

Im Auftrag des WWF Schweiz

---

# Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen: Gutachten zu Sekundärnutzen durch Luftschadstoffreduktion

---

Schlussbericht  
16. Februar 2009

---

**Erarbeitet durch**

econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich  
www.econcept.ch / + 41 44 286 75 75

**AutorInnen**

Walter Ott, lic. oec. publ., Raumplaner ETH/NDS, dipl. El. Ing. ETH  
Cornelia Staub, lic. oec. publ.

Dateiname: sekundärnutzen\_wwf\_09\_02\_16.doc Speicherdatum: 16. Februar 2009

# Inhalt

	<b>Zusammenfassung</b>	<b>i</b>
	<b>Résumé</b>	<b>iii</b>
<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Fragestellungen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Monetäre Sekundärnutzen</b>	<b>2</b>
2.1	Datenbasis	2
2.2	Reduktion von CO <sub>2</sub> -Emissionen	2
2.3	Identifikation und Berechnung der Sekundärnutzen	4
2.4	Ergebnis: Sekundärnutzen aus Luftschadstoff-Emissionsreduktionen	5
<b>3</b>	<b>Anzahl vermiedener Krankheits- und Todesfälle</b>	<b>9</b>
3.1	Gesundheitsschäden durch Luftschadstoffe	9
3.2	Kostensätze und Berechnung	9
3.3	Ergebnis: Anzahl vermiedener Krankheitsbilder aus Luftschadstoff-Emissionsreduktionen	10
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>12</b>
	<b>Literatur</b>	<b>13</b>

## Zusammenfassung

Die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen führt gleichzeitig zu einer Reduktion von anderen Luftschadstoffen. Dadurch werden Schäden in den Bereichen Gesundheit, Gebäude, Ernten, Biodiversität und Biosphäre vermieden, die in monetarisierter Form sogenannte Sekundärnutzen (bzw. Zusatznutzen) der CO<sub>2</sub>-Reduktion darstellen.

In der hier vorliegenden Ergänzungsstudie zu «Reduktion Treibhausgasemissionen: Gutachten Sekundärnutzen» (econcept, 2008) werden diese Sekundärnutzen für drei mögliche Zielsetzungen der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion berechnet: -20%, -30% und -40% gegenüber 1990. Dabei werden lediglich die zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen gegenüber einem Referenzszenario im Jahr 2020 als Quelle für Sekundärnutzen berücksichtigt. Das Referenzszenario stellt die Emissionsentwicklung bis 2020 ohne zusätzliche politische Massnahmen (Stand 2008) dar. Im Jahr 2020 erreicht das Referenzszenario eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion von 9.6% gegenüber 1990.

Die Ermittlung der Sekundärnutzen dient als Informationsgrundlage zur Festlegung der Klimapolitik bis 2020. Die Variante -20% CO<sub>2</sub>-Emissionen (im Inland) entspricht der ursprünglichen Zielsetzung des BAFU (neu -15%). Die Variante -30% entspricht der hängigen «Volksinitiative für ein gesundes Klima». Die Variante -40% entspricht gemäss der «Allianz für eine verantwortungsvolle Klimapolitik» dem angemessenen Beitrag der Schweiz zur Einhaltung des 2°C-Ziels<sup>1</sup>.

Figur 1 zeigt die Sekundärnutzen der drei Reduktionsvarianten gegenüber der im Referenzszenario bis 2020 angenommenen Entwicklung, aufgeschlüsselt nach Energieträger. Darin enthalten sind die Sekundärnutzen aus allen oben genannten Bereichen (Gesundheit, Gebäude, Ernten, Biodiversität und Biosphäre). Der überproportionale Anstieg der Sekundärnutzen von der Variante -20% bis zur Variante -40% CO<sub>2</sub>-Emissionen um 2020 hat 2 Gründe:

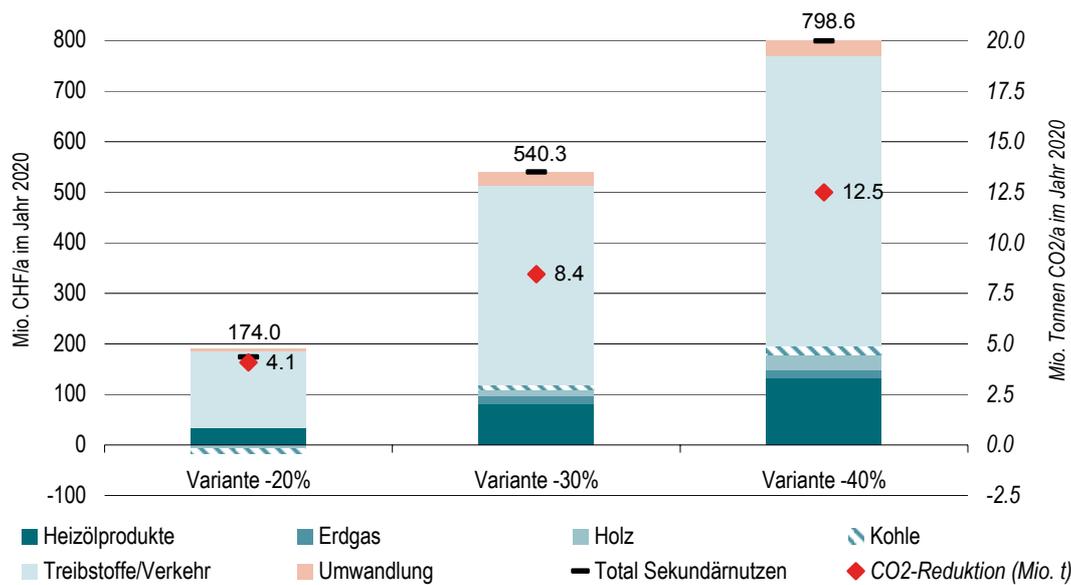
- Nur die gegenüber dem Referenzszenario (-9.6% CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020) zusätzlich erzielten CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben zusätzliche Sekundärnutzen: Variante -20% weist Sekundärnutzen für die Reduktion von 10.4% CO<sub>2</sub>-Emissionen aus (20% - 9.6%); bei der Variante -30% sind es 20.4% und bei der Variante 40% wären es 30.4%.
- Die Sekundärnutzen pro Tonne reduzierte CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen für die Varianten -30% und -40% um rund 50% höher. Dies ist auf eine zunehmende Reduktion der Luftschadstoffe pro Tonne CO<sub>2</sub>-Minderung zurückzuführen. Die Vorteile des aktiven Klimaschutzes nehmen somit mit steigenden Anstrengungen überproportional zu.

---

<sup>1</sup> Das 2°C-Ziel beinhaltet die Beschränkung der globalen Klimaerwärmung auf unter 2 Grad Temperaturzunahme gegenüber vorindustriellem Niveau.

Drei Viertel der Sekundärnutzen durch die Reduktion von Luftschadstoffen sind vermiedene externen Kosten im Gesundheitsbereich. Deshalb wird in Tabelle 1 dieser Bereich weiter nach Krankheits- und Todesfällen aufgeschlüsselt (sogenannten Krankheitsbildern). Um die Bedeutung der einzelnen Krankheitsbilder für die Sekundärnutzen im Gesundheitsbereich anzugeben, werden in der letzten Spalte die prozentualen Anteile pro Krankheitsbild ausgewiesen. Die übrigen Spalten zeigen die Aufschlüsselung für die drei Varianten in nicht-monetärer Form (Anzahl vermiedener Krankheitsbilder).

#### «Sekundärnutzen der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen: Varianten -20%, -30%, -40%»



econcept

Figur 1: Sekundärnutzen der Reduktion von Luftschadstoffemissionen infolge der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Schweiz (gegenüber der Referenzentwicklung), jeweils differenziert nach Energieträger (Mio. CHF/a im Jahr 2020) sowie die Reduktion der schweizerischen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2020 gegenüber dem Referenzszenario: Werte für die Emissionsreduktionsvarianten -20%, -30% und -40% CO<sub>2</sub>-Emissionen (Quelle: Eigene Berechnungen).

#### «Anzahl vermiedener Krankheits- und Todesfälle 2020: Varianten -20%, -30%, -40%»

[ Anzahl vermiedener Krankheits- und Todesfälle pro Jahr im Jahr 2020]	Variante -20%	Variante -30%	Variante -40%	% Anteil Sekundärnutzen
Verlorenes Lebensjahr	1'175	3'685	5'457	80.8%
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	163	511	757	0.2%
Spitaltage wegen Herz-/ Kreislaufferkrankungen	286	896	1'327	0.4%
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	31	97	144	9.9%
Akute Bronchitis bei Kindern	1'256	3'941	5'836	0.3%
Asthmaanfälle bei Erwachsenen (≥15 Jahre)	1'766	5'539	8'203	0.1%
Tage mit eingeschränkter Aktivität (Erw. ≥20 Jahre)	55'055	172'700	255'737	8.3%

Tabelle 1: Anzahl vermiedene Krankheitsbilder (Krankheits- und Todesfälle) in der Schweiz im Jahr 2020 durch die Reduktion von Luftschadstoffen bei den CO<sub>2</sub>-Reduktionsvarianten -20%, -30% und -40% (Quelle: Eigene Berechnungen).

## Résumé

La diminution des émissions de CO<sub>2</sub> entraîne la réduction d'autres polluants atmosphériques et permet ainsi d'éviter un certain nombre de dommages pour la santé, le bâtiment, l'agriculture, la biodiversité et la biosphère; on appelle cela les «bénéfices secondaires» ou «bénéfices supplémentaires» de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

Cette étude complète celle relative aux bénéfices secondaires de la réduction des émissions de gaz à effet de serre («Reduktion Treibhausgasemissionen: Gutachten Sekundärnutzen», econcept, 2008) et détermine les bénéfices secondaires pour chacun des trois objectifs de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>: -20%, -30% et -40% par rapport à 1990. Elle ne prend en compte que les réductions de CO<sub>2</sub> supplémentaires par rapport au scénario de référence d'ici 2020 comme sources de bénéfices secondaires. Celui-ci montre l'évolution des émissions d'ici 2020 si aucune mesure politique supplémentaire n'est prise (à compter de 2008). Il prévoit pour 2020 une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 9,6% par rapport à 1990.

Le calcul des bénéfices secondaires permet de disposer d'une base afin de définir la politique climatique à adopter d'ici 2020. La variante «-20%» (en Suisse) correspond à l'objectif initial de l'OFEV (-15% à présent), celle de «-30%» prend en compte «l'Initiative populaire fédérale pour un climat sain», actuellement en cours, et celle de «-40%» suppose la participation de la Suisse à «l'Alliance pour une politique climatique responsable» afin d'atteindre l'objectif 2°C<sup>2</sup>.

Le graphique 1 (Figur 1) montre les bénéfices secondaires que les trois variantes permettraient d'obtenir par rapport à l'évolution prévue par le scénario de référence d'ici 2020, pour chacune des différentes sources d'énergie. Ces bénéfices secondaires englobent tous les secteurs cités précédemment (santé, bâtiment, agriculture, biodiversité et biosphère). L'augmentation non linéaire des bénéfices secondaires entre les variantes «-20%» et «-40%» est due à deux raisons:

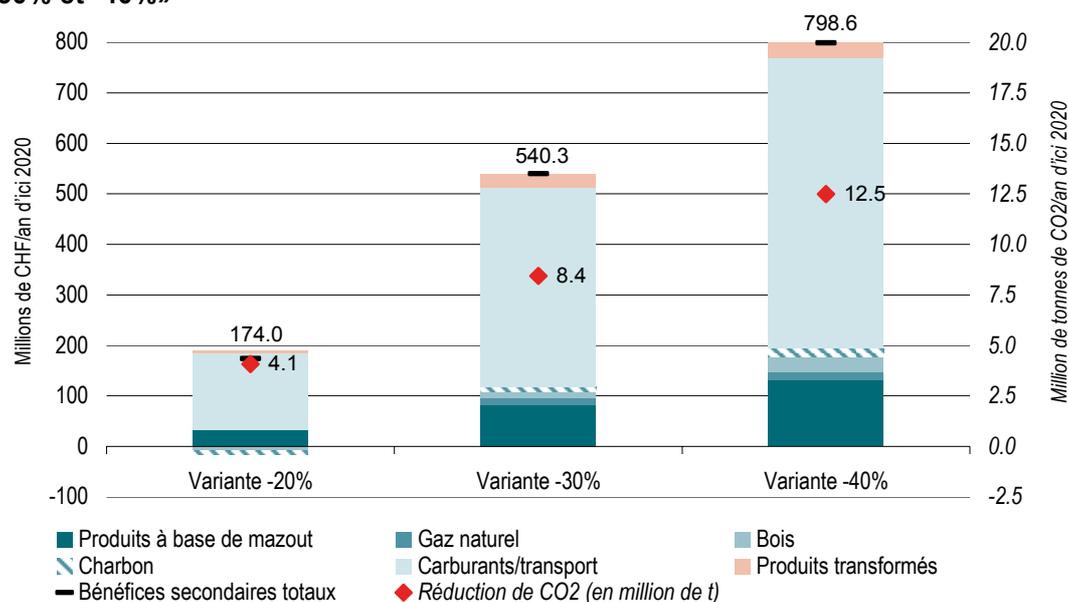
- Seules les émissions de CO<sub>2</sub> supplémentaires par rapport au scénario de référence (-9,6% d'ici 2020) sont prises en compte: la variante «-20%» permet des bénéfices secondaires de 10,4% (20% - 9,6%), contre 20,4% pour la variante «-30%» et 30,4% pour la variante «-40%».
- Les bénéfices secondaires par tonne d'émissions de CO<sub>2</sub> en moins sont environ 50% plus importants avec les variantes «-30%» et «-40%», ce qui est dû à une réduction croissante des polluants atmosphériques par tonne de CO<sub>2</sub> en moins. Une protection active du climat permet donc une augmentation proportionnellement supérieure des bénéfices.

---

<sup>2</sup> L'objectif 2°C consiste à limiter le réchauffement climatique global à moins de 2° par rapport au niveau de l'époque préindustrielle.

Les trois quarts des bénéfices secondaires permis par la réduction des polluants atmosphériques offrent des potentiels d'économie dans le domaine de la santé. Le tableau 1 (Tableau 1) indique le nombre de cas de maladie et de décès (signes cliniques) évités grâce aux différentes variantes. La dernière colonne fournit, pour chaque signe clinique, le pourcentage en termes de bénéfices secondaires réalisés dans le secteur de la santé. Les autres colonnes montrent quant à elles le nombre de cas en valeur absolue pour chacune des trois variantes.

### «Bénéfices secondaires de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>: variantes -20%, -30% et -40%»



econcept

Graphique 1: Bénéfices secondaires de la réduction des émissions de polluants atmosphériques consécutives à la diminution des émissions de CO<sub>2</sub> en Suisse (par rapport au scénario de référence) par source d'énergie (en million de CHF/an d'ici 2020), et réduction des émissions suisses de CO<sub>2</sub> d'ici 2020 par rapport au scénario de référence: valeurs pour chacune des variantes -20%, -30% et -40% (Source: calculs internes).

### «Nombre de cas de maladie et de décès évités 2020: variantes -20%, -30% et -40%»

[Nombre de cas de maladie et de décès évités par an d'ici 2020]	Variante -20%	Variante -30%	Variante -40%	Pourcentage de bénéfices secondaires
Nombre d'années de vie en moins	1'175	3'685	5'457	80.8%
Jours d'hospitalisation en raison de maladies respiratoires	163	511	757	0.2%
Jours d'hospitalisation en raison de maladies cardio-vasculaires	286	896	1'327	0.4%
Bronchites chroniques (adultes)	31	97	144	9.9%
Bronchites aiguës (enfants)	1'256	3'941	5'836	0.3%
Crises d'asthme (adultes ≥ 15 ans)	1'766	5'539	8'203	0.1%
Jours d'activité limitée (adultes ≥ 20 ans)	55'055	172'700	255'737	8.3%

Tableau 1: Nombre de signes cliniques évités (maladie et décès) en Suisse d'ici 2020 grâce à la réduction des polluants atmosphériques pour les variantes -20%, -30% et -40% (Source: calculs internes).

# 1 Ausgangslage und Fragestellungen

In der Studie «Reduktion Treibhausgasemissionen: Gutachten Sekundärnutzen» im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (2008) hat econcept unter anderem die durch die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehenden Sekundärnutzen aus Luftschadstoffreduktionen quantifiziert und monetarisiert. Darin wurde eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion in der Schweiz von 20% im Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 1990 betrachtet.

In der hier vorliegenden Ergänzungsstudie werden nun zusätzlich die Sekundärnutzen durch die Luftschadstoffreduktionen bei einer CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion von 30% und 40% gegenüber 1990 berechnet.

Die Abschätzung der Sekundärnutzen dient als Informationsgrundlage zu Festlegung der Klimapolitik bis 2020. Die Variante -20% CO<sub>2</sub> –Emissionen (im Inland) entspricht der ursprünglichen Zielsetzung des BAFU (neu -15%). Die Variante 30% entspricht der hängigen Volksinitiative «für ein gesundes Klima». Die Variante -40% entspricht gemäss der «Allianz für eine verantwortungsvolle Klimapolitik» dem angemessenen Beitrag der Schweiz zur Einhaltung des 2°C-Ziels<sup>3</sup>.

Für die Sekundärnutzen, resultierend aus reduzierten externen Kosten im Gesundheitsbereich, werden zudem die zugrunde liegenden, nicht monetären Werte ausgewiesen. Konkret sind dies die Anzahl Krankheitsbilder bzw. Gesundheitsschäden, die durch die Reduktion der Luftschadstoffemissionen vermieden werden. Diese Berechnung wird für die Varianten -20%, -30% und -40% Reduktion vorgenommen.

Der Bericht ist folgendermassen gegliedert:

- Kapitel 2 enthält die monetären Sekundärnutzen im Jahr 2020: Zunächst werden in den Abschnitten 2.1 und 2.2 die Datenbasis und die Varianten der CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen erläutert. Abschnitt 2.3 beschreibt den Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und den für die Genierung von Sekundärnutzen relevanten Luftschadstoffen. Dabei werden auch die Grenzkostensätze der Luftschadstoffemissionen aufgeführt. Abschnitt 2.4 umfasst die resultierenden Sekundärnutzen in graphischer und tabellarischer Form.
- Kapitel 3 dokumentiert die Aufschlüsselung der Sekundärnutzen im Gesundheitsbereich. Die vermiedenen Krankheitsbilder werden in Abschnitt 3.1 aufgelistet und in 3.2 die entsprechenden Kostensätze pro Krankheitsbild erläutert. Die Ergebnisse in Form von «Anzahl vermiedener Krankheitsbilder» bilden Abschnitt 3.3.
- Kapitel 4 enthält schliesslich die wichtigsten Schlussfolgerungen.

---

<sup>3</sup> Das 2°C-Ziel beinhaltet die Beschränkung der globalen Klimaerwärmung auf unter 2 Grad Temperaturzunahme gegenüber vorindustriellem Niveau.

## 2 Monetäre Sekundärnutzen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen in den einzelnen Varianten -20%, -30% und -40% werden gegenüber dem Emissionsniveau 1990 bestimmt. Die Sekundärnutzen der drei Varianten basieren auf den CO<sub>2</sub>-Reduktionen und den damit verbundenen Luftschadstoffreduktionen gegenüber dem Emissionsniveau des Referenzszenarios 2020 (-9.57% Emissionsreduktion gegenüber 1990). Hier stehen ausschliesslich die Sekundärnutzen zusätzlicher Anstrengungen zur Emissionsreduktion im Mittelpunkt, d.h. die Variante -20% weist Sekundärnutzen für die Reduktion von 20% - 9.57% = 10.43% CO<sub>2</sub>-Emissionen aus.

### 2.1 Datenbasis

Die hier angestellten Berechnungen basieren auf den Daten der Energieperspektiven bis ins Jahr 2035, welche durch das BFE erarbeitet wurden. Sie bilden eine Grundlage für die politische Diskussion zur künftigen Ausgestaltung der schweizerischen Energie- und Klimapolitik und stellen eine allgemein anerkannte Datengrundlage für weitere Berechnungen dar.

Die Perspektiven umfassen vier Szenarien: I «Weiter wie bisher», II «Verstärkte Zusammenarbeit», III «Neue Prioritäten» und IV «Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft». Diese Szenarien basieren auf einer unterschiedlichen Ausgestaltung wirtschaftlich-demographischer Entwicklungen und energiepolitischer Rahmenbedingungen und Instrumente. Als Ergebnisse werden auch die resultierenden Emissionen von CO<sub>2</sub> und anderen Luftschadstoffen ausgewiesen (Prognos 2007a und b). Die Energieperspektiven enthalten somit Daten über den für diesen Bericht fundamentalen Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklung und der Entwicklung anderer Luftschadstoffemissionen bei unterschiedlichen Politikvarianten.

Band 3 der Energieperspektiven zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Szenarien enthält auch Angaben zu den externen Kosten des Energiesektors (Ecoplan 2007). Die darin ausgewiesenen Grenzkostensätze von Luftschadstoffen basieren weitgehend auf Schätzungen des Bundesamtes für Raumentwicklung zu den externen Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftschadstoffemissionen in der Schweiz für das Jahr 2000 (ARE 2004a).

### 2.2 Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen

#### *Referenzszenario 1990 bis 2020*

Das Referenzszenario entspricht dem «Szenario II, BIP hoch» der Energieperspektiven des BFE und enthält bereits eine CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe auf Brennstoffe von 35 CHF / t CO<sub>2</sub>. Das Referenzszenario dient der Darstellung der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

ohne zusätzliche politische Massnahmen gegenüber dem heutigen Stand (2008). Im Referenzszenario wird im Jahr 2020 eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion von 9.57% gegenüber 1990 erreicht (von 41.8 auf 37.7 Mio. t CO<sub>2</sub>/a).

*Variante 20%: Reduktion um 20% im Jahr 2020 gegenüber 1990<sup>4</sup>*

-20% CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechen einer Emissionsreduktion auf 33.4 Mio. t CO<sub>2</sub>/a im Jahr 2020. Diese Variante basiert auf dem «Szenario III, BIP hoch, Variante E» der Energieperspektiven, in dem bis 2020 eine Reduktion auf 34.8 Mio. t erreicht wird. Durch Extrapolation der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion und der Luftschadstoffreduktion wird das «Szenario III, BIP hoch» zur Erreichung des hier vorgegebenen Reduktionsziels angepasst.

*Variante 30%: Reduktion um 30% im Jahr 2020 gegenüber 1990*

-30% CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechen einer Emissionsreduktion auf 29.3 Mio. t CO<sub>2</sub>/a im Jahr 2020. Diese Variante basiert auf dem «Szenario IV, BIP hoch, Variante E», in dem bis 2025 eine Reduktion auf 28.9 Mio. t erreicht wird. Die geringe Zielüberschreitung wird entsprechend berücksichtigt.

*Variante 40%: Reduktion um 40% im Jahr 2020 gegenüber 1990*

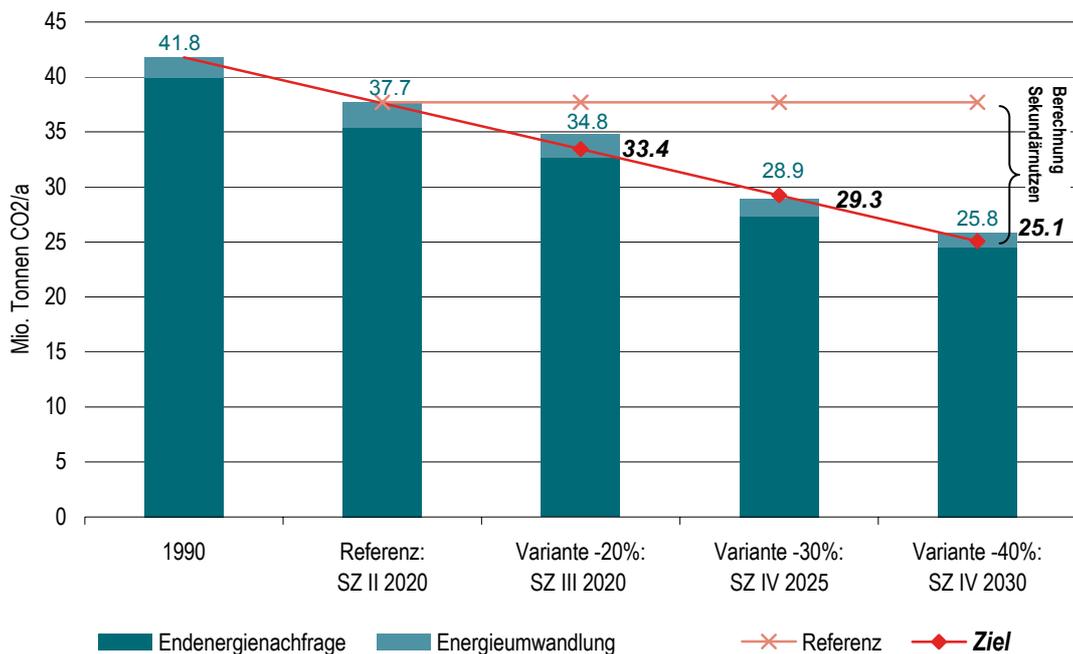
-40% CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechen einer Emissionsreduktion auf 25.1 Mio. t CO<sub>2</sub>/a im Jahr 2020. Diese Variante basiert auf dem «Szenario IV, BIP hoch, Variante E», in dem bis 2030 eine Reduktion auf 25.8 Mio. t erreicht wird. Die geringe Zielunterschreitung wird entsprechend berücksichtigt.

Figur 2 stellt die Verwendung der verschiedenen Szenarien der Energieperspektiven zur Berechnung der Varianten -20%, -30% und -40% grafisch dar. Zudem wird ersichtlich, dass die Sekundärnutzen nachfolgend nicht auf der gesamten CO<sub>2</sub>-Reduktion gegenüber 1990, sondern lediglich auf der Reduktion gegenüber dem Referenzszenario 2020 berechnet werden.

---

<sup>4</sup> In der Studie für das BAFU (econcept 2008) wurde die Reduktion basierend auf der «Variante **A**» des «Szenario III, BIP hoch» berechnet. Dabei wurden die Emissionen der Energieumwandlung konstant gehalten und die CO<sub>2</sub>-Reduktion wurde vollständig auf der Endenergienachfrage berechnet. Aus Konsistenzgründen zu den Varianten -30% und -40% wird hier auch für die Variante -20% die «Variante **E** des Szenario III, BIP hoch» verwendet. Die Emissionen der Energieumwandlung werden aufgrund der relevanten Reduktionen in diesem Bereich nicht konstant gehalten. Dadurch ergeben sich abweichende Werte gegenüber der ersten Studie.

## «Szenarien der Energieperspektiven und die Reduktionsvarianten»



econcept

Figur 2: Verwendung verschiedener Szenarien der Energieperspektiven zur Berechnung der Varianten -20%, -30% und -40%. Die blauen Balken zeigen die Emissionswerte pro Jahr für das Ausgangsjahr 1990, sowie für die verwendeten Szenarien in den Energieperspektiven aufgeteilt nach Endenergienachfrage und Energieumwandlung<sup>5</sup>. Bei der Szenarienwahl wurde auf möglichst geringe Abweichungen zwischen Zielsetzung und Szenarienwerten geachtet. Die Sekundärnutzen der Varianten werden lediglich auf der Differenz zum Referenzszenario berechnet.

### 2.3 Identifikation und Berechnung der Sekundärnutzen

Die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird grösstenteils durch die Reduktion der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe erreicht. Dadurch werden nicht nur CO<sub>2</sub>-Emission, sondern auch andere Luftschadstoffemissionen reduziert. Die bei der Verbrennung entstehenden Luftschadstoffemissionen variieren stark je nach Brenn- und Treibstoff sowie verwendeter Technologie. Als wichtigste zu nennen sind Feinstaub (PM<sub>10</sub>) und Stickoxide (NO<sub>x</sub>)<sup>6</sup>. Bei den im Folgenden berechneten Sekundärnutzen handelt es sich um eingesparte externe Kosten aufgrund von Luftschadstoffemissionsreduktionen. Dies sind:

- Gesundheitsschäden
- Gebäude- und Materialschäden
- Ernteausfälle
- Beeinträchtigung der Biosphäre
- Beeinträchtigung der Biodiversität

<sup>5</sup> Der Umwandlungssektor umfasst die Emissionen der Energieumwandlung bei der Strom- und bei der Fernwärmeproduktion sowie bei sonstiger Energieumwandlung, jedoch ohne die Emissionen des Raffinerie-Eigenverbrauchs.

<sup>6</sup> Relevant sind beispielsweise auch Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>) sowie flüchtige organische Verbindungen (VOC).

Ecoplan (2007) berechnete Kostensätze für die externen Grenzkosten für Gesundheits-, Gebäude- und Materialschäden durch primäres PM<sub>10</sub> und NO<sub>x</sub>. Die externen Kosten von SO<sub>2</sub> und VOC (17% der externen Kosten) werden anteilmässig hochgerechnet.

- Externe Grenzkosten für primäres PM<sub>10</sub>: 127'000 CHF/Tonne
- Externe Grenzkosten für NO<sub>x</sub>: 33'000 CHF/Tonne

Basierend auf den externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs (ARE 2004a-d) werden je die Grenzkosten für Ernteauffälle und die Beeinträchtigung der Biosphäre und der Biodiversität berechnet, die sich gesamthaft auf 6'177 CHF/Tonne NO<sub>x</sub> belaufen.

Anhand dieser Grenzkostensätze und der Entwicklung der Luftschadstoffemissionen in den Szenarien der Energieperspektiven berechnen sich die Sekundärnutzen.

## 2.4 Ergebnis: Sekundärnutzen aus Luftschadstoff-Emissionsreduktionen

Im Folgenden werden die Sekundärnutzen aus Luftschadstoff-Emissionsreduktionen für die drei Varianten grafisch dargestellt (Figur 3 - Figur 5). Die Werte, differenziert nach Verbrauchergruppen und Energieträgern, finden sich in Tabelle 2. Die totalen Sekundärnutzen der Variante -20% betragen 174 Mio. CHF/a. Die Variante -30% generiert ein Dreifaches an Sekundärnutzen von 540 Mio. CHF/a. Die Sekundärnutzen der Variante -40% betragen 798.6 Mio. CHF/a (Faktor von 4.6 gegenüber der Variante -20%).

Die Reduktion des Treibstoffverbrauchs im Bereich Verkehr führt zu den grössten Sekundärnutzen pro vermiedene Tonne CO<sub>2</sub>. Auch absolut wird der Grossteil der Sekundärnutzen im Verkehrsbereich generiert. Allerdings sinkt der Sekundärnutzenanteil der Emissionsminderungen im Verkehr von 87% bei der Variante -20% auf 73% respektive 72% bei den Varianten -30% und -40%. Diese Entwicklung kann sowohl auf Ebene Verbrauchergruppen als auch auf Ebene Energieträger analysiert werden.

- Energieträger. Der geringe Anstieg des Holz- und Kohleverbrauchs<sup>7</sup> führt bei der Variante -20% zu einer Zunahme der Luftschadstoffemissionen und damit zu negativen Sekundärnutzen. Bei der Variante -30% und -40% wird diese Entwicklung umgekehrt. Die Luftschadstoffemissionen durch den Holz- und Kohleverbrauch sinken aufgrund eines Verbrauchrückgangs. Zusätzlich führen beim Energieträger Holz verbesserte Filtersysteme zu einem Emissionsrückgang von PM<sub>10</sub> pro verbrauchter Holzmenge und damit zu weiteren Sekundärnutzen.

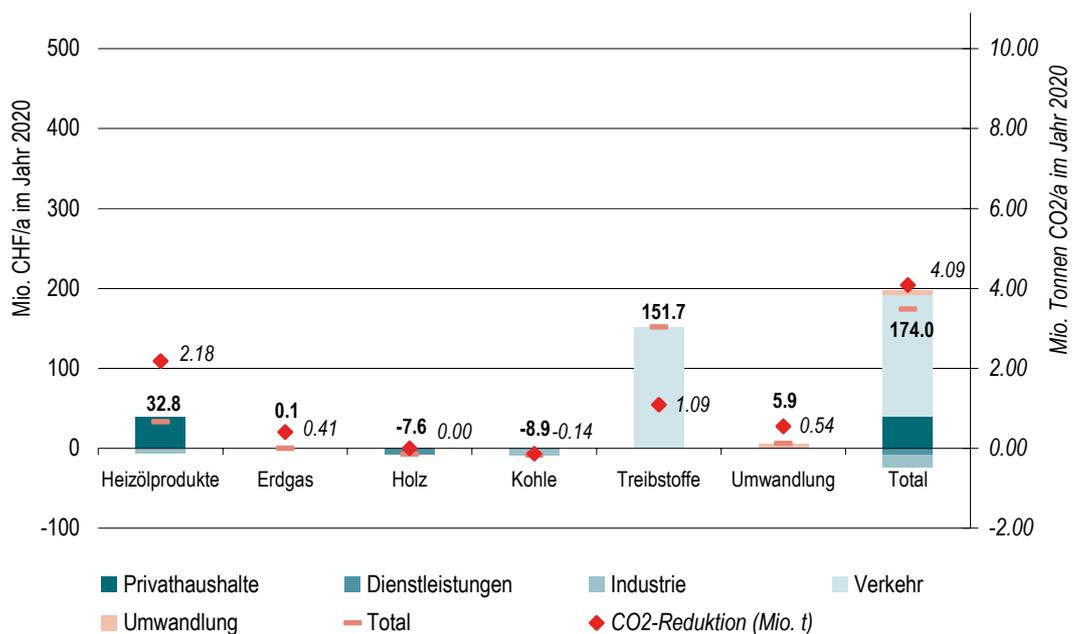
Generell steigt bei den Varianten -30% und -40% der prozentuale Anteil aller Energieträger an den Sekundärnutzen, während der des Treibstoffverbrauchs abnimmt.

<sup>7</sup> Die Tatsache, dass die Schätzung des Kohleverbrauchs für das Jahr 2020 im Szenario III (→ Variante -20%) höher liegt als im Szenario II (→ Referenz), wird in den Energieperspektiven nicht erläutert (Kohle gedeckt weniger als 0.8% der Energienachfrage). Da ab 2030 der Verbrauch in Szenario III tiefer liegt als in Szenario II, ist davon auszugehen, dass der Grund in der unterschiedlichen zeitlichen Modellierung der Politinstrumente in den Szenarien II und III liegt (Prognos 2007a).

- Verbrauchergruppen: Bei der Variante -20% weisen die Verbrauchergruppen Industrie und Dienstleistungen einen negative Sekundärnutzen auf, da ihre Luftschadstoffemissionen gegenüber dem Referenzszenario ansteigen. Bei den Dienstleistungen ist dies auf die oben beschriebene Entwicklung des Holzverbrauchs zurückzuführen. Die Luftschadstoffemissionen der Industrie steigen aufgrund des gesteigerten Kohle- und Heizölverbrauchs. Bei den Varianten -30% und -40% werden jedoch in beiden Sektoren die Emissionen reduziert und es ergeben sich positive Sekundärnutzen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen durch geringere Erdgasverbrennung führen kaum zu Sekundärnutzen, da die Erdgasverbrennung verhältnismässig wenig Luftschadstoffe freisetzt. Auch die CO<sub>2</sub>-Reduktionen bei der Energieumwandlung führen zu geringen Sekundärnutzen pro Tonne CO<sub>2</sub>.

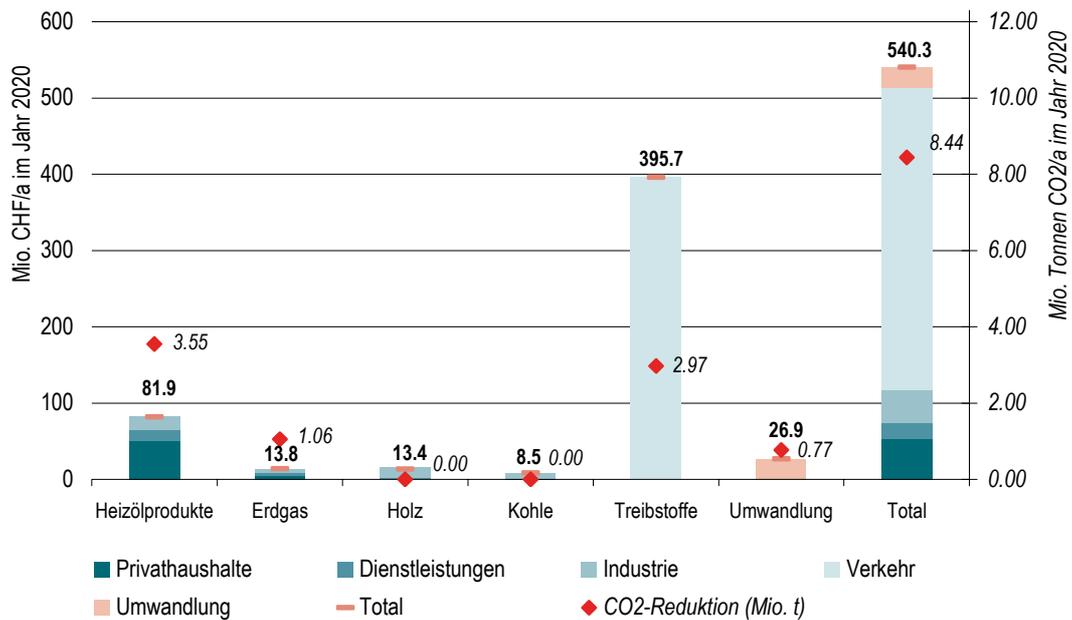
### «Sekundärnutzen der Variante -20%»



econcept

Figur 3: Sekundärnutzen von Luftschadstoff-Emissionsminderungen im Jahr 2020 infolge von CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen der Variante -20% gegenüber dem Referenzszenario sowie die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Jahr 2020 gegenüber dem Referenzszenario (Quelle: Eigene Berechnungen).  
Lesebeispiel: Mit der Reduktion von 2.18 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr im Bereich 'Heizölprodukte' werden die externen Kosten durch Luftschadstoffe im Jahr 2020 um 32.8 Mio. CHF/a reduziert (CHF 2000). Total generierte Sekundärnutzen im Jahr 2020: 174.0 Mio. CHF/a.

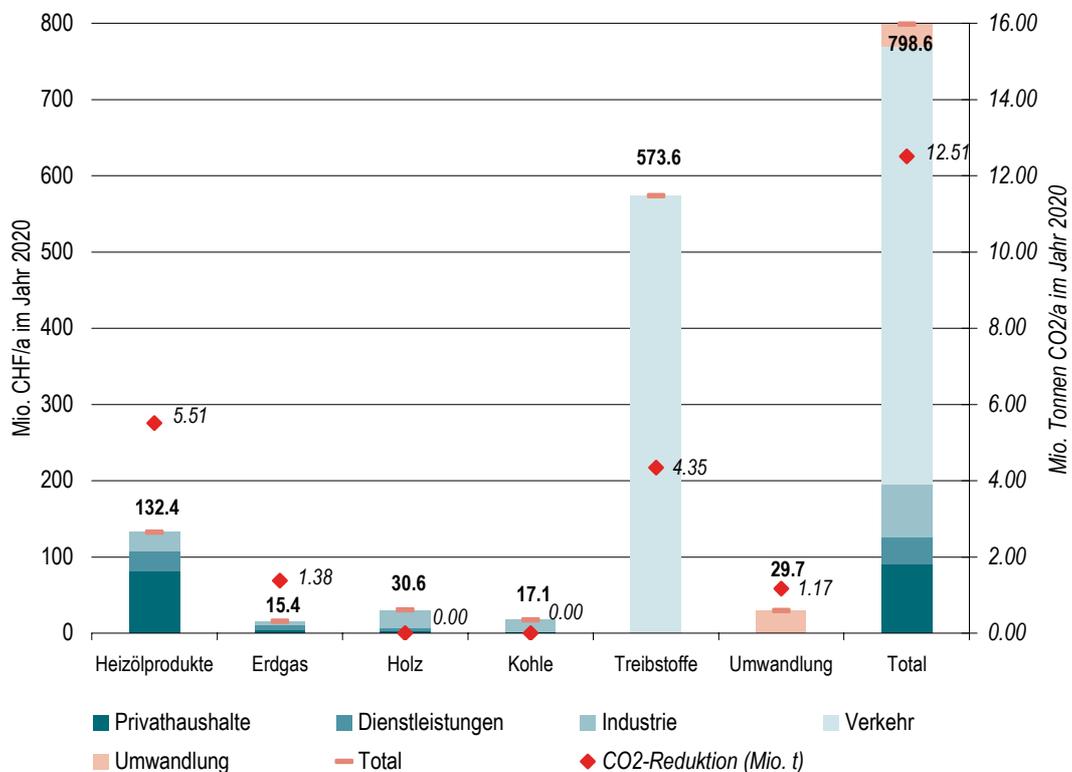
«Sekundärnutzen der Variante -30%»



econcept

Figur 4: Sekundärnutzen von Luftschadstoff-Emissionsminderungen im Jahr 2020 infolge von CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen der Variante -30% gegenüber dem Referenzszenario sowie die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Jahr 2020 gegenüber dem Referenzszenario (Quelle: Eigene Berechnungen).

«Sekundärnutzen der Variante -40%»



econcept

Figur 5: Sekundärnutzen von Luftschadstoff-Emissionsminderungen im Jahr 2020 infolge von CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen der Variante -40% gegenüber dem Referenzszenario sowie die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Jahr 2020 gegenüber dem Referenzszenario (Quelle: Eigene Berechnungen).

	Sekundärnutzen aus Luftschadstoff-Emissionsreduktion (Mio. CHF/a)						CO <sub>2</sub> - Reduktion (Mio. t/a)
	Privathaushalte	Dienstleistungen	Industrie	Verkehr	Umwandlung	Total	
<b>Variante -20%</b>							
Heizölprodukte	39.50	0.00	-6.68			32.82	2.18
Erdgas	0.15	0.00	-0.02			0.13	0.41
Holz	-0.40	-7.68	0.48			-7.60	0.00
Kohle	0.79	0.00	-9.73			-8.93	-0.14
Treibstoffe				151.68		151.68	1.09
Umwandlung					5.91	5.91	0.54
<b>Total</b>	<b>40.05</b>	<b>-7.68</b>	<b>-15.95</b>	<b>151.68</b>	<b>5.91</b>	<b>174.01</b>	<b>4.09</b>
<b>Variante -30%</b>							
Heizölprodukte	50.86	13.88	17.17			81.92	3.55
Erdgas	4.65	4.59	4.60			13.84	1.06
Holz	-3.43	2.42	14.37			13.37	0.00
Kohle	0.82	0.01	7.69			8.52	0.00
Treibstoffe				395.70		395.70	2.97
Umwandlung					26.93	26.93	0.77
<b>Total</b>	<b>52.91</b>	<b>20.91</b>	<b>43.83</b>	<b>395.70</b>	<b>26.93</b>	<b>540.27</b>	<b>8.44</b>
<b>Variante -40%</b>							
Heizölprodukte	81.66	25.49	25.22			132.37	5.51
Erdgas	5.17	5.08	5.12			15.37	1.38
Holz	2.38	4.77	23.41			30.56	0.00
Kohle	1.41	0.03	15.67			17.11	0.00
Treibstoffe				573.56		573.56	4.35
Umwandlung					29.68	29.68	1.17
<b>Total</b>	<b>90.61</b>	<b>35.37</b>	<b>69.42</b>	<b>573.56</b>	<b>29.68</b>	<b>798.64</b>	<b>12.51</b>

Tabelle 2: Sekundärnutzen der Varianten -20%, -30% und -40%. Die rechte Spalte zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion gegenüber dem Referenzszenario (Quelle: Eigene Berechnungen).

## 3 Anzahl vermiedener Krankheits- und Todesfälle

### 3.1 Gesundheitsschäden durch Luftschadstoffe

Die in Kapitel 2 berechneten Sekundärnutzen sind zu drei Viertel auf vermiedene externe Kosten im Gesundheitsbereich, d.h. auf vermiedene Krankheits- und Todesfälle zurückzuführen. Die verwendeten Grenzkostensätze basieren auf Effektschätzern der Luftschadstoffbelastung (Leitschadstoff PM<sub>10</sub>) auf die folgenden Krankheitsbilder (ARE 2004a):

- Verlorene Lebensjahre / Frühzeitige Todesfälle<sup>8</sup>
- Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen
- Spitaltage wegen Herz-/Kreislaufkrankungen
- Chronische Bronchitis bei Erwachsenen
- Akute Bronchitis bei Kindern
- Asthmaanfälle bei Erwachsenen
- Tage mit eingeschränkter Aktivität

### 3.2 Kostensätze und Berechnung

Die Krankheitsbilder führen zu unterschiedlichen Kosten, die sich in drei Kostenbereiche einteilen lassen:

- Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung der Krankheitsbilder (willingness to pay: WTP): Die immateriellen Kosten durch individuellen Nutzenverlust, Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid bei der betroffenen Person werden in Form von Zahlungsbereitschaften zur Vermeidung der Krankheitsbilder erhoben.
- Behandlungskosten (BHK): Dies sind Ressourcenkosten und umfassen medizinische Behandlungskosten und weitere persönliche Ausgaben des Individuums oder der Familie.
- Nettoproduktionsausfall (NPA): Dies sind die Opportunitätskosten der Krankheitsbilder und umfassen: Produktivitäts- und Einkommensverluste durch Arbeitsunfähigkeit oder reduzierte Leistung.

Die Kostensätze der Krankheitsbilder aufgeteilt nach diesen Kostenbereichen sind in Tabelle 3 ausgewiesen. Die letzte Spalte zeigt die Aufteilung der Gesamtkosten auf die Krankheitsbilder. Mehr als vier Fünftel (>80%) der Kosten betreffen das Krankheitsbild «Verlorenes Lebensjahr» bzw. «Frühzeitiger Todesfall»<sup>8</sup>, wobei es sich bei einem Grossteil um immaterielle Kosten (WTP) handelt.

<sup>8</sup> Die Kostensätze für ein «verlorenes Lebensjahr» und einen «frühzeitigen Todesfall» werden nie gleichzeitig verwendet, da es sich lediglich um unterschiedliche Ansätze zur Messung der gleichen Folge von Luftschadstoffen handelt.

Die durch das ARE (2004a) berechneten Zahlungsbereitschaften für immaterielle Kosten basieren auf internationalen Untersuchungen. Das Konzept soll hier kurz anhand des Kostensatzes für ein «Verlorenes Lebensjahr» von 85'473 CHF erläutert werden:

Die Zahlungsbereitschaft für eine Reduktion des Todesfallrisikos kann mittels einer Umfrage ermittelt werden. Das ergibt eine Bewertung der Reduktion des Sterberisikos in Geldeinheiten. Durch die Division dieser Zahlungsbereitschaft mit der Risikoreduktion wird der Wert eines statistischen Lebens (= Frühzeitiger Todesfall) berechnet. Indem zusätzliche Faktoren, insbesondere das Alter der Betroffenen, berücksichtigt werden, kann aus diesem Wert ein Kostensatz für ein «Verlorenes Lebensjahr» berechnet werden. Die hier dargestellten Kostensätze des ARE basieren auf rund 8 internationalen empirischen Studien.

Kostensätze für einzelne Krankheitsbilder in CHF/Fall	WTP	BHK	NPA	Total	% Anteil Sekundärnutzen
Verlorenes Lebensjahr	85'473	-	4'397	<b>89'870</b>	80.8%
Frühzeitiger Todesfall *	1'734'000	-	46'025	<b>1'780'025</b>	
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	775	805	24	<b>1'603</b>	0.2%
Spitaltage wegen Herz-/ Kreislauferkrankungen	775	1'030	24	<b>1'829</b>	0.4%
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	410'462	6'803	169	<b>417'434</b>	9.9%
Akute Bronchitis bei Kindern	257	54	-	<b>312</b>	0.3%
Asthmaanfälle bei Erwachsenen (≥15 Jahre)	61	1	12	<b>74</b>	0.1%
Tage mit eingeschränkter Aktivität (Erw. ≥20 Jahre)	185	-	12	<b>197</b>	8.3%
	94.9%	0.6%	4.5%	100.0%	100.0%

Tabelle 3: Kostensätze für einzelne Krankheitsbilder als Summe aus der Zahlungsbereitschaft für den Nutzenverlust der Betroffenen (WTP= willingness to pay), den Behandlungskosten (BHK) und dem Nettoproduktionsausfall (NPA). Die letzte Spalte zeigt die Aufteilung der Gesamtkosten auf die Krankheitsbilder (Quelle: ARE 2004a).

\* Die Kostensätze für ein verlorenes Lebensjahr und einen frühzeitigen Todesfall werden nie gleichzeitig verwendet.

Ausgehend von den Kostensätzen, dem Kostenanteil bzw. Sekundärnutzenanteil der Krankheitsbilder sowie den berechneten Sekundärnutzen im Gesundheitsbereich (=vermiedene externen Kosten) wird die Anzahl der vermiedenen Krankheitsbilder berechnet.

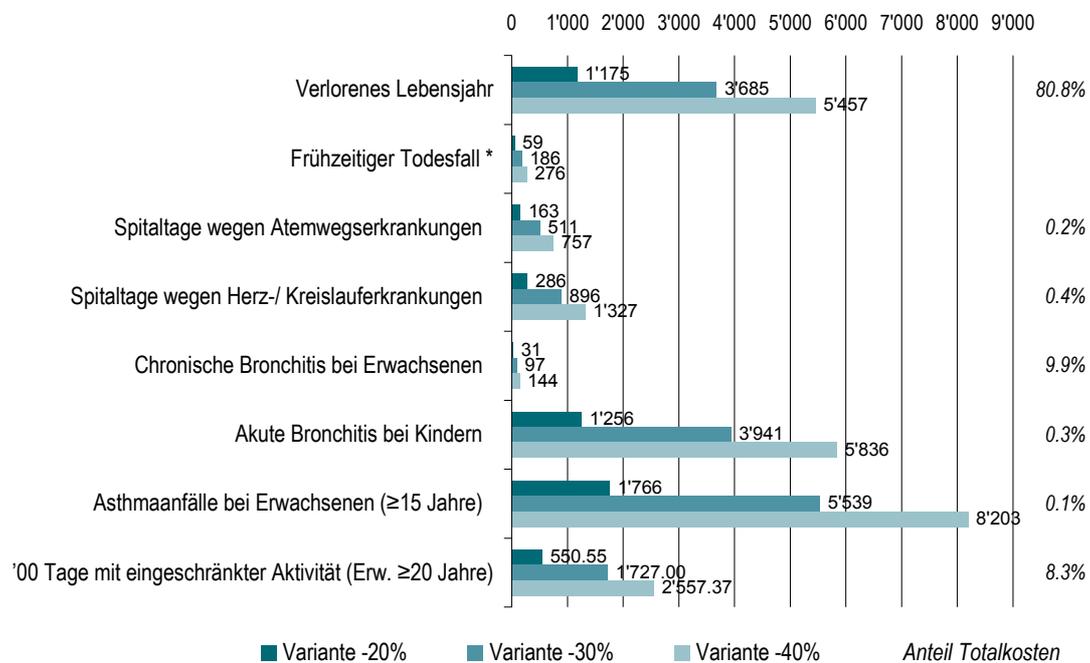
### 3.3 Ergebnis: Anzahl vermiedener Krankheitsbilder aus Luftschadstoff-Emissionsreduktionen

Die Anzahl vermiedener Krankheitsbilder aus Luftschadstoff-Emissionsreduktionen für die drei Varianten wird in Figur 6 dargestellt. Bei der Variante -40% können gemäss den Schätzungen 5'457 «Verlorene Lebensjahre» vermieden werden. Die Tage mit eingeschränkter Aktivität von Erwachsenen sind aus Darstellungsgründen in Einheiten von 100

Tagen angegeben. Bei der Variante -30% können somit schätzungsweise 172'700 Tage mit eingeschränkter Aktivität vermieden werden. Die Krankheitsbilder «Verlorene Lebensjahre» und «Anzahl Tage mit eingeschränkter Aktivität» begründen zusammen mit dem Krankheitsbild «Chronische Bronchitis bei Erwachsenen» 99% der gesamten vermiedenen Gesundheitskosten.

Die vermiedenen Krankheitsbilder der Variante -40% entsprechen zwischen 13% und 20% der gesamten Anzahl Krankheitsbilder, die für das Jahr 2000 auf die Luftschadstoffbelastung zurückgeführt wurden (ARE 2004a). Für «Verlorene Lebensjahre» bzw. «Frühzeitiger Todesfall» fehlen jedoch die entsprechenden Daten, um eine Aussage zum prozentualen Anteil der vermiedenen Fälle an der Gesamtfallzahl machen zu können.

**«Anzahl vermiedener Krankheitsbilder»**



econcept

Figur 6: Anzahl vermiedene Krankheitsbilder durch die Reduktion von Luftschadstoffen bei den CO<sub>2</sub>-Reduktionsvarianten -20%, -30% und -40% (Quelle: Eigene Berechnungen).

\* Die Kostensätze für ein verlorenes Lebensjahr und einen frühzeitigen Todesfall werden nie gleichzeitig verwendet.

## 4 Schlussfolgerungen

Bei der Variante -20% CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2020 gegenüber 1990 ergeben sich im Jahr 2020 Sekundärnutzen von 174 Mio. CHF/a. Für die Varianten -30% und -40% zeigt sich ein überproportionaler Anstieg der Sekundärnutzen auf 540 Mio. CHF/a respektive 799 Mio. CHF/a. Dafür können zwei Gründe aufgeführt werden: Schon die Referenzentwicklung führt bis 2020 zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 9.6% gegenüber 1990. Die Beschränkung auf diejenigen Sekundärnutzen, welche zusätzlich zu denjenigen der Referenzentwicklung erzielt werden, führt dazu, dass nur noch Sekundärnutzen aus -10.4%, -20.4% und -30.4% CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion ausgewiesen werden. Zudem steigen in der Variante -30% und -40% CO<sub>2</sub>-Emissionen auch die generierten Sekundärnutzen pro zusätzlich vermiedene Tonne CO<sub>2</sub> um rund 50%. Die Vorteile des aktiven Klimaschutzes in der Form von Sekundärnutzen nehmen somit mit steigenden klimapolitischen Anstrengungen überproportional zu.

Drei Viertel der Sekundärnutzen werden im Gesundheitsbereich durch vermiedene Krankheits- und Todesfälle generiert. Davon sind über 80% vermiedene Todesfälle bzw. vermiedene «verlorene Lebensjahre». Bei der Variante -20% CO<sub>2</sub>-Emissionen könnten daher 1'175 verlorene Lebensjahre vermieden werden und bei der Variante -40% CO<sub>2</sub>-Emissionen sogar 5'457 verlorene Lebensjahre.

Abschliessend ist festzuhalten, dass sich durch die CO<sub>2</sub>-Reduktion nicht nur Sekundärnutzen aus Luftschadstoffreduktionen ergeben. In Abhängigkeit der verwendeten politischen Instrumente ergeben sich noch zusätzliche Sekundärnutzen. Dazu gehören beispielsweise die Reduktion der Auslandabhängigkeit von fossilen Energieimporten sowie spezifische Nutzen durch ein reduziertes Verkehrsaufkommen, wie Verminderung von Lärm, Unfallrisiken und Habitateinschränkungen. Hinzu kommen potentiell positive Effekte auf die Innovationstätigkeit, auf die Beschäftigung sowie Wachstum und Wohlfahrt.

## Literatur

- Bundesamt für Raumentwicklung, ARE (2004a): Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000. Im Auftrag des UVEK. Bern, 2004.
- Bundesamt für Raumentwicklung, ARE (2004b): Externe Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000 – Klima und bisher nicht erfasste Umweltbereiche, städtische Räume sowie vor- und nachgelagerte Prozesse. Im Auftrag des UVEK. Bern, 2004.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2004c): Verkehrsbedingte Gebäudeschäden in der Schweiz, Aktualisierung der externen Kosten 2000. Im Auftrag des UVEK. Bern, 2004.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2004d): Externe Kosten des Verkehrs im Bereich von Natur und Landschaft – Monetarisierung der Verluste und Fragmentierung von Habitaten. Im Auftrag des UVEK. Bern, 2004.
- econconcept (2008): Reduktion Treibhausgasemissionen: Gutachten Sekundärnutzen. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Zürich, 2008.
- ECOPLAN (2007): Die Energieperspektiven 2035 – Band 3 Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Ergebnisse des dynamischen Gleichgewichtsmodells, mit Anhang über die externen Kosten des Energiesektor. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE. Bern, März 2007.
- Prognos (2007a): Die Energieperspektiven 2035 – Band 2 Szenarien I bis IV. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE. Basel, Mai 2007.
- Prognos (2007b): Die Energieperspektiven 2035 – Anhang zu den Bänden 2 und 5, Energienachfrage und -angebot in Zahlen; Emissionen. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE. Basel, Mai 2007.