzprogramme (Erhöhung der Mittel für Globalbeiträge sowie der Abschluss von Vereinbarungen mit Kantonen)		600'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
	Programme zur Reduktion der Raumtemperatur (Reduktion der Raumtemperatur um 2° bei der Hälfte der beheizten Wohnflächen würde die Zunahme der letzten Jahre wieder rückgängig machen)		590'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	GP+: Aus- und Weiterbildung, Projektbegleiter		140'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Gesamtreduktion aller untersuchten Massnahmen (inkl. Massnahmen im Sektor Verkehr, weiter unten)		Total 3.3 Mio. t CO <sub>2</sub> e	k.A.
Verkehr				
Infras (2005), CO <sub>2</sub> -Potential des Langsamverkehrs	Quantifizierung der CO <sub>2</sub> -Potenziale des Langsamverkehrs (LV) im Personenverkehr (MIV-Substitutionspotenzial) anhand folgender Massnahmen: - LV+: Spezifische LV-Fördermassnahmen - LV+/MIV-: LV fördernde und MIV hemmende Massnahmen	Referenzfall für 2012 und 2030	Technisches Potenzial: 0.375 Mio. t CO <sub>2</sub> /a Realisierbares Potenzial: 0.1 bis 0.35 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	



Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
Infras (2011), CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Treibstoffe	Auswirkungen einer CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Treibstoffen: Lenkungseffekt (Inlandnachfrage) und Auswirkungen auf den Tanktourismus und auf die Einnahmen aus der Mineralölsteuer. Abgabe von 36, 60 und 120 CHF pro Tonne CO <sub>2</sub> . Das entspricht bei Benzin einem Aufschlag von 8, 14 bzw. 28 Rp./L, bei Diesel von 9, 16 bzw. 31 Rp./L.	BAU ohne CO <sub>2</sub> -Abgabe 2020: - stabiler Treibstoffabsatz - inkl. Limite für Neuwagenflotte ab 2015: max. 130 g CO <sub>2</sub> /km (Diese Massnahme bringt eine Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen in 2020 von rund 1.7 Mio. t CO <sub>2</sub> )		
	CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Benzin und Diesel: 120 CHF/t CO <sub>2</sub>	BAU ohne CO <sub>2</sub> -Abgabe 2020	Lenkungseffekt: - 0.59 Mio. t CO <sub>2</sub> Tanktourismus: - 0.81 Mio. t CO <sub>2</sub> Total (Netto-Effekt): -1.39 Mio. t CO <sub>2</sub>	Entsprechen den jeweiligen Abgabesätzen
	CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Benzin und Diesel: 60 CHF/t CO <sub>2</sub>		Lenkungseffekt: - 0.32 Mio. t CO <sub>2</sub> Tanktourismus: - 0.32 Mio. t CO <sub>2</sub> Total (Netto-Effekt): -0.64 Mio. t CO <sub>2</sub>	
	CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Benzin und Diesel: 36 CHF/t CO <sub>2</sub>		Lenkungseffekt: - 0.19 Mio. t CO <sub>2</sub> Tanktourismus: - 0.16 Mio. t CO <sub>2</sub> Total (Netto-Effekt): -0.35 Mio. t CO <sub>2</sub>	
	CO <sub>2</sub> -Abgabe nur auf Benzin: 120 CHF/t CO <sub>2</sub>		Lenkungseffekt: - 0.24 Mio. t CO <sub>2</sub> Tanktourismus: - 0.57 Mio. t CO <sub>2</sub> Total (Netto-Effekt): -0.81 Mio. t CO <sub>2</sub>	
Infras (2009), Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS	Aufzeigen der möglichen Bandbreite der Wirkungen des Einbezugs des Luftverkehrs in das bestehende Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS) auf die Schweiz	Baseline-Szenario 2012 und 2020, ohne klimapolitische Massnahmen für den Flugverkehr (in CH und international)	2012: -0.05 bis +0.88 Mio. t CO <sub>2</sub> 2020: -0.16 bis +0.54 Mio. t CO <sub>2</sub> (je nach Szenario)	k.A.

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
ETHZ, IED, De Haan (2009a), CO <sub>2</sub> -Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU	Analyse möglicher Absenkungs- und Zielpfaden sowie Abschätzungen der Auswirkungen verschiedener Vollzugmodelle zur Orientierung an die EU im Bereich Emissionen der PW-Neuzulassungen.	2015 <ul style="list-style-type: none"> <li>REFBFE: Szenario I der BFE-Energieperspektiven. Mit den angenommenen Absenkungsraten wird das 130 g CO<sub>2</sub>/km Ziel weder in der EU noch in der CH im Jahre 2015 erreicht.</li> <li>REFETH: In den ersten Jahren leicht zurückhaltender als REFBFE</li> </ul>	0.82 – 1.80 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (je nach Szenario; d.h. Absenkung, Abgabe, Zertifikatspreis)	k.A.
ETHZ, IED, De Haan (2009b), Umsetzung der 130g CO <sub>2</sub> /km-Strategie für die Schweiz: CO <sub>2</sub> -Reduktionseffekte 2012-2020	Berechnung der Auswirkungen einer Umsetzung der 130g CO <sub>2</sub> /km-Strategie für die Schweiz auf die CO <sub>2</sub> -Emissionen (Reduktionseffekte) in den Jahren 2012-2020 (je Kalenderjahr) für die Vollzugmodelle in ETHZ, IED, De Haan (2009a). Ausserdem werden weitere Szenarien entwickelt, welche kompatibel sind mit dem 95 g CO <sub>2</sub> /km Ziel der EU ab 2020.	2012-2020 <ul style="list-style-type: none"> <li>REFBFE: Szenario I der BFE-Energieperspektiven. Mit den angenommenen Absenkungsraten wird das 130 g CO<sub>2</sub>/km Ziel weder in der EU noch in der CH im Jahre 2015 erreicht.</li> <li>REFETH: In den ersten Jahren leicht zurückhaltender als REFBFE</li> <li>REF_BAFU: Ab 2016 kommen höhere Absenkungspfade als in den BFE-Szenarien zur Anwendung</li> </ul>	2012: 0.21 – 0.34 Mio. t CO <sub>2</sub> /a 2020: 1.16 – 1.94 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (je nach Szenario, d.h. Absenkung, Abgabe, Zertifikatspreis)	k.A.
RappTrans (2007), Mobility Pricing - Synthesebericht	Neben verkehrlichen und finanziellen Auswirkungen sowie technischen und betrieblichen Aspekten des Mobility Pricing wurden auch umweltrelevante Auswirkungen verschiedener Szenarien für die Schweiz analysiert.	Grundzustand des Mobilitätsangebots und der Mobilitätsnachfrage ohne Mobility Pricing. <ul style="list-style-type: none"> <li>Für die verkehrlichen Überlegungen: 2030</li> <li>Für die Abschätzung der finanziellen Auswirkungen gilt die heutige Situation als Referenzzustand.</li> </ul>	2030: 28'000 bis 886'000 t CO <sub>2</sub> /a (je nach Szenario)	k.A.

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
Ernst Basler & Partner, WWF (2010), CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale bis 2020 in der Schweiz mittels Förderprogrammen	Verkehr			
	EU Richtwert von 130 g CO <sub>2</sub> /km für neue PW	2015	0.3-1.0 Mio. t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Zielvereinbarungen im Treibstoffbereich	2020	50'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Biotreibstoffe (mit Mineralölsteuerbefreiung)		50'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Förderung der Elektromobilität (Szenario mit 100'000 Elektro-PW, weitgehende Elektrifizierung der Kleinmotorräder, 8'000 Elektro-Lieferwagen)		30'000 t CO <sub>2</sub> e Hat auch positive Zusatzeffekte bei Luftschadstoffen und Lärm	k.A.
	Förderung effizienter Nutzfahrzeuge		150'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Zielvereinbarung mit Erstausrüster (Generalimport.) (50% der PKW-Neuzulassungen sind mit Leichtlaufreifen mit integrierter Druckmessung für Reifendrucküberwachung und Leichtlauföl auszuliefern; betrifft Reduktionswirkungen bei PKW, welche nicht durch die 130 g CO <sub>2</sub> /km-Regelung erfasst werden)		140'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Energieberatung Autofahrer		250'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	CarSharing- und Autoverzicht-Community-Verpflichtung		190'000 t CO <sub>2</sub> e	k.A.
	Gesamtreduktion aller untersuchten Massnahmen (inkl. Massnahmen im Bereich Wärme / Gebäude, weiter oben)		Total 3.3 Mio. t CO <sub>2</sub> e	k.A.
Landwirtschaft				
ETHZ (2005), Eine ökonomische Analyse zur Reduktion der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen in der Schweiz	Aufzeigen und ökonomische Bewertung der landwirtschaftlichen Leistungen zur Reduktion ihrer THG-Emissionen seit 1990 sowie der zukünftig noch zu erwartenden Emissions-Reduktionen im Hinblick auf die Zielerfüllung im Rahmen des Kyoto-Protokolls	2010 Szenario CH: Verhältnismässig geringe Abnahme der schweizerischen Produzentenpreise Szenario EU: Kontinuierliche Annäherung an das EU-Preisniveau mit entsprechend geringeren Produzentenpreisen in der Schweiz	Emissionsreduktion gegenüber 2000: 2005: 111'300 CO <sub>2</sub> eq/a 2010 „CH“: 551'100 CO <sub>2</sub> eq/a 2010 „EU“: 574'800 CO <sub>2</sub> eq/a	0 - 2.5 Mio. CHF/Jahr

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
ETHZ (2009), „THG 2020“ - Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz	Quantifizierung des technologischen und ökonomischen THG-Reduktionspotenzials im Schweizer Landwirtschaftssektor	2020 3x3 Szenarien: Agrarpolitische und umweltpolitische Szenarien Für die Quantifizierung der THG-Vermeidungskosten: Referenzszenario Tierbestandsreduktion		
	Abgabe-Szenario	2020, Agrarpreise HOCH (1), MITTEL (2) und TIEF (3)	1) 239'000 t CO <sub>2</sub> eq/a 2) 608'000 t CO <sub>2</sub> eq/a 3) 553'000 t CO <sub>2</sub> eq/a	50 CHF/t CO <sub>2</sub> eq
	Förder-Szenario	2020, Agrarpreise HOCH (1), MITTEL (2) und TIEF (3); Fördersatz CHF 1'000/t	1) 117'000 t CO <sub>2</sub> eq/a 2) 98'000 t CO <sub>2</sub> eq/a 3) 226'000 t CO <sub>2</sub> eq/a	
	Für Vermeidungskosten: Referenz-Variante Tierbestandsreduktion	2020		543 CHF/t CO <sub>2</sub> eq
	Fettzugabe zur Fütterung (Sonnenblumenöl)			1'105 CHF/t CO <sub>2</sub> eq
	mehr Kraftfutter in Ration			k.A.
	Anaerobe Vergärung			k.A.
	Additive bei Flüssigmist (Milchsäure)			1'376 CHF/t CO <sub>2</sub> eq
	Anorganische Abdeckung (Schwimmfolie)			68 CHF/t CO <sub>2</sub> eq
	Ausbringungstechniken (Schleppschlauch)			1'692 CHF/t CO <sub>2</sub> eq
	vermehrte Weidehaltung			k.A.
	Art der Stallhaltung			k.A.
	Verbesserung Leistung			k.A.

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
Alle Sektoren / Verwendungszwecke				
McKinsey&Company (2009), Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve	Erarbeitung von Grundlagen und Erstellung eines einheitlichen Datensets als Ausgangspunkt zur Diskussion der Prioritäten und besten Strategien für die Reduktion von THG-Emissionen Massnahmen in den Bereichen Landwirtschaft, Industrie, Elektrizität, Transport und Gebäude	2030 ohne zusätzliche Reduktionsmassnahmen ausser den bereits heute beschlossenen (basierend auf IEA und BFE Prognosen). Wirtschaftliche Wachstumsraten entsprechen den vergangenen Durchschnittswerten.		
	Gebäude			
	Gebäudesanierungen (Minergie Standard)	2030	6.1 Mio. t CO <sub>2</sub> e	-60 EUR/t CO <sub>2</sub> e (Ölpreise von 100 EUR/barrel) bis 55 EUR/t CO <sub>2</sub> e (Ölpreis von 52 EUR/barrel)
	Neue Wohn- und Geschäftsgebäude		0.7 Mio. t CO <sub>2</sub> e	Wohngebäude: ca. 8 EUR/t CO <sub>2</sub> e Geschäftsgebäude: ca. -40 EUR/t CO <sub>2</sub> e
	Wechsel hin zu alternativen Heizsystemen		4.2 Mio. t CO <sub>2</sub> e	ca. 5 EUR/t CO <sub>2</sub> e
	Wechsel von Glühlampen zu LED Beleuchtung		0.3 Mio. t CO <sub>2</sub> e	-1'825 EUR/t CO <sub>2</sub> e
	Verkehr / Transport			
	Verbesserungen bei den konventionellen Verbrennungsmotoren (z.B. Gewichtsreduktionen, Pneudruckkontrollsysteme, Verbesserungen an Klimaanlage etc.)	2030	4.9 Mio. t CO <sub>2</sub> e	ca. -80 bis -5 EUR/t CO <sub>2</sub> e
	Hybrid Fahrzeuge		0.6 Mio. t CO <sub>2</sub> e (0.2 Mio. t unter 100 EUR/t CO <sub>2</sub> e)	ca. 75 EUR/t CO <sub>2</sub> e
	Elektrofahrzeuge		1.1 Mio. t CO <sub>2</sub> e, jedoch über 100 EUR/t CO <sub>2</sub> e	> 100 EUR/t CO <sub>2</sub> e
	Biotreibstoffe		0.5 Mio. t CO <sub>2</sub> e	ca. 30 EUR/t CO <sub>2</sub> e

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
	Elektrizität			
	Elektrizität	2030	k.A.	Neues AKW: -50 EUR/t CO <sub>2</sub> e Erhöhung der bestehenden Stau- dämme: -25 EUR/t CO <sub>2</sub> e Sanierte od. neue Flusskraftwerke: 20- 30 EUR/t CO <sub>2</sub> e
	Neue Erneuerbare Kraftwerke	2030 1) neue Speicherkraftwerke 2) Windenergie 3) Biogas 4) natural-gas combined-cycle plants equipped with carbon capture and storage 5) Photovoltaik auf Hausdä- chern	1) 0.3 Mio. t CO <sub>2</sub> e 2) 0.3 Mio. t CO <sub>2</sub> e 3) 0.5 Mio. t CO <sub>2</sub> e 4) 0.6 Mio. t CO <sub>2</sub> e 5) 2.7 Mio. t CO <sub>2</sub> e	alle > 100 EUR/t CO <sub>2</sub> e
	Landwirtschaft	2030	1.4 Mio. t CO <sub>2</sub> e - 80% durch Koh- lenstoffbindung im Boden; - 20% durch Imp- fung aller Wieder- käufer gegen "enteric fermentation" (Ver- dauungsprozess)	k.A.
	Industrie	2030	2.7 Mio. t CO <sub>2</sub> e - 1 Mio. t CO <sub>2</sub> e by 2030 due to more efficient drive sys- tems and mechani- cal system optimiza- tion - Energy efficiency improvements in industrial buildings (e.g., retrofits) would result in an addition- al reduction potential of about 0.3 Mt of CO <sub>2</sub> e	k.A.

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- potenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
IIASA (2010), GAINS-Model: Mitigation Potentials and Costs in 2020 (Switzerland)	Kohärenter internationaler Vergleich der THG-Vermeidungspotenziale und –kosten (und Luftverschmutzung) in den Annex 1 Länder der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen	Basisjahre 1990 und 2005 Referenzfall (baseline) 2020 (basierend auf den Energievorhersagen des World Energy Outlook 2008 der internationalen Energieagentur IEA)	2020: CO <sub>2</sub> -Reduktion von 5 Mio. t CO <sub>2</sub> eq (-18% i. Vgl. zu 1990) mit negativen Kosten erreichbar, weitere 45 Mio. t CO <sub>2</sub> eq mit positiven Kosten (total -27%).	-100 bis 250 EUR/t CO <sub>2</sub> eq

## Anhang C - Teil 3: Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen

**Abbildung 8-4: Vergleich der Resultate der Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen**

Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
Ecoplan (2009): Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik	<p>Gesamtwirtschaftliche Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Post-Kyoto-Massnahmenpakets des Bundesrats und einer weiteren Variante, die an die Klimainitiative angelehnt ist.</p> <p>Drei Hauptszenarien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- «Szenario BR -20%»: Verbindliche Klimaziele ohne internationales Abkommen</li> <li>- «Szenario BR -30%»: Verbindliche Klimaziele mit internationalem Abkommen</li> <li>- «Szenario Klimainitiative»</li> </ul> <p>Klimapolitische Instrumente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissionshandelssystem (ETS)</li> <li>- CO<sub>2</sub>-Abgabe</li> <li>- Kompensationspflicht bei Treibstoffen</li> <li>- Gebäudeprogramm</li> <li>- Emissionsvorschriften für Neuwagen</li> </ul>	Referenzentwicklung BAU für 2020, Entwicklung ohne klimapolitische Massnahmen	<p>In den analysierten Szenarien vorgegeben (i. Vgl. zu 1990):</p> <p>BR -20%:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Total: -20%, davon min, die Hälfte im Inland</li> <li>- ETS-Bereich (i. Vgl. zu 2008/12): -13%, davon min. 60% im Inland</li> <li>- Brennstoffe: -25%, alles im Inland</li> <li>- Treibstoffe: -25%, keine Inlandziele</li> </ul> <p>BR -30%:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Total: -30%, davon min, die Hälfte im Inland</li> <li>- ETS-Bereich (i. Vgl. zu 2008/12): -21%, davon min. 50% im Inland</li> <li>- Brennstoffe: -35%, alles im Inland</li> <li>- Treibstoffe: -40%, keine Inlandziele</li> </ul>	<p>Gesamtwirtschaftliche CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurve des dynamischen Gleichgewichtsmodells für vier Bereiche 2020 bei einer 10% CO<sub>2</sub>-Reduktion (i. Vgl. zu 1990; Vermeidungskosten entsprechen der Höhe der CO<sub>2</sub>-Abgabe):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Treibstoffe: 180 CHF/t CO<sub>2</sub></li> <li>- Haushalte (Raumwärme): 120 CHF/t CO<sub>2</sub></li> <li>- Nicht-ETS-Sektoren: 60 CHF/t CO<sub>2</sub></li> <li>- ETS-Sektoren: 120 CHF/t CO<sub>2</sub></li> </ul>



Studie	Thema / Ziel	Referenz / Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]
EPFL (2009), Assessment of the economic impacts of the revision of the Swiss CO <sub>2</sub> law with a hybrid model	Gesamtwirtschaftliche Analyse der vorgeschlagenen Massnahmen im Rahmen der Revision des CO <sub>2</sub> -Gesetzes für den Verkehr und den Gebäudesektor mit einem Hybridmodell (Kombination eines CGE- und zwei Energiemodellen, detaillierte Modellierung) zur Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen von zukünftigen Klimaschutzmassnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Basisjahr 2000 für das MARKAL-CHRES Energiemodell: Kalibriert auf Daten der IEA und Schweizer Statistiken.</li> <li>- Baseline Szenario bis 2020, dividiert in Zeitperioden von je 5 Jahren</li> </ul>	<p>Exogen, durch Politiksszenarien vorgegeben (i. Vgl. zu 1990).</p> <p>Szenario 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ETS: -1.75%/a (max. 40% Zertifikate)</li> <li>- Transport: -25%</li> <li>- Brennstoffe (Gebäude): -25%</li> </ul> <p>Szenario 2 (strengere internat. Reduktionsziele):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ETS: -2.9%/a (max. 50% Zertifikate)</li> <li>- Transport: -40%</li> <li>- Brennstoffe (Gebäude): -35%</li> </ul>	<p>Vermeidungskosten entsprechen den Umweltabgaben resp. ETS-Preisen (2020):</p> <p>Szenario 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Treibstoffabgabe: 1.15 CHF<sub>2008</sub>/t CO<sub>2eq</sub></li> <li>- Brennstoffabgabe: 212.94 CHF<sub>2008</sub>/t CO<sub>2eq</sub></li> <li>- ETS-Preis: 12.29 CHF<sub>2008</sub>/t CO<sub>2eq</sub></li> </ul> <p>Szenario 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Treibstoffabgabe: 4.52 CHF<sub>2008</sub>/t CO<sub>2eq</sub></li> <li>- Brennstoffabgabe: 467.85 CHF<sub>2008</sub>/t CO<sub>2eq</sub></li> <li>- ETS-Preis: 27.86 CHF<sub>2008</sub>/t CO<sub>2eq</sub></li> </ul>

## 9 Anhang D: Exkurs technologische vs. gesamtwirtschaftliche Kosten und Berechnungsbeispiel für CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

### Anhang D – Teil 1: Technologische vs. gesamtwirtschaftliche Kosten

Viele Massnahmen wären heute eigentlich – wenn man sie isoliert betrachtet – für sich rentabel. Häufig wird dies im Rahmen von „technologischen“ Vermeidungskostenkurven dargestellt (vgl. bspw. McKinsey hat 2009 für eine technologische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurve für die Schweiz). „Technologisch“ bedeutet, dass in dieser Kurve einzelne technologische Massnahmen analysiert, auf ihre Rentabilität (in Bezug auf die Endverbraucherpreise des Investors) hin untersucht und danach gemäss ihrer Rentabilität und Potenzial in der so genannten Vermeidungskostenkurve dargestellt werden.

Wenn wir diese „technologische“ Vermeidungskostenkurve vergleichen mit der gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskostenkurve (siehe Abbildung 2-1), so fällt auf, dass die gesamtwirtschaftliche Vermeidungskostenkurve höher liegt als die „technologische“ Vermeidungskostenkurve. Häufig wird daraus ein Widerspruch konstruiert, der gar keiner ist. Nachfolgend soll aufgezeigt werden, woher die Unterschiede in den beiden Vermeidungskostenkurven herrühren. Weiter soll auch aufgezeigt werden, dass die „technologische“ Vermeidungskostenkurve keine Rückschlüsse auf die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen erlaubt.

Die unterschiedliche Sichtweise – technologische vs. gesamtwirtschaftliche Sicht – ist bereits mehrmals thematisiert worden. Es wird darauf hingewiesen, dass das „technologische“ Optimum nicht dem „gesamtwirtschaftlichen“ Optimum entspricht. Die wesentlichen Unterschiede zwischen technologischer und volkswirtschaftlicher Sichtweise sind:

#### ***(1) Technologische Rentabilitätsrechnung kalkuliert nicht mit volkswirtschaftlichen Grenzkosten***

Die technologische Vermeidungskostenkurve wird häufig (aber nicht immer) aus Sicht einzelbetrieblicher Massnahmen konstruiert. Ein illustratives Beispiel: Ein Unternehmen investiert in Stromeffizienzmassnahmen. Die eingesparte kWh kostet das Unternehmen bspw. 12 Rp./kWh. Dies ist aus Sicht des Unternehmens rentabel, weil diese 12 Rp./kWh unter dem vom Unternehmen zu bezahlenden Strompreis liegen. Aus einzelbetrieblicher Sicht ist dies eine heute schon rentable Massnahmen mit negativen Vermeidungskosten. Aus volkswirtschaftlicher Sicht muss diese Massnahme aber nicht rentabel sein, da bspw. hauptsächlich Kosten bei der Stromproduktion (zu Grenzkosten von bspw. 8 Rp./kWh) nicht aber bei den Netzkosten eingespart werden kann. In diesem Falle lägen die volkswirtschaftlichen Grenzvermeidungskosten unter diesen 12 Rp./kWh und die Massnahme wäre aus volkswirtschaftlicher Sicht nicht rentabel.

## (2) Opportunitätskosten

Die „technologische“ Vermeidungskostenkurve geht davon aus, dass es keine anderen rentablen Investitionen mehr gibt. Die „gesamtwirtschaftliche“ Vermeidungskostenkurve geht demgegenüber davon aus, dass es neben den Energieeinspar-Investitionen noch andere rentable Investitionen gibt, die mit den Energieeinspar-Investitionen konkurrieren. Dies gilt insbesondere für Investitionen in das produktive „Kerngeschäft“ bei Unternehmungen. Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, erklärt dies einen guten Teil der Differenz zwischen „technologischer“ und „gesamtwirtschaftlicher“ Vermeidungskostenkurve.

**Abbildung 9-1: Geplante Investitionen OHNE und MIT Gebäudeprogramm**

### Geplante Investitionen OHNE Gebäudeprogramm

	Investition	Subvention	Nettoertrag	Gewinn
	[CHF]	[CHF]	[CHF]	[CHF]
Invest. 1	-100		170	70
Invest. 2	-100		350	250
Invest. 1+2	-200	0	520	320

### Geplante Investitionen MIT Gebäudeprogramm

	Investition	Subvention	Nettoertrag	Gewinn
	[CHF]	[CHF]	[CHF]	[CHF]
Invest. 0	-100	10	165	75
Invest. 2	-100		350	250
Invest. 0+2	-200	10	515	325

Einsparung	Einsparkosten
[kWh]	[Rappen/kWh]
-1000	-7.5
-1000	-0.5

Gehen wir davon aus, dass der Investor ohne Subvention die Investitionen 1 und 2 verwirklicht hätte. Er hätte mit insgesamt 200 CHF Investitionen einen Gewinn von 320 CHF erwirtschaftet. Nehmen wir an, dass der Investor mit der Subvention „angereizt“ wird, die Energiespar-Investition 0 statt 1 zu tätigen. Die Energiespar-Investition – für sich alleine betrachtet – sei rentabel und bringe einen Gewinn von insgesamt 7.5 Rappen/kWh. Weil der Investor aber auf die Investition 1 verzichtet (also die Option 1 nicht nutzt), ergibt sich schlussendlich nur mehr ein kleiner Gewinn von 0.5 Rappen/kWh.

Nun könnte man argumentieren, der Investor solle Geld aufnehmen und beide Investitionen 0 und 1 tätigen. Dies kann bis zu einem gewissen Grade funktionieren, allerdings kommen hier sofort weitere Barrieren – wie bspw. Liquiditätsrestriktionen, usw. – ins Spiel. Weiter ist anzumerken, dass es neben der Investition 1 und 2 noch viele andere Investitionen geben kann, die aus Sicht des Investors „besser“ rentieren als die Einspar-Investition 0. Die entgangenen Gewinne aus der Investition 1 werden als Opportunitätskosten bezeichnet. In einem gesamtwirtschaftlichen Kalkül sind diese Opportunitätskosten zu berücksichtigen. Die Opportunitätskosten erklären denn auch einen Teil der Unterschiede zwischen der „technologischen“ und „gesamtwirtschaftlichen“ Vermeidungskostenkurve. Die Opportunitätskosten sind auch einer der wesentlichen Gründe, weshalb aus „technologischen“ Vermeidungskostenkur-

ven nie direkt auf die gesamtwirtschaftlichen Kosten geschlossen werden kann. Negative „technologische“ Vermeidungskosten bedeuten nicht, dass man gesamtwirtschaftlich Geld spart, wenn man in diese Einspar-Massnahmen investiert.

### (3) Die Einsparmassnahmen kosten

Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht sind aber auch die Kosten der Einsparmassnahmen zu berücksichtigen. Einerseits muss ggf. eine Subvention finanziert werden, was zu Kosten in der Höhe der Subvention führt. Weiter fallen aber auch noch zusätzliche Kosten an, wie bspw. Vollzugskosten oder volkswirtschaftliche „verzerrende“ Wirkungen von Abgaben zur Finanzierung der Subvention. Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, muss sich eine rentable Massnahme, die auch für den Investor attraktiv ist, aus gesamtwirtschaftlicher Sicht nicht unbedingt lohnen.

**Abbildung 9-2: Geplante Investitionen OHNE und MIT Gebäudeprogramm**

#### Geplante Investitionen *OHNE* Gebäudeprogramm

	Investition	Subvention	Nettoertrag	Gewinn
	[CHF]	[CHF]	[CHF]	[CHF]
Invest. 1	-100		170	70
Invest. 2	-100		350	250
Invest. 1+2	-200		520	320

#### Geplante Investitionen *MIT* Gebäudeprogramm

	Investition	Subvention	Nettoertrag	Gewinn
	[CHF]	[CHF]	[CHF]	[CHF]
Invest. 0	-100	10	165	75
Invest. 2	-100		350	250
Invest. 0+2	-200	10	515	325
Massnahmenkosten				-15
Invest. 0+2 inkl. Massnahmenkosten				310

Einsparung	Einsparkosten
[kWh]	[Rappen/kWh]
-1000	-7.5

-1000	1
-------	---

Der Investor hat geplant, die Investitionen 1 und 2 durchzuführen. Mit der klimapolitischen Massnahme 0 wird der Investor besser fahren als mit der Investition 1. Die Einspar-Investition verbessert also die Situation des Investors – der Gesamtgewinn kann von 320 auf 325 gesteigert werden. Auch wenn sich die Einspar-Investition aus Sicht des Investors auszahlt, so heisst dies noch nicht, dass dies aus gesamtwirtschaftlicher Sicht auch so ist. Berücksichtigt man die Kosten der Massnahmen (bspw. muss die Subvention finanziert werden, d.h. es entstehen Effizienzverluste bei der Anhebung von Steuern oder dem Verzicht auf Steuersenkungen oder es werden Umlagerungen im Staatsbudget vorgenommen), so kann eine – auch für den Investor rentable Massnahme – schlussendlich aus gesamtwirtschaftlicher Sicht trotzdem etwas kosten (im obigen Beispiel 1 Rp./kWh).

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass wenn „rentabel“ erscheinende Massnahmen nicht freiwillig gemacht werden, irgendwelche Hindernisse vorhanden sind (bspw. Marktversagen bzw. Marktbarrieren in Bezug auf Liquiditätsrestriktionen, Vermieter-Mieter-Dilemma, Informationsdefizite, usw.). Je nach Höhe des zu „überspringenden“ Hindernisses, können die Massnahmenkosten gering oder sehr hoch sein.

#### **(4) Rebound-Effekt**

Beim Rebound-Effekt kann ein direkter und indirekter Effekt auftreten:

- Direkter Rebound: Eine Energiedienstleistung, die effizienter angeboten wird, wird dadurch billiger. Was billiger wird, wird stärker nachgefragt.
- Indirekter Rebound: Wer dank Effizienzsteigerung Energie und damit Geld spart, gibt das Geld für anderes aus, das ebenfalls Energie verbraucht.

#### **(5) Optionsnutzen des Abwartens**

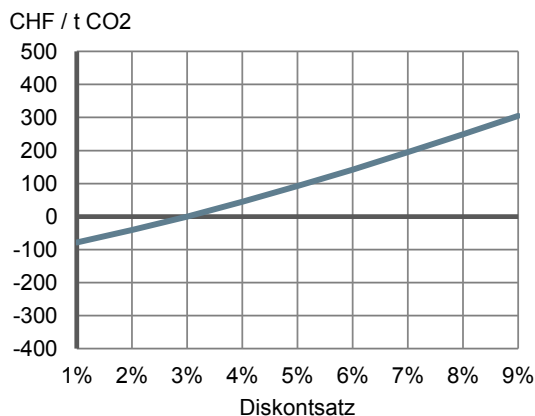
Die „technologische“ Vermeidungskostenkurve berechnet die rentablen Massnahmen mit einer einfachen Discounted-Cash-Flow-Methode: Wenn die abdiskontierten Nettoerträge die ursprüngliche Investition übertreffen, „rentiert“ sich die Massnahme. Solche „rentablen“ Massnahmen werden dann als No-Regret-Massnahmen bezeichnet. Im Rahmen dieser Berechnung wird nicht beachtet, dass es sich noch mehr lohnen kann, die Massnahme aufzuschieben und erst später zu verwirklichen (dies gilt natürlich nur dann, wenn die Massnahme auch später noch durchgeführt werden kann). In diesem Zusammenhang spricht man vom Optionsnutzen des Abwartens, welcher mit der sog. Real-Option-Valuation-Methode berechnet werden kann.

Ein Optionsnutzen des Abwartens besteht, wenn Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung besteht. Je grösser die Unsicherheit desto grösser der Optionsnutzen des Abwartens. Bei der Bewertung von Energieeffizienzinvestitionen besteht Unsicherheit bei der Entwicklung der Ölpreise, der Preise für die Effizienzinvestition sowie bei der technologischen Entwicklung, der Kapitalmarktentwicklung und nicht zuletzt der politisch gesetzten Rahmenbedingungen (bspw. Gewährung von Subventionen oder Einführung/Erhöhung von Abgaben). Energieeffizienzinvestitionen sind somit typische Beispiele von Investitionen bei denen ein beträchtlicher Optionsnutzen des Abwartens bestehen kann. Dieser Optionswert eines Aufschubs kann zumindest teilweise erklären, wieso scheinbar „rentable“ Massnahmen, nicht sofort umgesetzt werden bzw. nicht schon umgesetzt sind. Will man erreichen, dass aufschiebbar Massnahmen nicht aufgeschoben werden, dann müssen die nötigen Anreize (bspw. finanzielle Anreize, verlässliche politische Rahmenbedingungen) gesetzt werden, was u.U. mit gesamtwirtschaftlichen Kosten verbunden sein kann.

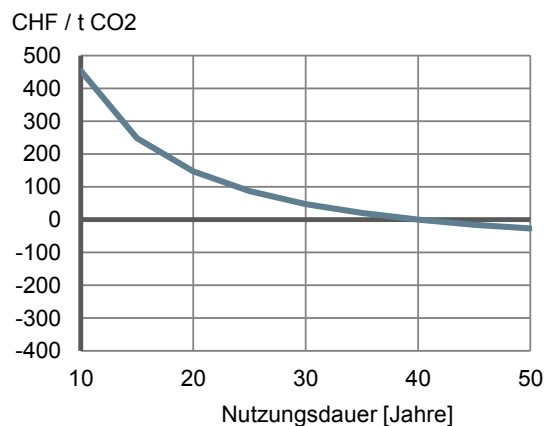
## Anhang D – Teil 2: Berechnungsbeispiel für CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

**Abbildung 9-3:** CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in Abhängigkeit des Diskontsatzes, der Nutzungsdauer, des Energiepreises, der Investitionskosten und der Energieverbrauchseinsparungen (Für Berechnungen siehe weiter unten)

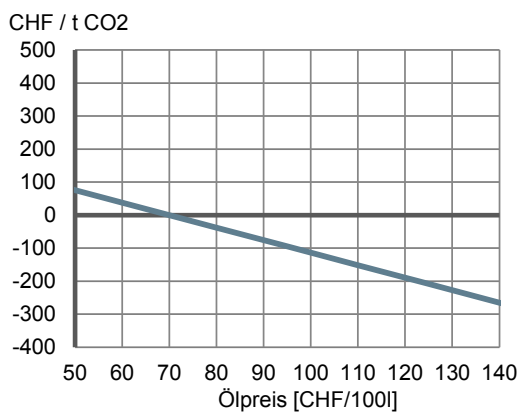
**CO<sub>2</sub>-VK bei verändertem Diskontsatz**



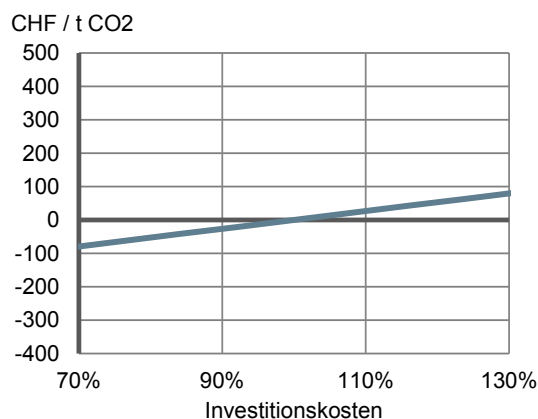
**CO<sub>2</sub>-VK bei veränderter Nutzungsdauer**



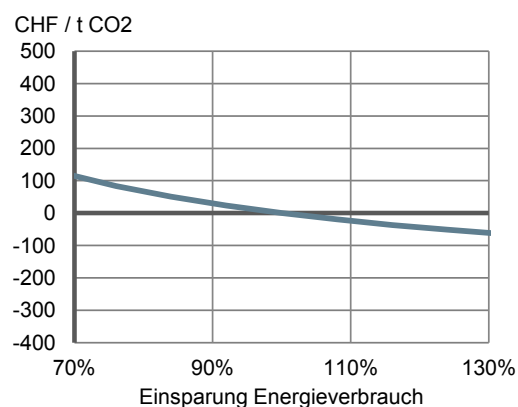
**CO<sub>2</sub>-VK bei verändertem Energiepreis**



**CO<sub>2</sub>-VK bei veränderten Investitionskosten**



**CO<sub>2</sub>-VK bei veränderte Energieeinsparungen**



CO2-Vermeidungskosten einer energieeffizienten Investition bei verändertem Diskontsatz									
Modellannahmen									
Diskontsatz	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%
Nutzungsdauer [Jahre]	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Ölpreis [CHF/100 Liter]	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Investitionskosten									
Investitionskosten [CHF]	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443
Jährliche Investitionskosten [CHF/a]	3'942	4'732	5'600	6'540	7'544	8'603	9'709	10'855	12'033
Energiekosten									
Einsparung Energieverbrauch [Liter/a]	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000
Einsparung Energiekosten [CHF/a]	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600
Gesamtkosten									
Jährliche Gesamtkosten [CHF/a]	-1'658	-868	-	940	1'944	3'003	4'109	5'255	6'433
CO2-Emissionen									
Veränderung CO2-Emissionen [t CO2/a]	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21
CO2-Vermeidungskosten									
<b>CO2-Vermeidungskosten[CHF/t CO2/a]</b>	<b>-79</b>	<b>-41</b>	<b>-</b>	<b>45</b>	<b>92</b>	<b>142</b>	<b>195</b>	<b>249</b>	<b>305</b>

CO2-Vermeidungskosten einer energieeffizienten Investition bei veränderter Nutzungsdauer									
Modellannahmen									
Diskontsatz	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Nutzungsdauer [Jahre]	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Ölpreis [CHF/100 Liter]	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Investitionskosten									
Investitionskosten [CHF]	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443
Jährliche Investitionskosten [CHF/a]	15'175	10'843	8'701	7'434	6'604	6'024	5'600	5'279	5'031
Energiekosten									
Einsparung Energieverbrauch [Liter/a]	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000
Einsparung Energiekosten [CHF/a]	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600
Gesamtkosten									
Jährliche Gesamtkosten [CHF/a]	9'575	5'243	3'101	1'834	1'004	424	-	-321	-569
CO2-Emissionen									
Veränderung CO2-Emissionen [t CO2/a]	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21
CO2-Vermeidungskosten									
<b>CO2-Vermeidungskosten[CHF/t CO2/a]</b>	<b>454</b>	<b>249</b>	<b>147</b>	<b>87</b>	<b>48</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>-15</b>	<b>-27</b>

CO2-Vermeidungskosten einer energieeffizienten Investition bei verändertem Energiepreis (Ölpreis)									
Modellannahmen									
Diskontsatz	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Nutzungsdauer [Jahre]	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Ölpreis [CHF/100 Liter]	35	50	70	80	95	110	125	140	155
Investitionskosten									
Investitionskosten [CHF]	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443
Jährliche Investitionskosten [CHF/a]	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600
Energiekosten									
Einsparung Energieverbrauch [Liter/a]	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000
Einsparung Energiekosten [CHF/a]	-2'800	-4'000	-5'600	-6'400	-7'600	-8'800	-10'000	-11'200	-12'400
Gesamtkosten									
Jährliche Gesamtkosten [CHF/a]	2'800	1'600	-	-800	-2'000	-3'200	-4'400	-5'600	-6'800
CO2-Emissionen									
Veränderung CO2-Emissionen [t CO2/a]	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21
CO2-Vermeidungskosten									
<b>CO2-Vermeidungskosten[CHF/t CO2/a]</b>	<b>133</b>	<b>76</b>	<b>-</b>	<b>-38</b>	<b>-95</b>	<b>-152</b>	<b>-209</b>	<b>-265</b>	<b>-322</b>

<b>CO2-Vermeidungskosten einer energieeffizienten Investition bei veränderten Investitionskosten</b>									
Modellannahmen									
Diskontsatz	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Nutzungsdauer [Jahre]	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Ölpreis [CHF/100 Liter]	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Investitionskosten									
Investitionskosten [CHF]	88'021	98'376	108'732	119'087	129'443	139'798	150'154	160'509	170'864
Jährliche Investitionskosten [CHF/a]	3'808	4'256	4'704	5'152	5'600	6'048	6'496	6'944	7'392
Energiekosten									
Einsparung Energieverbrauch [Liter/a]	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000	8'000
Einsparung Energiekosten [CHF/a]	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600	-5'600
Gesamtkosten									
Jährliche Gesamtkosten [CHF/a]	-1'792	-1'344	-896	-448	-	448	896	1'344	1'792
CO2-Emissionen									
Veränderung CO2-Emissionen [t CO2/a]	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21	-21
CO2-Vermeidungskosten									
<b>CO2-Vermeidungskosten[CHF/t CO2/a]</b>	<b>-85</b>	<b>-64</b>	<b>-42</b>	<b>-21</b>	<b>-</b>	<b>21</b>	<b>42</b>	<b>64</b>	<b>85</b>
Veränderung Investitionskosten / Energieverbrauchseinsparungen									
	68%	76%	84%	92%	100%	108%	116%	124%	132%

<b>CO2-Vermeidungskosten einer energieeffizienten Investition bei veränderten Energieverbrauchseinsparungen</b>									
Modellannahmen									
Diskontsatz	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Nutzungsdauer [Jahre]	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Ölpreis [CHF/100 Liter]	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Investitionskosten									
Investitionskosten [CHF]	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443	129'443
Jährliche Investitionskosten [CHF/a]	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600	5'600
Energiekosten									
Einsparung Energieverbrauch [Liter/a]	5'440	6'080	6'720	7'360	8'000	8'640	9'280	9'920	10'560
Einsparung Energiekosten [CHF/a]	-3'808	-4'256	-4'704	-5'152	-5'600	-6'048	-6'496	-6'944	-7'392
Gesamtkosten									
Jährliche Gesamtkosten [CHF/a]	1'792	1'344	896	448	-	-448	-896	-1'344	-1'792
CO2-Emissionen									
Veränderung CO2-Emissionen [t CO2/a]	-14	-16	-18	-19	-21	-23	-24	-26	-28
CO2-Vermeidungskosten									
<b>CO2-Vermeidungskosten[CHF/t CO2/a]</b>	<b>125</b>	<b>84</b>	<b>51</b>	<b>23</b>	<b>-</b>	<b>-20</b>	<b>-37</b>	<b>-51</b>	<b>-64</b>



## 10 Anhang E: Faktenblätter der analysierten Studien

### Inhaltsverzeichnis

<b>Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt.....</b>	<b>105</b>
10.1 Econcept, CEPE (2007): Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen? .....	105
10.2 Econcept, CEPE (2008): CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Bereich der Gebäudeerneuerung in der Schweiz .....	107
10.3 TEP Energy (2010): Energetische Gebäudeerneuerungen - Wirtschaftlichkeit und CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten .....	115
10.4 Econcept, Amstein & Walthert, TEP Energy (2011): CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten .....	121
10.5 B,S,S. (2008a): Vermeidungskosten Industrie und Verkehr .....	125
10.6 B,S,S. (2008b): Treibhausgasemissionen Gebäude und Emissionen synthetische Treibhausgase.....	130
10.7 Ernst Basler & Partner, WWF (2010): CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale bis 2020 in der Schweiz mittels Förderprogrammen .....	132
10.8 Infras (2008): CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität.....	135
10.9 BFE (2008): CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, industrielle Prozesse und Mobilität.....	143
<b>Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung.....</b>	<b>144</b>
10.10 Michael Kost (2006): Langfristige Energieverbrauchs- und CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale im Wohngebäudesektor der Schweiz .....	144
10.11 Infras (2005): CO <sub>2</sub> -Potential des Langsamverkehrs .....	150
10.12 Infras (2011): CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Treibstoffe .....	155
10.13 Infras (2009): Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS .....	158
10.14 ETHZ, IED, De Haan (2007): Förderung energieeffizienter und emissionsarmer Fahrzeuge mittels Automobilsteuer-Differenzierung oder Bonusprämien .....	163
10.15 BFE (2007): Auswirkungen ausgewählter Massnahmen im Verkehr .....	166
10.16 ETHZ, IED, De Haan (2009): CO <sub>2</sub> -Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU .....	169
10.17 ETHZ, IED, De Haan (2009b): Umsetzung der 130g CO <sub>2</sub> /km-Strategie für die Schweiz: CO <sub>2</sub> -Reduktionseffekte 2012-2020.....	172
10.18 RappTrans (2007): Mobility Pricing - Synthesebericht (inkl. quantitativer Auswirkungen).....	175
10.19 ETHZ (2005): Eine ökonomische Analyse zur Reduktion der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen in der Schweiz .....	178

10.20	ETHZ (2009): „THG 2020“ - Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz .....	181
10.21	McKinsey&Company (2009): Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve .....	188
10.22	Laura Kunz and Adrian Muller (2009): A Case-Study on Project-Level CO <sub>2</sub> Mitigation Costs in Industrialised Countries - The Climate Cent Foundation in Switzerland (DRAFT) .....	192
10.23	IIASA (2010): GAINS-Model: Mitigation Potentials and Costs in 2020 (Switzerland) .....	193
<b>Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen .....</b>		<b>196</b>
10.24	Ecoplan (2009): Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik .....	196
10.25	EPFL (2009): Assessment of the economic impacts of the revision of the Swiss CO <sub>2</sub> law with a hybrid model .....	201

## Studien mit Einzelmassnahmen zum heutigen Zeitpunkt

### 10.1 Econcept, CEPE (2007): Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen?

Autor	Jahr	Titel
Econcept, CEPE	2007	Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen? (Bericht zuhanden UREK-S)

#### a) Art der Studie

Kurzbericht zuhanden UREK-S, Subkommission Energiepolitik.

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>24</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X						X		

#### b) Ziel und Auftrag

Anhand von drei Wohngebäuden aus den sechziger bis siebziger Jahren, die typisch sind für den schweizerischen Gebäudebestand (EFH, Sechsfamilienhaus, Mehrfamilien-Hochhaus), wird aufgezeigt, wie vorteilhaft energetische Effizienzmassnahmen bei erneuerten Gebäuden aus wirtschaftlicher Sicht sind.

#### c) Methodik und Vorgehen

Die Wirtschaftlichkeitsbeurteilungen werden jeweils für die folgenden Handlungsvarianten der Gebäudeeigentümer vorgenommen (vgl. Tabelle 3, S. 4):

- I0 Keine Erneuerungsmassnahmen (= Referenzvariante 1): Der Eigentümer wartet ab und nimmt allenfalls einen höheren Unterhalt in Kauf (oft bei unklarer Ausgangslage oder bei Bauten, die in näherer Zukunft abgebrochen/umfassend erneuert werden).
- M0 Instandsetzung der Gebäudehülle (= Referenzvariante 2; 'Pinselrenovation'): Die Eigentümer erneuern nur den Fassaden- und Fensteranstrich, evtl. mit Ausbesserungen des Putzes. Der Energiebedarf bleibt unverändert. Falls die Heizung erneuert wird, geht

<sup>24</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

bei gleichem Energiebedarf der tatsächliche Energieverbrauch infolge der Effizienzsteigerung der Heizung etwas zurück.

- M1-M4 Energetische Verbesserungen von Gebäudehülle und Haustechnik: Energetische Verbesserungen, mit denen unterschiedlich weitgehende energetische Standards erreicht werden:
  - M1: Grenzwert SIA 380/1 (140% des SIA-Neubau-Grenzwertes, vielerorts heutige Vorschrift bei umfassenden Renovationen);
  - M2: Primäranforderung Minergie (ohne Komfortlüftung, 120% des SIA-Neubau-Grenzwertes), wichtigste Bauteile wie Fenster, Wand, Dach gemäss Minergie-Modulen erneuert;
  - M3: Minergie Sanierungsstandard (mit Komfortlüftung) und
  - M4: Minergie-P Standard (mit Komfortlüftung).

Der Vergleich der Rentabilität der vier energetischen Erneuerungsvarianten M1 - M4 mit den beiden Referenzvarianten I0 und M0 basiert auf den (abdiskontierten) Kapital-, und Unterhaltskosten sowie auf den Energiekosteneinsparungen während der Lebensdauer der Massnahmen.

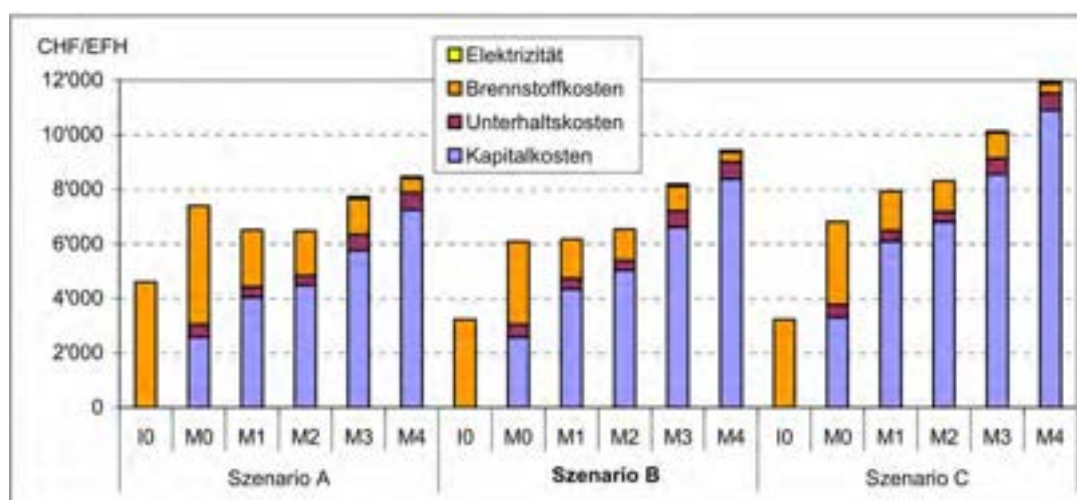
#### Zentrale Annahmen

Referenz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- I0: Keine Erneuerungsmassnahmen (Referenzvariante 1)</li> <li>- M0: Instandsetzung der Gebäudehülle, keine oder nur geringe Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Referenzvariante 2; 'Pinselfernhaltung'): Erneuerung Fassaden- und Fensteranstrich, ev. mit Ausbesserungen des Putzes und Heizungserneuerung</li> </ul> <p>Betrachtung über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.</p>
Modell / Ansatz	<p>Technische Schätzungen</p> <p>Bottom-up</p> <p>Drei Szenarien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A) Volkswirtschaftliche Perspektive: Energiepreise + Abgaben hoch, aktive Nachhaltigkeitspolitik</li> <li>- B) Hauptszenario: Realistisch-konservative Variante</li> <li>- C) Privatwirtschaftliche Perspektive mit hoher Gegenwartspräferenz: Konservative Preis- und Politikentwicklung</li> </ul>
Zinssatz	<p>A) und B): 3.50% (real)</p> <p>C) 5.00% (real)</p>
Energiepreise	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Öl-Gas: 10 Rp./kWh (A), 7 Rp./kWh (B &amp; C)</li> <li>- Elektrizität: 18 Rp./kWh (A), 16 Rp./kWh (B &amp; C)</li> </ul>
Technologischer Fortschritt	k.A.
Potenzialbegriff	Heute bestehende energetische Effizienzpotenziale über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.

#### d) Quellen und Verflechtungen mit anderen Studien

#### e) Resultate

Es werden lediglich die jährlichen Gesamtkosten der untersuchten Erneuerungsmassnahmen und der Einfluss unterschiedlicher Überwälzungsmöglichkeiten ausgewiesen (vgl. z.B. untenstehende Abbildung):



Figur 5 **Einfluss der Annahmen:** Jährliche Gesamtkosten beim **Einfamilienhaus** im Ausgangszustand  $I_0$  bei der Instandsetzung  $M_0$  und bei den verschiedenen Massnahmenpaketen  $M_1 - M_4$  für die unterschiedlichen Annahmeszenarien A, B, C (gemäss Tabelle 4).

## 10.2 Econcept, CEPE (2008): CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Bereich der Gebäudeerneuerung in der Schweiz

Autor	Jahr	Titel
Econcept, CEPE	2008	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Bereich der Gebäudeerneuerung in der Schweiz (Bericht zuhanden UREK-S)

#### a) Art der Studie

Bericht zuhanden UREK-S, Subkommission Energiepolitik.

**Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>25</sup>**

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X						X		

**b) Ziel und Auftrag**

Ermittlung der Kosten der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch energetische Erneuerungsmassnahmen und durch den Einsatz erneuerbarer Energie im Bereich bestehender Wohngebäude.

**c) Methodik und Vorgehen**

Die Berechnungen werden mit zwei unterschiedlichen Annahmenszenarien vorgenommen, welche einerseits Vermeidungskosten aus der Sicht der Gebäudebesitzer und andererseits aus volkswirtschaftlicher Sicht liefern.

Die Vermeidungskosten werden für unterschiedliche Massnahmenpakete bei einem typischen Einfamilienhaus und bei einem typischen Sechsfamilienhaus ermittelt und beziehen sich auf bestehende, noch nicht energetisch erneuerte Wohnbauten mit hohem spezifischem Energieverbrauch aus der Bauperiode bis und mit den 1970er Jahren.

Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten werden für die vier folgenden Massnahmenpakete an der Gebäudehülle ermittelt. Dabei wird einerseits davon ausgegangen, dass diese Massnahmen im Rahmen einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung M0 mit Heizungersatz (ohne energetische Verbesserung) vorgenommen werden und andererseits in einer Situation I0, in der keine Instandsetzungen erforderlich wären, d.h. ausserhalb des ordentlichen Erneuerungszyklus:

- M1: Grenzwert SIA 380/1 (140% des SIA Neubau-Grenzwertes, vielerorts heutige Vorschrift bei umfassenden Renovationen)
- M2: Primäranforderung Minergie (ohne Komfortlüftung, 120% des SIA Neubau-Grenzwertes): Erneuerung der wichtigsten Bauteile wie Fenster, Wand, Dach gemäss Minergie-Modulen
- M3: Minergie Sanierungsstandard (mit Komfortlüftung)
- M4: Minergie-P Standard (mit Komfortlüftung)
- I0: Keine Erneuerungsmassnahmen (Referenzvariante 1)

<sup>25</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

- M0: Instandsetzung der Gebäudehülle, keine oder nur geringe Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Referenzvariante 2; 'Pinselrenovation'): Erneuerung Fassaden- und Fensteranstrich, ev. mit Ausbesserungen des Putzes und Heizungserneuerung.

Daneben werden zusätzlich die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von Massnahmen an einzelnen Bauteilen, des Energieträgerwechsels zu einer WP- oder zu einer Holzfeuerung sowie der Installation einer thermischen Solaranlage zur Warmwasservorwärmung ermittelt.

Der Kostenvergleich und die Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten erfolgt mithilfe eines Vergleiches von Kapital-, Energie-, Betriebs- und Unterhaltskosten sowie der resultierenden Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen der vier energetischen Massnahmenpakete M1 – M4 mit denjenigen der Referzerneuerung M0 (ohne energetische Verbesserung der Gebäudehülle und mit nur geringfügiger Reduktion von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge der Auswechslung der Heizanlage) und I0 (keine Erneuerungsmassnahmen).

	M <sub>0</sub> Instandsetzung (‘Pinsel- renovation’)	M <sub>1</sub> SIA 380/1, Grenzwert Sanierung	M <sub>2</sub> Minergie Primär- anforderung	M <sub>3</sub> Minergie Sanierung	M <sub>4</sub> Minergie-P
Instandsetzung, Erneuerung Anstrich	ja	ja	ja	ja	ja
Energetische Fenstererneuerung	nein	1.5 W/m <sup>2</sup> K	1.0 W/m <sup>2</sup> K	1.0 W/m <sup>2</sup> K	1.0 W/m <sup>2</sup> K
Energetische Fassadenerneuerung	nein	12 cm	18 cm	18 cm	24 cm
Energetische Dacherneuerung	nein	14 cm	18 cm	18 cm	30 cm
Heizungserneuerung	ja	ja	ja	ja	ja
Komfortlüftung	nein	nein	nein	ja	ja
<b>Einfamilienhaus</b>					
- Heizwärmebedarf (o. WW) MJ/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> a	723 MJ/m <sup>2</sup> a	313 MJ/m <sup>2</sup> a	233 MJ/m <sup>2</sup> a	187 MJ/m <sup>2</sup> a	67 MJ/m <sup>2</sup>
- Endenergieverbrauch inkl. WW, Öl, l/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> a	24 l/m <sup>2</sup> a	11.5 l/m <sup>2</sup> a	9 l/m <sup>2</sup> a	7.3 l/m <sup>2</sup> a	2.9 l/m <sup>2</sup> a
- Investitionen Massnahmenpaket: Fall fossile Heiz.	35'800 CHF	72'500 CHF	81'300 CHF	99'000 CHF	127'000 CHF
- Investitionen Massnahmenpaket: Fall WP-Heiz.	51'700 CHF	76'100 CHF	82'800 CHF	99'000 CHF	120'000 CHF
<b>Sechsfamilienhaus</b>					
- Heizwärmebedarf inkl. WW MJ/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub>	546 MJ/m <sup>2</sup> a	261 MJ/m <sup>2</sup> a	204 MJ/m <sup>2</sup> a	152 MJ/m <sup>2</sup> a	49 MJ/m <sup>2</sup>
- Endenergieverbrauch inkl. WW, Öl, l/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> a	19 l/m <sup>2</sup> a	10.4 l/m <sup>2</sup> a	8.6 l/m <sup>2</sup> a	6.8 l/m <sup>2</sup> a	2.8 l/m <sup>2</sup> a
- Investitionen Massnahmenpaket: Fall fossile Heiz.	11'900 CHF	25'200 CHF	28'800 CHF	40'000 CHF	51'100 CHF
- Investitionen Massnahmenpaket: Fall WP-Heiz.	17'900 CHF	27'500 CHF	30'600 CHF	41'200 CHF	50'100 CHF

**Tabelle 4** Energetische Massnahmen und erreichter energetischer Standard beim Heizwärmebedarf (MJ/m<sup>2</sup>a Nutzenergie gemäss SIA 380/1) und beim Endenergieverbrauch (tatsächlicher Verbrauch in Liter Öl/m<sup>2</sup> pro Jahr) inklusive Warmwasser (WW)<sup>4</sup>

Einfamilienhaus (EFH): Freistehend, Giebeldach, Energiebezugsfläche (EBF) 180 m<sup>2</sup>

Sechsfamilienhaus (6-FH): Freistehend, Giebeldach, 6 x 100 m<sup>2</sup> EBF (inkl. Nebenräume)

**Zentrale Annahmen**

Referenz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- I0: Keine Erneuerungsmassnahmen (Referenzvariante 1)</li> <li>- M0: Instandsetzung der Gebäudehülle, keine oder nur geringe Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Referenzvariante 2; 'Pinselfernhaltung'): Erneuerung Fassaden- und Fensteranstrich, ev. mit Ausbesserungen des Putzes und Heizungserneuerung.</li> </ul> <p>Betrachtung über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.</p>
Modell / Ansatz	<p>Technische Schätzungen</p> <p>Bottom-up</p> <p>Zwei Annahmeszenarien:</p> <p>A) Volkswirtschaftliche Perspektive: Hohe Energiepreise und / oder Abgabe, aktive Nachhaltigkeitspolitik</p> <p>B) Betriebswirtschaftliche Perspektive: Realistisch-konservative Variante</p>
Zinssatz	3.5%
Energiepreise	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Öl-Gas: 10 Rp./kWh (A), 7 Rp./kWh (B)</li> <li>- Elektrizität: 24.8 Rp./kWh (A), 17.9 Rp./kWh (B)</li> <li>- Holz: 7 Rp./kWh (A), 6 Rp./kWh (B)</li> </ul>
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Heizöl extra leicht (HEL): 73.3 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Elektrizität: 0 t CO<sub>2</sub>/TJ (CO<sub>2</sub>-frei), 35.0 t CO<sub>2</sub>/TJ (Stromkennzeichnung CH 2006)</li> <li>- Erdgas: 55.0 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> </ul>
Technologischer Fortschritt	k.A.
Potenzialbegriff	Heute bestehende energetische Effizienzpotenziale über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen

**d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien**

Parallelprojekt von Infrac (2008): CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität.

Econcept, CEPE (2007)

"Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen?", im Auftrag des BFE, Zürich/Bern.

**e) Resultate****THG Vermeidungspotenziale und –kosten**

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und –kosten für die untersuchten Massnahmenpakete im Vergleich zum Referenzfall M0 (volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Optik):



Vergleichsbasis M0 (nicht-energetische Instandsetzung, z.B. Farbanstrich) - Szenario A									
	Einfamilienhaus				Mehrfamilienhaus				
Referenz	Ref. M0				Ref. M0				
Jahreskosten (Öl beheizt) CHF/Whg.	7'396				2'955				
Brennstoffbedarf Lit/m2a	24				19				
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Öl beheizt) kg/m2a	64				51				
Erneuert	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
Jahreskosten (Öl beheizt) CHF/Whg.	6'502	6'473	7'732	8'469	2'554	2'536	3'299	3'512	
Brennstoffbedarf Lit/m2a	11	9,0	7,3	2,9	10	8,6	6,8	2,8	
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Öl beheizt) kg/m2a	31	24	19	8	28	23	18	7	
Differenz Erneuert - Referenz	M1-M0	M2-M0	M3-M0	M4-M0	M1-M0	M2-M0	M3-M0	M4-M0	
Jahreskosten: Differenz zu Referenz CHF/Whg.	-894	-923	336	1'072	-401	-419	344	557	
Brennstoffbedarfsreduktion Lit/m2a	13	15	17	21	9	11	12	16	
CO <sub>2</sub> -Vermeidung Öl kg/m2a	34	40	45	56	23	28	33	43	
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten CHF/CO <sub>2</sub>	M1/M0	M2/M0	M3/M0	M4/M0	M1/M0	M2/M0	M3/M0	M4/M0	
Referenz: Öl beheizt	-148	-128	42	106	-172	-150	105	129	
Referenz: Gas beheizt	-198	-171	56	141	-230	-201	140	172	

Tabelle 6 **Szenario A:** CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten (CHF/t<sub>CO2</sub>) wenn anstelle einer reinen Instandsetzung und Erneuerung des Heizungssystems (mit gleichem Energieträger) der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den energetischen Massnahmenpaketen M<sub>1</sub> bis M<sub>4</sub> an der Gebäudehülle vermindert werden.

Vergleichsbasis M0 (nicht-energetische Instandsetzung, z.B. Farbanstrich) - Szenario B									
	Einfamilienhaus				Mehrfamilienhaus				
Referenz	Ref. M0				Ref. M0				
Jahreskosten (Öl beheizt) CHF/Whg.	6'091				2'380				
Brennstoffbedarf Lit/m2a	24				19				
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Öl beheizt) kg/m2a	64				51				
Erneuert	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
Jahreskosten (Öl beheizt) CHF/Whg.	6'174	6'535	8'192	9'430	2'361	2'528	3'540	3'993	
Brennstoffbedarf Lit/m2a	11	9,0	7,3	2,9	10	8,6	6,8	2,8	
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Öl beheizt) kg/m2a	31	24	19	8	28	23	18	7	
Differenz Erneuert - Referenz	M1-M0	M2-M0	M3-M0	M4-M0	M1-M0	M2-M0	M3-M0	M4-M0	
Jahreskosten: Differenz zu Referenz CHF/Whg.	83	443	2'101	3'339	-19	148	1'159	1'612	
Brennstoffbedarfsreduktion Lit/m2a	13	15	17	21	9	11	12	16	
CO <sub>2</sub> -Vermeidung Öl kg/m2a	34	40	45	56	23	28	33	43	
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten CHF/CO <sub>2</sub>	M1-M0	M2-M0	M3-M0	M4-M0	M1-M0	M2-M0	M3-M0	M4-M0	
Referenz: Öl beheizt	14	61	261	329	-8	53	353	372	
Referenz: Gas beheizt	18	82	350	440	-11	71	473	498	

Tabelle 7 **Szenario B:** CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten (CHF/t<sub>CO2</sub>) wenn anstelle einer reinen Instandsetzung und Erneuerung des Heizungssystems (mit gleichem Energieträger) der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den energetischen Massnahmenpaketen M<sub>1</sub> bis M<sub>4</sub> an der Gebäudehülle vermindert werden.

Ganz generell liegen die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei Gas beheizten Gebäuden etwa 30% höher als bei Öl beheizten, weil Energieeinsparungen bei Erdgas infolge des tieferen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Erdgas geringere CO<sub>2</sub>-Reduktionen zeitigen.

Für die Resultate der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten, wenn die Massnahmen M1 – M4 ausserhalb des Erneuerungszyklus durchgeführt würden (I0), vgl. S. 15.

		CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten CHF/t <sub>CO2</sub>									
Referenzfall M0 (Instandsetzung)		Annahmen-Szenario A					Annahmen-Szenario B				
Massnahmenpaket		M0	M1	M2	M3	M4	M0	M1	M2	M3	M4
Gleicher Energieträger (Öl)	EFH		-148	-128	45	108		14	61	262	329
	MFH		-172	-150	109	132		-8	53	354	373
Gleicher Energieträger (Gas)	EFH		-198	-171	60	145		18	82	351	441
	MFH		-230	-201	146	177		-11	71	474	500
Energieträgerwechsel: Öl zu WP	EFH	29	-108	-133	-25	22	70	1	10	146	224
	MFH	21	-96	-115	41	85	58	2	21	219	296
Energieträgerwechsel: Gas zu WP	EFH	39	-145	-178	-34	29	93	1	13	196	300
	MFH	28	-129	-154	55	114	77	3	28	293	396
Energieträgerwechsel: Öl zu Holz	EFH	-76	-137	-137	-28	22	21	-3	21	158	233
	MFH	-59	-112	-110	41	81	36	16	46	237	304
Energieträgerwechsel: Gas zu Holz	EFH	-102	-183	-183	-38	30	28	-4	29	211	313
	MFH	-79	-150	-148	56	109	48	22	61	318	408

*Tabelle 1 CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (CHF/t<sub>CO2</sub>) für unterschiedliche Massnahmenpakete M<sub>0</sub> bis M<sub>4</sub> an der Gebäudehülle, welche mit einer Heizungserneuerung mit gleichem Energieträger bzw. mit einem Energieträgerwechsel kombiniert werden. Die Massnahmen erfolgen im Rahmen einer ohnehin erforderlichen Gebäudeinstandsetzung bei einem EFH bzw. Sechsfamilienhaus und werden für zwei unterschiedliche Annahmeszenarien ermittelt.*

Die folgenden Abbildungen zeigen die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und -kosten für die untersuchten Massnahmenpakete und der Umstellung von einer bestehenden Öl- bzw. Gas-Heizung auf eine *Elektro-Wärmepumpe* im Vergleich zum Referenzfall M0 (volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Perspektive):



Energetische Gebäudeerneuerung inkl. Energieträgerwechsel zu WP										
Annahmenszenario A										
Vergleichsbasis M0 (Ersatz fossile Heizung, nicht-energetische Instandsetzung, z.B. Farbanstrich)										
	Einfamilienhaus					Mehrfamilienhaus				
Referenz	M0					M0				
Jahreskosten (Öl beheizt) CHF/Whg.	7'396					2'955				
Brennstoffbedarf Lit/m <sup>2</sup> a	24					19				
CO <sub>2</sub> -Emissionen Öl kg/m <sup>2</sup> a	64					51				
CO <sub>2</sub> -Emissionen Gas kg/m <sup>2</sup> a	48					38				
Erneuert (WP+Gebäudehülle (+Lüftung bei M3,M4))	M0	M1	M2	M3	M4	M0	M1	M2	M3	M4
Jahreskosten (WP beheizt) CHF/Whg.	7'730	6'145	5'867	7'102	7'648	3'060	2'466	2'371	3'165	3'388
Strombedarf WP kWh/m <sup>2</sup> a	87	39	27	22	12	69	35	26	20	12
CO <sub>2</sub> -Emissionen kg/m <sup>2</sup> a										
- Fall 1: Strom für WP CO <sub>2</sub> -frei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Fall 2: Strom für WP 3% fossil, 21% UCTE	11	4.9	3.4	2.7	1.5	8.7	4.4	3.3	2.6	1.5
Differenz: WP - Öl bzw. Gas	M0+WP - M0 (fossil)	M1+WP - M0 (fossil)	M2+WP - M0 (fossil)	M3+WP - M0 (fossil)	M4+WP - M0 (fossil)	M0+WP - M0 (fossil)	M1+WP - M0 (fossil)	M2+WP - M0 (fossil)	M3+WP - M0 (fossil)	M4+WP - M0 (fossil)
Jahreskosten: Differenz WP-Öl CHF/Whg.	334	-1'251	-1'530	-294	252	105	-489	-584	209	433
CO <sub>2</sub> -Vermeidung im Vergleich zu Öl beheizt kg/m <sup>2</sup> a										
- Fall 1: Strom für WP CO <sub>2</sub> -frei	64	64	64	64	64	51	51	51	51	51
- Fall 2: Strom für WP 3% fossil, 21% UCTE	53	59	61	61	63	42	46	48	48	49
CO <sub>2</sub> -Vermeidung im Vergleich zu Gas beheizt kg/m <sup>2</sup> a										
- Fall 1: Strom für WP CO <sub>2</sub> -frei	48	48	48	48	48	38	38	38	38	38
- Fall 2: Strom für WP 3% fossil, 21% UCTE	37	43	44	45	46	29	34	35	35	36
Szenario A: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Vergleich zu Öl beheizt CHF/tCO <sub>2</sub>										
- Fall 1: Strom für WP CO <sub>2</sub> -frei	29	-108	-133	-25	22	21	-96	-115	41	85
- Fall 2: Strom für WP 3% fossil, 21% UCTE	35	-117	-140	-27	22	25	-105	-123	43	88
Szenario A: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Vergleich zu Gas beheizt CHF/tCO <sub>2</sub>										
- Fall 1: Strom für WP CO <sub>2</sub> -frei	39	-145	-178	-34	29	28	-129	-154	55	114
- Fall 2: Strom für WP 3% fossil, 21% UCTE	50	-162	-191	-36	30	36	-146	-169	59	119
Annahmenszenario B										
Szenario B: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Vergleich zu Öl beheizt CHF/tCO <sub>2</sub>										
- Fall 1: Strom für WP CO <sub>2</sub> -frei	70	1	10	146	224	58	2	21	219	296
- Fall 2: Strom für WP 3% fossil, 21% UCTE	84	1	10	153	229	69	2	22	230	305
Szenario B: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Vergleich zu Gas beheizt CHF/tCO <sub>2</sub>										
- Fall 1: Strom für WP CO <sub>2</sub> -frei	93	1	13	196	300	77	3	28	293	396
- Fall 2: Strom für WP 3% fossil, 21% UCTE	121	1	14	208	310	100	3	30	314	412

Tabelle 12 CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten bei den Massnahmenpakete M<sub>0</sub> bis M<sub>4</sub> und der Umstellung einer bestehenden Öl- bzw. Gasheizung auf eine Elektro-Wärmepumpe (Vergleichsfall Pinselanierung M<sub>0</sub> und Erneuerung der bestehenden fossilen Anlage).. Berechnungen für zwei CO<sub>2</sub> – Emissionsfaktoren für den WP-Strom und für die Annahmen-Szenarien A und B.

Energetische Gebäudeerneuerung inkl. Energieträgerwechsel zu Holzheizung										
Annahmenszenario A										
Vergleichsbasis M0 (Ersatz fossile Heizung, nicht-energetische Instandsetzung, z.B. Farbanstrich)										
	Einfamilienhaus					Mehrfamilienhaus				
Referenz	M0					M0				
Jahreskosten (Öl beheizt) CHF/Whg.	7'396					2'955				
Brennstoffbedarf Lit/m <sup>2</sup> a	24					19				
CO <sub>2</sub> -Emissionen Öl kg/m <sup>2</sup> a	64					51				
CO <sub>2</sub> -Emissionen Gas kg/m <sup>2</sup> a	48					38				
Erneuert (Holz + Gebäudehülle (+ Lüftung bei M3, M4))	M0	M1	M2	M3	M4	M0	M1	M2	M3	M4
Jahreskosten (Holz beheizt) CHF/Whg.	8'522	5'817	5'821	7'072	7'651	2'655	2'387	2'396	3'166	3'369
Brennstoffbedarf Holz kWh/m <sup>2</sup> a	267	128	101	86	45	213	116	97	79	44
CO <sub>2</sub> -Emissionen kg/m <sup>2</sup> a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Differenz: Holz - Öl bzw. Gas	M0+Holz - M0 (fossil)	M1+Holz - M0 (fossil)	M2+Holz - M0 (fossil)	M3+Holz - M0 (fossil)	M4+Holz - M0 (fossil)	M0+Holz - M0 (fossil)	M1+Holz - M0 (fossil)	M2+Holz - M0 (fossil)	M3+Holz - M0 (fossil)	M4+Holz - M0 (fossil)
Jahreskosten: Differenz Holz - Öl CHF/Whg.	-874	-1'579	-1'575	-324	255	-300	-568	-560	211	414
CO <sub>2</sub> -Vermeidung im Vergleich zu Öl beheizt kg/m <sup>2</sup> a	64	64	64	64	64	51	51	51	51	51
CO <sub>2</sub> -Vermeidung im Vergleich zu Gas beheizt kg/m <sup>2</sup> a	48	48	48	48	48	38	38	38	38	38
Szenario A: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Vergleich zu Öl beheizt CHF/tCO <sub>2</sub>										
	-76	-137	-137	-28	22	-59	-112	-110	41	81
Szenario A: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Vergleich zu Gas beheizt CHF/tCO <sub>2</sub>										
	-102	-183	-183	-38	30	-79	-150	-148	58	109
Annahmenszenario B										
Szenario B: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Vergleich zu Öl beheizt CHF/tCO <sub>2</sub>										
	21	-3	21	158	233	36	16	46	237	304
Szenario B: CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Vergleich zu Gas beheizt CHF/tCO <sub>2</sub>										
	28	-4	29	211	313	48	22	61	318	409

Tabelle 13 CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten bei den Massnahmenpaketen M<sub>0</sub> bis M<sub>4</sub> und bei der Umstellung einer bestehenden Öl- bzw. Gasheizung auf eine Holzheizung (Vergleichsfall Pinselsanierung M<sub>0</sub> und ohnehin anstehende Erneuerung der bestehenden fossilen Heizungsanlage (M<sub>0</sub> – M<sub>4</sub>)). Berechnungen für die Annahmen-Szenarien A und B.

(CHF/t <sub>CO2</sub> )		Energetische Standarderneuerung (M <sub>1</sub> ) im Vergleich zur Instandsetzung (M <sub>0</sub> )		Grundförderung Gebäudeprogramm Stiftung Klimarappen <sup>(*)</sup> im Vergleich zur Instandsetzung (M <sub>0</sub> )		Minergie-Modul (M <sub>3</sub> ) im Vergleich zur Instandsetzung (M <sub>0</sub> )	
Bauteil	Lebensdauer Jahre	Szenario A	Szenario B	Szenario A	Szenario B	Szenario A	Szenario B
Fenster	30	172	359	224	416	214	405
Wand gegen aussen	35	-142	1	-118	27	-99	48
Dach	40	-164	-6	-141	20	-105	63
Estrichboden	40	-154	6	-140	22	-77	95

(\*) entspricht ungefähr dem Mittel zwischen M<sub>1</sub> und M<sub>2</sub>

Tabelle 2 CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten (CHF/t<sub>CO2</sub>) für energetische Massnahmen an einzelne Bauteilen. Die Massnahmen erfolgen im Rahmen einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung und werden für zwei unterschiedliche Annahmenszenarien ermittelt.

### 10.3 TEP Energy (2010): Energetische Gebäudeerneuerungen - Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

Autor	Jahr	Titel
TEP Energy	2010	Energetische Gebäudeerneuerungen - Wirtschaftlichkeit und CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten - Eine Auswertung des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen

#### a) Art der Studie

Umfassende und sehr detaillierte Studie (statistische Auswertungen) für energetische Massnahmen im Gebäudebereich (Auswertung des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen) als Diskussionsgrundlage in Bezug auf energie- und klimapolitische Massnahmen.

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>26</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X						X		

#### b) Ziel und Auftrag

Das Projekt hatte zum Ziel, die Kostenkennwerte baulicher Energieeffizienzmassnahmen (EE-Massnahmen) anhand der Gesuchs- und Abrechnungsunterlagen des Gebäudeprogramms zu ermitteln und deren Einflussfaktoren zu bestimmen. Auf dieser neuen und aktuellen empirischen Grundlage sollten die Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von EE-Massnahmen errechnet und mit den Annahmen dazu verglichen werden, auf deren Grundlage die Fördersätze zu Beginn des Programms festgelegt worden waren. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten Hinweise für die Konzipierung ähnlicher Förderprogramme geben.

Ziele der Studie im Einzelnen:

- Auswerten des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen mit dem Ziel, spezifische Kostenkennwerte (CHF/m<sup>2</sup>) von baulichen Energieeffizienzmassnahmen zu bilden. Dabei soll der energiebezogene Anteil der Kostenangaben von den allgemeinen Erneuerungs-, Umbau- und Erweiterungsmassnahmen abgegrenzt werden.

<sup>26</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

- Aufzeigen, welche baulichen Massnahmen typischerweise mit energetischen Erneuerungen verbunden sind bzw. in welchem Kontext energetische Massnahmen typischerweise ergriffen werden.
- Ergründen der Unterschiede von Ergebnissen verschiedener Datenquellen und Auswertungsmethoden (z.B. Elementkosten vs. Bauabrechnungen) und Darstellen der Ursachen dieser Unterschiede.
- Strukturieren der Kostenkennwerte nach Gebäudetypen (EFH, MFH, andere Gebäude), sozio-ökonomische Kategorien der Eigentümer (private bzw. verschiedene institutionelle Eigentümer) und weiteren Einflussfaktoren, namentlich der angenommenen Referenzfälle und der techno-ökonomischen Parameter.
- Berechnung und Darstellung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und der CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale für einzelne repräsentative Gebäudetypen des Wohnsektors, basierend auf neuen empirischen Grundlagen bzgl. Kosten und energetischer Wirkung.

### c) Methodik und Vorgehen

- Auswertung der gesamten Datenbank des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen (SKR) mittels multipler Regression (rund 9'000 Projekte)
- Erfassung der erbrachten Bauleistung bei einer Stichprobe von rund 400 abgeschlossenen Projekten mittels eines eigens konzipierten Rasters
- Ermittlung der kostenbeeinflussenden Faktoren und Quantifizierung der einzelnen Kostenpunkte mittels Regressionsanalysen (inkl. gewissen Abgrenzungen zwischen energetischen und nicht-energetischen Massnahmen (Instandsetzungen))
- Bildung von Kosteneckwerten von nicht-energetischen Instandsetzungsmassnahmen (Instandsetzungskosten, dienen nebst dem Ist-Zustand des Gebäudes als einer der Referenzfälle) und energetischen Erneuerungsmassnahmen
- Bestimmung der energietechnischen Kennwerte (U-Werte) anhand der vorliegenden Unterlagen zum Schichtaufbau
- Durchführung von Wirtschaftlichkeitsrechnungen für eine begrenzte Auswahl von Gebäudetypen:
  - Definition von typischen Referenzfällen: nicht-energetische Instandsetzung von Gebäudehülle bzw. Ist-Zustand als Referenzfall (d.h. keine Massnahmen im Referenzfall)
  - Berechnung der Mehrkosten der baulichen und gebäudetechnischen Effizienzmassnahmen im Vergleich zu den Referenzfällen, je pro Gebäude- und Massnahmentyp
  - Berechnung der energetischen Effizienzverbesserung und davon abgeleitet der CO<sub>2</sub>-Minderungswirkung der betrachteten Massnahmen
  - Berechnung von Jahresdifferenzkosten mittels der Annuitätenmethode und der Annahme von Lebensdauer kennwerten, Realzinssätzen und künftigen Energiekosteneinsparungen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht

- Berechnung der Wirtschaftlichkeit der energetischen Erneuerungsmassnahmen (anhand der nicht amortisierbaren Mehrkosten NAM)<sup>27</sup> und der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (ergeben sich aus der Division von NAM und vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen über die Lebensdauer der Massnahmen)
- Berechnung und Darstellung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und –potenziale
- Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und –potenziale werden je nach Gebäudetyp und Massnahmen für ein bis drei energetische Standards ausgewiesen: Standarderneuerung, Minergie-Standard und je nach Massnahme ein Standard dazwischen oder ein weitergehender Standard.

### Zentrale Annahmen

Referenz	Definition von typischen Referenzfällen: nicht-energetische Instandsetzung von Gebäudehülle bzw. Ist-Zustand als Referenzfall (d.h. keine Massnahmen im Referenzfall) Referenzfälle über die Lebensdauer einer Massnahme
Modell / Ansatz	Auswertung der elektronisch verfügbaren Gesuchs- und Abrechnungsdatenbank der Stiftung Klimarappen mit einem Regressionsmodell zur Bildung der Kostenkennwerte. Darauf aufbauend wurden die Kosten der baulichen Massnahmen für einzelne Fall-Archetypen abgeschätzt. Bottom-up
Zinssatz	3.0% (real)
Energiepreise	7.3 Rp./kWh (10 Rp./kWh als Sensitivität)
Technologischer Fortschritt	k.A.
Potenzialbegriff	Heute bestehende energetische Effizienzpotenziale über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.

### Zusatzkosten: Investitionen (Nicht amortisierbare Mehrkosten NAM)

Die folgende Tabelle zeigt die NAM von energetischen Erneuerungen gemäss gesetzlichen Anforderungen sowie der Förderprogramm-massnahmen gegenüber den unterstellten Referenzfällen. Aufgrund der zum Teil beträchtlichen Standardabweichung in den Ergebnissen der statistischen Auswertung ergeben sich für die Kosteneckwerte und somit auch für die NAM und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten nicht zu unterschätzende Unsicherheiten (resp. grosse Bandbreiten).

Die einzelnen Gebäude oder Gebäudetypen unterscheiden sich erheblich bzgl. der Kosten der Effizienz-massnahmen.

<sup>27</sup> Die NAM ergeben sich aus der Differenz der Investitionskosten und der kapitalisierten Energiekosteneinsparungen.



**Tabelle 129 Nichtamortisierbare Mehrkosten (NAM) energetischer Erneuerungen gemäss gesetzlichen Anforderungen sowie der Förderprogramm-Massnahmen (FP) gegenüber dem Ist-Zustand, gegenüber einer Instandsetzungsmassnahme bzw. gegenüber einer Massnahme, die die gesetzlichen Anforderungen erfüllen würde sowie Zusatzkosten des Bonus „Minergie-Moduls“ gegenüber der FP-Grundanforderung (Ohne Berücksichtigung der Förderbeiträge)**

	Energetische Erneuerung (*) <-> Ist-Zustand CHF/m <sup>2</sup>	Grundförderung <-> Ist-Zustand CHF/m <sup>2</sup>	Grundförderung <-> Instandsetzung CHF/m <sup>2</sup>	Grundförderung <-> energetische Erneuerung (*) CHF/m <sup>2</sup>	„Optimiert“ <-> Instand- setzung CHF/m <sup>2</sup>	Minergie Fenster <-> Instand- setzung CHF/m <sup>2</sup>
Energiepreis 7.3 Rp./kWh, Realzinssatz von 3% p.a.						
Fenster Fall 1	383	368	286	-15	306	295
Fenster Fall 2	531	521	-64	-9	-34	-41
Wand	88	90	-5	1	1	
Dach (von innen)	3	-4	-74	-7	-70	
Dach (gegen aussen)	111	114	-51	2	-38	
Estrichboden	18	5	5	-13	2	
Kellerdecke	3	1	1	-2	2	
Energiepreis 10 Rp./kWh, Realzinssatz von 3% p.a.						
Fenster Fall 1	308	281	199	-28	212	191
Fenster Fall 2	456	434	-151	-22	-128	-145
Wand	52	48	-46	-4	-44	
Dach (von innen)	-37	-50	-120	-13	-121	
Dach (gegen aussen)	71	68	-97	-4	-88	
Estrichboden	-7	-27	-27	-20	-33	
Kellerdecke	-27	-33	-33	-7	-36	
(*) Gemäss gesetzlicher Anforderung (2006) Energetische Erneuerung gemäss gesetzlichen Anforderungen <-> Ist-Zustand: Massnahmenkosten gemäss gesetzlicher Anforderung minus kapitalisierte Differenz der Energiekosten zwischen energetischer Erneuerung und Ist-Zustand (ohne Erneuerungsmassnahmen) FP Grundförderung <-> Ist-Zustand: Massnahmenkosten gemäss Grundanforderung des Förderprogramms minus kapitalisierte Differenz der Energiekosten zwischen Erneuerung gemäss Grundanforderung und Ist-Zustand (ohne Erneuerungsmassnahmen) FP Grundförderung <-> Instandsetzung: Massnahmenkosten gemäss Grundanforderung des Förderprogramms minus Kosten bei einer Instandsetzung minus kapitalisierte Differenz der Energiekosten zwischen Erneuerung gemäss Grundanforderung und Instandsetzung (ohne energetische Wirkung) FP Grundförderung <-> energetische Erneuerung: Massnahmenkosten gemäss Grundanforderung des Förderprogramms minus Kosten bei einer energetischen Erneuerung (welche die gesetzlichen Anforderungen erfüllt) minus kapitalisierte Differenz der Energiekosten zwischen Erneuerung gemäss Grundanforderung und gesetzlicher Anforderung FP Bonus „Optimiert“ <-> Instandsetzung: Massnahmen-Mehrkosten „Optimiert“ minus Kosten bei einer Instandsetzung minus kapitalisierte Differenz der Energiekosten zwischen Erneuerung gemäss Grundanforderung und Instandsetzung (ohne energetische Wirkung)						

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Die spezifischen Kosten der Energieeffizienzverbesserung (pro kWh) im Gebäudebereich sind stark abhängig vom angenommenen Vergleichsfall (nichts tun, Instandsetzen, minimal energetisch erneuern) und weiteren Parametern (z.B. Energiepreise, Zinssätze).

Wenn der Ist-Zustand als Vergleichsbasis herangezogen wird, weisen energetische Massnahmen z.T. beträchtliche NAM auf (vgl. Tabelle 129). Erst wenn mit einer ohnehin durchzuführenden Instandsetzung verglichen wird, werden die NAM relativ gering oder gar negativ. Die ermittelten NAM zeigen, dass ein Teil der Massnahmen bei einem Energiepreis von 7.3 Rp./kWh wirtschaftlich oder beinahe wirtschaftlich sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn



ohnehin mindestens eine Instandsetzungsmassnahme geplant ist (FP Grundförderung <-> Instandsetzung bzw. FP Grundförderung <-> energetische Erneuerung gemäss gesetzlicher Anforderung). Bei einem höheren Energiepreis von 10 Rp./kWh, wie er über die Lebensdauer der Massnahmen realistischerweise sein könnte, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der Massnahmen stark.

Bei der Berechnung der NAM sind weitere relativ hohe Anreize und Vergünstigungen in diesen Betrachtungen nicht berücksichtigt, namentlich die Abzüge vom steuerbaren Einkommen, welche bei energetischen Massnahmen geltend gemacht werden können.

### Zusatznutzen: Energiekosteneinsparungen

Die über die Lebensdauer der untersuchten Massnahmen kapitalisierten Energiekosteneinsparungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 126 Resultierende, über die Lebensdauer kapitalisierte Energiekosteneinsparungen (CHF/m<sup>2</sup>), Realzins 3%, Energiepreis 7.3 Rp/kWh

	Energetische Erneuer. (*) <-> Ist-Zustand [CHF/m <sup>2</sup> ]	Grund förderung <-> Ist-Zustand bzw. Instandsetzung [CHF/m <sup>2</sup> ]	Grund förderung <-> Energetische Erneuerung (*) [CHF/m <sup>2</sup> ]	Bonus „Optimiert“ <-> Grundförderung [CHF/m <sup>2</sup> ]
Endenergiepreis: 7.3 Rp./kWh				
Fenster	-201	-236	-36	-43.0
Wand oder Boden gegen aussen / Erdreich (weniger als 2 m)	-97	-112	-15	-7.5
Dach	-108	-125	-17	-8.3
Estrichboden gegen unbeheizt (**)	-67	-87	-20	-6.7
Kellerdecke/Boden gegen unbeheizt (**)	-80	-93	-13	-9.3

(\*) Gemäss gesetzlicher Anforderung im Jahr 2006 (\*\*) U-Wert Ist-Zustand im Vergleich zu Ott, Jakob (2006) um 0.1 W/m<sup>2</sup>K erhöht

Quelle: Ott, Jakob (2006), TEP Energy

### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

Econcept, CEPE (2007)

Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen? (Bericht zuhanden UREK-S).

Econcept, CEPE (2008)

CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Bereich der Gebäudeerneuerung in der Schweiz (Bericht zuhanden UREK-S).

## e) Resultate

### THG Vermeidungspotenziale

Keine Angaben.

### THG Vermeidungskosten

Die folgende Tabelle präsentiert die Resultate für die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten aufgrund der NAM:

**Tabelle 132** CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von baulichen energetischen Gebäudehüllen-Erneuerungsmassnahmen aufgrund der NAM (Energiepreis 7.3 Rp./kWh und einem Realzinssatz von 3% p.a., 70% Öl, 30% Gas), ohne Berücksichtigung der Förderbeiträge

	Energetische Erneuerung (*) <-> Ist-Zustand CHF/t CO <sub>2</sub>	Grund förderung <-> Ist-Zustand CHF/t CO <sub>2</sub>	Grund förderung <-> Instandsetzung CHF/t CO <sub>2</sub>	Grund förderung <-> energetische Erneuerung (*) CHF/t CO <sub>2</sub>	„Optimiert“ <-> Instandsetzung CHF/t CO <sub>2</sub>	Minergie- Fenster <-> Instandsetzung CHF/t CO <sub>2</sub>
Fenster Fall 1	374	305	237	-80	236	227
Fenster Fall 2	518	432	-53	-51	-26	-32
Wand	157	138	-8	14	1	
Dach (von innen)	5	-4	-91	-64	-82	
Dach (gegen aussen)	159	141	-63	23	-44	
Estrichboden	41	9	9	-98	3	
Kellerdecke	5	2	2	-20	3	

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Erst wenn die betrachteten Massnahmen mit ohnehin durchzuführenden Instandsetzungsmassnahmen (oder mit ohnehin durchzuführenden energetischen Massnahmen) verglichen werden, ergeben sich in der Regel geringere oder gar negative CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Wie die NAM reagieren auch die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten relativ sensitiv auf die zugrundeliegenden Kosten, Vergleichsfälle und Energiepreise.

#### 10.4 Econcept, Amstein & Walthert, TEP Energy (2011): CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten

Autor	Jahr	Titel
Econcept, Amstein & Walthert, TEP Energy	2011	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten

##### a) Art der Studie

Empirische Untersuchung von energetisch erneuerten Gebäuden (empirische Erhebung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten, ex-post Evaluation). Im Auftrag des BFE.

##### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>28</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X						X		

##### b) Ziel und Auftrag

Frage nach der effektiven Höhe der resultierenden CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei realisierten Gebäudesanierungen (Ermittlung der effektiven CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten einer grösseren Zahl energetisch erneuerter Wohnbauten) sowie das Kosten-/Nutzenverhältnis unterschiedlicher energetischer Massnahmen an der Gebäudehülle. Die Auswertung einer grösseren Zahl realisierter Erneuerungen soll Aufschluss darüber geben, ob die teilweise auf Berechnungen beruhenden Vermeidungskosten und Kosten-/Nutzenverhältnisse von analysierten Einzelobjekten und Literaturangaben empirisch bestätigt werden können.

##### c) Methodik und Vorgehen

Empirische Vermeidungskostenbestimmungen: Auswertung einer grösseren Zahl realisierter Erneuerungen (energetisch erneuerte Wohngebäude in der deutschen Schweiz; insgesamt 61 Gebäude). Unterscheidung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten nach Gebäudetyp und Massnahmenwahl.

Folgende Sanierungsmassnahmen werden in der Analyse der Vermeidungskosten berücksichtigt:

- Dach

<sup>28</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

- Fenster
- Aussenwände
- Bauteile gegen Keller und Erdreich
- Estrichboden
- Verbrauchsrelevante Änderungen an der Gebäudetechnik (Heizung und/oder Lüftung).

Für die vorgenommenen energetischen Massnahmen bei den untersuchten Gebäuden werden aufgrund der angegebenen Energieeinsparungen und der Massnahmenkosten mithilfe der Berechnungsmethodik von SIA 380/1 die massnahmenspezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten pro Bauteil ermittelt, was aber keine zusätzliche Kategorisierung der Gebäude erfordert.

### Zentrale Annahmen

Referenz	Referenzvarianten ohne energetische Massnahmen: Beim Referenzfall wird von derselben Funktionstüchtigkeit, denselben Unterhaltskosten und einer vergleichbaren Lebenszyklusdauer ausgegangen wie beim real sanierten Bauteil. Der Referenzfall entspricht somit einer nicht energetisch wirksamen Instandsetzung mit einer Lebenszyklusdauer, welche mit den real ausgeführten Massnahmen vergleichbar ist (Vergleich der energetischen Sanierung mit nicht energetischen Instandsetzungsmassnahmen, individuell pro Objekt).		
Modell / Ansatz	Empirische Vermeidungskostenbestimmungen von energetisch erneuerten Gebäuden (empirische Erhebung der CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten, ex-post Evaluation) Bottom-up		
Zinssatz	3.0% (real)		
Energiepreise (Endenergiepreise, vgl. S. 19)	<b>Energieträger</b>	<b>Aktueller Preis (2010)</b>	<b>Hoher, zukünftiger Preis (Szenario)</b>
	Heizöl (HEL)	80 Fr./100 l	120 Fr./100 l (Steigerung: 1,5)
	Erdgas	9 Rp./kWh	13 Rp./kWh (Steigerung: 1,44)
	Strom	18 Rp./kWh	27 Rp./kWh (Steigerung: 1,5)
	Holz: Brennholz	120 Fr./Ster	180 Fr./Ster (Steigerung: 1,5)
	Holz: Pellets	395 Fr./t	592 Fr./t (Steigerung: 1,5)
	Fernwärme	8 Rp./kWh	12 Rp./kWh (Steigerung: 1,5)
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	- Heizöl extra leicht (HEL): 0.074 kg CO <sub>2</sub> /MJ Hu (Hu: unterer Heizwert) - Erdgas: 0.055 kg CO <sub>2</sub> /MJ Hu - Fernwärme: 0.040 kg CO <sub>2</sub> /MJ Hu		
Technologischer Fortschritt	k.A.		
Potenzialbegriff	Heute bestehende energetische Effizienzpotenziale über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen.		

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

TEP Energy (2010)

Energetische Gebäudeerneuerungen Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten - Eine Auswertung des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen. Zürich.

McKinsey&Company (2007)

Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany. A report by McKinsey & Company, Inc. on behalf of "BDI initiative – Business for Climate".

#### e) Resultate

##### THG Vermeidungspotenziale und –kosten

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die wichtigsten Resultate zu den CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und -potenziale:

##### CO<sub>2</sub> –Vermeidungskosten und Reduktion von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen:

GESAMTMASSNAHMEN	Anzahl n	Investitionskosten Inv. CHF/m <sup>2</sup> EBF	Reduktion des Endenergieverbrauchs kWh/m <sup>2</sup> EBF a	Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen kg/m <sup>2</sup> EBF a	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten CHF/t CO <sub>2</sub>
EFH	38	424	-64.4	-19.5	324
MFH klein	14	279	-61.3	-17.0	137.4
MFH gross	9	201	-51.3	-13.0	147.1
GESAMT	61	267	-56.6	-15.4	190.2

Tabelle 2: Ergebnisse für die Gesamtmassnahmen (Bezugsfläche ist die Energiebezugsfläche): Spezifische Investitionskosten der Massnahmen, spezifische Reduktion des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die resultierenden spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche

EBF: Energiebezugsfläche Ae, dauernd beheizte Geschossfläche [m<sup>2</sup>].

##### Energiepreis höher

CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	Dach		Aussenwand		Fenster		Boden		Gesamt	
	CHF/80/100 L	CHF/120/100 L	CHF/80/100 L	CHF/120/100 L	CHF/80/100 L	CHF/120/100 L	CHF/80/100 L	CHF/120/100 L	CHF/80/100 L	CHF/120/100 L
EFH	148	-0.6	221	73	992	844	-46.1	-194	324	176
MFH klein	181	32.7	48.3	-99.8	473	325	-40.8	-189	137	-10.8
MFH gross	-25.7	-174	56.6	-91.6	639	491	-170	-318	147	-1.08
GESAMT	109	-39.0	97.1	-51.1	676	528	-129	-277	190	42

Tabelle19: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/t CO<sub>2</sub>, Vergleichstabelle mit Energiepreis Referenz (80 CHF/100 L) und Energiepreis hoch (120 CHF/100 L)

**CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten nach Massnahme an der Gebäudehülle (CHF/l = Erdölpreis):**

[CHF/t CO <sub>2</sub> ]	Dach		Aussenwand		Fenster		Boden		Gesamt	
	CHF 80/100 L	CHF 120/100 L	CHF 80/100 L	CHF 120/100 L	CHF 80/100 L	CHF 120/100 L	CHF 80/100 L	CHF 120/100 L	CHF 80/100 L	CHF 120/100 L
EFH	148	-0.62	221	73	992	844	-46.1	-194	324	176
MFH klein	181	32.7	48.3	-99.8	473	325	-40.8	-189	137	-10.8
MFH gross	-25.7	-174	56.6	-91.6	639	491	-170	-318	147	-1.08
<b>GESAMT</b>	<b>109</b>	<b>-39.0</b>	<b>97.1</b>	<b>-51.1</b>	<b>676</b>	<b>528</b>	<b>-129</b>	<b>-277</b>	<b>190</b>	<b>42</b>

Tabelle 3: Mittlere CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/t CO<sub>2</sub> für die diversen energetisch erneuerten Bauteile bei 38 EFH, 14 MFH<sub>klein</sub> und 9 MFH<sub>gross</sub> für zwei Heizölpreis-Szenarien

**Vergleich der Resultate mit anderen „Gebäudestudien“ (auch in Bezug auf die Annahmen)****Vergleich der Resultate mit TEP Energy (2010):**

In TEP Energy 2010 werden gegenüber dem vorliegenden Bericht tiefere CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei energetischen Massnahmen an Dach, Wand und Fenster, dagegen aber höhere bei Massnahmen am Bauteil Boden ermittelt.

Vergleich Kennwerte	Investition mit minus Investition ohne energetische Massnahmen CHF/m <sup>2</sup> Gaube		Reduktion Energieverbrauch kWh/m <sup>2</sup> Gaube		CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten CHF/t CO <sub>2</sub>	
	CHF/m <sup>2</sup> Gaube		kWh/m <sup>2</sup> Gaube		CHF/t CO <sub>2</sub>	
	Tabelle 7 u. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab. 127, Sp. 2.4	s. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab. 125, Sp. 3	s. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab. 128, Sp. 4
Dach	78	74	-30	-67	109	-63
Aussenwand	136	107	-55	-67	97	-8
Fenster	511	522	-91	-165	676	237
Boden	63	99	-57	-50	-129	2

Tabelle 4: Vergleich mit Resultaten aus TEP Energy 2010. Vermeidungskosten VK und relevante Kostenwerte (energetische Mehrinvestitionen INV<sub>m</sub>-INV<sub>ref</sub>) und Energieeinsparungen

## 10.5 B,S,S. (2008a): Vermeidungskosten Industrie und Verkehr

Autor	Jahr	Titel
B,S,S.	2008	Vermeidungskosten Industrie und Verkehr

### a) Art der Studie

Literaturübersicht und Ermittlung der Grössenordnungen der Vermeidungskosten für die Sektoren Industrie und Verkehr auf der Grundlage von ex-post Analysen bereits durchgeführter Massnahmen.

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>29</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
	X		X			X	X	

### b) Ziel und Auftrag

Ermittlung der Grössenordnungen der Vermeidungskosten für die Sektoren Industrie und Verkehr. Im Vordergrund stehen die Kosten ausgewählter Massnahmen mit grossem Reduktionspotenzial über deren Lebensdauer sowie die Vermeidungskosten bis zum nächsten klimapolitischen Meilenstein im Jahre 2020. Dabei sind insbesondere Massnahmen von Interesse, deren Investitionskosten sich aufgrund der Einsparung innert wenigen Jahren auszahlen (No-Regret-Massnahmen).

### c) Methodik und Vorgehen

Im Rahmen des Projekts wurden Informationen zu den Vermeidungskosten der Industrie in der Schweiz aus verschiedenen Quellen zusammengetragen und verglichen. Es erwies sich als unmöglich, die Vermeidungskosten umfassend zu berechnen und in Abhängigkeit der Reduktionshöhe darzustellen (Vermeidungskostenkurve). Anhand der zusammengetragenen Informationen konnte jedoch die Grössenordnung der Vermeidungskosten im Industriesektor geschätzt werden.

#### Industrie:

- Literaturstudie (Schweiz und international)

<sup>29</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

- Auswertung der EnAW Daten: Schätzung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenziale für die Periode 2008-2012 und 2008-2020 und für die Wirkungs-  
dauer der Massnahmen auf der Grundlage von ex-post Analysen bereits durchgeführter  
Massnahmen
- Expertengespräche
- Befragung von Unternehmen zu den Vermeidungskosten (Onlinebefragung)
- Um das Reduktionspotenzial für den Industriesektor bis 2020 zu schätzen, werden die in  
der EnAW-Datenbank und von den Unternehmen in der Befragung ausgewiesenen Re-  
duktionen über die Emissionen auf den ganzen Sektor hochgerechnet

#### **Verkehr:**

- Zusammenstellung der Vermeidungskosten und Reduktionspotenziale verschiedener  
Massnahmen aus der Literatur
- Übertragung der Resultate aus internationalen Studien auf die Schweiz
- Beschränkung auf folgende Ansatzpunkte zur Emissionsminderung:
  - Kaufverhalten (Analyse von Daten von AutoSchweiz)
  - Fahrzeugeffizienz / technische Massnahmen
  - Mobilitätsmanagement
  - Umstieg auf emissionsärmere Treibstoffe
- Es werden auch Möglichkeiten integriert, bei denen sich die Autofahrer am Klimaschutz  
beteiligen
- Mithilfe relativer Vermeidungspotenziale wird die Gesamtwirkung der betrachteten Mass-  
nahmen quantifiziert

Berechnung der Vermeidungskosten (VK, in CHF/t CO<sub>2</sub>):

$$VK = - (Investitionskosten + Veränderung der Betriebskosten) / Veränderung der Emissionen$$

#### **Zentrale Annahmen**

Referenz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrie: Auswertung der EnAW Daten: 2008-2012, 2008-2020 und über gesamte Wirkungsdauer</li> <li>- Verkehr: 2009-2012 und 2009-2020</li> <li>- Es wird jedoch keine zukünftige Referenzentwicklung angenommen</li> </ul>
Modell / Ansatz	Technische Schätzung / Modellrechnungen auf der Grundlage von ex-post Analy- sen bereits durchgeführter Massnahmen  Bottom-up
Zinssatz	3.50%  Bei der Befragung von Unternehmen: 10% (zur Berücksichtigung des unternehme- rischen Risikos)



Energiepreise	Industrie: Auswertung der EnAW Daten: mittlerer Energiepreis von rund 77 CHF/100l Heizöl (eine mögliche Verteuerung der Brennstoffe wird nicht berücksichtigt) Verkehr: Treibstoffpreis durchschnittlich 2 CHF/l; bezüglich Tanktourismus Super: 1.2 EUR/l, Diesel: 1.35 CHF/l
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	Industrie: Auswertung der EnAW Daten: mittlerer Emissionsfaktor von 3 t CO <sub>2</sub> /t Brennstoff
Technologischer Fortschritt	Vernachlässigung des technologischen Fortschritts
Potenzialbegriff	Heute bestehendes Potenzial rentabler Massnahmen

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

McKinsey&Company (2009)

Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve.

Infras (2008)

CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität.

BFE (2008)

CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität (Kurzbericht zuhanden UREK-S, nicht veröffentlicht!)

## e) Resultate

### THG Vermeidungspotenziale

**Industrie:** Resultate CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen (heute bestehendes Potenzial rentabler Massnahmen) aus der Auswertung der EnAW Daten

*Tabelle 5: CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen und Investitionen des Industriesektors sowie Wirkungsdauer der Massnahmen. [18] Der energieabhängige Anteil der Investition wird von den Unternehmen geschätzt.*

Massnahmenkategorie <sup>a)</sup>	Emissionsreduktion [tCO <sub>2</sub> /a]	Investition [Mio. CHF]	Energieabhängiger Anteil Investition [Mio. CHF]	Wirkungs- dauer
Gebäudehülle	8'338	135.9	67.9 (50%)	28
Gebäudetechnik Infrastruktur	57'460	122.9	61.4 (50%)	15
Produktionstechnik	124'845	576.6	115.3 (20%)	7
Substitution von Energieträgern	126'246	62.2	62.2 (100%)	15
Andere	152'072	493.5	246.8 (50%)	10
<b>Total</b>	<b>468'961</b>	<b>1'391.2</b>	<b>553.7 (40%)</b>	<b>15<sup>b)</sup></b>

<sup>a)</sup> Ohne WKK, organisatorische Massnahmen und Verhaltensmassnahmen und Ökostrombezug (nicht CO<sub>2</sub>-Wirksam).

<sup>b)</sup> arithmetisches Mittel

**Industrie:** Befragung von Unternehmen (Hochrechnung auf den gesamten Industriesektor):

1.46 Mio. t CO<sub>2</sub>/a, 1.0 Mio. t CO<sub>2</sub>/a mit Vermeidungskosten <0

### Verkehr

Die folgende Tabelle zeigt die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale (heute bestehendes Potenzial rentabler Massnahmen) für Einzelmassnahmen im Bereich Verkehr bis 2012 und bis 2020:

Einzelmassnahmen	Vermeidungs- potenzial bis 2020	Vermeidungs- potenzial bis 2012
Steuerung des Kaufverhaltens Szenario 1: Umstieg auf eine um eine Kategorie kleinere Motorisierung	0.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (5.2%)	0.1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (1.6%)
Steuerung des Kaufverhaltens Szenario 2: Umstieg auf die kleinste Motorisierung der jeweiligen Modelvariante	0.6 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (6.9%)	0.2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (2.1%)
Steuerung des Kaufverhaltens Szenario 3: Umstieg auf die Motorisierung mit den tiefsten CO <sub>2</sub> -Emissionen des jeweiligen Modeltyps	1.3 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (15.7%)	0.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (4.8%)
Fahrzeugeffizienz / technische Massnahmen	2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	k.A.
Mobilitätsmanagement	130'000 t CO <sub>2</sub> /a	40'000 t CO <sub>2</sub> /a
Emissionsärmere Treibstoffe Szenario A: Dieselquote bei Neufahrzeugen bleibt bis zum Jahr 2020 bei 35%	0.2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (2%)	0.1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (0.9%)
Emissionsärmere Treibstoffe Szenario B: Quote steigt bis 2020 linear auf 50 Prozent	0.2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (2.8%)	0.1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (1%)
Emissionsärmere Treibstoffe Szenario C: Dieselquote bei Neuzulassungen kann durch eine gezielte politische Förderung bis 2012 auf 70% und bis 2020 auf 85% angehoben werden	0.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (5.2%)	0.1 Mio. t CO <sub>2</sub> /a (1.5%)

## THG Vermeidungskosten

### Industrie: Auswertung der EnAW Daten

Tabelle 6: Schätzung der Vermeidungskosten (Preisniveau 2008) anhand der EnAW-Daten

Massnahmenkategorie <sup>a)</sup>	Vermeidungskosten [CHF/tCO <sub>2</sub> ]		
	2008-2012	2008-2020	Wirkungsdauer
Gebäudehülle	1'357	388	104
Gebäudetechnik Infrastruktur	-59	-157	-161
Produktionstechnik	-88	-168	-124
Substitution von Energieträgern	-174	-201	-199
Andere	52	-114	-89
<b>Total</b>	<b>-37</b>	<b>-148</b>	<b>-153</b>

<sup>a)</sup> Ohne WKK, organisatorische Massnahmen und Verhaltensmassnahmen und Ökostrombezug (nicht CO<sub>2</sub>-Wirksam).

**Verkehr:** Nur Angaben bezüglich Fahrzeugeffizienz / technische Massnahmen und Mobilitätsmanagement:

- Fahrzeugeffizienz / technische Massnahmen: Etwa die Hälfte des CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzials bis 2020 (0.9 Mio. t CO<sub>2</sub>/a) ist mit Massnahmen mit negativen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten realisierbar.
- Mobilitätsmanagement: -340 bis 600 CHF/t CO<sub>2</sub>

## f) Kommentar

### Interpretation der Annahmen und Methodik

Mit diesem Vorgehen wird das Reduktionspotenzial einerseits überschätzt, da es sich bei den bereits umgesetzten Massnahmen um einfach zu realisierende Potenziale handeln dürfte und weitere Reduktionen schwieriger zu erreichen sind. Andererseits führt die Vernachlässigung des technologischen Fortschritts und der möglichen Verteuerung der Brennstoffe dazu, dass das Reduktionspotenzial im Jahr 2020 unterschätzt wird.

## 10.6 B,S,S. (2008b): Treibhausgasemissionen Gebäude und Emissionen synthetische Treibhausgase

Autor	Jahr	Titel
B,S,S.	2008	Treibhausgasemissionen Gebäude und Emissionen synthetische Treibhausgase

### a) Art der Studie

Zusatzmandat zu B,S,S. (2008), Treibhausgasemissionen Gebäude und Emissionen synthetische Treibhausgase. Die Bearbeitung erfolgte in wenigen Tagen. Dementsprechend werden die Ansatzpunkte zur Reduktion der Emissionen nur andiskutiert. Für detaillierte Vorschläge sind weitere Abklärungen nötig.

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>30</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X	X					X	X	

### b) Ziel und Auftrag

Im Rahmen des Zusatzmandats zur Studie "Vermeidungskosten Industrie und Verkehr" wurden die folgenden Fragestellungen untersucht:<sup>31</sup>

<sup>30</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

<sup>31</sup> Die Beantwortung der 1. Frage ist im Schlussbericht zur Studie "Vermeidungskosten Industrie und Verkehr" integriert. Die Beantwortung der 2. und 3. Frage erfolgt im vorliegenden Bericht.

- Wie können die EU-Emissionsvorschriften für PKW (130g CO<sub>2</sub>/km, bzw. 120g CO<sub>2</sub>/km) WTO-konform in der Schweiz umgesetzt werden?
- Welche Möglichkeiten bestehen, um bei bestehenden Gebäuden den angestrebten Absenkpfad von -1.5% pro Jahr zu erreichen?
- Welche Möglichkeiten bestehen, um bei den synthetischen Gasen den angestrebten Absenkpfad von -1,5% pro Jahr zu erreichen?

### c) Methodik und Vorgehen

THG-Emissionen der Wohngebäude (Fokus auf Raumwärme):

- Reduktion des Wärmeenergieverbrauchs pro Fläche: Verbesserung des flächenbezogenen Wärmeenergieverbrauchs für verschiedene Erneuerungsraten, unter der Annahme, dass sämtliche Gebäudesanierungen und Neubauten den Minergiestandard erreichen.
- Emissionsärmere Wärmeenergieerzeugung
  - Durch Steigerung des Wirkungsgrads des Heizsystems
  - Durch Wahl eines Brennstoffs mit besserer CO<sub>2</sub>-Effizienz

THG-Emissionen synthetischer Gase: Es werden lediglich mögliche Reduktionsmassnahmen vorgeschlagen.

### Zentrale Annahmen

Referenz	Ausgangsjahr 2010 Resultate für 2015, 2020, 2030
Modell / Ansatz	Technische Schätzung / Modellrechnungen auf der Grundlage von ex-post Analysen bereits durchgeführter Massnahmen (vgl. auch 10.5) Bottom-up
Zinssatz	Keine spezifischen Angaben
Energiepreise	Keine spezifischen Angaben
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	- Erdgas: 55 t CO <sub>2</sub> /TJ - Heizöl extra leicht (HEL): 73.7 t CO <sub>2</sub> /TJ - Kohle: 94 t CO <sub>2</sub> /TJ
Technologischer Fortschritt	Keine spezifischen Angaben
Potenzialbegriff	Heute bestehendes Potenzial rentabler Massnahmen

### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

Zusatzmandat zu:

B,S,S. (2008), Treibhausgasemissionen Gebäude und Emissionen synthetische Treibhausgase.

## e) Resultate

### THG Vermeidungspotenziale

Reduktion des Wärmeenergieverbrauchs pro Fläche: bis 2020 Emissionsreduktion um 1.3 Mio. t CO<sub>2</sub>/a (bei Erneuerungsrate von 1.5%)

Emissionsärmere Wärmeenergieerzeugung: bis 2020 Emissionsreduktion um 0.13 (bei Wechsel von Heizöl zu Erdgas) resp. 0.53 Mio. t CO<sub>2</sub>/a (bei Wechsel von Heizöl zu erneuerbarem Brennstoff).<sup>32</sup>

### THG Vermeidungskosten

Keine Angaben.

## 10.7 Ernst Basler & Partner, WWF (2010): CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenziale bis 2020 in der Schweiz mittels Förderprogrammen

Autor	Jahr	Titel
Ernst Basler & Partner, WWF	2010	CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale bis 2020 in der Schweiz mittels Förderprogrammen

### a) Art der Studie

Kurzbericht (in relativ kurzer Zeit erstellt): Schätzt die Wirkung von Klimaschutz-Förderprogrammen, welche in der Schweiz bis 2020 zusätzlich umgesetzt werden können und für die Teil-Kompensationspflicht (gemäss Art. 23 des CO<sub>2</sub>-Gesetzes in Revision) angerechnet werden könnten.

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>33</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X	X		X			X		

<sup>32</sup> Unter der Annahme, dass 10% der Hausbesitzer bei der Erneuerung von Heizöl auf Erdgas resp. erneuerbare Brennstoffe wechseln.

<sup>33</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

## b) Ziel und Auftrag

Abschätzung des realistischen Reduktionspotenzials eines Inlandprogramms „à la Stiftung Klimarappen“, aber von grösserem Umfang, basierend auf Erfahrungswerten bisheriger Förderprogramme und eigener Abschätzungen.

## c) Methodik und Vorgehen

Die Abschätzung beruht v.a. auf Erfahrungswerten der bisherigen Stiftung Klimarappen, kantonaler und nationaler Förderprogramme sowie eigener Abschätzungen namentlich im Bereich Mobilität. Es werden realistische Reduktionswirkungen (unter Abzug von Mitnahmeeffekten und Doppelzählungen) für mögliche Massnahmen in den Bereichen Brennstoffe und Treibstoffe geschätzt. Bestimmte Massnahmen bzw. ihre Reduktionswirkungen können nur verwirklicht werden, wenn vorgängig notwendige Voraussetzungen erfüllt sind. Die Massnahmen werden deshalb gruppiert in "erprobte", "weiterführende" sowie "neue" Massnahmen.

- Erprobte Ansätze: Die Massnahmen in diesem Paket können mit Rahmenbedingungen und Struktur analog zur bisherigen Stiftung Klimarappen umgesetzt werden.
- Weiterführende Ansätze (Voraussetzung mehr Mittel): Die Massnahmen in diesem Paket können mit Rahmenbedingungen und Struktur analog zur bisherigen Stiftung Klimarappen umgesetzt werden; allerdings sind mehr finanzielle Mittel (pro reduzierte Tonne CO<sub>2</sub>) erforderlich und die entsprechenden Projekteigner müssen die Projekte auch tatsächlich und frühzeitig einreichen.
- Neue Ansätze (Voraussetzung neue Methoden): Die in diesem Paket enthaltene Massnahmen erfordern neuartige Methoden zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkung. Solche Berechnungsmethoden müssen vom BAFU vorgängig genehmigt werden.

## Zentrale Annahmen

Referenz	2020, Referenzentwicklung gemäss Botschaft des Bundesrates zum CO <sub>2</sub> -Gesetz <sup>34</sup> 2015 für die Umsetzung des EU-Richtwerts von 130g CO <sub>2</sub> /km für neue PW
Modell / Ansatz	Technische Abschätzungen beruhend auf Erfahrungswerten der bisherigen Stiftung Klimarappen, kantonaler und nationaler Förderprogramme sowie eigener Abschätzungen Bottom-up
Zinssatz	k.A.

<sup>34</sup> Vgl. Botschaft über die Schweizer Klimapolitik nach 2012 (Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes und eidgenössische Volksinitiative «Für ein gesundes Klima»), vom 26. August 2009, SR 09.067, S. 7467: „Ausgangspunkt für die Referenzentwicklung bildet das Szenario I der Energieperspektiven des Bundesamts für Energie (BFE). In Abweichung zu den Energieperspektiven wurde die Referenzentwicklung auf das höhere Bevölkerungswachstum, die aktuellen Wachstumsprognosen und einen konstanten Ölpreis bis 2020 in der Höhe von 55 US Dollar pro Fass (zu Preisen von 2005) angepasst. Die Referenzentwicklung geht von einer weiterhin nahezu CO<sub>2</sub>-freien Stromproduktion aus. Der Zukauf von ausländischen Emissionszertifikaten, die Senkenleistung des Schweizer Waldes sowie die Emissionen des internationalen Flugverkehrs sind nicht in der Referenzentwicklung enthalten.“

Energiepreise	55 USD/Fass <sup>35</sup>
Technologischer Fortschritt	Keine spezifischen Angaben. Lediglich Unterscheidung zwischen erprobten (auf bestehenden Methoden), weiterführenden (Voraussetzung mehr Mittel) und neuen Ansätzen (erfordern neuartige Methoden)
Potenzialbegriff	Realistisches Reduktionspotenzial vs. Technisch realisierbares Potenzial

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

#### e) Resultate

#### THG Vermeidungspotenziale

Die folgende Tabelle zeigt die CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkung der untersuchten Ansätze im Vergleich zur Referenzentwicklung 2020:

		Anteil an Referenzemission 1990 (52.7 MtCO <sub>2eq</sub> )	
Gruppe	Sektor	CO <sub>2</sub> -Reduktionswirkung (t CO <sub>2eq</sub> /a)	
a) Erprobte Ansätze	Brennstoffe	Holz-, Fern-, Abfallwärme	200'000
	Brennstoffe	Unternehmen innerhalb ETS (inkl. freiwillig in ETS)	200'000
	Brennstoffe	Unternehmen mit EnAW-Zielvereinbarung	100'000
	Brennstoffe	KMU-Prozessoptimierung Wärme	110'000
	Brennstoffe	Gebäudeautomatisierung	100'000
	Treibstoffe	Zielvereinbarungen	50'000
	Treibstoffe	Biotreibstoffe (mit Mineralölsteuerbefreiung)	50'000
			810'000 1.5%
b) Weiterführende Ansätze (Voraussetzung mehr Mittel)	Brennstoffe	GP+: Erhöhung Geldmittel für Gebäudeprogramm	400'000
	Brennstoffe	GP+: Förderung kantonaler Zusatzprogramme	600'000
	Treibstoffe	Elektromobilität	30'000
	Treibstoffe	Förderung effizienter Nutzfahrzeuge	150'000
	Treibstoffe	Zielvereinbarung mit Erstausrüster (Generalimport.)	140'000
			1'320'000 2.5%
c) Neue Ansätze (Voraussetzung neue Meth.)	Brennstoffe	Programme zur Reduktion der Raumtemperatur	590'000
	Brennstoffe	GP+: Aus- und Weiterbildung, Projektbegleiter	140'000
	Treibstoffe	Energieberatung Autofahrer	250'000
	Treibstoffe	CarSharing- und Autoverzicht-Community-Verpflicht.	190'000
			1'170'000 2.2%
Total Massnahmengruppen a) bis c)			3'300'000 6.3%

Tabelle 1. Übersicht über die CO<sub>2</sub>-Reduktionswirkung der betrachteten Massnahmen im 2020, je Sektor und je Massnahmengruppe.

<sup>35</sup> Gemäss Referenzentwicklung in der Botschaft über die Schweizer Klimapolitik nach 2012 (Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes und eidgenössische Volksinitiative «Für ein gesundes Klima»), vom 26. August 2009, SR 09.067.



### THG Vermeidungskosten

Keine spezifischen Angaben.

„Die hier betrachteten Programme führen zu volkswirtschaftlichen Gewinnen. Die eingesparten Kosten durch tiefere Aufwendungen für fossile Energien sind also höher als die nötigen Zusatzinvestitionen. Diese Aussage gilt unter der Annahme von bis 2020 real steigenden Ölpreisen sowie der Weiterverfolgung der Klimaschutzziele der internationalen Gemeinschaft.“ (Vgl. S. 13)

## 10.8 Infras (2008): CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität

Autor	Jahr	Titel
Infras	2008	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität. Kurzbericht zuhanden UREK-S (nicht veröffentlicht!)

### a) Art der Studie

Kurzbericht: Relativ grobes Bild der Vermeidungskosten und Potenziale in den Bereichen Gebäudeunabhängige Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse, Gebäude im Bereich der Wirtschaft und Mobilität. Basiert auf bereits vorhandenen in- und ausländischen Datengrundlagen.

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>36</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X	X	X	X			X	X	

<sup>36</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

## b) Ziel und Auftrag

Fragestellung:

- Wie hoch sind die Kosten für die Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland (nur Wärme ohne Strom)?
- Welche Potenziale bestehen, kurzfristig bis zur Commitment-Periode gemäss Kyoto-Protokoll (2008-2012), längerfristig (2035)?

Die Studie soll Grundlagen liefern, welche einen Beitrag leisten zur Beantwortung der Frage, wie teuer die Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland ist und in welchen Bereichen kurz- und langfristig relevante Potenziale vorhanden sind.

## c) Methodik und Vorgehen

Analyse von Einzelmassnahmen in den Bereichen

- Autonome erneuerbare Anlagen zur Bereitstellung von Wärme im Bereich von erneuerbaren Energien
- Industrie und Dienstleistungen: Gebäudebereich und Einsparpotenziale der industriellen Prozesse (nur Wärme)
- Mobilität

Die Studie basiert auf den bereits vorhandenen in- und ausländischen Datengrundlagen. Die Potenziale werden im Vergleich zum heutigen Zustand (Energieverbrauch resp. CO<sub>2</sub>-Emissionen) ausgewiesen.

Zur Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten wurde auf die Nicht amortisierbaren Mehrkosten (NAM) abgestützt.<sup>37</sup>

### Zentrale Annahmen

Referenz	Kurzfristig bis 2012 Längerfristig bis 2035 Im Vergleich zum heutigen Zustand (Energieverbrauch resp. CO <sub>2</sub> -Emissionen)
Modell / Ansatz	Bottom-up Technische Schätzungen
Zinssatz	3.5% (real)
Energiepreise	- Heizöl, Heizöl extraleicht, Erdgas: 7 Rp./kWh (70 CHF/100l Heizöl) - Treibstoff: 1.70 CHF/l (allerdings wird für volkswirtschaftliche Betrachtung ein Preis ohne Steuern und Abgaben von 0.88 CHF/l unterstellt) Gemäss den aktualisierten Vorgaben des BFE für EWG-Studien / Perspektivarbeiten.

<sup>37</sup> Die Kostenrechnung zur Bestimmung der NAM beruht auf der dynamischen Methode gemäss SIA 480:2004.

CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	<p>Für die Abschätzung der Vermeidungskosten pro Tonne CO<sub>2</sub> und die CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale werden folgende CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verwendet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erdgas: 0.198 Tonnen CO<sub>2</sub> pro MWh</li> <li>- Heizöl extra leicht (HEL): 0.263 Tonnen CO<sub>2</sub> pro MWh</li> <li>- Mix Erdgas/HEL für Wärmebereitstellung: 0.241 Tonnen CO<sub>2</sub> pro MWh</li> <li>- Treibstoffe: 3.15 kg CO<sub>2</sub>/kg Treibstoff</li> </ul>
Technologischer Fortschritt	Massnahmen im Vergleich zum heutigen Zustand (zur heutigen Technologie)
Potenzialbegriff	<p>Die Angaben zu den Potenzialen beziehen sich auf die technisch-ökologischen Potenziale (energetisch (in GWh/a), CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial (in t CO<sub>2</sub>/a)):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Technisch-ökologisches Potenzial: Entspricht dem geschätzten Potenzial, das ab 2008 noch für weitere Nutzung vorhanden ist (unbeschränkter Zeithorizont). Für Energieeffizienzmassnahmen (z.B. industrielle Prozesse), werden die Wirkungen der Massnahmen bis zum Jahr 2035 betrachtet.</li> <li>- Jährlicher Zubau bis 2012: Zeigt den geschätzten mittleren jährlichen Zubau von erneuerbaren Energien bzw. die mittlere jährliche Umsetzung von Effizienzmassnahmen in den Jahren 2008 bis 2012.</li> <li>- Kurzfristiges Potenzial bis 2012 (= theoretisches Ausbaupotenzial): Schätzung des gesamten möglichen Zubaus von erneuerbaren Energien resp. die Umsetzung von Effizienzmassnahmen in den Jahren 2008 bis 2012. Dies unter der Annahme, dass sich die heutigen Rahmenbedingungen in Politik und Wirtschaft nicht wesentlich ändern.</li> </ul> <p>Die Potenziale werden im Vergleich zum heutigen Zustand (Energieverbrauch resp. CO<sub>2</sub>-Emissionen) ausgewiesen.</p>

**Zusatzkosten: Investitionen (Nicht amortisierbare Mehrkosten NAM)**

Die folgende Tabelle zeigt die NAM für die Massnahmen aus den drei untersuchten Bereichen. Die NAM reagieren stark sensitiv in Bezug auf Wirkungskdauer, Energiepreis und die unterstellten energiebezogenen Investitionen (insb. für die analysierten Massnahmen im Bereich Industrie und Dienstleistungen).

<b>Massnahmen</b>	<b>NAM [Rp./kWh]</b>
<b>Autonome erneuerbare Anlagen zur Bereitstellung von Wärme im Bereich von erneuerbaren Energien</b>	
Automat. Holzfeuerungen 50 kW bis 300 kW (inkl. Pellet)	3.5-5
Automat. Holzfeuerungen 300 kW bis 500 kW (inkl. Pellet)	2-3
Automat. Holzfeuerungen über 500 kW (inkl. Pellet)	1-2
Anlagen für Abfallholz	1-3
KVA (Holzwärmenutzung)	-1 bis 2
Neubau / Anschluss an Wärmenetze Holz	k.A.
Wärme aus feuchter Biomasse (LW-Biogasanlagen, ARA, Kompogasanlagen)	2-5
Verbrennung oder Vergasung von Biogenen Abfällen (KVA, Industrie etc.)	-1 bis 2
Unverglaste thermische Sonnenkollektoren (z.B. Solare Freischwimmbäder)	0-1
Wärmepumpen >100 kW (nur erneuerbarer Anteil, inkl. Geothermische WP und Abwärme aus ARA)	0-2
Tiefe Geothermie (nur Anteil der ohne Wärmepumpe genutzt wird)	3-6
<b>I und DL: Gebäudebereich und Einsparpotenziale der industrielle Prozesse (nur Wärme)</b>	
Heizung und Warmwasser in DL-Gebäuden	k.A.
Heizung und Warmwasser in Industrie-Gebäuden	k.A.
Industrielle Prozesse (nur Wärme)	k.A.
<b>Mobilität</b>	
Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen am Fahrzeug (130 g CO <sub>2</sub> /km per 2012); d.h. in CH: graduelle Absenkung der spezifischen Emission von Neuwagen von 184 g CO <sub>2</sub> /km (2005) bis 2012 auf 145 g CO <sub>2</sub> /km; bis 2020 auf 110g CO <sub>2</sub> /km	k.A.
Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen (Reifen)	k.A.
Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen (Klimaanlagen)	k.A.
Effizienzverbesserung durch Änderung im Kaufverhalten von PW (Bonus-Malus)	k.A.
Effizienzverbesserung durch Änderung im Fahrverhalten (EcoDrive)	k.A.
Mobilitätsmanagement	k.A.
Alternative Treibstoffe, Agro-Treibstoffe	k.A.

**d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien**

Parallelprojekt von Econcept, CEPE (2007 und 2008).

Econcept/CEPE (2007)

Wie wirtschaftlich sind energetische Gebäudeerneuerungen? Bericht zuhanden UREK-S, Subkommission Energiepolitik. Econcept/CEPE ETH Zürich i.A. Bundesamt für Energie. Bern.

Econcept / CEPE (2008)

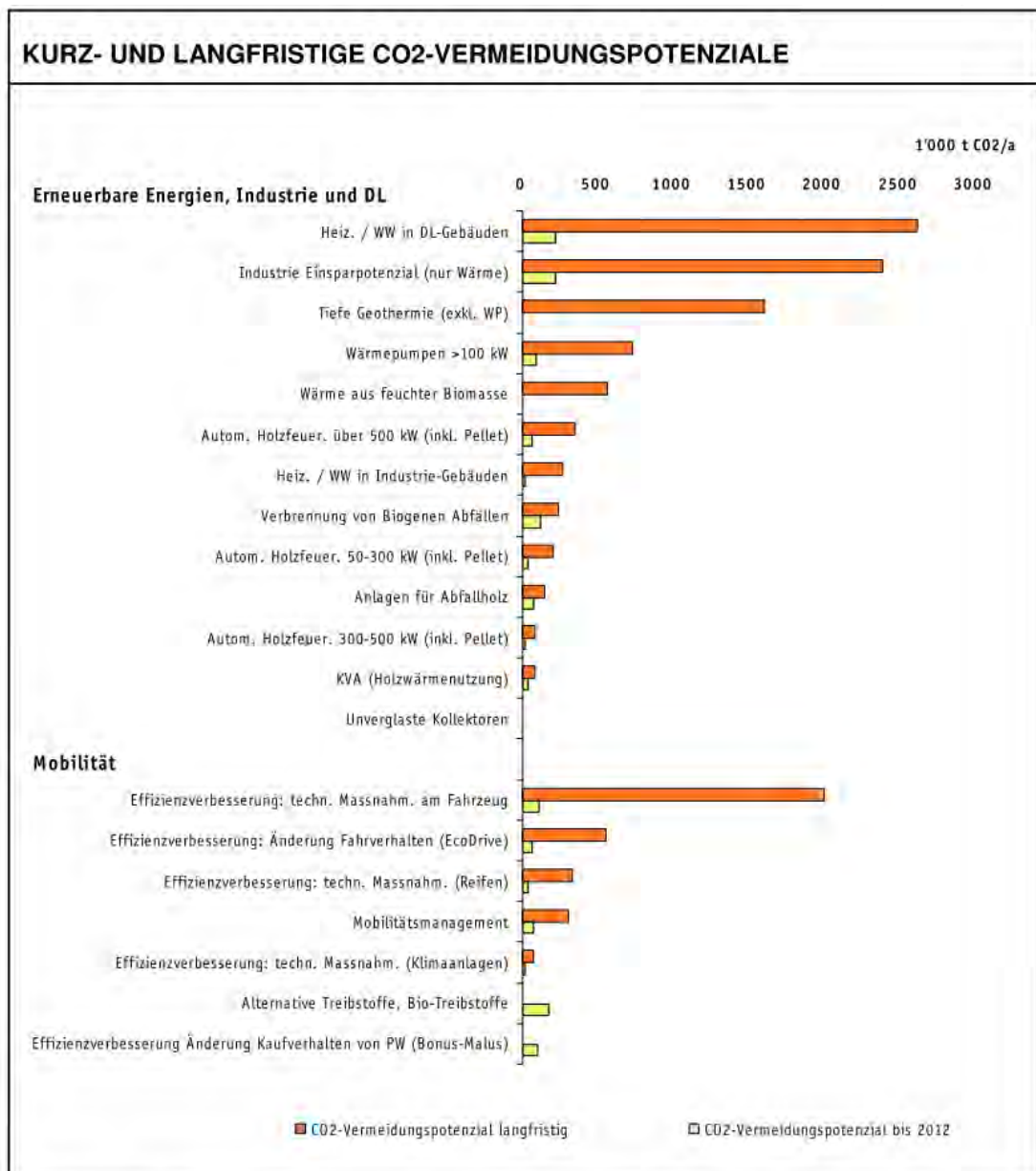
CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Bereich der Gebäudeerneuerung in der Schweiz. Bericht zuhanden UREK-S, Subkommission Energiepolitik. Econcept/CEPE ETH Zürich i.A. Bundesamt für Energie. Bern.

INFRAS (2005)

CO<sub>2</sub>-Potenzial des Langsamverkehrs, Verlagerung von kurzen MIV-Fahrten, im Auftrag ASTRA.

**e) Resultate**

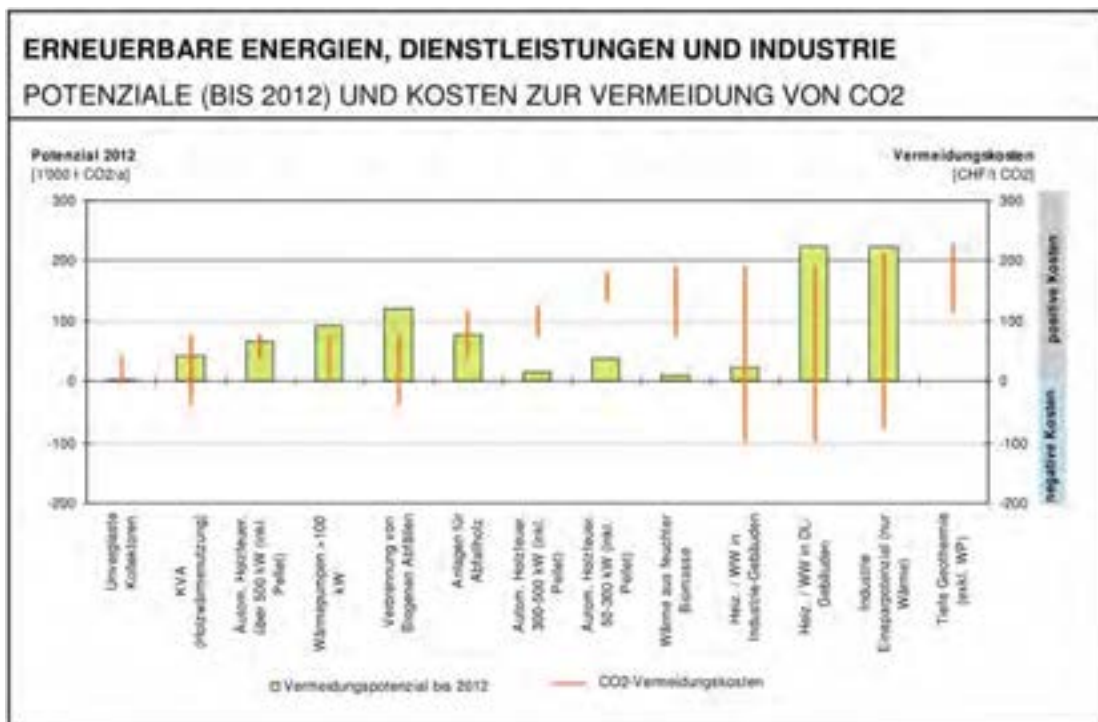
Die untenstehende Abbildung zeigt die Grobschätzung der kurz- und langfristigen CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale der untersuchten Massnahmen in den Bereichen Erneuerbar Energien, Industrie und DL sowie Mobilität (vgl. auch die nachfolgende Tabelle, welche die kurz- und langfristigen CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und die –kosten noch genauer darstellt).



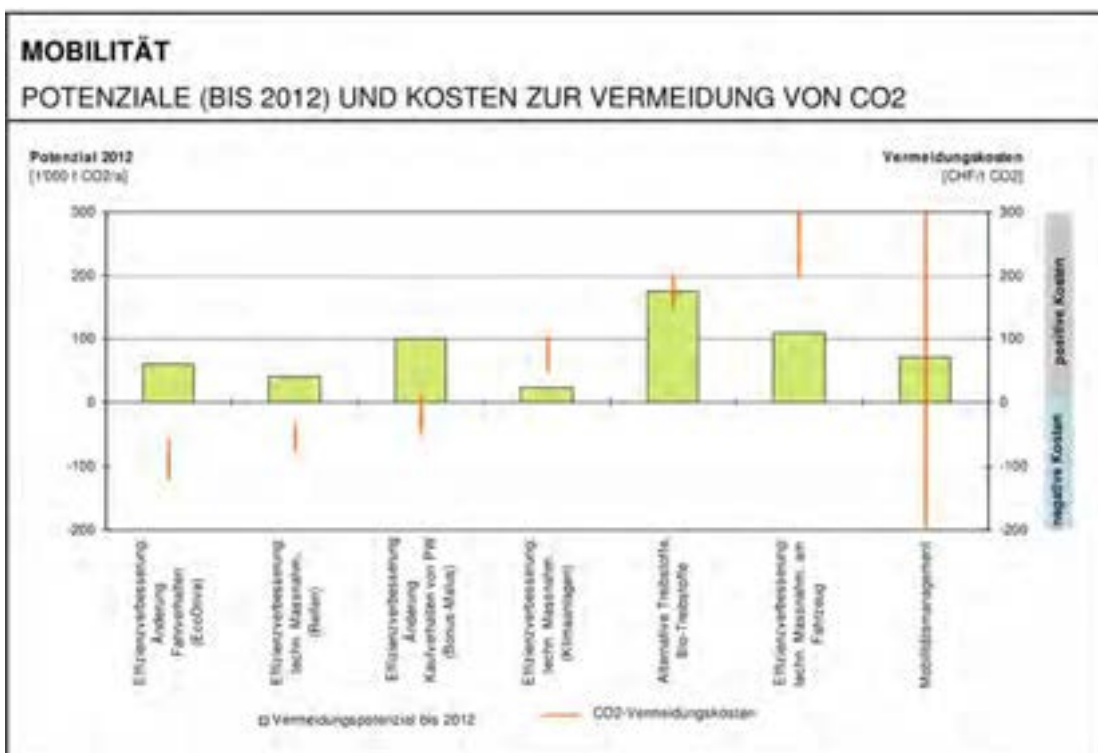
**Figur 3** Kurz- und langfristige CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale beziehen sich auf die Wirkung innerhalb eines Jahres.

Die beiden nachstehenden Abbildungen präsentieren die Abschätzung der kurzfristigen (bis 2012) Potenziale und Kosten zur Vermeidung von CO<sub>2</sub> die sich aus den untersuchten Massnahmen ergeben (vgl. auch die nachfolgende Tabelle, welche die kurz- und langfristigen CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und die –kosten noch genauer darstellt).

Die Vermeidungskosten, um die dargestellten Reduktionen zu erreichen, variieren in vielen Bereichen stark. Sie sind abhängig von der konkreten Massnahme oder vom konkreten Projekt und dem angestrebten energetischen Effizienzniveau. Die Sensitivität der Vermeidungskosten-Schätzungen ist gross (die Annahme zu den Energiepreisen ist stark Ergebnis bestimmend).



**Figur 1** CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und Potenziale bis 2012. Die ausgewiesenen Potenziale beziehen sich auf die im Jahr 2012 erzielbare CO<sub>2</sub>-Wirkung (Jahreswirkung). Sortiert nach der oberen Bandbreite der Vermeidungskosten.



**Figur 2** CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und Potenziale bis 2012. Die ausgewiesenen Potenziale beziehen sich auf die im Jahr 2012 erzielbare CO<sub>2</sub>-Wirkung (Jahreswirkung). Sortiert nach der oberen Bandbreite der Vermeidungskosten.

**CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und -potenziale (kurz- und langfristig)**

Massnahmen	CO <sub>2</sub> -VK [CHF/t CO <sub>2</sub> ]	CO <sub>2</sub> -VP bis 2035 [t CO <sub>2</sub> /a]	CO <sub>2</sub> -VP bis 2012 [t CO <sub>2</sub> /a]
<b>Autonome erneuerbare Anlagen zur Bereitstellung von Wärme im Bereich von erneuerbaren Energien</b>			
Automat. Holzfeuerungen 50 kW bis 300 kW (inkl. Pellet)	135-180	200'000 t CO <sub>2</sub> /a	40'000 t CO <sub>2</sub> /a
Automat. Holzfeuerungen 300 kW bis 500 kW (inkl. Pellet)	75-125	80'000 t CO <sub>2</sub> /a	15'000 t CO <sub>2</sub> /a
Automat. Holzfeuerungen über 500 kW (inkl. Pellet)	40-75	350'000 t CO <sub>2</sub> /a	65'000 t CO <sub>2</sub> /a
Anlagen für Abfallholz	40-115	150'000 t CO <sub>2</sub> /a	75'000 t CO <sub>2</sub> /a
KVA (Holzwärmenutzung)	-40 bis 75	80'000 t CO <sub>2</sub> /a	40'000 t CO <sub>2</sub> /a
Neubau / Anschluss an Wärmenetze Holz	k.A. bis 35	k.A.	k.A.
Wärme aus feuchter Biomasse (LW-Biogasanlagen, ARA, Kompogasanlagen)	75-190	560'000 t CO <sub>2</sub> /a	10'000 t CO <sub>2</sub> /a
Verbrennung oder Vergasung von Biogenen Abfällen (KVA, Industrie etc.)	-40 bis 75	240'000 t CO <sub>2</sub> /a	120'000 t CO <sub>2</sub> /a
Unverglaste thermische Sonnenkollektoren (z.B. Solare Freischwimmbäder)	0-40	k.A.	5'000 t CO <sub>2</sub> /a
Wärmepumpen >100 kW (nur erneuerbarer Anteil, inkl. geothermische WP und Abwärme aus ARA)	0-75	720'000 t CO <sub>2</sub> /a	90'000 t CO <sub>2</sub> /a
Tiefe Geothermie (nur Anteil der ohne Wärmepumpe genutzt wird)	115-230	1.6 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	0
<b>I und DL: Gebäudebereich und Einsparpotenziale der industriellen Prozesse (nur Wärme)</b>			
Heizung und Warmwasser in DL-Gebäuden	-100 bis 190	2.6 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	220'000 t CO <sub>2</sub> /a
Heizung und Warmwasser in Industrie-Gebäuden	-100 bis 135	270'000 t CO <sub>2</sub> /a	25'000 t CO <sub>2</sub> /a
Industrielle Prozesse (nur Wärme)	-75 bis 220	2.4 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	225'000 t CO <sub>2</sub> /a
<b>Mobilität</b>			
Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen am Fahrzeug (130 g CO <sub>2</sub> /km per 2012); d.h. in CH: graduelle Absenkung der spezifischen Emission von Neuwagen von 184 g CO <sub>2</sub> /km (2005) bis 2012 auf 145 g CO <sub>2</sub> /km; bis 2020 auf 110g CO <sub>2</sub> /km	200-300	2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a	110'000 t CO <sub>2</sub> /a
Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen (Reifen)	-75 bis -35	330'000 t CO <sub>2</sub> /a	30-50'000 t CO <sub>2</sub> /a
Effizienzverbesserung durch technische Massnahmen (Klimaanlagen)	50-100	50-100'000 t CO <sub>2</sub> /a	15-30'000 t CO <sub>2</sub> /a
Effizienzverbesserung durch Änderung im Kaufverhalten von PW (Bonus-Malus)	-50 bis 10	k.A.	100'000 t CO <sub>2</sub> /a
Effizienzverbesserung durch Änderung im Fahrverhalten (EcoDrive)	-120 bis -60	550'000 t CO <sub>2</sub> /a	60'000 t CO <sub>2</sub> /a
Mobilitätsmanagement	-340 bis 600	300'000 t CO <sub>2</sub> /a	70'000 t CO <sub>2</sub> /a
Alternative Treibstoffe, Agro-Treibstoffe	150-200	k.A.	150-200'000 t CO <sub>2</sub> /a

VK: Vermeidungskosten, VP: Vermeidungspotenzial.



## 10.9 BFE (2008): CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, industrielle Prozesse und Mobilität

Autor	Jahr	Titel
BFE	2008	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, industrielle Prozesse und Mobilität (Kurzbericht zuhanden UREK-S, nicht veröffentlicht!).

### a) Art der Studie

Kurzbericht zuhanden der UREK-Ständerat Subkommission Energiepolitik. Dieses Dokument stellt eine Zusammenfassung des Berichts dar, welcher von Infrac im Auftrag des BFE erstellt wurde (vgl. Kapitel 10.8)

Infrac (2008)

CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Inland: Erneuerbare Energien, Industrielle Prozesse und Mobilität. Kurzbericht zuhanden UREK-S (nicht veröffentlicht!).

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>38</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
	X	X	X			X	X	

### b) Ziel und Auftrag

- Wie hoch sind die Kosten für die Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland (nur Wärme ohne Strom)?
- Welche Potenziale bestehen kurzfristig bis zum Ende der Commitment-Periode gemäss Kyoto-Protokoll (2008-2012) und längerfristig (2035)?

Im vorliegenden Projekt werden die Bereiche erneuerbare Energien, industrielle Prozesse, Gebäude im Bereich der Wirtschaft und schliesslich Mobilität bearbeitet. Dieses Dokument stellt eine Zusammenfassung des Berichts dar, welcher von INFRAS im Auftrag des BFE erstellt wurde (vgl. oben).

### c) Methodik und Vorgehen

Vgl. zu Grunde liegende Infrac Studie in Kapitel 10.8.

<sup>38</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

**d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien****e) Resultate**

Vgl. zu Grunde liegende Infras Studie in Kapitel 10.8.

**f) Kommentar**

Vgl. zu Grunde liegende Infras Studie in Kapitel 10.8.

## Studien mit sektoralen Modellen und zukünftiger Referenzentwicklung

### 10.10 Michael Kost (2006): Langfristige Energieverbrauchs- und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenziale im Wohngebäudesektor der Schweiz

Autor	Jahr	Titel
Michael Kost	2006	Langfristige Energieverbrauchs- und CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenziale im Wohngebäudesektor der Schweiz (Dissertation ETH)

**a) Art der Studie**

ETH Dissertation.

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>39</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X						X		

**b) Ziel und Auftrag**

Analyse von Wohngebäudeparks der Schweiz mit Fokus auf den Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser:

<sup>39</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

- Welche Einflussparameter bestimmen den Energieverbrauch für Heizung- und Warmwasser und die zugehörigen CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Entwicklung des Wohngebäudeparks der Schweiz?
- Welche langfristigen Reduktionspotenziale bezüglich Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen sind im Wohngebäudepark der Schweiz vorhanden? Insbesondere interessieren dabei die Einsparpotenziale durch Umsetzen besserer Energiestandards bei Neubauten und Sanierungen sowie durch vermehrten Einbau emissionsärmerer Heiz- und Warmwassersysteme. Ferner soll das Potenzial durch vorgezogene und häufigere Sanierungen sowie durch vermehrten Ersatzneubau abgeschätzt werden.
- Was bedeutet eine sich verändernde Nachfrage nach Wohnraum und Warmwasser für den Energiebedarf? Neben dem Einfluss unterschiedlicher Bevölkerungsszenarien soll eine Abschätzung der Bandbreite der Nachfrageentwicklung durchgeführt werden.
- Welche Mittel (Kosten) müssen aufgewendet werden, um gewünschte Reduktionen bei Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen? Dabei interessiert die Frage, inwieweit gewisse Reduktionsstrategien volkswirtschaftlich rentabel sind und zu welchen Kosten CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden können.

### c) Methodik und Vorgehen

Gebäudebestandsmodell BWS-Simulations-Modell (BWSSiM) für den Wohngebäudepark der Schweiz ermöglicht die Simulation der Wohngebäudebestandsentwicklung unter Berücksichtigung von Renovation, Abbruch und Neubau. Dabei werden energierelevante Gebäudeparameter berücksichtigt. Zu jedem Zeitpunkt können der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser und die zugehörigen CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmt werden. Zudem können die Energiekosten und die Investitionskosten für Neubauten bzw. Sanierungen berechnet werden.

Langfristige Zielvorgabe bis 2050:

- 2'000 Watt-Gesellschaft: Dient als Massstab, um die Entwicklungspfade des Wohngebäudebestandes bezüglich ihrer Nachhaltigkeit zu beurteilen. Reduktion des Endenergieverbrauchs pro Kopf für Heizung und Warmwasser im Wohngebäudesektor auf ein Drittel des Wertes von 2000.
- 2°C-Ziel: Reduktion der entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 20 % der Emissionen von 1990.

Anfangsbedingungen für die Simulationen mit dem BWS-Simulations-Modell: Wohngebäudebestände für 1990 und 2000 (Volkszählung 1990 und 2000).

Simuliert wurden verschiedene Szenarien, welche sich hinsichtlich Energiestandard für Neubauten und Sanierungen, Heiz- und Warmwassersystem, Effizienzsteigerung, Intensivierung der Bautätigkeit (höherer Anteil sanierter Gebäude, vorgezogene Gebäudesanierungen und vermehrter Ersatzneubau) und Nachfrageentwicklung (Energiebezugsflächennachfrage und Nachfrage nach Warmwasser) unterscheiden.

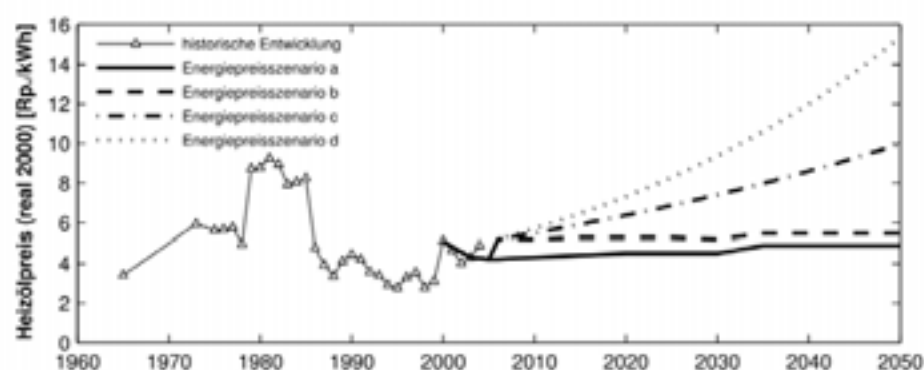
Kosten energiesparender Zusatzinvestitionen: Ausgehend von Mustergebäuden (EFH und MFH) verschiedener Bauperioden wurden Sanierungsvarianten definiert und die zugehörigen Wärmebedarfsreduktionen und Investitionskosten bestimmt. Analoges wurde für verschiedene Neubauvarianten vorgenommen. Diese Daten wurden für Simulationsrechnungen verwendet, um Kostenschätzungen für Reduktionspfade zu erhalten.

Bis 2005 werden alle Gebäude nach dem Referenzstandard saniert bzw. gebaut. Ab 2006 werden verschiedene Szenarien weitergehender Sanierungs- bzw. Neubauvarianten untersucht.

### Zentrale Annahmen

Referenz	Simulation ausgehend vom Gebäudebestand 2000 bis zum Jahr 2050 „business as usual“ Entwicklung, welche heutige Trends in Zukunft fortführt und keine speziellen Massnahmen zur Reduktion von Energieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen beinhaltet
Modell / Ansatz	Top-down, dynamisch. BWS-Simulations-Modell (BWSSiM) CO <sub>2</sub> -Reduktionskosten: Bestimmung der Barwerte der Kostenbestandteile bezogen auf das Jahr 2006, d. h. die jährlichen Kostenbestandteile werden auf das Jahr 2006 abdiskontiert. Die Strategiekosten (gesamte Mehrkosten gegenüber dem Referenzszenario) werden ins Verhältnis zu den kumulierten eingesparten CO <sub>2</sub> -Emissionen gesetzt. Die CO <sub>2</sub> -Emissionsreduktionen jedoch nicht abdiskontiert, d. h. zukünftige Emissionsreduktionen zählen gleich wie heutige.
Zinssatz	2.0% (für gesamtwirtschaftliche Analysen geeignet), 3.5% (Kalkulationsbereich privater Investoren) und 5.0 (hohe Gewinnerwartungen) für untere, mittlere und obere Schranke

## Energiepreise



**Abbildung 5.2:** Entwicklung des Heizölpreises von 1965–2004 (BFE, 1997, 2005) und für die vier Energiepreisszenarien a bis d (Tab 5.4) von 2000–2050.

**Tabelle 5.4:** Preise der Energieträger in Rp/kWh (real 2000) von 2000 bis 2050. Szenario a entspricht dem Szenario Ia von Prognos (2005) (ab 2035 eigene Annahmen), welches für die nächsten 25 Jahre von einem Rohölpreis von real um die 30\$/barrel ausgeht (mit mehr oder weniger grossen Schwankungen). Szenario b entspricht Szenario Ib von Prognos (2005) mit zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffen. Szenario c geht ausgehend von Szenario b von folgenden jährlichen realen Energiepreissteigerung ab 2006 aus: Öl 1.5 %, Gas 1 %, Elektrizität 0 %, Holz 0.5 %, Fernwärme 1 %. Im Szenario d sind die jährlichen Steigerungsraten jeweils um einen Prozentpunkt höher als in Szenario c.

Szenario/Energieträger	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050
<b>a</b>							
Öl	5.1	4.2	4.3	4.5	4.5	4.9	4.9
Gas	6.0	6.5	6.4	6.6	6.6	6.8	6.8
Elektrizität	18.7	17.3	16.6	17.5	17.8	17.4	17.4
Holz	2.3	2.4	2.5	2.7	2.9	3.0	3.0
Fernwärme	5.5	6.4	6.5	6.7	6.8	7.1	7.1
<b>b</b>							
Öl	5.1	4.2	5.2	5.3	5.2	5.5	5.5
Gas	6.0	6.5	7.0	7.1	7.1	7.3	7.3
Elektrizität	18.7	17.3	16.6	17.5	17.8	17.4	17.4
Holz	2.3	2.4	3.0	3.1	3.3	3.3	3.3
Fernwärme	5.5	6.4	6.7	6.9	7.1	7.4	7.4
<b>c</b>							
Öl	5.1	4.2	5.5	6.4	7.4	8.6	10.0
Gas	6.0	6.5	7.3	8.1	8.9	9.9	10.9
Elektrizität	18.7	17.3	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
Holz	2.3	2.4	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4
Fernwärme	5.5	6.4	7.0	7.8	8.6	9.5	10.5
<b>d</b>							
Öl	5.1	4.2	5.7	7.3	9.4	12.0	15.4
Gas	6.0	6.5	7.6	9.3	11.3	13.8	16.8
Elektrizität	18.7	17.3	17.9	19.8	21.9	24.1	26.7
Holz	2.3	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.3
Fernwärme	5.5	6.4	7.3	8.9	10.9	13.2	16.1

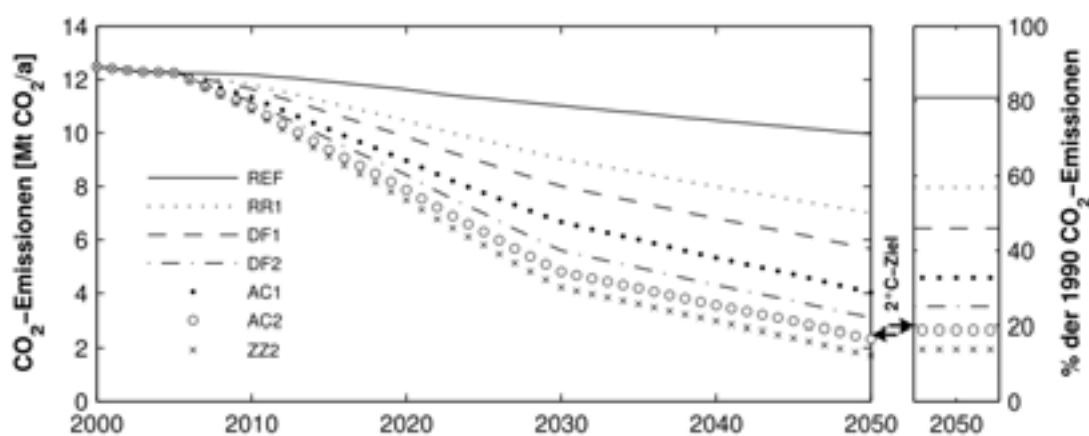
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Öl: 73.7 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Gas: 55.0 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Elektrizität: 0 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Fernwärme: 12.8 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Holz: 0 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Solar: 0 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> </ul>
	Quelle: BFE (2005), SAEFL (2005)
Technologischer Fortschritt	Berücksichtigung von Kostendegressionen für verschiedene Varianten (Kostenreduktionen aufgrund von Lerneffekten und grösserer Stückzahlen)
Potenzialbegriff	Langfristiges Reduktionspotenzial bis 2050

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

#### e) Resultate

##### THG Vermeidungspotenziale

Die folgende Abbildung zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 2000 bis 2050 verschiedener Szenarien und die Reduktion gegenüber den Emissionen von 1990:



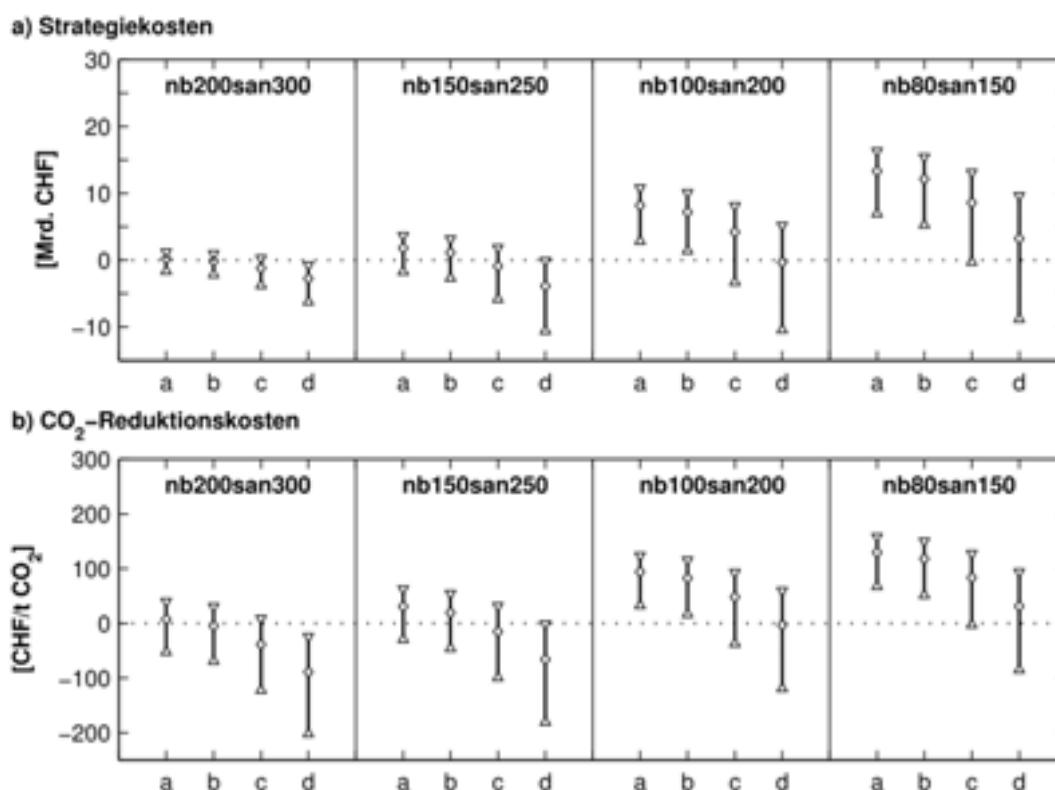
**Abbildung 4.6:** Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für Heizung und Warmwasser im Wohngebäudesektor der Schweiz von 2000–2050 (links) und Reduktion im Jahre 2050 gegenüber 1990 (rechts) für verschiedene Szenarien mit verbesserten Energiestandards und forciertem Einbau emissionsärmerer Heiz- und Warmwassersysteme. Die Bezeichnungen der Szenarien sind der Box 4.1 zu entnehmen. Das 2°C-Ziel für 2050 ist mit Pfeilen markiert.

Bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen führt der vermehrte Einsatz weniger CO<sub>2</sub>-intensiver Heizsysteme zu grossen Emissionsreduktionen, wohingegen sich die Emissionsreduktionen bei forcierter Effizienzsteigerung in denselben Grössenordnungen wie beim Energieverbrauch bewegen.

### THG Vermeidungskosten

Maximal ergeben sich CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten von rund 150 CHF/t CO<sub>2</sub> bei tiefen Energiepreisen, Amortisationsdauer von 25 Jahren und Zinssatz von 5 % (vgl. untenstehende Abbildung). Bei kontinuierlichen Energiepreisssteigerungen, Amortisationsdauer von 50 Jahren und Zinssatz von 2 % sind die CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten negativ und erreichen Werte um die -100 CHF/t CO<sub>2</sub>. Bei weniger weitgehenden Reduktionsstrategien sind die CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten geringer.

Die Kosten gelten nur für Investitionen, welche bei ohnehin stattfindenden Sanierungen zusätzlich für Massnahmen zur Wärmebedarfsreduktion erfolgen. Dasselbe gilt bei Neubauten.



**Abbildung 5.6:** Bandbreite der (a) Strategiekosten und (b) CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten für die Szenarien *nb200san300*, *nb150san250*, *nb100san200* und *nb50san100* (s. Box 5.1) jeweils für die vier Energiepreisszenarien a, b, c und d von Tab. 5.4 bezogen auf das Jahr 2006 (Kostenbasis real 2000). Es wurde mit einem Zins- und Diskontsatz und einer Amortisationsdauer bei der unteren Schranke ( $\Delta$ ) von 2 % und 50 a, bei der oberen Schranke ( $\nabla$ ) von 5 % und 25 a und beim mittleren Wert ( $\diamond$ ) von 3.5 % und 40 a gerechnet.

Abschätzungen der Kosten von energiesparenden Zusatzinvestitionen zeigen, dass eine Halbierung des Endenergieverbrauchs für Heizung und Warmwasser im Wohngebäudesektor der Schweiz durch eine 10%ige Erhöhung der jährlichen Bauausgaben für Wohnbauten erreicht werden kann. Solche Investitionen können aus volkswirtschaftlicher Sicht als rentabel beurteilt werden.

## f) Kommentar

„Zu beachten ist dabei, dass die Sensitivität der Vermeidungskosten-Schätzungen gross ist. Die Annahme zu den Energiepreisen ist stark Ergebnis bestimmend. Es wird hier von einem internationalen Ölpreis von 70 \$ pro Barrel Öl bzw. von 7 Rp/kWh (70 CHF pro 100 Liter) ausgegangen. Wenn der Ölpreis langfristig auf dem aktuellen Niveau von 100 \$ pro Barrel verharren würde, wären deutlich mehr Massnahmen rentabel.“ (aus BFE, 2008)

## 10.11 Infras (2005): CO<sub>2</sub>-Potential des Langsamverkehrs

Autor	Jahr	Titel
Infras	2005	CO <sub>2</sub> -Potential des Langsamverkehrs. Verlagerung von kurzen MIV-Fahrten.

### a) Art der Studie

Studie zur Quantifizierung der CO<sub>2</sub>-Potenziale des Langsamverkehrs (LV).

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>40</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
			X					

### b) Ziel und Auftrag

- Quantifizierung der CO<sub>2</sub>-Potenziale des Langsamverkehrs (LV) im Personenverkehr (MIV-Substitutionspotential) auf Basis vorliegender statistischer Daten und Quervergleiche im In- und Ausland
- Ergänzende Illustrationen realisierbarer CO<sub>2</sub>-Potenziale in Form von Zukunftsbildern unterschiedlicher verkehrspolitischer Eingriffstiefen

Nicht-energetische Wirkungen des Langsamverkehrs (bspw. hinsichtlich Schadstoffbelastungen, Lärm, Gesundheit, Standortattraktivität etc.) wurden nicht untersucht.

<sup>40</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse



### c) Methodik und Vorgehen

Die Studie beschränkt sich auf die Verlagerungspotenziale von kurzen MIV-Fahrten auf den LV. Ausgeklammert werden Verlagerungen vom ÖV auf den LV (nicht zwingend energierelevant) sowie Verlagerungen langer MIV-Wege auf ÖV-LV kombinierte Wege (primär eine ÖV-MIV Diskussion). Methodisch wird zwischen „technischen“ und „realisierbaren“ Potenzialen unterschieden (Vgl. in der Tabelle zu den zentralen Annahmen unten):

#### Zentrale Annahmen

Referenz	Referenzfall für 2012 und 2030
Modell / Ansatz	<p>„Technisches“ Potenzial: Analyse des Verlagerungspotenzials der kurzen MIV-Etappen zum LV, basierend auf dem Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2000, bottom-up, technische Schätzungen</p> <p>„Realisierbares Potenzial“: Top-down Betrachtung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- In- und ausländischer Modal Split Vergleich bzgl. LV-Anteile</li> <li>- Wirkungspotenziale von Förderprogrammen</li> <li>- Verkehrspolitische Zukunftsbilder</li> <li>- Qualitativ-argumentative Ableitung von möglichen realisierbaren Potenzialen (Setzen von Ausschöpfungsfaktoren vom technischen Potenzial)</li> </ul>
Zinssatz	k.A.
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Auto: 219 g CO<sub>2</sub>/km</li> <li>- Motorfahrrad: 40 g CO<sub>2</sub>/km</li> <li>- Kleinmotorrad: 70 g CO<sub>2</sub>/km</li> <li>- Motorrad: 94 g CO<sub>2</sub>/km</li> </ul>
Energiepreise	k.A.
Technologischer Fortschritt	k.A.

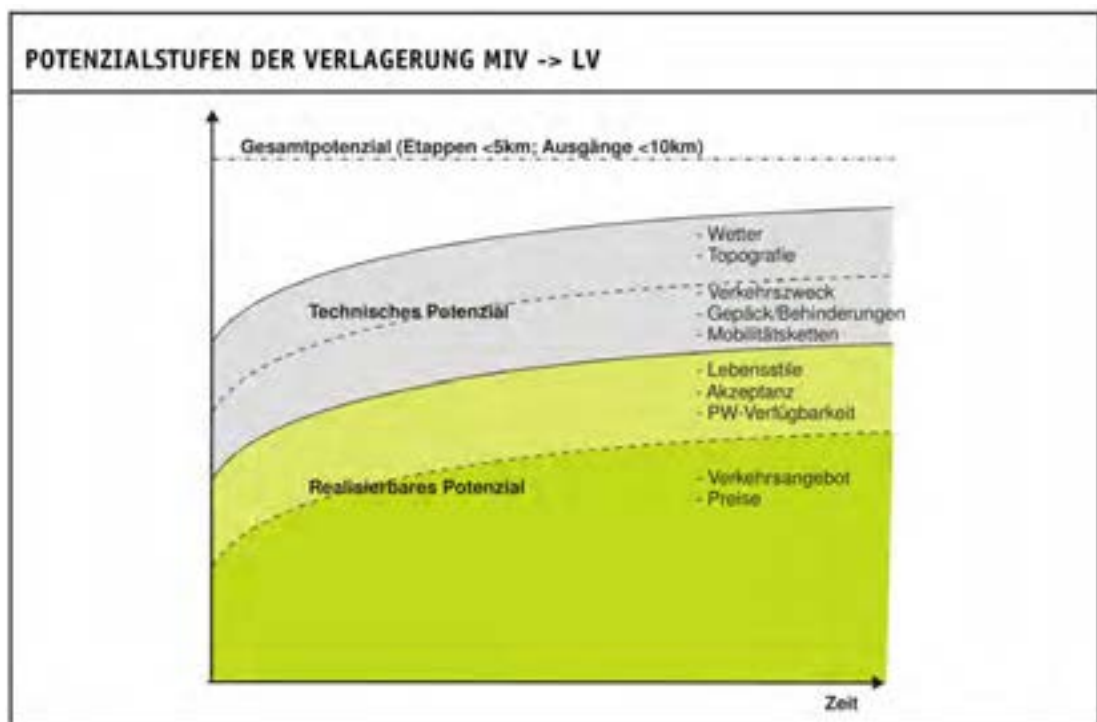
Potenzialbegriff  
(siehe auch Abb.  
Unten)

- „Technisches“ Potenzial“:

Theoretisches Substitutionspotenzial von MIV-Fahrten auf den LV unter Berücksichtigung von äusseren Hemmnissen wie Wetter, Topografie, Siedlungsdichte, Verkehrszweck (z.B. Gepäck / Begleittransporte oder Komplexität der Mobilitätsketten). Es wird davon ausgegangen, dass die übrigen Rahmenbedingungen (z.B. LV-Infrastrukturangebot) für potenzielle Verlagerungen optimal sind. Das technisch(-theoretische) Potenzial wird qualitativ-analytisch hergeleitet. Datenbasis ist der Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2000. Dabei werden nur MIV-etappen bis 5km und „Ausgänge“<sup>41</sup> bis 10km betrachtet, in der Annahme, dass das direkte Verlagerungspotenzial bei höheren Distanzen marginal sein dürfte.

- „Realisierbares Potenzial“:

Substitutionspotenzial von MIV-Fahrten auf den LV unter Berücksichtigung von zusätzlich wirkenden Hemmnisfaktoren wirtschaftlicher, gesellschaftlicher, individueller Natur sowie von (verkehrs-)politischen Rahmenbedingungen (Fördermassnahmen). Es werden drei Zukunftsbilder von unterschiedlicher verkehrspolitischer eingriffstiefe formuliert („Referenz“, „LV+“ und „LV+/MIV-“). Methodisch werden aufgrund argumentativ-qualitativer Überlegungen – basierend auf Beobachtungen im In- und Ausland – Ausschöpfungsfaktoren vom „technischen“ Potenzial hergeleitet.



<sup>41</sup> Abfolge von Wegen, deren erster Weg zu Hause beginnt und deren letzter Weg nach Hause führt und bei der es dazwischen keine weiteren nach Hause Wege gibt.

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

#### e) Resultate

### THG Vermeidungspotenziale

#### Technisches Potenzial

Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen das technische Reduktionspotenzial einer Verlagerung von MIV zum LV:

TECHNISCHES POTENZIAL MIV->LV				
	Stadt	Agglomeration	Ländlicher Raum	Total
<b>Umgelagerte Etappen (Verkehrsaufkommen)</b>				
Ausgänge bis 10km	17.9%	16.6%	16.1%	16.9%
Ausgänge bis 15km	21.9%	20.1%	18.6%	20.2%
<b>Umgelagerte Pkm (Verkehrsleistung)</b>				
Ausgänge bis 10km	3.4%	3.6%	2.5%	3.2%
Ausgänge bis 15km	4.5%	4.8%	3.1%	4.2%

**Tabelle 1** Von MIV auf LV theoretisch umlagerbare Etappen und Pkm in % der total Anzahl MIV-Etappen bzw. MIV-Pkm (Datenbasis Mikrozensus Verkehrsverhalten 2000: 58'277 MIV-Etappen).

ANTEIL CO <sub>2</sub> – REDUZIERBAR DURCH VERLAGERUNGEN MIV->LV				
Verkehrsmittel	Stadt	Agglomeration	Ländlicher Raum	Total
Auto	3.4%	3.6%	2.8%	3.3%
Mofa (Motorfahrrad)	23.2%	20.7%	20.2%	21.2%
Kleinmotorrad	16.6%	13.7%	15.2%	15.0%
Motorrad als Fahrer	6.8%	4.4%	3.0%	4.8%
<b>Total</b>	<b>3.6%</b>	<b>3.8%</b>	<b>2.9%</b>	<b>3.4%</b>

**Tabelle 19** Anteil CO<sub>2</sub> am Gesamtausstoss MIV-CO<sub>2</sub> Schweiz, das theoretisch durch Verlagerungen MIV-LV reduziert werden könnte.

Umgerechnet auf die gesamten MIV-CO<sub>2</sub>-Emissionen (10.026 Mio. t/a, BUWAL 2004) entspricht das technische Verlagerungspotenzial rund 375'000 t CO<sub>2</sub>/a.

#### Realisierbares Potenzial

Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen das realisierbare Reduktionspotenzial der untersuchten Szenarien im Vergleich zum Referenzfall 2010 und 2030:

<b>REALISIERBARES POTENZIAL – VERKEHRSAUFKOMMEN [ETAPPEN]</b>				
	<b>Stadt</b>	<b>Agglo</b>	<b>Land</b>	<b>Total</b>
<b>2010</b>				
„Referenz“	1.8%	0.8%	0.0%	<b>0.9%</b>
„LV+“	3.6%	2.5%	0.8%	<b>2.4%</b>
„LV+/MIV-“	5.4%	3.3%	1.6%	<b>3.5%</b>
<b>2030</b>				
„Referenz“	9.0%	6.6%	1.6%	<b>6.0%</b>
„LV+“	10.8%	8.3%	4.8%	<b>8.1%</b>
„LV+/MIV-“	16.1%	12.4%	9.6%	<b>12.8%</b> (T: 16.9%)

**Tabelle 29** Von MIV auf LV umlagerbare Etappen in % der Gesamtheit der MIV-Etappen.

<b>REALISIERBARES POTENZIAL – VERKEHRSLEISTUNG [PKM]</b>				
	<b>Stadt</b>	<b>Agglo</b>	<b>Land</b>	<b>Total</b>
<b>2010</b>				
„Referenz“	0.3%	0.2%	0.0%	<b>0.2%</b>
„LV+“	0.7%	0.5%	0.1%	<b>0.5%</b>
„LV+/MIV-“	1.0%	0.7%	0.3%	<b>0.7%</b>
<b>2030</b>				
„Referenz“	1.7%	1.4%	0.3%	<b>1.2%</b>
„LV+“	2.1%	1.8%	0.8%	<b>1.6%</b>
„LV+/MIV-“	3.1%	2.7%	1.5%	<b>2.5%</b> (T: 3.2%)

**Tabelle 30** Von MIV auf LV umlagerbare Pkm % der Gesamtheit der MIV-Pkm.

Realisierbare CO<sub>2</sub>-Potenziale von 0.1 bis 0.35 Mio. t CO<sub>2</sub>/a sind durchaus respektabel.

### THG Vermeidungskosten

Keine Angaben.

## 10.12 Infras (2011): CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Treibstoffe

Autor	Jahr	Titel
Infras	2011	CO <sub>2</sub> -Abgabe auf Treibstoffe (internes Arbeitspapier, nicht veröffentlicht)

### a) Art der Studie

Kurzbericht, internes Arbeitspapier.

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>42</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
			X					

### b) Ziel und Auftrag

Auswirkungen einer CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Treibstoffen: Lenkungseffekt (Inlandnachfrage) und Auswirkungen auf den Tanktourismus und auf die Einnahmen aus der Mineralölsteuer sowie soziale und regionale Auswirkungen. Zudem interessieren mögliche Abfederungsmechanismen.

### c) Methodik und Vorgehen

Analyse der Entwicklung MIT und OHNE CO<sub>2</sub>-Abgabe (BAU). Analysiert werden ebenfalls die Auswirkungen auf Tanktourismus.

Abgabe von 36 CHF, 60 CHF und 120 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>. Das entspricht bei Benzin einem Aufschlag von 8, 14 bzw. 28 Rp./L, bei Diesel von 9, 16 bzw. 31 Rp./L (diese Differenz ergibt sich aufgrund unterschiedlicher Dichten der beiden Treibstoffe). Daneben wurde auch eine CO<sub>2</sub>-Abgabe allein auf Benzin untersucht.

<sup>42</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

**Zentrale Annahmen**

Referenz	BAU ohne CO <sub>2</sub> -Abgabe 2020: - stabiler Treibstoffabsatz - inkl. Limite für Neuwagenflotte ab 2015: max. 130 g CO <sub>2</sub> /km. Diese Massnahme bringt eine Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emissionen in 2020 von rund 1.7 Mio. t CO <sub>2</sub> . (BR 2009, BFE 2009, BAFU 2009)
Modell / Ansatz	Bottom-up Technische Schätzungen
Zinssatz	k.A.
Energiepreise	Treibstoffpreise: - Benzin: 1.64 CHF/l - Diesel: 1.71 CHF/l
CO <sub>2</sub> -Emissions-faktoren	Benzin: 2.33 kg CO <sub>2</sub> /l, Diesel: 2.62 kg CO <sub>2</sub> /l
Technologischer Fortschritt	Keine spezifischen Angaben
Potenzialbegriff	Keine spezifischen Angaben. Untersucht wurde der Lenkungseffekt, d.h. wie verändert sich die Nachfrage als Folge der Preisaufschläge aufgrund der Einführung einer CO <sub>2</sub> -Abgabe?
Elastizitäten	Direkte Preiselastizität der Nachfrage: <sup>43</sup> - Benzin PV: -0.34 - Diesel PV: -0.23 - GV/Offroad: -0.17 - gewichtet: -0.27

<sup>43</sup> Diese gibt an, um wie viele Prozente die Nachfrage zu-/abnimmt, wenn der Preis für dieses Gut um 1% fällt/steigt.

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

ETHZ, IED, De Haan (2009)

CO<sub>2</sub>-Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU.

#### e) Resultate

#### THG Vermeidungspotenziale

CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion im Vergleich zu BAU ohne CO<sub>2</sub>-Abgabe 2020: CO<sub>2</sub>-Abgabe bei unterschiedlichen Abgabehöhen auf Benzin und Diesel

Variante	Abgabehöhe	Reduktion CO <sub>2</sub> -Emissionen	Ertrag CO <sub>2</sub> -Abgabe			Reduktion MinöSt		
			total	davon MWSt	Total exkl. MWSt	total	davon MWSt	Total exkl. MWSt
		[Mio t CO <sub>2</sub> ]	[Mio CHF]	[Mio CHF]	[Mio CHF]	[Mio CHF]	[Mio CHF]	[Mio CHF]
<b>Lenkungseffekt</b>								
Benzin und Diesel	120 CHF/t CO <sub>2</sub>	-0.59	1'613	119	1'494	-186	-31	-155
Benzin und Diesel	60 CHF/t CO <sub>2</sub>	-0.32	842	62	780	-101	-17	-84
Benzin und Diesel	36 CHF/t CO <sub>2</sub>	-0.19	482	36	446	-59	-10	-49
<b>Tanktourismus</b>								
Benzin und Diesel	120 CHF/t CO <sub>2</sub>	-0.81	[-100]	[-8]	[-92]	-297	-42	-255
Benzin und Diesel	60 CHF/t CO <sub>2</sub>	-0.32	[-19]	[-1]	[-17]	-117	-17	-100
Benzin und Diesel	36 CHF/t CO <sub>2</sub>	-0.16	[-5]	[0]	[-5]	-58	-8	-50
<b>Total (Netto-Effekt)</b>								
Benzin und Diesel	120 CHF/t CO <sub>2</sub>	-1.39	1'613	119	1'494	-483	-73	-410
Benzin und Diesel	60 CHF/t CO <sub>2</sub>	-0.64	842	62	780	-218	-33	-184
Benzin und Diesel	36 CHF/t CO <sub>2</sub>	-0.35	482	36	446	-117	-18	-99

**Tabelle 3** Auswirkungen einer CO<sub>2</sub>-Abgabe bei unterschiedlichen Abgabehöhen auf Benzin und Diesel (120 CHF/t CO<sub>2</sub> entspricht ca. 30 Rp./L, 60 CHF/t CO<sub>2</sub> entspricht ca. 15 Rp./L, 36 CHF/t CO<sub>2</sub> entspricht ca. 9 Rp./L).

CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion im Vergleich zu BAU ohne CO<sub>2</sub>-Abgabe 2020: CO<sub>2</sub>-Abgabe nur auf Benzin

Variante	Abgabehöhe	Reduktion CO <sub>2</sub> -Emissionen	Ertrag CO <sub>2</sub> -Abgabe			Reduktion MinöSt		
			total	davon MWSt	Total exkl. MWSt	total	davon MWSt	Total exkl. MWSt
		[Mio t CO <sub>2</sub> ]	[Mio CHF]	[Mio CHF]	[Mio CHF]	[Mio CHF]	[Mio CHF]	[Mio CHF]
<b>"nur Benzin"</b>								
	120 CHF/t CO <sub>2</sub>							
Lenkungseffekt		0.24	652	48	603	-90	-14	-76
Tanktourismus		0.57				-214	-32	-182
Total (Netto-Effekt)		0.81	652	48	603	-304	-46	-258

**Tabelle 4** Auswirkungen einer CO<sub>2</sub>-Abgabe von 120 CHF/t CO<sub>2</sub> nur auf Benzin (entspricht 28 Rp./L). Die Tabelle ist gleich aufgebaut wie Tabelle 3 mit den Varianten der Abgabe auf Benzin und Diesel.

#### THG Vermeidungskosten

Keine Angaben.

### 10.13 Infras (2009): Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS

Autor	Jahr	Titel
Infras	2009	Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS. Wirtschaftliche Auswirkungen möglicher Szenarien.

#### a) Art der Studie

Bewertung verschiedener Handlungsoptionen im Bereich des EU EHS im Flugverkehr aus ökonomischer Sicht als Grundlage für den weiteren politischen Prozess.

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>44</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
			X					

#### b) Ziel und Auftrag

Aufzeigen der möglichen Bandbreite der Wirkungen des Einbezugs des Luftverkehrs in das bestehende Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS) auf die Schweiz. In den betrachteten Szenarien werden jeweils die maximal möglichen (und nicht unbedingt die wahrscheinlichsten) Wirkungen dargestellt. Berücksichtigt werden sowohl Szenarien in denen die Schweiz nur mit ihren Flügen von/nach der EU ins EU EHS einbezogen wird bzw. eine äquivalente Massnahme für diese Flüge trifft als auch Szenarien für eine Integration auch der Interkontinental-Flüge (vgl. weiter unten stehende Übersicht der Szenarien). Die Studie untersucht allein die Integrationsoptionen für den Schweizer Luftverkehr.

#### c) Methodik und Vorgehen

Bei der Analyse wurde ein Modell eingesetzt, das darstellt, wie sich die Nachfrage im Luftverkehr verändert, wenn eine klimapolitische Massnahme im Flugverkehr eingeführt wird. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden mit einem Preis belegt und führen somit zu einer Kostenerhöhung bei den Airlines. Dieser Kostenanstieg wird von den Airlines teilweise auf die Ticketpreise überwältzt, was zu einem Nachfragerückgang führt. Dieser wirkt sich auf die Wertschöpfung und Beschäftigung des Luftverkehrs sowie auf die Emissionen aus.

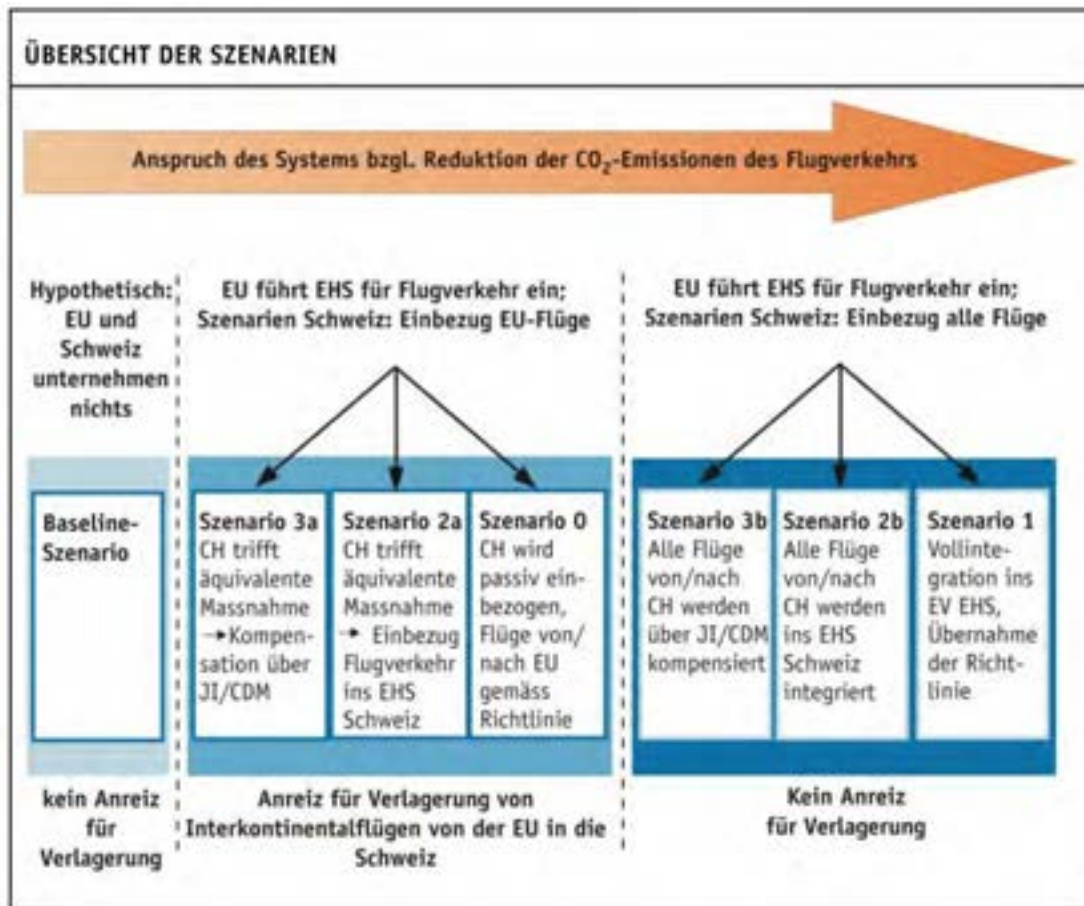
<sup>44</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

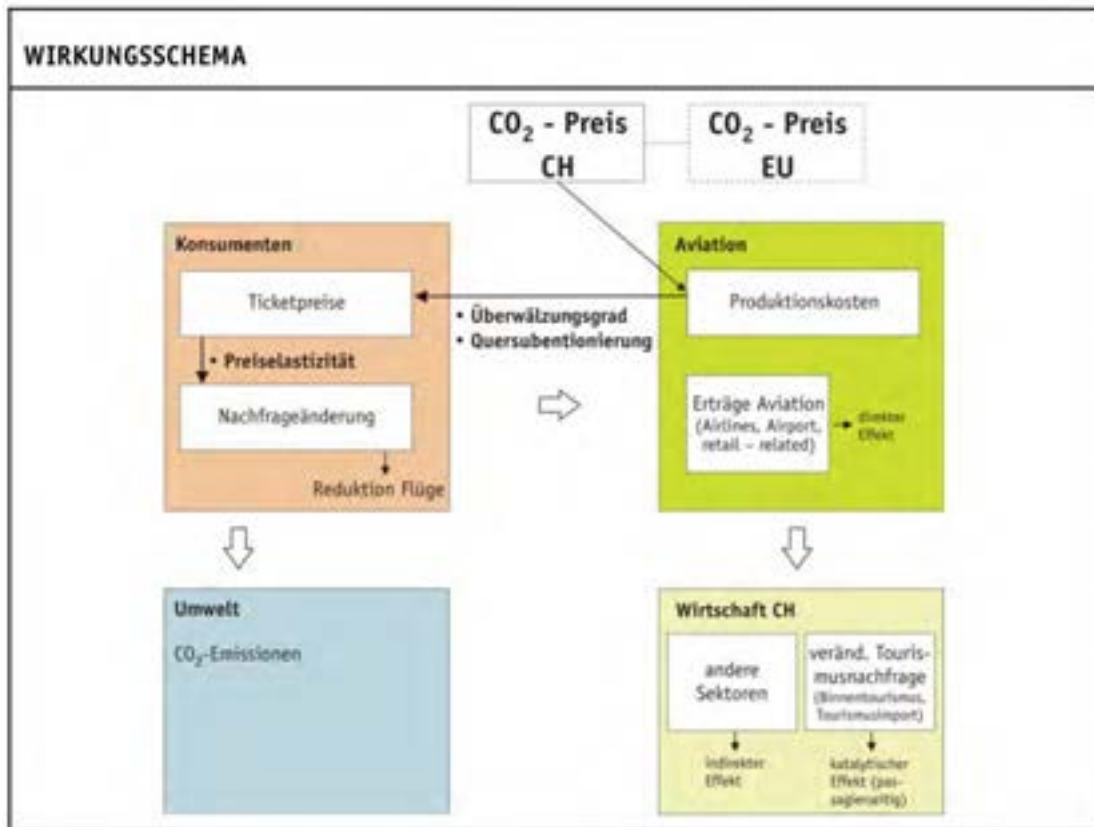


**Zentrale Annahmen**

Referenz	Baseline-Szenario 2012 und 2020, ohne klimapolitische Massnahmen für den Flugverkehr (in CH und international)		
Modell / Ansatz	Berechnungsmodell SECAN-ET (Sectoral Analysis of economic impacts of emission trading systems; vgl. Abbildung weiter unten): - Als Grundlage dienen die Flugbewegungen und Passagierzahlen des Jahres 2007 sowie Flugverkehrsprognosen (Extrapolation auf die Jahre 2012 und 2020) - Direkte Verknüpfung zwischen Wert- (Ticketpreise; S. 37ff) und Mengengerüst (Nachfrage nach Flügen; S. 19ff) - Gruppierung der Flugbewegungen		
Zinssatz	k.A.		
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	Spezifische Emissionen 2007 zwischen 8.44 und 18.92 kg CO <sub>2</sub> /100 pkm (abhängig von der Flugroute) - 2012: Reduktion des CO <sub>2</sub> -Ausstosses um 2% gegenüber 2007 - 2020: Reduktion des CO <sub>2</sub> -Ausstosses um 10% (normales Ölpreis-Szenario) resp. 13% (hohes Ölpreis-Szenario)		
Energiepreise	50 USD/barrel (plus Sensitivität mit 200 USD/barrel) Annahmen zum CO <sub>2</sub> -Preis:		
		<b>2012</b>	<b>2020</b>
Basisrechnung	EUA, <sup>45</sup> Zertifikate im EU EHS	15 EUR/t CO <sub>2</sub>	20 EUR/t CO <sub>2</sub>
	JI/CDM	10 EUR/t CO <sub>2</sub>	15 EUR/t CO <sub>2</sub>
	Zertifikate im CH EHS	15 EUR/t CO <sub>2</sub>	20 EUR/t CO <sub>2</sub>
Sensitivitätsrechnung	EUA, Zertifikate im EU EHS	30 EUR/t CO <sub>2</sub>	40 EUR/t CO <sub>2</sub>
	JI/CDM	13 EUR/t CO <sub>2</sub>	23 EUR/t CO <sub>2</sub>
	Zertifikate im CH EHS	30 EUR/t CO <sub>2</sub>	40 EUR/t CO <sub>2</sub>
Technologischer Fortschritt	Verbesserung der Flotteneffizienz und somit des CO <sub>2</sub> -Ausstosses bis 2012 resp. 2020. Sonst nur in den Interviews zur Einschätzung wichtiger Akteure erfragt.		
Potenzialbegriff	k.A.		
Elastizitäten	- Leisure Europaflüge: -0.9 bis 1.3 - Leisure Interkontinentalflüge: -0.8 bis -1.0 - Business Europaflüge: -0.3 bis -0.5 - Business Interkontinentalflüge: -0.3		

<sup>45</sup> EUA: European Emission Allowance.





#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

#### e) Resultate

##### THG Vermeidungspotenziale

Die nachfolgende Abbildung zeigt die CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenziale in den untersuchten Szenarien 2012 und 2020 im Vergleich zum Baseline-Szenario ohne klimapolitische Massnahmen für den Flugverkehr (in CH und international):

ENTWICKLUNG DER EMISSIONEN IN DEN SZENARIEN – 2012 UND 2020							
		2012			2020		
		Absoluter Wert (in Mio. t)	Veränderung geg. Baseline (in Mio. t)	in %	Absoluter Wert (in Mio. t)	Veränderung geg. Baseline (in Mio. t)	in %
	Baseline	11.27			13.11		
Szenarien mit Einbezug der EU-Flüge	Szenario 0	12.14	0.87	7.8%	13.64	0.53	4.0%
	Szenario 2a	12.14	0.88	7.8%	13.65	0.54	4.1%
	Szenario 3a	12.15	0.88	7.8%	13.65	0.54	4.1%
Szenarien mit Einbezug aller Flüge	Szenario 1	11.22	-0.05	-0.4%	12.95	-0.16	-1.2%
	Szenario 2b	11.25	-0.02	-0.2%	12.99	-0.12	-0.9%
	Szenario 3b	11.25	-0.02	-0.2%	13.02	-0.09	-0.7%

**Tabelle 15** Die Werte sind absichtlich nicht gerundet, da ansonsten die Unterschiede nicht erkennbar sind.

Bei den Szenarien mit Verlagerung in die Schweiz nehmen die Emissionen des Schweizer Flugverkehrs zu. Global ist dies jedoch nicht als Anstieg zu interpretieren sondern als Verlagerung von EU-Ländern in die Schweiz. Bei den umfassenden Szenarien mit Einbezug der Interkontinentalflüge ist ein Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schweizer Flugverkehrs zu verzeichnen. Da wir davon ausgehen, dass bei einer umfassenden Lösung keine Verlagerungseffekte zu erwarten sind, bedeutet dies auch einen Rückgang der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs.

### THG Vermeidungskosten

Keine Angaben.

### 10.14 ETHZ, IED, De Haan (2007): Förderung energieeffizienter und emissionsarmer Fahrzeuge mittels Automobilsteuer-Differenzierung oder Bonusprämien

Autor	Jahr	Titel
ETHZ, IED, De Haan	2007	Förderung energieeffizienter und emissionsarmer Fahrzeuge mittels Automobilsteuer-Differenzierung oder Bonusprämien. Vorhersage von Effektivität, Effizienz und Lenkungswirkung von Fördermodellvarianten (nicht öffentlich)

#### a) Art der Studie

Grundlagenstudie zu Automobilsteuer-Differenzierung oder Bonusprämien.

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>46</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
			X					

#### b) Ziel und Auftrag

Untersuchung der voraussichtlichen (Markt- und Umwelt-)Wirkung und der Massnahmeneffizienz verschiedener Vollzugsmodelle (Anreizmodelle) für eine Differenzierung der Automobilsteuer auf Bundesebene aufgrund von Umwelt- und Energieeffizienzkriterien.

Geprüft wurden insgesamt drei sogenannte Vollzugsmodelle:

- Differenzierung der Automobilsteuer
- Bonusprämien für zu fördernde Autos, finanziert über generelle Automobilsteuer-Erhöhung
- Bonusprämien finanziert über Maluszahlungen

Die Vollzugsmodelle sind je gekoppelt an die Informationen der Energie-Etikette (zur Abbildung von Energie-Effizienz, CO<sub>2</sub>-Ausstoss, absoluter Verbrauch) und – soweit möglich – einem „KeeF“-Kriterienset für energieeffiziente und emissionsarme Fahrzeuge. Die Massnahme muss haushaltsneutral sein.

<sup>46</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

## c) Methodik und Vorgehen

### Vorgehen

- Bereitstellung und Überprüfung der Grundlagen für Kriteriensets/Bemessungsgrössen (repräsentative Neuwagenflotte, Erweiterung der Simulationsmodelle)
- Vorhersage der Auswirkungen verschiedener Szenarien je Vollzugsmodell
  - Simulation verschiedener Szenarien je Vollzugsmodell, mit unterschiedlichen Prä-mien/Steuersätzen
  - Welche Fördergrösse/-basis ermöglicht höchstmögliche Effizienz des darauf basieren-den Anreizsystems?
  - Ergänzende Sensitivitätsrechnungen
  - Welche Auswirkungen auf CO<sub>2</sub>, Verbrauch und Umweltbelastungen haben die För-derszenarien?
  - Analyse der Effektivität und Effizienz der simulierten Förderszenarien. Welcher Mehr-wertsteuerertrag und welche Verwaltungskosten fallen an?
- Analyse der Lenkungswirkung

### Methode

Die Auswirkungen auf CO<sub>2</sub>, Verbrauch und Umweltbelastungen sowie die anfallenden Ver-waltungskosten der Förderszenarien wurden mit dem ETH-Autokaufsimulationsmodell sim.car berechnet (vgl. S. 7ff).

Es wird angenommen, dass Anreizsysteme keine Auswirkung haben auf die Menge der ver-kaufte Fahrzeuge. Das Autokaufverhalten für den schweizerischen Automarkt wird für das Jahr 2005 durchgeführt, aber mit einer hinsichtlich Dieselpartikelfilter (DPF) „virtuell nachge-rüsteten“ Flotte von Dieselfahrzeugen, somit weisen 100% aller Dieselfahrzeuge einen DPF auf. Im Sinne einer Steady-State-Simulation werden die Berechnungen für ein Stichdatum durchgeführt.

### Zentrale Annahmen

Referenz	2005
Modell / Ansatz	Autokaufsimulationsmodell sim.car (Neuwagenkauf-Simulationsmodell), geht über die meisten mikroökonomischen Modelle, welche nur die monetäre Wirkung auf der Nachfrageseite abbilden, hinaus. Das Modell weiss zunächst niedrigere Auswir-kungen von Anreizsystemen auf das Autokaufverhalten auf (nicht alle Konsumenten nehmen die monetären Anreize wahr oder lassen sich von diesen beeinflussen), gleichzeitig aber höhere Auswirkungen von Anreizsystemen (Berücksichtigung psychologischer Effekte).
Zinssatz	k.A.
Energiepreise	Benzin: 1.53 CHF/l, Diesel: 1.64 CHF/l

Technologischer Fortschritt	Berücksichtigt für CO <sub>2</sub> -Emissionswerte und CO <sub>2</sub> -pro-Kilogramm-Leergewicht-Effizienzkennzahlen
Potenzialbegriff	Geschätztes jährliches Reduktionspotenzial

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

#### e) Resultate

#### THG Vermeidungspotenziale

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die geschätzten jährlichen Reduktionspotenziale für die untersuchten Szenarien (zweite Spalte von rechts):

Die Tabelle 50 zeigt die wichtigsten Kennzahlen der wichtigsten simulierten Szenarien im Überblick.

Modell-/Zielgrösse	Förderbasis/Variante	Einnahmenseite	Ausgabenseite	Besonderes	Total Einnahm.	Total Kosten	Effektivität Effekt Keef	Effizienz Vollz./Keef	Effektivität Effekt CO <sub>2</sub>	Effizienz Vollz./CO <sub>2</sub>
					[MCHF/a]	[MCHF/a]	[MCHF/a]	[CHF/Mio. MCHP/a]	[tCO <sub>2</sub> /a]	[tCO <sub>2</sub> /a]
<b>DK_EE (differenzierte Automobilsteuer, kein Bonus, auf Basis Energie-Etikette)</b>										
o_2_4_4_6_8_8	A: 0%, B: 2%, C+D: 4%, E: 6%, F+G: 8%	Automobilsteuer			3	-2.5	-46	55	-72	35
o_0_1_8_8_8_8	A+B: 0%, C: 1%, D-G: 8%	Automobilsteuer			3	-2.5	-53	44	-89	29
o_0_0_0_16_16_16	A-D: 0%, E-G: 16%	Automobilsteuer			3	-2.5	-78	32	-118	22
g00_0_0_1_8_8_8_8	A-B: 0%, C: 1%, D-G: 8%	Automobilsteuer	absolut		3	-2.5	-68	37	-100	26
<b>DK_KE (differenzierte Automobilsteuer, kein Bonus, auf Basis Keef mit 7 Klassen)</b>										
g41_0_0_1_8_8_8_8	A-B: 0%, C: 1%, D-G: 8%	Automobilsteuer	Keef rel. Leergew.		3	-2.5	-68	38	-99	26
g00_0_0_0_8_8_8_8	A-C: 0%, D: -G: 8%	Automobilsteuer	Keef absolut		3	-2.5	-68	37	-99	26
<b>IB_EE (generelle Automobilsteuerrhöhung/Bonus, auf Basis Energie-Etikette)</b>										
569_A20	Automobilsteuer generell 5.7%	Bonus A: 2000			125	-2.1	-88	24	-132	16
639_A20_B10	Automobilsteuer generell 6.4%	Bonus A: 2000, B: 1000			177.7	-2.9	-94	31	-141	21
685_A30	Automobilsteuer generell 6.9%	Bonus A: 3000			210	-2.2	-129	17	-191	12
8_A30_B17	Automobilsteuer generell 8%	Bonus A: 3000, B: 1700			294	-3.0	-148	20	-220	14
8_A38	Automobilsteuer generell 8%	Bonus A: 3800			294	-2.3	-165	14	-245	9
g00_8_A38	Automobilsteuer generell 8%	Bonus A: 3800	absolut		289	-2.3	-177	13	-264	9
8_A40_cap160	Automobilsteuer generell 8%	Bonus A: 4000	CO <sub>2</sub> -Cap 160 g/km		293	-2.3	-169	13	-252	9
<b>IB_KE (generelle Automobilsteuerrhöhung/Bonus, auf Basis Keef mit 7 Klassen)</b>										
g41_8_A38	Automobilsteuer generell 8%	Bonus A: 3800	Keef rel. Leergew.		295	-2.3	-173	13	-245	9
g00_8_A38	Automobilsteuer generell 8%	Bonus A: 3800	Keef absolut		288	-2.3	-181	13	-264	9
<b>MB_EX (Bonus / Malus [keine Änderung Automobilsteuer], auf Basis Energie-Etikette mit angepassten Kategoriegrenzen)</b>										
A20_G-30	Malus G: 2000	Bonus A: 2000			81	-4.8	-141	34	-209	23
A20_B10_F-10_G-30	Malus Of: 1000, G: 2000	Bonus A: 2000, B: 1000			109	-7.1	-165	43	-243	29
A30_G-30	Malus G: 3000	Bonus A: 3000			122	-6.2	-207	30	-304	20
g00_A30_G-30	Malus G: 3000	Bonus A: 3000	absolut		124	-6.2	-223	28	-334	19
A30_G-30_cap160	Malus G: 3000	Bonus A: 3000	CO <sub>2</sub> -Cap 160 g/km		118	-6.0	-207	29	-304	20
f41_A30_G-30	Malus G: 3000	Bonus A: 3000	rel. Grundfläche		123	-6.3	-220	29	-319	20
A30_B30_F-30_G-30	Malus F+G: 3000	Bonus A+B: 3000			201	-10.1	-278	36	-409	25
<b>MB_KE (Bonus / Malus [keine Änderung Automobilsteuer], auf Basis Keef mit 7 angepassten Klassen)</b>										
g41_A30_G-30	Malus G: 3000	Bonus A: 3000	Keef rel. Leergew.		122	-6.2	-213	29	-300	21
g00_A30_G-30	Malus G: 3000	Bonus A: 3000	Keef absolut		121	-6.2	-234	26	-331	19

<sup>\*\*</sup> Minusstärke = Malusvergaben, Positivstärke = Malusentnahmen. Basis: 260'000 Neuzulassungen pro Jahr

<sup>\*\*\*</sup> CO<sub>2</sub>-Effekt über technische Lebensdauer der Neuzulassungen-Jahreskohorte (30 h. pro Jahr aktives Anreizsystem)

**Tabelle 50.** Übersichtstabelle mit den wichtigsten Kenngrössen für jedes der simulierten Vollzugsmodell-Szenarien und Varianten.

#### THG Vermeidungskosten

Keine Angaben.

## 10.15 BFE (2007): Auswirkungen ausgewählter Massnahmen im Verkehr

Autor	Jahr	Titel
BFE	2007	Auswirkungen ausgewählter Massnahmen im Verkehr (Bericht zuhänden der UREK-S Subkommission, nicht veröffentlicht)

### a) Art der Studie

Kurzbericht mit überschlagsmässigen Einschätzungen zu den Wirkungen bezüglich CO<sub>2</sub>-Reduktion und Kosten von verschiedenen Vorschlägen zu einer Reduktion der Treibhausgase im Verkehrsbereich.

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>47</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
			X					

### b) Ziel und Auftrag

Überschlagsmässige Einschätzungen zu den Wirkungen von den folgenden Vorschlägen zu einer Reduktion der Treibhausgase im Verkehrsbereich bezüglich CO<sub>2</sub>-Reduktion und Kosten:

- Eine CO<sub>2</sub>-Abgabe von 25 Rp./Liter Treibstoff, mit verschiedenen Möglichkeiten der Verwendung der daraus resultierenden Mittel: Konkret: 1/3 für FinöV, 1/3 für den Infrastrukturfonds und 1/3 im Sinne eines staatlichen „Klimarappens“, was den Verwendungszweck offen lässt, d.h. es liessen sich dadurch Zertifikate beschaffen, oder aber es liessen sich innerschweizerische Reduktionsmassnahmen finanzieren
- Umlegen der kantonalen Motorfahrzeugsteuern auf den Treibstoff und Verteilung der Einnahmen an die Kantone
- Einführung einer Verschrottungsprämie für Autos eines bestimmten Alters (z.B. > 12 Jahre).

Zu klären bleibt auch, ob die Massnahmen zweckmässig kumuliert oder einzeln umgesetzt werden sollen, und namentlich wie stark der Treibstoffpreis angehoben werden müsste. Offen ist auch, ob allenfalls die Massnahmen 2 (Umlage der kantonalen Motorfahrzeugsteuern) und 3 (Verschrottungsprämie) aus dem „dritten Drittel“ der CO<sub>2</sub>-Abgabe finanziert werden können.

<sup>47</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse



### c) Methodik und Vorgehen

Untersuchte Massnahmen:

- CO<sub>2</sub>-Abgabe von 25 Rp./Liter Treibstoff
- Umlage der kantonalen Motorfahrzeugsteuern auf den Treibstoff: Mit der Umlage der kantonalen Motorfahrzeugsteuern auf den Treibstoff erhöht man die variablen Kosten bei gleichzeitiger Reduktion der fixen Kosten
- Verschrottungsprämie:
  - Unterstellt man, dass von den Fahrzeugen im Bestand 2007 jene mit Jahrgang 1992 und älter prämienberechtigt wären (d.h. 12% = rund 464'000 von 3.9 Mio., vgl. Annex 2), und würden davon beispielsweise 15% (70'000) frühzeitig verschrottet als Folge einer Prämie von 2'000 CHF, so würde dies Prämienauszahlungen von rund 140 Mio. CHF bedingen, also fast 50% der Automobilsteuer oder Treibstoffpreis müsste um rund 2 Rp./L erhöht werden.
  - Minderverbrauch heutiger Neufahrzeuge im Vergleich zu den älteren PW: etwa 15%

### Zentrale Annahmen

Referenz	2000-2020
Modell / Ansatz	Bottom-up Technische Abschätzungen auf Basis von Mengengerüsten (siehe unten)
Zinssatz	k.A.
Energiepreise	k.A.
Technologischer Fortschritt	k.A.
Potenzialbegriff	k.A.
Elastizitäten	Direkte Preiselastizität der Nachfrage: <sup>48</sup> - PV: -0.3 - GV: -0.16

<sup>48</sup> Diese gibt an, um wie viele Prozente die Nachfrage zu-/abnimmt, wenn der Preis für dieses Gut um 1% fällt/steigt.

	2000	2005	2010	2020
PW-Bestand (in Mio.)	3.545	3.864	4.08	4.4
Neu in Verkehr gesetzte PW	314'000	261'000		
Fahrleistungen PW (Mrd. PW-Km)	49.5	53.7	56.6	59.9
Energieverbrauch Sektor Verkehr(PJ)	240.5	245.7	243.7	237.5
Treibstoff-Absatz (B+D) in Mio. L	6'939	6'917	6'918	6'549
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Mio. t)	17.1	17.4	17.2	16.6
Mineralölsteuer-Ertrag (Mio. CHF)	5'162	5'246	5'151	4'931
Kantonale Motorfahrzeugsteuern (Mio. CHF)	1'884	2'045	2'145	2'309

**Tabelle 1** Kenngrössen zum Verkehr, Zahlen 2010 und 2020 basieren auf den Arbeiten zu den Energieperspektiven (BFE 2007). Die Zahlen zeigen, dass das Verkehrswachstum die Effizienzgewinne weitgehend wieder aufhebt.

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

#### e) Resultate

#### THG Vermeidungspotenziale

**CO<sub>2</sub>-Abgabe von 25 Rp./l (Einführung 2008, (ohne Berücksichtigung des Tanktourismus))**

Jahr	CO <sub>2</sub> -Reduktion
2008	200'000 t CO <sub>2</sub> /a
2010	420'000 t CO <sub>2</sub> /a
2015	615'000 t CO <sub>2</sub> /a

#### Umlage der kantonalen Motorfahrzeugsteuern auf den Treibstoff

Abschätzung der Wirkung in Anlehnung an den Effekt einer CO<sub>2</sub>-Abgabe. Eine Umlage der kantonalen Motorfahrzeugsteuer auf den Treibstoff hätte einen Aufschlag von 30 Rp./L zur Folge - allerdings bei gleichzeitiger Senkung der Fixkosten. Beachtet man beide Aspekte (höherer Preisaufschlag als die CO<sub>2</sub>-Abgabe, gleichzeitig Reduktion der Fixkosten), so dürfte die Auswirkung der beiden Massnahmen auf den Treibstoffverbrauch etwa in der ähnlichen Grössenordnung sein.

#### Verschrottungsprämie

26'000 t CO<sub>2</sub>/a

#### THG Vermeidungskosten

Keine Angaben.

## 10.16 ETHZ, IED, De Haan (2009): CO<sub>2</sub>-Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU

Autor	Jahr	Titel
ETHZ, IED, De Haan	2009	CO <sub>2</sub> -Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU

### a) Art der Studie

Bericht für das Bundesamt für Energie BFE als Antwort auf die Motion 07.3004 der UREK-N, welche die Umsetzung der EU-Strategie verlangt, welche die Erreichung von einer Durchschnittsemission der PW-Neuzulassungen von 130 g CO<sub>2</sub>/km im Jahre 2012 vorsieht (Orientierung an der EU).

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>49</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
			X					

### b) Ziel und Auftrag

Wissenschaftliche Grundlagen zu den Details möglicher Vollzugsmodelle zur NR-Motion 07.3004 und den möglichen Absenkungs- und Zielpfaden sowie Abschätzungen der Auswirkungen der verschiedenen Vollzugsmodelle.

### c) Methodik und Vorgehen

Betrachtet werden zwei angebotsseitige Absenkungspfade (alternative Geschwindigkeiten der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen der angebotenen Neuwagenflotte) sowie darauf aufbauend 2 x 2 x 2 = 8 Szenarien.

Angebotsseitige Anpassungen:

- EU-REF: Jährliche Absenkung um -2.4% (entspricht dem mittleren Innovationspotential der letzten 11 Jahre). Kompatibel mit der im Dezember 2008 endgültig festgelegten EU-Strategie.

<sup>49</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

- CH\_REF: Die CH-Importeure nehmen noch weitere angebotsseitige Anpassungen vor (betreffen die angebotene Modell- und Motorenpalette, Marketing- und Pricing-Massnahmen). CO<sub>2</sub>-Emissionen sinken bis um -3.4% jährlich. Ab 2016 wird kein vorhandener Spielraum mehr angenommen, die CH-Importeure weisen dann eine angebotsseitige CO<sub>2</sub>-Absenkung um -2.2% (2016-2020) bzw. -1.2% (ab 2021) auf (wie der EU Markt auch).

Nachfrageseitige preisliche Anpassungen:

- Sanktionsmodell: Abgabe pro Gramm Überschreitung der 130 g CO<sub>2</sub>/km ab 2012 (gestaffelt)
- Zertifikatmodell: Festlegung des Zielwerts der mittleren CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Neuzulassungen. Für Fahrzeuge, deren CO<sub>2</sub>-Emissionen über dem Zielwert liegen, müssen Zertifikate für die Mehremissionen erworben und vorgelegt werden.

Bezugspunkte für Preissignale in CH (Pivotpunkte): 130 oder 136 g CO<sub>2</sub>/km.

#### Zentrale Annahmen

Referenz	2015
	- REFBFE: Szenario I der BFE-Energieperspektiven. Mit den angenommenen Absenkungsraten wird das 130 g CO <sub>2</sub> /km Ziel weder in der EU noch in der CH im Jahre 2015 erreicht.
	- REFETH: In den ersten Jahren leicht zurückhaltender als REFBFE
Modell / Ansatz	Automarktsimulationsmodell sim.car
Zinssatz	k.A.
Energiepreise	Treibstoffpreise: 1.34 CHF/l (Benzin), CHF 1.42 CHF/l (Diesel)
Technologischer Fortschritt	Technisches Innovationspotential: Autonome technische Entwicklung: 1996-2007 jährliche Innovation (CO <sub>2</sub> -Emissionsreduktion, Leergewichtsänderung und Änderung der relativen Motorenleistung), welche die CO <sub>2</sub> -Emissionen um jährlich -2.4% absenken könnte.  Die einzelnen Neuwagenmodelle werden energieeffizienter, ohne dass sich der reale Listenpreis ändert.
Potenzialbegriff	Maximales jährliches technisches CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenzial

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

ETHZ, IED, De Haan (2007)

Förderung energieeffizienter und emissionsarmer Fahrzeuge mittels Automobilsteuer - Differenzierung oder Bonusprämien. Vorhersage von Effektivität, Effizienz und Lenkungswirkung von Fördermodellvarianten (nicht öffentlich).

## e) Resultate

### THG Vermeidungspotenziale

Die nachfolgende Tabelle zeigt das Maximale jährliche technische CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial in den untersuchten Szenarien im Vergleich zur Referenz 2015:

CO <sub>2</sub> -Einsparungen (Mio. t CO <sub>2</sub> /a) im Vgl. zu Referenz 2015	EU_REF/CH_REF- Absenkung	1x Abgabe / Zertifikatpreis CHF 140	2x Abgabe / Zertifikatpreis CHF 280
Szenario: Sanktionsmo- dell_130g_EU_REF-Absenkung	0.82	0.95	1.08
Szenario: Sanktionsmo- dell_130g_CH_REF-Absenkung	1.33	1.46	1.58
Szenario: Zertifikatsys- tem_130g_EU_REF-Absenkung	0.82	1.04	1.28
Szenario: Zertifikatsys- tem_130g_CH_REF-Absenkung	1.33	1.55	1.80

Zusätzlich wurden die Szenarien auch mit einem Pivotpunkt von 136 g CO<sub>2</sub>/km gerechnet; die Resultate unterscheiden sich jedoch nur geringfügig.

Vgl. auch Kap. 4 ab S. 18 und Kap. 5 ab S. 21.

### THG Vermeidungskosten

Keine Angaben.

### 10.17 ETHZ, IED, De Haan (2009b): Umsetzung der 130g CO<sub>2</sub>/km-Strategie für die Schweiz: CO<sub>2</sub>-Reduktionseffekte 2012-2020

Autor	Jahr	Titel
ETHZ, IED, De Haan	2009	Umsetzung der 130g CO <sub>2</sub> /km-Strategie für die Schweiz: CO <sub>2</sub> -Reduktionseffekte 2012-2020

#### a) Art der Studie

Zusatzbericht zu ETHZ, IED, De Haan (2009), CO<sub>2</sub>-Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU (für BFE) für das Bundesamt für Umwelt BAFU.

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>50</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
			X					

#### b) Ziel und Auftrag

Berechnung der Auswirkungen einer Umsetzung der 130g CO<sub>2</sub>/km-Strategie für die Schweiz auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen (Reduktionswirkung) in den Jahren 2012-2020 (je Kalenderjahr) für die Vollzugsmodelle im Hauptbericht (vgl. 0). Ausserdem werden weitere Szenarien entwickelt, welche kompatibel sind mit dem 95 g CO<sub>2</sub>/km Ziel der EU ab 2020.

#### c) Methodik und Vorgehen

Vgl. 0.

Zusätzlich wurden weitere BAFU-Szenarien errechnet, welche sich nur angebotsseitig, nicht aber nachfrageseitig von den BFE-Szenarien unterscheiden (höhere Absenkungspfade ab 2016, vgl. Kap. 2).

<sup>50</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

**Zentrale Annahmen**

Referenz	2012-2020 <ul style="list-style-type: none"> <li>- REFBFE: Szenario I der BFE-Energieperspektiven. Mit den angenommenen Absenkungsraten wird das 130 g CO<sub>2</sub>/km Ziel weder in der EU noch in der CH im Jahre 2015 erreicht.</li> <li>- REFETH: In den ersten Jahren leicht zurückhaltender als REFBFE</li> <li>- REF_BAFU: Ab 2016 kommen höhere Absenkungspfade als in den BFE-Szenarien zur Anwendung</li> </ul>
Modell / Ansatz	Autokaufverhalten- und Automarkts-Simulationsmodell sim.car zur Prognose der Wirkungen der nachfrageseitigen Instrumente.
Zinssatz	k.A.
Energiepreise	k.A.
Technologischer Fortschritt	Technisches Innovationspotential: Autonome technische Entwicklung: 1996-2007 jährliche Innovation (CO <sub>2</sub> -Emissionsreduktion, Leergewichtsänderung und Änderung der relativen Motorenleistung), welche die CO <sub>2</sub> -Emissionen um jährlich -2.4% absenken könnte.  Die einzelnen Neuwagenmodelle werden energieeffizienter, ohne dass sich der reale Listenpreis ändert.
Potenzialbegriff	Maximales jährliches technisches CO <sub>2</sub> -Reduktionspotenzial

**d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien**

Zusatzbericht zu: ETHZ, IED, De Haan (2009), CO<sub>2</sub>-Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU.

ETHZ, IED, De Haan (2007)

Förderung energieeffizienter und emissionsarmer Fahrzeuge mittels Automobilsteuer - Differenzierung oder Bonusprämien. Vorhersage von Effektivität, Effizienz und Lenkungswirkung von Fördermodellvarianten (nicht öffentlich).

ETHZ, IED, De Haan (2009): CO<sub>2</sub>-Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU

**e) Resultate****THG Vermeidungspotenziale**

Die nachfolgende Tabelle zeigt das maximale jährliche technische CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial in den untersuchten Szenarien von 2012-2020:

<b>CO<sub>2</sub>-Einsparungen (Mio. t CO<sub>2</sub>/a)</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
Szenario: Sanktionsmodell_130g_EU_REF-Absenkung	0.21	0.30	0.40	0.51	0.64	0.76	0.90	1.03	1.16
Szenario: Sanktionsmodell_130g_CH_REF-Absenkung	0.30	0.43	0.59	0.76	0.94	1.13	1.31	1.48	1.66
Szenario: Zertifikatsystem_130g_EU_REF-Absenkung	0.24	0.35	0.47	0.61	0.75	0.91	1.06	1.21	1.36
Szenario: Zertifikatsystem_130g_CH_REF-Absenkung	0.34	0.49	0.67	0.87	1.08	1.29	1.49	1.69	1.87
Szenario: Sanktionsmodell_130g_EU_REF_BAFU-Absenkung	0.21	0.30	0.40	0.51	0.64	0.77	0.90	1.04	1.19
Szenario: Sanktionsmodell_130g_CH_REF_BAFU-Absenkung	0.30	0.43	0.59	0.76	0.95	1.14	1.33	1.53	1.73
Szenario: Zertifikatesystem_130g_EU_REF_BAFU-Absenkung	0.24	0.35	0.47	0.61	0.76	0.91	1.06	1.22	1.38
Szenario: Zertifikatesystem_130g_CH_REF_BAFU-Absenkung	0.34	0.49	0.67	0.87	1.08	1.30	1.52	1.73	1.94

Zusätzlich wurden die Szenarien auch mit einem Pivotpunkt von 136 g CO<sub>2</sub>/km gerechnet; die Resultate unterscheiden sich jedoch nur geringfügig.

Vgl. auch Kap. 4 ab S. 14 und Kap. 5 ab S. 24.

### **THG Vermeidungskosten**

Keine Angaben.



## 10.18 RappTrans (2007): Mobility Pricing - Synthesebericht (inkl. quantitativer Auswirkungen)

Autor	Jahr	Titel
RappTrans	2007	Mobility Pricing - Synthesebericht (inkl. quantitativer Auswirkungen)

### a) Art der Studie

Forschungsauftrag VSS 2005/910 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS).

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>51</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
			X					

### b) Ziel und Auftrag

Zielsetzung ist die Klärung von Fragen, wie:

- Was kann Mobility Pricing zur Bewältigung von Verkehrsproblemen beitragen und was nicht?
- Wie wirkt sich Mobility Pricing auf das Verkehrsverhalten aus und mit welchen Modellen/Systemen und Pricing Strategien können festgelegte politische Ziele erreicht werden?
- Wozu soll Mobility Pricing eingesetzt werden, was ist wünschenswert?
- Ist Mobility Pricing in der Schweiz realisierbar und wenn ja, in welcher Form?
- Mit welchem Aufwand (Kosten, Zeit, technisch, betrieblich, gesetzgeberisch, politisch) ist Mobility Pricing verbunden?

Die übergeordnete Frage lautet: Welche Konsequenzen hätte ein allfälliger Übergang des Finanzierungssystems des Verkehrs von der Steuerfinanzierung zur verstärkten Benützungsförderung?

<sup>51</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

### c) Methodik und Vorgehen

Fünf Szenarien plus ein Referenzszenario, die jeweils das gesamte Gebiet der Schweiz umfassen, werden vorgegeben.

Zur Abschätzung der Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien von Mobility Pricing werden zwei Arten von Modellen verwendet: Das Verkehrs- und das Finanzmodell:

- Mit dem Verkehrsmodell werden die Mobilitätsnachfrage und die Verkehrsströme auf den Verkehrsnetzen abgebildet. Zur Abschätzung der quantitativen Auswirkungen der Szenarien wird die ganze Schweiz mit dem Nationalen Personenverkehrsmodell NPVM 35 modelliert. Der Zeithorizont ist 2030 (entsprechend demjenigen des NPVM). Angebotsseitig (Netze, Angebotsniveau ÖV) werden für den Referenzzustand und die MP-Szenarien die Annahmen des NPVM unverändert übernommen. Die Szenarien betreffen nur den Personenverkehr; der Güterverkehr wird nicht modelliert.
- Das Finanzmodell gibt einen Überblick über die Generierung der Einnahmen, deren Aufteilung in Finanzgefässe und deren Verwendung. Das Finanzmodell wurde als sogenanntes „Tischmodell“ entwickelt: Auf Stufe Gesamtschweiz, ohne räumliche Unterteilung, werden die Veränderungen der Mobilitätsnachfrage aufgrund der veränderten Mobilitätskosten mit Hilfe von Nachfrageelastizitäten berechnet. Aus den veränderten Verkehrsmengen und den Fahrpreisen resultieren die Verkehrseinnahmen der verschiedenen Szenarien.

Um eine Aussage treffen zu können, welche umweltrelevanten Auswirkungen die verschiedenen Szenarien für die Schweiz aufweisen, wurde je Szenario die jährlich ausgestossene Menge an CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Feinstaub (PM 10) berechnet. Die Auswirkungen des Tankverhaltens des Aussen- und Transitverkehrs durch die Senkung der Benzinpreise in einigen Szenarien bleiben bei der Berechnung der Emissionen - insbesondere CO<sub>2</sub> - unberücksichtigt.

Die Auswirkungen bezüglich Schadstoffe nehmen neben verkehrlichen und finanziellen Auswirkungen sowie technischen und betrieblichen Aspekten des Mobility Pricing eine untergeordnete Rolle ein.

### Szenarien

Tab. 10: Übersicht über die Mobility Szenarien

Szenario	Road Pricing-Strategie	Kompensationsstrategie			Anpassung Tarife im ÖV	
		Autobahn-vignette	Treibstoff-abgaben	Motorfahr-zeugsteuern		
A	Objektpricing	unverändert		unverändert	unverändert	
B	Zonenmodell	unverändert		reduziert oder aufgehoben	unverändert	
C	Netzmodell	aufgehoben	reduziert	reduziert	unverändert	
D	ZSZ-Modell (Zonen-Strecken-Zonen)	aufgehoben	reduziert	reduziert	unverändert	
E	Gebietsmodell	aufgehoben	reduziert	reduziert	E1	unverändert
					E2	angehoben

### Zentrale Annahmen

Referenz	Grundzustand des Mobilitätsangebots und der Mobilitätsnachfrage ohne Mobility Pricing. - Für die verkehrlichen Überlegungen: 2030 - Für die Abschätzung der finanziellen Auswirkungen gilt die heutige Situation als Referenzzustand.
Modell / Ansatz	- Verkehrsmodell: Nationales Personenverkehrsmodell NPVM 35 - Finanzmodell: „Tischmodell“: Auf Stufe Gesamtschweiz, ohne räumliche Unterteilung, werden die Veränderungen der Mobilitätsnachfrage aufgrund der veränderten Mobilitätskosten mit Hilfe von Nachfrageelastizitäten berechnet.
Zinssatz	2% (real)
Energiepreise	k.A.
Technologischer Fortschritt	k.A.
Potenzialbegriff	k.A.
Elastizitäten	Annahmen für direkte Kostenelastizitäten und direkte Reisezeitelastizitäten

### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

### e) Resultate

#### THG Vermeidungspotenziale

Die folgende Abbildung zeigt die THG-Reduktionspotenziale im Jahr 2030 für den Referenzfall und die sechs untersuchten Szenarien:

Tab. 22: Schadstoffausstoss pro Jahr für die Schweiz<sup>43</sup>

Szenario	CO <sub>2</sub> [1000t/a]	Differenz	NO <sub>x</sub> [t/a]	Differenz	PM 10 [t/a]	Differenz
2030 Referenz	10'472		17'233		2'901	
Sz. A (Objektpricing)	10'444	-0,3%	17'200	-0,2%	2'891	-0,4%
Sz. B (Zonenmodell)	10'365	-1,0%	17'112	-0,7%	2'865	-1,3%
Sz. C (Netzmodell)	10'064	-3,9%	16'735	-2,9%	2'742	-5,5%
Sz. D (ZSZ-Modell)	9'912	-5,4%	16'560	-3,9%	2'691	-7,3%
Sz. E1 (Gebietsmodell)	10'114	-3,4%	16'814	-2,4%	2'782	-4,1%
Sz. E2 (Gebietsmodell)	9'586	-8,5%	16'185	-6,1%	2'597	-10,5%

#### THG Vermeidungskosten

Keine Angaben.

### 10.19 ETHZ (2005): Eine ökonomische Analyse zur Reduktion der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen in der Schweiz

Autor	Jahr	Titel
ETHZ	2005	Eine ökonomische Analyse zur Reduktion der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen in der Schweiz

#### a) Art der Studie

Bericht aus einem Forschungsprojekt.

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>52</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
					X			

#### b) Ziel und Auftrag

Mit Hilfe eines integrierten Allokationsmodells wird untersucht, welchen Beitrag die Landwirtschaft bis zum Jahr 2010 bei Fortführung der gegenwärtigen Agrarpolitik und mit gezielten Anreizen zur Klimapolitik zusätzlich leisten kann.

**Ziel:** Aufzeigen und ökonomische Bewertung der landwirtschaftlichen Leistungen zur Reduktion ihrer THG-Emissionen seit 1990 sowie der zukünftig noch zu erwartenden Emissionsreduktionen im Hinblick auf die Zielerfüllung im Rahmen des Kyoto-Protokolls.

#### c) Methodik und Vorgehen

Berechnung der Grenzkosten für Massnahmen einer THG-Reduktion in der Landwirtschaft mit dem integrierten agrarwirtschaftlichen Allokationsmodell S\_INTAGRAL (vgl. auch 10.19).

<sup>52</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

**Zentrale Annahmen**

Referenz	2010
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Szenario CH: Verhältnismässig geringe Abnahme der schweizerischen Produzentenpreise</li> <li>- Szenario EU: Kontinuierliche Annäherung an das EU-Preisniveau mit entsprechend geringeren Produzentenpreisen in der Schweiz</li> </ul>
Modell / Ansatz	Rekursiv-dynamisches lineares Optimierungsmodell: Integriertes agrarwirtschaftliches Allokationsmodell S_INTAGRAL (Umfassendes landwirtschaftliches Angebotsmodell) Top-down
Zinssatz	k.A.
Energiepreise	k.A.
Technologischer Fortschritt	k.A.
Potenzialbegriff	k.A.

**d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien****e) Resultate****THG Vermeidungspotenziale und –kosten**

Die folgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen bis 2010 sowie die berechneten THG-Reduktionen und Vermeidungskosten für die Landwirtschaft in den Szenarien CH und EU.

**Tabelle 1:** Entwicklung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen und C-Sequestrierung

		2000	2005	2010 „CH“	2010 „EU“
CO <sub>2</sub> -Emissionen	[kt CO <sub>2</sub> eq/Jahr]	132.6	124.2	121.9	117.8
CH <sub>4</sub> -Emissionen	[kt CO <sub>2</sub> eq/Jahr]	2'572.7	2'525.4	2'220.9	2'227.9
N <sub>2</sub> O-Emissionen	[kt CO <sub>2</sub> eq/Jahr]	2'016.8	1'961.2	1'828.8	1'801.6
THG-Emissionen insgesamt	[kt CO <sub>2</sub> eq/Jahr]	4'722.1	4'610.8	4'171.0	4'147.3
Emissionsreduktion gegenüber 2000	[kt CO <sub>2</sub> eq/Jahr]	—	111.3	551.1	574.8
C-Sequestrierung	[kt CO <sub>2</sub> eq/Jahr]	11.5	15.6	19.4	26.0
Gesamte THG-Reduktion gegenüber 2000	[kt CO <sub>2</sub> eq/Jahr]	—	126.9	570.5	600.8

Quelle: HEDIGER ET AL. (2004), S. 69

**Tabelle 3:** THG-Reduktion und Wert der landwirtschaftlichen Leistungen bis 2010 bei einer unilateralen Politik im Szenario Schweiz

	THG-Reduktion durch die Landwirtschaft Mio. t CO <sub>2</sub> eq/Jahr	Verbleibende Reduktionsverpflichtung für den EVS Mio. t CO <sub>2</sub> eq/Jahr	Erforderlicher CO <sub>2</sub> -Preis CHF/t CO <sub>2</sub> eq	Vermeidungskosten für den EVS Mio. CHF/Jahr	Wert der landwirtschaftlichen Leistungen Mio. CHF/Jahr	Vermeidungskosten für die Landwirtschaft Mio. CHF/Jahr
A	0	4.25	103.00	218.9	0	0
B	0.53	3.72	90.13	167.6	51.3	
C	0.60	3.65	88.56	161.8	57.1	0
D	0.72	3.53	85.61	151.2	67.7	0
E	1.10	3.15	76.32	120.2	98.7	0
F	1.20	3.05	73.86	112.6	106.4	2.2 – 2.5

A = Kyoto-Ziel (Reduktionsverpflichtung)

B = Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990 - 2000

C = Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990 - 2002

D = zu erwartender Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990 – 2010 bei Fortführung der aktuellen Agrarpolitik (3% Abnahme gegenüber dem Emissionsniveau 2000)

E = zu erwartender Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990 – 2010 gemäss Modellrechnungen mit *S\_INTAGRAL* (Szenario CH) inklusive Anrechnung der Senkenleistungen 2000 - 2010 (Szenario CH)F = maximale Reduktion der landwirtschaftlichen THG-Emissionen im Jahre 2010 gemäss Modellrechnungen mit *S\_INTAGRAL* bei Verwendung gezielter ökonomischer Anreize im Szenario Schweiz**Tabelle 4:** THG-Reduktion und Wert der landwirtschaftlichen Leistungen bis 2010 bei internationalem Zertifikatshandel im Szenario EU

	THG-Reduktion durch die Landwirtschaft Mio. t CO <sub>2</sub> eq/Jahr	Verbleibende Reduktionsverpflichtung für den EVS Mio. t CO <sub>2</sub> eq/Jahr	CO <sub>2</sub> -Preis (gemäss BAHN AND FREE, 2000) CHF/t CO <sub>2</sub> eq	Gesamtkosten für den EVS (inkl. Zertifikate) Mio. CHF/Jahr	Wert der landwirtschaftlichen Leistungen Mio. CHF/Jahr	Vermeidungskosten für die Landwirtschaft Mio. CHF/Jahr
A	0	4.25	42.00	142.1	0	0
B	0.53	3.72	42.00	119.8	22.3	0
C	0.60	3.65	42.00	117.1	25.0	0
D	0.72	3.53	42.00	112.0	30.2	0
E	1.13	3.12	42.00	94.6	47.5	0
F	1.14	3.11	42.00	94.4	47.8	0.1

A = Kyoto-Ziel (Reduktionsverpflichtung)

B = Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990 - 2000

C = Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990 - 2002

D = zu erwartender Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990 – 2010 bei Fortführung der aktuellen Agrarpolitik (3% Abnahme gegenüber dem Emissionsniveau 2000)

E = zu erwartender Rückgang der landwirtschaftlichen THG-Emissionen 1990 – 2010 gemäss Modellrechnungen mit *S\_INTAGRAL* (Szenario EU) inklusive Anrechnung der Senkenleistungen 2000 - 2010 (Szenario EU)F = maximale Reduktion der landwirtschaftlichen THG-Emissionen im Jahre 2010 gemäss Modellrechnungen mit *S\_INTAGRAL* bei Verwendung gezielter ökonomischer Anreize im Szenario EU

## 10.20 ETHZ (2009): „THG 2020“ - Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz

Autor	Jahr	Titel
ETHZ	2009	„THG 2020“ - Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz

### a) Art der Studie

Forschungsprojekt / Grundlagenpapier, welches das technologische und ökonomische THG-Reduktionspotential im Schweizer Landwirtschaftssektor quantifiziert.

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>53</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
					X			

### b) Ziel und Auftrag

**Ziel:** Quantifizierung des technologischen und ökonomischen THG-Reduktionspotenzials im Schweizer Landwirtschaftssektor. Damit wird ein Entscheidungsunterstützendes Instrument bereitgestellt, welches zur Ausarbeitung der oben genannten Klimastrategie (im Bereich Landwirtschaft) einen Beitrag liefert.

### Forschungsfragen:

1. Wie wirken sich unterschiedliche Agrarpreis-Szenarien auf die Entwicklung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen bis im Jahr 2020 aus?
2. Wie stark reduziert eine THG-Abgabe von 2012 bis 2020 im Umfang von 50 CHF/t CO<sub>2</sub>eq die landwirtschaftlichen THG-Emissionen?
3. Erfolgt die induzierte Emissionsreduktion über den Rückgang von landwirtschaftlichen Aktivitäten (z.B. Milchproduktion) oder über den Einsatz emissionsmindernder Technologien?
4. Wie stark trägt eine Technologie-Förderung zur Reduktion landwirtschaftlicher THG-Emissionen bei? Welcher Finanzbedarf müsste dabei aufgewendet werden?

<sup>53</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

5. Ist ein Reduktionsziel von „-20% gegenüber 1990“ für die Landwirtschaft erreichbar? Welcher Beitrag wäre hierzu a) von der Agrarpolitik selbst (Preisumfeld), b) einer THG-Abgabe oder c) einer Technologie-Förderung zu erwarten?

### c) Methodik und Vorgehen

**Literaturrecherche** über potentielle THG-Reduktionstechnologien in der Landwirtschaft und ihren Kosten

Methodisches Vorgehen zur **Modellierung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen**: Für die modellanalytischen Betrachtungen im Rahmen dieser Studie wird das agrarwirtschaftliche Sektormodell S\_INTAGRAL<sup>54</sup> verwendet, welches speziell zur ökonomischen Evaluierung von Reduktionsstrategien landwirtschaftlicher Treibhausgas- und Stickstoffemissionen entwickelt wurde.

Die Studie beschränkt sich auf die Analyse des Methan- und Lachgaspotenzials der direkten landwirtschaftlichen Aktivitäten (Tierhaltung und Pflanzenbau).

### Zentrale Annahmen

Referenz	2020
	3x3 Szenarien:
	- Agrarpolitische Szenarien: Agrarpreise
	- HOCH: Agrarpreise nach Umsetzung der AP 2011
	- MITTEL: Erwartete Preise unter Freihandelsbedingungen
	- TIEF: Effektive EU-Preise (Durchschnitt 2002/2004)
	- Umweltpolitische Szenarien:
	- Referenzszenario (ohne Eingriffe)
	- THG-Abgabe von 50 CHF/t CO <sub>2eq</sub> auf LW-THG-Emissionen ab 2012
	- Förder-Szenario (Förderung von THG-Reduktionstechniken)
	Für die Quantifizierung der THG-Vermeidungskosten: Referenzszenario Tierbestandsreduktion
Modell / Ansatz	Rekursiv-dynamisches lineares Optimierungsmodell: Integriertes agrarwirtschaftliches Allokationsmodell S_INTAGRAL (Umfassendes landwirtschaftliches Angebotsmodell)
	Input-Output-Beziehungen werden über linear limitationale Leontief-Produktionsfunktionen abgebildet
	Top-down
Zinssatz	2.5% (Ställe) bzw. 3.5% (Maschinen)
Energiepreise	k.A.

<sup>54</sup> Vgl. Kapitel 5: S\_INTAGRAL: Rekursiv-dynamisches lineares Optimierungsmodell, welches die landwirtsch. Produktionsstruktur auf der Basis eines ökonomisch-rationalen Verhaltens optimiert. Die zu Grunde gelegten Input-Output-Beziehungen werden über linear limitationale Leontief-Produktionsfunktionen abgebildet. Agrarpreise werden in S\_INTAGRAL exogen vorgegeben. Inland- und Auslandnachfrage sind auf dem jeweiligen Preisniveau vollkommen elastisch.



Technologischer Fortschritt	Grundlage für die Abschätzung von Vermeidungskosten und Reduktionspotential infolge Technologieeinsatz ist der aktuelle Stand der Technik
Potenzialbegriff	Technologisches und ökonomisches THG-Reduktionspotenzial

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

#### e) Resultate

#### THG Vermeidungspotenziale

Die folgende Abbildung zeigt das gesamte technische THG-Reduktionspotential aller ausgewählten (expliziten) Massnahmen:

**Tabelle 6-1** Technisches Reduktionspotential der ausgewählten expliziten Massnahmen (in % der Gesamtemissionen)

Massnahme	x1 Emissionsfracht (% vom THG <sub>Land</sub> )	x2 Untergruppe (% der Emissionsfracht)	x3 Reduktionsfaktor (% des Wirkungsortes)	x4 Technologieeinsatz (%-ante Verfestigung)	= THG- Reduktions- potential
1. Fett	Methan 53%	Fütterung 82%	-11,5%	100%	-5,0%
2. Abd.	Methan (Prim.) 53%	Lagerung 18%	-93%	20%	-1,8%
	Lachgas (Sek.) 47%	Lagerung 16%	-35%	20%	-0,5%
				Abd. total	-2,3%
3. HD <sub>A</sub>	Methan 53%	Lagerung 18%	-48% ... der nach der Abdeckung verbleibenden Emissionen von 7%	100%	-0,3%
	Lachgas 47%	indir. aus NH <sub>3</sub> 10%	-49% ... der 50% Ammoniakausbringungsverluste	100%	-1,3%
<b>Technisches Reduktionspotential total</b>					<b>-9,0%</b>

Die nachstehenden Abbildungen geben eine Übersicht über die ökonomischen THG-Reduktionspotenziale in der Landwirtschaft im Referenz-Szenario, im Abgabe-Szenario und im Förder-Szenario (für drei unterschiedliche Fördersätze):

**Tabelle 7-1 Tabellarische Übersicht der Modellresultate im Referenz-Szenario**

Referenz-Szenario		HOCH	MITTEL	TIEF
korr. Gesamtemissionen 1990 (THG-Inventar) <sup>14</sup>		5'903 - 336 <sup>14</sup> = 5'567		
Gesamtemissionen 2006 (Modell)	kt CO <sub>2</sub> eq	4'916		
Gesamtemissionen "Referenz 2020" (Modell)	kt CO <sub>2</sub> eq	4'734	4'736	4'459
absolute Veränderung gegenüber 1990		-833	-831	-1'108
relative Veränderung gegenüber 1990 (THG-Inv.)		-14.1%	-14.1%	-18.8%
absolute Veränderung gegenüber 2006		-182	-180	-457
relative Veränderung gegenüber 2006 (THG-Inv.)		-3.4%	-3.4%	-8.6%
Ziel (Modell)	kt CO <sub>2</sub> eq	4'386 (= 0.8*5'903kt-336kt)		
verbleibende Zielabweichung im 2020	kt CO <sub>2</sub> eq	348	350	73
Zielerreichung		nein	nein	nein

**Tabelle 7-2 Tabellarische Übersicht der Modellresultate im Abgabe-Szenario**

Abgabe-Szenario		HOCH	MITTEL	TIEF
korr. Gesamtemissionen 1990 (THG-Inventar) <sup>15</sup>		5'903 - 336 <sup>15</sup> = 5'567		
Gesamtemissionen "Referenz 2020" (Modell)	kt CO <sub>2</sub> eq	4'734	4'736	4'459
Gesamtemissionen "Abgabe 2020" (Modell)	kt CO <sub>2</sub> eq	4'495	4'128	3'906
absolute Veränderung gegenüber "Referenz 2020"	kt CO <sub>2</sub> eq	-239	-608	-553
relative Veränderung gegenüber "Referenz 2020"		-5%	-12.8%	-12.4%
absolute Veränderung gegenüber 1990		-1'072	-1'439	-1'661
relative Veränderung gegenüber 1990 (THG-Inv.)		-18.2%	-24.4%	-28.1%
verbleibende Zielabweichung im 2020	kt CO <sub>2</sub> -eq	109	-258	-480
Zielerreichung		nein	ja	ja
sektorale Einkommenseinbusse	Mio. CHF	-205	-275	-254
in % des Sektoreinkommens		-8%	-19%	-20%
Ø sektorale Einkommenseinbusse	CHF/t CO <sub>2</sub> eq	860	453	459

**Tabelle 7-3 Tabellarische Übersicht der Modellresultate im Förder-Szenario**

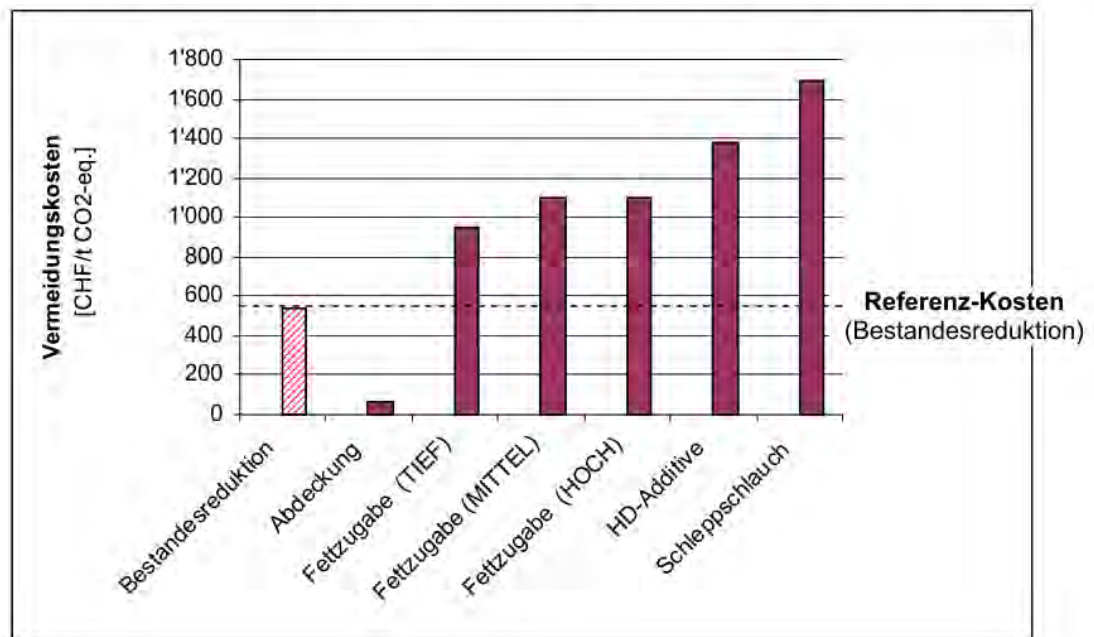
Förder-Szenario		HOCH	MITTEL	TIEF
		Fördersatz 50.-/t		
Emissionsreduktion gegenüber "Referenz 2020"	kt CO <sub>2</sub> eq	39	17	17
in % der Gesamtemissionen 1990 (THG-Inv.)		0.7%	0.3%	0.3%
in % der Gesamtemissionen "Referenz 2020"		0.8 %	0.4 %	0.4 %
relative Veränderung gegenüber 1990 (THG-Inv.)		-14.7 %	-14.3 %	-19 %
Gesamtkosten Technologie-Förderung	Mio. CHF	19	0.8	0.8
Zielerreichung		nein	nein	nein
		Fördersatz 1000.-/t		
Emissionsreduktion gegenüber "Referenz 2020"	kt CO <sub>2</sub> eq	117	98	226
in % der Gesamtemissionen 1990 (THG-Inv.)		2.0%	1.7%	3.8%
in % der Gesamtemissionen "Referenz 2020"		2.5 %	2.1 %	5.1 %
relative Veränderung gegenüber 1990 (THG-Inv.)		-16 %	-15.7 %	-22.6%
Gesamtkosten Technologie-Förderung	Mio. CHF	117	98	226
Zielerreichung		nein	nein	ja
		Fördersatz 2000.-/t		
Emissionsreduktion gegenüber "Referenz 2020"	kt CO <sub>2</sub> eq	356	369	352
in % der Gesamtemissionen 1990 (THG-Inv.)		6.0%	6.3%	6.0%
in % der Gesamtemissionen "Referenz 2020"		7.5 %	7.8 %	7.9 %
relative Veränderung gegenüber 1990 (THG-Inv.)		-20.1 %	-20.3 %	-24.7 %
Gesamtkosten Technologie-Förderung	Mio. CHF	712	737	704
Zielerreichung		ja	ja	ja

**THG Vermeidungskosten**

Die folgenden Abbildungen zeigen die THG-Vermeidungskosten ausgewählter expliziter Massnahmen:

**Tabelle 6-2** Vermeidungskosten der ausgewählten expliziten Massnahmen

<b>Tierbestandesreduktion</b>				
(Referenz)	<b>CH<sub>4</sub> - Emissionen</b>	( $\Sigma$ ) je Kuh, THG-Inventar	131	kg CH <sub>4</sub> /Kuh
	<b>N<sub>2</sub>O - Emissionen</b>	( $\Sigma$ ) je Kuh, i.A. an THG-Inventar	3.0	kg N <sub>2</sub> O/Kuh
		GWP <sup>100</sup> -CH <sub>4</sub> : 21, GWP-N <sub>2</sub> O:		
	in CO <sub>2</sub> -eq	310	<b>3'681</b>	kg CO <sub>2</sub> -eq/Kuh
	<b>Kosten</b> (=Einkommensred.)	20 CHF/h (AV) u. 100h/Kuh	<b>2'000</b>	CHF/Kuh
				<b>543</b> CHF/t CO <sub>2</sub> -eq
<b>Abdeckung</b>				
(Schwimmfolie)	<b>CH<sub>4</sub>-Lagerung</b>		23.5	kg CH <sub>4</sub> /Kuh
	<b>Reduktion CH<sub>4</sub></b>	93%	22	kg CH <sub>4</sub> /Kuh
	in CO <sub>2</sub> -eq	GWP-CH <sub>4</sub> : 21	<b>459</b>	kg CO <sub>2</sub> -eq/Kuh
	N-Ausscheidung		110	kg N/Kuh
	davon Lageremissionen	0.10%	0.11	kg N <sub>2</sub> O-N/Kuh
	<b>Reduktion N<sub>2</sub>O</b>	N-Anteil im N <sub>2</sub> O: 63%	0.173	kg N <sub>2</sub> O/Kuh
	in CO <sub>2</sub> -eq	GWP N <sub>2</sub> O: 310	<b>54</b>	kg CO <sub>2</sub> -eq/Kuh
	<b>Reduktionskosten *</b>		<b>35</b>	CHF/Kuh
				<b>68</b> CHF/t CO <sub>2</sub> -eq
* Annahme: Investition Güllelager: 15'922 CHF; Volumen: 905 m <sup>3</sup> ; Gülleverdünnung: 1:1; Lager für 5 Monate → 54 Kühe pro Güllelager bzw. 293 CHF/Kuh; Nutzungsdauer Schwimmfolie 10 Jahre, Zinssatz: 3% → 35 CHF/Kuh/a				
<b>Fettzugabe **</b>				
(Sonnenblumenöl)	<b>CH<sub>4</sub>-Verdauung</b>		108	kg CH <sub>4</sub> /Kuh
	<b>Reduktion CH<sub>4</sub></b>	11.5%	12	kg CH <sub>4</sub> /Kuh
	in CO <sub>2</sub> -eq	GWP-CH <sub>4</sub> : 21	<b>260</b>	kg CO <sub>2</sub> -eq/Kuh
	TS-Ration:		5'500	kg TS/Kuh
	Input (Öl pro kg TS):	34 g/kg TS	187	kg Öl/Kuh
	<b>Reduktionskosten (brutto)</b>	2.42 CHF/kg Öl	<b>453</b>	CHF/Kuh
	Korrektur Kraftfütterereinsparung (7 MJ NEL, 100g APD)	187 kg Öl * 3 kg KF/kg Öl * 52 Rp./kg	-293	CHF/Kuh
	Korrektur APD-Defizit (Maiskleber)	30 g Maiskleber / 34 g Öl * 187 kg Öl * 77 Rp./kg	+127	CHF/Kuh
	<b>Reduktionskosten (netto)</b>		<b>287</b>	CHF/Kuh
				<b>1'105</b> CHF/t CO <sub>2</sub> -eq
** Die Angaben sind gültig für Ölsaaten- und Kraftfutterpreise gemäss Szenario HOCH. Die Quellenangaben sowie die Annahmen bezüglich Kraftfutter- und Ölsaatenpreise aller Szenarien HOCH, MITTEL und TIEF sind im Anhang tabellarisch aufgeführt (Tabelle 10-1, S. 118)				
<b>HD-Additive</b>				
(Milchsäure)	<b>CH<sub>4</sub>-Lagerung</b>		23.5	kg CH <sub>4</sub> /Kuh
	<b>Reduktion CH<sub>4</sub></b>	48%	11	kg CH <sub>4</sub> /Kuh
	in CO <sub>2</sub> -eq	GWP-CH <sub>4</sub> : 21	<b>237</b>	kg CO <sub>2</sub> -eq/Kuh
	Güllemenge		20	m <sup>3</sup> /Kuh
	Input	10 l/m <sup>3</sup>	200	kg Säure/Kuh
	<b>Reduktionskosten</b>	1.63 CHF/kg Säure	<b>326</b>	CHF/Kuh
				<b>1'376</b> CHF/t CO <sub>2</sub> -eq
<b>Schleppschlauch</b>				
	<b>Ausbringungsemissionen (Puffheller)</b>		23.5	kg NH <sub>3</sub> /Kuh
	Reduktion Schleppschlauch	49%	12	kg NH <sub>3</sub> /Kuh
	Anteil N <sub>2</sub> O	1%	0.12	kg N <sub>2</sub> O/Kuh
	<b>Reduktion N<sub>2</sub>O</b>	GWP: 310	<b>36</b>	kg CO <sub>2</sub> -eq/Kuh
	Güllemenge (20m <sup>3</sup> /Kuh)	(1:1 verdünnt)	40	m <sup>3</sup> /Kuh
	Mehrkosten SS		1.51	CHF/m <sup>3</sup>
	<b>Reduktionskosten</b>		<b>60</b>	CHF/Kuh
				<b>1'692</b> CHF/t CO <sub>2</sub> -eq

**Abbildung 6-3 Vermeidungskosten ausgewählter expliziter Massnahmen**

## 10.21 McKinsey&Company (2009): Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve

Autor	Jahr	Titel
McKinsey&Company	2009	Swiss Greenhouse Gas Abatement Cost Curve

### a) Art der Studie

Grundlagenstudie: Analyse von zusätzlichen Einzelmassnahmen mit Kosten von weniger als 100 EUF/t CO<sub>2</sub> über deren gesamten Nutzungsdauer, inkl. Aggregation auf die Bereiche Gebäude, Transport, Elektrizität, Landwirtschaft und Industrie.

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>55</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X	(X)	(X)	X	X	X	X	X	X

### b) Ziel und Auftrag

Erarbeitung von Grundlagen und Erstellung eines einheitlichen Datensets als Ausgangspunkt für Wirtschaftsführer, Akademiker und Politiker zur Diskussion der Prioritäten und besten Strategien für die Reduktion von THG-Emissionen.

### c) Methodik und Vorgehen

Das verwendete Modell betrachtet die THG-Vermeidungspotenziale und –kosten über die gesamte Nutzungsdauer einer Massnahme. Änderungen in den Verhaltensweisen der Menschen wurden nicht berücksichtigt (z.B. weniger gefahrene Kilometer pro Jahr).

<sup>55</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

**Zentrale Annahmen**

Referenz	<p>2030 ohne zusätzliche Reduktionsmassnahmen ausser den bereits heute beschlossenen (basierend auf IEA und BFE Prognosen). Wirtschaftliche Wachstumsraten entsprechen den vergangenen Durchschnittswerten.</p> <p>Schwacher Anstieg der gesamten THG-Emissionen von 54.6 Mio. t CO<sub>2</sub>e in 2005 auf 55.9 Mio. t CO<sub>2</sub>e in 2030 (inkl. THG-Emissionen aus direkten Netto-Elektrizitätsimporten):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebäude: -0.8%/a (Wechsel von Öl hin zu Gas, Strom und erneuerbare Energien)</li> <li>- Verkehr: -0.1%/a</li> <li>- Industrie: +0.8%/a</li> <li>- Landwirtschaft: -0.4%/a</li> <li>- Elektrizität: +0.5%/a</li> </ul>
Modell / Ansatz	<p>„Fact-based economic model“</p> <p>Top-down für Massnahmen in den Bereichen Landwirtschaft und Industrie</p> <p>Bottom-up für Massnahmen in den Bereichen Elektrizität, Transport und Gebäude</p>
Zinssatz	2.50%
Energiepreise	<p>Base case: 52 USD/barrel</p> <p>100 USD oil-price scenario: 100 USD/barrel</p>
Technologischer Fortschritt	<p>Massnahmen auf heutigem Stand der Technologie (keine neuen kosteneffizienten Technologien bis 2030), jedoch laufende Kosteneinsparungen bei bereits existierenden Massnahmen.</p>
Potenzialbegriff	<p>Maximales technisches THG-Reduktionspotenzial einer Massnahme unter der Annahme, dass die Massnahme 2030 vollständig implementiert / ausgeschöpft würde. Das wirtschaftliche Potenzial wird nicht berücksichtigt.</p> <p>Die Vermeidungskostenkurve beinhaltet Massnahmenpakete, d.h. Gesamtpotenziale und Durchschnittskosten der eingeschlossenen Massnahmen.</p>

**d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien**

Basiert methodisch auf der globalen und anderen länderspezifischen Studien (siehe Bsp. für Deutschland unten) von McKinsey&Company:

McKinsey&Company (2009)

Pathways to a low-carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Abatement Cost Curve.

McKinsey&Company (2007)

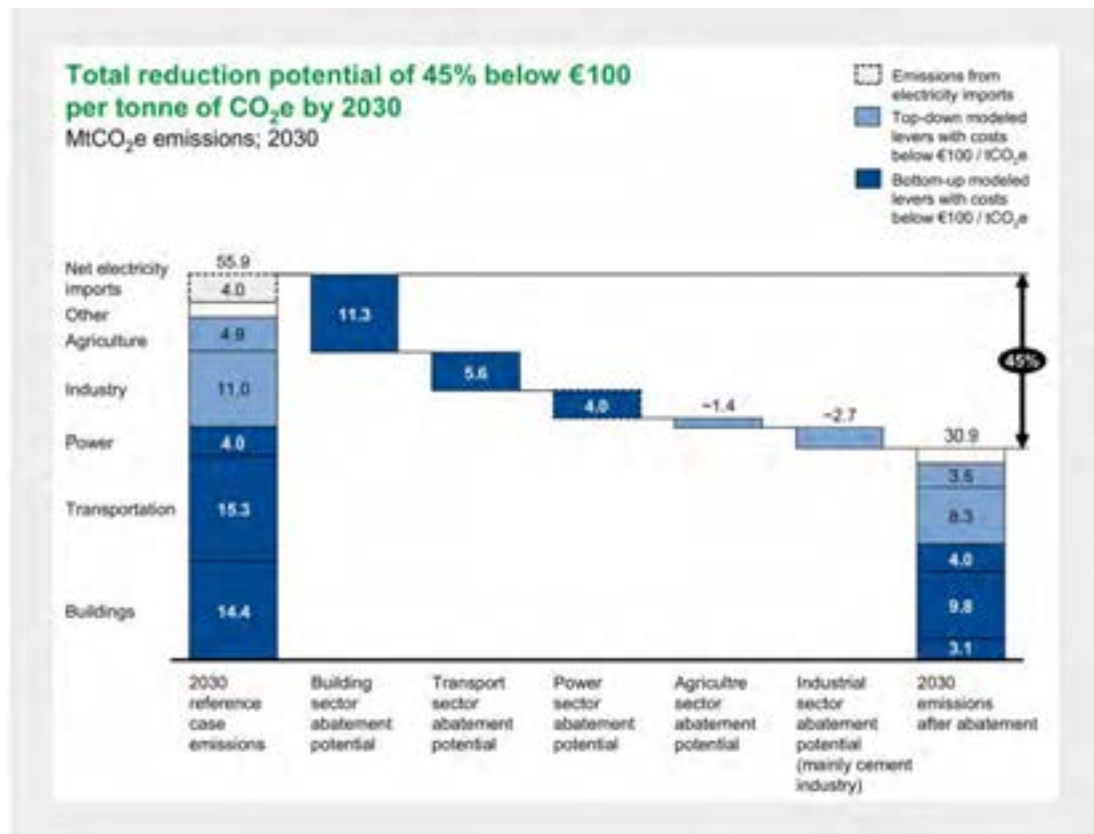
Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany. A report by McKinsey & Company, Inc. on behalf of "BDI initiative – Business for Climate".



## e) Resultate

### THG Vermeidungspotenziale

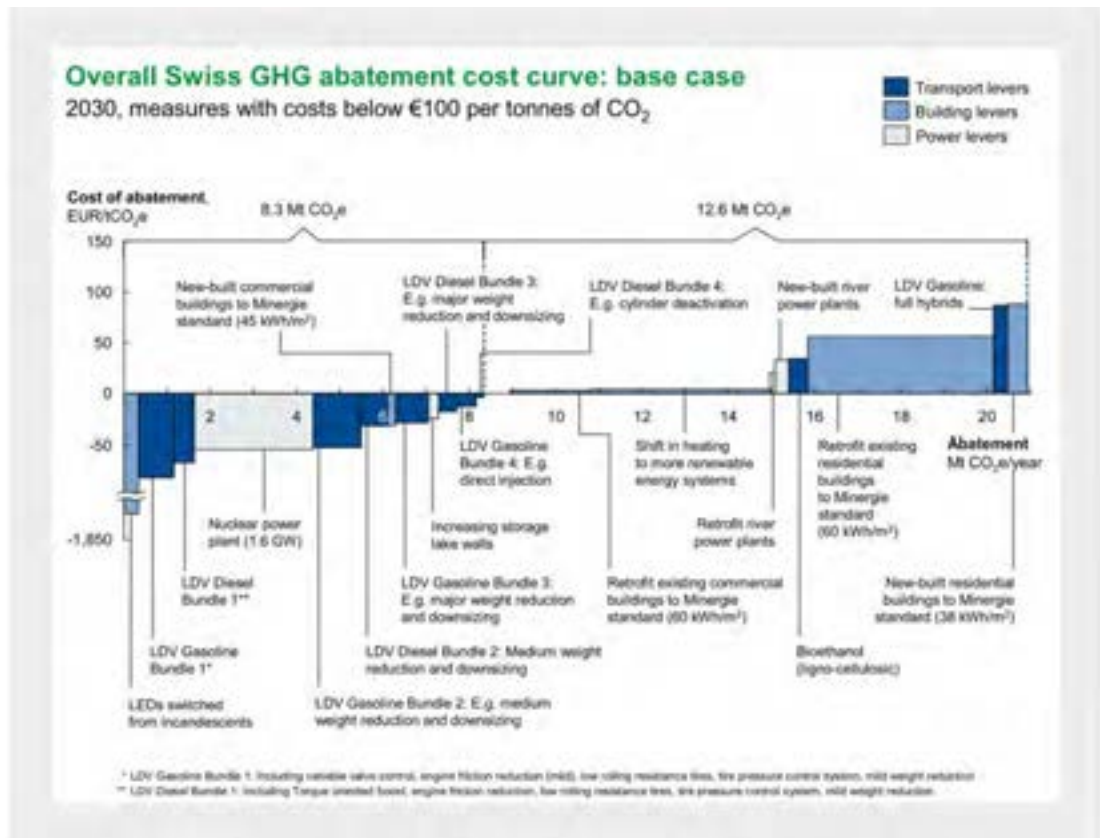
Die untenstehende Abbildung zeigt das gesamte (maximal technische) CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial für Massnahmen mit Kosten von weniger als 100 EUR/t CO<sub>2</sub>e bei einem Ölpreis von 52 USD/barrel.





## THG Vermeidungskosten

Die nachfolgende Vermeidungskostenkurve beinhaltet Massnahmenpakete und zeigt deshalb das Gesamtreduktionspotenzial und die durchschnittlichen Vermeidungskosten über alle Massnahmen eines Paketes.



## 10.22 Laura Kunz and Adrian Muller (2009): A Case-Study on Project-Level CO<sub>2</sub> Mitigation Costs in Industrialised Countries - The Climate Cent Foundation in Switzerland (DRAFT)

Autor	Jahr	Titel
Laura Kunz and Adrian Muller	2009	A Case-Study on Project-Level CO <sub>2</sub> Mitigation Costs in Industrialised Countries - The Climate Cent Foundation in Switzerland (DRAFT)

### a) Art der Studie

Ökonomie Working Paper der Universität Göteborg von zwei Studierenden: Analyse der CO<sub>2</sub>-Reduktionskosten basierend auf Projektdaten der The Climate Cent Foundation in Switzerland (Stiftung Klimarappen).

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>56</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
						X		

Keine zusätzlichen Erkenntnisse im Vergleich zu TEP Energy (2010), Energetische Gebäudeerneuerungen Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (vgl. Kapitel 10.3).

<sup>56</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

### 10.23 IIASA (2010): GAINS-Model: Mitigation Potentials and Costs in 2020 (Switzerland)

Autor	Jahr	Titel
IIASA	2010	GAINS-Model: Mitigation Potentials and Costs in 2020

#### a) Art der Studie

Sehr umfangreiche angewandte interdisziplinäre Forschung zu den THG-Reduktionspotenziale und -kosten in den Annex 1 Länder der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Die Darstellung der Resultate ist in Faktenblätter pro Land möglich (auch für die Schweiz)

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>57</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X	X	X	X	X	X	X	X	X

#### b) Ziel und Auftrag

Kohärenter internationaler Vergleich der THG-Vermeidungspotenziale und –kosten (und Luftverschmutzung) in den Annex 1 Länder der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen.

#### c) Methodik und Vorgehen

GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) model: Bottom-up Bewertung der THG-Vermeidungspotenziale und -kosten basierend auf technischen Vermeidungspotenzialen und –kosten und exogenen Prognosen für die zukünftige Entwicklung. GAINS identifiziert für jedes Land dasjenige Massnahmenportfolio, welches das vorgegebene THG-Reduktionsziel am kosteneffizientesten erreichen kann. Das heisst, das Modell liefert direkt vergleichbare nationale THG-Vermeidungskostenkurven.

- Beginn der Massnahmen zur Vermeidung von THG: 2010.
- Zusätzliche Berücksichtigung der Zusatznutzen aus Luftverschmutzung
- Makroökonomische Feedbacks und Verhaltensänderungen werden in GAINS nicht berücksichtigt.

<sup>57</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

Berücksichtigte Gruppen von Einzelmassnahmen zur THG-Reduktion:

- End-of-pipe Massnahmen
- Energieeffizienzmassnahmen: Reduzieren den Verbrauch von fossilen Treibstoffen (z.B. verbesserte Isolation, höhere Verbrennungseffizienz etc.)
- Substitution von CO<sub>2</sub>-reichen Treib- und Brennstoffen durch weniger CO<sub>2</sub>-reiche
- Anwendung von neuen Technologien, welche weniger THG-Emissionen produzieren (z.B. Hybrid-Fahrzeuge etc.)
- Verhaltensänderungen, welche die Nachfrage nach Energie reduzieren

Für diese Massnahmen wird dann für jeden Sektor in jedem Land die maximale Anwendbarkeit im Jahr 2020 abgeschätzt (Sektor- und landesspezifische Kosten).

Das Modell unterscheidet Emissionen nach den einzelnen THG, nach Sektoren und nach Aktivitäten (CH Gesamtemissionen 2020: 48.6 Mio. t CO<sub>2</sub>eq/a) und berücksichtigt unterschiedliche Vermeidungskosten für verschiedene Sektoren.

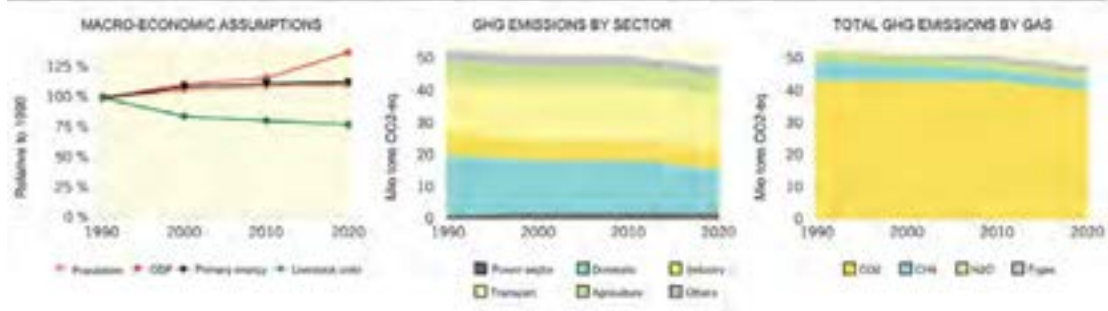
### Zentrale Annahmen

Referenz	Basisjahre 1990 und 2005 Referenzfall (baseline) 2020 (basierend auf den Energievorhersagen des World Energy Outlook 2008 der internationalen Energieagentur IEA)
Modell / Ansatz	GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) model: Bottom-up Bewertung der THG-Vermeidungspotenziale und –kosten basierend auf technischen Vermeidungspotenzialen und –kosten und exogenen Prognosen für die zukünftige Entwicklung. GAINS identifiziert für jedes Land dasjenige Massnahmenportfolio, welches das vorgegebene THG-Reduktionsziel am kosteneffizientesten erreichen kann. Das heisst, das Modell liefert direkt vergleichbare nationale THG-Vermeidungskostenkurven.
Zinssatz	Privater Zinssatz von 4%
Energiepreise	k.A.
Technologischer Fortschritt	Das baseline-Szenario beinhaltet autonomen technologischen Fortschritt.
Potenzialbegriff	Vermeidungspotenzial, das in 2020 durch die Anwendung von verfügbaren Massnahmen erreicht werden kann (maximale Anwendbarkeit im Jahr 2020).

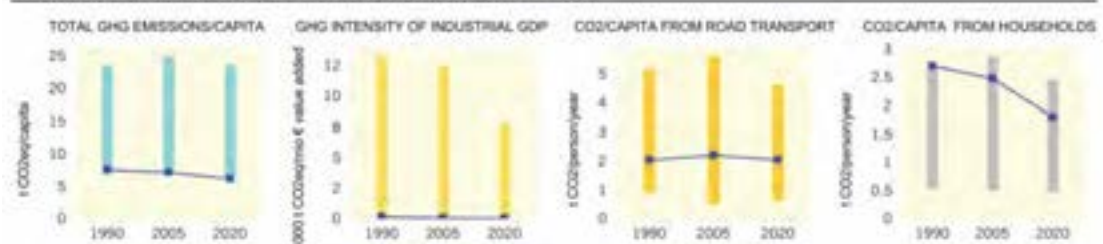
### THG Emissionen für die Schweiz

All Greenhouse Gases Emissions by UN-ECE NFR Sector (Aggregated)		2005	2020	2030
Pollutant: GHG	1: Total energy	47.06	41	38.34
Scenario: IEA WEO 2009RS; curr. AP polic.	2: Total industrial processes	1.43	2.13	2.41
Region: SWIT_WHOL	3: Total solvent and other product use	0.11	0.12	0.12
Unit: [Mt CO <sub>2</sub> eq./year]	4: Total agriculture	5.82	5.81	5.78
	6: Total waste	0.53	0.33	0.34
	7: Other	-0.74	-0.75	-0.77
	<b>Sum</b>	<b>54.21</b>	<b>48.6</b>	<b>46.2</b>

## MACRO-ECONOMIC DRIVERS AND BASELINE GHG EMISSIONS



## GHG INTENSITIES (bars indicate ranges for Annex I)

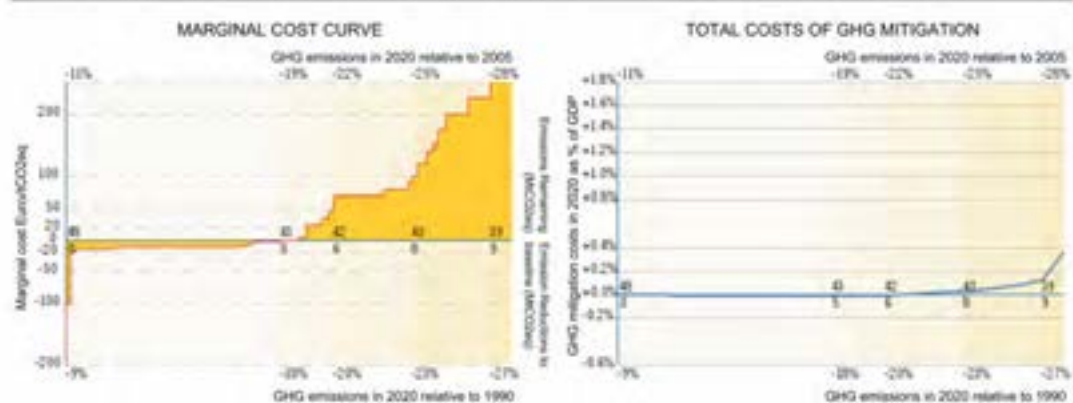


d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

e) Resultate

## THG Vermeidungspotenziale und –kosten

## MITIGATION POTENTIALS AND COSTS IN 2020 (excl. transaction costs, excl. LULUCF)



## Studien mit gesamtwirtschaftlichen Modellen

### 10.24 Ecoplan (2009): Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik

Autor	Jahr	Titel
Ecoplan	2009	Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik

#### a) Art der Studie

Gesamtwirtschaftliche Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Post-Kyoto-Massnahmenpakets des Bundesrats und einer weiteren Variante, die an die Klimainitiative angelehnt ist, mit einem berechenbaren dynamischen Einländer-Gleichgewichtsmodell.

#### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>58</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X	X	X	X	X	X	X	X	X

#### b) Ziel und Auftrag

Abschätzung der die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des vom Bundesrat dem Parlament vorgelegten Post-Kyoto-Massnahmenpakets und einer weiteren Variante, die an die Klimainitiative angelehnt ist, abgeschätzt werden. Folgende Fragen stehen im Vordergrund:

- Wie hoch müsste die CO<sub>2</sub>-Abgabe sein, damit die in den verschiedenen Szenarien anvisierte CO<sub>2</sub>-Reduktion erreicht werden kann?
- Welche Auswirkungen auf die Wirtschaft insgesamt (BIP) und auf die einzelnen Wirtschaftsbranchen hat das Post-Kyoto-Massnahmenpaket?
- Wie sind die Haushalte davon betroffen (Wohlfahrts- und Verteilungseffekte)?
- Wie gross sind die positiven Nebeneffekte (Sekundärnutzen)?

<sup>58</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

### c) Methodik und Vorgehen

Die Analyse wird mit einem berechenbaren dynamischen Einländer-Gleichgewichtsmodell durchgeführt. Mit diesem Modell lassen sich insbesondere preisliche Instrumente, wie eine CO<sub>2</sub>-Abgabe, analysieren. Da es sich um ein Einländermodell (mit Armingtonformulierung des Aussenhandels) handelt, werden die Terms-of-Trade-Effekte unter der Annahme berechnet, dass das Ausland keine weiteren klimapolitischen Massnahmen ergreift. Dadurch werden die sektoralen Struktureffekte tendenziell überschätzt und die Höhe der CO<sub>2</sub>-Abgabe tendenziell unterschätzt. Das Modell ist weniger geeignet, um Förderungsmassnahmen (Subventionierung einzelner Technologien) oder eine Verschärfung von Standards (bspw. Wärmebedarfsstandards) zu untersuchen.

Die sektorale Disaggregation des verwendeten dynamischen Einländer-Modells umfasst 5 Energie- und 20 Nichtenergiesektoren. Einige der wichtigsten Mechanismen, die das Modell abbildet, sind:

- unterschiedliche Substitutionsmöglichkeiten zwischen Energieträgern,
- Strukturwandel aufgrund branchenspezifischer Unterschiede in Faktorintensitäten, dem Grad an Faktorsubstitutionsmöglichkeiten und Preiselastizitäten der Güternachfrage,
- preisabhängige Substitutionsmöglichkeiten in Produktion und Konsum,
- detaillierte Kalibrierung auf ein vorgegebenes Basisszenario, sog. «BAU» (Referenzentwicklung)
- Unterscheidung in Sektoren, welche am Emission Trading Scheme (ETS) teilnehmen und Sektoren ausserhalb des ETS,
- Emissionsvorschriften für Neuwagen (der Effekt der Emissionsvorschrift wird exogen vorgegeben),
- Gebäudeprogramm (Subvention)

Untersucht werden die folgenden drei Hauptszenarien (vgl. die Szenarien im Überblick weiter unten):

- «Szenario BR -20%»: Verbindliche Klimaziele ohne internationales Abkommen
- «Szenario BR -30%»: Verbindliche Klimaziele mit internationalem Abkommen
- «Szenario Klimainitiative»

Klimapolitische Instrumente:

- Emissionshandelssystem (ETS)
- CO<sub>2</sub>-Abgabe
- Kompensationspflicht bei Treibstoffen
- Gebäudeprogramm
- Emissionsvorschriften für Neuwagen

## Die Szenarien im Überblick

	Szenarien		
	«BR -20%»	«BR -30%»	«Klimainitiative»
CO2-Reduktionsziele bis 2020			
Total i.Vgl. zu 1990	-20%, davon min. die Hälfte im Inland	-30%, davon min. die Hälfte im Inland	-30%, davon (fast) alles im Inland
- ETS-Bereich i.Vgl. zu 2008/2012	-13%, davon 60% im Inland	-21%, davon 50% im Inland	-21%, davon 50% im Inland
- Brennstoffe i.Vgl. zu 1990	-25%, alles im Inland	-35%, alles im Inland	-37%, davon alles im Inland
- Treibstoffe i.Vgl. zu 1990	-25%, keine Inlandziele	-40%, keine Inlandziele	
Instrumente			
ETS	Schweizer Emissionshandelssystem (ohne Verknüpfung mit dem EU-ETS)		
CO2-Abgabe	CO2-Abgabe nur auf Brennstoffen		CO2-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffen
CO <sub>2</sub> -wirksame Massnahmen im Gebäudebereich	Subvention von energetischen Gebäudesanierungen im Umfang von 200 Mio. CHF/Jahr von 2013 bis 2020, finanziert aus CO2-Abgabe		
Emissionsvorschriften Neuwagen	Einführung von Emissionsvorschriften bei Neuwagen (angelehnt an die EU-Regelung)		
Finanzierungsabgabe Treibstoff	Abgabe auf Treibstoffen zur Finanzierung ausländischer Zertifikate (CDM-Markt)		

## Zentrale Annahmen

Referenz	<p>Referenzentwicklung BAU für 2020, Entwicklung ohne klimapolitische Massnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BIP-Entwicklung: Zunahme um +24% bis 2020 gegenüber 2005 (gemäss SECO)</li> <li>- Bevölkerungsentwicklung: Zunahme um +10% bis 2020 gegenüber 2005 (gemäss Bevölkerungsszenario Trend des BFS)</li> <li>- Klima: ohne Erwärmung</li> <li>- Ölpreis: 55 USD/Fass</li> </ul> <p>Zusätzlich: alternative Annahmen hinsichtlich Klima (+2°C bis 2050, d.h. +0.6°C bis 2020) und Ölpreis (100 USD/Fass)</p>
Modell / Ansatz	Berechenbares dynamisches Einländer-Gleichgewichtsmodell, top-down.
Zinssatz	k.A.
Energiepreise	Ölpreis: 55 USD/Fass (Preis 2005)
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Benzin 73.9 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Diesel: 73.6 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Kerosen: 73.2 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Heizöl: 73.7 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Erdgas: 55.0 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> <li>- Kohle: 94.0 t CO<sub>2</sub>/TJ</li> </ul>



Technologischer Fortschritt	<p>Autonomer technischer Fortschritt</p> <p>Im Modell wird der technische Fortschritt im Autobereich anhand der prognostizierten Flotte von Autos mit niedrigen und hohen CO<sub>2</sub>Grenzwerten berechnet.</p> <p>Ordnungsrechtliche Massnahmen (und allenfalls weitere Massnahmen, wie Bonus-Malus-System) wurden über exogen vorgegebene Energieeffizienzfortschritte erfasst, welche aus den Energieperspektiven und den Vorgaben zur BAU-Entwicklung abgeleitet werden.</p>
Potenzialbegriff	k.A.
Elastizitäten	- Treibstoffe: -0.2 (kurz- bis mittelfristig), -0.4 (mittel- bis langfristig), -0.6 (sehr langer Zeithorizont, ca. 50 Jahre)

#### d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien

ETHZ, IED, De Haan (2009)

CO<sub>2</sub>-Emissionen der PW-Neuzulassungen der Schweiz: Orientierung an der EU.

ETHZ, IED, De Haan (2009b), Umsetzung der 130g CO<sub>2</sub>/km-Strategie für die Schweiz: CO<sub>2</sub>-Reduktionseffekte 2012-2020

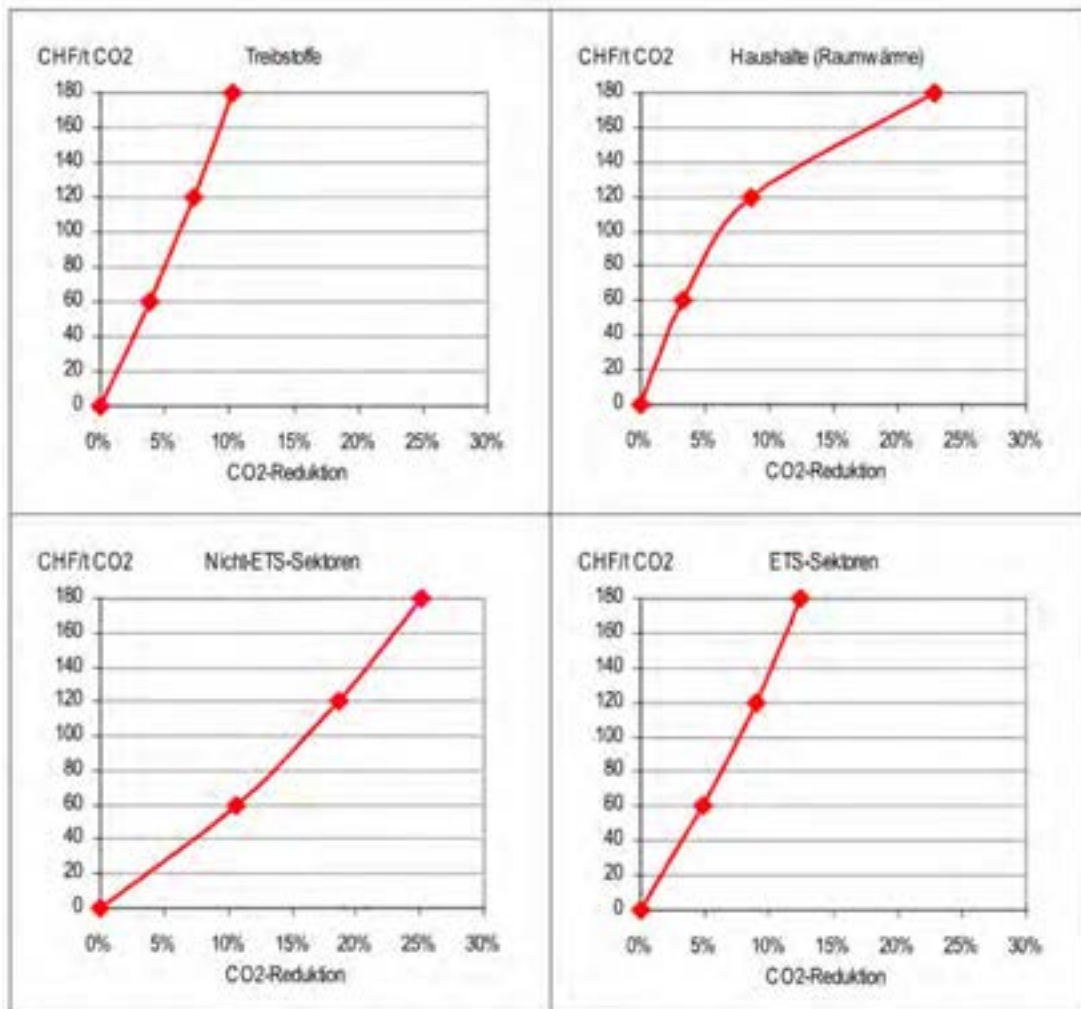
#### e) Resultate

##### THG Vermeidungspotenziale

In den analysierten Szenarien vorgegeben (vgl. Szenarien im Überblick weiter oben).

## THG Vermeidungskosten

Gesamtwirtschaftliche Vermeidungskostenkurve des dynamischen Gleichgewichtsmodells für vier Bereiche (Jahr 2020)



Lesbeispiel: Mit einer CO<sub>2</sub>-Abgabe von 60 CHF/t CO<sub>2</sub> werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Nicht-ETS-Bereich um rund 10% reduziert.

## 10.25 EPFL (2009): Assessment of the economic impacts of the revision of the Swiss CO<sub>2</sub> law with a hybrid model

Autor	Jahr	Titel
EPFL	2009	Assessment of the economic impacts of the revision of the Swiss CO <sub>2</sub> law with a hybrid model

### a) Art der Studie

Gesamtwirtschaftliche Analyse der vorgeschlagenen Massnahmen im Rahmen der Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes für den Verkehr- und den Gebäudesektor mit einem Hybridmodell (Kombination eines CGE- und zwei Energiemodellen).

### Sektoren und Verwendungszweck der untersuchten Massnahmen<sup>59</sup>

Sektoren						Verwendungszweck		
HH	I	DL	V	E	LW	W/G	FS/EE	L/K/P
X			X			X	X	

### b) Ziel und Auftrag

Detaillierte Modellierung des Transport- und des Gebäudesektors zur Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen von zukünftigen Klimaschutzmassnahmen.

### c) Methodik und Vorgehen

Verwendet wurde ein Hybridmodell: Kupplung einer aggregierten Version des GEMINI-E3 Modells mit den Energiemodellen MARKAL-CHRES und MARKAL-CHTRA.

Politikszenerarien:

- Szenario 1: Limitierte internationale Vereinbarungen welche nur zu einer geringen weltweiten Vermeidung führen
- Szenario 2: Internationale Vereinbarungen mit stärkerer weltweiten Vermeidung

Reduktionsmassnahmen:

- ETS für die energieintensiven Sektoren

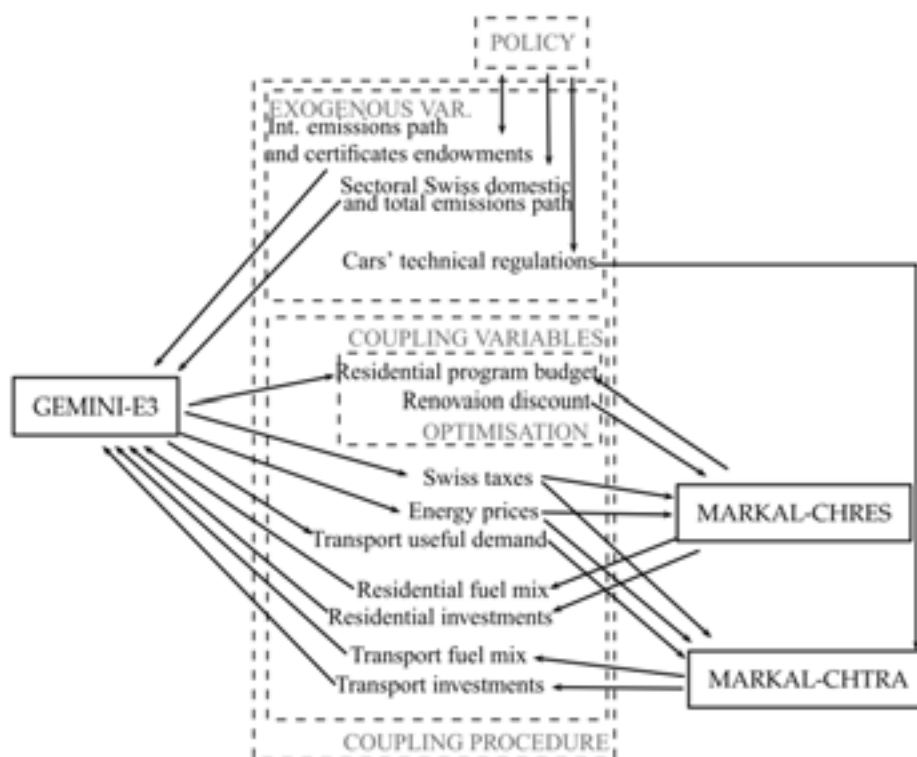
<sup>59</sup> HH: Haushalte, I: Industrie, DL: Dienstleistungen, V: Verkehr, E: Elektrizität, LW: Landwirtschaft  
W/G: Wärme / Gebäude, FS/EE: fuel switch / Erneuerbare Energien, L/K/P: Licht / Kälte / Prozesse

- Kompensationspflicht bei Treibstoffen: Die Importeure von Treibstoffen müssen zertifizierte Emissionsreduktionen (CER) zukaufen
- Steuer auf Brennstoffen (CO<sub>2</sub>-Abgabe)
- Gebäudeprogramm
- Emissionsvorschriften für Neuwagen

**Zentrale Annahmen**

- |          |  |
|----------|--|
| Referenz | - Basisjahr 2000 für das MARKAL-CHRES Energiemodell: Kalibriert auf Daten der IEA und Schweizer Statistiken. |
|          | - Baseline Szenario bis 2020, dividiert in Zeitperioden von je 5 Jahren                                      |

- Modell / Ansatz**      Hybridmodell: Kupplung einer aggregierten Version des GEMINI-E3 Modells mit den Energiemodellen MARKAL-CHRES und MARKAL-CHTRA
- Aggregierte Version des GEMINI-E3 Modells:* Rekursiv-dynamisches Gleichgewichtsmodell mit einer sehr detaillierten Abbildung der indirekten Steuern, welches die globale Volkswirtschaft in sechs Regionen und 18 Sektoren einteilt.
- Regionen:
- Schweiz
  - Europäische Union
  - Europäische und Euro-asiatische Länder
  - Japan
  - USA, Kanada, Australien und Neuseeland
  - Restliche Länder (hauptsächlich Entwicklungsländer)
- MARKAL-CHRES und MARKAL-CHTRA:* Bottom-up Energiesystemmodelle, welche das Schweizer Wohngebäude- und Transportenergiesystem beschreiben.
- Baseline Szenario bis 2050 möglich, Zeithorizont von 50 Jahren (dividiert in 11 Zeitperioden von je 5 Jahren)
  - Beinhalten 173 resp. 184 Technologien, welche unterschiedliche Energiequellen nutzen (Kohle, Öl, Diesel, Benzin, Erdgas, Elektrizität, Holz, Pellets und Fernwärme)



- Zinssatz**              Endogene reale Zinssätze, welche durch das Gleichgewicht zwischen Sparen und Investieren bestimmt werden. Die Zinssätze verbinden die verschiedenen Zeitperioden im Modell.
- Energiepreise**        Ölpreis: 50 USD/Fass bis 2020
- Technologischer Fortschritt**    Im GEMINI-E3 Modell berücksichtigt.
- Potenzialbegriff**      k.A:

**d) Quellen / Verflechtung mit anderen Studien**

Ecoplan (2009)

Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto-Politik.

**e) Resultate****THG Vermeidungspotenziale**

Exogen, durch Politikszenarios vorgegeben.

Baseline Szenario:

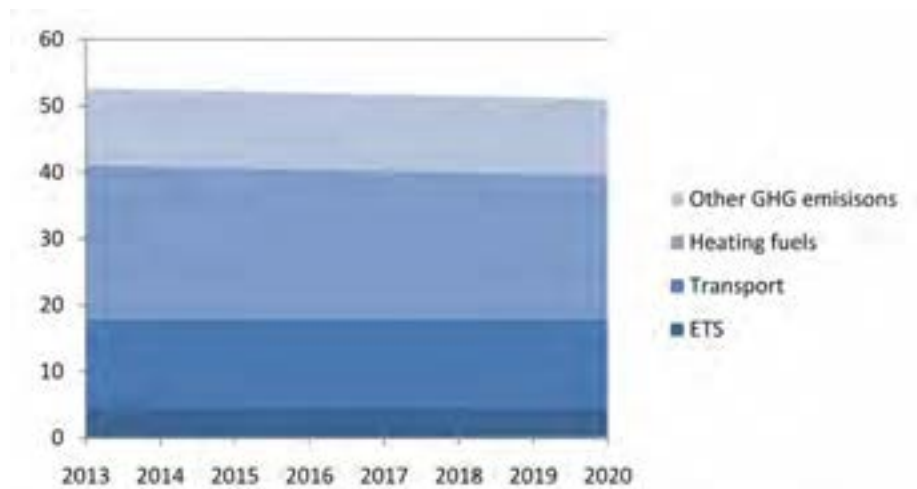


Figure 2.4: Baseline emissions path in Switzerland (MtCO<sub>2</sub>eq)

## Szenario 1:

**Table 2.8:** Swiss emissions reduction targets (% of 1990 emissions)

	Scenario 1		Scenario 2	
	2020	2050	2020	2050
ETS <sup>a</sup>	-1.75 % p.a.		-2.9 % p.a.	
Max. Certif.	40%		50%	
Transport <sup>b</sup>	25%	75%	40%	100%
Technical regulations on cars	target on average emissions of new cars <sup>c</sup>			
Heating fuels <sup>b</sup>	25%	50%	35%	80%
Residential program (2010-2020)	200 Mio CHF p.a. <sup>d</sup>			
Max. of certificates <sup>b</sup> (% of 1990 GHG)	9%	25%	14%	36%

<sup>a</sup> Starts in 2013 on the basis of the average emissions in the period 2008-2012

<sup>b</sup> The values of the objectives increase linearly over the periods 2010-2020 and 2020-2050.

<sup>c</sup> Modeled as a ban on *standard* cars as of 2015

<sup>d</sup> Modeled as a discount on refurbishment costs (energy saving technologies)

## Internationale Szenarien (für Szenario 2 High):

**Table 2.9:** International emissions reduction targets (% of 2001 emissions)

Target year Scenario	2020		2050	
	Low	High	Low	High
CHE	22	32	50	73
EUR	20	30	50	75
OEC	20	30	50	80
JAP	20	30	50	80
OEU	- <sup>a</sup>	10	30	50
DCS	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	25 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> baseline emissions

<sup>b</sup> % of 2030 emissions

**THG Vermeidungskosten**

Szenario 1:

**Table 2.10:** Swiss environmental taxes and prices of certificates/allowances in scenario 1  
(CHF<sub>2008</sub>/tCO<sub>2</sub>eq)

	2013	2015	2020
Transport CO <sub>2</sub> levy	0.07	0.25	1.15
Heating fuels tax	57.51	91.43	212.94
ETS allowance price	1.26	3.20	12.29
World certificate price	1.26	2.10	2.41

Szenario 2:

**Table 2.16:** Swiss environmental taxes and prices of certificates/allowances in scenario 2  
(CHF<sub>2008</sub>/tCO<sub>2</sub>eq)

	2013	2015	2020
Transport CO <sub>2</sub> levy	0.39	1.09	4.52
Heating fuels tax	74.35	153.08	467.85
ETS allowance price	3.89	10.10	27.86
World certificate price	3.50	5.50	11.14



## Literaturverzeichnis

Für die Literaturangaben zu den analysierten Studien vgl. Anhang A: Analyisierte Studien im Überblick, S. 59.

Hjorth J., Raes F. (2009)

Answers to the Gothenburg Questions - ACCENTs Second Policy-Driven Synthesis.  
Urbino, Italy.

Adam B. Jaffe, Richard G. Newell, Robert N. Stavins (1999)

Energy-Efficient Technologies and Climate Change Policies: Issues and Evidence.  
Climate Issue Brief No. 19. Washington, DC.

Amann Markus, Rafaj Peter, Höhne Niklas (2009)

GHG mitigation potentials in Annex I countries. Comparison of model estimates for 2020.  
Interim Report. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Laxenburg.

Amann, M., I. Bertok, J. Borken, J. Cofala et al. (2008)

GAINS - Potentials and costs for greenhouse gas mitigation in Annex I countries.  
International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Laxenburg, Austria.

Amann, M., P. Rafaj, N. Hoehne (2009)

GHG mitigation potentials in Annex I countries. Comparison of model estimates for 2020.  
International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Laxenburg, Austria.

Allcott H., Greenstone Michael (2012)

Is There an Energy Efficiency Gap? In: Journal of Economic Perspectives, Volume 26,  
Number 1, Winter 2012, S. 3-28. Pittsburgh.

BFE Bundesamt für Energie (2007)

Die Energieperspektiven 2035. Band 1-5. Bern.

BFE Bundesamt für Energie (2008)

Analyse finanzieller Massnahmen im Energiebereich: Theoretische Reflexion der  
Wirkungsweise und Auswertung empirischer Studien. Bern.

Botschaft über die Schweizer Klimapolitik nach 2012 (Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes und  
eidgenössische Volksinitiative «Für ein gesundes Klima»)

Vom 26. August 2009. SR. 09.067.

Hoogwijk Monique (Ecofys), van Vuuren Detlef P. (PBL), Boeters Stefan (CPB), Blok Kornelis  
(Ecofys) et al. (?)

Sectoral Emission Mitigation Potentials: Comparing Bottom-Up and Top-Down  
Approaches. Study within the framework of the Netherlands Research Programme on  
Scientific Assessment and Policy Analysis for Climate Change (WAB).

McKinsey&Company (2007)

Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany. A report by  
McKinsey&Company, Inc., on behalf of "BDI initiativ – Business for Climate". Berlin.

- Hammingh P., Smekens K.E.L., Plomp A.J., Koelemeijer R.B.A. (2010)  
Co-impacts of climate policies on air polluting emissions in the Netherlands. Final report of the Dutch Research Programme on Air and Climate (BOLK). The Hague.
- Sorrell Steve (2007)  
The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency A report produced by the Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre.
- Pleijel H. (Hrsg.) (2009)  
Air pollution & climate change. Two sides of the same coin? Stockholm, Swedish Environmental Protection Agency.
- Ullstein B (2011)  
Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone. UNEP, WMO. Banson UK. Online im Internet: [http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black\\_Carbon.pdf](http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black_Carbon.pdf) (16.05.2012).
- UNEP (2011)  
Near-term climate protection and clean air benefits: Actions for controlling short-lived climate forcers. United Nations Environmental Programme (UNEP). Nairobi, Kenia. Online im Internet: [http://www.unep.org/pdf/Near\\_Term\\_Climate\\_Protection\\_&\\_Air\\_Benefits.pdf](http://www.unep.org/pdf/Near_Term_Climate_Protection_&_Air_Benefits.pdf) (16.05.2012).