



Bilanzierung und Reduktion der CO₂-Emissionen in der Landschaft Davos

Eine Machbarkeitsstudie zum Klimaschutz

Davos, den 1. Dezember 2006

Herausgeber

Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Das SLF ist Teil der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.

Projektleitung

Corinne Lundström, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Arbeitsgruppe

Gian Paul Calonder, Delegierter für Umweltschutz, Landschaft Davos Gemeinde

Frank Hagedorn, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

Corina Lardelli, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Corinne Lundström, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Veronika Stöckli, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Ariane Walz, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Zitierung

SLF, 2006. Bilanzierung und Reduktion der CO₂-Emissionen in der Landschaft Davos. Eine Machbarkeitsstudie zum Klimaschutz. Schlussbericht zum KTI-Projekt Nr. 7984.1. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.

Weitere Informationen

Email: Info.CO2@slf.ch

Das vorliegende Dokument ist der Schlussbericht zum Projekt „Bilanzierung und Reduktion der CO₂-Emissionen in der Landschaft Davos – Eine Machbarkeitsstudie zum Klimaschutz“. Die Studie wurde finanziert durch die KTI und die Gemeinde Landschaft Davos und entstand zwischen November 2005 und September 2006.

Inhalt

Vorwort	9
Ziel der Studie und Struktur des vorliegenden Berichts	10
1 Klimaentwicklung und Klimapolitik.....	6
1.1 Treibhausgase und Klimaentwicklung	6
1.2 Regelungen und Massnahmen der Klima-Politik	7
1.3 “Freiwillige Massnahmen“	10
1.4 Ausblick	11
2 Methodisches Vorgehen: Analyse der Emissionen und Senken.....	12
2.1 Systemgrenze und Emissionskategorien	12
2.2 Datengrundlage und Berechnungen	16
2.3 Anthropogene direkte CO ₂ -Emissionen und -Lager	17
2.4 Anthropogene vorgelagerte CO ₂ -Emissionen	32
2.5 Natürliche Senken und Quellen	33
3 CO₂- und Energie-Bilanz der Gemeinde Davos	37
3.1 Anthropogen bedingte CO ₂ -Emissionen und Senken	37
3.2 Natürliche CO ₂ -Senken und Emissionen	44
3.3 CO ₂ -Bilanz	46
4 Massnahmen zur Verbesserung der regionalen CO₂-Bilanz: Wirkung und Umsetzbarkeit.....	49
4.1 Methodisches Vorgehen	49
4.2 Massnahmen im Bereich Heizen	49
4.3 Massnahmen im Bereich Verkehr	56
4.4 Massnahmen im Bereich Licht und Maschinen	60
4.5 Massnahmen im Bereich des sonstigen Energieverbrauchs	63
4.6 Massnahmen im Bereich Wald- und Holznutzung	65
4.7 Kosten-Nutzen-Abschätzung für die Massnahmen	67
4.8 Fazit der Kosten/Nutzen Prüfung möglicher Massnahmen	71
5 Prüfung potenzieller Einsparziele durch Kombination der Massnahmen.....	73
5.1 Einsparziel Davos: Minus 15% CO ₂ -Emissionen	73
5.2 Einsparziel „2000-Watt-Gesellschaft“	76
5.3 Einsparziel „Davos-CO ₂ -neutral“	81
6 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen an die Gemeinde.....	84
6.1 Zusammenfassende Diskussion der Bilanzergebnisse	84
6.2 Klimapolitik der Gemeinde: Haupthandlungsfelder und spezifische Empfehlungen	85
6.3 Klimapolitik der Gemeinde: Allgemeine Empfehlungen	90
6.4 Klimapolitik der Gemeinde: Vergleich mit den Vorgaben für CO ₂ -Einsparziele	91
6.5 Klimapolitik der Gemeinde: Wissenschaftliche Studien und politische Umsetzung	91
7 Literaturverzeichnis	94

Vorwort

Auch vor Davos macht die Klimaänderung nicht halt. Während Lawinen oder Murgänge in Gebirgsgegenden keine neuartigen Ereignisse sind, und ihre Häufigkeit mit der aktuellen Klimaentwicklung (noch) kaum in Verbindung gebracht werden kann, sprechen die Gletscher eine unzweideutige Sprache. Der Scalettagletscher beispielsweise, der zuhinterst über dem Davoser Dischmatal thront, hat sich in den vergangenen Jahren eindrücklich und sichtbar verändert. Seit dem Höchststand im Jahre 1850 hat seine Firnzunge um mehr als 600 m an Länge eingebüsst.

Diese Indizien direkt vor unserer Haustür dokumentieren die Auswirkungen eines weltweit sich ändernden Klimas. Mitverantwortlich dafür ist diesmal auch der Mensch, der seit der industriellen Revolution über den Verbrauch fossiler Energieträger grosse Mengen an CO₂ ausstösst, damit die Atmosphäre anheizt und innerhalb von nur 200 Jahren auf das Klimasystem Einfluss genommen hat.

Seit jeher befindet sich das Klima der Erde im Zustand der Veränderung. Eiszeiten und Warmzeiten haben sich immer wieder abgewechselt. Der Eingriff in das Klimasystem und die Folgen davon sind somit nicht wegen der Veränderung an sich zu einer globalen Herausforderung geworden, sondern vielmehr wegen der Tatsache, dass die Entwicklungsgeschichte der Menschheit eng mit der Klimageschichte verbunden ist. Der Aufstieg von Davos dokumentiert diese Bindung auf eindrückliche Art und Weise. Als weltbekannter Luftkurort und als eine der grössten Feriendestinationen in den Alpen ist sich Davos über die Bedeutung des Klimas, insbesondere der sauberen Luft und der sicheren Schneeverhältnisse, bewusst. Nur dank dieser Symbiose zwischen gesundem und „stabilem“ Klima, intakter Umwelt und initiativen Menschen hat es Davos geschafft, sich als attraktiver Lebensraum zu etablieren. Und dies wird auch in Zukunft nicht anders sein.

Die zukünftige Entwicklung des Klimas wird davon abhängen, ob es uns Menschen rechtzeitig gelingt, nachhaltiger und sparsamer zu leben bzw. ob es uns gelingt neue Technologien zu entwickeln und einzusetzen, die den Energieverbrauch und damit die CO₂-Emissionen reduzieren können. Zusammen mit anderen Gemeinden hat Davos bereits vor Jahren diese Zeichen der Zeit erkannt und verschiedene energiepolitische Leistungen umgesetzt. Die Gemeinde ist dafür im Jahre 2001 als erste Bündner Gemeinde und als erste Tourismusdestination in den Alpen mit dem Label «Energistadt» ausgezeichnet worden. Und weil «Energistadt» ein kontinuierlicher Prozess ist, der verpflichtet, auf dem Weg einer nachhaltigen Energie- und Klimapolitik weitere Schritte zu gehen, war es nicht verwunderlich, dass die Behörden der Gemeinde mit dem Anliegen einer CO₂ Bilanzstudie für Davos an die WSL und das SLF herangetreten sind.

Um ihr grosses Engagement zu unterstreichen, hat die Gemeinde sich sofort bereit erklärt, sich inhaltlich und finanziell an der CO₂-Bilanz-Studie zu beteiligen. Dank der Sprechung eines zusätzlichen Beitrages durch das Bundesamt für Berufsbildung und Technologie (Förderinstrument KTI) konnte das Projekt auch realisiert werden. Der nun vorliegende Bericht und die daraus resultierenden Vorschläge für Massnahmen werden eine umfassende und wertvolle Grundlage für die zukünftige Klimapolitik der Landschaft Davos Gemeinde bilden und auch auf wissenschaftlicher Ebene vorhandene Erkenntnisse und Zusammenhänge mit harten Daten über eine Stadt auf 1560m ü.M. dokumentieren.

Ziel der Studie und Struktur des vorliegenden Berichts

Davos als grosse Wintersportdestination und Luftkurort hat ein besonderes Interesse am Klimaschutz und sucht nach Möglichkeiten, diese weltweite Herausforderung auch vor der eigenen Haustür umzusetzen. Die vorliegende Studie wurde initiiert, um die massgeblichen CO₂-Quellen und -Senken in der Landschaft Davos zu kennen, um damit die effektivsten Ansatzpunkte für die Verminderung von Emissionen und die Förderung von Senken heraus zu kristallisieren, und um die Möglichkeiten

einer klimafreundlichen, lokalen CO₂-Politik zu erörtern. Die Studie soll zudem über das Aufzeigen der verschiedenen Emittenten und Emissionen aus dem Lebensumfeld der Davoserinnen und Davoser das öffentliche Verständnis für die CO₂-Problematik fördern. Mit der politisch getragenen Umsetzung von Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen in der Landschaft Davos kann sich die Gemeinde letztlich national wie international als Musterbeispiel für eine Gebirgsregion im Kyoto-Fahrplan präsentieren.

In den folgenden Kapiteln des Berichtes werden zunächst die aktuelle Klimaentwicklung und die Bedeutung des CO₂, sowie die Aktivitäten zum Klimaschutz auf politischer Ebene resümiert (Kapitel 1). Im Kapitel 2 folgen die Erläuterungen zum methodischen Vorgehen bei der Herleitung der Emissionen und Senken (Kapitel 2), gefolgt vom Kapitel 3, welches die CO₂-Bilanz, aufgeteilt in die verschiedenen Emissionsquellen und Senken auf Gemeindegebiet darstellt (Kapitel 3). Darauf aufbauend werden mögliche Massnahmen und ihre Umsetzbarkeit zur Reduktion der CO₂-Emissionen vorgestellt (Kapitel 4), und deren Wirkung hinsichtlich verschiedener Sparziele geprüft (Kapitel 5). Der Bericht schliesst mit einem Katalog an Vorschlägen zum lokalen Klimaschutz (Kapitel 6), die als Empfehlungen an die Gemeinde weiter gegeben werden.

1 Klimaentwicklung und Klimapolitik

Langjährige Messreihen der Klimabeobachtung zeigen eine Erwärmung der Erdoberfläche. Als eine der Hauptursachen dieser Erwärmung werden die zunehmende Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre angesehen. Die Erkenntnis, dass der Mensch den Treibhauseffekt wesentlich fördert, veranlasste die Verantwortlichen weltweit dazu, Regelungen und Massnahmen zum Klimaschutz zu etablieren, wie beispielsweise das Kyoto-Protokoll. Da die Wirkung bisheriger Anstrengungen kaum ausreicht um die Konzentration an Treibhausgasen einzuschränken, sind weitere Massnahmen unabdingbar.

1.1 Treibhausgase und Klimaentwicklung

Laut dem *International Panel on Climate Change* (IPCC) ist die durchschnittliche globale Temperatur an der Erdoberfläche allein im Verlauf des 20. Jahrhunderts um 0,6°C angestiegen (PROCLIM 2002). In der Schweiz war der Temperaturanstieg noch ausgeprägter: Hier wurde laut MeteoSchweiz im gleichen Zeitraum eine durchschnittliche Erwärmung von +1,4 Grad Celsius festgestellt. Der Trend der Erwärmung hält an: Klimamodelle rechnen mit einem Anstieg der Temperatur an der Erdoberfläche um bis 5,8°C im Jahr 2100 (WWW.METEOSCHWEIZ.CH), falls die Konzentration an Treibhausgasen weiter ansteigt.

Die Erwärmung der Erdoberfläche zieht Veränderungen in Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt nach sich. So sind in den vergangenen Jahrzehnten beispielsweise die Gletscher deutlich kleiner geworden. Dieser Trend hält an: Nach dem Jahrhundertsommer 2003 verzeichneten alle 98 beobachteten Gletscher der Schweiz einen teilweise erheblichen Längenschwund (BAUDER *et al.* 2004).

1.1.1 Treibhausgase

Die aktuelle Klima-Entwicklung wird verschiedenen klimaaktiven Gasen zugeschrieben, welche sich aufgrund menschlicher Aktivitäten in der Atmosphäre verdichten. Diese sogenannten Treibhausgase verhindern die vollständige Abstrahlung von der Erdoberfläche zurück in den Weltraum und bewirken so die Erwärmung. Waren die Treibhausgase ursprünglich Voraussetzung dafür, dass sich auf unserem Planeten Leben entwickeln konnte, so stellen sie heute eine immer grössere Herausforderung für das Leben dar. „Die Abwägung der Erkenntnisse legt einen erkennbaren menschlichen Einfluss auf das globale Klima nahe“ - folgert das IPCC (PROCLIM 2002).

Neben dem Kohlendioxid (CO₂) gelten Methan (CH₄), Lachgas (N₂), sowie die nicht-natürlichen Gase aus der Gruppe der Fluorkohlenwasserstoffe (FKW bzw. H-FKW), die fluorierten Chlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und das Schwefelhexafluorid (SF₆) als besonders klimarelevante Treibhausgase. Bei gleicher Konzentration ist die Klimawirksamkeit der Gase unterschiedlich: Das sogenannte *Global Warming Potential GWP* beträgt für CO₂ relativ betrachtet 1, für Methan 23, für Lachgas 296, während Schwefelhexafluorid die 22'200-fache Wirkung auf das Klima hat im Vergleich zum CO₂ (IPCC 2001).

In der Gesamtemissionsbilanz der Schweiz hat das Kohlendioxid den grössten Anteil an den Treibhausgasen (2003: 85%, in CO₂-Äquivalenten), gefolgt von Methan (7%), Lachgas (6%), und den synthetischen Gasen (1,5%) (BUWAL 2005). Unter den Treibhausgasen wird denn auch das Kohlendioxid (CO₂) als das Bedeutendste angesehen.

1.1.2 Kohlendioxid: natürlich und anthropogen

Der Kohlenstoff C, die Basis des CO₂, ist natürlicherweise in den verschiedenen Sphären der Erde vorhanden: In der Biosphäre, der Atmosphäre, der Hydrosphäre, und in der Lithosphäre. Innerhalb und zwischen diesen Sphären verschiebt sich der Kohlenstoff in natürlicher Dynamik. So ist CO₂ beispielsweise Endprodukt der Energieverbrennung im Stoffwechsel der meisten Lebewesen und wird über die Atemluft an die Atmosphäre abgegeben. Umgekehrt synthetisieren die Pflanzen aus dem CO₂ der Atmosphäre über die Photosynthese ihre Bau- und Energiestoffe, zum Beispiel Zellulose und Zucker.

Seit der industriellen Revolution beeinflusst der Mensch den natürlichen Kohlenstoff-Fluss erheblich und immer stärker. Durch die Nutzung von Erdöl und Erdölprodukten sowie durch die Rodung des Waldes wird ehemals gebundenes C in die Atmosphäre gebracht. Seit 1850 hat sich dadurch die CO₂-Konzentration von 286 ppm (parts per million) auf rund 380 ppm erhöht (SCHMITZ 2002). Aus den eingeschlossenen Luftblasen im „ewigen“ Eis der Antarktis weiss man, dass in den vergangenen 650'000 Jahren die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre noch nie so hoch war wie heute. Auch die Geschwindigkeit der Zunahme ist einmalig: Der CO₂-Anstieg geschah in den vergangenen 50 Jahren rund 200 Mal rascher als in den 650'000 Jahren zuvor (SIEGENTHALER *et al.* 2005).

1.1.3 Kohlendioxid: Emissionen und Senken

Seit einigen Jahren werden weltweit die CO₂-Emissionen erhoben. In der Schweiz liegt die energiebedingte Gesamtemissionsmenge bei 40,66 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr (gemäss CO₂-Gesetz, erhoben im Jahr 2005, BAFU 2006). Gemäss Statistik der Internationalen Energie-Agentur IEA emittiert die Weltbevölkerung durchschnittlich 4 Tonnen CO₂ pro Person und Jahr, die Schweiz kommt auf 6 Tonnen, Österreich auf 9,2, Frankreich auf 6,3, Deutschland auf 10,3 und Italien auf 7,8 Tonnen CO₂. Entwicklungsländer weisen demgegenüber sehr geringe Emissionen aus: Äthiopien beispielsweise kommt auf 0,07 Tonnen CO₂ pro Kopf und Jahr.

Der grösste Teil an anthropogen emittiertem CO₂ stammt aus der Verbrennung von Erdöl-Produkten zur Energieerzeugung, namentlich von Heizöl, Benzin, Kerosin, sowie Erdgas und Kohle. Neben der Wärmeerzeugung sind Transport (Strassen- und insbesondere Luftverkehr), industrielle Prozesse wie die Herstellung von Zement oder die Verbrennung von Biomasse insbesondere bei Brandrodungen bedeutsame CO₂-Quellen (UNFCCC 2005).

Als wichtige natürliche Kohlenstoff-Reservoirs werden vor allem Pflanzen, Böden und Gewässer angesehen. Die Pflanzen sind dabei von besonderer Bedeutung. In Mitteleuropa bzw. in der Schweiz bildet der Wald das wichtigste Kohlenstoff-Reservoir. Trotz seiner grossen Ausdehnung wird die CO₂-Aufnahme des Schweizer Waldes im Vergleich zu den Emissionen jedoch als gering eingestuft; Sie beträgt rund 10% der anthropogenen CO₂-Emissionen (VOLZ 2005).

1.2 Regelungen und Massnahmen der Klima-Politik

Die anhaltende Klimaveränderung und die Erkenntnis, dass anthropogene Emissionen den Treibhauseffekt wesentlich fördern, verlangt weltweit nach einschränkenden Regelungen und Massnahmen. Dabei müssen grosse Anstrengungen unternommen werden: Der „*Third Assessment Report*“ (TAR) der IPCC hält fest, dass der Ausstoss von Hunderten bis Tausenden von Gigatonnen CO₂ verhindert werden muss, um die CO₂ Konzentration auf einem Niveau von 450 bis 750 ppm wenigstens zu stabilisieren (UNFCCC 2005).

1.2.1 Das Kyoto-Protokoll

Die wichtigste internationale Regelung zur Reduktion der Emissionen und zum Klimaschutz ist das Kyoto-Protokoll. Bereits vor zehn Jahren wurde das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen angenommen. Im vergangenen Jahr trat das Protokoll in Kraft. Es legt für die Industriestaaten verbindliche Reduktionsziele für Treibhausgase fest, und ist für alle Signaturstaaten, so auch für die Schweiz, verbindlich. Im Kyoto-Protokoll geregelt sind die CO₂-Emissionen aus energetischer Nutzung fossiler Brenn- und Treibstoffe, die nicht-energetisch-bedingten CO₂-Emissionen (industrielle Prozesse, Abfallverbrennung) sowie der Austoss der Treibhausgase Methan, Lachgas, Fluorkohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid. Von der Regelung ausgenommen sind die Emissionen des internationalen Flugverkehrs, sowie die äusserst klimawirksamen FCKW. Letztere werden bereits im Abkommen von Montreal zum Schutz der Ozon-Schicht international geregelt.

Die Schweiz wie auch die EU haben sich für ein verbindliches Reduktionsziel von 8% entschieden. Das bedeutet, dass die Treibhausgas-Emissionen der Jahre 2008 bis 2012 im Durchschnitt um 8% geringer sein müssen als die Emissionen im Vergleichsjahr 1990.

Das Kyoto-Protokoll selbst schreibt nur Ziele vor, nicht aber die entsprechenden Massnahmen. Zur Erreichung der Ziele, respektive der vereinbarten Emissionsmengen, sind nicht ausschliesslich Sparanstrengungen zulässig, sondern es ist auch möglich, Senkenleistungen anzurechnen. Das Protokoll sieht vor, dass der Kohlenstoff, welcher durch das Wachstum der Pflanzen aus der Atmosphäre absorbiert wird, den Reduktionsverpflichtungen angerechnet werden kann. So sind in gewissem Umfang Massnahmen zur Förderung von Kohlenstoff-Senken, wie beispielsweise Aufforstungen, anrechenbar. Die „flexiblen Mechanismen“ als zweite Alternative zu den Sparanstrengungen erlauben es in einem gewissen Umfang in Drittstaaten Reduktions-Kontingente einzukaufen (sogenannte „Joint Implementation (JI)“ in Industrieländern oder „Clean Development Mechanisms (CDM)“ in Entwicklungsländern), sowie den Handel mit Emissionsgutschriften und Zertifikaten (Internationaler Emissionshandel). Grundsätzlich zeigt der Handel mit CO₂-Emissionen ein grosses Volumen. Laut einer Analyse der Weltbank sind 2005 CDM- und JI-Geschäfte im Umfang von 10 Milliarden US-Dollar abgeschlossen worden (STRÄSSLE 2006).

Die Erfüllung der Reduktionsverpflichtungen wird auf der Grundlage von Berichten und Treibhausgasinventaren überwacht, die von jedem Vertragsstaat des Übereinkommens erhoben werden müssen. Werden die Reduktionsziele nicht erfüllt, so werden den fehlbaren Staaten drastische Strafen auferlegt.

Das Kyoto-System erntet von verschiedener Seite Kritik. Es sei untauglich und anfällig für Willkür. Untauglich, weil viele Länder nicht beteiligt sind, wie beispielsweise die USA. Diese haben zusammen mit den fünf wichtigsten Wirtschaftsmächten im Asien-Pazifikraum (China, Australien, Japan, Indien, Südkorea) als Alternative zum Kyoto-Protokoll eine eigene Klimaschutzinitiative gestartet. Konkrete Ziele setzt das Bündnis allerdings nicht.

Kritisiert wird am Kyoto-Protokoll auch dass der Zeithorizont zu kurz sei, und dass die Forschung eine zu zentrale Rolle einnehme, indem sie Grundlagen und Argumente für die Politik liefere. Die Qualität dieser Grundlagen wird in Frage gestellt. Willkürlich sei das System insbesondere in der Zuteilung der Emissionsgutschriften vorgegangen. So wurde als Basis für die flexiblen Mechanismen die Industrie mit CO₂-Emissions-Zertifikaten versorgt, entsprechend ihrer derzeitigen Emissionen. Stößt ein Unternehmen mehr Treibhausgase aus, als es die Emissionsgutschriften vorgeben, muss es weitere Berechtigungsscheine zukaufen. Stößt es weniger aus, kann es die übrig gebliebenen Zertifikate verkaufen. Die Preise für Emissionsrechte waren in der Vergangenheit sehr volatil. Ende April 2006 veröffentlichten die sechs ersten EU-Länder ihre verifizierten Emissionsdaten, – es resultierte ein unerwarteter Überschuss von 36 Millionen Verschmutzungszertifikaten, worauf der Kurswert der Zertifikate drastisch sank. Umweltverbände kritisierten darauf, dass betroffene Industriesektoren zu grosszügig und kostenlos mit CO₂-Zertifikaten versorgt worden seien (STRÄSSLE 2006). Da dadurch

weder ein Handel aufkommt, noch Druck für Reduktionen entsteht, will nun Brüssel die geplante Minimalkürzung der Quoten für die nächsten Jahre deutlich anheben, wie einem Bericht der Online-Ausgabe des STANDARD vom 16. Mai 2006 zu entnehmen ist.

Generell kamen kritische Stimmen gegen das Kyoto-Protokoll nicht nur von Seiten der Wirtschaft. Umweltorganisationen befürchten, dass die Reduktionsziele des Protokolls nicht ausreichen, um der anhaltenden Klimaentwicklung Einhalt zu gebieten.

1.2.2 Umsetzung der Kyoto-Vorgaben in der Schweiz

Die sechs im Kyoto-Protokoll geregelten Treibhausgase stammen in der Schweiz hauptsächlich aus Quellen der Sektoren Energie, Transport, Landwirtschaft und Abfall. Entsprechend dieser Haupt-Emissionsquellen und der möglichen Senke Wald werden in der Schweiz die Kyoto-Ziele in erster Linie durch Massnahmen in der Energie-, Verkehrs-, Umwelt-, Landwirtschaft- und Waldpolitik angestrebt, sowie über die internationale Zusammenarbeit.

1.2.3 CO₂-Gesetz und seine Umsetzung

Die wichtigsten Regelungen zur Erreichung der Kyoto-Ziele sind auf Bundesebene im CO₂-Gesetz festgehalten. Das CO₂-Gesetz ist seit dem 1. Mai 2000 in Kraft. Es regelt von den Kyoto-Treibhausgasen nur die CO₂-Emissionen und schreibt vor, den CO₂-Ausstoss im Durchschnitt der Jahre 2008-2012 um 10% unter das Niveau von 1990 zu reduzieren. Geregelt sind Emissionen aus energetischer Nutzung fossiler Brenn- und Treibstoffe. Bei den fossilen Brennstoffen wird eine Reduktion von 15% vorgeschrieben, bei den Treibstoffen wird eine Reduktion von 8% verlangt. Im Gegensatz zum Kyoto-Protokoll regelt das CO₂-Gesetz die nicht-energetischen CO₂-Emissionen (Raffinerien, Prozess-Emissionen, Abfall) nicht. Zudem werden die Emissionen aus Brennstoffen klimakorrigiert: Schwankungen des Brennstoffverbrauchs (für die Raumwärme), die sich aus dem unterschiedlichen Heizbedarf in unterschiedlich kalten Wintern ergeben, werden ausgeglichen (BUWAL 2005b). Das CO₂-Gesetz erlaubt wie auch das Kyoto-Protokoll einen Teil der Reduktionsverpflichtungen mit Klimaschutzprojekten im Ausland und dem internationalen Handel mit Emissionsrechten zu erfüllen (flexible Mechanismen). Grundsätzlich soll das Reduktionsziel des CO₂-Gesetzes möglichst durch freiwillige Massnahmen erreicht werden. Wird aber absehbar, dass dieses Ziel verfehlt wird, so muss der Bundesrat lenkend eingreifen und eine CO₂-Abgabe einführen. Die CO₂-Abgabe soll über den Preisanreiz den Verbrauch fossiler Brennstoffe senken.

Gemäss den Energieperspektiven, welche das Bundesamt für Energie in Zusammenarbeit mit weiteren Expertinnen und Experten erarbeitet, reichen die freiwilligen Anstrengungen der Wirtschaft und die bisher umgesetzten Massnahmen nicht aus, um die Reduktionsziele des CO₂-Gesetzes einzuhalten. Die Ziellücke beträgt rund 2,9 Millionen Tonnen CO₂. Demzufolge entschied der Bundesrat am 23. März 2005, eine CO₂-Abgabe in Höhe von 35 Franken pro Tonne auf Brennstoffen zu erheben und dem Konzept des "Klimarappens" bis Ende 2007 eine Chance einzuräumen, seine Wirksamkeit unter Beweis zu stellen. Die Einnahmen, welche durch die CO₂-Abgabe generiert werden, sollen der Bevölkerung über die Krankenversicherer, und der Wirtschaft über die AHV-Ausgleichskassen zurückverteilt werden. Unternehmen können sich von der CO₂-Abgabe befreien lassen, wenn sie stattdessen gegenüber dem Bund eine rechtlich verbindliche Verpflichtung zur Begrenzung ihrer CO₂-Emissionen beschliessen.

Die CO₂-Abgabe muss, bevor sie in Kraft tritt, von der Bundesversammlung gutgeheissen werden. Der bundesrätliche Vorschlag war in den Beratungen der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie UREK des Nationalrates wie auch im Nationalrat umstritten. In der Sommersession 2006 schliesslich verwarf eine knappe Mehrheit des Nationalrats einen Antrag auf Rückweisung des Geschäfts an den Bundesrat und befürwortete so die CO₂-Abgabe im Grundsatz. Im Modell der

UREK-N ist im Gegensatz zum Bundesrat eine gestaffelte Einführung der CO₂-Abgabe auf Brennstoffe vorgesehen. Das Geschäft wird zur Zeit in der UREK des Ständerats beraten.

1.2.4 Klimaschutz in weiteren Politik-Bereichen

Klimaschutz im Allgemeinen und die Kyoto-Ziele im Speziellen werden neben dem CO₂-Gesetz auch in zahlreichen weiteren Bereichen gesetzlich geregelt, so in der Umweltpolitik, Energiepolitik, Verkehrspolitik, Landwirtschaftspolitik, Forstpolitik, und in der Abfallpolitik. Rechtliche Regelungen, Massnahmen und Anreize in diesen Sektoren beinhalten beispielsweise das Energiegesetz, das Aktionsprogramm EnergieSchweiz, die Energiegesetze und Förderprogramme der Kantone und Gemeinden, die Energieeffizienzprogramme im Bausektor, im Handel und in der Industrie, sowie im Verkehrssektor, die Leistungsabhängige Schwerverkehrabgabe LSVA, die Verlagerungsmassnahmen auf den öffentlichen Verkehr, die Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung und der Schutz der Wälder im Waldgesetz, die Senkung der Treibhausgas-Emissionen in der Landwirtschaft, die Revision der Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (seit 1. August 2005 Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung), sowie die Abgabe auf flüchtige organische Verbindungen VOC (BUWAL 2004). Beschlossene oder geplante Massnahmen zum Klimaschutz umfassen im Weiteren das Bonus-Malus-System für Personenwagen, Programme im Verkehrssektor, das Elektrizitätsmarktgesetz, die Revision des Mineralölsteuergesetzes, der Parlamentsbeschluss zur Berücksichtigung der Senkenwirkung, oder die ökologische Steuerreform.

1.3 “Freiwillige Massnahmen“

Vertreter der Wirtschaft sind der Ansicht, dass Klimapolitik national wie international zu stark durch Administration geprägt ist, anstatt die Marktwirtschaft spielen zu lassen, und so über Preise statt Mengen zu steuern (NZZ AM SONNTAG, 5.2.2006). Als freiwillige Massnahmen werden die Aktivitäten der „Energieagentur der Wirtschaft“, der „Klimarappen“ und der Emissionshandel bezeichnet.

1.3.1 „Energie-Agentur der Wirtschaft“

In der „Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)“ verpflichten sich grössere Unternehmen zu bestimmten Reduktionen des CO₂-Ausstosses. Die Agentur überwacht in hoheitlichem Auftrag die Umsetzung der Reduktionen. Damit können sich die Firmen von der CO₂-Abgabe befreien, nehmen aber eine staatlich organisierte Überwachung in Kauf. Der Energie-Agentur der Wirtschaft waren Ende 2005 rund 1500 Unternehmen angeschlossen. Zwischen den Unternehmungen kann mit den Emissionsrechten gehandelt werden. Die EnAW kann bereits beachtliche Sparvolumina ausweisen: Mit freiwilligen Massnahmen wurden beispielsweise in der Zementindustrie CO₂-Emissionen im Umfang von 800'000 Tonnen CO₂ eingespart (PROCLIM, 2006).

1.3.2 Klimarappen I und weitere „freiwillige Massnahmen“

Der Bundesrat hat im März 2006 entschieden, bei den Treibstoffen dem „Klimarappen“, eine Chance zu geben. Der Klimarappen ist eine Abgabe auf Treibstoffe. Sie wurde durch die Erdölbranche als Alternative zur CO₂-Abgabe vorgeschlagen und ist in Form einer privaten Stiftung organisiert. Die Stiftung finanziert sich über eine Abgabe auf alle Benzin- und Dieselimporte in Höhe von 1,5 Rappen pro Liter. Das Geld wird für Projekte zur Treibhausgas-Reduktion im In- und Ausland eingesetzt. Bis 2012 sollen über den Klimarappen rund 740 Millionen Franken eingenommen und so umgesetzt werden, dass im Durchschnitt der Jahre 2008-2012 das CO₂-Reduktionsziel von 1.8 Millionen Tonnen erreicht wird. Wird absehbar, dass dieses Ziel nicht erreicht wird, so will der Bundesrat auch auf Treibstoffe eine CO₂-Abgabe einführen (STIFTUNG KLIMARAPPEN, 2006).

Analog zum Klimarappen der Erdölbranche wurde ursprünglich vom Hauseigentümer-Verband und vom Gewerbeverband der Klimarappen II lanciert. Diese Abgabe, der „Gebäuderappen“, sollte anstelle der vom Bundesrat vorgesehenen CO₂-Abgabe auf Brennstoffe umgesetzt werden. Zwar hat die UREK-N diesem Vorschlag im Frühjahr 2006 knapp zugestimmt, er wurde jedoch in der Sommersession 2006 zugunsten des bundesrätlichen Vorschlags (CO₂-Abgabe auf Brennstoffe) vom Nationalrat verworfen. Auch die Gasindustrie erhob Anspruch auf einen eigenen Klimarappen (Klimarappen IIb). Der Gasindustrie widerstrebt es, den Klimarappen II zu alimentieren. Sie befürchtete, dass sie im Vergleich zur Erdölindustrie davon nicht profitieren würde.

1.4 Ausblick

Unter Berücksichtigung der bereits getroffenen Massnahmen wurde für die Schweiz und ihre Kyoto-Verpflichtungen eine Ziellücke von 2,9 Millionen Tonnen CO₂ ausgewiesen. Die Fachgremien „Energieperspektive“ des Bundesamtes für Energie weisen darauf hin, dass ohne staatliche Lenkungsmassnahmen der Energieverbrauch weiter ansteigen werde, allein durch Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Zunahme der Wohnungsfläche, mehr elektrische Geräte, und mehr Mobilität (BFE, 2006). Doch auch mit dem Erreichen der Kyoto-Ziele sind die Anstrengungen im Klimaschutz nicht abgeschlossen. Die Klimaprognosen deuten auf eine anhaltende Erwärmung. Bis ins Jahr 2050 wird es in allen Landesteilen der Schweiz und in allen Jahreszeiten wärmer werden. Nördlich der Alpen wird für den Winter eine Erwärmung von +1,8 °C erwartet, für den Sommer +2,7°C. Auf der Alpensüdseite wird die Erwärmung noch stärker sein. Die Niederschläge werden im Winter zu- und im Sommer abnehmen (www.meteoschweiz.ch).

International wie auch national sind verschiedentlich Ziele und Massnahmen für die Zeit nach Kyoto in Planung oder beschlossen. So wurde im Dezember 2005 eine neue Arbeitsgruppe bestellt, um Vereinbarungen für die Phase nach Kyoto zu diskutieren (UNFCCC 2005). National erarbeitet das Bundesamt für Energie mit Expertinnen und Experten die Energieperspektiven 2035/2050. Diese sollen Optionen für die Planung einer langfristigen nachhaltigen Energiepolitik aufzeigen. Dabei gilt es auch die entstehende Lücke in der Stromversorgung möglichst klimafreundlich zu füllen, denn in 15 bis 20 Jahren werden die Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg die Produktion einstellen.

Auch der Bundesrat hat zur Klimapolitik Strategien entworfen. Er verabschiedete im März 2002 mit dem Aktionsplan „Nachhaltige Entwicklung“ die Vision einer „2000-Watt-Gesellschaft“ als Zielvorgabe für 2050. Statt wie heute rund 6000 Watt pro Person bedeutet dies eine erhebliche Reduktion der CO₂-Emissionen auf eine Tonne CO₂ pro Kopf und Jahr, d.h. um mehr als 80% gegenüber heutigem Stand.

Um diese strategischen Vorgaben und Ziele mittelfristig zu erreichen sind weiterhin enorme Anstrengungen nötig. Dazu zählen Investitionen in die Forschung, die Technologieentwicklung, und nicht zuletzt Verhaltensänderungen beim Menschen im Umgang mit der Ressource Energie. Der vorliegende Bericht zeigt Wege auf, wie in Richtung dieser Ziele hin gelebt werden kann.

2 Methodisches Vorgehen: Analyse der Emissionen und Senken

Eine regionale CO₂-Bilanz bedarf zunächst einer geographischen und inhaltlichen Definition des zu betrachtenden Systems. So mussten zunächst die Systemgrenzen definiert, sowie die hauptsächlichsten Emissionsquellen und Senken identifiziert werden. In einem zweiten Schritt galt es, die CO₂-Emissionen und -Einlagerungen zu quantifizieren. Dazu mussten die entsprechenden Daten zusammen getragen, die Emissionsfaktoren eruiert und die Berechnungen durchgeführt werden. Im Folgenden wird das gewählte System dargestellt und das methodische Vorgehen zur Berechnung der verschiedenen CO₂-Quellen und -Senken erläutert.

2.1 Systemgrenze und Emissionskategorien

Die vorliegende CO₂-Bilanz berücksichtigt alle relevanten Emissionen und Senken innerhalb der Gemeindegrenzen von Davos (Abbildung 1; Abbildung 2). Mit einer Fläche von 25'448 ha ist Davos die zweitgrösste Gemeinde der Schweiz. Vom gesamten Gemeindegebiet sind 45% Weiden, 29% Ödland, 16% Wald, 8% Wiesen, 2% Seen, Flüsse, überbautes Gebiet (www.gemeinde-davos.ch). Dank der Höhenlage (1560 m ü M) und dank der Zahl von 12'621 Einwohnerinnen und Einwohner gilt Davos auch als höchstgelegene Stadt in den Alpen. Dem vergleichsweise kalten Klima (Jahresdurchschnitt: +2.8°C, Normperiode 1961-1990), der langen Schneeliegedauer (durchschnittlich von Mitte November bis Mitte April) sowie der besonderen Wirtschaftsstruktur (Tourismus, Forschung, Kliniken, Landwirtschaft) galt es bei der Identifizierung der hauptsächlichsten Emittenten und Senken Rechnung zu tragen.



Abbildung 1. Davos ist geprägt durch städtische Infrastruktur inmitten landwirtschaftlicher und touristisch genutzter Gebirgsumwelt.

Inhaltliche Gliederung nach Emittenten und Senken

Innerhalb des geographisch abgegrenzten Systems wurden die wichtigsten CO₂-Emittenten und Senken bestimmt, und diese zunächst in zwei Kategorien gegliedert: anthropogen bedingte und natürliche CO₂-Emissionen und -Senken respektive Lager (Abbildung 2). Die anthropogen bedingten Emissionen wiederum sind aufgeteilt in die Bereiche „Energieverbrauch“, sowie in „nicht-energetisch bedingte Aktivitäten“. Die energetisch bedingten Aktivitäten sind aufgeschlüsselt in die drei Gruppen „Wärme“ (Ölfeuerungen, Elektroheizungen, Wärmekraftkopplungsanlagen, Holzfeuerungen, Geothermie-anlagen, Gasanlagen), „Licht und Maschinen (L&M)“ (Elektrizität, Offroad-Sektor), sowie „Verkehr“ (Rhätische Bahn (RhB), Strassenverkehr, Flugverkehr). Die nicht-energetischen Aktivitäten mit CO₂-Ausstoss betreffen die Gruppen „Abfallentsorgung“ (Siedlungsabfälle, Bauabfälle, Biogene Abfälle, Abwasser), „Baumaterialverbrauch“ (Mineralische Rohstoffe, Holz) „Feuerwerk/Sprengstoff“ (Feuerwerke, Sprengungen, Schiessen), und „sonstige Aktivitäten“ (Feuerbestattungen).

Die Flüsse des natürlichen CO₂, die Emissionen, die Lager und die Senken, sind aufgeteilt in die Bereiche Biomasse (Wald, Legföhren und Sträucher, Zwergsträucher, Wiesen), Böden und Gewässer.

Geografische Abgrenzung des Systems

Bei der geographischen Abgrenzung des Systems galt es zum einen das Problem zu lösen, dass einige Güter welche nach Davos importiert und hier genutzt werden, bereits ausserhalb der Systemgrenze beträchtliche Mengen CO₂ produziert haben. Um dies zumindest bei den wichtigsten Kohlenstoff-Trägern zu berücksichtigen, wurden neben den direkten Emissionen auch die sogenannt vorgelagerten Emissionen abgeschätzt. Als vorgelagerte Emissionen werden die Emissionen bezeichnet, die bei der Gewinnung, Aufbereitung, beim Transport, Umfüllen oder Lagern von Gütern innerhalb und/oder ausserhalb der für die direkten Emissionen definierten Systemgrenzen anfallen. Diese vorgelagerten Emissionen können bei manchen Gütern sogar höher sein, als die direkten Emissionen. Ein zweites Problem bei der Definition der Systemgrenzen gab es bei der Frage, inwiefern Aktivitäten zu berücksichtigen sind, welche erst ausserhalb der Gemeindegrenzen zu Emissionen führen, deren Ursache jedoch Tätigkeiten in Davos sind.

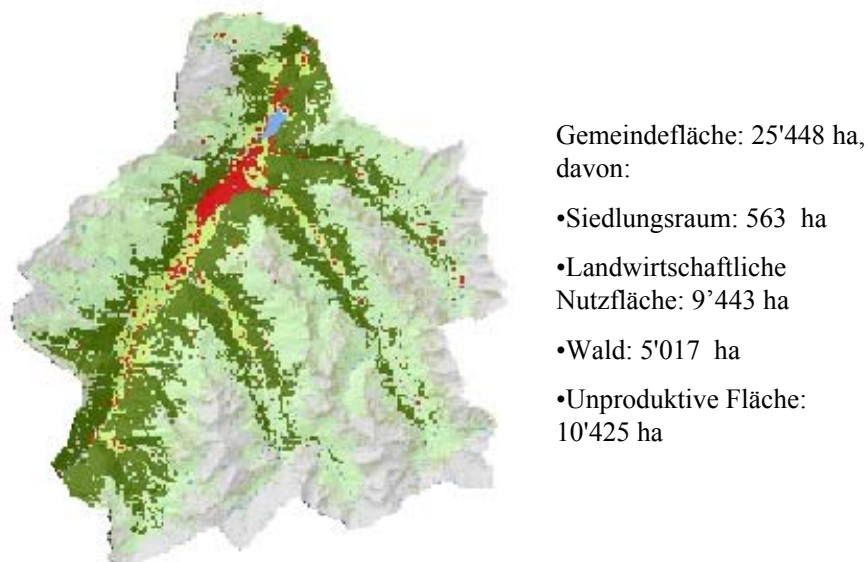


Abbildung 2. Die Gemeinde Landschaft Davos mit Siedlungsraum, landwirtschaftlicher Nutzfläche, Wald und „unproduktiver Fläche“. Die gewählten Systemgrenzen für die Bilanzierung der CO₂-Emissionen entsprechen zumeist den Gemeindegrenzen der Landschaft Davos.

Neben Emissionen und Senken auf Gemeindegebiet sind somit auch relevante Emissionen mit in die Bilanz eingeflossen, welche ausserhalb der Gemeinde Davos anfallen. Bei den anthropogenen, direkten CO₂-Emissionen entspricht die Systemgrenze meistens der Gemeindegrenze. Wenn die Systemgrenze von der Gemeindegrenze abweicht wird dies in den entsprechenden Tabellen des Kapitels 2.3 jeweils in der Spalte „Bemerkungen“ angegeben. Generell gelten folgende Abweichungen:

- Die direkten Emissionen der Abfallentsorgung wurden berücksichtigt, obwohl die Entsorgung mehrheitlich nicht in Davos stattfindet (Davos verfügt nicht über eine eigene Kehrrichtverbrennungsanlage).
- Die Transporte und die entsprechenden Emissionen aller Abfälle bis zur Entsorgungs- oder Wiederverwertungsanlage wurden ebenfalls berücksichtigt.
- Die Energierückgewinnung der Abfallentsorgungsanlagen ausserhalb Davos, sowie die Energie- und Materialeinsparung durch Recycling wurden nicht berücksichtigt.
- Die Energierückgewinnung der Abwasserreinigungsanlage Gadenstatt wurde berücksichtigt, weil diese, wie auch der Verbrauch dieser Energie, innerhalb der Gemeinde Davos verbleiben.
- Der Verkehr wurde nur innerhalb der Gemeindegrenzen berücksichtigt. Zwar ist bekannt, dass der Energieverbrauch einer Ferienreise bis zur Gemeindegrenze mit Flugzeug, Bahn, Bus oder Auto rund 90% des Gesamtenergieverbrauchs der Reise ausmacht (PILS 1998). Da Weg und Transportmittel der anreisenden Gäste wie auch der Pendlerinnen und Pendler nicht bekannt sind, wurde der entsprechende Energieverbrauch in der Bilanz aber nicht berücksichtigt.

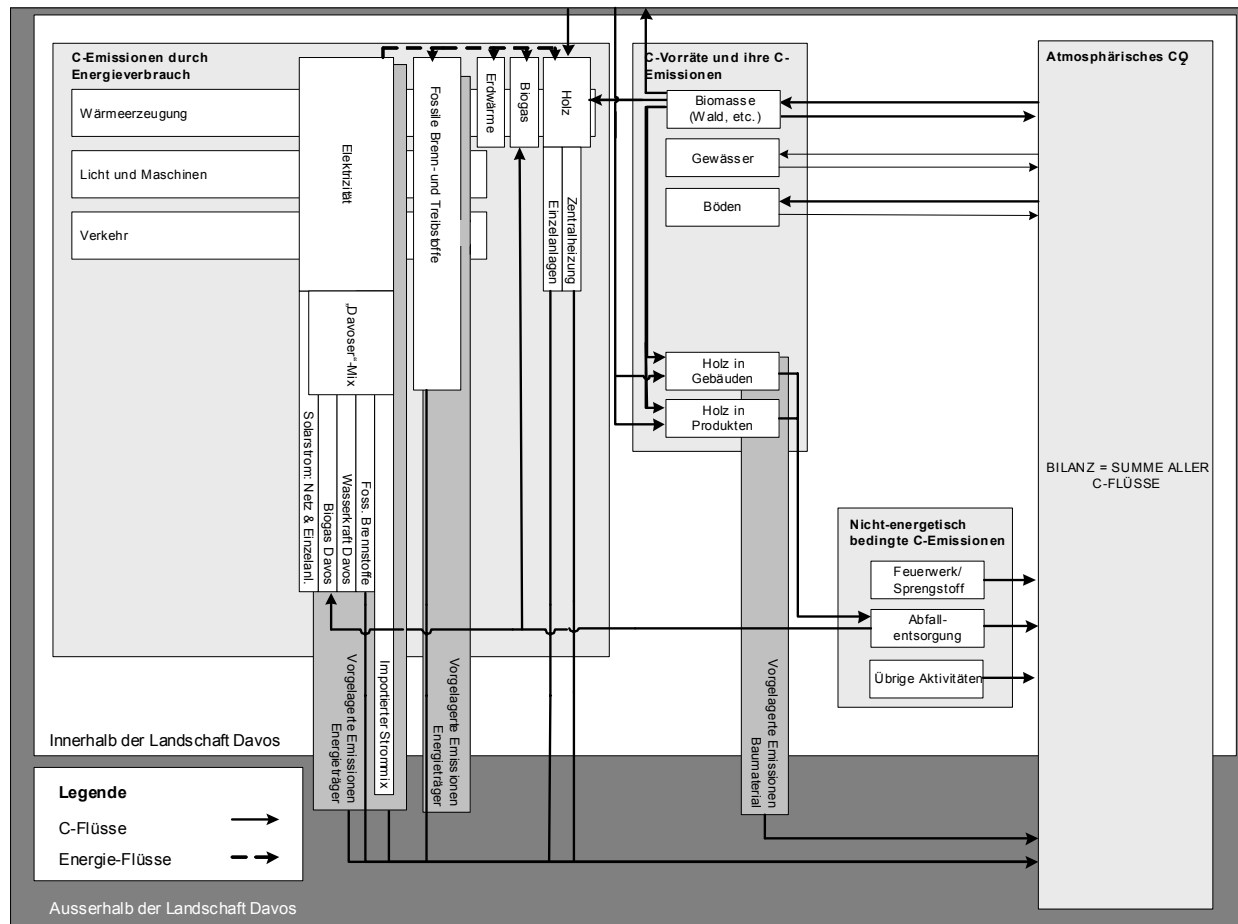


Abbildung 3. System „CO₂-Bilanz Davos“. Die weiss hinterlegte Fläche symbolisiert das Gemeindegebiet Davos. Die Pfeile zeigen die CO₂-Flusswege zwischen Emissionsquellen, Senken und Bilanz. Die unterbrochenen Pfeile stellen die Energie-Flüsse (Strom) zu den Energieerzeugungsanlagen dar (in den Bereichen Wärme, Licht und Maschinen, sowie Verkehr).

2.2 Datengrundlage und Berechnungen

2.2.1 Datenherkunft

Die Daten und Formeln zur Berechnung der Davoser CO₂-Bilanz entstammen unterschiedlichsten Quellen. Grundsätzlich basiert die Bilanz auf den aktuellsten Emissionskennzahlen und Erhebungsdaten, die Ende 2005 verfügbar waren. Nebst dem umfangreich vorhandenen Datenmaterial der Gemeinde wurden auch statistische Daten vom Kanton Graubünden, Daten eigener Forschungsprojekte, sowie ebensolche aus wissenschaftlichen Publikationen und Zeitungsartikeln oder solche, die auf Auskünften Dritter beruhen, zusammengetragen und verarbeitet. Die Herkünfte und Bezugsjahre der Daten sind ebenfalls in den Tabellen des Kapitels 2.3 angegeben.

2.2.2 Berechnungen

Auf Basis der vorhandenen Daten galt es die tatsächlichen CO₂-Emissionen zu berechnen. Dazu wurden für jede Quelle und Senke die Emissionsmenge berechnet (ermittelt aus Aktivitätsrate und Emissionsfaktor), und der Wirkungsgrad der Emissionsquelle (erzeugte versus Input-Energie) zusammengetragen. Die meisten Emissionsmengen wurden mit der Gleichung: Emissionsmenge = Aktivitätsrate x Emissionsfaktor (EF) berechnet. Die Aktivitätsrate entspricht dem Energie- bzw. Brennstoffverbrauch. Die Emissionsfaktoren sind stoff- und prozessspezifisch. Der Emissionsfaktor ist das Verhältnis aus der Masse eines freigesetzten (emittierten) Stoffes zur eingesetzten Masse eines Ausgangsstoffes. Die Emissionsfaktoren für die Berechnungen wurden übernommen vom Bundesamt für Umwelt (BUWAL 2000, BUWAL 2003, BUWAL 2005a, BUWAL 2005b), und aus der Life-Cycle-Inventory Datenbank ecoinvent (ecoinvent centre 2005). Die jeweils benutzten Emissionsfaktoren und die entsprechenden Quellen sowie allfällige Verweise auf weiterführende Erläuterungen in den Tabellen des Kapitels 2.3 angegeben

Wirkungsgrad und Energieverbrauch

Der Wirkungsgrad einer Emissionsquelle ist das Verhältnis zwischen der erzeugten Energie und der Input Energie. Die erzeugte Energie ist die Endenergie, die dem Endnutzer zur Verfügung steht. Die Input Energie ist die Energie, die eine Anlage braucht, um eine erwartete Leistung zum Endnutzer zu bringen. Weil der Wirkungsgrad nicht immer oder nur ungenau bestimmt werden konnte, war es nicht möglich für jede Emissionsquelle die erzeugte Energie und die Input Energie anzugeben. In diesen Fällen ist entweder die erzeugte Energie oder die Input Energie in die Bilanz eingeflossen:

- Input Energie: Bei den Emissionsquellen „Holzfeuerungen“, „Gasküchen“ (Gaskochfelder in Restaurants), „Offroad Sektor“ und „Verkehr“ wurde die Input Energie angegeben.
- Erzeugte Energie: Bei den Emissionsquellen „Wärmeerzeugung“ und „Elektrizität“ konnte, ausser bei „Holzfeuerungen“ und „Gasküchen“, nur die erzeugte Energie angegeben werden.

Analyse der Stromquellen

Für den in Davos konsumierten Strom werden je nach Zusammensetzung der Strom-Herkünfte verschiedene Begriffe verwendet. Der grösste Teil des Stroms wird vom Elektrizitätswerk Davos AG (EWD) verteilt (98,1%). Zusätzlich zur Stromverteilung durch das EWD wird in Davos Strom privat erzeugt und verbraucht.

Unter „EWD-Normalstrom“ wird derjenige Strom-Mix verstanden, der vom EWD verkauft wird. Die einzelnen Energielieferanten, die Produktionsart und der Anteil am Endenergieverbrauch sind in Kapitel 3.1.5 dargestellt.

Demgegenüber wird mit „Strom-Mix-Schweiz“, der aus der Schweiz nach Davos importierte Strom in der Zusammensetzung gemäss BFE (2004) bezeichnet.

Der mit „Strom-Mix-Davos“ bezeichnete Strom entspricht der Strom-Zusammensetzung, die in Davos effektiv verbraucht wird. Zum EWD-Normalstrom wird hier auch die Stromproduktion, welche nicht über das EWD verteilt wird, berücksichtigt.

Der Strom für die Lokomotiven der Rhätischen Bahn wird separat bezogen und verrechnet, und ist hier nicht enthalten (siehe auch Kapitel 3.1.5).

2.3 Anthropogene direkte CO₂-Emissionen und -Lager

2.3.1 Einleitung und Vorbemerkung

In den folgenden Tabellen werden die Emissionsquellen und die entsprechenden Datenquellen mit wichtigen Berechnungsgrundlagen sowie die dazugehörigen Emissionsfaktoren aufgeführt. In der Spalte „Bemerkungen“ werden wichtige zusätzliche Informationen wie beispielsweise die Systemgrenzen erläutert. Generell gelten die Gemeindegrenzen als Systemgrenzen, falls unter „Bemerkungen“ nichts anderes vermerkt ist.

2.3.2 Energetisch bedingte Emissionen

Die sogenannten „Energetisch-bedingten Emissionen“ umfassen die Aktivitäten der Gruppen „Wärmeerzeugung“, „Licht und Maschinen“, sowie „Verkehr“.

Wärmeerzeugung

Die Wärme wird in Davos mit fossilen Brennstoffen in zentralen Ölfeuerungsanlagen und in Blockheizkraftwerken (BHKW), mit Biogas in Wärmekraftkoppelungsanlagen (WKK), mit Strom in Elektroheizungen, mit Holz in Holzfeuerungsanlagen (Stückholz, Holzschnitzel, Pellets) und mit Erdwärme über Wärmepumpen erzeugt (Abbildung 3).

Der Betrieb einiger Energieerzeugungsanlagen (Elektroheizungen, Wärmepumpen etc.) braucht Strom vom Elektrizitätswerk Davos AG (EWD-Normalstrom, gestrichelte Pfeile in Abbildung 3). Dieser Verbrauchswert wird unter EWD-Normalstrom verbucht.

a) Ölfeuerungen

In Ermangelung genauer Daten über den Heizölverbrauch ist zur Berechnung der Emissionen von Ölfeuerungsanlagen der Energieverbrauch auf Basis der eingestellten Feuerwärmeleistung und der Anzahl Betriebsstunden hochgerechnet worden. Die so ermittelten Werte wurden mit den abgeschätzten Heizöl-Lieferungen verglichen und dank ihrer Übereinstimmung für die weiteren Berechnungen verwendet.

Tabelle 1. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen von Ölfeuerungsanlagen in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Zentralheizung	Feuerungskontrolle Davos: Datenbank; eingestellte Feuerwärmeleistung von 1507 Anlagen (Bezugsjahr: 2005). Energiebuchhaltung Gemeindeliegenschaften: Werte von 19 Liegenschaften der Gemeinde Davos (Bezugsjahr:	Von den 31 Liegenschaften der Gemeinde Davos werden 19 mit Heizöl beheizt und 12 mittels Elektroheizungen oder Holz. Die Fernwärmelieferungen von drei Anlagen wurden nicht mitberücksichtigt (der Wärmebedarf ist höher als der hier gerechnete Energieverbrauch für Wärme):

	2005). Kaminfegermeister Davos: Anzahl Betriebsstunden, Stichprobe anhand der Ablesewerte zwischen zwei Reinigungsintervallen bei 42 Ölfeuerungsanlagen (Bezugsperiode: 2005). Emissionsfaktor: 73,7t CO₂/TJ (BUWAL 2005a)	- Fernwärme vom Rathaus an das Kreisamt - Fernwärme vom Schulzentrum Platz an die Aula und Turnhallen - Fernwärme vom Hallenbad an das Kongresszentrum und Restaurant. Methode: 1. Betriebsstunden für 2005: Hochrechnung der Ablese- und Stichprobendaten mittels Heizgradtage und Kalkulation des Anteils an Betriebsstunden auf der 1. und auf der 2. Brennerstufe. 2. Anhand der Leistung und Betriebsstundenzahl von 61 Anlagen, wurde eine durchschnittliche Betriebsstundenzahl für 3 verschiedene Leistungsklassen (bis 70kW, von 70 bis 350kW, über 350kW) berechnet. 3. Total Heizölverbrauch: Die 1507 Ölfeuerungsanlagen wurden nach diesen 3 Leistungsklassen geordnet, und deren Leistung auf der jeweiligen Brennerstufe mit der korrespondierenden Betriebsstundenzahl multipliziert. Dabei ist auch die Anzahl Brenner (1 oder 2) berücksichtigt worden.
--	--	--

b) Elektroheizungen

Elektroheizungen brauchen EWD-Normalstrom, dessen Zusammensetzung in Kapitel 3.1.5 näher erläutert ist.

Tabelle 2. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen von Elektroheizungen in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
EWD-Normalstrom	Elektrizitätswerk Davos AG (EWD); EWD-Strom-Mix, Zahlen und Fakten (Bezugsjahr: 2004, Daten 2005 noch nicht vorhanden) und eigene Anpassungen. Emissionsfaktor: 0,393E-05 t CO₂/kWh (41% in Davos und 59% in der Schweiz) (eigene Berechnung)	Stromabgabe an: Öffentliche Betriebe, Bergbahnen und Schneeanlagen, Öffentliche Beleuchtung, Handel und Gewerbe, Hotels, Restaurants und Kliniken, Haushaltungen und Landwirtschaft Stromabgabe für Wärme: 23,94% vom gesamten Stromverkauf des EWD. Die Aufteilung in die einzelnen Kategorien von Wärme/Licht und Maschinen ist nicht möglich. Der Stromverbrauch der Rhätischen Bahn (RhB) für Gebäude und Infrastruktur ist mitberücksichtigt (Öffentliche Betriebe). Der Emissionsfaktor ist wegen der Verbrennung von Diesel, Gas und Heizöl für Stromerzeugung nicht null.

c) Wärmekraftkopplungs-Anlagen (WKK)

Der Strom aus den WKK-Anlagen wird entweder für den Eigengebrauch verwendet, oder an das EWD geliefert.

Tabelle 3. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen der Wärmekraftkopplungs-Anlagen (WKK) in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Abwärme Diesel BHKW	Elektrizitätswerk Davos AG: Zahlen und Fakten (Bezugsjahr: 2004). Emissionsfaktor: 73,6 t CO₂/TJ	Diese Anlagen produzieren Wärme sowie Strom für Licht und Maschinen. Niederlands Astmacentrum und Hotel Sunstar

	(BUWAL 2005a)	produzieren Wärme und Strom (Verhältnis: 60% zu 40%, Annahme). Wärme für den Eigenbedarf, sowie Strom für das EWD.
Abwärme Gas BHKW	Elektrizitätswerk Davos AG: Zahlen und Fakten (Bezugsjahr: 2004). Gemeinde Davos: Jahresbericht Emissionsfaktor: 55 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2005a)	Die Anlage der Zürcher Hochgebirgsklinik produziert Wärme sowie Strom für Licht und Maschinen. Die Zürcher Hochgebirgsklinik (2 Heizkessel mit 1000 kW) produziert Wärme und Strom (Verhältnis: 60% / 40%, Annahme) für Eigenbedarf. Strom wird nicht an EWD verkauft.
Abwärme ARA-Biogas BHKW	Elektrizitätswerk Davos AG: Zahlen und Fakten (Bezugsjahr: 2004). Kläranlagen (Bezugsjahr: 2004) Emissionsfaktor: 0 (nur biogenes CO ₂)	Die ARA Gadenstatt produziert Wärme und Strom (Verhältnis: 60% / 40%, Annahme) für Eigenbedarf. Strom wird nicht an EWD verkauft. Die Emissionen, die durch die Abwasserreinigung anfallen, sind unter „Abwasser“ integriert. Systemgrenzen: für die vorgelagerten Emissionen von Wärme- und Strom-Erzeugungsanlagen und Maschinen.
Abwärme Biogasanlage	Elektrizitätswerk Davos AG: Zahlen und Fakten (Bezugsjahr: 2004); Genesys GmbH (2003). Emissionsfaktor: 5,9 t CO ₂ /TJ (=8% * Emissionsfaktor Diesel) (BUWAL 2005a)	Diese Anlage produziert Wärme und Strom. Im Jahr 2004 war die Biogasanlage in der Einführungsphase. Schon im Jahr 2005 war die Energieproduktion höher. Wenn die Anlage die angestrebte Verarbeitungsmenge erreicht hat, wird sie gemäss UVB 526'800 kWh Strom und 658'500 kWh Wärme liefern können (2'000% der Produktion im Jahr 2004). Die Wärme wird für das Beheizen des Reaktors, der Kompostiertrommel etc. und von zwei Liegenschaften verwendet. Ein Teil des Stroms wird ebenfalls für den Eigenverbrauch verwendet. Der Rest wird an das EWD verkauft und gelangt als Biogasstrom auf den Markt. Die Biogasanlage braucht für die Vergasung pro Stunde ca. 2 Liter Diesel (8% der erzeugten Energie). Angenommen wurde, dass der Dieselvebrauch auf den Eigenverbrauch und den EWD-Strom-Mix verteilt ist.

d) Holzfeuerungen

Der Energieverbrauch der Holzfeuerungen wurde analog zu den Ölfeuerungsanlagen auf Basis der eingestellten Feuerwärmeleistung und der Anzahl Betriebsstunden berechnet, konnte jedoch nicht mit dem gesamten Holzverbrauch verifiziert werden.

Die verschiedenen Holzfeuerungsanlagen emittieren nur biogenes CO₂, das als CO₂-neutral betrachtet wird. Entsprechend werden für das Holz in Holzfeuerungsanlagen nur vorgelagerte CO₂-Emissionen betrachtet, für Holz, welches nach Davos importiert wird.

Tabelle 4. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen der Holzfeuerungsanlagen in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Zentralheizung	Kaminfegermeister Davos: Datenbank, Anzahl Holzheizungen mit Zentralheizungsfunktion und mittlere Feuerwärmeleistung (Bezugsjahr: 2005); Betriebszeit: Annahme. Emissionsfaktor: 0 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2005a)	68 Anlagen in Betrieb in Davos. Die Menge Brennholz (1'952 m ³) wurde anhand der Anzahl Heizungen, der Leistung, der Betriebszeit und des Heizwertes angenähert. Das importierte Holz (36,29%, davon: Stückholz: 98,78% (Vorlet 2003); Restholz von Schreinereien: 72% (1'800m ³ von 2'500m ³ , Vorlet 2003); Restholz

		von Künzli: 100% (eigene Annahme)) kommt aus Graubünden und wird mit der RhB nach Davos gebracht. Der Anteil Nadelholz am importierten Holz beträgt 66%. Davoser Holz ist zu 100% Nadelholz.
Stückholzfeuerungen und Cheminees	Kaminfegermeister Davos: Schätzung der Anzahl Einzelstückholzfeuerungen (Bezugsjahr: 2005); Mittlere Feuerwärmeleistung und Betriebszeit: Annahme. Emissionsfaktor: 0 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2005a)	In Davos sind rund 550 Einzelstückholzfeuerungen in Betrieb. Darin enthalten sind z.B. auch die Holzöfen der Pizzerias. Die Menge Brennholz (345 m ³) wurde anhand der Anzahl Heizungen, der Leistung, der Betriebszeit, und dem Heizwert hergeleitet. Das nach Davos importierte Holz (98,78%, Vorlet 2003) kommt aus Graubünden und wird mit der RhB hierher gebracht. Der Anteil Nadelholz am importierten Holz beträgt 66%. Beim Davoser Holz wird mit einem Anteil von 100% Nadelholz gerechnet.
Holzsnitzelheizungen	Gemeinde Davos: Energiebuchhaltung Gemeindeliegenschaften und Kaminfegermeister Davos: Anzahl Holzsnitzelheizungen und Input Energie (Bezugsjahr: 2005); Emissionsfaktor: 0 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2005a)	Insgesamt sind 3 Anlagen in Davos in Betrieb, zwei davon werden von der Gemeinde betrieben. Die Menge Holzsnitzel (669 m ³) wurde der Energiebuchhaltung der Gemeinde entnommen. Für eine Anlage musste sie anhand der Leistung, der Betriebszeit und des Heizwertes hergeleitet werden. Das nach Davos importierte Holz (98,78%, Vorlet 2003) stammt aus Graubünden und wird mit der RhB hierher gebracht. Der Anteil Nadelholz am importierten Holz beträgt 66%. Beim Davoser Holz wird mit einem Anteil von 100% Nadelholz gerechnet.
Pelletsheizungen	Kaminfegermeister Davos und Datenbank Energiestadt Davos: Anzahl Pelletsheizungen; Abschätzung Energiebezugsflächen: Grundrisse und Pläne; Energiekennzahlen: Sollwerte für Davos gemäss EnergieSchweiz; Heizwert Pellets: Jenni Energietechnik AG (Bezugsjahr: 2005). Emissionsfaktor: 0 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2005a)	In Davos sind 9 Anlagen, davon 6 in EFH und 3 in MFH in Betrieb. Die Menge Pellets (187 m ³) wurde anhand der Anzahl Heizungen, der Energiebezugsfläche, dem Sollwert für Wärme und dem Heizwert hergeleitet.

e) Geothermieranlagen

Die mit Erdwärme betriebenen Wärmepumpen brauchen für ihren Betrieb Strom (EWD-Normalstrom), dessen Zusammensetzung in Kapitel 3.1.5 näher erläutert ist.

Tabelle 5. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen der Geothermieranlagen (Erdwärme) in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Erdwärme	Datenbank Energiestadt Davos und Elektrizitätswerk Davos: Anzahl Erdsonden mit Wärmepumpen (Bezugsjahr: 2004). Emissionsfaktor: 0,25 * Emissionsfaktor Normalstrom EWD = 0,0384E-05 t CO ₂ /kWh (41% in Davos und 59% in der Schweiz)	Bei einer Wärmepumpenheizung liegt das Verhältnis zwischen abgegebener Heizenergie und der aufgenommenen elektrischen Energie zwischen 3 und 4,5. Dies bedeutet, dass rund 25%-30% der erzeugten Wärmeenergie als elektrische Energie gebraucht wird. Deswegen erzeugen Wärmepumpen keine CO ₂ -freie Energie. Weil jedoch im EWD-Normalstrom die direkten und vorgelagerten Emissionen bereits berücksichtigt werden, dürfen sie hier nicht nochmals dazu gezählt werden.

f) Gasanlagen

Die mit Gas betriebenen Kochherde in Restaurants und Hotels bilden in Davos eine relevante CO₂-Emissionsquelle.

Tabelle 6. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen der Gasanlagen in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Gasküchen in Restaurants	Brennstoffhändler und Hotels/Restaurants: Abgesetzte und verbrauchte Menge an Flüssiggas (Bezugsjahr: 2005). Emissionsfaktor: 55 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2005a)	

Licht und Maschinen

Die Energie für den Betrieb von Licht und Maschinen stammt entweder aus Elektrizitätswerken (EWD-Normalstrom, nicht-EWD-Normalstrom) oder aus der Verbrennung von fossilen Treib- und Brennstoffen.

a) Elektrizität

Der Verbrauch von EWD-Normalstrom, Biogas-Strom und Solarstrom verursachen nur geringe direkte CO₂-Emissionen, hingegen sind die vorgelagerten Emissionen für die Vorbereitung der Energieträger teilweise bedeutend. Die Stromerzeugung mit Diesel und Gas in den Wärmekraftkopplungsanlagen verursacht hohe direkte CO₂-Emissionen sowie auch vorgelagerte Emissionen.

Es wurde angenommen, dass der Strom, welcher nicht über das EWD verteilt wird, nur für Licht und Maschinen gebraucht wird (und nicht für Wärme), da dieser Strom ein Nebenprodukt der Wärmeproduktion mit Gas, Diesel und Biomasse ist. Beim Solarstrom wurde dasselbe angenommen. Es wurde vernachlässigt, dass ein kleiner Anteil des Stroms aus der Biogasanlage, welcher an das EWD verkauft wird, von EWD-Kunden für die Erzeugung von Wärme gebraucht wird.

Tabelle 7. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
EWD-Normalstrom	Elektrizitätswerk Davos AG; EWD-Strom-Mix, Zahlen und Fakten (Bezugsjahr: 2004). Emissionsfaktor: 0,447 t CO ₂ /TJ in Davos und 0,644 t CO ₂ /TJ in der Schweiz (eigene Berechnung, Datei „Strom Mix Davos.xls/ Strom-Mix EWD“)	Stromabgabe an: Öffentliche Betriebe, Bergbahnen und Schneeanlagen, Öffentliche Beleuchtung, Handel und Gewerbe, Hotels, Restaurants und Kliniken, Haushaltungen und Landwirtschaft Der Anteil Strom für Licht und Maschinen (L&M) an der gesamten Stromabgabe beträgt: 76,06%. Eine Aufteilung W/L&M für jede einzelne Abgabekategorie wurde nicht vorgenommen. Der Stromverbrauch der RhB für Gebäude und Infrastruktur ist in dieser Statistik enthalten (Öffentliche Betriebe). Der Emissionsfaktor ist wegen der Verbrennung von Diesel, Gas und Heizöl für Stromerzeugung nicht null.
Strom Diesel BHKW	Elektrizitätswerk Davos AG : Energieerzeugung (Bezugsjahr: 2004).	Diese Anlagen produzieren Wärme sowie Strom für Licht und Maschinen.

	Emissionsfaktor: 73,6 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2005a)	Niederlands Astmacentrum und Hotel Sunstar produzieren Wärme und Strom (Verhältnis: 60% / 40%, Annahme). Wärme für den Eigenbedarf, sowie Strom für das EWD. Der Stromverbrauch für den Betrieb der Anlage wird vernachlässigt.
Strom Gas BHKW	Elektrizitätswerk Davos AG: Energieerzeugung (Bezugsjahr: 2004). Emissionsfaktor: 55 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2005a)	Diese Anlagen produzieren Wärme sowie Strom für Licht und Maschinen. ARA Gadenstatt und Zürcher Hochgebirgsklinik (2 Heizungskessel mit 1000 kW) produzieren Wärme und Strom (Verhältnis: 60% / 40%, Annahme) für Eigenbedarf. Strom wird nicht an EWD verkauft. Der eventuelle Stromverbrauch für den Betrieb der Anlage wird vernachlässigt.
Strom ARA-Biogas BHKW	Elektrizitätswerk Davos AG: Zahlen und Fakten (Bezugsjahr: 2004). Kläranlagen (Bezugsjahr: 2004) Emissionsfaktor: 0 (nur biogenes CO ₂), hingegen sind die vorgelagerten Emissionen nicht null.	Die ARA Gadenstatt produziert Wärme und Strom (Verhältnis: 60% / 40%, Annahme) für Eigenbedarf. Strom wird nicht an EWD verkauft. Die Emissionen, die durch die Abwasserreinigung anfallen, sind unter „Abwasser“ integriert. Systemgrenzen: für die vorgelagerte Emissionen von Wärme- und Strom-Erzeugungsanlagen und Maschinen.
Strom Biogasanlage	Elektrizitätswerk Davos AG : Energieerzeugung (Bezugsjahr: 2004). Genesys GmbH: Umweltverträglichkeitsbericht für Gastro-Kompakt Biogasanlage Fam. Hoffmann Davos; 2003 Emissionsfaktor: 5,9 t CO ₂ /TJ (= 8% Emissionsfaktor Diesel) (BUWAL 2005a)	Diese Anlage produziert Wärme und Strom. Im Jahr 2004 war die Biogasanlage in der Einführungsphase. Wenn die Anlage die angestrebte Verarbeitungsmenge erreicht hat, wird sie gemäss UVB 526800 kWh Strom und 658500 kWh Wärme liefern können (2'000% der Produktion im Jahr 2004). Der Anteil Diesel an der Energieproduktion bleibt aber konstant. Der Stromanteil für den Eigenverbrauch beträgt rund 15% der Gesamtproduktion (gem. UV Bericht). Die restlichen 85% des Biogasstroms werden an das EWD verkauft. Die Biogasanlage braucht für die Vergasung pro Stunde ca. 2 Liter Diesel (8% der erzeugten Energie gemäss UVB (Genesys GmbH 2003)). Dieser Dieselverbrauch wird auf den Eigenverbrauch und den EWD-Strom-Mix verteilt.
Solarstrom	Elektrizitätswerk Davos AG : Energieerzeugung (Bezugsjahr: 2004). Emissionsfaktor: 0	Eigenverbrauch: 79% vom erzeugten Strom. Der eventuelle Stromverbrauch für den Betrieb der Anlage wird vernachlässigt.

b) Offroad-Sektor:

In der Kategorie „Offroad-Sektor“ sind Maschinen aus Bau-, Land- und Forstwirtschaft, Schneeräumung, Pistenpräparation, und Feuerwehr zusammengefasst. Die Maschinen im Offroad-Sektor brauchen fossile Treibstoffe (Diesel, Benzin, Alkylatbenzin). Von den verschiedenen Ämtern der Gemeinde Davos und von Davos Tourismus standen präzise Daten zur Verfügung. Die Emissionen der Baumaschinen und der Pistenfahrzeuge wurden anhand der bei Strassenverkehrsamt Graubünden immatrikulierten Fahrzeuge hochgerechnet. Kleinere Baumaschinen, die beim Strassenverkehrsamt nicht registriert waren, sind nicht berücksichtigt worden. Bei den übrigen Offroad-Bereichen wie private Schneeräumung, private Rasen- und Waldpflege mussten die Anzahl Maschinen und die Betriebsstunden abgeschätzt werden.

Tabelle 8. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen vom Offroad-Sektor in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Bauwirtschaft	Strassenverkehrsamt Graubünden: Anzahl immatrikulierter Baumaschinen, Leistung (Bezugsjahr: 2005); BUWAL 2004; Betriebsstunden, Lastfaktor (Bezugsjahr: 2005); Abschätzung Treibstoffverbrauch mit Erfahrungswerten Emissionsfaktoren: Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ, Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Weil kleinere Baumaschinen nicht berücksichtigt werden konnten, wurde mit einer höheren Betriebsstundenzahl bei den übrigen Baumaschinen gerechnet.
Landwirtschaft	Eidgenössische Zollverwaltung EZV: Diesel und Benzinverbrauch der landwirtschaftlichen Fahrzeuge in Davos (Bezugsjahr: 2004) Emissionsfaktoren: Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ, Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Maschineneinsatz.
Forstwirtschaft	Forstdienst Gemeinde Davos: Verbrauch von Benzin, Alkylatbenzin und Diesel (Bezugsjahr: 2005) Emissionsfaktoren: Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ, Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003); Alkylatbenzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (Annahme)	Maschineneinsatz. Annahme: Emissionsfaktor für Alkylatbenzin = Emissionsfaktor Benzin.
Pistenmaschinen	Strassenverkehrsamt Graubünden: Anzahl immatrikulierter Pistenma- schinen, Leistung (Bezugsjahr: 2005); Abschätzung Treibstoffverbrauch Winter 05/06 mit Erfahrungswerten Emissionsfaktoren: Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Skipistenmaschinen, Ratraks
Motorschlitten	Strassenverkehrsamt Graubünden: Anzahl immatrikulierte Motorschlitten, Leistung (Bezugsjahr: 2005); Abschätzung Treibstoffverbrauch Winter 05/06 mit Erfahrungswerten Emissionsfaktoren: Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	
Schneeräumung Innerorts	Davos Tourismus/Technischer Dienst: Treibstoffverbrauch und Stundeneinsatz der eigenen Schneeräumungsmaschinen (Nov.05-Feb.06), Stundeneinsatz aller fremden Schneeräumungsmaschinen (Nov.05-Feb.06). Treibstoffverbrauch für fremde Maschinen: Werte von Davos Tourismus. Emissionsfaktoren: Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ, Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Der Treibstoffverbrauch wurde zur Ergänzung der fehlenden Monate für den ganzen Winter 05/06 mit einem Faktor 1,15 hochgerechnet (eigene Annahme). Zusammensetzung Treibstoffver-brauch: 25% Benzin, 75% Diesel. Rund 60% des Treibstoffs werden durch Maschinen von Davos Tourismus verbraucht, der Rest von beauftragten privaten Unternehmungen.
Schneeräumung Ausserorts	Tiefbauamt Graubünden, Bezirk 5, Davos: Stundeneinsatz der Schnee-	Fahrzeug- und Maschineneinsatz

	räumungsmaschinen, Winter 05/06; Spezifischer Dieserverbrauch: Werte von Davos Tourismus. Emissionsfaktoren: Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	
Schneeräumung durch Private	Angaben SLF: Werte für Winter 05/06. Hochrechnung aufgrund dieser Werte sowie eigener Annahmen bezüglich der Anzahl Maschinen und der mittleren Leistung. Emissionsfaktoren: Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Maschineneinsatz
Feuerwehr	Feuerwehr Davos: Anzahl Fahrzeuge, Betriebsstunden, Lastfaktor (Bezugsjahr: 2005) Emissionsfaktoren: Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ, Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Fahrzeug- und Maschineneinsatz
Strassendienst Innerorts	Strassenverkehrsamt Graubünden: Anzahl Strassenkehrmaschinen, Leistung (Bezugsjahr: 2005): Davos Tourismus/Technischer Dienst: Stundeneinsatz, (Bezugsjahr: 2005): Treibstoffverbrauch und Lastfaktor: eigene Annahmen. Emissionsfaktoren: Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ, Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Fahrzeug- und Maschineneinsatz
Gartenpflege und Hobby	Eigene Annahmen: Anzahl Maschinen, Betriebsstunden Rasenmäher Golfplatz BUWAL 2004: Leistung, Betriebs- stunden Motorsägen, Lastfaktor (Bezugsjahr: 2005) Emissionsfaktor: Benzin: 73,9 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Rasenmäher Golf, Motorsägen

Verkehr

Im Bereich Verkehr werden die Emissionen analysiert, welche durch die Rhätische Bahn, den Strassenverkehr, und den Flugverkehr der Helikopter verursacht sind.

a) Rhätische Bahn

Die RhB bezieht den Strom für ihre Gebäude vom EWD. Der Strom, welcher auf dem Streckennetz gebraucht wird, wird hingegen über RhB-eigene Stromwerke bezogen. Dies gilt auch für das Netz innerhalb der Landschaft Davos (Quelle: RhB, persönliche Mitteilung).

Tabelle 9. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen der Rhätischen Bahn in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Personentransport Strecken Filisur-Davos- Klosters	Rhätische Bahn: Jährlicher Stromver- brauch auf den entsprechenden Strecken- abschnitten (Bezugsjahr: 2005) Emissionsfaktor Strom	Die RhB kauft Strom bei Rätia Energie (Laufwasserkraft). Annahme: Lauf-wasserkraft aus dem Kanton GR. Systemgrenzen: Strecken Davos – Filisur und Davos –

	(Laufwasserkraft): 0.	Klosters
Kehrichttransport Davos-Trimmis	Gemeinde Davos: Abfallstatistik; Anzahl Güterwagen mit Kehricht (Bezugsjahr: 2005) Rhätische Bahn: Durchschnittlicher Stromverbrauch von Güterzügen (Bezugsjahr: 2005) Emissionsfaktor Strom (Laufwasserkraft): 0.	Die Siedlungsabfälle werden mit der Bahn zur KVA Trimmis transportiert. Die Sammeltransporte innerhalb der Landschaft, welche mit dem Kehrichtlastwagen erfolgen, sind in der Kategorie Strassenverkehr, Schwere Nutzfahrzeuge (SNF) "berücksichtigt." Systemgrenzen: ab der Gemeindegrenze bis zur Entsorgungsanlage in Trimmis.
Klärschlammtransport Davos-Chur	Gemeinde Davos: Jahresbericht Kläranlagen Davos; Anzahl Güterwagen mit Klärschlamm (Bezugsjahr: 2005) Rhätische Bahn: Durchschnittlicher Stromverbrauch von Güterzügen (Bezugsjahr: 2005) Emissionsfaktor Strom (Laufwasserkraft): 0.	Der Klärschlamm wird mit der Bahn nach Chur in die Trocknungsanlage transportiert. Systemgrenzen: ab der Gemeindegrenze bis zur Entsorgungsanlage in Chur.
Transport von Altholz	Gemeinde Davos: Berechnung der Altholzmenge aufgrund der Entsorgungserklärungen für 2005 sowie aufgrund von Angaben des Transportgewerbes der zuständigen Fachstelle beim ANU Graubünden (Bezugsjahr: 2005) Emissionsfaktor Strom (Laufwasserkraft): 0.	Das in Davos anfallende Altholz wird in der KVA Buchs (33%, 77,8 km) und in der KVA Trimmis (66%, 57,9 km) verbrannt. Der Export von Altholz nach Italien wird hier nicht berücksichtigt. Systemgrenzen: ab der Gemeindegrenze bis zur Entsorgungsstelle.
Transport von brennbaren Bauabfällen	Gemeinde Davos: Berechnung der Menge an brennbaren Bauabfällen aufgrund der Entsorgungserklärungen für 2005 sowie aufgrund von Angaben der zuständigen Fachstelle beim ANU Graubünden. Emissionsfaktor Strom (Laufwasserkraft): 0.	Die brennbaren Bauabfälle werden in der KVA Buchs (33%, 77,8 km) und in der KVA Trimmis (66%, 57,9 km) verbrannt. Systemgrenzen: ab der Gemeindegrenze bis zur Entsorgungsstelle Buchs oder Trimmis.
Diesellokomotiven	Rhätische Bahn: Dieserverbrauch in Davos (Bezugsjahr: 2005) Emissionsfaktor Diesel: 73,6 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	

b) Strassenverkehr

Die CO₂-Emissionen aus dem Strassenverkehr in der Landschaft Davos basieren auf einem Bericht von INFRAS, der im Auftrag des Amts für Umwelt Graubünden im Jahr 2003 erstellt wurde.

Zum entsprechenden Verkehrsmodell wurde ein Verkehrsmengengerüst verwendet. Es besteht einerseits aus Verkehrszählungen auf den Verbindungsstrassen („Linkverkehr“) und andererseits aus Schätzwerten des Verkehrsaufkommens auf den übrigen Strassen (Flächenverkehr).

Tabelle 10. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen aus dem Strassenverkehr in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Personenwagen (PW)	ANU Graubünden: Emissionskataster Graubünden 2000 und Berechnungen Infrast 2005 (Bezugsjahre: 2000 und 2005)	Die im Auftrag des ANU von INFRAS berechneten CO ₂ -Emissionen berücksichtigen keine vorgelagerten Emissionen.

	Emissionsfaktoren basierend auf „Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA)“, Version 2,1 des Strassenverkehrs (http://www.hbefa.net/).	
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	siehe „Personenwagen (PW)“	Bei den schweren Nutzfahrzeugen sind auch alle Sammeltransporte für Kehricht, Wertstoffe etc. innerhalb der Gemeinde integriert. siehe „Personenwagen (PW)“
LKW Transport von Altholz	siehe „Personenwagen (PW)“	siehe „Personenwagen (PW)“
LKW Transport von brennbaren Bauabfällen	siehe „Personenwagen (PW)“	siehe „Personenwagen (PW)“

c) Flugverkehr

Auf Basis der in Davos verrechneten Flugstunden ist es möglich, über den Verbrauch pro Stunde den CO₂-Ausstoss zu berechnen. Die Daten wurden aus verschiedenen Berichten entnommen, die im Zusammenhang mit lärmtechnischen Beurteilungen erstellt wurden.

Tabelle 11. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen aus dem Flugverkehr über die Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Helikopter	Gemeinde Davos/ARP Graubünden: Bericht über lärmtechnische Beurteilung des Heliportstandortes Meierhof Davos, 2000 und UVB Helikopter-Flugfeld Davos, Voruntersuchung, 1991. Weitere Annahmen auf Basis von Transportflügen, Rettungsflügen und Flugbewegungen während des WEF (Bezugsjahr: 2005). Kerosenverbrauch und Fluggeschwindigkeiten aufgrund von Angaben aus dem Internet. Emissionsfaktor: Kerosen: 73,2 t CO ₂ /TJ (BUWAL 2003)	Auf Basis der Flugstunden wurde über den Verbrauch an Kerosin der CO ₂ -Ausstoss berechnet.

2.3.3 Nicht energetisch-bedingte Aktivitäten

Abfallentsorgung

Der in der Gemeinde anfallende Hauskehricht wie auch die gesammelten Wertstoffe und Sonderabfälle werden ausserhalb der Gemeindegrenzen verarbeitet oder entsorgt. Zur Berechnung der entsprechenden Emissionen wurden die Systemgrenzen um die Entsorgungswege erweitert, und die Entsorgungsprozesse mitberücksichtigt. Die Gemeinde Davos hat im Jahr 2003 insgesamt 6'865.5 Tonnen Abfall bewirtschaftet. Davon sind 69% Siedlungsabfälle. Bemerkenswert ist, dass rund 86% der gesamten Abfälle mit der Bahn entsorgt werden.

Beim Papier- und Kartonrecycling wurde der Transport zusammen mit der Entsorgung erfasst. Eine Emissions-Einsparung infolge Energierückgewinnung oder Materialwiederverwertung wurde jedoch bei der Bilanz nicht berücksichtigt.

a) Siedlungsabfälle**Tabelle 12. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen aus der Entsorgung von Siedlungsabfällen in der Gemeinde Davos.**

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Verbrennung Kehricht in der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)	Gemeinde Davos: Abfallstatistik, Kehrichtmengen (Bezugsjahr: 2004) Emissionsfaktor KVA Trimmis: 0,544 t CO ₂ /t Abfall (= 1,36 t CO ₂ /t Abfall à 40% fossil) (BUWAL 2005b)	Die Siedlungsabfälle werden mit der Bahn zur KVA gebracht. Die Siedlungsabfallmenge beinhaltet nicht denjenigen Teil des Gewerbekehrichts, der separat eingesammelt und zur KVA gebracht wird. Systemgrenzen: Bis zur Entsorgung in der KVA Trimmis. Die Energierückgewinnung wird nicht berücksichtigt. Die CO ₂ -Emissionen beim Transport sind zum Teil in der Kategorie „Strassenverkehr“ enthalten. Die CO ₂ -Emissionen beim Transport ausserhalb von Davos sind in „Transporte von Abfall“ (Bahn von Gemeindegrenze bis Trimmis) integriert.
Verwertung Sonderabfälle	Gemeinde Davos: Abfallstatistik, Sonderabfälle (Bezugsjahr: 2004) Emissionsfaktor KVA Trimmis: 0,9 t CO ₂ /t Abfall (BUWAL 2005b)	Die Sonderabfälle werden über Entsorgungsfirmen entsorgt und gelangen grösstenteils in die KVA zur Verbrennung. Der Transport erfolgt mehrheitlich auf der Strasse. Systemgrenzen: Entsorgung in der KVA Trimmis wurde nicht berücksichtigt. Die CO ₂ -Emissionen beim Transport in Davos sind im „Strassenverkehr“. Die CO ₂ -Emissionen beim Transport ausserhalb von Davos wurden nicht mit berücksichtigt
Verwertung Spitalabfälle	Spital Davos: Abfallstatistik und Abschätzung Gesamtmengen (Bezugsjahr: 2004). Emissionsfaktor Entsorgung (KVA): 0,9 t CO ₂ /t (BUWAL 2000).	Die Spitalabfälle werden als Sonderabfälle von einer Entsorgungsfirma nach Zürich transportiert und dort entsorgt. Systemgrenzen: Entsorgung in KVA in der Region Zürich. Die Energierückgewinnung wurde nicht betrachtet. Die CO ₂ -Emissionen beim Transport in Davos sind in der Kategorie „Strassenverkehr“ (Lieferwagen in Davos) enthalten.
Verwertung Altglas	Gemeinde Davos: Abfallstatistik, Altglas (Bezugsjahr: 2004)	Altglas wird zu Glassand aufbereitet. Der Transport zum Kieswerk Frauenkirch ist in der Kategorie „Strassenverkehr“ enthalten. Der Recycling-Prozess braucht Strom. Weil dieser Verbrauch schon im „Stromverbrauch von EWD-Strom“ berücksichtigt ist, verbleiben keine weiteren CO ₂ -Emissionen.
Verwertung Papier- und Karton	Gemeinde Davos: Abfallstatistik, Papier und Karton (Bezugsjahr: 2004) Emissionsfaktor: 0,2873 kg CO ₂ /kg Abfall (ecoinvent centre 2005)	Altpapier und Karton werden zur Verwertung nach Perlen (Luzern) in die Papierfabrik gebracht. Der Transport erfolgt bis Landquart mit der Bahn und von dort geht es teilweise auf der Strasse weiter. Wegen fehlender und unsicherer Information über den Transport wurden die Emissionen beim Transport nicht separat berechnet, um sie unter „Verkehr/Transporte“ zu integrieren so wie es bei den anderen Abfällen gemacht wurde. Die CO ₂ -Emissionen vom Transport ausserhalb von Davos sind bei der „Verwertung Papier- und Karton“ dabei. Der Emissionsfaktor berücksichtigt die Emissionen, welche beim Sammeln, Sortieren und beim Transport (ohne Angabe vom Transportmittel) bis zur Recycling-Stelle entstehen. Systemgrenzen: Bis zur Recycling-Stelle (inkl. Transport), ohne den Aufwand für die Herstellung von Recycling-Papier und -Karton.

Abfallverbrennung in Haushalten (illegal)	BUWAL 1999 Spezifische Kennzahlen sowie eigene Schätzung Emissionsfaktor: 0,544 t CO ₂ /t Abfall (= 1,36 t CO ₂ /t Abfall zu 40% fossil) (BUWAL 2005b)	Die Abfallmenge, die in den Haushalten von Davos illegal verbrannt wird, wurde anhand der vom BUWAL für die Schweiz ermittelten spezifischen Kennzahlen für Davos hochgerechnet.
---	---	--

b) Bauabfälle

In die Kategorie Bauabfälle entfallen Emissionen im Zusammenhang mit der Entsorgung von Altholz, mineralischen und brennbaren Bauabfällen, Aushub- und Abraummateriail.

Tabelle 13. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen aus der Entsorgung von Bauabfällen in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Verbrennung Altholz in KVA	Gemeinde Davos: Berechnung der Altholzmenge aufgrund der Entsorgungserklärungen für 2005 sowie aufgrund von Angaben des Transportgewerbes der zuständigen Fachstelle beim ANU Graubünden. (Bezugsjahr: 2005). Emissionsfaktor: 0,00179 t CO ₂ /t Altholz. Eigene Rechnung nach ecoinvent centre (2005)	Das in Davos anfallende Altholz (2'241 m ³) wird in der KVA Buchs (33%, 77,8 km) und in der KVA Trimmis (66%, 57,9 km) verbrannt. Der Export von Altholz nach Italien wird hier nicht berücksichtigt und auch nicht geschätzt. Annahmen für die Berechnung des Emissionsfaktors: Berücksichtigung des vollständigen Entsorgungsprozesses (inkl. Transport und Verbrennung). Als Emissionsfaktor wurde der Durchschnittswert von chromimprägniertem und unbehandeltem Altholz genommen. Dichte des transportierten Altholzes: 0,4 t/m ³ . Systemgrenzen: Bis zur Entsorgungsstelle, inkl. Verbrennung, ohne Transport.
Verwertung mineralischer Bauabfälle	Gemeinde Davos: Abfallstatistik; Berechnung der mineralischen Bauabfallmenge aufgrund der Entsorgungserklärungen für 2005 sowie aufgrund von Angaben der zuständigen Fachstelle beim ANU Graubünden (Bezugsjahr: 2005). Emissionsfaktor: 0,00027 t CO ₂ /t Abfall. Eigene Rechnung nach ecoinvent centre (2005)	Die mineralischen Bauabfälle (Beton, Ziegel, Backsteine etc., insgesamt ca. 7'500 m ³) werden grösstenteils auf dem Sammel- und Sortierplatz Frauenkirch aufbereitet. Nur ein kleiner Teil davon wird ausserhalb der Landschaft aufbereitet. Die nicht verwertbaren Fraktionen der mineralische Bauabfälle werden auf einer Inerststoffdeponie abgelagert. Annahmen zur Berechnung des Emissionsfaktors: Vollständiger Entsorgungsprozess, ohne Transport in Davos (schon unter Strassenverkehr, SNF): Durchschnitt zwischen bewehrtem und unbewehrtem Beton, Betonkies und Backstein. Durchschnittliche Dichte der transportierten mineralischen Bauabfällen: 2,025 t/m ³ . Transportdistanz in Davos: 5km Systemgrenzen: Bis zur Wiederverwertungsstelle, inkl. Wiederverwertung, ohne Transport.
Verbrennung brennbarer Bauabfälle in KVA	Gemeinde Davos: Berechnung der Menge an brennbaren Bauabfällen aufgrund der Entsorgungserklärungen für 2005 sowie aufgrund von Angaben der zuständigen Fachstelle beim ANU (Bezugsjahr: 2005). Graubünden. Emissionsfaktor: 0,544 t CO ₂ /t Abfall (sowie Siedlungsabfall in KVA, eigene Annahme).	Die brennbaren Bauabfälle (1'125 m ³) werden in der KVA Buchs (33%, 77,8 km) und in der KVA Trimmis (66%, 57,9 km) verbrannt. Systemgrenzen: Bis zur Entsorgungsstelle, inkl. Verbrennung, ohne Transport.

Verwertung Aushub- und Abraummaterial	Gemeinde Davos: Berechnung der Menge Aushub- und Abraummaterial aufgrund der Entsorgungserklärungen für 2005 sowie aufgrund von Angaben zu Geländeaufschüttungen und Zahlen zur Inertstoffdeponie Schmelzboden. (Bezugsjahr: 2005). Emissionsfaktor: 0,00024 t CO₂/t Aushub. Eigene Rechnung nach ecoinvent centre (2005)	Aushub- und Abraummaterial (1'885 m³) wird innerhalb der Landschaft verwertet. Ein Teil davon wird zu Rekultivierungszwecken verwendet, ein Teil wird zur landwirtschaftlichen Bodenverbesserung eingesetzt und der nicht verwertbare Teil wird auf der Inertstoffdeponie abgelagert. Annahmen für die Berechnung des Emissionsfaktors: Vollständiger Entsorgungsprozess, ohne Transport in Davos (schon unter Strassenverkehr, SNF). Dichte transportierter Kies: 1,9 t/m³. Emissionen bei Recycling: gleich wie beim Recycling von Beton (siehe Emissionsquelle „Verwertung mineralischer Bauabfälle“), das heisst: Transportdistanz in Davos: 5km. Systemgrenzen: Bis zur Wiederverwertungsstelle, inkl. Wiederverwertung, ohne Transport.
Illegale Verbrennung auf Baustelle		Nicht berücksichtigt

c) Biogene Abfälle

Die Emissionen im Zusammenhang mit biogenen Abfällen stammen aus der Abfallverbrennung in Land- und Forstwirtschaft.

Tabelle 14. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen aus der Entsorgung von biogenen Abfällen in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Abfallverbrennung in der Landwirtschaft		Die CO ₂ -Emissionen bei der Verbrennung von Abfällen aus Feld und Garten stammen zu 100% aus biogenem CO ₂ (= CO ₂ -neutral) weshalb die Emissionsmengen nicht berechnet werden.
Abfallverbrennung in der Forstwirtschaft		Die CO ₂ -Emissionen bei der Verbrennung von Abfällen aus dem Wald stammen zu 100% aus biogenem CO ₂ . (= CO ₂ -neutral) weshalb die Emissionsmengen nicht berechnet werden.

d) Abwasser

CO₂-Emissionen aus der Kläranlage stammen aus der Verbrennung von Methangas, aus der Abwasserreinigung und dem Betrieb der entsprechenden Infrastruktur. Die CO₂ Emissionen, die bei der Verbrennung von Methangas entstehen, sowie die CO₂-Emissionen aus der Abwasserreinigung, stammen zu 100% aus biogenem CO₂. Die Emissionen welche durch die Einrichtung der Infrastruktur entstehen wurden als vorgelagerte Emissionen betrachtet. Die Emissionen, welche durch den Betrieb entstehen, sind bei der Wärmeerzeugung bei der Elektrizität und bei den vorgelagerten Emissionen bereits berücksichtigt worden. Die Kläranlage ist mit einer Energie-Rückgewinnungsanlage gekoppelt. Der Themenbereich Energierückgewinnung ist unter „WKK Anlagen“ (Tabelle 3) und „Elektrizität“ (Tabelle 7) bereits in der Bilanz enthalten.

Der Transport des Klärschlammes von Davos nach Chur ist bei der „Rhätischen Bahn“ (Tabelle 9) in die Bilanz integriert worden.

Tabelle 15. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen von der Abwasserreinigung in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Kläranlage	Emissionsfaktor: 0 (nur biogenes CO ₂), aber Vorgelagerte Emissionen nicht null.	Die reine Abwasserentsorgung verursacht nur biogene CO ₂ -Emissionen.

Baumaterialverbrauch

a) Mineralische Rohstoffe

Die mineralischen Rohstoffe wurden nicht in die Bilanz integriert, weil die Datenunsicherheiten in diesem Bereich zu hoch sind.

b) Holz

Das Holz in Gebäuden ist deshalb von Interesse, weil es ebenso wie der Wald ein wichtiges und ausbaufähiges Kohlenstofflager darstellt und damit eine potentielle „Senke“ im Sinne der CO₂-Bilanzierung ist. Ein vermehrter Einsatz von Holz in der Gebäudekonstruktion vergrössert zum einen dieses Kohlenstofflager, und zum anderen reduziert es die CO₂-Emissionen, die durch die Nutzung anderer Baumaterialien und -techniken anfallen.

Methodisch stützen sich die Berechnungen auf die Vorgehensweise von Vorlet (2003). In Ergänzung zu den Gebäuden mit Wohnfunktion, wurden für die vorliegende Studie auch öffentliche Gebäude, Garagen, landwirtschaftliche und andere Wirtschaftsgebäude einbezogen, die in der Datenbank des amtlichen Geometer abgebildet sind.

Jedem Nutzungstyp, der in der Datenbank unterschieden wird, ist eine bestimmte Methode zur Berechnung des Holzvolumens zugeordnet. Über Referenzgebäude, welche die Geometrie der Gebäude abbildet, wird schliesslich das Holzvolumen abgeschätzt.

Tabelle 16. Emissionsquellen und Senken, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen von Holz als Baumaterial in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle und Senken	Datenquelle	Bemerkungen
Verbrauch von Konstruktionsholz aus Davos	Menge an Konstruktionsholz: nach eigenen Erhebungen bei Sägereien und bei Holz verarbeitenden Betrieben in Davos (Bezugsjahr: 2005). Lagerfaktor: 0,949 t CO ₂ /m ³ Holz (eigene Angaben)	Dieser Holzverbrauch wird in unserer Bilanz als ein jährlicher Ausbau des CO ₂ -Lagers in Gebäuden betrachtet (→ negativer Wert in der Bilanz).
Verbrauch von Konstruktionsholz aus CH oder Ausland	Menge an Konstruktionsholz: nach eigenen Erhebungen bei Holz verarbeitenden Betrieben in Davos (Bezugsjahr: 2005). Lagerfaktor: 0,949 t CO ₂ /m ³ Holz (eigene Angaben)	Dieser Holzverbrauch wird in unserer Bilanz als ein jährlicher Ausbau des CO ₂ -Lagers in Gebäuden betrachtet (→ negativer Wert in der Bilanz). Systemgrenzen: Gemeindegrenze. Die Gewinnung, Vorbereitung und der Transport nach Davos sind in den vorgelagerten Energien berücksichtigt.
Verbrauch von Holz in Produkten aus Davos	Menge an Holz zur Verarbeitung in Produkte: Nach Schätzungen von Vorlet (2003). Vorlets Werte beruhen auf Schweizer Mittelwerten und werden durch den Autor selbst als deutlich zu hoch eingeschätzt. In Ermangelung anderer Bezugsquellen wurde dennoch auf diese Werte zurückgegriffen. (Bezugsjahr: 2000).	Dieser Holzverbrauch wird in unserer Bilanz als ein jährlicher Ausbau des CO ₂ -Lagers in Produkten berücksichtigt (→ negativer Wert in der Bilanz).

	Lagerfaktor: 0,949 t CO ₂ /m ³ Holz (eigene Angaben)	
Verbrauch von Holz in Produkten ausserhalb Davos	Menge Holz zur Verarbeitung in Produkten: Nach Schätzungen von Vorlet (2003). Zwar sind die Werte zu hoch, in Ermangelung anderer Bezugsquellen wurde dennoch darauf zurückgegriffen. (Bezugsjahr: 2000). Lagerfaktor: 0,949 t CO ₂ /m ³ Holz (eigene Angaben)	Dieser Holzverbrauch wird in unserer Bilanz als ein jährlicher Ausbau des CO ₂ -Lager in Produkten betrachtet (→ negativer Wert in der Bilanz). Systemgrenzen: Gemeindegrenze. Die Gewinnung, Vorbereitung und der Transport nach Davos sind in den vorgelagerten Energien berücksichtigt.

Feuerwerk/Sprengstoff

In die Rubrik „Feuerwerk/Sprengstoff“ fallen neben Feuerwerk und Schiesswesen auch Emissionsquellen, welche sehr spezifisch sind für Davos, wie die Sprengungen der Lawinendienste der Gemeinde und der Bergbahnen.

Tabelle 17. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen von Feuerwerk und Sprengstoff in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Feuerwerke	Eigene Berechnung gemäss Angaben der Gemeinde Davos und von Davos Tourismus auf dem Internet. (Bezugsjahr: Logiernächte: 2004/2005). Emissionsfaktor: 0,005 kg CO ₂ /Einwohnergleichwert (BUWAL 2000)	Anzahl Einwohnerinnen und Einwohner: 13'000 Anzahl Logiernächte: 2'063'948 (Einwohnergleichwert = Einwohner + Logiernächte/365 = ca. 18'700).
Sprengungen	Lawinendienst Gemeinde Davos: Sprengstoffmenge (Durchschnitt Winter 04/05-05/06). Rettungsdienste Bergbahnen Davos: Sprengstoffmenge (Durchschnitt Winter 02/03-04/05). Emissionsfaktor: 0,33 t CO ₂ /t Sprengstoff (BUWAL 2000)	
Jagd-, Sport- und Militärschiessen	Gemeinde Davos: Amtliche Schiesspublikation 2005; Anzahl Schüsse pro Schiessanlage RUAG: Schiesspulvermenge pro Schuss für verschiedene Munitionsarten Emissionsfaktor: 0,33 t CO ₂ /t Sprengstoff (BUWAL 2000)	Der Munitionsverbrauch während der Jagd ist nicht berücksichtigt (unbedeutend).

Übrige Aktivitäten

Die Davoser Lebensmittelproduktion (Brot, Bier) verursacht im Bereich der nicht-energetischen Aktivitäten nur biogene CO₂-Emissionen. Die Trockenfleischproduktion verursacht keine CO₂-Emissionen. Deswegen wurden diese potentiellen Emissionsquellen nicht weiter untersucht. Es verbleiben in dieser Kategorie nur die Feuerbestattungen im Krematorium Davos.

Tabelle 18. Emissionsquellen, Datenquellen und Bemerkungen zur Bilanzierung der CO₂-Emissionen von übrigen Aktivitäten in der Gemeinde Davos.

Emissionsquelle	Datenquelle	Bemerkungen
Feuerbestattungen	Krematorium Davos: Anzahl Feuerbestattungen (Mittelwert 1999-2004): Emissionsfaktor: 0,175 t CO ₂ /t Sprengstoff (BUWAL 2000)	

2.4 Anthropogene vorgelagerte CO₂-Emissionen

Als vorgelagerte Emissionen werden diejenigen Emissionen bezeichnet, die bei der Gewinnung, Aufbereitung, beim Transport, Umfüllen oder Lagern von Energieträgern und von Materialien anfallen. Diese vorgelagerten Emissionen können bei manchen Energieträgern und Materialien höher sein als die direkten Emissionen.

Unsere Studie geht im allgemeinen nicht auf die vorgelagerten Emissionen von Materialien ein, die in Davos benutzt werden. Ausnahme bildet das Holz, das vor allem in Gebäuden und auch in Produkten gelagert ist. Diese Ausnahme ergibt sich aus der besonderen Stellung, welche das Holz im Rahmen der CO₂ Diskussion einnimmt.

Die vorgelagerten Emissionsfaktoren wurden pro Input-Energie und/oder pro erzeugte Energie oder Material multipliziert, um die Emissionenswerte zu erhalten. Sie sind hier nicht näher erläutert.

2.4.1 Definition und berücksichtigte Emissionsquellen

Aufgrund der vorgelagerten Emissionen sind der Verbrauch von Solarstrom, oder die Verbrennung von Holz keine CO₂-neutralen Aktivitäten. Ebenso werden die CO₂-Emissionen beim Verbrauch von EWD-Normalstrom und der Nutzung von Geothermie bedeutend höher, wenn neben den direkten auch die vorgelagerten Emissionen berücksichtigt werden. In die Bilanz wurden deshalb die vorgelagerten Emissionen mit erfasst, soweit diese auch eruierbar waren.

2.4.2 Methodische Abweichungen

Die Emissionsfaktoren wurden anhand der Angaben in der ecoinvent-Datenbank (ecoinvent Centre 2005) berechnet. In der Datenbank ist für jede Aktivität die entsprechende CO₂-Emission festgehalten, und zwar diejenige der Aktivität selbst, sowie des Prozesses, der zu dieser Aktivität geführt hat, inkl. den CO₂-Emissionen, welche bei der Herstellung der notwendigen Infrastrukturen anfallen. Die ecoinvent-Datenbank erlaubt nicht, die vorgelagerten Emissionen, die innerhalb der Schweiz anfallen, von denjenigen, die im Ausland anfallen, zu differenzieren. Aus der ecoinvent-Datenbank haben wir die Emissionsfaktoren „Mean value“ und „air/high population density¹“ verwendet (ecoinvent Centre 2005).

Zur Berechnung der Emissionen, welche bei der Vorbereitung von Brenn- und Treibstoffen entstehen, haben wir die Datensätze „...ab Regionallager“ genommen. Diese beinhalten alle Emissionen bis zur

¹ Definition im Ecoinvent-Report N° 1: “missions near settlements or protected areas which affect directly people or animals due to the local situation. Most important for particles. Assigned in general to Industry, oil and gas power plants, manufacturing, households, municipal waste incineration, local traffic, construction processes”

Endnutzung, das heisst, die Lagerung, Verteilung und Tank-Füllung. Die Emissionen der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen sind hier nicht berücksichtigt. Diese sind bereits als direkte Emissionen in die Bilanz eingegangen.

Zusätzlich haben wir die Emissionen, welche bei der Herstellung der Infrastrukturen in Davos entstehen, wenn möglich mit einbezogen (z.B. Heizölkessel, Wärmepumpe, usw.). Bei den Kaminen wurden diese Emissionen nicht berücksichtigt, weil die Anzahl Kamine und ihr Wirkungsgrad nicht bekannt sind. Bei den Gasküchen und Fahrzeugmotoren wurden sie ebenfalls nicht berücksichtigt, weil keine entsprechenden Daten in der ecoinvent-Datenbank zur Verfügung stehen.

Je nach Angaben in der ecoinvent-Datenbank (entweder „kg CO₂/kWh Nutzwärme“, oder „kg CO₂/MJ Treib- oder Brennstoff“) mussten die Emissionsfaktoren „pro erzeugte Energie“ oder „pro Input-Energie“ verwendet und in die jeweils andere Einheit transformiert werden.

Die Emissionen, welche bei der Vorbereitung und dem Transport von Davoser Holz anfallen, wurden als direkte Emissionen im Abschnitt „Maschineneinsatz für Forstwirtschaft“ bzw. im Abschnitt „Verkehr“ erfasst.

Bei der Abfallentsorgung (Siedlungs-, Bau- und biogene Abfälle), beim Baumaterialverbrauch (Holzverarbeitung zu Produkten), sowie bei den Feuerwerken, Sprengstoffen und Feuerbestattungen wurden die vorgelagerten Emissionen nicht berücksichtigt (Kommentar „n.b.“ in Tabellen).

2.5 Natürliche Senken und Quellen

2.5.1 Einleitung und Vorbemerkung

In diesem Kapitel werden die Methoden zur Quantifizierung der CO₂-Senken bzw. Quellen der Biomasse, der Böden und der Gewässer in der Landschaft Davos vorgestellt. Eine CO₂-Senke ist, wenn ein CO₂-Pool (in Form von Kohlenstoff im Wald, im Boden und in Gewässern) zunimmt und damit der Atmosphäre CO₂ entzieht. Eine CO₂-Quelle ist eine Abnahme des CO₂-Pools. So ist ein heranwachsender Wald eine CO₂-Senke, da er über die Photosynthese CO₂ aus der Luft aufnimmt und in seiner Biomasse bindet. Ausgewachsene Wälder hingegen nehmen netto keine bedeutenden CO₂-Mengen auf; CO₂-Gewinne und -Verluste halten sich die Waage. Sterben Bäume ab oder wird das Holz verbrannt, wird das in der Biomasse gebundene C als CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben. Der Wald wird dadurch zu einer CO₂-Quelle.

2.5.2 CO₂-Senke Biomasse

Die Bestimmung des C-Gehalts der Biomasse erforderte ein mehrstufiges Vorgehen. Aus Luftbildern wurden zunächst verschiedene Vegetationstypen (verschiedene Waldtypen, Legföhren, Zwergsträucher, Wiesen; insgesamt 13) kartiert. Den jeweiligen Vegetationstypen wurde z.T. aus der Literatur, aber auch aus eigenen Messungen ein Biomassenvorrat zugeordnet. Für die meisten Vegetationstypen lagen nur Daten zur oberirdischen Biomasse vor. Über publizierte ‚Biomasse-Expansions-Faktoren‘ (BEF) und Kohlenstoffgehalte wurden diese in die pro Fläche gespeicherten C bzw. CO₂-Menge umgerechnet und anschliessend mit den aus den Luftbildern ermittelten Flächen multipliziert.

Waldbiomasse

Die Quantifizierung der CO₂-Senke „Davoser Wald“ basiert auf Flächen- und Holzvorratsänderungen des Waldes. Die Biomasse im Davoser Wald wurde aus den von BEBI (1999) gemessenen Holzvolumina in verschiedenen Bestandstypen ermittelt. BEBI (1999) errechnete den Vorrat an Holz (V) aus: $V = G \times F$; wobei G die Grundfläche des Bestandes und F der Formhöhenwert des Bestandes

(oft als V/G-Wert bezeichnet) ist. Formhöhenwerte sind für verschiedene Bestandesoberhöhen baumartspezifisch tabelliert (vgl. BACHMANN 1996, S. 180). Die Berechnungen der Grundflächen basieren auf Winkelzählprobenmessungen in 200 Waldbeständen, aus denen verschiedene Strukturtypen klassifiziert wurden (BEBI, 1999). Jedem Strukturtyp konnte so eine durchschnittliche Grundfläche zugeordnet werden. Die aus den Luftbildern ermittelten Holzvorräte von 311 m³/ha im Jahr 2000 entsprechen denjenigen des Schweizerischen Landesforstinventars (1995). Dort wurde in der Höhenstufe 1200-1800 m der Alpen ein durchschnittlicher Vorrat von 305 m³/ha gemessen.

Aus dem Holzvolumen wurde mittels so genannter ‚Biomasse-Expansions-Faktoren‘ (BEF) die gesamte Biomasse, unter Berücksichtigung der Verteilung im Stamm, in den Ästen, Blättern und in den Wurzeln, ermittelt. Hier wurde ein von PERRUCHOUD *et al.* (1999) ermittelter BEF von 1,57 für die Höhenlage 1200-1800 m verwendet. Um letztlich die Kohlenstoffmenge zu erhalten, wurde dann die Biomasse mit der Holzdichte (Nadelholz = 0,4 t/m³) und der Konzentration an Kohlenstoff (0,5 t C/t Biomasse) multipliziert. Der gesamte Umrechnungsfaktor von Kubikmeter Holz zu Tonnen CO₂ liegt für den Davoser Wald daher bei 1,15 Tonnen CO₂/m³. Die Expansionsfaktoren wurden mit der mittels Schweizer Biomassedaten kalibrierten allometrischen Funktion von PERRUCHOUD *et al.* (1999) berechnet. Zur Kalibrierung wurden für die Schaftholzfunktion 38'000 Bäume, für die Ast-Funktion 12'000 Bäume, für die Wurzel-Funktion 100 Bäume und für diejenige für Nadeln/Blätter 400 Bäume verwendet (THUERIG und KAUFMANN, persönliche Mitteilung).

Generell nehmen die BEFs mit der Höhe zu. Für die Höhenlage 1200-1800 m ergibt sich nach PERRUCHOUD *et al.* (1999) ein BEF von 1,57 und ein Wurzel/Spross-Verhältnis von 0,29. In der Versuchsaufforstung am Stillberg (2000-2200 m) ermittelten BERNOULLI und KÖRNER (1999) ein Wurzel-Spross Verhältnis von 0,33 bis 0,37, was zeigt, dass die modellierten Werte im richtigen Bereich liegen.

Tabelle 19. Waldfläche, Holzvorrat, CO₂-Pool und CO₂-Senke (pro Jahr) im Davoser Wald.

		Fläche ha	Vorrat m ³ /ha	CO ₂ -Pool ⁽¹⁾ t CO ₂
GIS-Kartierung	1954	3'949	272	1'235'167
	2000	4'492	311	1'608'262
	pro Jahr	11.8	0.85	8'111
Arealstatistik	1985	4'849	298 ⁽²⁾	1'664'711
	1997	5'006	308 ⁽²⁾	1'777'699
	pro Jahr	13.1	0.85	9'416

(1) Berechnung des CO₂-Pools: CO₂-Pool = Vorrat x BEF x Dichte x C-Konzentration x 44/12; BEF = 1,57; Dichte (Nadelholz) = 0,4; C-Konzentration = 0,5; 44/12 Umrechnung C zu CO₂.

(2) Interpoliert mit den von BEBI (1999) und LARDELLI (2003) gemessenen Holzvorräten und deren Änderung.

Zur Berechnung der Waldflächen-Veränderung wurden zwei methodisch unterschiedliche Ansätze gewählt, entweder basierend auf der Arealstatistik, oder basierend auf GIS-Kartierung aus Luftbildern (Tabelle 19). Auf Grundlage der Arealstatistik nahm die Waldfläche von 1985 bis 1997 innerhalb des Gemeindegebiets um 13,1 ha pro Jahr zu (Tabelle 19). Auf Basis der genaueren GIS-Kartierung von LARDELLI (2003), welche die Waldungen der Landschaft Davos der Jahre 1954 und 2000 anhand der Strukturtypologie von BEBI (1999) aufnahm, betrug die Zunahme der Waldfläche 11,8 ha pro Jahr (Tabelle 19).

Die gesamte Nutzung von Verkaufsholz belief sich von 1985 bis 2004 auf 9'100 m³ pro Jahr (Mitteilung Forstdienst Davos). Dieses genutzte Holz erscheint in der CO₂-Bilanz beim Konstruktions- und Brennholz, als Holzlager im Gebäudepark. Aus dem genutzten Holz lässt sich das gesamte CO₂-Senkenpotential (CO₂-Senke lebende Biomasse + CO₂-Menge genutzte Biomasse) unter der Annahme einer ausbleibenden Holznutzung abschätzen. Die CO₂-Menge des genutzten Holzes ergibt sich aus einer Umrechnung in das Stammholz (inklusive Rinde und Abfälle x 1,17) und über den BEF, die Holzdichte und die C-Konzentration in die Menge CO₂ (x 1,15).

Legföhren, Sträucher, Zwergsträucher und Wiesen

Der Kohlenstoffvorrat, die Fläche und Flächenänderung von jedem Vegetationstyp sind in Tabelle 20 aufgelistet.

Legföhren und Sträucher: Die Flächenänderung wurden aus der Arealstatistik 1985 und 1997 ermittelt. Die Biomasse wurde nach BEBI (1999) mit 50 m³/ha für den Jungwald geschätzt.

Zwergsträucher: Die Flächenänderung wurde aus der Arealstatistik 1985 und 1997 geholt. Die Biomasse wurde anhand von nicht publizierten Messungen der ober- und unterirdischen Biomasse am Stillberg (unter/oberirdische Biomasse = 1,96) abgeschätzt.

Wiesen: Die Flächenänderung wurde aus der Arealstatistik 1985 und 1997 eruiert. Die Biomasse wurde auf Basis von Daten aus der Literatur (Mähder: FISCHER und WIPF (2002); Skipisten: Wipf *et al.* (2005); Fettwiesen: Rixen (nicht publizierte Daten)) abgeschätzt. Die Wurzelbiomasse wurde durch einen BEF von 2 geschätzt.

Tabelle 20. CO₂-Senke in der Biomasse der Landschaft Davos: Bilanzierung des Kohlenstoffvorrats verschiedener Vegetationstypen pro Hektar und deren CO₂-Senke.

Vegetationstyp	Kohlenstoffvorrat	Fläche	Flächenänderung	CO ₂ -Senke
	t C/ha	ha	ha/Jahr	t CO ₂ /Jahr
Wald (1954)	85	3'949		
Wald (2000)	98	4'492	11.8	8'111
Legföhren und Sträucher	15.7	520	3.4	197
Zwergsträucher	11.4	1'360	3.5	146
Wiesen	4.6	3'250	-20.2	-337
Gesamt				8'112

2.5.3 CO₂-Senke Böden

In den Schweizer Ökosystemen speichern Böden die grössten Mengen an CO₂ in Form von Humus (PERRUCHOU *et al.* 1999; HAGEDORN *et al.* 2005; THUERIG 2005). Böden des Schweizer Alpenraums über 1000 m enthalten durchschnittlich 117 Tonnen C pro Hektare (ha), bzw. 430 Tonnen CO₂/ha, während die Waldbiomasse in Davos nur bei 98 Tonnen C/ha bzw. 360 Tonnen CO₂/ha liegt. Man nimmt an, dass sich in Böden gespeichertes CO₂ langfristig mit dem demjenigen der Atmosphäre im Gleichgewicht befindet und Böden daher CO₂-neutral sind. Neuer Humus, der aus absterbender Biomasse entsteht, bindet die gleiche Menge an CO₂ wie durch den mikrobiellen Abbau von Humus wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Annahme eines Gleichgewichtszustandes stammt daher, dass sich Böden seit der letzten Eiszeit entwickelt haben, und sich der Kohlenstoffvorrat von Böden mit zunehmendem Alter einem konstanten Wert annähert (SCHLESINGER 1990).

Auch innerhalb der Landschaft Davos gibt es zu wenige Bodendaten um deren Kohlenstoffvorräte oder gar deren Wirkung als CO₂-Senke genau zu ermitteln, weshalb mit Modellen gearbeitet wird. Solche Modellierungsarbeiten beziffern die derzeitige CO₂-Senke der Waldböden des Schweizer Alpenraumes mit 1,0 Tonnen CO₂/ha/Jahr (PERRUCHOUD *et al.* 1999) und 0,75 Tonnen CO₂/ha/Jahr (THUERIG 2005).

Gemäss der CO₂-Senkenabschätzung landwirtschaftlicher Böden von LEIFELD *et al.* (2003) sind Schweizer Grünlandböden keine CO₂-Senken. Auch die Wiederbewaldung von Grünland wird möglicherweise die CO₂-Vorräte im Bodenumus nicht erhöhen. Ein globaler Literaturvergleich findet sogar, dass nach Aufforstung von Grünland die CO₂-Vorräte um 10% abnehmen (GUO und GIFFORD 2002). Allerdings spielt diese CO₂-Menge in der Landschaft Davos eine untergeordnete Rolle, da die Verbuschung bei etwa 20 ha pro Jahr und damit die CO₂-Quellenwirkung bei 750 Tonnen CO₂/ha/Jahr liegt.

Böden können auch zur CO₂-Quelle werden, wenn sie gestört werden, wie es zum Beispiel beim Siedlungs- und Strassenbau der Fall ist, wo Bodenmaterial verlagert wird. Durch die mechanische Störung der Bodenstruktur wird die mikrobielle Aktivität angeregt, wodurch etwa 25% des Bodenkohlenstoffs zu CO₂ abgebaut werden (HAGEDORN *et al.* 2001). Wendet man diese grobe Schätzung auf den durchschnittlichen Kohlenstoffvorrat im Boden an, so gehen pro Hektar etwa 30 Tonnen C verloren.

2.5.4 CO₂-Senke Gewässer

Gewässer enthalten grosse Mengen an CO₂ in gelöster Form. Die Löslichkeit von CO₂ im Wasser hängt vom CO₂-Partialdruck und der Lufttemperatur ab. Gewässer stehen in einem dynamischen Gleichgewicht mit der Atmosphäre. Unter den Gewässern bilden vor allem die Ozeane eine relevante CO₂-Senke. Neben der CO₂-Lösung im Wasser ist auch absterbendes Phytoplankton eine CO₂-Senke, da dieses auf den Meeresgrund sinkt und dort eine Sedimentschicht bildet. Durch diese zwei Prozesse nehmen die Ozeane 2,3 Gigatonnen C pro Jahr auf (IPCC 2001).

3 CO₂- und Energie-Bilanz der Gemeinde Davos

Die CO₂-Bilanz der Gemeinde Davos ergibt sich aus der Differenz der CO₂-Emissionen aus anthropogenen und natürlichen Quellen auf der Ausgabeseite und den CO₂-Senken ebenfalls aus anthropogenen und natürlichen Bezugsorten auf der Einnahmeseite. In diesem Kapitel werden demgemäss zunächst die anthropogen-bedingten Emissionen und Senken dargelegt, danach die Emissionen und Senken der Natur, gefolgt von der Gesamtbilanz und einer abschliessenden kurzen Diskussion der Ergebnisse.

3.1 Anthropogen bedingte CO₂-Emissionen und Senken

3.1.1 Direkte anthropogen bedingte Emissionen

Die direkten anthropogen bedingten Emissionen, die in der Gemeinde Davos anfallen, betragen in der Summe 95'459 Tonnen CO₂. Aus Abbildung 4 wird ersichtlich, dass die Wärmeerzeugung mit 75'710 Tonnen CO₂ (79,3% aller direkten anthropogen bedingten Emissionen innerhalb der Gemeindegrenzen) am meisten Emissionen verursacht. Die Wärmeerzeugung erfolgt in Davos zu 85% über Ölf Feuerungsanlagen. Der Verkehr stellt in der Landschaft Davos mit 17,9% (17'053 Tonnen CO₂) die zweitgrösste Emissionsquelle dar, wobei der Personenverkehr im Vergleich zu den schweren Nutzungsfahrzeugen in der Summe dreimal mehr CO₂-Emissionen verursacht. Licht und Maschinen sowie nicht-energetisch bedingte Emissionen machen in Davos einen vergleichsweise kleinen Teil der direkten Emissionen aus.

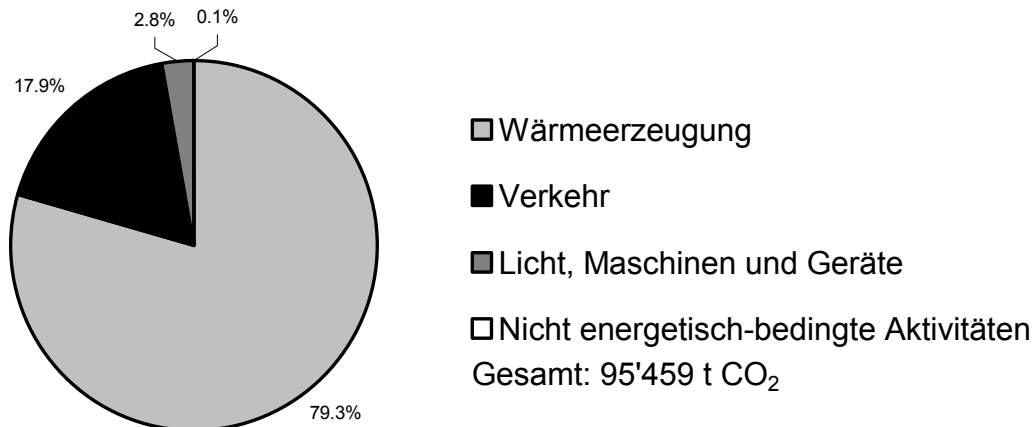


Abbildung 4. Direkte CO₂-Emissionen innerhalb der Gemeinde Davos, sortiert nach Quellgruppen. In der Summe werden innerhalb der Landschaft Davos 95'459 Tonnen CO₂ direkt emittiert.

Da die CO₂-Emissionen durch Wärmeerzeugung den höchsten Anteil der Emissionen ausmachen, werden sie hier detaillierter erläutert. Abbildung 5 zeigt die verschiedenen Verbrauchergruppen von Wärme in der Gemeinde Davos. Im Jahr 2005 wurde mit Erdöl insgesamt 281'350 MWh Energie für Wärme und Warmwasser erzeugt. Dabei wurden 74'648 Tonnen CO₂ emittiert (Abbildung 5). Aus der Abbildung 5 wird ersichtlich, dass die Wohnungen (Erst- und Zweitwohnungen zusammen) mit rund 60% am meisten Heizöl verbrauchen. In Davos gibt es insgesamt rund 10'000 Wohnungen. Davon sind 51,5% Erstwohnungen und 48,5% Zweitwohnungen. Die Zweitwohnungen werden einerseits als Ferienwohnungen benützt, andererseits auch temporär weitervermietet. Gemäss SCHNYDER (2006)

beträgt die durchschnittliche Eigennutzung der Zweitwohnungen in Davos 65 Tage pro Jahr. Dies entspricht einer Eigenauslastung von 18%. Rund 30% der Zweitwohnungen werden weitervermietet und erreichen eine deutlich höhere Auslastung.

Die hohen Werte der CO₂-Emissionen im Bereich Wärmeerzeugung stehen in engem Zusammenhang mit dem Wärmebedarf. In Davos ist die durchschnittliche Anzahl Heizgradtage² aufgrund der kälteren klimatischen Bedingungen bedeutend höher als im schweizerischen Durchschnitt. Der langjährige Mittelwert der Heizgradtage (HGT) beträgt hier 5'629 HGT (Mittelwert 1990-2005, MeteoSchweiz)³. Im Jahr 2005 wurden für Davos 5'912 HGT gemessen. Dies sind 283 HGT mehr als der langjährige Durchschnitt. Als Folge der kalten Temperaturen im Jahr 2005 sind in Davos allein im Bereich Wärme rund 3'500 Tonnen mehr CO₂ emittiert worden als in „normal-kalten“ Jahren.

Tabelle 21. Direkte CO₂-Emissionen und Senken innerhalb und ausserhalb des Gemeindegebiets von Davos. Die Senken sind mit Werten kleiner null (negative Emissionen) beziffert.

Emissionsquelle	Direkte CO ₂ -Emissionen in t/Jahr		
	Davos		Ausland
Wärmeerzeugung	75'710	74	0
Oelfeuerungen	74'648	0	0
Elektroheizungen	51	74	0
WKK Anlagen	865	0	0
Holzfeuerungen	0	0	0
Geothermieranlagen	0	0	0
Gasküchen	146	0	0
Licht und Maschinen	2	23	0
Elektrizität	739	234	0
Offroad-Sektor	1'892	0	0
Verkehr	1	7	0
Rhätische Bahn	98	0	0
Strassenverkehr	16'638	7	0
Flugverkehr	317	0	0
Abfallentsorgung	45	3'59	0
Siedlungsabfälle	45	2'933	0
Bauabfälle	0	659	0
Abwasser	0	0	0
Baumaterialverbrauch	-77	-2'06	-68
Mineralische Rohstoffe	n.b.	n.b.	n.b.
Holz	-770	-2'063	-688
Feuerwerk/Sprengstoff	1	0	0
Übrige Aktivitäten	1	0	0
Summe der anthropogen bedingten CO₂-Emissionen <u>und</u> -Senken	94'6	1'84	-68
Summe der anthropogen bedingten CO₂-Emissionen <u>ohne</u> Senken	95'459	3'906	0

² Zur Berechnung der Heizgradtage (HGT 20/12) wird an jedem Heiztag - einem Tag mit einer Tagesmitteltemperatur von weniger als 12 Grad Celsius - gemessen, die Differenz zwischen Aussenlufttemperatur und der angestrebten Innenlufttemperatur von 20 Grad Celsius gemessen und aufsummiert.

³ Im Vergleich dazu liegt der langjährige Mittelwert von Zürich (SMA) ungefähr bei 3717 HGT20/12.

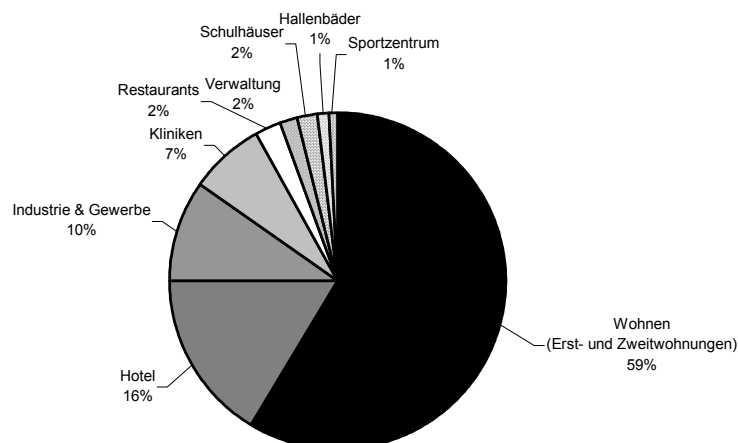


Abbildung 5. CO₂-Emissionen von Heizölfeuerungsanlagen in der Gemeinde Davos, kategorisiert nach Emittenten. Die Summe dieser Emissionen beträgt 74'648 Tonnen CO₂.

3.1.2 Direkte, anthropogen bedingte Emissionen ausserhalb von Davos

Direkte CO₂-Emissionen werden nicht nur innerhalb der Gemeinde Davos verursacht, sondern auch ausserhalb der Gemeindegrenze. Die direkten Emissionen ausserhalb des Gemeindegebietes summieren sich auf 3'906 Tonnen CO₂ pro Jahr (Spalten „CH“, „Ausland“ in Tabelle 21).

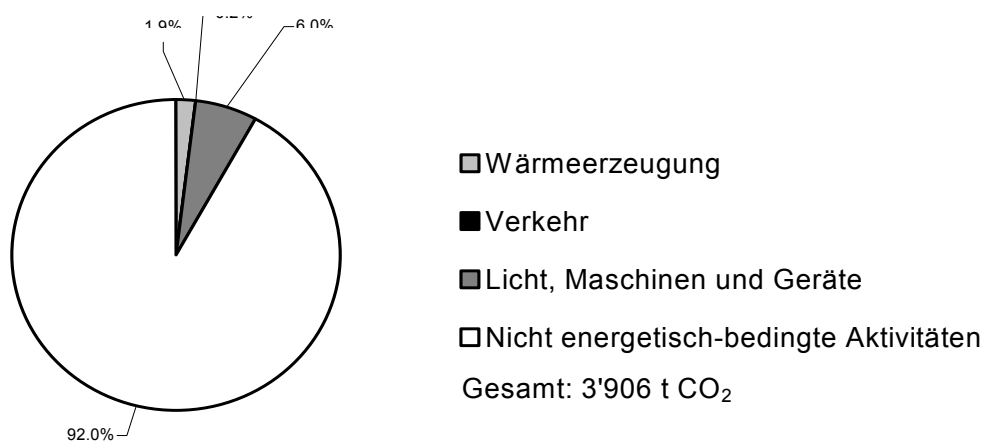


Abbildung 6. Direkte CO₂-Emissionen der Gemeinde Davos, die ausserhalb von Davos anfallen, sortiert nach Quellgruppen. Die Nicht energetisch bedingten Emissionen betreffen in erster Linie die Abfallentsorgung. Die Summe der direkten Emissionen ausserhalb der Gemeindegrenzen beträgt 3'906 Tonnen CO₂.

Bedeutend sind insbesondere die Emissionen, welche durch die Entsorgung von brennbaren Bauabfällen und Siedlungsabfällen entstehen (Abbildung 6). Da Davos keine eigene

Kehrichtverbrennungsanlage besitzt, werden diese Abfälle in der KVA Trimmis entsorgt. Neben der Abfallentsorgung wird auch durch die Stromproduktion für das Elektrizitätswerk Davos (EWD) CO₂ ausserhalb der Landschaft ausgestossen (7,9%). Das EWD bezieht insgesamt 91,5% des Stroms von ausserhalb Davos und nur 8,5% werden aus Energieerzeugungsanlagen innerhalb der Gemeinde bezogen.

3.1.3 Vorgelagerte Emissionen

Die vorgelagerten Emissionen beziehen sich auf alle Prozesse des Ressourcenabbaus, der Aufbereitung und des Transports bis hin zum jeweiligen Regionallager in der Schweiz oder bis hin zu den Gemeindegrenzen in Davos.

Tabelle 22. Vorgelagerte CO₂-Emissionen der verschiedenen Emissionsquellen innerhalb und ausserhalb des Gemeindegebiets von Davos.

Emissionsquelle	Vorgelagerte CO ₂ -Emissionen in t/Jahr
Wärmeerzeugung	5'913
Oelfeuerungen	5'258
Elektroheizungen	471
WKK Anlagen	87
Holzfeuerungen	21
Geothermianlagen (1)	62
Gasküchen	14
Licht und Maschinen	1'688
Elektrizität	1'536
Offroad-Sektor	153
Verkehr	1'788
Rhätische Bahn	9
Strassenverkehr	1'760
Flugverkehr	19
Abfallentsorgung	424
Siedlungsabfälle	0
Bauabfälle	0
Abwasser	424
Baumaterialverbrauch	151
Mineralische Rohstoffe	n.b.
Holz	151
Feuerwerk/Sprengstoff	0
Übrige Aktivitäten	0
n bedingten CO₂-Emissionen <u>und</u> –Senken	9'965
Summe der anthropogen bedingten CO₂-Emissionen <u>ohne</u> Senken	9'965

Die Tabelle 22 zeigt, dass durch die in dieser Studie berücksichtigten vorgelagerten Prozesse 9'965 Tonnen CO₂ ausgestossen werden. Die vorgelagerten Emissionen summieren sich auf rund 9,1% der direkten, anthropogen bedingten Emissionen innerhalb und ausserhalb der Gemeinde Davos.

3.1.4 Anthropogen bedingte C-Senken: Holzlager im Gebäudepark

Zu den anthropogen bedingten Senken zählt in erster Linie das verbaute Holz. Das Holzlager in den Gebäuden der Landschaft Davos wird gemäss eigenen Berechnungen auf ein Volumen 196'340 m³ geschätzt. Pro Jahr werden 2'300 m³ Holz als Baumaterial verwendet. Insgesamt werden im Holz des Davoser Gebäudeparks jährlich rund 3'370 Tonnen CO₂ gespeichert⁴ (vergleiche Tabelle 21 und Tabelle 22). Demgegenüber werden jährlich 2241 m³ Altholz (Holzprodukte und Konstruktionsholz) entsorgt. Da jedoch der Anteil an Konstruktionsholz beim Altholz nicht bekannt ist, wurde bei den Berechnungen der Senken im Gebäudepark verzichtet.

Das Bauen mit Holz führt neben dem Ausbau des Holzlagers auch zur Reduktion von CO₂-Emissionen, indem andere, emissionsintensive Konstruktionsmaterialien und -techniken vermieden werden. Da pro Kubikmeter verbautes Holz Emissionen von rund 1.1 Tonnen CO₂ eingespart werden (FISCHLIN *et al.* 2006), spart die Holznutzung Emissionen von 2530 Tonnen CO₂ ein. Holz im Gebäudepark trägt mit einem Anteil von insgesamt 22,8% zu den CO₂-Senken bei. In der gesamten Bilanz kommt dies einer CO₂-Einsparung von 3,6% gleich.

3.1.5 Energieverbrauch nach Energieträgern

In Davos zeigt sich das Verhältnis des Energieverbrauchs nach Energieträgern wie folgt: Die fossilen Energieträger machen 70% des gesamten Energieverbrauchs aus (Heizöl: 55%, Treibstoffe: 14,7%, Erdgas: 0,3%), während die neuen erneuerbaren Energieträger aus Davos rund 3,9% des gesamten Energieverbrauchs ausmachen (siehe Abbildung 7). Im Bereich der Wärmeerzeugung decken die erneuerbaren Energieträger 3,7% und im Bereich Transport und Maschinen 9,5% des Energieverbrauchs ab.

In Tabelle 23 sind die Energieträger des „Strom-Mix Davos“ (EWD-Strom und nicht-EWD-Strom) detailliert aufgeführt. In der Tabelle wird zwischen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern unterschieden. Grundsätzlich wird die Stromproduktion aus der Verbrennung von Biogas, Abfall, Biomasse und Deponiegas, aus Wind- und Sonnenenergieanlagen sowie aus Laufwasserkraftwerken als „erneuerbar“ betrachtet. Insgesamt bezieht Davos 69.8% des Stroms aus erneuerbaren Energien. Die Speicherkraftwerke, von welchen das EWD ebenfalls Strom bezieht, gelten nur teilweise als erneuerbare Energiequellen, weil diese zu Niedertarifzeiten häufig das Wasser mit Hilfe von teilweise nicht genauer definierten Energieträgern in die Speicherseen zurückpumpen. Die Kernenergie, welche vom EWD in Form von Strom eingekauft und abgegeben wird, erreicht einen Anteil von 15,6% am gesamten Stromverbrauch in Davos.

Der Energieverbrauch aufgeschlüsselt nach Energieträgern weist für Davos einen vergleichsweise geringen Anteil an neuen erneuerbaren Energien aus. In Davos wird mehrheitlich Wasserkraft für die Stromproduktion eingesetzt.

⁴ Im Holz ist nicht CO₂, sondern C gespeichert. Mit der angegebenen Zahl wird charakterisiert, wie viel CO₂ bei der Freisetzung des im Holzlager vorhandenen C, z. B. durch Verbrennung entstehen würde. Umgekehrt kann diese Menge an CO₂ der Atmosphäre durch Einbau von C in Holz entzogen werden.

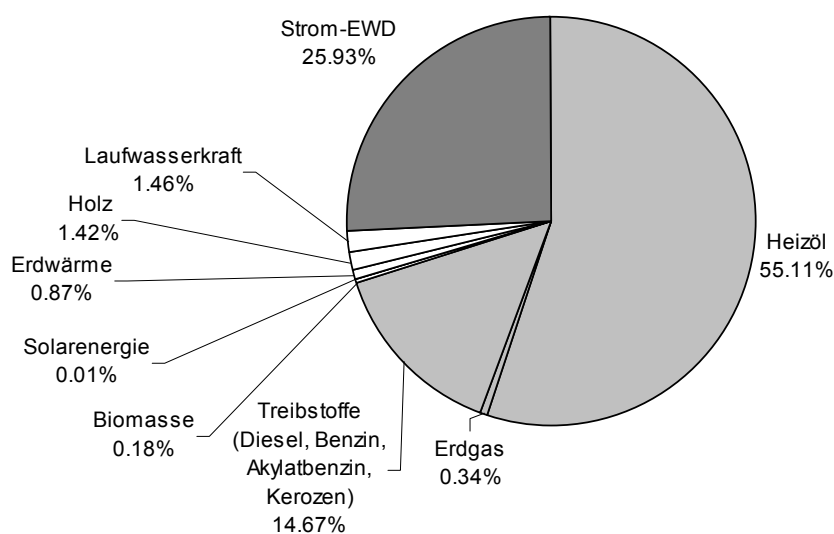


Abbildung 7. Energieverbrauch aufgeschlüsselt nach erneuerbaren (weiss markiert) und fossilen Energieträgern (hellgrau) und EWD-Strom (dunkelgrau) in der Gemeinde Davos. Insgesamt liegt der Energieverbrauch bei 510'563'505 kWh.

Tabelle 23. Strom-Mix-Davos: Energiebeschaffung des EWD und andere Strombeschaffung, 2004. Total: 134'651'047 kWh.

Energieträger	EWD-Strom: Produktion in Davos in %	EWD-Strom: Import in %	Nicht EWD-Strom in %	Total in %
Laufwasserkraftwerke	7.79 ⁽¹⁾	60.80		68.59
Speicherkraftwerke		11.71		11.71
Kernkraftwerke		15.61		15.61
WKK ab Diesel ⁽²⁾	0.57	0.47	1.31	2.34
WKK ab Gas ⁽²⁾		0.47	0.30	0.77
WKK ab ARA-Biogas ⁽³⁾			0.27	0.27
Abfall		0.87		0.87
Sonnen- und Windenergie	0.011	0.013	0.052	0.076
Biomasse ⁽⁴⁾	0.014		0.003	0.017
Deponiegas		0.017		0.017
Total in %	8.39	89.95	1.67	100
Total in kWh	11'292'298	121'118'517	2'242'162	134'652'977

.. = erneuerbare Energieträger

.. = teilweise erneuerbare Energieträger

.. = nicht erneuerbare Energieträger

(1) Eigenproduktion Davos: inkl. Premium Water (zertifizierter Wasserstrom).

(2) Import: Im CH-Mix wurde angenommen, dass die WKK 50% mit Diesel, 50% mit Gas funktionieren.

(3) Eigenproduktion Davos: Im Jahr 2004 hat die ARA Gadenstatt kein Strom an EWD geliefert.

(4) Eigenproduktion Davos: Im Jahr 2004 wurde die Biogasanlage Hoffmann in Betrieb gesetzt. Wenn in der Anlage die angestrebte Verarbeitungsmenge erreicht ist, wird sie gemäss UVB 526'800 kWh Strom und 658'500 kWh Wärme liefern können (d.h. 20 mal mehr als die Produktion im Jahr 2004).

3.1.6 Emissionen im nationalen Vergleich

Durch die vorgelagerten und direkten Emissionen innerhalb und ausserhalb der Gemeinde Davos wurden im Jahr 2005 insgesamt 109'330 Tonnen CO₂ ausgestossen. Ohne vorgelagerte Emissionen resultiert ein Wert von 99'365 Tonnen CO₂/Jahr. Dies entspricht einer CO₂-Emission von 7,5 Tonnen pro Einwohnerin oder Einwohner. Der Vergleich mit dem gesamtschweizerischen CO₂-Ausstoss pro Kopf und demjenigen verschiedener Städte im Schweizerischen Mittelland zeigt, dass die pro-Kopf-Emissionen in Davos sehr hoch sind (siehe Abbildung 8). Diese hohen Werte lassen sich in erster Linie durch Unterschiede in der Wirtschaftsstruktur sowie Unterschiede im Klima erklären. Davos ist stark vom Tourismus geprägt: Das Produktionsvolumen der Davoser Wirtschaft wird zu 33% von der touristischen Nachfrage absorbiert (BEBI *et al.* 2005). Die Anzahl der Hotels und Ferienwohnungen, sowie auch der Logiernächte ist hoch, und hat, wie auch der Verkehr, seit 1950 stark zugenommen. Ein Grossteil der Ferienwohnungen ist zudem während weniger als einem Fünftel des Jahres belegt, jedoch ständig geheizt. Die Gebäude verbrauchen zudem viel Energie, weil sie schlecht isoliert sind. Dies wirkt sich umso stärker aus, weil die Anzahl Heizgradtage in Davos um 60-70% höher liegt als im Mittelland.

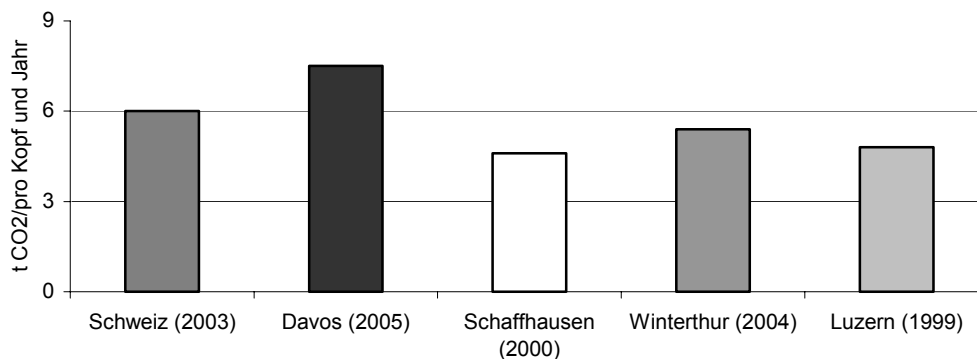


Abbildung 8. Bilanzierte CO₂-Emissionen pro Einwohnerin oder Einwohner und Jahr verschiedener Schweizer Städte und Emissionswerte des nationalen Treibhausgasinventars (BUWAL 2005; Stadt Schaffhausen 2000; ENGESSER 2005; POHL 2001). Davos liegt deutlich über dem schweizerischen Durchschnittswert.

3.2 Natürliche CO₂-Senken und Emissionen

3.2.1 Biomasse: Wald, Sträucher, Wiesen

Wald

Der Wald ist der grösste CO₂-Pool in Davos. Mit 369 Tonnen CO₂ pro Hektare speichert er im Vergleich zu den Wiesen rund 20-mal mehr CO₂ in seiner Biomasse. Kommt es zu einer Veränderung der Biomasse im Wald, sei es durch eine nachlassende Nutzung oder durch Aufforstung bzw. Wiederbewaldung, wirkt sich dies auch am stärksten bei den CO₂-Senken aus. Der Wald ist daher nicht nur der grösste CO₂-Pool, sondern auch die bedeutendste CO₂-Senke in der Landschaft Davos.

In der Schweiz und im gesamten Mitteleuropa sind Wälder zur Zeit CO₂-Senken, da den Wäldern weniger Holz entnommen wird als nachwächst, und die Waldfläche zunimmt, weil die landwirtschaftliche Nutzung aufgegeben wurde. Dies trifft auch für Davos zu, wo die Waldfläche grösser wird (etwa 0,3 ha/Jahr) und der Holzvorrat pro Fläche steigt. So nahm der Holzvorrat auf der bestehenden Waldfläche von 272 m³/ha im Jahr 1954 auf 311 m³/ha im Jahr 2000 zu. Dies entspricht einer Zunahme von 45 Tonnen CO₂/ha bzw. 1 Tonne CO₂ pro Hektar und Jahr. Gemäss einer Modellierungsarbeit von Thuerig (2005) ist die CO₂-Senke im Schweizer Wald aber zeitlich begrenzt. Bei einer Holznutzung vergleichbar mit der heutigen Intensität, würde die Senkenwirkung bis etwa ins Jahr 2050 bestehen bleiben.

Zur Berechnung der Waldflächen-Veränderung wurden zwei methodisch unterschiedliche Ansätze gewählt, entweder basierend auf der Arealstatistik, oder basierend auf GIS-Kartierung aus Luftbildern. Aus der Arealstatistik ergibt sich eine jährliche CO₂-Senke von 9'416 Tonnen CO₂, während sie sich auf Basis der GIS-Kartierung auf 8'111 Tonnen CO₂ beläuft. Der Mittelwert aus beiden Ansätzen beträgt 8'764 Tonnen CO₂. Da die Zunahmen der CO₂-Pools in den Legföhren und Zwergsträuchern in etwa genauso gross ist wie die Abnahme des CO₂-Pools in den Wiesen, entspricht die CO₂-Senke in der Waldbiomasse auch derjenigen in der gesamten Biomasse.

Die CO₂-Senke in der Davoser Waldbiomasse liegt unter dem Schweizer Durchschnitt, der aber wiederum zu den höchsten in Europa gehört (LISKI *et al.*, 2002). Während die Senke in der Landschaft Davos bei etwa 2 Tonnen CO₂ pro Hektar Wald und Jahr liegt (Waldflächen- und Vorratzzunahme), beträgt sie etwa 3 Tonnen CO₂ pro Hektar Wald und Jahr im landesweiten Durchschnitt (FISCHLIN *et al.* 2003; HAGEDORN *et al.* 2005). Dies ist zum einen auf eine geringere Wiederbewaldung zurückzuführen. Während in Davos die Waldfläche um etwa 0,3% pro Jahr zunimmt, liegt der gesamtschweizerische Mittelwert bei 0,4% (Schweizerisches Landesforstinventar 1999). Ein weiterer Grund für die geringere CO₂-Senkenwirkung des Davoser Waldes verglichen mit derjenigen des gesamten Schweizer Waldes ist das klimatisch bedingte geringere Netto-Wachstum. So nehmen die Holzvorräte pro Hektar und damit die CO₂-Senken in den Alpen um etwa 40% weniger rasch zu als in den Voralpen und im Mittelland (Schweizer Landesforstinventar 1999).

Holznutzung und Senkenpotenzial

Die gesamte Nutzung von Verkaufsholz belief sich von 1985 bis 2004 auf 9'100 m³ pro Jahr (Mitteilung Forstdienst Davos). Für die Landschaft Davos beträgt die in der Biomasse dieses genutzten Holzes aufgenommene CO₂-Menge 12'320 Tonnen CO₂ pro Jahr. In Verbindung mit der bestehenden CO₂-Senke in der Biomasse (8'764 Tonnen CO₂) lässt sich daraus auch ein CO₂-Senkenpotential in der Biomasse der Landschaft Davos errechnen: 21'084 Tonnen CO₂/Jahr.

Böden

Modellierungsarbeiten beziffern die derzeitige CO₂-Senke der Waldböden des Schweizer Alpenraumes mit 1,0 Tonnen CO₂/ha*Jahr (PERRUCHOUD *et al.* 1999) und 0,75 Tonnen CO₂/ha*Jahr (THUERIG 2005). Dies ergäbe eine CO₂-Senke in den Davoser Waldböden von 4'500 bzw. 3'400 Tonnen CO₂ pro Jahr. Modellierungsarbeiten nehmen grundsätzlich an, dass die Humusvorräte von Waldböden in Mitteleuropa (und auch in der Schweiz) momentan zunehmen (PERRUCHOUD *et al.* 1999; LISKI *et al.* 2002). Mit Messdaten lässt sich dies allerdings wie auch für Davos noch nicht belegen.

Die CO₂-Senke landwirtschaftlich genutzter Böden ist gering, und spielt in der Landschaft Davos eine untergeordnete Rolle. Nach Aufforstung von Grünland nehmen gemäss einer Literaturstudie die CO₂-Vorräte um etwa 10% ab (GUO & GIFFORD 2002). Da die Verbuschung in Davos bei etwa 20 ha pro Jahr liegt, beträgt die CO₂-Quellenwirkung damit 750 Tonnen CO₂/ha/Jahr.

Böden werden zu CO₂-Quellen, wenn wie zum Beispiel beim Siedlungs- und Strassenbau Bodenmaterial verlagert wird. Übertragen auf die Änderung der Siedlungs- und Strassenfläche um 20 ha in Davos (Arealstatistik, 1985-97), beläuft sich die CO₂-Quellwirkung durch Erdarbeiten hier auf 179 Tonnen CO₂/ha*Jahr.

Werden all diese Abschätzungen zusammengerechnet, dann ergibt sich eine Gesamtsenke im Boden von etwa 2'500 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Obwohl die Modellierungsarbeiten annehmen lassen, dass die Davoser Böden CO₂-Senken sind, gilt grundsätzlich, dass CO₂-Senken im Kyoto-Protokoll nur angerechnet werden können, wenn man diese nachweisen kann. Dies ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Auf nationaler Ebene wird das BAFU die Böden daher auf Grund der problematischen Quantifizierbarkeit bei der CO₂-Senkenberechnung vorläufig nicht berücksichtigen (Auskunft BAFU). Die Abbildung 9 gibt einen Überblick über die natürlichen CO₂-Senken und Quellen in Davos.

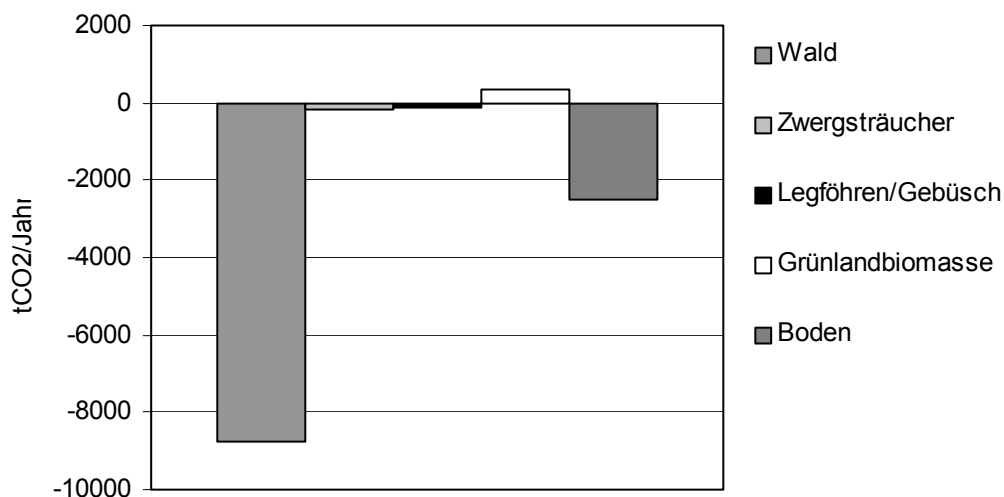


Abbildung 9. Natürliche CO₂-Senken und -Quellen in der Gemeinde Davos. Wald und in zweiter Linie auch Böden sind hier die grössten natürlichen CO₂-Senken.

Gewässer

Gewässer enthalten grosse Mengen an CO₂ in gelöster Form. Umgerechnet auf die gesamte Wasseroberfläche von Davos (221 ha) würde dies für die Gewässer eine Senke von 51 Tonnen CO₂/Jahr ergeben. Dies entspricht weniger als 1% der CO₂-Senke Wald und ist daher vernachlässigbar.

3.3 CO₂-Bilanz

Ein Vergleich der CO₂-Emissionen mit den Senken in der Gemeinde Davos zeigt, dass der Senkenanteil gegenüber dem Emissionsanteil gering ist (Abbildung 10).

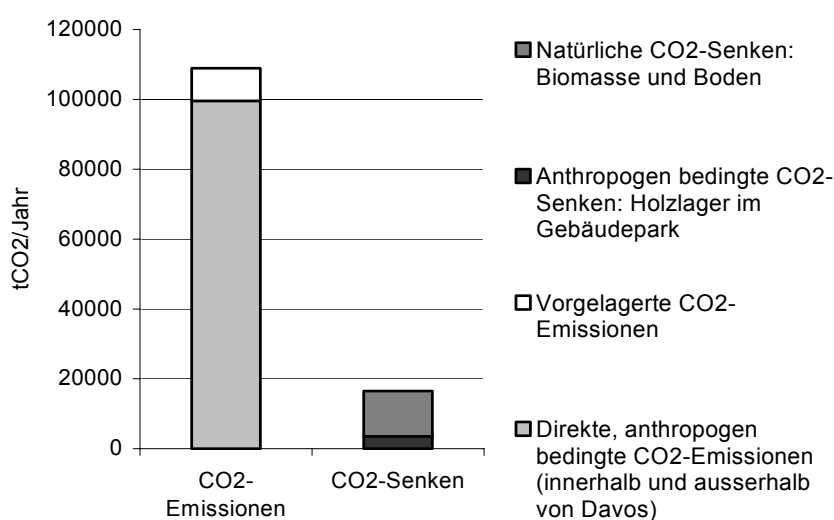


Abbildung 10. Vergleich der CO₂-Emissionen und -Senken in der Gemeinde Davos⁵.

In Tabelle 24 sind die Emissionen und Senken zusammenfassend aufgelistet. Insgesamt wurden durch die vorgelagerten und direkten Emissionen innerhalb und ausserhalb der Gemeinde Davos im Jahr 2005 rund 109'330 Tonnen CO₂ emittiert. Demgegenüber können Biomasse und Boden in Davos jährlich 11'270 Tonnen CO₂ binden. Die anthropogen bedingten Senken machen 3'370 Tonnen CO₂ aus.

⁵ Die Grünlandbiomasse, welche im Moment in Davos eine natürliche CO₂-Quelle darstellt, da Grünlandfläche durch Bautätigkeit verloren geht, ist in der Graphik in Folge der geringen CO₂-Mengen nicht ersichtlich (337 Tonnen CO₂ pro Jahr).

Tabelle 24. Überblick über Emissionsmengen und Senken der Gemeinde Davos im Jahr 2005.

Emissionsquelle	Energie- verbrauch in kWh	direkte CO2-Emissionen in t/Jahr			Vorgelagerte CO2- Emissionen in t/Jahr	Gesamte CO2- Emissionen in t/Jahr	Anteil an antr. bed. CO2-Em. ohne Senken	Anteil an gesamt CO2- Bilanz in %
		Davos	CH	Ausland			in %	
Anthropogen bedingte CO2-Emissionen und –Senken								
Wärmeerzeugung	329'310'002	75'710	74	0	5'913	81'697	74.7	86.4
Oelfeuerungen	281'349'625	74'648	0	0	5'258	79'906	73.1	84.5
Elektroheizungen	31'699'149	51	74	0	471	596	0.5	0.6
WKK Anlagen	3'827'039	865	0	0	87	952	0.9	1.0
Holzfeuerungen	7'273'200	0	0	0	21	21	0.02	0.02
Geothermieranlagen (1)	4'424'130	0	0	0	62	62	0.1	0.1
Gasküchen	736'859	146	0	0	14	160	0.1	0.2
Licht, Maschinen und Geräte	109'689'503	2'631	234	0	1'688	4'553	4.2	4.8
Elektrizität	102'556'364	739	234	0	1'536	2'508	2.3	2.7
Offroad-Sektor	7'132'870	1'892	0	0	153	2'045	1.9	2.2
Verkehr	71'564'269	17'053	7	0	1'788	18'847	17.2	19.9
Rhätische Bahn	7'811'796	98	0	0	9	106	0.1	0.1
Strassenverkehr	62'645'930	16'638	7	0	1'760	18'405	16.8	19.5
Flugverkehr	1'106'543	317	0	0	19	336	0.3	0.4
Abfallentsorgung:		45	3'592	0	424	4'061	3.7	4.3
Siedlungsabfälle		45	2'933	0	0	2'978	2.7	3.1
Bauabfälle		0	659	0	0	659	0.6	0.7
Abwasser		0	0	0	424	424	0.4	0.4
Baumaterialverbrauch		-770	-2'063	-688	151	-3'370		-3.6
Mineralische Rohstoffe		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.
Holz		-770	-2'063	-688	151	-3'370		-3.6
Feuerwerk/Sprengstoff		1	0	0	0	1	0.001	0.002
übrige Aktivitäten		19	0	0	0	19	0.02	0.02
Summe der anthropogen bedingten CO2-Emissionen <u>und</u> –Senken		94'689	1'843	-688	9'965	105'809		111.9
Summe der anthropogen bedingten CO2-Emissionen <u>ohne</u> Senken		95'459	3'906	0	9'965	109'330	100.0	115.6
Natürliche CO2-Senken und –Emissionen								
Biomasse		-8'770				-8'770		-9.3
Senke der Wald-Biomasse		-8'764				-8'764		-9.3
Senken in den Zwergsträuchern		-197				-197		-0.2
Senken in den Legföhren/Gebüsch		-146				-146		-0.2
Senken in der Grünlandbiomasse		337				337		0.4
Boden		-2'500				-2'500		-2.6
Summe der natürlichen CO2- Senken und -Emissionen		-11'270	0	0	0	-11'270		-11.9
Summe der natürlichen und anthropogenen CO2-Senken		-12'040	-2'063	-688	0	-14'791		-15.6
Gesamt Bilanz	510'563'774	83'419	1'843	-688	9'965	94'539		100.0

n.b.: nicht berücksichtigt.

(1) Die Geothermieranlagen brauchen zusätzlich 1'474'710 kWh EWD-Strom. Dieser Energieverbrauch und die zugehörigen CO₂-Emissionen sind unter "Licht, Maschinen und Geräte, Elektrizität".

Die Resultate der CO₂-Bilanz weisen einige Besonderheiten von Davos im Speziellen und Berggemeinden im Allgemeinen aus. So sind die Emissionen im Vergleich mit anderen Schweizer Städten sehr hoch, als Folge des höheren Energiebedarfs zu Heizzwecken. Bei den Energieträgern zeigt sich eine hohe Abhängigkeit vom Erdöl, und trotz der grossen Waldfläche und der hohen Sonnenscheindauer eine geringe Nutzung von erneuerbaren Energieträgern.

Insgesamt zeigt die Bilanz, dass Handlungsbedarf besteht, den Energieverbrauch zu reduzieren und vermehrt erneuerbare Energien zu nutzen. Sie zeigt auch auf, wo Sparanstrengungen am besten greifen, und was das Potenzial des Davoser Holzes als Energieträger und Baustoff ist. Diese Themen werden in den folgenden Kapiteln eingehen geprüft und diskutiert.

4 Massnahmen zur Verbesserung der regionalen CO₂-Bilanz: Wirkung und Umsetzbarkeit

Eine Reihe weitgehend bekannter technischer, organisatorischer und verhaltensbezogener Massnahmen kann zur Verbesserung von CO₂-Bilanzen beitragen. Die meisten dieser Massnahmen zielen dabei auf eine Reduktion der CO₂-Emissionen ab, und einige wenige auf die Förderung der Senken. Die Reduktion des absoluten Energieverbrauchs durch technische Innovation und gezielte Anpassungen in den Nutzungsgewohnheiten, sowie die Nutzung alternativer Energieträger stellen die wichtigsten Herangehensweisen zur Verbesserung von CO₂-Bilanzen dar.

In diesem Kapitel werden verschiedene Massnahmen vorgestellt und ihre Umsetzbarkeit sowie ihr Beitrag zur Verbesserung der CO₂-Bilanz für die Landschaft Davos überprüft. Grundlage für die Beurteilung des Umsetzungspotentials sind die aktuellen Gegebenheiten (Jahr 2005) in der Landschaft Davos. Auf den Grundlagen des gleichen Zeitraums werden ausserdem die zu erwartenden Kosten abgeschätzt und die Akteure identifiziert, die an einer erfolgreichen Umsetzung beteiligt sein müssten. Die Abschätzung des CO₂-Reduktionspotentials und der entsprechenden Kosten beruht auf Annahmen und kann daher nur als grobe Schätzung gelten. Die Annahmen werden in den Tabellen zu diesem Kapitel beschrieben. Die potenziellen Massnahmen und ihr Umsetzungspotential werden nachfolgend einzeln betrachtet, obschon sie sich gegenseitig beeinflussen können. Diese isolierte Betrachtung der Massnahmen kann auch als eine Sensitivitätsanalyse verstanden werden, die einzelne Punkte der Bilanz herausgreift und hinsichtlich ihres Effekts auf die CO₂-Bilanz überprüft. Die Diskussion der einzelnen Massnahmen stellt die Grundlage der Szenarien in Kapitel 5 dar.

4.1 Methodisches Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde berechnet, was die einzelne Massnahme theoretisch zu einer Verbesserung der CO₂-Bilanz beitragen kann. In einem zweiten Schritt wurde die spezifische Situation von Davos berücksichtigt, um das lokale Umsetzungspotential abzuschätzen. So wurden beispielsweise Davoser Erfahrungswerte zum Heizbedarf nach Sanierung auf die Altersstruktur des hiesigen Gebäudeparks und die heutige Zusammensetzung der Energieträger übertragen. Während die erste Schätzung weitgehend einer Sensitivitätsanalyse entspricht, zeigt die zweite Schätzung somit ein einigermaßen realistisches Potential für die Landschaft Davos auf.

Nicht bei allen Massnahmen war es möglich, die Abschätzungen auf lokale Grundlagen abzustützen. Wird im Folgenden für eine Massnahme ein „theoretisches Einsparpotential“ angegeben, so bedeutet dies, dass das entsprechende Einsparpotential nur grob abgeschätzt werden konnte.

Die Schätzwerte sind in Tonnen CO₂ an direkten und vorgelagerten Emissionen angegeben, die durch die einzelne Massnahme eingespart bzw. zusätzlich emittiert werden. Da das Ziel der Massnahmen die Verbesserung der CO₂-Bilanz der Landschaft Davos ist, wurde ihre Wirkung als Summe dieser CO₂-Mengen in Prozent der gesamten CO₂-Bilanz ausgedrückt. Somit wird die Wirksamkeit der Massnahmen nicht nur direkt z.B. als Steigerung der Energieeffizienz abgebildet, sondern auch in ihrer Wirkung auf die Gesamtbilanz.

4.2 Massnahmen im Bereich Heizen

Die Wärmeerzeugung hat die grössten Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen in der Landschaft Davos (Kapitel 3). Um in diesem Bereich den Energieverbrauch zu reduzieren, können Massnahmen auf drei Ebenen ergriffen werden: Erstens kann ein verändertes Heizverhalten zur Reduktion der Emissionen beitragen; Zweitens führt eine Erhöhung der Energieeffizienz der Gebäude selbst zu einer

Reduktion des Heizbedarfs; Und schliesslich ist die Reduktion von Emissionen durch die Nutzung erneuerbarer Energieträger ein wichtiger Ansatzpunkt.

Während eine Änderung im Heizverhalten mit geringem technischem Aufwand zu verwirklichen ist, erfordert die Verbesserung der Energieeffizienz eines Gebäudes durch Sanierungsmassnahmen und die Umstellung auf erneuerbare Energieträger grössere Investitionen. Während mit den ersten beiden Massnahmentypen der Energiebedarf direkt gesenkt wird, führt die Nutzung erneuerbarer Energien nicht unbedingt zu einer Reduktion des Energiebedarfs, sondern ersetzt beispielsweise fossile durch CO₂-neutrale Energieträger. Am besten werden daher Massnahmen aus dem Bereich des Energiesparens mit Massnahmen aus dem Bereich der erneuerbaren Energien kombiniert.

4.2.1 Heizverhalten

Eine Anpassung des Heizverhaltens an die tatsächlichen Bedürfnisse ist ein erster Schritt zur Reduktion des Energiebedarfs. Die in Tabelle 25 aufgeführten Massnahmen erfordern einen geringen technischen Aufwand und entsprechend geringe Investitionskosten. Gleichwohl ist dazu die Initiative des einzelnen Haushalts oder der einzelnen Gebäudeverwaltung gefragt.

Raumtemperatur tageszeitlich regulieren

Eine bereits weitverbreitete Massnahme betrifft die tageszeitliche Regulierung der Raumtemperatur („Nachtabsenkung“). Zur Demonstration der Wirkung dieser Massnahme wird angenommen, dass im Jahre 2005 in Davoser Haushalten, im Gastgewerbe und in anderen beheizten Gebäuden 24 Stunden am Tag auf eine Raumtemperatur von 20°C geheizt wird. Wird nun täglich (Nachtperiode) für mehrere Stunden die Raumtemperatur auf eine Stütztemperatur von 15°C abgesenkt, resultiert eine Reduktion der Emissionen um 2'746 Tonnen CO₂, was die Bilanz um 2.5% verbessern würde (Tabelle 25: HVerh-01A).

Das Umsetzungspotential dieser an und für sich wirksamen Massnahme ist schwer zu beurteilen. Da die Raumtemperatur bereits in vielen Haushalten und Gebäuden in einem tageszeitlichen Rhythmus reguliert wird, wird das Potenzial als eher gering eingeschätzt.

Tabelle 25. Massnahmen zur Verbesserung der CO₂-Bilanz durch Änderungen im Heizverhalten.

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von direkten Emissionen in t CO ₂	Einsparung von vorgelagerten Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in % (direkte und vorgelagerte Emissionen)
HVerh-01A	Tageszeitliche Regulierung der Raumtemperatur : „Nachtabsenkung“	Bei der so genannten Nachtabsenkung, wird die Heizanlage so eingestellt, dass die Räumlichkeiten eines Gebäudes während dieser Zeit nicht auf normale Raumtemperaturen aufgeheizt werden, sondern auf eine Stütztemperatur von 15 °C.			
		1. Haushalte: 8/24 h	-1'606.2	-125.4	-1.59 %
		2. Gastgewerbe: 5/24 h	-332.5	-26.0	-0.33 %
		3. Verwaltung/Schulen/Industrie/ Sportanlagen: 12/24 h	-580.4	-45.3	-0.57 %
		4. Kliniken:	-28.3	-2.2	-0.03 %
		Total	-2'547.3	-198.8	-2.52 %
HVerh-01B	Reduktion in der ganzen Wohnung um 1°C alle 24 h	Um 1°C = - 6 % der Emissionen durch Heizen in Privathaushalten Umsetzung in Davos : Von den 10000 Wohnungen in Davos gelten rund 60 % als vor 1970 gebaut. Von diesen Wohnungen sind rund 25 % nicht mit Thermostatventilen ausgerüstet. Demnach könnten noch 1500 Wohnungen entsprechend ausgerüstet werden.	-368.5	-28.8	-0.36 %
HVerh-01C	„Jedem Raum sein Klima“	Reduktion der Emissionen durch Heizen in Privathaushalten um 20 %	-1'255.3	-98.0	-1.24 %

HVerh-02A	Reduktion der Raumtemperatur in periodisch leer stehenden Ferien- und Zweitwohnungen auf 15°C in Wohnungen, die bisher noch nicht mit Thermostatventile ausgerüstet sind.	Davos hat 4850 Zweitwohnungen 30 % davon werden als Ferienwohnungen weiter vermietet. Die restlichen 3395 sind im Durchschnitt während 62 Tagen pro Jahr besetzt. Weil in Davos während zwei Monaten nicht geheizt wird, müsste während 240 Tagen die Temperatur auf 15 °C gesenkt werden. Wir gehen davon aus, dass 85 % der nur periodisch besetzten Zweitwohnungen mit Thermostatventilen ausgerüstet sind. Rund 509 Wohnungen müssten somit noch mit Thermostatventilen ausgerüstet werden.	-1'032.8	-80.6	-1.02 %
HVerh-02B	Reduktion der Raumtemperatur in periodisch leer stehenden Ferien- und Zweitwohnungen auf 15°C mit Funkregler	Für den Einbau eines funkgesteuerten Temperaturreglers kommen nur neuere Wohnungen ab 1995 und Ferienhäuser in Betracht. Die Anzahl Zweitwohnungen, bei denen der Einbau solcher Systeme möglich wäre, wird auf 500 geschätzt. Dazu kommen rund 230 Ein- oder Zweifamilienhäuser.	-155.4	-12.1	-0.15 %
HVerh-03	Reduktion des Warmwasserverbrauchs beim Waschen und Duschen mit Hilfe von Spardüsen	In allen Davoser Wohnungen kann mittels Spardüsen den Warmwasserverbrauch gesenkt werden. Rund 50 % der Anschlüsse können so umgerüstet werden. Bei den Hotels können Spardüsen bei rund 30 % der Wasseranschlüsse eingebaut werden. Desgleichen gilt für die Kategorie Sportanlagen/Verwaltungsbauten/Forschungsinstitute, Schulen/Industrieanlagen sowie Klinikhäuser			
		1. Haushalte	-2'615.1	-204.1	-2.58 %
		2. Hotels	-382.6	-29.9	-0.38 %
		3. Sportanlagen, Verwaltungsbauten, Forschungsinstitute, Schulen, Industrieanlagen sowie Klinikhäuser	-707.8	-55.2	-0.70 %
		Total	-3'705.6	-289.2	-2.96 %

Ähnliche Massnahmen betreffen die allgemeine Reduktion der Raumtemperatur, entweder im gesamten Wohnbereich um 1°C, oder in jedem einzelnen Raum entsprechend den Bedürfnissen (HARTMANN *et al.* 2005; IMBODEN und COLBERG, 2005). Das Umsetzungspotential dieser Massnahmen für die Landschaft Davos lässt sich abschätzen, weil die Verbreitung der Thermostatventile bekannt ist. Geht man davon aus, dass die Gebäude und Wohnungen, die bereits mit den entsprechenden Thermostatventilen ausgerüstet sind, nicht überheizt sind, würde das verbleibende Potential bei einer allgemeinen Reduktion um 1°C eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.36% bewirken (Tabelle 25: HVerh-01B). Das Potential einer auf die Nutzung der einzelnen Räume ausgerichteten Temperaturregulierung fällt mit 1.24% ebenfalls relativ niedrig aus (Tabelle 25: HVerh-01C). Grund für die geringe Wirkung dieser Massnahme ist allerdings nicht ihre Wirksamkeit, sondern die hier getroffene Annahme, dass sie bereits in vielen Gebäuden umgesetzt wird.

In einem Tourismusort wie Davos mit zahlreichen nur während kurzer Zeit belegten Wohnungen (SCHNYDER 2006) können gezielte Massnahmen im Hinblick auf die langen Leerstände dieser Wohnungen sehr effektiv sein. Um zu garantieren, dass Energie gespart, jedoch der Taupunkt in der Wohnung nicht erreicht wird, wird eine Reduktion der Raumtemperatur auf 15°C während der Leerstände empfohlen (HARTMANN *et al.* 2005; IMBODEN und COLBERG, 2005). Unter der Annahme dass das Heizverhalten in den Davoser Zweit- und Ferienwohnungen dem empirisch erfassten Verhalten in der nahe gelegenen Gemeinde Lenzerheide entspricht (HARTMANN *et al.* 2005; IMBODEN und COLBERG, 2005), ergibt sich ein Potential zur Verbesserung der CO₂-Bilanz von gut 1% (Tabelle 25: HVerh-02A).

Ob die Raumtemperatur während des Leerstands einer Wohnung geregelt wird, hängt neben dem konsequenten Verhalten der Wohnungsbesitzenden auch von der Installation von Thermostatventilen ab. Diese sind allerdings nach Auskunft eines Heizungsplaners bereits in rund 85% der Davoser Zweitwohnungen installiert. Die Installation eines funkgesteuerten Temperaturreglers ist an neuere

Zweitwohnungen und Ferienhäuser gebunden und könnte die Temperaturregulierung noch weiter optimieren. Damit wäre es möglich, die Heizung erst ein paar Stunden vor der Ankunft in Davos per Telefon oder SMS auf wohnliche Temperaturen hin zu steuern.

Wasseranschlüsse mit Spardüsen ausrüsten

In Wohngebäuden gehen im Durchschnitt rund 18% der Energie, die zum Heizen aufgewendet wird, in die Aufbereitung von Warmwasser (gemäss Auskunft Amt für Energie Graubünden). In Hotels beträgt der Anteil des Energieverbrauchs zur Warmwasseraufbereitung sogar 25-30%. Durch die Installation von Spardüsen, die bei gleichem Druck nur die Hälfte der Wassermenge abgeben, lässt sich der Warmwasserverbrauch effektiv und ohne Komforteinschränkung reduzieren. Werden 50% aller Davoser Wasseranschlüsse mit Spardüsen ausgerüstet, so kann mit einer Reduktion der CO₂-Emissionen bei der Warmwasseraufbereitung von knapp 3% gerechnet werden (Tabelle 25: HVerh-03). Diese Massnahme ist für jeden Haushalt bzw. für jede Gebäudeverwaltung sowohl aus technischer wie aus finanzieller Sicht einfach umzusetzen. Die Investitionskosten von rund 15 Franken pro Anschluss sind niedrig und innerhalb kürzester Zeit auch amortisiert.

4.2.2 Energieeffizienz der Gebäude

Im Gegensatz zu Veränderungen im Heizverhalten lässt sich die Energieeffizienz von Gebäuden nur durch grössere technische und auch finanzielle Aufwendungen optimieren. Ältere Gebäude, die bis in die späten 1980er Jahre errichtet wurden, bevor die Öffentlichkeit für die Energie- und Heizproblematik sensibilisiert war, weisen ein hohes Potential zur Steigerung ihrer Energieeffizienz auf. Die wärmetechnische Sanierung von Altbauten wird deswegen als eine der wichtigsten Massnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs bzw. des CO₂-Ausstosses gesehen.

Gebäude wärmetechnisch sanieren

Die drei Gebäudekomponenten, die am häufigsten wärmetechnisch saniert werden, sind Aussenfassaden, Dach und Fenster. Mit einer durchschnittlichen Einsparung von 40% Wärmeenergieverbrauch ist die Fassadenisolation die wirksamste Sanierungsmassnahme (Erfahrungswert Gemeinde Davos). Fenster- und Dachsanierung kommen einzeln jeweils auf Einsparungen von 15-25% bzw. 10% (Erfahrungswerte Gemeinde Davos). Unter Ausschluss der nach 1990 erstellten Neubauten sowie der bereits sanierten Altbauten (Tabelle 26: EnEffG-01A), können durch Sanierungsmassnahmen insgesamt 22% der CO₂-Emissionen reduziert werden: 3.0% über Dachisolationen, 4.6% über isolierverglaste Fenster und 14.4% über die Isolation von Aussenfassaden (Tabelle 26: EnEffG-01A). Bei der Abschätzung dieser Werte wurden Wohngebäude, Hotels und Kliniken gesondert betrachtet. Dabei hat sich gezeigt, dass allein das Potential der Fassadensanierung bei Hotels und Kliniken eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um 2.3% bewirken würde.

Tabelle 26. Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden in Davos.

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von direkten Emissionen in t CO ₂	Einsparung von vorgelagerten Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %
EnEffG-01A	Gebäudesanierung	_1. Wärmedämmung Dach Einsparung 10 % pro Gebäude Anzahl noch nicht sanierter Gebäude: _11. 1200 Wohngebäude und _12. 80 Gastgewerbe/Klinken	-3'036	-237	-3.0 %
		_2. Wärmeschutzfenster Einsparung 15-25 % pro Gebäude Anzahl noch nicht sanierter Gebäude: _21. 800 Wohngebäude und _22. 30 Gastgewerbe/Klinken	-4'635	-362	-4.6 %

		3. Fassadenisolation Einsparung 40 % pro Gebäude Anzahl noch nicht sanierter Gebäude: 31. 1500 Wohngebäude und 32. 80 Gastgewerbe/Kliniken	-14'598	-1'139	-14.4 %
		4. Dach-, Fenster- und Fassadensanierung in Wohngebäuden	-18'805	-1'468	-18.6 %
		Gastgewerben/Kliniken	-3'463	-270	-3.4 %
EnEffG-01B	Gebäudesanierung nach Minergie®-Grenzwerte für Bauten vor 1990	Energiekennzahl: 220 MJ/m2a + 4 MJ/m2a Klimabonus Alle Wohngebäude, die heute noch nicht zertifiziert sind. 1. Wohngebäude 2. Gastgewerbe	-36'898	-2'853	-36.4 %
EnEffG-02A	Ersatzneubau nach SIA-Norm	Neubau Konventionell Energiekennzahl: 360 MJ/m2a (= 100 kWh/m2a) Alle Altbauten vor 1990	-29'994	-2'319	-29.6 %
EnEffG-02B	Ersatzneubau Minergie®	Gemäss Minergie Energiekennzahl: 120 MJ/m2a Alle Altbauten vor 1990	-50'504	-3'905	-49.9 %
EnEffG-02C	Ersatzneubau MinergieP®	MinergieP® Energiekennzahl: 30 MJ/m2a (= 8.3 kWh/m2a) Alle Altbauten vor 1990	-58'325	-4'510	-57.6 %

Zum Vergleich haben wir auch das Potential für die Sanierung von Gebäuden entsprechend dem Minergie®-Standard für Davos abgeschätzt. Dabei ergibt sich eine mögliche Verbesserung der CO₂-Bilanz um rund 36.4% (Tabelle 26EnEffG-01B). Die Differenz zwischen konventioneller Sanierung und Sanierung nach Minergie®-Standard für Bauten vor 1990 ergibt sich aus den höheren Qualitätsanforderungen und der kontrollierten Lüftung. Ausserdem wird im Gegensatz zur vorigen Rechnung nicht auf die aktuelle Energieeffizienz der Gebäude eingegangen, sondern es wird angenommen, dass jedes Gebäude die angestrebte Energiekennzahl von 84 kWh pro m² und Jahr erreicht (Minergie Grenzwert für Bauten (EFH und MFH) vor 1990 plus Klimazuschlag für Davos, Verein Minergie®, 2005). Dies ist jedoch aus technischen Gründen nicht bei jedem bestehenden Baukörper möglich, so dass diese Massnahme in der Summe als nicht realisierbar eingestuft werden muss. Die Minergie®-Vorgabe, ein Gebäude im Rahmen der wärmetechnischen Sanierung auch mit einer kontrollierten Lüftung auszustatten, führt ausserdem zu deutlich höheren Kosten als bei einer konventionellen Sanierung.

Zum Vergleich wurde ausserdem berechnet, welche Reduktion eintreten würde, wenn alle Gebäude nach der heutigen SIA-Norm, Minergie®- bzw. MinergieP®-Standard gebaut wären (Tabelle 26: EnEffG-02A/B/C). Demnach würde das Ersetzen aller Altbauten durch konventionelle Neubauten zu einer Reduktion von rund 29.6% führen (Tabelle 26: EnEffG-02A), was rund 5.6% über dem Wert der konventionellen Sanierung liegt. Wird davon ausgegangen, dass alle Altbauten durch Neubauten nach Minergie®- bzw. MinergieP®-Standard errichtet werden, sind die Einsparungen entsprechend höher (-49.9 % bzw. -57.6 %, Tabelle 26: EnEffG-02B/C). Dieser Vergleich zeigt auf, wie gross die Spannweite der Energieeffizienz im Bereich der Neubauten ist, und dass sich eine energetische Optimierung bei Neubauten erheblich positiv auf die CO₂-Bilanz niederschlagen würde. Allerdings gilt es zu beachten, dass Ersatzneubauten einen hohen Energie- und Materialbedarf verlangen (OTT 2002).

4.2.3 Nutzung erneuerbarer Energieträger zum Heizen und Verbesserung der Heiztechnik

Neben der Reduktion des Energieverbrauchs durch Änderungen im Heizverhalten oder der Gebäudesanierung, wirken sich auch die Nutzung erneuerbarer Energieträger und eine verbesserte Heiztechnik positiv auf die CO₂-Bilanz aus. Dazu stehen verschiedene Energieträger bzw. -quellen, aber auch technische Umsetzungsvarianten zur Verfügung. Aufgrund der relativ grossen Waldfläche

in der Landschaft Davos ist eine verstärkte Holznutzung zur Deckung des Heizenergiebedarfs eine nahe liegende Option.

Holz als Energieträger nutzen

Vergleichbar mit dem Substitutionspotential bei den Baumaterialien und den Werkstoffen, kann Holz auch als Energieträger genutzt werden und dabei fossile Energieträger ersetzen. Natürlich wird auch beim Verbrennen von Holz CO₂ freigesetzt, jedoch nur so viel, wie der Baum der Atmosphäre zuvor entnommen hat. Die Nutzung von Holz wird deshalb als „CO₂-neutral“ betrachtet. Das BAFU gibt an, dass pro Kubikmeter Holz, der verheizt wird, Emissionen von rund 0.6 Tonnen CO₂ fossilen Ursprungs eingespart werden (FISCHLIN *et al.* 2006). Wenn angenommen wird, dass in Davos der gesamte jährliche Zuwachs von entsprechend geeignetem Holz zum Heizen genutzt und damit Heizöl ersetzt wird, würde sich die CO₂-Bilanz um 6.4% verbessern (Tabelle 27: En&Heiz-01B). Bei dieser ersten Abschätzung wird von Zentralheizungen in Einzelgebäuden sowie der Verwendung von Stückholz oder Holzschnitzeln ausgegangen.

Aufgrund des höheren Wirkungsgrads grosser Heizbrenner lassen sich weitere Einsparungen durch Fernwärmeverbünde erzielen. Danach lässt sich mit der gleichen Menge Holz eine Reduktion von 9.3% erzielen (Tabelle 27: En&Heiz-01D). Eine solche energetisch optimierte Lösung liesse sich nicht durch einzelne Haushalte verwirklichen, sondern würde die Initiative der Gemeinde verlangen. Insgesamt ist das Potential von Holz also als recht hoch einzuschätzen; mit einer optimierten Technologie, z.B. Holzheizkraftwerk mit Fernwärmeverbund, könnte der Heizölverbrauch um über 12.7% reduziert bzw. durch Holz aus der Landschaft Davos ersetzt werden.

Würden alle Ölfeuerungsanlagen durch Holzfeuerungen ersetzt, müssten 79'000 m³ Holz für Zentralheizungen mit Stückholz (Tabelle 27: En&Heiz-01A) oder 250'000m³ Holz in Form von Schnitzelholz für ein Heizkraftwerk mit Fernwärmeverbund (Tabelle 27: En&Heiz-01C) von ausserhalb der Gemeinde importiert werden. Aus diesem Grund werden diese Massnahmen nicht weiter verfolgt.

Sonnenlicht als Energieträger nutzen

Eine weitere Option ist die Solarenergie. Sie steht im Gegensatz zum Holz nahezu unbeschränkt zur Verfügung. Es werden zwei grundsätzlich unterschiedliche Technologien zur Nutzung von Solarenergie eingesetzt. Zum einen werden Sonnenkollektoren zum Aufheizen von Wasser verwendet, welches zur Versorgung des Haushalts mit Warmwasser und/oder zum Heizen des Gebäudes genutzt wird. Zum anderen besteht die Möglichkeit über Photovoltaikanlagen Strom zu generieren und diesen für Heizzwecke und/oder die Aufbereitung des Warmwassers zu nutzen.

Aufgrund der jahreszeitlichen Schwankungen der Sonneneinstrahlung ist eine der ökonomischsten und am weitesten verbreiteten Varianten die Installation von Sonnenkollektoren zur Deckung von rund zwei Dritteln der Warmwasseraufbereitung eines Haushaltes (swissolar 2005). Im Durchschnitt entfallen zur Zeit rund 18% des Energiebedarfs zum Heizen allein auf die Warmwasseraufbereitung. Falls alle Gebäude eine solche Anlage zur Warmwasseraufbereitung installieren würden, könnte eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 5.3% erreicht werden (Tabelle 27: En&Heiz-01F).

Ersetzt man den EWD-Strom, mit dem in Davos die Elektroheizungen betrieben werden, durch Solarstrom, zeigt sich keine Verbesserung der CO₂-Bilanz (Tabelle 27: En&Heiz-01G). Dies ist in erster Linie auf die vergleichsweise hohen vorgelagerten Emissionen für die Produktion der Photovoltaikanlagen zurückzuführen, welche die vorgelagerten CO₂-Emissionen des EWD-Stroms zumindest bei heutiger Technologie übertreffen. Die Einsparungen liegen wesentlich höher, wenn Heizungen, die bisher mit Heizöl betrieben werden, durch solarbetriebene Heizsysteme ersetzt werden. Mit dem Ersatz von Ölheizungen durch solarbetriebene Elektroheizungen kann die CO₂-Bilanz um bis zu 11.7% verbessert werden (Tabelle 27: En&Heiz-01H).

Erdwärme als Energieträger nutzen

In Davos waren Ende 2005 insgesamt 126 Wärmepumpenanlagen mit Erdsonden in Betrieb (Statistik Energiestadt Davos). Unter der Annahme, dass aufgrund der geologischen Verhältnisse und der technischen Einschränkungen in weiteren 40% der Gebäude die Erdwärme zum Heizen genutzt würde, könnte die CO₂-Bilanz um 28.1% verbessert werden (Tabelle 27: En&Heiz-01J).

Tabelle 27. Massnahmen zur Verbesserung der regionalen CO₂-Bilanz durch das Ersetzen von fossilen Energieträgern mit erneuerbaren Energiequellen und die Verbesserung der Heiztechnik.

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von direkten Emissionen in t CO ₂	Einsparung von vorgelagerten Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %
En&Heiz-01A	Holz im Einzelhaus	Alles Heizöl wird durch Stückholz in Zentralheizungen ersetzt. 100 % des Holzzuwachses in Davos werden zum Heizen von Einzelgebäuden mit Zentralheizung verwendet. Damit können rund 2'100 t Heizöl ersetzt werden. Der restliche Bedarf (117'000m ³) sollte mit Holz aus Graubünden abgedeckt werden. Unrealistisch und nicht nachhaltig.			
En&Heiz-01B	Holz im Einzelhaus	100 % des Holzzuwachses in Davos werden zum Heizen von Einzelgebäuden mit Zentralheizung verwendet. Damit können rund 2'100 t Heizöl ersetzt werden. Der restliche Bedarf wird mit dem heutigen Energieträger-Mix (vor allem Heizöl) abgedeckt (En&Heiz-01A: mit Holz aus Graubünden).	-6'592.9	-410.6	-6.42 %
En&Heiz-01C	Holz im Fernwärmeverbund	Alles Heizöl wird mit Schnitzholz in Fernwärmeverbund ersetzt. 100 % des Holzzuwachses in Davos werden zum Heizen im Fernwärmeverbund verwendet. Der restliche Bedarf (79'000m ³) wird mit Holz aus Graubünden abgedeckt. → Unrealistisch und nicht nachhaltig.	n.b.	n.b.	n.b.
En&Heiz-01D	Holz im Fernwärmeverbund	100 % des Holzzuwachses in Davos werden zum Heizen im Fernwärmeverbund verwendet. Der restliche Bedarf wird mit dem heutigen Energieträger-Mix (vor allem Heizöl) abgedeckt.	-9'516.4	-594.6	-9.27 %
En&Heiz-01F	Solarwärme für Warmwasser und Heizung	100 % aller Gebäude, die heute mit Heizöl geheizt werden, stellen ihre Warmwasseraufbereitung so um, dass 66 % des Warmwassers mit Sonnenkollektoren aufgeheizt werden.	-8'868.1	3'097.8	-5.29 %
En&Heiz-01G	Solarstrom statt EWD-Strom	Die Elektroheizungen, die heute mit Strom betrieben werden, beziehen nur noch Solarstrom aus Davos zum Heizen, anstatt den Strommix des EWD zu nutzen. Dazu werden rund 65 % des Potentials zur Installation von Photovoltaikanlagen auf Gebäudedächern (100'000 m ²) und Fassaden (500'000 m ²) ausgenutzt.	-124.7	+121.5	0.003 %
En&Heiz-01H	Solarstrom statt Heizöl	In Davos könnten auf Gebäudedächern und an Südfassaden der Gebäude rund 600'000 m ² Photovoltaikanlagen installiert werden. Dieser Solarstrom könnte zur Heizung von Gebäuden verwendet, die heute mit Heizöl beheizt werden.	-12'735.4	+0.2	-11.67 %
En&Heiz-01I	Erdwärme	Unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse sowie technischer Einschränkungen wurde angenommen, dass in Davos rund 40 % der Ölfeuerungsanlagen (883 Gebäude) durch Erdwärme ersetzt werden können.	-29'748.4	-926.6	-28.11 %
En&Heiz-02A	Neue Heizsysteme einbauen: Abstimmung Kessel/Heizung	Ersetzen des Kessels und Brenners durch eine Kompaktanlage mit integrierter Wassererwärmung kann eine Energieeinsparung von 10 % bewirken. Die Anzahl Heizanlagen, die vor 1993 in Betrieb genommen wurden und bei denen ein entsprechendes Verbesserungspotenzial besteht, beträgt 609.	-4'076.9	-287.2	-4.00 %
En&Heiz-02B	Abgaswärme-Rekuperatoren einsetzen	Die Effizienzsteigerung beträgt rund 6 %. Aus Platzgründen können solche Systeme nicht überall eingebaut werden (feuerpolizeiliche Vorschriften). Deshalb wurde angenommen, dass 10 % der Ölfeuerungsanlagen mit diesem System ausgerüstet werden können.	-447.9	-31.6	-0.44 %

n.b. = nicht berechnet

Bestehende Ölfeuerungsanlagen sanieren

Neben der Umstellung der Heizsysteme auf erneuerbare Energien kann auch die Verbesserung der heute genutzten Ölheizungen wesentlich zu einer Verbesserung der CO₂-Bilanz beitragen. So kann z.B. durch die Installation moderner Kompaktanlagen mit integrierter Wassererwärmung anstelle alter Kessel und Brenner eine Reduktion des Energiebedarfs um rund 10-15% erreicht werden (Angabe

eines Heizungsplaners). Würden alle 609 Heizsysteme in der Landschaft Davos, die vor 1993 eingerichtet wurden, durch moderne Ölheizungen ersetzt, könnte eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um 4.0% erreicht werden (Tabelle 27: En&Heiz-02A).

Eine andere Möglichkeit, die Effizienz von Ölheizungen zu steigern, wäre der Einsatz von Abgaswärme-Rekuperatoren. Die Rekuperatoren setzen die Kondensationsenergie, die bei der Abkühlung der Verbrennungsabgase entsteht, zur Steigerung des Wirkungsgrads des Heizkessels ein, womit eine Effizienzsteigerung von rund 6% erreicht werden kann. Aus feuerpolizeilichen Gründen und/oder aus Platzgründen ist die Nachrüstung mit Abgaswärme-Rekuperatoren nicht bei allen Heizungsanlagen möglich. Wenn man davon ausgeht, dass 10% der Ölheizungen mit Abgaswärme-Rekuperatoren nachgerüstet werden, würde sich die CO₂-Bilanz der Landschaft Davos um 0.44% verbessern (Tabelle 27: En&Heiz-02B).

4.3 Massnahmen im Bereich Verkehr

Neben dem Heizen ist der Verkehr die nächst wichtigste CO₂-Emissionsquelle (siehe Kapitel 3). Bei den Massnahmen im Bereich Verkehr und Mobilität kann unterschieden werden zwischen Massnahmen, die ein verändertes Mobilitätsverhalten erfordern, und solchen, die durch technische Verbesserungen den Energieverbrauch reduzieren, sowie Massnahmen, bei denen fossile durch erneuerbare Treibstoffe ersetzt werden.

4.3.1 Veränderung des Mobilitätsverhaltens und Reduktion der PKW-Nutzung

Eine Veränderung des Mobilitätsverhaltens hin zur Reduktion des motorisierten Individualverkehrs innerhalb der Landschaft Davos müsste in erster Linie durch entsprechende Zusatzangebote im Öffentlichen Verkehr erreicht werden. Solche Zusatzangebote wären grundsätzlich bei der Rhätischen Bahn (RhB) und beim Verkehrsbetrieb Davos (VBD) möglich.

Heute ist die RhB in erster Linie auf die Funktion als Zubringerin ausgelegt. Die Erschliessung innerhalb der Landschaft Davos ist dem lokalen Busnetz übertragen worden. Dieses ist in Spitzenzeiten allerdings starken Behinderungen durch den motorisierten Individualverkehr ausgesetzt, und bindet die Fraktionsgemeinden und Ausgangspunkte für Freizeitaktivitäten zum Teil nicht komfortabel genug an, um eine attraktive Alternative zum eigenen PKW zu sein.

Eine S-Bahn zwischen Wolfgang und Glaris einrichten

Eine in der Landschaft Davos bereits diskutierte Massnahme wäre die Einrichtung einer S-Bahn-Linie, die im 20-Minuten-Takt zwischen Wolfgang und Glaris verkehrt. Damit würde eine schnelle Verbindung entlang der Hauptverkehrsachse über den Bahnhof Platz hinaus entstehen, welche den motorisierten Individualverkehr entlasten könnte. Geht man davon aus, dass die Einführung einer solchen S-Bahn zu einer Reduktion des privaten Binnenverkehrs um 5% und des Busverkehrs um 20% beitragen kann, würden - trotz des erhöhten Stromverbrauchs - die direkten CO₂-Emissionen um 391.8 Tonnen reduziert und damit die Bilanz um rund 0.36% verbessert (Tabelle 28: Pverk-01A).

Ausbau des Busnetzes mit wasserstoffbetriebenen Bussen

Als weitere Option gilt der Ausbau des Busnetzes mit wasserstoffbetriebenen Bussen und eine verbesserte Erschliessung der Fraktionsgemeinden. Nimmt man an, dass der Ausbau des Busnetzes zu einer Steigerung der Passagierfrequenzen um 25% führt und die Anzahl an Busfahrten verdoppelt wird, kann mit einer Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.76% gerechnet werden (Tabelle 28: Pverk-01B). Dies gilt allerdings nur bei einem Einsatz wasserstoffbetriebener Busse und auch nur dann, wenn die energieaufwändige Gewinnung von Wasserstoff nicht durch fossile Energieträger abgedeckt wird. Ein Ausbau des Busnetzes mit herkömmlichen Bussen würde bei einer Erhöhung der Passagierfrequenz um 25% sogar zu einer Verschlechterung der CO₂-Bilanz um 0.87% führen. Geht man von einer

Reduktion des Personenverkehrs um 2% aus, resultiert hingegen eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.07% (Tabelle 28: Pverk-01C).

Erschliessung durch die RhB verbessern

Neben dem Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs innerhalb der Landschaft Davos kann die verbesserte Erschliessung von aussen durch die Rhätische Bahn einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der CO₂-Bilanz leisten. Dabei spiegelt die Verbesserung der CO₂-Bilanz nur einen Bruchteil der tatsächlich eingesparten Reduktionen wider, da nur die Strecke innerhalb der Gemeinde Davos berücksichtigt wird. Ein Ausbau der bisher vorwiegend einspurigen RhB-Strecke Landquart-Davos mit einem Tunnel unter dem Wolfgangpass und verschiedenen Doppelspurabschnitten würde zusammen mit dem Einsatz von neuem Rollmaterial die Reisezeit zwischen Landquart und Davos auf rund 45 Minuten verkürzen, was ungefähr der Reisezeit per Auto entspricht. Wenn dies realisiert würde, könnte mit einer Steigerung der Anzahl Gäste, die mit dem Zug anreisen, von 20% gerechnet werden. Rechnet man dies auf das Verkehrsaufkommen um, entspricht es einer Abnahme des privaten Personenverkehrs von 5% im Fernverkehr, was zu einer Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.59% führen würde (Tabelle 28: Pverk-02A).

Car-sharing-Service ausbauen

Die An- und Abreise per Bahn kann auch durch den Ausbau von kombinierten Angeboten, wie z.B. den Car-Sharing-Service von „Mobility“, noch attraktiver gestaltet werden. Wenn mit einer Zunahme der Mobility-Kunden gerechnet wird und wenn statt wie bisher zwei Mobility Fahrzeuge zum Beispiel 20 PKW in Davos zur Verfügung stünden, so könnte die Anfahrt per Bahn auch für Tagesgäste, welche beispielsweise auf Skitour oder zum Klettern gehen, eine Option werden. Geht man davon aus, dass ein Ausbau des Mobility Services zu einer Reduktion des An- und Abreiseverkehrs per PKW um 1% führt, und es sich bei den angebotenen PKW um Elektroautos handelt, kommt man auf eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um rund 0.12% (Tabelle 28: Pverk-02B).

Verkehrsleitsysteme einsetzen

Als weitere verkehrsplanerische Massnahmen zur Veränderung des Mobilitätsverhalten innerorts könnten die Einführung eines Verkehrsleitsystems oder der Ausbau von Park-and-Ride Angeboten zur Verminderung des Innerortsverkehrs beitragen. Zudem könnte der Verkehr innerorts anders geführt werden. Zwar können die Hauptverkehrsachsen nicht verkehrsfrei gehalten werden, aber es wäre denkbar, dass mit einem verändertem Verkehrsregime der gesamte Verkehr über die Talstrasse abgewickelt und die Promenade vom Durchgangsverkehr befreit würde.

Tabelle 28. Massnahmen zur Verbesserung der regionalen CO₂-Bilanz durch Reduktion des Treibstoffverbrauchs.

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von direkten Emissionen in t CO ₂	Einsparung von vorgelagerten Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %
Pverk-01A	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnenverkehr durch eine S-Bahn-Linie	Die S-Bahn verkehrt zwischen Wolfgang und Glaris im 20-Minuten-Takt. Dadurch reduziert sich der Busverkehr um 20 %, und die Anzahl an PKWs im Binnenverkehr um 5 %. Durch die S-Bahn steigt allerdings der Stromverbrauch.	-365.5	-26.3	-0.36 %
Pverk-01B	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnenverkehr durch den Ausbau des Busnetzes	Das Busnetz wird ausgebaut und die Fraktionsgemeinden besser angebunden. Insgesamt fahren doppelt so viele Busse. Das führt zu einer Reduktion des Binnenverkehrs um 4 %. Ausserdem wird auf Wasserstoffbusse umgestellt. Der verwendete Wasserstoff wird per Elektrolyseverfahren gewonnen, wozu Strom aus erneuerbaren Energien eingesetzt wird.	-716.8	-113.3	-0.76 %

Pverk-01C	Bus gratis	Die „kostenlose Benuützung“ der VBD-Busse führt zu einer Verminderung des PKW-Binnenverkehrs von 2 %	-69.2	-7.2	-0.07 %
Pverk-02A	Reduktion der PKW-Nutzung im Fernverkehr durch eine bessere RhB-Verbindung zwischen Landquart und Davos	Der Ausbau der RhB Strecke zwischen Landquart und Davos und der Einsatz von neuem Rollmaterial führen zu einer Steigerung der Gäste, die mit dem Zug anreisen von 20 %. Dies entspricht 5 % weniger PKW-Verkehr auf der Prättigauerstrasse.	-579.7	-61.2	-0.59 %
Pverk-02B	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnen- und Fernverkehr durch ein verbessertes Car-Sharing-Angebot	Es wird angenommen, dass sich Anzahl von Mobility-Kunden rasant ansteigt und damit die Zahl der in Davos zur Verfügung stehenden PKWs auf 20 erhöht wird. Dies führt zu einer Reduktion der Ziel- und Quellverkehrs per PKW von 1 %.	-114	-12	-0.12 %
Pverk-03	Reduktion des Treibstoffverbrauchs durch technische Optimierung	Wir nehmen an, dass sich 3-Liter-Autos für PKWs durchsetzen.	-7'767.6	-821.0	-7.87 %

4.3.2 Reduktion des Treibstoffverbrauchs durch technische Optimierung

Seit vielen Jahren sind Niedrigenergieautos im Gespräch und werden inzwischen auch vereinzelt auf dem Markt angeboten. Am bekanntesten ist das sogenannte „Drei-Liter-Auto“ geworden, das auf 100 km rund 3 Liter verbraucht. Im Gegensatz dazu brauchen die heute verkauften Neuwagen durchschnittlich 7.8 Liter Benzin bzw. 6.7 Liter Diesel (BfE 2005).

Herkömmliche PKW durch Drei-Liter-Autos ersetzen

Geht man hypothetisch davon aus, dass die rund 5'000 in der Landschaft Davos registrierten PKW durch Drei-Liter-Autos ersetzt würden, käme man auch eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um rund 7.9% (Tabelle 28: Pverk-03). Diese Massnahme ist allerdings so direkt nicht umsetzbar, da sich zum einen die Erneuerung des PKW-Bestands nur allmählich vollzieht, und sich zum anderen die Drei-Liter-Autos auf dem Markt noch nicht durchgesetzt haben, bzw. noch nicht in höheren Stückzahlen erhältlich sind.

4.3.3 Nutzung alternativer Treibstoffe

Auch im Bereich Verkehr und Mobilität können durch die Nutzung alternativer Treibstoffe CO₂-Emissionen reduziert werden. Das Potential alternativer Treibstoffe kann unter den heutigen Voraussetzungen zumindest theoretisch zu einer wirksamen Reduktion der CO₂-Emissionen beitragen. Dieses Potential kann aber aufgrund der geringen Verbreitung der Treibstoffe und entsprechender Infrastrukturen, sowie technischer Limitierungen noch nicht genutzt werden.

Strom als Treibstoff verwenden

Die Nutzung von Elektroautos beispielsweise könnte je nach Zusammensetzung des verwendeten Strommixes zu einer erheblichen Reduktion der CO₂-Emissionen beitragen, obwohl sie den gleichen Verbrauch an Primärenergie haben. Problematisch ist bei der praktischen Umsetzung allerdings, dass die Energiedichte der verfügbaren Batterien nicht ausreicht, um vertretbare Reichweiten zu erzielen. Zudem sind die Aufladezeiten zu lang und die Tankstelleninfrastruktur nicht genügend ausgebaut. Aus

diesen Gründen nehmen wir an, dass nur 25% der Davoser PKW im Binnenverkehr durch Elektroautos ersetzt werden könnten, was zu einer Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.06% führen würde (Tabelle 29: Pverk-04A).

Mit Hybridfahrzeugen den Anteil fossiler Brennstoffe senken

Hybridfahrzeuge zeichnen sich dadurch aus, dass sie sowohl mit einem Verbrennungsmotor als auch mit einem Elektromotor ausgestattet sind. Der Verbrennungsmotor kann dabei mit Benzin, Diesel, Erd-, Bio- oder Flüssiggas betrieben werden. Für Davos kommt nur die Kombination mit Benzin oder Diesel in Frage, weil die Region weder über einen Anschluss an eine Erdgasleitung, noch über eine grössere Biogasanlage verfügt. Solche Hybridfahrzeuge verbrauchen in der mittleren Leistungsklasse 4-5 Liter fossilen Treibstoff pro 100 km, wodurch der Verbrauch an fossilem Treibstoff gegenüber herkömmlichen Autos um rund 40% reduziert wird. Nimmt man an, dass 50% der in Davos registrierten PKW durch Hybridautos ersetzt werden, resultiert eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.05% (Tabelle 29: Pverk-04B).

Solarmobile einsetzen

Ersetzt man ebenso viele PKW durch Solarmobile, würde sich die Bilanz um 0.12% verbessern (Tabelle 29: Pverk-04C).

Biogas als Treibstoff für den privaten Autoverkehr einsetzen

Weil das Potential für die Produktion von Biogas in Davos mit der Anlage Hoffmann (Verarbeitungsmenge ca. 2'500 Tonnen an organischen Abfällen) und mit den BHKW in der ARA-Gadenstatt bereits weitgehend ausgeschöpft wird, bleibt - ohne Einbezug des Hofdüngers - nur noch eine Restmenge aus dem Kehrrecht übrig, mit welcher nur ein kleiner Anteil des Privatverkehrs mit Biogas versorgt werden könnte. Aus diesem Grund ist die Förderung von Biogas betriebenen PKW unter den gegebenen Voraussetzungen keine realistische Option für die Landschaft Davos (Tabelle 29: Pverk-04D).

Biodiesel für den privaten Autoverkehr einsetzen

Dem Biodiesel wird mittelfristig und insbesondere langfristig ein grosses Potential zur Reduktion der CO₂-Emissionen zugeschrieben. Biodiesel wird zum Grossteil auf der Basis von Raps hergestellt und je nach Aufbereitungstechnik weist er eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 20-80% gegenüber herkömmlichem Diesel auf (Umweltbundesamt 2006). Schwierigkeiten gibt es allerdings durch die fehlenden Normen: Fahrzeughersteller und Importeure übernehmen keine Garantien für den Motor und für den Dieselpartikelfilter. Zudem könnte der Biodiesel in Davos nur eingesetzt werden, wenn eine bestimmte Kälteresistenz gewährleistet ist. Geht man davon aus, dass mittelfristig 50% der dieselbetriebenen Fahrzeuge aus Davos mit Biodiesel fahren, würde sich das im Umfang von -0.02% auf die CO₂-Bilanz auswirken (Tabelle 29: Pverk-04E). Dieser Wert ist deshalb so niedrig, weil die Anzahl der in Davos registrierten Diesel-Fahrzeuge nur rund 5% des gesamten Verkehrsaufkommens ausmachen.

Bioethanol für den privaten Autoverkehr einsetzen

Ähnlich wie für Biodiesel besteht auch für Bioethanol langfristig ein grosses Potential. Bioethanol kann dem Benzin beigemischt und ohne Anpassungen am Motor genutzt werden. Mit Bioethanol könnte das auf Mineralölbasis hergestellte Benzin ersetzt werden, doch liegt der Entwicklungsstand des Bioethanol im Moment noch weit hinter dem des Biodiesel zurück. Deswegen konnte keine konkrete Abschätzung des Potentials angestellt werden (Tabelle 29: Pverk-04F).

Tabelle 29. Massnahmen zur Verbesserung der regionalen CO₂-Bilanz durch die Nutzung alternativer Treibstoffe für Verkehr und Mobilität und den Umgang mit Gütertransporten.

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von direkten Emissionen in t CO ₂	Einsparung von vorgelagerten Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %
Pverk-04A	Elektroautos	Es wird angenommen, dass 25 % der in Davos registrierten PKWs nahezu ausschliesslich für Kurzstrecken verwendet werden. Diese PKWs werden durch Elektroautos ersetzt.	-57.9	-5.8	-0.06 %
Pverk-04B	Hybridfahrzeuge	Das Umsetzungspotential für Hybridfahrzeuge ist gross. Es wäre möglich 50 % der immatrikulierten Fahrzeuge durch Hybridfahrzeuge zu ersetzen. Dies entspricht ungefähr 1 % des gesamten Privatverkehrs in Davos.	-46.8	-4.9	-0.05 %
Pverk-04C	Solarmobil	Annahme: Insgesamt 1 % des PV in Davos erfolgt mit Solarmobilen. Besser wäre der gezielte Solarmobileinsatz innerorts nur für Taxi oder sonstige Shuttleangebote	-116.0	-12.3	-0.12 %
Pverk-04D	Biogas	Weil das Potential für die Produktion von Biogas in Davos mit der Anlage Hoffmann und mit den BHKWs in der ARA bereits weitgehend ausgeschöpft ist, bleibt nur ein kleines Restpotential übrig, mit dem nur eine kleine Menge des Privatverkehrs mit Biogas versorgt werden könnte.	n.b.	n.b.	n.b.
Pverk-04E	Biodiesel	Unter der Voraussetzung, dass der Treibstoff kalteresistent ist, kann man mittelfristig davon ausgehen, dass 50 % der Fahrzeuge und Maschinen, die heute mit Diesel fahren, zukünftig mit Biodiesel fahren könnten. Es wird also bei 50 % des gesamten PV mittelfristig durchschnittlich 50 % des fossilen Treibstoffverbrauchs eingespart.	-21.4	-4.5	-0.02 %
Pverk-04F	Bioethanol	100 % der Benzin-betriebenen PKWs mischen in Zukunft 50 % Bioethanol zum Mineralöl-basierten Benzin 95 hinzu bzw. an einer normalen Zapfsäule wird dieses Gemisch angeboten. Das kann die CO ₂ -Emissionen pro PKW um 40 % senken.	n. b.	n.b.	n.b.
Gverk-01	Güterfernverkehr auf die Bahn verlegen	Der Güterverkehr in die Landschaft Davos wird zu 100 % auf die Schiene verlegt.	n. b.	n.b.	n.b.

n.b. = nicht berechnet

4.3.4 Verlegung des Güterverkehrs auf die Schiene

Obwohl eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene auch hinsichtlich der CO₂-Emissionen wünschenswert wäre, hätte sie kaum Auswirkungen auf die CO₂-Bilanz der Landschaft Davos. Eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene würde sich nahezu ausschliesslich auf Emissionen ausserhalb der Landschaft Davos auswirken, die in der Bilanz nicht berücksichtigt sind. Da die Güter in Davos von einem zentralen Güterbahnhof aus weiterhin mit LKWs verteilt werden müssten, würden innerhalb der Gemeindegrenzen letztlich ungefähr gleichviel Fahrzeugkilometer zurückgelegt werden (Tabelle 29: Gverk-01).

4.4 Massnahmen im Bereich Licht und Maschinen

4.4.1 Massnahmen im Haushalt

Leerlaufverluste über Stromleisten minimieren

Durch Leerlaufverluste (Stand-By-Betrieb) von elektrischen Geräten werden im Jahr durchschnittlich rund 440 kWh Strom pro Haushalt (Umweltbundesamt 2003) und 500 kWh Strom pro Arbeitsplatz (Erfahrungswert Gemeinde Davos: Auswertung Energiesparwochen 2004 im Rathaus) verbraucht. Die Verwendung einer Stromleiste mit Schalter für alle angeschlossenen Geräte ist eine kostengünstige und einfach zu verwirklichende Massnahme zur Reduktion dieser Verluste. Überträgt man diese Zahlen auf die Landschaft Davos, zeigt sich ein Verbesserungspotential von 0.13% (Tabelle 30: EverLeer-01).

Energie-ineffiziente Haushaltgeräte ersetzen

Es wird angenommen, dass wenn alte Haushaltsgeräte durch neue, energieeffizientere Geräte ersetzt werden jährlich rund 2% Energie eingespart werden können (NIPKOW und BRUNNER 2005). Überträgt man dieses Potential auf die Gesamtbilanz der Landschaft Davos ist der Beitrag zur Verbesserung mit -0.002% jedoch nur sehr marginal (Tabelle 30: EVerSpar-01).

Öffentliche Schneeräumung ausbauen

Private Schneeräummaschinen sind im winterlichen Ortsbild von Davos allgegenwärtig. Rund ein Viertel der privat geräumten Flächen könnten wesentlich effizienter durch grössere Maschinen und in Koordination mit der öffentlichen Schneeräumung durch Davos Tourismus vom Schnee befreit werden. Dies würde die CO₂-Bilanz jedoch nur unwesentlich bzw. nur um 0.02% verbessern (Tabelle 30: EVerSchnee-01).

4.4.2 Verwendung von Induktion in Grossküchen

Heute werden in der Landschaft Davos rund 57 Tonnen Flüssiggas zum Kochen verwendet. Auf Gasanstatt konventionellen Stromherden zu kochen, braucht in der Regel 10% weniger Energie (NIPKOW *et al.* 2006). Der Einsatz von Induktion in Grossküchen birgt weiter die Möglichkeit, rund 25-30% Strom gegenüber konventionellen Stromkochfeldern, oder 15-20% gegenüber Gaskochfeldern einzusparen. Wenn alle Gaststätten, welche heute Flüssiggas verwenden und direkt am Stromnetz angeschlossen sind, auf Kochen mit Induktion umstellen, schlägt sich die Massnahme in einer Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.14% nieder (Tabelle 30: EVerInduk-01). Eine grössere Hürde bei der Umstellung ist dabei allerdings die Notwendigkeit, spezielles Kochgeschirr anzuschaffen. Ausserdem ist heute noch nicht klar, ob die durch die Induktion bedingten Streufelder eventuell die ICNIRP-Grenzwertempfehlungen⁶ übersteigen könnten. Dies wird zurzeit in einer Studie des Bundesamts für Gesundheit abgeklärt.

4.4.3 Verwendung alternativer Treibstoffe und effizienterer Maschinen in der Landwirtschaft, zur Pistenpräparation und im Baugewerbe

Biogas für landwirtschaftliche Maschinen einsetzen

Der Einsatz von Biogas bei Maschinen in der Landwirtschaft ist nahe liegend und wird in der Landschaft Davos vorwiegend durch die zur Verfügung stehenden organischen Abfälle limitiert. Um neben den existierenden Biogasanlagen (Gastro-Kompaktanlage Hoffmann und BHKW ARA-Gadenstatt) eine weitere Biogasanlage zu betreiben, müssten die organischen Abfälle der Haushalte, die heute grösstenteils im Kehrriem landen, getrennt eingesammelt und genutzt werden. Es wird geschätzt, dass mit einer Grünabfuhr jährlich 1'000-1'200 Tonnen organische Reststoffe eingesammelt werden könnten. Diese Menge würde zusammen mit der Vergärung der Substrate aus der Landwirtschaft ausreichen, um alle landwirtschaftlichen Maschinen mit Biogas zu versorgen. Damit könnte eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.44% erreicht werden (Tabelle 30: EVerLW-01B).

Die Verwendung von Erdgas, statt Diesel oder Benzin, wäre auch für den Betrieb von landwirtschaftlichen Maschinen eine technisch recht einfache Option, die zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen führen würde (Tabelle 30: EVerLW-01A). Man kann grundsätzlich mit einer Abnahme von rund 25% der CO₂-Emissionen rechnen. Doch mangels einer Anbindung der Landschaft Davos an eine Erdgasleitung wird diese Massnahme hier nicht weiter verfolgt. Dasselbe gilt für alle Gelegenheiten, bei denen Erdgas alternativ zu Diesel, Benzin, Heizöl oder Strom eingesetzt werden könnte, wie zum Beispiel für Baumaschinen, zum Heizen oder zum Kochen.

⁶ ICNRP = International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

Tabelle 30. Massnahmen zur Verbesserung der CO₂-Bilanz im Bereich Licht und Maschinen.

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von direkten Emissionen in t CO ₂	Einsparung von vorgelagerten Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %
EverLeer-01	Reduktion von Leerlaufverlusten bei elektrischen Geräten	Das Einsparpotential pro Haushalt liegt bei rund 440 kWh/a. Während den Energiewochen im Rathaus konnte aufgezeigt werden, dass im mit Verhaltensmassnahmen und ohne Komforteinbussen rund 500 kWh/a und Arbeitsplatz eingespart werden könnten.	-58.2	-85.8	-0.13 %
EverSpar-01	Verwendung von Energiespargeräten im Haushalt	Das allmähliche Ersetzen alter Geräte führt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von 2.0 %/a und Haushalt. Der Stromanteil der neu verkauften Haushaltgeräte und Lampen am Gesamtverbrauch der Haushalte wird auf 12 % geschätzt. Mit dem jährlich zu erwartenden Austausch werden bei den Haushaltungen 100'000 kWh eingespart.	-1.0	-1.5	0.002 %
EverPhot-01	Solarstrom im Haushalt	50 % der Dachflächen und alle Südfassaden werden mit Solarzellen ausgerüstet und ersetzen den EWD-Strom für elektrische Geräte im Haushalt.	-188.6	184.0	-0.004 %
EverSchn-01	Private Schneeräumung wird von der öffentlichen Schneeräumung übernommen.	Der private Flächenanteil, der auch mit grösseren Maschinen geräumt werden könnte, wird auf 9.3 ha geschätzt (1/4 der Fläche die heute von Privaten geräumt wird). Würden diese Flächen durch die Gemeinde mit effizienteren Maschinen geräumt, könnte man rund 100'000 kWh bzw. 10'000 Liter Treibstoff einsparen.	-24.0	-2.9	-0.02 %
EverInduk-01	Nutzung von Induktion statt Gas in Grossküchen der Gastronomie	Wenn die Grossküchen, die heute mit Flüssiggas kochen und innerhalb des Siedlungsgebietes liegen, zu 100 % auf Induktion umstellen würden, könnte man eine Reduktion des Energieverbrauchs von 15-20 % erzielen.	-37.8	-1.3	-0.14 %
EverLW-01A	Verwendung von Erdgas bei Maschinen in der Landwirtschaft	Diese Variante kann für Davos ausgeschlossen werden, weil der Ort nicht über einen Anschluss an eine Erdgasleitung verfügt bzw. die entsprechende Infrastruktur noch erstellt werden müsste.	n.b.	n.b.	n.b.
EverLW-01B	Verwendung von Biogas bei Maschinen in der Landwirtschaft	Um neben der BHKW in der Ara-Gadenstatt und der Biogasanlage Hoffmann eine weitere Biogasanlage zu betreiben, müssten die organischen Reststoffe aus den Haushaltsabfällen mittels einer Grünabfuhr getrennt eingesammelt werden. Damit könnte man rund 1'000-1'200 t organische Abfälle gewinnen. Würde man diese Menge an org. Reststoffen mit rund 2'000 t an Substraten aus der Landwirtschaft vergären, würde dies ausreichen, um den gesamten landwirtschaftlichen Maschinenpark mit Biogas zu betreiben.	-476.9	-7.8	-0.44 %
EverLW-01C	Verwendung von Biodiesel bei Maschinen in der Landwirtschaft	Entsprechend den Annahmen bei der Nutzung erneuerbarer Energieträger im Verkehr, wird auch hier angenommen, dass 50 % des Energiebedarfs durch Biodiesel gedeckt wird.	-238.5	-12.3	-0.23 %
EverPist-01	Biodiesel zur Pistenpräparation	Entsprechend den Annahmen bei der Nutzung erneuerbarer Energieträger im Verkehr, wird auch hier angenommen, dass 50 % des Energiebedarfs durch Biodiesel gedeckt wird.	-143.7	-4.6	-0.14 %
EverBau-01	Baumaschinen werden durch effizientere Geräte ersetzt.	Der Einsatz moderner Baumaschinen kann zu einer Reduktion des Energieverbrauchs von 25 %-50 % beitragen. Entsprechend der Lebensdauer der Geräte, die heute in Gebrauch sind, werden pro Jahr rund 3-4 Baumaschinen ersetzt.	-3.1	-0.2	0.003 %
EverBau-02A	Nutzung von Erdgas beim Betrieb von Baumaschinen	Diese Variante kann für Davos ausgeschlossen werden, weil der Ort nicht über einen Anschluss an eine Erdgasleitung verfügt bzw. die entsprechende Infrastruktur noch erstellt werden müsste.	n.b.	n.b.	n.b.
EverBau-02B	Nutzung von Biogas beim Betrieb von Baumaschinen	Der Einsatz von Biogas würde sich bei den Landwirtschaftsmaschinen besser eignen als bei den Baumaschinen, deshalb soll diese Variante nicht weiter verfolgt werden.	n.b.	n.b.	n.b.
EverBau-02C	Nutzung von Biodiesel beim Betrieb von Baumaschinen	Unter der Voraussetzung, dass der Treibstoff kalteresistent ist, kann man mittelfristig davon ausgehen, dass 50 % der Pistenmaschinen die heute mit Diesel fahren, zukünftig mit Biodiesel fahren könnten.	-58.8	-3.9	-0.06 %

n.b. = nicht berechnet

Biodiesel als Treibstoff für Pisten- und Baumaschinen einsetzen

Gemäss der Studie trägt die Pistenpräparation mit einem Ausstoss von knapp 150 Tonnen CO₂ im Jahr immerhin mit 0.56% zur CO₂-Bilanz bei. Die entsprechenden Zahlen beruhen auf Annahmen, weil die

Bergbahnen bis zum Abschluss der Studie keine effektiven Zahlen liefern konnten. Weil der Qualitätsanspruch an die Pisten hoch ist und nicht reduziert werden soll, bleibt zur Reduktion der Emissionen nur die Substitution des Diesels durch Biodiesel. Werden 50% der Pistenfahrzeuge mittelfristig auf Biodiesel umgestellt, kann man damit eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um 0.14% erreichen (Tabelle 30: EVerPist-01).

Werden die heutigen Baumaschinen durch neuere und effizientere Geräte ersetzt, kann bei einer Erneuerungsrate von jährlich 4-5% der Maschinen kein nennenswertes Potential zur Verbesserung der regionalen CO₂-Bilanz festgestellt werden (Tabelle 30: EVerBau-01). Dies würde auch so bleiben, wenn man die Erneuerungsrate auf 20% setzen würde.

Biogas und Biodiesel als Treibstoffe für Baumaschinen einsetzen

Der Einsatz von Biogas bei Baumaschinen ist theoretisch genauso möglich wie beim Verkehr und bei den landwirtschaftlichen Maschinen. Wie oben beschrieben ist jedoch das Potential für Biogas durch die zur Verfügung stehenden organischen Abfälle limitiert und kann gerade den Energiebedarf der landwirtschaftlichen Maschinen decken. In unseren Berechnungen gehen wir also davon aus, dass weder für die Betreibung von PKW (Tabelle 30: Pverk-04D), noch für Baumaschinen (Tabelle 30: EVerBau-02B) ausreichend Biogas zur Verfügung gestellt werden kann.

Der Einsatz von Biodiesel zur Betreibung von Baumaschinen wird mittelfristig als eine realistische Massnahme eingeschätzt. Genauso wie bei den PKW gehen wir davon aus, dass 50% der Baumaschinen in Zukunft mit Biodiesel betrieben werden können. Dadurch würde die CO₂-Bilanz um 0.06 % verbessert (Tabelle 30: EVerBau-02C).

4.5 Massnahmen im Bereich des sonstigen Energieverbrauchs

4.5.1 Blockheizkraftwerke ersetzen

In Davos gibt es drei Blockheizkraftwerke (BHKW), die entweder mit Diesel oder Flüssiggas betrieben werden. In allen drei Kraftwerken wird die Wärme direkt durch die Betreiber verwendet, und der erzeugte Strom wird ins EWD-Netz eingespiessen (siehe Kapitel 2).

BHKW haben einen deutlich höheren Wirkungsgrad gegenüber einer herkömmlichen Heizung und auch gegenüber einer zentralen Stromversorgung. Dies beruht vor allem darauf, dass die Abwärme der Stromerzeugung direkt vor Ort genutzt werden kann. Wenn BHKW mit einem Primärenergieträger, z.B. Erdgas, betrieben werden, erzielen sie Gesamtwirkungsgrade von 88% bis 95%. Der elektrische Wirkungsgrad liegt zwischen 33% bis 41%. Gemäss einer Studie des BfE liesse sich durch die Kombination von Wärmekraftkopplungs-Anlagen und Wärmepumpen gegenüber den üblichen Öl- und Gasheizkesseln 30% bis 50% an Brennstoffen zur Raumheizung einsparen und damit auch die CO₂-Emission entsprechend reduzieren.

Weil die BHKW dennoch bedeutsame Mengen an CO₂ innerhalb der Landschaft Davos emittieren, werden hier die Möglichkeiten geprüft, sie durch andere, nach Möglichkeit CO₂-neutrale Energiequellen, zu ersetzen.

BHKW durch Strom ersetzen

Nehmen wir an, dass Strom und Wärme, welche die BHKW liefern, komplett durch Strom ersetzt würden, ergibt sich eine Verbesserung der CO₂-Bilanz zwischen 1.56% (Tabelle 31: EVerBHKW-01B) und 1.62% (Tabelle 31: EVerBHKW-01D). Während der erste Wert eine Zusammensetzung des Stroms nach Schweizer Mix annimmt, geht der zweite Wert von Wasserkraft aus. Dass die beiden Werte so ähnlich sind, liegt vorwiegend daran, dass auch im Schweizer Strommix nur relativ geringe Energiemengen durch fossile Energieträger abgedeckt werden.

Ein Grossteil des Schweizer Strommix wird durch Kern- und Wasserkraft abgedeckt. Diese beiden Energiequellen ergänzen sich dabei oftmals, indem überschüssiger Nachtstrom aus den Kernkraftwerken dazu verwendet wird, Wasser zurück in die Stauseen zu pumpen, um die Spitzen des Energiebedarfs tagsüber abzudecken. Weil der Schweizer Strommix im Hinblick auf CO₂ Emissionen momentan gut abschneidet, würde die Alternative mit mehr Strom aus z.B. Laufwasserkraftwerken und weniger aus Kernkraftwerken nur zu einer unbedeutenden Verbesserung der CO₂-Bilanz führen.

Sonnenenergie für die Wasseraufbereitung der BHKW nutzen

Weitere Alternativen um den Strom bzw. die Wärme aus den mit Diesel oder Erdgas betriebenen BHKW zu ersetzen, stellen die Umstellung auf Biogas und die solare Energienutzung dar. Würde allein das Warmwasser, das in den drei BHKW heute aufbereitet wird, durch Sonnenkollektoren abgedeckt werden, käme man auf eine Verbesserung der CO₂-Bilanz von 0.07% (Tabelle 31: EVerBHKW-01E). Würde zusätzlich auch die Wärmeversorgung durch Sonnenkollektoren abgedeckt, kommt man bereits auf 0.44% (Tabelle 31: EVerBHKW-01F) und selbst der Stromgewinn könnte durch Photovoltaikanlagen abgedeckt werden, so dass zusätzlich eine Verbesserung um 1.59% erreicht würde (Tabelle 31: EVerBHKW-01G).

Tabelle 31. Massnahmen zur Reduktion des sonstigen Energieverbrauchs

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von direkten Emissionen in t CO ₂	Einsparung von vorgelagerten Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %
EVerBHKW-01B	Import von CH-Mix statt Strom- und Wärme-Erzeugung in Diesel- und Gas-BHKW in Davos	100 % dieser heutigen Stromerzeugung wird durch importierten Strom gedeckt. Dabei handelt es sich um CH-Mix, der über die EWD verteilt wird.	-1'630.3	-76.7	-1.56 %
EVerBHKW-01C	Strom und Wärme aus Biogas statt Strom- und Wärme-Erzeugung in Diesel- und Gas-BHKW in Davos	100 % dieser heutigen Strom- und Wärmeerzeugung in BHKWs werden durch Strom und Wärme aus Biogas gedeckt.	-553.9	-47.7	-0.55 %
EVerBHKW-01D	Strom aus Laufkraftwerken statt Strom- und Wärme-Erzeugung in Diesel- und Gas-BHKW in Davos	100 % dieser heutigen Strom- und Wärmeerzeugung in BHKWs werden durch Laufkraftwerke gedeckt.	-1'630.3	-140.2	-1.62 %
EVerBHKW-01E	Warmwasser-aufbereitung durch Sonnenkollektoren statt Wärme aus Diesel- und Gas-BHKW	Um die Energie für Warmwasser und Heizen auf dem BHKW zu ersetzen, braucht es 451'253 kWh Solarwärme. Das entspricht rund 1'128 m ² Sonnenkollektoren und könnte in Davos verwirklicht werden.	-116.2	38.6	-0.07 %
EVerBHKW-01F	Warmwasser+Wärme mit Sonnenkollektor anstatt Wärme aus Diesel- und Gas-betriebenen BHKW	Um die Energie für Warmwasser und Heizen auf dem BHKW zu ersetzen, braucht es 2'506'959 kWh Solarwärme. Das entspricht rund 6267 m ² Sonnenkollektoren und könnte in Davos verwirklicht werden.	-645.6	214.5	-0.40 %
EVerBHKW-01G	Strom mit Photovoltaikanlagen statt Strom aus Diesel- und Gas-betriebenen BHKW	Die Diesel- und Gas-BHKW Anlagen produzieren 5.5 Mio kWh Strom und Wärme. Mit Solarstrom könnten auf 600'000m ² Photovoltaikanlage rund 48 Mio kWh produziert in Davos werden. Somit besteht das Potential die BHKW durch Solaranlagen komplett zu ersetzen.	-1'630.3	-109.0	-1.59 %

4.5.2 Reduktion der Siedlungsabfälle

Seit der Einführung von verursachergerechten Entsorgungsgebühren im Jahre 1991 ist in der Landschaft Davos die Kehrrichtmenge mehr oder weniger konstant geblieben. Mit einer dauerhaften

Reduktion des Ressourcenverbrauchs, insbesondere beim Verpackungsmaterial, könnte das Abfallaufkommen weiter reduziert werden. Geht man davon aus, dass die Siedlungsabfälle in der Landschaft Davos um 30% reduziert werden, lässt sich ein Potential von 0.72% zur Verbesserung der CO₂-Bilanz abschätzen.

Die Abfallverminderung und -vermeidung muss als stetiger Prozess betrachtet werden. Dafür muss die Bevölkerung im Sinne der Agenda 21 für eine intelligente, nachhaltige Ressourcennutzung sensibilisiert werden. Dies kann mit Informationskampagnen, mit Abfallunterricht in den Schulen und mit konkreten Aktionen wie z.B. der Bring- und Holtag geschehen. Mit der Einführung einer Grünabfuhr (rund 1'000-1'200 Tonnen organische Reststoffe) und dem Ausbau der Wertstoffsammlungen könnte die Gemeinde die Verwertung von Abfällen weiter optimieren und damit die Abfallmenge weiter vermindern.

Tabelle 32. Massnahme zur Verbesserung der CO₂-Bilanz durch die Reduktion von Siedlungsabfällen.

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von direkten Emissionen in t CO ₂	Einsparung von vorgelagerten Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %
Abf-01	Menge der Siedlungsabfälle vermindern	Mit der Verwertung der Grünabfälle aus den Haushaltungen, die heute zum grössten Teil noch im Kehricht landen, und mit einem Ausbau der Wertstoffsammlungen könnte man die Siedlungsabfallmenge um rund 30 % reduzieren	-789.9	-0.09	-0.72 %

4.6 Massnahmen im Bereich Wald- und Holznutzung

Neben Einsparmöglichkeiten auf Seiten der Emissionen werden in der vorliegenden Studie auch Massnahmen zur Förderung der Kohlenstoff-Senken geprüft. Dabei wird zum einen die potenzielle Senkenwirkung ermittelt, die in Davos vor allem durch eine Ausdehnung der Waldfläche erreicht werden könnte. Zum anderen wird die Substitution CO₂-relevanter Materialien durch Holz betrachtet. Die Substitutionswirkung von Holz wird als weitaus effizienter und nachhaltiger bewertet als Senken durch Aufforstung zu fördern (FISCHLIN *et al.* 2006).

4.6.1 Ausdehnung der Waldfläche zur Einrichtung von Senkenwäldern

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung und die Nutzung von Holz als Baustoff und Brennmaterial hat in den vergangenen Jahrhunderten zu einer starken Reduktion der ursprünglichen Waldflächen auch in der Landschaft Davos geführt. Heute hat der Rohstoff Holz seine vorindustrielle Bedeutung verloren und die landwirtschaftliche Bewirtschaftung insbesondere in Hoch- und Steillagen ist stark rückläufig. Berggemeinden wie die Landschaft Davos verfügen heute theoretisch über ein grosses Flächenpotential zur Einrichtung von Senkenwäldern, allerdings begrenzt durch die obere Waldgrenze.

Geht man von einer Umwidmung von 50% der heute extensiv bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen unterhalb 2000 m.ü.M. aus, und lässt den Wald dort einwachsen, bzw. pflanzt ihn an, wird nach rund 100 Jahren eine zusätzliche Kohlenstoffbindung von rund 252'072 Tonnen CO₂-Äquivalenten erreicht (Tabelle 33: Holz-01). Umgerechnet auf die Zeitspanne von einem Jahr entspricht dies einem Senkenpotential von rund 2'521 Tonnen CO₂ pro Jahr. Dies entspricht einer Verbesserung der CO₂-Bilanz um rund 2.3%. Die Kosten wären gerade bei einem allmählichen Zuwachsen der Flächen gering, und würden allenfalls dann anfallen, wenn gezielt aufgeforstet wird oder zu einem späteren Zeitpunkt Waldpflege notwendig würde.

Man kann annehmen, dass sich nach rund 100 Jahren ein Wald durchschnittlicher Holzdichte etabliert, und sich ein dynamisches Gleichgewicht einstellt, in dem sich Kohlenstoffbindung und

Kohlenstofffreisetzung weitgehend die Waage halten. Das bedeutet, dass die Senkenwirkung dann weitgehend aufgehoben ist.

Im Rahmen des Kyoto-Protokolls werden auch natürlicherweise einwachsende Wälder als Senken in der Bilanz anerkannt, wenn sie in einem forstlichen Managementplan als solche ausgewiesen sind (FISCHLIN *et al.* 2006).

Tabelle 33. Relevante Massnahmen im Bereich des regionalen Holzhaushaltes für Davos.

Name	Massnahme	Beschreibung	Einsparung von Emissionen in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %
Holz-01	Ausdehnung der Waldfläche als „Senkenwald“ zur Vergrösserung des Holzlagers	Aufforstung von 50% der extensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen unter 2000 m NN als "Senkenwald". Bis sich ein Wald mit durchschnittlicher C-Dichte in Davos einstellt, muss man mit einer Zeitspanne von 100 Jahren rechnen.	-2'520.7	-2.3 %
Holz-02A	Mit einheimischem Holz bauen: _1. Einsparpotential durch die Substitution von anderen Baumaterialien durch das CO ₂ -neutrale Holz. _2. Vergrösserung des Holzlagers im Gebäudepark	100% der Neubauten und Ersatzneubauten mit Wohnfunktion werden aus einheimischem Holz gebaut. Gemäss Baustatistik sind zwischen 1985 und 2002 in Davos im Durchschnitt pro Jahr 4 Einfamilienhäuser und 11 Mehrfamilienhäuser gebaut worden. Bei konstanter Bautätigkeit würden 15 Neubauten pro Jahr erstellt.	-2'659.4	-2.4 %
			-1'773.0	-1.6 %
Holz-02B	Mit einheimischem Holz bauen: _1. Einsparpotential durch die Substitution von anderen Baumaterialien durch das CO ₂ -neutrale Holz. _2. Vergrösserung des Holzlagers im Gebäudepark	50% des Holzes pro Baum sind als Konstruktionsholz zu verarbeiten. Bei einem jährlichen Holzzuwachs von 18'200 m ³ beträgt der jährliche Zuwachs an zu Verfügung stehendem, einheimischen Konstruktionsholz rund 9'100 m ³ . Der jährliche Zuwachs an Konstruktionsholz wird zu 100% ausgeschöpft.	-8'635.0	-7.9 %
			-6'332.3	-5.8 %
Holz-02C	Einheim. Holzprodukte nutzen: _1. Einsparpotential durch die Substitution von anderen Werkstoffen durch das CO ₂ -neutrale Holz. _2. Einheim. Holzprodukte nutzen: Vergrösserung des Holzlagers in Produkten	Holzprodukte (20% der Holznutzung) werden durch einheimisches Holz gedeckt.	-3'454.0	-3.2 %
			-2'302.7	-2.1 %

4.6.2 Verwendung von einheimischem Holz im Bau und in Produkten

Die Verwendung von einheimischem Holz als Konstruktionsmaterial und Werkstoff wirkt sich zweifach auf die CO₂-Bilanz aus. Die Nutzung von Holz verzögert zum einen seinen Zerfall und damit die Rückführung des Kohlenstoffs in die Atmosphäre. Zum andern bringt es die Möglichkeit mit sich, andere Konstruktions- und Werkstoffe durch Holz zu ersetzen und damit CO₂-Emissionen durch Herstellung, Verarbeitung und Transport dieser Materialien einzusparen. Das BAFU gibt in diesem Zusammenhang an, dass pro Kubikmeter Holz, der verbaut wird, Emissionen von rund 1.1 Tonnen

CO₂ eingespart werden (FISCHLIN *et al.* 2006). Die Holznutzung als Bau- und Werkstoff entspricht, ähnlich den Senkenwäldern, einer Vergrösserung des Lagers an gebundenem Kohlenstoff. Durch den allmählichen Zerfall des Holzes und die endliche Haltbarkeit der Bauten ist die Lagerwirkung zeitlich jedoch limitiert.

Für Neubauten Davoser Holz einsetzen

Geht man davon aus, dass in Zukunft alle Neubauten mit Wohnfunktion in der Landschaft Davos aus einheimischem Holz konstruiert werden, kommt man auf einen jährlichen Ausbau des Holzlagers von 1'773 Tonnen CO₂-Äquivalent, sowie Einsparungen von 2'659 Tonnen CO₂ pro Jahr durch die Substitution emissionsstarker Baumaterialien. In der Summe bedeutet dies eine Verbesserung der CO₂-Bilanz um 4.0% (Tabelle 33: Holz-02A).

Vergleicht man die Baukosten von Holzkonstruktionen mit denen des Massivbaus wird deutlich, dass sich diese nur unwesentlich voneinander unterscheiden. Während pro Kubikmeter Gebäudevolumen im Massivbau mit 650 bis 710 Franken Baukosten gerechnet werden muss, liegen die Kosten bei Holzkonstruktionen bei rund 680 Franken (Vortrag T. Rauch 2005, nicht publiziert).

Es zeigt sich zudem, dass der jährliche Bedarf an Konstruktionsholz ohne weiteres durch den Zuwachs im einheimischen Wald gedeckt werden könnte. Der jährliche Zuwachs liefert sogar rund die vierfache Menge des theoretisch benötigten Konstruktionsholzes (Tabelle 33: Holz-02B).

Davoser Holz anstelle anderer Materialien verwenden

Ähnlich dem Holz im Bau wirkt sich die Nutzung von Holz als Werkstoff positiv auf die CO₂-Bilanz aus. Dabei kann Holz andere Materialien wie Kunststoffe oder Metalle ersetzen, deren Herstellung, Verarbeitung und Transport grosse Mengen CO₂ freisetzen. Wie stark sich die Umsetzung dieser Massnahme auf regionaler Ebene wirklich auswirkt, bleibt unklar. Dies in erster Linie weil sich nur mit grossen Unsicherheiten bestimmen lässt, wie gross der Absatz von Holzprodukten heute ist. Geht man davon aus, dass neben dem Konstruktionsholz weitere 20% des Holzzuwachses für Holzprodukte wie beispielsweise Möbel genutzt werden kann, resultiert ein theoretisches Einsparpotential von 2'303 Tonnen CO₂ pro Jahr durch die Vergrösserung des Holzlagers in Produkten und 3'454 Tonnen CO₂ pro Jahr durch Einsparen anderer Werkstoffe (Tabelle 33: Holz-02C).

4.7 Kosten-Nutzen-Abschätzung für die Massnahmen

Bisher wurden die Massnahmen vor allem hinsichtlich ihrer Wirkung auf die regionale CO₂-Bilanz hin überprüft und diskutiert. Doch die Auswahl von Massnahmen zur Verbesserung der CO₂-Bilanz hängt nicht nur von deren Effizienz oder allfälligen Nebenwirkungen, sondern zu einem grossen Teil von den entstehenden Zusatzkosten ab. Deswegen sollen in diesem Abschnitt die Kosten für die einzelnen Massnahmen abgeschätzt und der Wirksamkeit der Massnahmen gegenübergestellt werden.

4.7.1 Methode

In einem ersten Schritt wurden für 63 einzelne Massnahmen Investitionskosten und Jahreskosten abgeschätzt. Dort wo dazu keine konkreten Zahlenangaben vorlagen, mussten die Investitionskosten mit Hilfe von Vergleichsobjekten ausserhalb von Davos abgeschätzt werden. Weil dadurch eine Übertragung auf Davoser Verhältnisse nicht immer korrekt ist, sind die Berechnungen mit Unsicherheiten verbunden.

Für die Berechnung der Jahreskosten hätte man für jede Massnahme zusätzlich zu den Annuitätskosten, die mit Hilfe der Investitionskosten, der Nutzungsdauer der Investition, des Zinssatzes und der Wartungs- und Unterhaltskosten ermittelt werden, auch noch die zu erzielenden Kosteneinsparungen oder die Zusatzkosten pro Massnahme und Jahr berechnen sollen. Obwohl die Jahreskosten eine bessere Vergleichsgrundlage darstellen, wurden sie nicht mehr weiter berücksichtigt.

Der Aufwand bei jeder Massnahme sowohl die Kosteneinsparungen als auch eventuelle Zusatzkosten zu ermitteln, wäre zu gross gewesen. Nach einer ersten Abschätzung der Jahreskosten für einzelne Massnahmen wurde ausserdem festgestellt, dass die Investitionskosten sich weitgehend proportional zu den Jahreskosten verhalten, so dass die Investitionskosten ausreichen, um die ökonomische Belastung einer Massnahme im Rahmen dieser Arbeit zu beurteilen.

Zur Vereinfachung wurden die Investitionskosten in vier Klassen gruppiert. Mit der Gruppierung war es möglich die Vergleichbarkeit der Massnahmen zu verbessern und die erwähnten Unsicherheiten bei der Berechnung der Kosten zu eliminieren:

- Klasse 1: Bis 1 Mio. Franken: Geringe Investitionskosten
- Klasse 2: 1 bis 20 Mio. Franken: Mittlere Investitionskosten
- Klasse 3: 20 bis 100 Mio. Franken: Hohe Investitionskosten
- Klasse 4: Mehr als 100 Mio. Franken: Sehr hohe Investitionskosten

4.7.2 CO₂-Einsparungen und Investitionskosten im Vergleich

Von den 63 Massnahmen, für welche die Investitionskosten abgeschätzt wurden, konnten 59 in den vorgehend beschriebenen Kostenklassen zusammengefasst und mit den entsprechenden CO₂-Einsparung verglichen werden.

Massnahmen mit geringen Investitionskosten (bis 1 Mio. Franken)

Mit relativ kostengünstigen Massnahmen können Einsparungen bis zu 10'000 Tonnen CO₂ erzielt werden (Tabelle 34). Die **verstärkte Nutzung von einheimischem Holz** (Holz-02A_1, Holz-02A_2, Holz-03A_1, Holz-03A_2) und die **Anlage von Senkenwäldern** (Holz-01) sind dabei sehr wirksame und relativ kostengünstige Massnahmen. Der Einbau von **Spardüsen beim Warmwasserbezug** (HVerh-03) gehört, mit einer Einsparung von rund 4'000 Tonnen CO₂, ebenfalls zu den wirksamsten und kostengünstigsten Massnahmen. **Biodiesel als alternativen Treibstoff** im Personenverkehr zu nutzen (Pverk-04E), und die **Raumtemperatur zu reduzieren** (HVerh-01A) sind weitere verfolgenswerte Massnahmen.

Tabelle 34. Kosten/Nutzen von Massnahmen mit geringen Investitionskosten: bis 1 Mio. Franken.

Name	Massnahme	Einsparungen von CO ₂ -Emissionen in t CO ₂
Holz-02A_1	100% der Neubauten und Ersatzneubauten mit Wohnfunktion mit einheimischem Holz bauen: Einsparpotential durch die Substitution von anderen Baumaterialien durch das CO ₂ -neutrale Holz.	-8'635
Holz-02A_2	100% der Neubauten und Ersatzneubauten mit Wohnfunktion mit einheimischem Holz bauen: Vergrösserung des Holzlagers im Gebäudepark.	-6'332
HVerh-03	Reduktion des Warmwasserverbrauchs beim Waschen und Duschen mit Hilfe von Spardüsen: Haushalte, Hotels, Sportanlagen, Verwaltungsbauten, Forschungsinstitute, Schulen, Industrieanlagen sowie Krankenhäuser.	-3'995
HVerh-03_1	Reduktion des Warmwasserverbrauchs beim Waschen und Duschen mit Hilfe von Spardüsen: Haushalte	-2'819
HVerh-01A	Tageszeitliche Regulierung der Raumtemperatur: „Nachtabenkung“: Haushalte, Gastgewerbe, Sportanlagen, Verwaltungsbauten, Schulen und Industrieanlagen.	-2'716
Holz-02B_1	50% des einheimischen Nutzholzes sind als Konstruktionsholz zu verarbeiten: Einsparpotential durch die Substitution von anderen Baumaterialien durch das CO ₂ -neutrale Holz.	-2'659
Holz-01	Ausdehnung der Waldfläche als „Senkenwald“ zur Vergrösserung des Holzlagers	-2'521
Holz-02C_2	Einheim. Holzprodukte nutzen: Vergrösserung des Holzlagers in Produkten	-2'303
Holz-02B_2	50% des einheimischen Nutzholzes sind als Konstruktionsholz zu verarbeiten: Vergrösserung des Holzlagers im Gebäudepark	-1'773
HVerh-01A_1	Tageszeitliche Regulierung der Raumtemperatur: „Nachtabenkung“: Haushalte: 8/24 h	-1'732
Abf-01	Menge der Siedlungsabfälle vermindern	-790

HVerh-03_3	Reduktion des Warmwasserverbrauchs beim Waschen und Duschen mit Hilfe von Spardüsen: Sportanlagen, Verwaltungsbauten, Forschungsinstitute, Schulen, Industrieanlagen sowie Krankenhäuser	-763
HVerh-01A_3	Tageszeitliche Regulierung der Raumtemperatur: „Nachtabenkung“: Verwaltung/Schulen/Industrie/ Sportanlagen: 12/24 h	-626
HVerh-03_2	Reduktion des Warmwasserverbrauchs beim Waschen und Duschen mit Hilfe von Spardüsen: Hotels	-412
HVerh-01A_2	Tageszeitliche Regulierung der Raumtemperatur: „Nachtabenkung“: Gastgewerbe: 5/24 h	-358
EverLW-01C	Verwendung von Biodiesel für Maschinen in der Landwirtschaft	-251
EverLeer-01	Reduktion von Leerlaufverlusten bei elektrischen Geräten	-144
Pverk-01C	Bus zum Nulltarif (Finanzierung über Steuereinnahmen und Gästetaxen)	-76
Pverk-04A	Elektromobile: Es werden 25% der in Davos registrierten PKWs durch Elektroautos ersetzt.	-64
EverInduk-01	Nutzung von Induktion statt Gas in Grossküchen der Gastronomie	-39
EverSchnee-01	Private Schneeräumung wird zu einem bestimmten Teil von der öffentlichen Schneeräumung übernommen.	-27
Pverk-04E	Verwendung von Biodiesel für private Diesel-Fahrzeuge	-26
EverBau-01	Baumaschinen werden durch neuere und energieeffizientere Modelle ersetzt.	-3
EverSpar-01	Verwendung von Energiespargeräten im Haushalt	-3
Pverk-02B	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnen- und Fernverkehr durch ein verbessertes Car-Sharing-Angebot	n.b.
Pverk-03	Reduktion des Treibstoffverbrauchs durch technische Optimierungen	n.b.

n.b. = nicht berechnet

Massnahmen mit mittleren Investitionskosten (1-20 Mio. Franken)

Eine den effektivsten und kostengünstigsten Massnahmen vergleichbare Wirkung haben die Massnahmen, bei welchen 100% des Davoser Holzzuwachses in Form von **Holzschnitzeln im Fernwärmeverbund** (En&Heiz-01D) oder von **Stückholz in Zentralheizungen** (En&Heiz-01B) verbrannt werden und einen Teil des Heizöls ersetzen. Diese Massnahmen beanspruchen allerdings bereits mittlere Investitionskosten.

Gleich wirksam ist auch die **Dämmung der Aussenwände** bei den Hotels und Kliniken (EnEffG-01A_32). Die Investitionskosten für eine entsprechende Sanierung aller Wohngebäude wäre fast zehnmal höher, würde aber auch fast 20 mal mehr Gebäude betreffen. **Wärmeschutzfenster und gedämmte Dächer** (EnEffG-01A_2, bzw. EnEffG-01A_1) würden eine drei- bzw. viermal kleinere CO₂-Einsparung mit sich bringen, zu einem auch drei- bzw. viermal günstigeren Preis. Das Programm „**Jedem Raum sein Klima**“ (HVerh-01C), sowie die **Reduktion des Heizenergiebedarfs bei Ferienwohnungen im Leerstand** durch den Einbau von Thermostatventilen und/oder funkgesteuerten Temperaturreglern (HVerh-02A), sind zwei weitere Massnahmen, die über 1'000 Tonnen CO₂-Einsparungen mit sich bringen und mittlere Investitionskosten verursachen. Weil der Einbau eines funkgesteuerten Temperaturreglers nur für neuere Wohnungen ab 1995 und für Ferienhäuser in Frage kommt, führt er, bei vergleichsweise hohen Kosten, zu relativ geringen CO₂ Einsparungen.

Im Vergleich ist die Umstellung auf **Hybridfahrzeuge** für den Personenverkehr (Pverk-04B) wegen den relativ hohen Anschaffungskosten weniger interessant. **Fahrzeuge**, angetrieben entweder mit **Elektrizität oder Biodiesel** scheinen kostengünstiger zu sein (bis 1 Mio. Franken) und erlauben sogar mehr CO₂-Reduktionen. Wenn man die heutige Wärmeerzeugung der Diesel- und Gas-BHKW in Davos durch Solarenergie ersetzen würde, würden 431 Tonnen CO₂ eingespart. Im Vergleich zu ihrem Nutzen muss diese Massnahme als eher teuer betrachtet werden (EVerBHKW-01E, EVerBHKW-01F). Doch das Potential, um z.B. Heizöl durch Solarenergie zu ersetzen (En&Heiz-01F), ist relativ hoch. Insgesamt würde für Sonnenkollektoren in Davos eine Dachfläche von rund 580'000 m² zur Verfügung stehen. Wenn man bei Flachdächern mit 300 m² Kollektorfläche pro 1000 m² Dachfläche und bei

Steildächern mit 50% Nutzfläche rechnet, resultiert ein realistisches Potential für Sonnenkollektoren von 200'000 m². Allerdings wäre eine solche Umstellung mit sehr hohen Investitionen verbunden (Tabelle 35).

Tabelle 35. Kosten /Nutzen der Massnahmen mit mittleren Investitionskosten: von 1 bis 20 Mio. Franken.

Name	Massnahme	Einsparungen von CO ₂ -Emissionen in t CO ₂
En&Heiz-01D	Holzheizung im Fernwärmeverbund: 100% des Holzzuwachses in Davos werden zum Heizen im Fernwärmeverbund verwendet. Der restliche Bedarf wird mit dem heutigen Energieträger-Mix (vor allem Heizöl) abgedeckt.	-10'111
En&Heiz-01B	Holzfeuerung im Einzelhaus: 100% des Holzzuwachses in Davos werden zum Heizen von Einzelgebäuden per Zentralheizung verwendet. Der restliche Bedarf wird mit dem heutigen Energieträger-Mix (vor allem Heizöl) abgedeckt.	-7'003
EnEffG-01A_32	Gebäudesanierung: Fassadenisolation. Einsparung 40% pro Gebäude; Sanierungspotential für Gastgewerbe/Kliniken	-2'515
Hverh-01C	„Jedem Raum sein Klima“	-1'353
Hverh-02A	Ferien- und Zweitwohnungen: Reduktion der Raumtemperatur in periodisch leerstehenden Wohnungen, die bisher noch nicht mit Thermostatventilen ausgerüstet wurden, auf 15 °C.	-1'113
Pverk-01B	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnenverkehr durch den Ausbau des Busnetzes	-830
EnEffG-01A_12	Gebäudesanierung: Wärmedämmung Dach. Einsparung 10% pro Gebäude; Sanierungspotential für Gastgewerbe/Klinken	-629
EVerBHKW-01C	Strom- und Wärmeerzeugung aus Biogas statt mit Diesel- und Gas-BHKW in Davos	-602
EnEffG-01A_22	Gebäudesanierung: Wärmeschutzfenster. Einsparung 25% pro Gebäude; Sanierungspotential für Gastgewerbe/Kliniken	-590
EverLW-01B	Verwendung von Biogas bei Maschinen in der Landwirtschaft	-485
EVerBHKW-01F	Erzeugung von Warmwasser und Wärme mit Sonnenkollektoren anstatt Wärme aus Diesel- und Gas-betriebenen BHKW	-431
Hverh-01B	Reduktion der Raumtemperatur in der ganzen Wohnung um 1°C (Heizperiode)	-397
Hverh-02B	Ferien- und Zweitwohnungen: Reduktion der Raumtemperatur in periodisch leerstehenden Wohnungen auf 15°C mittels funkgesteuertem Temperaturregler.	-168
EVerBHKW-01E	Warmwasseraufbereitung durch Sonnenkollektoren statt mit Wärme aus Diesel- und Gas-BHKW	-78
Pverk-04B	Hybridfahrzeuge: Die Hälfte der in Davos immatrikulierten Fahrzeuge wird durch Hybridfahrzeuge ersetzt.	-51
Pverk-04D	Biogas als Energieträger im privaten Verkehr einsetzen	n.b.
EverBau-02B	Nutzung von Biogas beim Betrieb von Baumaschinen	n.b.

n.b. = nicht berechnet

Massnahmen mit hohen Investitionskosten (20-100 Mio. Franken)

Unter den Massnahmen mit hohen Kosten (Tabelle 36) ist der **Ersatz von Heizöl durch Erdwärme** die Wirksamste (En&Heiz-01I). Schätzungsweise 40% der Wohngebäude, Hotels und Kliniken, welche mit Heizöl heizen (883 Gebäude), könnten theoretisch auf diese Technologie umsteigen.

Wenig interessant dagegen ist der Einsatz von **Abgaswärme-Rekupatoren** bei älteren Ölfeuerungsanlagen (En&Heiz-02B). Nach unseren Berechnungen gilt dasselbe für die **S-Bahn Davos** von Wolfgang bis Glaris (Pverk-01A). Bei dieser Massnahme muss erwähnt werden, dass viele Annahmen getroffen werden mussten, ohne dass sie verifiziert werden konnten.

Tabelle 36. Kosten /Nutzen von den Massnahmen mit hohen Investitionskosten: von 20 bis 100 Mio. Franken.

Name	Massnahme	Einsparungen von CO ₂ -Emissionen in t CO ₂
En&Heiz-01I	Erdwärme statt Erdöl zum Heizen einsetzen	-30'675

EnEffG-01B_2	Gebäudesanierung nach Minergie®-Grenzwerte für Bauten vor 1990: Gastgewerbe	-8'709
EnEffG-01A_2	Gebäudesanierung: Wärmeschutzfenster. Einsparung 25% pro Gebäude. Sanierungspotential für Wohngebäude und Gastgewerbe/Klinken	-4'997
EnEffG-01A_21	Gebäudesanierung: Wärmeschutzfenster. Einsparung 25% pro Gebäude. Sanierungspotential für Wohngebäude	-4'407
En&Heiz-02A	Neue Heizsysteme einbauen: Abstimmung Kessel/Heizung	-4'364
EnEffG-01A_5	Gebäudesanierung: Gastgewerbe/Klinken (Summe der wärmetechnischen Sanierung aller Gebäudekomponenten Fenster/Dach/Aussenfassade)	-3'734
EnEffG-01A_1	Gebäudesanierung: Wärmedämmung Dach. Einsparung 10% pro Gebäude. Sanierungspotential für Wohngebäude und Gastgewerbe/Klinken	-3'273
EnEffG-01A_11	Gebäudesanierung: Wärmedämmung Dach. Einsparung 10% pro Gebäude. Sanierungspotential für Wohngebäude:	-2'644
En&Heiz-02B	Abgaswärme-Rekupatoren einsetzen	-479
Pverk-01A	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnenverkehr durch eine S-Bahn-Linie	-392

Massnahmen mit sehr hohen Investitionskosten (>100 Mio. Franken)

Unter den Massnahmen mit sehr hohen Investitionskosten (Tabelle 37) ist die **Gebäudesanierung nach Minergie®** (EnEffG-01B, EnEffG-01B_1) die Wirksamste. Sie wurde im Kapitel 4.2.2 jedoch als nicht realisierbar eingestuft. Die **Dach-, Fenster- und Fassadenisolation** (EnEffG-01A_4, EnEffG-01A_3, EnEffG-01A_31) wurde bereits vorgängig diskutiert (Kapitel 4.7.2.). Mit **Photovoltaik statt mit Heizöl heizen** (En&Heiz-01H) wäre sehr teuer, würde jedoch eine bedeutende CO₂-Reduktion mit sich bringen, obschon die vorgelagerten Emissionen hoch sind. Mit **Photovoltaik statt mit EWD-Strom zu heizen** (En&Heiz-01G) wäre ebenfalls sehr teuer, würde aber kaum eine CO₂-Reduktion mit sich bringen.

Tabelle 37. Kosten /Nutzen der Massnahmen mit sehr hohen Investitionskosten (>100 Mio. Franken).

Name	Massnahme	Einsparungen von CO ₂ -Emissionen in t CO ₂
EnEffG-01B	Gebäudesanierung nach Minergie®-Grenzwerte für Bauten vor 1990: Total	-39'752
EnEffG-01B_1	Gebäudesanierung nach Minergie®-Grenzwerte für Bauten vor 1990; Sanierungspotential für Wohngebäude und Gastgewerbe/Klinken	-31'043
EnEffG-01A_4	Gebäudesanierung: Wohngebäude (Summe der wärmetechnischen Sanierung aller Gebäudekomponenten Fenster/Dach/Aussenfassade)	-20'273
EnEffG-01A_3	Gebäudesanierung: Fassadenisolation, Einsparung 40% pro Gebäude; Sanierungspotential für Wohngebäude und Gastgewerbe/Klinken	-15'737
EnEffG-01A_31	Gebäudesanierung: Fassadenisolation, Einsparung 40% pro Gebäude; Sanierungspotential für Wohngebäude	-13'222
En&Heiz-01H	Solarstrom statt Heizöl zum heizen verwenden	-12'735
En&Heiz-01F	Solarwärme für Warmwasser und Heizung nutzen	-5'770
EVerBHKW-01G	Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen statt Strom aus Diesel- und Gas-betriebenen BHKW	-1'739
Pverk-02A	Reduktion der PKW-Nutzung im Fernverkehr durch eine bessere RhB-Verbindung zwischen Landquart und Davos	-641
EVerPhot-01	Solarstrom statt EWD Strom im Haushalt	-5
En&Heiz-01G	Solarstrom statt EWD-Strom zum heizen	-3

4.8 Fazit der Kosten/Nutzen Prüfung möglicher Massnahmen

Jede Massnahme, die viel Heizöl einspart oder ersetzt, führt zu hohen CO₂-Einsparungen, wenn die direkten Emissionen der neuen Energieträger kleiner sind, als diejenigen des Heizöls.

Um eine effektive Verbesserung der CO₂-Bilanz der Gemeinde Landschaft Davos zu erreichen, ist eine vielschichtige Strategie notwendig. Diese sollte vor allem eine Reduktion des Energiebedarfs in

den Bereichen Heizen und Verkehr in den Vordergrund stellen. Dabei gilt es festzuhalten, dass eine Vielzahl verschiedener Massnahmenkombinationen erfolgreich sein kann, und nicht eine einzelne Optimallösung im Sinne der CO₂-Bilanz identifiziert werden kann. Gleichzeitig sei erwähnt, dass einzelne Massnahmen sich gegenseitig ausschliessen können.

Die öffentliche und politische Akzeptanz, die Intensität des Eingriffs in gewohnte Verhaltensmuster, sowie die allfällig anfallenden Investitionskosten sind wichtige Entscheidungskriterien bei der Konzeption einer regionalen CO₂-orientierten Energiestrategie. Weitere Faktoren, die den Entscheid für bestimmte Massnahmen beeinflussen und über deren Erfolg entscheiden, stellen technische Neuerungen und deren Durchsetzung auf dem Markt, die Entwicklung innerhalb der Region und die Entwicklung äusserer Rahmenbedingungen auf nationaler wie internationaler Ebene dar.

Das folgende Kapitel zeigt in verschiedenen Szenarien-Analysen auf, welche Strategien für die Landschaft Davos denkbar wären, und wie stark sich diese je nach Zielvorgabe unterscheiden können.

5 Prüfung potenzieller Einsparziele durch Kombination der Massnahmen

Die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Massnahmen zur CO₂-Reduktion bilden die Grundlage für die Umsetzung von potentiellen CO₂-Einsparzielen für die Gemeinde Davos. In den folgenden Unterkapiteln werden drei CO₂-Einsparziele, -ein echtes und zwei hypothetische-, und entsprechende Massnahmen für Davos im Detail beschrieben und diskutiert. Das erste Ziel (siehe Kapitel 5.1) entspricht den Zielvorgaben der Gemeinde, nämlich die CO₂-Emissionen bis ins Jahr 2014 um 15% gegenüber dem Wert von 2004 zu reduzieren. Im Kapitel 5.2 wird als Ziel die 2000-Watt-Gesellschaft gesetzt. Diese Zielvorgabe geht davon aus, dass pro Person nur noch 2000 Watt Energie verbraucht werden darf, wobei drei Viertel davon, 1500 Watt, mit erneuerbaren Energien abzudecken sind. In Kapitel 5.3 wird das Ziel „Davos-CO₂-neutral“ analysiert. Dabei werden sowohl Massnahmen zur CO₂-Emissionsverminderung wie auch Massnahmen zur Senkenförderung miteinbezogen. Die Szenarien zur Erreichung der verschiedenen Ziele sind grundsätzlich sehr einfach gehalten. So gelten die Rahmenbedingungen von 2005, und es werden weder technologische noch volkswirtschaftliche oder demographische Veränderungen mitberücksichtigt. Die Szenarien sollen dennoch helfen, für die regionale Energie- und Umweltpolitik mittel- und langfristig mögliche Optionen aufzuzeigen.

5.1 Einsparziel Davos: Minus 15% CO₂-Emissionen

Die Gemeinde Davos hat sich zum Ziel gesetzt, die CO₂ Emissionen bis ins Jahr 2014 um 15% gegenüber dem Wert von 2004 zu reduzieren. Diese Zielvorgabe ist vergleichbar mit den Energieperspektiven des Bundes, welche in einem der Szenarien eine CO₂-Reduktion um 10% bis 2020 in Bezug auf das Referenzjahr 2000 prüfen (BfE 2006).

Die anthropogen bedingten Emissionen inklusive vorgelagerter Emissionen machen in Davos 109'330 Tonnen CO₂ aus (siehe Kapitel 3). Demzufolge bedeutet das Reduktionsziel der Gemeinde, dass bis ins Jahr 2014 rund 16'400 Tonnen CO₂ einzusparen sind.

5.1.1 Massnahmen zur Realisierung des Einsparziels der Gemeinde Davos

Es werden im Folgenden insgesamt zehn verschiedene Massnahmen vorgeschlagen, mit welchen das Sparziel der Gemeinde erreicht werden kann (Tabelle 38). Die Massnahmen konzentrieren sich dabei auf die Reduktion der CO₂-Emissionen im Bereich „Heizen“ und „Verkehr“, weil diese Bereiche in der Bilanz den höchsten CO₂-Verbrauch ausmachen. Sie berücksichtigen zudem den Bereich Wald- und Holznutzung im Sinne der Substitution fossiler Energieträger und emissionsstarker Materialien durch den einheimischen CO₂-neutralen Rohstoff Holz. Die hier vorgeschlagenen Massnahmen fallen hinsichtlich ihrer theoretischen Reduktionswirkung unter allen möglichen Massnahmen am meisten ins Gewicht. Der geschätzte Investitionskosten-Aufwand wurde wie in Kapitel 4 beschrieben in vier Klassen eingeteilt: Geringe Investitionskosten (< 1 Mio. Franken), mittlere Investitionskosten (1-20 Mio. Franken), hohe Investitionskosten (20-100 Mio. Franken) und sehr hohe Investitionskosten (> 100 Mio. Franken). Im Kapitel 4 sind alle in der Tabelle 38 aufgelisteten Massnahmen detailliert beschrieben.

Grundsätzlich lassen sich zwei verschiedene Arten von Massnahmen unterscheiden: Massnahmen, die eine Reduktion des Energieverbrauchs bewirken und Massnahmen, die fossile Energieträger durch erneuerbare ersetzen. Eine Kombination verschiedener Massnahmen verändert die jeweilige CO₂-Reduktionswirkung einer einzelnen Massnahme. In der Tabelle 38 wurde deshalb die im Sinne der

Machbarkeit optimale Kombination aller Massnahmen und das daraus resultierende maximale Reduktionspotential für Davos berechnet.

Tabelle 38. Vorgeschlagene Massnahmen zur Realisierung des Einsparziels der Gemeinde Davos.

Name	Massnahme	Einsparung von Emissionen und Bilanz in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %	Durch vorhergehende Massnahmen beeinflusste und deshalb neu zu berechnende CO ₂ -Reduktionen	Investitionskosten: <1 Mio.: gering 1-20 Mio.: mittel 20-100 Mio.: hoch >100 Mio.: sehr hoch
Heizen	Energieverbrauch reduzieren				
HVerh-03	Reduktion des Warmwasserverbrauchs beim Waschen und Duschen mit Hilfe von Spardüsen	-3'994	-3.6 %		Gering
EnEffG-01A_4	Gebäudesanierung: Wohngebäude (Summe der wärmetechnischen Sanierung aller Gebäudekomponenten Fenster/Dach/Aussenfassade)	-20'250	-18.5 %		sehr hoch
EnEffG-01A_5	Gebäudesanierung: Gastgewerbe/Kliniken (Summe der wärmetechnischen Sanierung aller Gebäudekomponenten Fenster/Dach/Aussenfassade)	-3'733	-3.4 %		Hoch
SUMME		-27'977	-26.0 %		
Emissionen Total 2005		109'330	100 %		
Verbleibende CO ₂ -Emissionen nach Massnahmen "Energieverbrauch reduzieren" beim Heizen		81'354	74.0 %		
Heizen	Fossile Energieträger ersetzen				
En&Heiz-01F	Solarwärme für Warmwasser und Heizung: Gebäude, die heute mit Heizöl geheizt werden, stellen ihre Warmwasseraufbereitung so um, dass 66% des Warmwassers mit Sonnenkollektoren aufgeheizt werden.	-5'770	-5.5 %	-3'462	sehr hoch
En&Heiz-01I	Erdwärme: Unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse sowie technischer Einschränkungen könnten in Davos rund 40 % (883 Gebäude) der Ölfeuerungsanlagen durch Erdwärme ersetzt werden.	-29'748	-28.0 %	-22'779	Hoch
En&Heiz-01D	Holzheizung: Der gesamte Holzzuwachs in Davos wird zum Heizen im Fernwärmeverbund verwendet. Der restliche Bedarf wird mit dem heutigen Energieträger-Mix (vor allem Heizöl) abgedeckt.	-10'111	-8.0 %	-8'194	Mittel
SUMME			-32.0 %	-34'435	
SUMME der CO ₂ -Reduktionen aller Massnahmen im Bereich "Heizen"			-57.2 %	-62'411	
Emissionen Wärmeerzeugung 2005			69.5 %	75'823	
Verbleibende Emissionen durch Wärmeerzeugung			12.0 %	13'412	
Insgesamt verbleibende Emissionen nach Massnahmen im Bereich "Heizen"			43.0 %	46'919	
Verkehr	Binnenverkehr/Privatverkehr reduzieren				
Pverk-01B	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnenverkehr durch den Ausbau des Busnetzes und Ersatz der Diesel angetriebenen Busse durch Wasserstoff angetriebene Busse	-829	-0.7 %		Mittel
Pverk-01A	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnenverkehr durch eine S-Bahn-Linie	-392	-0.3 %		Hoch
Pverk-02A	Reduktion der PKW-Nutzung im Fernverkehr durch eine bessere RhB-Verbindung zwischen Landquart und Davos	-644	-0.6 %		sehr hoch
SUMME		-1'473	-1.3 %		

SUMME der CO ₂ -Reduktionen durch alle Massnahmen im Bereich "Verkehr" und "Heizen" insgesamt			-57.2 %	-62'411	
Verbleibende CO ₂ -Emissionen			43.0 %	46'919	
Einsparziel der Gemeinde Davos bis 2014			-15.1 %	-16'500	

Für die Berechnung wurde davon ausgegangen, dass als erste Massnahmen die **Gebäudesanierungen und die Warmwasserreduktion** durchgeführt werden. Dadurch können bereits insgesamt rund 28'000 Tonnen CO₂ (**26% der CO₂-Emissionen insgesamt**) eingespart werden (siehe Tabelle 38). Danach werden in allen sanierten Gebäuden mit geeignetem geologischen Untergrund die fossilen Energieträger durch **Erdwärme** ersetzt. Schätzungsweise 40% der Gebäude in Davos sind dafür geeignet (siehe Kapitel 5). Durch diese Massnahme können die CO₂-Emissionen der sanierten Gebäude um weitere 22'779 Tonnen CO₂ (**28%**) gesenkt werden.

In den restlichen 60% der Gebäude, welche nicht über Wärmepumpen verfügen, wird 2/3 der Energie für Warmwasser über **Sonnenkollektoren** erzeugt. Dies führt zu einer weiteren Abnahme der CO₂-Emissionen von 3'462 Tonnen CO₂ (**5.5%**). Von den verbleibenden CO₂-Emissionen, welche durch Heizen entstehen, können rund 8'194 Tonnen CO₂ (**7.6%**) durch CO₂-neutrales **Davoser Holz** ersetzt werden⁷.

Insgesamt ergibt sich also durch die Massnahmenkombination im Bereich „**Heizen**“ ein Einsparpotential von 62'411 Tonnen CO₂ (57.2%). Die 75'823 Tonnen CO₂ (69.5%), welche in Davos im Jahr 2005 durch Wärmeerzeugung emittiert wurden, können also durch die vorgeschlagenen Massnahmen bis auf verbleibende 13'412 Tonnen CO₂ (12%) reduziert werden.

Durch Verkehrsreduktionsmassnahmen im Bereich Privatverkehr und Binnenverkehr können durch den Ausbau der RhB-Linie und die Umstellung von Dieselnissen auf **Wasserstoffbusse** weitere 1'473 Tonnen CO₂ (**1.3%**) eingespart werden (in diesem Beispiel wird die Variante Bus gewählt, weil die CO₂-Reduktion etwas höher liegt als bei der Variante S-Bahn).

Insgesamt ergibt sich durch diese Kombination von Massnahmen in den Bereichen „**Heizen**“ und „**Verkehr**“ ein **maximales Einsparpotential von 62'411 Tonnen CO₂ (57.2%)**. Dieses ist rund viermal höher als das Sparziel der Gemeinde.

5.1.2 Diskussion

Die Berechnung im Kapitel 5.1.1 zeigt deutlich, dass Gebäudesanierung, Warmwasserreduktion und die Substitution von fossilen Energieträgern im Bereich Heizen ein grosses Potential aufweisen, um die CO₂-Emissionen in der Gemeinde Davos zu reduzieren. Mit den Massnahmen „Heizen im Fernwärmeverbund“ und „Reduktion des Warmwasserverbrauchs mit Hilfe von Spardüsen“ ist es bereits möglich, mit mittlerem finanziellen Aufwand 9% der CO₂-Emissionen einzusparen (siehe auch Kapitel 4.7).

Die Umsetzung vorgeschlagener Massnahmen braucht grundsätzlich Zeit, Geld, und die Beteiligung der verschiedenen Akteure. Die Gemeinde spielt eine wichtige Rolle, weil sie über Förderbeiträge und Beratung Unterstützung und finanzielle Anreize bieten kann. Etliche der vorgeschlagenen Massnahmen wie beispielsweise Gebäudesanierungen oder ein Einbau neuer Heizsysteme ist für Hausbesitzerinnen und Hausbesitzer mit hohen Kosten verbunden. Finanzielle Unterstützung ist

⁷ In Davos beträgt der jährliche Holzzuwachs, der zum Heizen und für Konstruktionszwecke verwendet werden kann, 15'700 m³. Davon wird bereits heute 2'944 m³ zum Heizen verbraucht. Zusätzlich können 2'418 m³ für die Gebäudekonstruktion verwendet werden (siehe Kapitel 5.3.1). Es bleiben also 10'338 m³ Holz, welches fossile Brennstoffe zum Heizen ersetzen kann. Dies entspricht 8'194 t CO₂ (inkl. vorgelagerte Emissionen).

deshalb ein wichtiges Mittel für die Förderung solcher Massnahmen. Von Bund und Kantonen sollten vermehrt finanzielle Anreize gesetzt werden. Dies wäre insbesondere auch im Zusammenhang mit Lenkungsabgaben (z.B. CO₂-Abgabe) von grosser Wichtigkeit (siehe dazu auch BfE 2006, Szenario II).

Die CO₂-Reduktion, welche mit den oben beschriebenen Massnahmen erreicht werden könnte, zeigt das grosse Potential der erneuerbaren Energien in Davos auf. Davos als Gebirgsgemeinde besitzt Holz, und hat Zugang zu Erdwärme und Sonnenenergie, welche als erneuerbare Energien für Wärmezeugung eingesetzt werden können. Der Nutzung von erneuerbaren Ressourcen sind jedoch neben finanziellen auch natürliche und technische Grenzen gesetzt. So ist die Nutzung von Sonnenenergie mit hohen Kosten verbunden (siehe auch Kapitel 5.2.2), während Erdwärme im Raum Davos nicht an allen Standorten nutzbar ist. Der Davoser Wald kann mit seiner jährlichen Zuwachsrate den theoretisch maximalen Bedarf an Konstruktionsholz und Holz zum Heizen nicht vollständig decken. Dazu kommt, dass die Holzernte an steilen Hängen in Davos sehr aufwändig ist. Es ist deshalb fraglich, ob das gesamte jährliche Zuwachspotential von 15'700m³ vollumfänglich genutzt werden könnte. Um den Heiz- und Konstruktionsbedarf vollständig mit Holz abzudecken, wären Importe von ausserhalb der Gemeindegrenzen kaum vermeidbar.

Beim Verkehr spielt die Gemeinde ebenfalls eine wichtige Schlüsselrolle für die Umsetzung von Massnahmen. Die Verkehrsmassnahmen sind im Gegensatz zu den Massnahmen im Bereich Heizen in Anbetracht der CO₂-Reduktionen um ein Vielfaches weniger wirksam, und teilweise mit hohen Kosten verbunden. Es ist deshalb empfehlenswert, Verkehrsmassnahmen nicht nur im Zusammenhang mit ihrer CO₂-Reduktion zu planen, sondern im Sinne eines ganzheitlichen Verkehrskonzeptes gezielt auf die Bedürfnisse der Davoser Bevölkerung, der Pendlerinnen und Pendler, der Feriengäste und dem Gewerbe abzustimmen. Dabei sollten die Aspekte Reduktion der Abgase und des Verkehrslärms, Verkehrsleitsysteme, Förderung des Langsamverkehrs und der Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln in Betracht gezogen werden.

5.2 Einsparziel „2000-Watt-Gesellschaft“

Die „2000-Watt-Gesellschaft“ ist eine Vision, die im Rahmen des Programms Novatlantis des ETH-Bereichs entwickelt wurde (JOCHM *et al.* 2004). Der Begriff „2000-Watt-Gesellschaft“ bezeichnet ein nachhaltiges Energieverbrauchsmodell. Der Betrag von 2000 Watt wurde im Sinne der Nachhaltigkeit als untere „energetische Armutsgrenze“ eruiert, welche gleichzeitig auch eine Obergrenze der Umweltbelastung darstellt (SPRENG und SEMADENI, 2001). In der 2000-Watt-Gesellschaft soll der Energieverbrauch bei gleichbleibender Lebensqualität auf 2000 Watt pro Person gesenkt werden, -weitgehend mittels technologischer Entwicklungen-, und gleichzeitig der jährliche Ausstoß von Treibhausgasen auf eine Tonne pro Person vermindert werden (BfE 2006). Heute beträgt laut der „Energy Information Administration“ der weltweite CO₂-Ausstoss wenig mehr als vier Tonnen pro Person (EIA, 2006). Dies entspricht, basierend auf einer Versorgung über fossile Energieträger, einer Leistung von 1800 Watt pro Person. Um den Klimawandel zu reduzieren, muss jedoch der CO₂-Ausstoss unter einer Tonne pro Person liegen (GOLDEMBERG *et al.* 2004). Dies entspricht 500 Watt pro Kopf aus fossilen Energien. Die zusätzlichen 1500 Watt pro Person sind mit erneuerbaren Energien abzudecken. Mit der 2000-Watt-Gesellschaft werden also zwei Ziele verfolgt:

- (1) Der Verbrauch fossiler Energien wird auf 500 Watt pro Person gesenkt.
- (2) Der gesamte Energieverbrauch wird auf 2000 Watt pro Person gesenkt.

Ziel (1): In Davos beträgt der CO₂-Ausstoss 7.5 Tonnen pro Person, was einem Total von insgesamt 99'553 Tonnen CO₂ entspricht (ohne vorgelagerte Emissionen). Werden die vorgelagerten Emissionen mitberücksichtigt, resultiert ein pro Kopf Verbrauch von 8.2 Tonnen CO₂ und ein Total für die

Gemeinde von 109'330 Tonnen CO₂⁸. Um das Einsparziel 500 Watt fossile Energie pro Person zu erreichen, muss der fossile CO₂-Ausstoss in Davos auf eine Tonne pro Person gesenkt werden. Dies bedeutet, dass die CO₂-Emissionen entsprechend der Einwohnerzahl auf 12'621 Tonnen CO₂ gesenkt, und somit rund 96'709 Tonnen CO₂ eingespart werden müssen. Dies entspricht einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 88% gegenüber heute.

Ziel (2): In Davos beträgt der Energieverbrauch im Jahr 2005 insgesamt 510'563'774 kWh. Um das Ziel 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen, muss der Energieverbrauch auf 48 kWh pro Person und Tag (SPRENG und SEMADENI, 2001), und somit in Davos auf 221'119'920 kWh pro Jahr gesenkt werden. Dies entspricht einer Reduktion des heutigen Energieverbrauchs um über die Hälfte (56.7%).

Neben der Prüfung der 2000-Watt-Gesellschaft in bezug auf die ständigen Einwohnerinnen und Einwohner (12'621) wurde das Szenario auch unter Einbezug der Touristenzahl mit dem Einwohnergleichwert (18'400) berechnet. Der „Einwohnergleichwert“ resultiert aus der Einwohnerzahl zuzüglich den 2.1 Millionen Logiernächten pro Jahr.

5.2.1 Potentielle Massnahmen zur Realisierung des Einsparziels „2000-Watt- Gesellschaft“

In der Tabelle 39 werden zusätzlich zu den bereits im Kapitel 5.1.1 beschriebenen Massnahmen weitere potentielle Massnahmen aufgeführt, um das Ziel (1) „500 Watt fossiler Energieverbrauch pro Person“ zu erreichen. Durch die Massnahmen in Kapitel 5.1.1 können die CO₂-Emissionen bereits auf 46'919 Tonnen CO₂ (43 %) gesenkt werden. Es müssen also zusätzlich 33'659 Tonnen CO₂ (26.3 %) reduziert werden, damit das Einsparziel (Ziel 1) erreicht wird (siehe Tabelle 39).

⁸ Das Einsparziel „2000-Watt Gesellschaft“ wird normalerweise ohne vorgelagerte Emissionen berechnet, da der CO₂ Verbrauch pro Kopf in der Schweiz und in Schweizer Städte-Bilanzen ohne vorgelagerte Emissionen dargestellt wird (siehe Kapitel 4.3). Da unsere Massnahmenberechnungen jedoch die vorgelagerten Emissionen berücksichtigen, werden in diesem Kapitel die vorgelagerten Emissionen beim pro-Kopf-Verbrauch miteinbezogen.

Tabelle 39. Massnahmen zur Realisierung des Einsparziels der 2000-Watt-Gesellschaft in Ergänzung zu den Massnahmen in Kapitel 5.1.1

Name	Massnahme	Einsparung von Emissionen und Bilanz in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %	Durch vorhergehende Massnahmen beeinflusste und deshalb neu zu berechnende CO ₂ -Reduktionen	Investitionskosten: <1 Mio.: gering 1-20 Mio.: mittel 20-100 Mio.: hoch >100 Mio.: sehr hoch
Insgesamt verbleibende CO ₂ -Emissionen nach Massnahmen aus Kapitel 6.1.1		46'919	43.0 %		
Davon: Verbleibende Emissionen durch Wärmezeugung		13'412	12.3 %		
Heizen	Energieverbrauch reduzieren				
HVerh-02A	Ferien- und Zweitwohnungen: Reduktion der Raumtemperatur in periodisch leer stehenden Wohnungen, die bisher noch nicht mit Thermostatventilen ausgerüstet wurden, auf 15 °C.	-1'113	-1.0 %		mittel
HVerh-01A	Tageszeitliche Regulierung der Raumtemperatur: „Nachtabenkung“	-2'716	-2.5 %		Keine zusätzlichen Kosten
SUMME		-3'829	-3.5 %		
Heizen	Fossile Brennstoffe ersetzen				
En&Heiz-01H	Solarstrom statt Heizöl: In Davos könnten auf Gebäudedächern und an Südfassaden der Gebäude rund 600'000 m ² Photovoltaikanlagen installiert werden. Dieser Solarstrom könnte zur Heizung von Gebäuden verwendet, die heute mit Heizöl geheizt werden.	-12'735	-8.8 %	-9'582	sehr hoch
SUMME aller CO ₂ -Reduktionen im Bereich "Heizen"			-12.3 %	-13'411	
Verbleibende Emissionen durch Wärmezeugung			0 %	0	
Verkehr	Fossile Brennstoffe ersetzen				
Pverk-04A	Elektromobile: Es wird angenommen, dass 25 % der in Davos registrierten PKW nahezu ausschliesslich für Kurzstrecken verwendet werden. Diese PKWs werden durch Elektroautos ersetzt.	-65	-0.06 %		Keine zusätzlichen Kosten
Pverk-04B	Hybridfahrzeuge: Das Umsetzungspotential für Hybridfahrzeuge ist gross. Es wäre möglich, die Hälfte der in Davos immatrikulierten Fahrzeuge durch Hybridfahrzeuge zu ersetzen. Dies entspricht ungefähr 1% des gesamten Privatverkehrs in Davos.	-54	-0.05 %		mittel
SUMME aller CO ₂ -Reduktionen im Bereich "Verkehr"		-119	-0.11 %		
Licht und Maschinen	Energieverbrauch reduzieren				
EVerLeer-01	Reduktion von Leerlaufverlusten bei elektrischen Geräten	-141	-0.13 %		gering
EVerSchnee-01	Private Schneeräumung wird von der öffentlichen Schneeräumung übernommen.	-22	-0.02 %		Keine zusätzlichen Kosten
Licht und Maschinen	Fossile Brennstoffe ersetzen				
EVerPist-01A	Biodiesel zur Pistenpräparation	-148	-0.14 %		Keine zusätzlichen Kosten
EVerBau-02C	Nutzung von Biodiesel beim Betrieb von Baumaschinen	-63	-0.06 %		Keine zusätzlichen Kosten
SUMME aller CO ₂ -Reduktionen im Bereich "Licht/Maschinen"		-374	-0.35 %		
SUMME aller CO ₂ -Reduktionen im Bereich Heizen, Verkehr und Maschinen insgesamt		-13'904	-12.73 %		
Verbleibende CO ₂ -Emissionen in Davos		33'014	30.26 %		
Ziel 2000-Watt Gesellschaft		12'621	11.5%		

(bezogen auf ständige EinwohnerInnen)					
Differenz, die fehlt, um das Ziel 2000-Watt Gesellschaft zu erreichen (bezogen auf ständige EinwohnerInnen)		20'393	18.6%		
Ziel 2000-Watt Gesellschaft (bezogen auf Einwohnergleichwerte)		18'400	16.9%		
Differenz, die fehlt, um das Ziel 2000-Watt Gesellschaft zu erreichen (bezogen auf Einwohnergleichwerte)		14'614	13.4%		

Im Bereich Heizen können durch eine sinnvolle **Temperaturregulierung** insbesondere in ungenutzten Gebäuden weitere 3'829 Tonnen CO₂ (**3.5%**) eingespart werden. Dies reicht jedoch nicht aus, um die CO₂-Emissionen, welche durch Heizen entstehen, auf Null zu senken. Deshalb wird vorgeschlagen, die verbleibenden fossilen Energieträger, welche für die Wärmeerzeugung gebraucht werden, durch **Photovoltaik-Anlagen** zu ersetzen. In Davos wäre ein Potential von 600'000 m² Dachfläche und Südfassade vorhanden, um mit Sonnenenergie Wärme zu erzeugen. Insgesamt 453'568 m² oder drei Viertel der verfügbaren Dachfläche und Südfassade würden ausreichen, um die verbleibenden CO₂-Emissionen, welche durch Heizen verursacht werden, **auf Null** zu reduzieren (siehe Tabelle 39).

Im Bereich Verkehr ist es schwieriger, weitere wirksame Massnahmen für eine erfolgreiche CO₂-Reduktion zu eruieren. Es besteht die Möglichkeit, fossile Brennstoffe durch erneuerbare Energieträger zu ersetzen. So können zum Beispiel in Davos kurze Strecken mit **Elektromobilen oder Hybridfahrzeugen** gefahren werden. Diese Massnahmen bewirken jedoch nur eine geringe CO₂-Reduktion von 119 Tonnen CO₂ (**0.1%**) bei mittlerem Kostenaufwand. In grösserem Umfang ist es nicht möglich, solche Fahrzeuge einzusetzen, weil sie nur über eine geringe Reichweite verfügen.

Im Bereich Licht und Maschinen kann sowohl durch sparsameren Gebrauch als auch durch Substitution mit erneuerbaren Energieträgern CO₂ eingespart werden. Durch die **Reduktion von Leerlaufverlusten** bei elektrischen Geräten wird eine CO₂-Verminderung von 141 Tonnen CO₂ (**0.13%**) erreicht. Ebenfalls kann beispielsweise mit wenigen grossen anstatt vielen kleinen Schneefräsen eine kleine CO₂-Reduktion realisiert werden. Bei Baumaschinen und Pistenmaschinen besteht das Potential, fossile Brennstoffe durch Biodiesel zu ersetzen.

Insgesamt können durch die in Tabelle 39 aufgeführten Massnahmen im Bereich Heizen, Verkehr und Licht/Maschinen weitere 13'904 Tonnen CO₂ (12.7%) eingespart werden. Um das Ziel (1) „500 Watt fossiler Energieverbrauch pro Person“ zu erreichen, **müsste auf weitere 20'993 Tonnen CO₂ (18.6 %) verzichtet werden**. Das Ziel kann unter den vorgegebenen Massnahmen also nicht erreicht werden. Selbst wenn die jährlich 2.1 Millionen Logiernächte der Touristinnen und Touristen in die Rechnung miteinbezogen werden verbleibt ein Restbetrag von 14'614 Tonnen CO₂, oder 13.4% der Emissionen.

Um das Ziel (2) „Energieverbrauch von 2000 Watt pro Person“ zu berechnen, wurde die Wirkung aller Energiereduktionsmassnahmen zusammengezählt. Für die Berechnung wurde vereinfacht angenommen, dass die Substitution von fossilen Brennstoffen durch erneuerbare Energieträger keine eigentliche Verringerung des Energieverbrauchs zur Folge hat. In der Tabelle 40 sind alle Reduktionsmassnahmen und die dazugehörige Energiereduktion in Kilowattstunden (kWh) aufgeführt. Auch für diese Berechnungen wurde neben der Anzahl ständiger Einwohnerinnen und Einwohner auch mit dem Einwohnergleichwert gerechnet.

Tabelle 40. Massnahmen zur Reduktion des gesamten Energieverbrauchs in Davos.

Name	Massnahme	Energieeinsparung in kWh/Jahr	Energieeinsparung in %
Hverh-03	Reduktion des Warmwasserverbrauchs beim Waschen und Duschen mit Hilfe von Spardüsen	-9'683'240	-1.9 %
EnEffG-01A_4	Gebäudesanierung: Wohngebäude (Summe der wärmetechnischen Sanierung aller Gebäudekomponenten Fenster/Dach/Aussenfassade)	-59'968'544	-11.7 %
EnEffG-01A_5	Gebäudesanierung: Gastgewerbe/Kliniken (Summe der wärmetechnischen Sanierung aller Gebäudekomponenten Fenster/Dach/Aussenfassade)	-11'072'527	-2.2 %
Pverk-01B	Reduktion der PKW-Nutzung im Binnenverkehr durch den Ausbau des Busnetzes und Ersatz der Diesel angetriebenen Busse durch Wasserstoff angetriebene Busse	-2'177'497	-0.4 %
Pverk-02A	Reduktion der PKW-Nutzung im Fernverkehr durch eine bessere RhB-Verbindung zwischen Landquart und Davos	-2'383'368	-0.5 %
Hverh-02A	Ferien- und Zweitwohnungen: Reduktion der Raumtemperatur in periodisch leer stehenden Wohnungen, die bisher noch nicht mit Thermostatventilen ausgerüstet wurden, auf 15 °C..	-3'227'747	-0.6 %
Hverh-01A	Tageszeitliche Regulierung der Raumtemperatur: „Nachtabsenkung“	-8'069'366	-1.6 %
EVERLeer-01	Reduktion von Leerlaufverlusten bei elektrischen Geräten	-5'700'000	-1.1 %
EVERSchnee-01	Private Schneeräumung wird von der öffentlichen Schneeräumung übernommen.	-90'097	-0.02 %
SUMME		-102'372'386	-20.0 %
Energieverbrauch 2005		510'563'774	100 %
Energiereduktion durch vorgeschlagene Massnahmen		-102'372'386	-20.0 %
Verbleibende Energiemenge		408'191'388	80.0 %
Ziel 2000-Watt Gesellschaft für Davos (bezogen auf Einwohnerzahl)		221'119'920	43.3%
Ziel 2000-Watt Gesellschaft für Davos (bezogen auf Einwohnergleichwerte)		322'368'000	63.1%

Aus der Tabelle 40 wird ersichtlich, dass das Ziel (2) „Energieverbrauch insgesamt auf 2000 Watt pro Person senken“, nicht ohne erhebliche Einbussen der Lebensqualität erreicht werden kann. Durch die Energiereduktionsmassnahmen können bei heutigem Stand der umsetzbaren Technik nur 20% des Energieverbrauchs reduziert werden. Um Ziel (2) zu erreichen, fehlen zusätzliche 36.7% Energiereduktion. Werden die Gäste (Einwohnergleichwert) mitberücksichtigt, verbleibt in der Bilanz immer noch ein Fehlbetrag von 16.9% oder 85'823'388 kWh.

5.2.2 Diskussion

Das Ziel (2) der 2000-Watt-Gesellschaft Davos kann mit den von uns vorgeschlagenen Energiereduktionsmassnahmen in absehbarer Zeit nur unter erheblichen Einbussen in der Lebensqualität erreicht werden. Die Berechnung zeigt deutlich, dass technische Massnahmen nach

heutigem Wissenstand allein nicht genügen, um den Energieverbrauch in Davos zu senken. So ist es bereits schwierig, neben den zehn wirksamsten Massnahmen im Bereich Heizen und Verkehr aus Kapitel 5.1.1 mit geeigneten Massnahmen weitere massgebliche CO₂-Reduktionen zu erzielen.

Einzig im Bereich „Heizen“ kann nochmals eine beachtliche Menge CO₂ reduziert werden. Insbesondere das tageszeitliche Regulieren der Raumtemperatur ist wirksam und relativ kostengünstig. Weil diese Massnahme jedoch stark vom Verhalten der Hausbewohnerinnen und Hausbewohner abhängig ist, wäre es wichtig, die Davoser Bevölkerung wie auch die Gäste für das Thema „Energiesparen im Wohngebäude“ zu sensibilisieren.

Photovoltaikanlagen bergen ein grosses Potential, um mit erneuerbarer Energie Wärme zu produzieren. Die Anlagen sind jedoch teuer, was ihr reales Umsetzungspotential stark einschränkt.

Im Bereich „Licht/Maschinen“ und „Verkehr“ ist es schwierig, den CO₂-Ausstoss noch weiter zu reduzieren. Die CO₂-Bilanz des Verkehrs könnte in grossem Umfang nur verändert werden, wenn die Rahmenbedingungen ändern, zum Beispiel die Benzinpreise stark ansteigen, oder der Verkehr über Verbote eingeschränkt würde. Verkehrsverbote sind jedoch generell sehr schwierig umzusetzen und machen nur Sinn, wenn die Massnahme in ein von der Bevölkerung akzeptiertes, ganzheitliches Verkehrskonzept integriert ist (siehe Diskussion Kapitel 6.1.2).

Das Ziel (2) der 2000-Watt-Gesellschaft kann also unter den aktuellen Rahmenbedingungen und mit den von uns vorgeschlagenen Energiereduktionsmassnahmen in Davos nicht erreicht werden. Um wie vom Bundesrat vorgeschlagen im Jahr 2050 als 2000-Watt-Gesellschaft zu funktionieren, sind neben erheblichen Fortschritten im Bereich Technologie insbesondere auch die Bereitschaft aller Akteure gefragt, in dieses Ziel zu investieren.

5.3 Einsparziel „Davos-CO₂-neutral“

In Davos können Biomasse und Boden jährlich rund 11'270 Tonnen CO₂ binden. Die anthropogen bedingten Senken (Holzlager im Gebäudepark) machen 3'521 Tonnen CO₂ aus (siehe Kapitel 4). Insgesamt ergibt sich also eine Senkenwirkung von 14'640 Tonnen CO₂ (13.4%). Demgegenüber betragen die Emissionen (direkte und vorgelagerte Emissionen) 109'330 Tonnen CO₂. Um das Ziel „Davos-CO₂-neutral“ zu erreichen, gibt es grundsätzlich zwei Strategien: Die erste besteht darin, dass nur die Emissionen reduziert werden. Damit Davos CO₂-neutral wird, müssten also 94'690 Tonnen CO₂ eingespart werden. Dies entspricht ungefähr dem gleichen Reduktionswert wie beim Einsparziel „2000-Watt-Gesellschaft“ (siehe Kapitel 6.2). Die zweite Strategie besteht darin, dass die Emissionen reduziert und gleichzeitig die Senkenleistung erhöht wird.

5.3.1 Potentielle Massnahmen zur Realisierung des Einsparziels „Davos CO₂-neutral“

Weil die Reduktion der Emissionen ungefähr dem Einsparpotential der „2000-Watt-Gesellschaft“ entspricht, werden in der folgenden Tabelle 41 nur noch Massnahmen aufgeführt, welche die Wirkung von CO₂-Senken und -Lagern erhöhen können.

Tabelle 41. Vorgeschlagene Massnahmen zur Realisierung des Einsparziels „Davos CO₂-neutral“.

Name	Massnahme	Einsparung von Emissionen und Bilanz in t CO ₂	Verbesserung der CO ₂ -Bilanz in %	Investitionskosten: <1 Mio.: gering 1-20 Mio.: mittel 20-100 Mio.: hoch >100 Mio.: sehr hoch
Verbleibende CO ₂ -Emissionen in Davos (nach Massnahmen aus Kapitel 6.1.1 und 6.1.2)		33'014	30.3 %	
Senken	Senken fördern			
Holz-01	Die Hälfte der extensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen unter 2000 m ü.M. werden mit "Senkenwald" aufgeforstet. Bis sich ein Wald mit durchschnittlicher C-Dichte in Davos einstellt, muss man mit einer Zeitspanne von 100 Jahren rechnen.	-2'521	-2.3 %	Gering
Holz-02B	Mit einheimischem Holz bauen: _1. Einsparpotential durch die Substitution von anderen Baumaterialien durch das CO ₂ -neutrale Holz. _2. Vergrösserung des Holzlagers im Gebäudepark (Senken: -1773t CO ₂ , Substitution durch andere Baustoffe: -2659t CO ₂)	-1'773 -2'659	-1.6 % -2.4 %	keine zusätzlichen Kosten
SUMME		-4'293	-3.9 %	
Verbleibende CO ₂ -Emissionen in Davos nach Abzug der neuen Senken		28'721	26.3 %	
Ziel Davos CO ₂ -neutral (bezogen auf Einwohnerzahl)		12'621	11.5 %	
Differenz die fehlt, um das Ziel Davos CO ₂ -neutral zu erreichen (bezogen auf Einwohnerzahl)		16'100	14.7 %	
Ziel Davos CO ₂ -neutral (bezogen auf Einwohnergleichwerte)		18'400	16.8%	
Differenz die fehlt, um das Ziel Davos CO ₂ -neutral zu erreichen (bezogen auf Einwohnergleichwerte)		10'321	9.4%	

Um die Senkenwirkung der Natur in Davos zu steigern, könnten 50% der extensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen aufgeforstet werden. Dies würde eine zusätzliche Senke von jährlich 2'521 Tonnen CO₂ (2.3%) bewirken. Nach ungefähr 100 Jahren ist diese Senkenleistung jedoch durch den neu entstandenen Wald ausgeschöpft und es stellt sich ein Wald mit einer konstanten C-Konzentration ein.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der gesteigerten Verwendung von Holz im Gebäudepark. Einerseits würden nicht-CO₂-neutrale Baumaterialien substituiert, wie zum Beispiel Zement. Andererseits erhöhen Holzkonstruktionen das CO₂-Lager. Wenn alle Neubauten ab 2005 mit Davoser Holz gebaut würden, so würden jährlich 2'418 m³ Holz benötigt (für Angaben über den jährlichen Holzzuwachs in Davos siehe Fussnote in Kapitel 5.1.1). Durch die Substitutionseffekte von nicht-CO₂-neutralen Baumaterialien durch Holz könnten weitere 2'660 Tonnen CO₂ (2.4%) eingespart werden.

Dieser Wert kann in der Bilanz jedoch nicht abgezogen werden, weil die vorgelagerten Emissionen von Baumaterialien nicht integriert sind (siehe Tabelle 41). Der Wert zeigt jedoch das grosse Potential von Substitutionseffekten durch Holz im Gebäudepark. Das Holzlager im Gebäudepark erhöht sich jährlich um 1'773 Tonnen CO₂ (1.6 %). Insgesamt resultiert aus der Förderung von Senken eine CO₂-Reduktion von 4'293 Tonnen CO₂ (3.9%). Um das Ziel „Davos-CO₂-neutral“ zu erreichen, fehlen 14'081 Tonnen CO₂ (12.9%). Das Ziel kann also ebenfalls erreicht werden.

5.3.2 Diskussion

Das Ziel „Davos CO₂-neutral“ kann ähnlich der 2000-Watt-Gesellschaft mit den von uns vorgeschlagenen Energiereduktionsmassnahmen beim heutigen Stand der Technik nicht erreicht werden. Zwar ist viel Potential vorhanden, die Senken weit mehr zu nutzen als heute, doch reicht dies nicht aus, um die CO₂-Emissionen zu neutralisieren. Mit den in Tabelle 41 ausgeführten Massnahmen kann die Senkenleistung kurzfristig zwar erhöht werden, sie ist zeitlich jedoch begrenzt: In 100 Jahren wäre das Senkenpotential im Wald ausgeschöpft. Das Lager im Gebäudepark kann nur solange erhöht werden, als zusätzlich Häuser gebaut werden. Senkenleistungen können somit nur vorübergehend in eine CO₂-Bilanz miteinbezogen werden, weil sie langfristig nicht mehr zu einer Verbesserung der Bilanz beitragen.

Im Sinne einer nachhaltigen CO₂-Politik ist es deshalb empfehlenswert, wenn sich die Gemeinde in erster Linie auf die Strategie Reduktionsmassnahmen bei den Emissionen konzentriert. Dabei ist Holz als Bau- und Konstruktionsmaterial von grosser Bedeutung, weil es als CO₂-neutraler, einheimischer Rohstoff energetisch aufwändiges Baumaterial ersetzen kann. Die Tabelle 41 zeigt, dass die Wirkung der Substitution CO₂-intensiver Materialien durch Holz im Bau grösser ist als die Wirkung des Holzlagers per se. Aus Sicht der verbesserten CO₂-Bilanz lohnt sich das Bauen mit Holz also in zweifacher Hinsicht.

6 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen an die Gemeinde

6.1 Zusammenfassende Diskussion der Bilanzergebnisse

! Hoher pro-Kopf-Ausstoss

Die Nettobilanz für das Jahr 2005 von 94'539 Tonnen entspricht bezogen auf die ständigen Einwohnerinnen und Einwohner einem pro Kopf Ausstoss von 7.5 Tonnen CO₂. Verglichen mit dem gesamtschweizerischen Mittelwert (6 Tonnen pro Person), oder mit dem Wert einzelner Schweizer Städte wie Schaffhausen (4.6 Tonnen CO₂ pro Person), Winterthur (5.4 Tonnen CO₂ pro Person) oder Luzern (4.8 Tonnen CO₂ pro Person) (STADT SCHAFFHAUSEN 2002, ENGESSER 2005, bzw. POHL 2001), liegt der CO₂-Ausstoss in Davos um mindestens 20% höher. Dies ist zum einen mit der touristisch geprägten Wirtschaftsstruktur von Davos zu erklären, primär liegt die Ursache jedoch im kühleren Klima, welchem die Stadt Davos auf 1'560 m.ü.M. ausgesetzt ist. Die Zahl der Heizgradtage ist hier um 60 bis 70% höher als im Mittelland. Das kühlere Klima zieht einen erhöhten Energieverbrauch zur Wärmegewinnung nach sich.

! Mehr Brennstoffe, weniger Treibstoffe im Vergleich zum CH-Durchschnitt

In Davos werden 79,3% der CO₂-Emissionen (nur direkte Emissionen innerhalb der Gemeindegrenzen) über die Wärmeerzeugung ausgestossen. Die Quellgruppe Verkehr kommt auf einen Anteil von rund 17%. Die Quellgruppe „Licht, Maschinen und Geräte“ trägt mit einem Anteil von 4% dazu bei und 3% wird den nicht- energetisch bedingten Aktivitäten zugeordnet. Wird das Holzlager im Gebäudepark als Senke berücksichtigt, fällt der Anteil der nicht-energetisch bedingten Aktivitäten auf 0.3%. Bei den CO₂-Emissionen der Heizölfeuerungen hat die Studie für die Kategorie „Wohnungen“ (Erst- und Zweitwohnungen) einen Anteil von 59% ermittelt. Die Ölfeuerungen der Hotels kommen auf einen Anteil von 16%, diejenigen aus der Kategorie „Industrie und Gewerbe“ auf einen Anteil von 10% und die der Kliniken auf einen Anteil von 7%. Die restlichen 8% des CO₂-Ausstosses durch Heizölfeuerungsanlagen werden auf die Kategorien „Restaurants“, „Verwaltungen“, „Schulhäuser“, „Hallenbäder“ und „Sportanlagen“ verteilt.

Die Endenergieverbrauchswerte für die Schweiz im Jahre 2004 (BfS 2006) zeigen auf, dass der Anteil an Erdölbrennstoffen im schweizerischen Durchschnitt um 28.8% tiefer liegt als der Wert für Davos (55.1%). Bei den Treibstoffen ist es gerade umgekehrt. Hier erreicht der schweizerische Mittelwert mit 31.3% einen deutlich höheren Wert als Davos (14.7%). Der Anteil an Elektrizität liegt gesamtschweizerisch mit 23.1% rund 4% unter dem entsprechenden Endenergieverbrauchswert für Davos. Beim Erdgas und bei den übrigen Energieträgern (Holz, Fernwärme aus Müll- und Abfallverbrennung, Wärmepumpen und WKK-Anlagen) liegen die schweizerischen Mittelwerte mit 12.1% und 7.8% deutlich höher als die Werte, die für Davos ermittelt wurden. Allerdings verfügt Davos weder über einen Erdgasanschluss noch über eine eigene Kehrlichtverbrennungsanlage. Die Energieproduktion in Schweizer KVA im selben Jahr (2004) beträgt 3561 GWh Energie (BfE 2006) und prägt die schweizerischen Mittelwerte bei den übrigen Energieträgern deutlich.

! Geringe Senkenleistung im Vergleich zu den Emissionen

Ein Vergleich der CO₂-Emissionen mit den -Senken zeigt, dass der Senkenanteil gering ist. Durch die vorgelagerten und direkten Emissionen innerhalb und ausserhalb der Gemeindegrenzen wurden im Jahr 2005 insgesamt 109'330 Tonnen CO₂ emittiert. Demgegenüber konnten durch Biomasse und Boden in Davos jährlich 11'270 Tonnen CO₂ gebunden werden, was 10% der Emissionen entspricht.

Die Netto-CO₂-Bilanz, mit Berücksichtigung der anthropogen bedingten Senken, für das Jahr 2005 beträgt demgemäss 94'539 Tonnen CO₂-Emissionen.

! Geringer Anteil an neuen erneuerbaren Energien

Die Ergebnisse der Studie dokumentieren die Abhängigkeit von den fossilen Energieträgern in eindrucklicher Weise. Rund 70% des gesamten Endenergieverbrauchs sind im Jahre 2005 durch fossile Energien gedeckt worden. Davon entfielen 55% auf Erdöl, 14.6% auf die Treibstoffe Diesel und Benzin und 0.5% auf Gas. Die erneuerbaren Energieträger machen einen Anteil von 26% des gesamten Energieverbrauchs aus. Davon wurden 23.1% durch Strom aus Wasserkraft gedeckt. Daneben ist der Anteil an den sogenannten neuen erneuerbaren Energien gering: Holz (1.4%), Erdwärme (0.87 %), Solarstrom (0.01%) und Biomasse (0.18%).

6.2 Klimapolitik der Gemeinde: Haupthandlungsfelder und spezifische Empfehlungen

Die Bilanz hat auf die hauptsächlichen Emissionsquellen und Senken, sowie die verschiedenen Handlungsfelder mit CO₂-Einsparpotential identifiziert. Darauf wird in den Kapiteln 4 und 5 ausführlich eingegangen. Die nachfolgenden Ausführungen fassen wichtige Aussagen und Schlüsse zusammen und stellen diese durch zusätzliche Informationen in einen übersichtlicheren Kontext.

6.2.1 Raumwärme

Gemäss der Studie werden rund 65% der in Davos eingesetzten Endenergie für die Bereitstellung von Raumwärme aufgewendet. Davon entfallen rund 80% auf die Deckung des Heizwärmebedarfs, der Rest wird für die Warmwasseraufbereitung verwendet (siehe Kapitel 3). Durch Gebäudesanierungen, sparsame Neubauten (Minergie) und eine angepasste Beheizung der Gebäude könnte der Energieverbrauch und damit auch der CO₂-Ausstoss erheblich gesenkt werden. Die Studie weist in diesen Bereichen durchwegs hohe Einsparpotentiale aus.

> Gebäude wärmetechnisch sanieren

Aufgrund der langen Nutzungsdauer von Gebäuden, der energietechnisch strengerer Vorschriften, effizienteren Möglichkeiten für Neubauten sowie der relativ geringen Zubaurate kommt der Altbausanierung eine besondere Bedeutung zu (Gemäss Baustatistik sind zwischen 1985 und 2002 im Durchschnitt in Davos pro Jahr 4 Einfamilienhäuser und 11 Mehrfamilienhäuser neu gebaut worden). Ein Teil davon waren Ersatzbauten. Bei insgesamt rund 2'200 Wohnbauten, Hotels und Kliniken lag die Zubaurate bei rund 0.5% (aktuell wird der Wert zwischen 0.5 und 1 Prozent liegen). Hier besteht die Möglichkeit, energetische Sanierungen im Zuge ohnehin anstehender Sanierungen durchzuführen. Die wichtigsten Massnahmen zur Einsparung von Heizwärme sind: Wärmedämmung der Fassaden, der Dächer oder Dachgeschosse und der Kellerdecken sowie der Einbau von Wärmeschutzverglasungen.

Technisch betrachtet kann jede der Gebäudekomponenten (Fassade, Fenster und Dach) einzeln saniert werden. Für die Energiebilanz einträglich sind jedoch Gesamtsanierungen. Deshalb ist die finanzielle Unterstützung von Gebäudesanierungen über die Förderprogramme des Kantons Graubünden oder der Stiftung Klimarappen an entsprechende Auflagen gebunden. Beim Kanton Graubünden z.B. werden nur Gesamtsanierungen (Gebäudehülle, Fenster und Dach) unterstützt, die einen bestimmten Energieeffizienz-Grenzwert unterschreiten.

Die CO₂-Bilanz hat bei Altbauten ein deutliches Einsparpotential für Raumwärme identifiziert. Dies kann mit der Geschichte des Ortes erklärt werden. Mit der Umstrukturierung zum Wintersportort (1957-1965) erfuhr Davos grosse Veränderungen: Viele Sanatorien und Kuranstalten wurden zu Hotels umgebaut und der Siedlungsraum dehnte sich rasch aus. Später, ab Mitte der 60er Jahre,

veränderte sich vor allem die Bebauungsdichte. Zu dieser Verdichtung trug zusammen mit der Legalisierung des Stockwerkeigentums auch das im damaligen Baugesetz verankerte Hoffstattrecht bei, das einen Abriss und Wiederaufbau der Liegenschaft mit der bisherigen Zweckbestimmung innerhalb drei Jahren ermöglichte (GÜNTHER 1985). In dieser Zeit wurden viele Altbauten abgerissen, neu aufgebaut und im Stockwerkeigentum weiterverkauft, vielfach als Zweitwohnungen. Weil damals energietechnische Aspekte noch keine Bedeutung hatten, sind viele dieser Gebäude energetisch gesehen in einem schlechten Zustand, was sich negativ auf den Heizenergiebedarf auswirkt. Weil damals der Bedarfszuwachs an Heizenergie vor allem durch Erdölbrennstoffe gedeckt wurde und sich dieser Trend bis in die 1990er Jahre fortsetzte, ist hier ein deutliches CO₂-Einsparpotential gegeben.

Mit der Einführung des Stockwerkeigentums sind in Davos viele Gemeinschaften von Eigentümern entstanden, welche ihre gemeinsamen Anliegen über die Stockwerk-eigentümerversammlung regeln müssen. Weil für einschneidende Beschlüsse dort je nach Reglement das absolute Mehr der Wertquoten oder sogar Einstimmigkeit gefordert sind, könnte das Stockwerkeigentum in Zukunft zu einem Hindernis für wärmetechnische Sanierungen werden.

6.2.2 Verhaltensänderungen

Der Energieverbrauch für die Bereitstellung von Raumwärme wird im Wesentlichen durch die Raumtemperatur und durch Luftaustausch bestimmt. Diese sind vom Verhalten der Nutzerin oder des Nutzers abhängig. Die Studie hat verschiedene Massnahmen mit einer Reduktion der Raumtemperatur geprüft und es konnten kleine bis mittlere Einsparpotentiale ausgewiesen werden.

> (Zweit-)Wohnungen bedarfsgerecht heizen

In Davos werden schätzungsweise 20 bis 30% der CO₂-Emissionen aller Heizölfeuerungsanlagen durch Zweitwohnungen emittiert. Rund 70% der Zweitwohnungen sind durchschnittlich nur während 65 Tagen im Jahr belegt (SCHNYDER 2006). Man muss davon ausgehen, dass viele dieser Zweitwohnungen nicht nur energetisch gesehen in einem schlechten Zustand sind, sondern zudem bei Abwesenheit stärker als notwendig beheizt werden. Zwar liegen für Davos keine gesicherten Daten vor, entsprechende Erhebungen in der Gemeinde Vaz/Obervaz bestätigen diese Vermutung (IMBODEN 2004). Obwohl die CO₂-Studie für das Beheizen von Zweitwohnungen nur ein relativ geringes Sparpotential ausweist, gilt es, das Bewusstsein hierfür bei den Ferien- und Zweitwohnungsbesitzenden zu stärken. Das grosse Sparpotential liegt auch hier bei einer energietechnischen Sanierung der Gebäude.

6.2.3 Warmwasser

> Warmwasserverbrauch senken

Beim Warmwasser bestehen Einsparmöglichkeiten einerseits bei der Verwendung verbesserter Brennertechniken, wärmegeprägten Heizkesseln und Speichern sowie bei der Reduzierung von Zirkulationsverlusten. Diese Massnahmen sind in der Studie nicht speziell untersucht worden, sind jedoch in der Massnahme „verbesserte Heiztechniken von Ölfeuerungen“ im Abschnitt Energieeffizienz indirekt enthalten. Die Studie hat sich auf die Wirkung der Wasserspardüsen konzentriert. Diese kostengünstigen Bauteile weisen insbesondere in Haushalten, Hotels, Gastwirtschaften und Kliniken ein deutliches Einsparpotential beim Warmwasserverbrauch und somit bei den CO₂-Emissionen aus.

6.2.4 Erneuerbare Energien

Der Energieverbrauch nach Energieträgern weist auf ein noch wenig genütztes Potential für erneuerbare Energieträger hin. In Davos wird mehrheitlich Wasserkraft als erneuerbare Energiequelle

für die Produktion von Strom eingesetzt. Erneuerbare Energiequellen, die ganz oder teilweise für die Wärmeerzeugung eingesetzt werden, wie WKK-Anlagen, Sonnenkollektoren, Erdwärmesonden und Holzheizungen sind an der gesamten Wärmeerzeugung deutlich untervertreten. Damit der Verbrauch fossiler Energieträger im Bereich der Wärmeerzeugung reduziert werden kann, muss gleichzeitig die Nutzung der erneuerbaren Energien wie Solarenergie, Erdwärme und Holz gefördert werden.

> Nutzung von Davoser Holz fördern

Bei der Förderung von Holz als Brennstoff müssen in Zusammenhang mit dem allgemein erhöhten Ausstoss von Feinstaub durch Holzfeuerungen lufthygienische Aspekte berücksichtigt werden. Eine Förderung des Bereichs Holzfeuerungen kommt für den Luftkurort Davos nur in Zusammenhang mit entsprechenden Filtersystemen in Frage. Falls eine grössere Anlage realisiert wird, z.B. ein Quartier-Fernheizkraftwerk, könnte zusätzlich auch das in Davos anfallende Altholz (jährlich rund 2'200 m³) als Brennholz genutzt werden, anstatt wie bisher in der KVA Trimmis oder anderswo verbrannt zu werden. Zusammen mit bisher nicht genutztem Holz aus dem Davoser Wald könnten jährlich maximal 7000 m³ Holz als Brennstoff genutzt werden. Damit könnte rund 4.2% des Wärmebedarfs 2005 mit Holz gedeckt werden, was bei einem Ersatz von Heizöl, einer CO₂ Reduktion von rund 4000 Tonnen entsprechen würde.

Zusätzlich zur Nutzung als Brennstoff kann Holz als CO₂-neutraler Baustoff andere Baumaterialien mit einer höheren CO₂-Belastung wie zum Beispiel Zement oder Backstein ersetzen und zudem über eine Erhöhung der Senkenleistung zu einer indirekten Reduktion des CO₂-Ausstosses beitragen. Die Nutzung von Holz als Baustoff oder für Holzprodukte könnte in Davos wegen der Zunahme der Waldfläche und der momentan eingeschränkten Nutzung gesteigert werden. Die Studie weist für einzelne Massnahmen in diesem Bereich CO₂-Sparpotentiale im Bereich von 2 bis 8% auf.

Unerwartet gering ist das Ergebnis der hypothetischen Umwidmung von 50% der heute extensiv bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen unterhalb 2000 m ü.M. zu Wald ausgefallen. Mit einem zusätzlichen Senkenpotential von rund 2'521 Tonnen CO₂ pro Jahr kann die CO₂-Bilanz von Davos mit dieser relativ einschneidenden Massnahme (Landwirtschaft, Naturschutz, Landschaftsbild) nur um 2.3% verbessert werden.

Für den Waldbau würden eine verstärkte Nachfrage nach Konstruktionsholz wie auch eine Förderung der Senkenwirkung im lebenden Wald neue Herausforderungen an die Bewirtschaftung stellen. Es wäre lohnend, ein Nebeneinander der bereits aktuellen Ansprüche an den Wald wie der Schutz vor Naturgefahren, die Erholung, oder der Naturschutz mit einer optimalen CO₂-Senkenwirkung (Wald- und Holznutzung) zu prüfen, sowie die notwendigen Rahmenbedingungen und volkswirtschaftlichen Konsequenzen einer Umsetzung abzuklären.

> Nutzung von Davoser Sonne fördern

Die Nutzung von Sonnenenergie ausschliesslich zur Warmwasseraufbereitung bringt CO₂-Reduktionen in eher geringerem Umfang mit sich. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass insgesamt nur rund 12% der Energie für die Wärmeerzeugung für die Warmwasseraufbereitung aufgewendet werden. Setzt man die Solarenergie sowohl zur Warmwasseraufbereitung als auch zur Raumheizung ein, können deutlich mehr Tonnen CO₂ einspart werden. In diesem Fall erweist sich die in Davos zur Verfügung stehende Dachfläche als zu klein, um einen grösseren Anteil des Heizenergiebedarfes mit Solarenergie abzudecken. In Verbindung mit energietechnisch sanierten Gebäuden bleiben Sonnenkollektoren eine brauchbare Option.

Die Nutzung von Solarenergie zur Stromerzeugung ist sehr teuer und bringt nur dann etwas, wenn der Solarstrom zum Heizen verwendet wird und dabei Heizöl ersetzt. Für diesen Fall wurden grössere CO₂-Einsparungen ermittelt.

> Nutzung von Davoser Erdwärme fördern

Mit Erdwärme betriebene Heizsysteme in Form von Erdwärmesonden haben sich in Davos bereits bewährt. Ende 2005 waren in Davos rund 126 solcher Anlagen in Betrieb. Die Studie zeigt, dass über weitere Erdwärmesonden die CO₂-Emissionen erheblich reduziert werden können.

Von den 31.7 GWh Strom, die 2005 für die Wärmeherzeugung eingesetzt wurden, wird nur ein Bruchteil davon für den Betrieb der Wärmepumpen verwendet. Der grösste Teil davon wird für den Betrieb von Elektroheizungen eingesetzt. Wenn 75% des Stroms für Elektroheizungen in Davos (2005) zukünftig für Heizsysteme mit Wärmepumpen eingesetzt würden, könnten mit dieser Strommenge rund 90-100 GWh Wärmeenergie erzeugt werden.

6.2.5 Energieeffizienz

Der technische Fortschritt bringt einerseits eine höhere Energieeffizienz mit sich, andererseits fördert er ständig neue Energieanwendungen. Dies führt in der Summe oft zu einem Mehrverbrauch an Energie.

> Effiziente Elektrogeräte fördern

Die Gemeinde hat keinen direkten Einfluss auf die Steigerung der Energieeffizienz bei Elektrogeräten. Dies bleibt dem Hersteller der Geräte sowie der Eidgenossenschaft als Kontrollbehörde überlassen. Trotzdem kann die Gemeinde über Förderprogramme den Bezug besonders sparsamer Geräte fördern, analog den Städten Zürich, Bern und Schaffhausen. Das Energieversorgungsunternehmen ewz vergütet beispielsweise den Bezügerinnen und Bezüger seines Stroms 200 bzw. 100 Franken beim Kauf eines Kühlschranks oder eines Gefriergeräts der Effizienzklasse A++ bzw. A+. Die Gemeinde kann zudem über den Kauf von Geräten für den Eigengebrauch auf die Energieeffizienz (Energiedeklaration, Energieetiketten) achten. In der Studie wird diese Massnahme erwähnt, aber nicht quantifiziert. Die Studie beschränkt sich auf das Problem der Leerlaufverluste (Standby-Mode), das mit technischen Massnahmen, wie z.B. Abschalten der Geräte, vermieden werden kann. Für diese kostengünstige und im Prinzip auch sinnvolle Massnahme weist die Studie nur ein geringes CO₂-Einsparpotential aus.

> Effizienzsteigerung der Ölfeuerungsanlagen propagieren

Bei den Ölfeuerungen bestehen Einsparmöglichkeiten hinsichtlich der Verwendung verbesserter Brennertechniken, wärmegedämmter Heizkessel und Speicher sowie der Reduzierung von Zirkulationsverlusten. Betreffende Massnahmen würden für Davos ein mittleres Einsparpotential mit sich bringen. Allerdings stünden sie nicht im Einklang zu den langfristigen Zielsetzungen, der umfassenden Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare. Als Übergangslösung können Massnahmen zur Effizienzsteigerung der Ölfeuerungsanlagen, insbesondere dort wo keine Alternativen zur Verfügung stehen, weiter verfolgt werden.

6.2.6 Verkehr

Die Mobilität nimmt in der Schweiz seit Jahren stetig zu und alle Trends deuten auf ein weiteres Wachstum des Verkehrs hin. Da die Mobilität eine der Grundvoraussetzungen für den Tourismus ist, standen und stehen für die Gemeinde Davos Massnahmen zur Förderung emissionsärmerer Fahrzeuge und umweltfreundlicherer Treibstoffe, sowie die Verlagerung vom privaten auf öffentliche Verkehrsmittel im Vordergrund. Daneben kann mit dem Propagieren von sparsamem Fahrverhalten, oder Car-Sharing oder der Förderung des Langsamverkehrs (Veloverkehr, Fussverkehr, Verkehr durch andere Fahrzeuge wie Kutschen) Ersparnisse erzielt werden. Letztere zwei Massnahmen wurden in der Studie nicht geprüft, sind jedoch sicherlich weiter verfolgenswert. Insgesamt weist die Studie hinsichtlich der CO₂-Emissionen für den Verkehrsbereich geringe bis mittlere Einsparpotentiale aus.

> **Alternative Antriebssysteme propagieren**

Alternative Antriebssysteme wie Elektromotoren, Hybridfahrzeuge (eine Kombination zwischen Elektro- und Verbrennungsmotor), oder Brennstoffzellenfahrzeuge werden in Zukunft den Fahrzeugmarkt immer stärker durchdringen. Im Moment stellen nur Elektroautos und Hybridfahrzeuge eine mögliche Alternative dar. Auch die Anzahl der Erdgas- oder Biogas-betriebenen Fahrzeuge wird weiter zunehmen. Die Studie zeigt allerdings, dass in Davos die Rahmenbedingungen wie z.B. keine Erdgasversorgung, geringes Potential für weitere Biogasproduktion, kalte und schneereiche Winter etc., der Einsatz CO₂-effizienterer Antriebssysteme eingeschränkt ist. Bei der Brennstoffzellentechnik sind sowohl die hohen Investitionskosten als auch die Produktion von Wasserstoff, die mit CO₂-neutralem Strom erfolgen müsste, zurzeit noch hinderlich.

> **Alternative Treibstoffe propagieren**

Treibstoffe wie Biodiesel und Alkohol (Methanol oder Ethanol) werden, sofern sie ökologisch und preisgünstig produziert werden können, weiter Marktanteile gewinnen. Dies umso mehr als im anstehenden neuen Mineralölsteuergesetz Fördermassnahmen für Treibstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen (Biogas, Bioethanol, Biodiesel) vorgesehen sind. (Es wird vorgeschlagen diese von der Mineralölsteuer ganz zu befreien). In der Gemeinde Davos wäre der Einsatz von Biodiesel, sofern die Fahrzeughersteller sich dazu einverstanden erklären und der Treibstoff Kälteresistenz zeigt, eine CO₂ wirksame Massnahme. Die Studie hat ein Potential für Biodiesel und damit auch ein Einsparpotential für CO₂ ausgewiesen. Bestimmte Teilverkehrsbereiche wie z.B. Verkehrsbetrieb Davos, Pistenfahrzeuge oder landwirtschaftliche Fahrzeuge könnten hier eine Vorreiterrolle übernehmen. Die Förderung alternativer Treibstoffe ist primär Sache des Bundes. Der Handlungsspielraum für die Gemeinde ist an ein funktionierendes Verteilernetz und an den Markt gebunden.

> **Öffentlichen Verkehr ausbauen**

Beim öffentlichen Verkehr hat sich die Erweiterung des bestehenden Busangebotes als wirksamste Massnahme bezüglich der CO₂-Reduktion herausgestellt. Dies immer unter der Voraussetzung, dass beim Personentransport eine Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr stattfindet.

Die Errichtung einer S-Bahn und der Ausbau der RhB-Linie nach Klosters/Landquart, beides sehr kostenintensive Projekte, würden eine vergleichsweise geringere CO₂-Einsparung mit sich bringen. Bei den Berechnungen des Schienenverkehrs blieb die Substitution älterer Fahrzeuge mit neuen energieeffizienteren Triebfahrzeugen unberücksichtigt.

In den stark belasteten Verkehrszonen (Promenade und Talstrasse) soll der Langsamverkehr (LV) zusammen mit dem öffentlichen Verkehr (ÖV) noch bessere Wegekettenskombinationen ermöglichen. Nach der Untersuchung der Schnittstellen zum ÖV sollen bauliche und organisatorische Verbesserungen eingeleitet werden. Dadurch könnte der motorisierte Individualverkehr entlastet werden.

> **Güterverkehr auf die Schiene verlagern**

Im Güterverkehr bestehen die gleichen technischen Optionen zur Minderung des Treibstoffverbrauchs wie bei den Personenzugfahrzeugen. Weil die Bahn die Feinverteilung innerhalb der Landschaft nicht ersetzen kann, besteht hier keine Verlagerungsmöglichkeit. Hingegen könnten Güter von ausserhalb Davos vermehrt per Bahn angeliefert werden. Auf Berechnungen wurde jedoch verzichtet.

> **Car-Sharing**

Ein verstärktes Angebot an Autos für „Car-Sharing“ vor Ort würde gemäss der Studie innerhalb der Landschaft nur zu einer geringen CO₂-Reduktion führen. Zudem ist die Nachfrage unklar, denn das bisherige Angebot an Mobility-Fahrzeugen wird heute in Davos ungenügend genutzt.

6.3 Klimapolitik der Gemeinde: Allgemeine Empfehlungen

6.3.1 Strategisches Vorgehen in verschiedenen Sektoren der Klimapolitik

Die anhaltende Klimaveränderung und die Erkenntnis, dass anthropogene Emissionen – insbesondere CO₂ – den Treibhausgaseffekt wesentlich verstärken, verlangt nach einer entsprechend ausgerichteten kommunalen Energiepolitik. Mit Bezug auf die Zukunftsfähigkeit des Ortes in seiner bewährten Wirtschaftsstruktur sollen die entsprechenden Erkenntnisse und die möglichen Folgen und Chancen für Davos thematisiert werden und demgemäss dazu beitragen, dass die CO₂-Thematik zu einer wesentlichen Grundlage für politische Entscheidungen wird.

Mit dem **Label Energiestadt** hat die Gemeinde bereits einen ersten Schritt in die Richtung einer konsequenten und ergebnisorientierten Energiepolitik getan. Mit der beim Trägerverein in Vorbereitung liegenden CO₂-Deklaration für Energiestädte (EnergieSchweiz für Gemeinden und Trägerverein Energiestadt 2005) wird die Gemeinde die Möglichkeit haben, ihre Aktivitäten in Richtung einer CO₂-Reduktion zu verstärken und mittels einer quantitativen Erfolgskontrolle deren Effizienz zu prüfen (Erfolgskontrolle). Von diesem Instrument soll unbedingt Gebrauch gemacht werden.

Komplementär zu den Förderprogrammen von Bund und Kanton soll auch die Gemeinde zur Reduktion des Wärmebedarfs der Gebäude ein **Förderprogramm Energie (FPE) erarbeiten**. Dieses soll mit einem Teil der Erträge aus Energiekonzessionen gespiesen werden und die Förderbeiträge an die CO₂-Einsparungen koppeln. Das Förderprogramm soll auch sparsame Energietechniken und erneuerbare Energien fördern und insbesondere diejenigen Förderbereiche abdecken, die von Bund und Kanton nicht oder ungenügend berücksichtigt werden und gemäss der Studie als für die Verhältnisse vor Ort sinnvolle Ergänzung zu betrachten sind.

Aufgrund der langen Nutzungsdauer der Gebäude sollen alle Neubauten so energieeffizient wie möglich gebaut werden. Der heute technisch sinnvolle und langfristig auch wirtschaftlich vertretbare **Minergie-Standard** soll zum **Richtmass für Neubauten** und in der Baugesetzgebung festgeschrieben werden.

Das steigende Volksvermögen und die parallel dazu steigenden Ansprüche werden wie in der Vergangenheit auch zu einer Zunahme der Wohnfläche pro Kopf führen und einen Teil der technisch umgesetzten Einsparungen zunichte machen. Deshalb muss geprüft werden, ob beim Bau von grösseren Wohnungen, die über einer bestimmten Norm liegen, eine **Abgabe** geleistet werden soll, die einem Energieförderfonds zu Gute kommt.

Der Davoser Wald soll als bedeutende und grösste CO₂-Senke in der Gemeinde zukünftig intensiver bewirtschaftet und die **Senkenleistung von Wald** und Konstruktionsholz erhöht werden. Durch eine gezielte **Förderung von Holzbauten und von Holzfeuerungsanlagen** soll die Gemeinde – ohne die lufthygienische Situation zu beeinträchtigen – die entsprechenden Rahmenbedingungen für einen Absatzmarkt in der Landschaft schaffen.

Mit einem Teil der Erträge aus Energiekonzessionen oder Dividenden etc. soll die Gemeinde in Zusammenarbeit mit dem Elektrizitätswerk Davos AG (EWD) **Vorhaben und Aktionen für eine effizientere Energienutzung** definieren und im Sinne einer aktiven Öffentlichkeitsarbeit dazu Veranstaltungen oder Kampagnen durchführen.

Für den Bereich Verkehr weist die Studie, zumindest innerhalb des aktuellen Handlungsspielraumes der Gemeinde, nur bescheidene Sparpotentiale aus. Die grössten CO₂-Einsparungen würden beim Einsatz **sparsamer Personenwagen** (3-Liter-Autos) und bei der Umstellung auf **alternative Treibstoffe** erzielt. Beide Massnahmen müssen in erster Linie auf staatlicher Ebene propagiert und gefördert werden. Die Gemeinde soll die entsprechenden **Entwicklungen genau verfolgen** und diese für bestimmte **Teilbereiche in Erwägung ziehen**.

Solange diese Angebote nicht bestehen, soll man sich auf eine **veränderte Fahrtechnik („Eco-Drive“)** konzentrieren. Als Massnahme zur Förderung eines sparsamen Fahrverhaltens hat der VBD 2005 einen Grossteil seiner Fahrer entsprechend ausgebildet. Neben dem VBD soll die Gemeinde auch für die übrigen Lenkerinnen und Lenker gemeindeeigener Fahrzeuge **Kurse über EcoDrive® durchführen**, und generell das Kursangebot in Davos propagieren.

Als Begegnungs-, Bildungs- und Erholungsort soll **Davos** auch den **Langsamverkehr (LV) fördern** bzw. den entsprechenden Anteil am Gesamtverkehr erhöhen. Der Langsamverkehr muss neben dem motorisierten Individualverkehr (MIV) und dem öffentlichen Verkehr (ÖV) als gleichwertiger dritter Pfeiler des Personenverkehrs verankert werden. Ein erster Schritt zur Förderung des emissionsfreien Langsamverkehrs wäre eine **Analyse des bestehenden LV-Netzes und die Entwicklung von Massnahmen zur Verbesserung desselben** sowie der Schnittstellen zum ÖV und zum MIV.

Im Rahmen der **Öffentlichkeitsarbeit** soll die Gemeinde regelmässig über die umgesetzten Massnahmen und die damit erreichten **CO₂-Einsparungen** respektive die Effektivität der Massnahmen berichten und diese auch als **Marketinginstrument** nutzen.

6.4 Klimapolitik der Gemeinde: Vergleich mit den Vorgaben für CO₂-Einsparziele

Um eine effektive Verbesserung der CO₂-Bilanz der Gemeinde Landschaft Davos zu erreichen, ist eine vielschichtige Strategie notwendig, die vor allem die Reduktion des Energiebedarfs in den Bereichen Heizen und Verkehr in den Vordergrund stellt. Parallel dazu müssen erneuerbare Energien gefördert werden.

Je nach Zielvorgabe können entweder einzelne Massnahmen oder eine Vielzahl von Kombinationen zum Ziel führen (siehe Kapitel 5). Weil jedoch jede ergriffene Massnahme die Ausgangsbedingungen für weitere Massnahmen ändert, können die Reduktionspotentiale von Massnahmen-Kombinationen nur annähernd genau berechnet werden.

Die Studie zeigt, dass die von der Gemeinde festgelegte Zielsetzung, die CO₂-Emissionen bis 2014 um 15% gegenüber dem Wert von 2004 zu senken, mit der Umsetzung einiger weniger Massnahmen problemlos erreicht werden kann. Hingegen kann das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft mit den hier vorgeschlagenen Massnahmen und -Kombinationen in absehbarer Zeit nicht erreicht werden. Dazu müssten weitere Effizienzverbesserungen, z.B. bei Lüftungsanlagen, Abwärmenutzung etc. identifiziert und umgesetzt werden. Da die Idee der 2000-Watt-Gesellschaft nicht für eine isoliert zu betrachtende und kalte Region ausgedacht wurde, stellt sich zudem die Frage, ob zur Verbesserung der Vergleichbarkeit der klimatisch bedingte Energie-Mehrbedarf kühlerer Regionen nicht über einen „Heizgradtagausgleich“ berücksichtigt werden sollte.

Gemäss der Studie kann die CO₂-Neutralität für Davos ungefähr mit den Zielvorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft gleichgesetzt werden. Dies ist nicht überraschend, wenn man die Grundüberlegungen der 2000-Watt-Gesellschaft betrachtet. Es deutet aber auf die Verwendbarkeit der Berechnungen und damit auch der getroffenen Annahmen hin.

6.5 Klimapolitik der Gemeinde: Wissenschaftliche Studien und politische Umsetzung

Mit der vorliegenden Studie wird aufgezeigt, welche Massnahmen bezüglich einer CO₂-Reduktion in der Gemeinde Landschaft Davos mehr und welche weniger wirkungsvoll sind. Die Berechnungen beruhen auf überprüfbaren Daten, Annahmen und Zusammenhängen, die sich – wenn immer es möglich war – auf Davos beziehen. Unabhängig von den Zielsetzungen wird die öffentliche und

politische Akzeptanz der Massnahmen sowie die anfallenden Investitionskosten, neben technischen und marktwirtschaftlichen Kriterien, die kommunale Energiestrategie prägen.

Aus der Studie wird ersichtlich, dass in Davos Handlungsbedarf besteht, klimapolitisch aktiv zu werden. Es wird ebenfalls ersichtlich, dass verschiedenste Akteure zu einer Verbesserung der hiesigen CO₂-Bilanz beitragen können, - neben Bund, Kanton, Gemeinde, Stiftungen oder der Wirtschaft ist das auch jeder und jede einzelne Privatperson. Wir hoffen, dass die Studie alle Akteure dazu motiviert, im Sinne des Klimaschutzes zu handeln.

Dank

Der vorliegende Bericht stützt sich auf zahlreiche kleinere und grössere Hilfsleistungen Dritter, insbesondere fachliche Auskünfte und Datenlieferungen. An dieser Stelle möchten wir uns dafür ganz herzlich bedanken. Besonders bedanken möchten wir uns bei der Gemeinde für ihre Initiative, das Projekt mit uns zu bearbeiten, und auch für die grosse fachliche Unterstützung und die finanzielle Beteiligung. Die umfangreichen, über Jahre sorgfältig erhobenen Daten der Gemeinde bilden das Rückgrad der Studie. Ebenfalls ein grosses Dankeschön geht an die KTI für die finanzielle Beteiligung. Die KTI ist die Förderagentur für Technologie und Innovation des Bundes, am Bundesamt für Berufsbildung und Technologie BBT. Wir hoffen, analog zu ihrem Credo „science to market“ einem Credo „science to public service“ zu dienen. Bedanken möchten wir uns auch bei der Forschungsanstalt WSL respektive dem SLF in Davos, welche es ermöglicht haben, dass wir mit diesem Projekt in einen neuen Arbeitsbereich vorstossen durften. Zahlreiche Personen und Institutionen haben wesentlich zum Gelingen des vorliegenden Berichtes beigetragen - ihnen allen sei ganz herzlich gedankt. Speziell erwähnen möchten wir den Kaminfegermeister von Davos Jürg Schlaepfer, den Architekten Urs Krähenbühl, das Amt für Natur und Umwelt Graubünden (Remo Fehr, Hanspeter Lötscher, Peter Vieli), das Büro INFRAS, das Amt für Energie Graubünden (Andrea Lötscher), Davos Tourismus (Norbert Gruber), die Stadt Winterthur (Erik Schmausser), das Bezirkstiefbauamt 5 (Rico Nussbaumer), die Eidg. Zollverwaltung Bern (Peter Saegesser), das EW Davos AG (Gisep Toenett und Jürg Berchtold), der Forstdienst der Gemeinde Davos (Hanspeter Hefti), die Gebäudeversicherung Graubünden (Manuela Lechtaler), die Fa. Gredig & Co. AG Brenn- und Treibstoffe (Urs Gredig), Jörg Issler, Heizungsplaner Davos, die Rhätische Bahn (Claudio Cajacob), das Strassenverkehrsamt Graubünden (Anton Mark), das Tiefbauamt der Gemeinde (Kurt Eberle), und der VBD Davos (Heinz Ronner, Fred D'Alberti). – Herzlichen Dank!

7 Literaturverzeichnis

- AfU, 2001: Emissionskataster 2000. Amt für Umwelt Graubünden, Chur. 47 S.
- AWG, 2002: Graubünden in Zahlen, Daten für 2005. Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden (Sektion Statistik), Graubündner Kantonalbank.
- BAUDER, A.; SCHÄR, C.; BLATTER, H., 2004: Die Gletscher der Schweizer Alpen 2001/02 und 2002/03. Die Alpen, 10: 31-39.
- BACHMANN P., 1996: Schweizerischer Forstkalender. Taschenbuch für Forstwesen, Holzgewerbe und Jagd. Huber Verlag, Frauenfeld.
- BAFU, 2006: Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll. www.bafu.ch
- BEBI P.; GRÊT-REGAMEY A.; KYTZIA S.; LARDELLI C.; LUNDSTRÖM C.; WALZ A., 2005: Simulationsmodell für die Raumentwicklung Alpiner Regionen. Schlussbericht NFP48.
- BEBI, P., 1999: Erfassung von Strukturen im Gebirgswald als Beurteilungsgrundlage ausgewählter Waldwirkungen. Dissertation ETHZ Nr. 13.192, Zürich..128 S.
- BfE, 2004: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2004. Bundesamt für Energie. Bern. 52 S.
- BfE, 2005: Treibstoffverbrauch der neuen Personenwagen immer noch zu hoch. Mitteilung des UVEK vom 09.06.2005. Bundesamt für Energie. Bern.
- BfE, 2006: Faktenblatt zu den Energieperspektiven. Bundesamt für Energie. http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00538/index.html?lang=de&dossier_id=00852 (20.7.2006). 7 S.
- BfE, 2006: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2005. Bern, 63 S.
- BfS, 2006: Statistisches Jahrbuch der Schweiz, -08: Energie. Bundesamt für Statistik. http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/lexikon/bienvenue___login/blank/zugang_lexikon.Document.22292.pdf (22.7.2006). 5 S.
- BUWAL, 1999: Abfall verbrennen im Cheminée produziert Dioxin. UMWELT-Magazin: 3.
- BUWAL, 2000: Handbuch Emissionsfaktoren für stationäre Quellen, Ausgabe 2000. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern. 355 S.
- BUWAL, 2001: Abfall: Bauabfälle Schweiz - Mengen, Perspektiven und Entsorgungswege. Band 1: Kennwerte. Umwelt-Materialien Nr. 131, Bern, 97 S.
- BUWAL, 2003: Energieinhalte und CO₂-Emissionsfaktoren von fossilen Energieträgern (24.4.03). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern. <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/oekonomie/klima/daten/33.pdf> (20.7.2006). 1 S.
- BUWAL, 2004: Handbuch Offroad-Datenbank. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern. http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_luft/vorschriften/industrie_gewerbe/offroad/ ((20.7.2006).
- BUWAL, 2005a: Arbeitsblatt Emissionsfaktoren Feuerungen (Stand Oktober 05). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern. http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/d/feuerungen/arbeitsblatt_ef_feuerungen_v10_05_d.pdf (20.7.2006).
- BUWAL, 2005b: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2003. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern. 208 S.

- BUWAL, 2005c: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2003. National Inventory Report 2005. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern. 208 S.
- ecoinvent CENTRE, 2005: ecoinvent data v1.2. Final reports ecoinvent 2000 No. 1-15. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. CD. <http://www.ecoinvent.ch/de/> (27.07.2006).
- EIA, 2006. International Energy Annual 2004. Energy Information Administration, July 31, 2006. <http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tableh1cco2.xls> (15.8.2006)
- ENGESSER, T., 2005: Emissionskataster der Stadt Winterthur. Luftschadstoffe und Klimagase. Aktualisierung 2005. Gesundheitsamt der Stadt Winterthur. 26 S.
- EWD, 2004: Seitenblicke, Geschäftsjahr 2004. Elektrizitätswerk Davos AG. Davos. 16 S.
- FISCHER, M.; WIPF, S., 2002: Effect of low-intensity grazing on the species-rich vegetation of traditionally mown subalpine meadows. *Biological Conservation* 104: 1-11.
- FISCHLIN, A.; BUCHTER, B.; MATILE, L.; AMMON, K.; HEPPELE, E.; LEIFELD, J.; FUHRER, 2003: Bestandesaufnahme zum Thema Senken in der Schweiz. Verfasst im Auftrag des BUWAL. Systemökologiebericht No. 29, Departement Umweltwissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), ISBN 3-9522686-0-7. 86 S.
- FISCHLIN, A.; BUCHTER, B.; MATILE, L.; HOFER, P.; TAVERNA, R.; RICHTER, K.; WERNER, F., 2006: CO₂-Senken und -Quellen in der Waldwirtschaft. Anrechnung im Rahmen des Kyoto-Protokolls. Bundesamt für Umwelt, BAFU. Bern. 45 S.
- GENESYS GmbH. 2003. UVB (abschliessende Voruntersuchung) für Gastro Kompakt Biogasanlage auf dem landwirtschaftlichen Betrieb von Anton und Iris Hoffmann-Stiffler in der Gemeinde Davos, GR. Frauenfeld.
- GOLDEMBERG J. and T.B. JOHANSSON eds., World Energy Assessment. Overview 2004 Update. UNDP, UN-DESA, WEC, NEW YORK, USA, 2004, 85 pp
- GÜNTER, Th. F., 1985: Landnutzungsveränderungen in einem alpinen Tourismusort. MaB Schlussbericht Nr. 13. Bern. 169 S.
- GUO, L.B., GIFFORD, R.M., 2002: Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8: 345-360.
- HAGEDORN, F.; KAUFMANN, E.; ZIMMERMANN, S.; VOLZ, R., 2005: Kohlenstoff-Vorrat. Waldbericht 2005 – Zahlen und Fakten zum Zustand des Schweizer Waldes. BUWAL & WSL: 36-39.
- HAGEDORN, F.; MAURER, S.; EGLI, P.; BLASER, P.; BUCHER, J.B.; SIEGWOLF, R., 2001: Carbon sequestration in forest soils - effects of soil type, atmospheric CO₂ enrichment, and N deposition. *European Journal of Soil Science* 52: 619-629.
- HARTMANN, M.; EGGER, K.; HEER, A.; KAPPELER, A.; LANZ, V.; MATTHAEI, D.; STURZENEGGER, R.; ZBINDEN, M., 2005: Das Ferienhaus im Schuss und die Umwelt im Lot - Tipps zum Thema Energie in Ihrer Ferienwohnung / Ihrem Ferienhaus. Vaz/Obervaz. 6 S.
- IMBODEN, D.; COLBERG, C., 2004: Fallstudie Energiestadt. Bericht zur Fallstudie Energiestadt WS 2004/05. Departement D-UWIS. ETHZ. Zürich. 195 S.
- IMBODEN, D.; COLBERG, C., 2005: Bericht zur Fallstudie Energiestadt, WS 2004/05, Departement D-UWIS, ETHZ. Zürich. 195 S.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). EarthPrint, Stevenage.

- JOCHEM E., ANDERSSON G., FAVRAT D., GUTSCHER H., HUNGERBÜHLER K., RUDOLPH VON ROHR P., SPRENG D., WOKAUN A. AND ZIMMERMANN M. (2004): Steps towards a sustainable development – A White Book for R&D of energy-efficient technologies, Zürich. 68 S.
- JOCHEM, E. UND M. JAKOB (Hrsg.) Energieperspektiven und CO₂-Reduktionspotenziale in der Schweiz bis 2010. 2004, vdf Hochschulverlag AG an der ETHZ, 296 S.
- LANDSCHAFT DAVOS GEMEINDE; Kanton Graubünden, 2004: Luftprogramm Davos 2004, 42 S.
- LANDSCHAFT DAVOS GEMEINDE; Trägerverein Energiestadt, 2004: Energiepolitisches Aktionsprogramm 2005-2009, Genehmigt vom Kleinen Landrat am 13. September 2004; Grundlage für Re-Audit vom Oktober 2004. 14 S.
- LARDELLI, C., 2003: Dynamik und Stabilität von Lawinenschutzwälder: Eie Luftbild- und GIS-gestützte Analyse. Diplomarbeit Universität Zürich und SLF Davos. 106 S.
- LEIFELD, J.; BASSIN, S.; FUHRER, J., 2003: Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. Schriftenreihe der FAL 44. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, FAL Reckenholz, Zürich. 120S.
- LISKI, J.; PERRUCHOUD, D.; KARJALAINEN, t., 2002: Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. Forest Ecology and Management 169: 159-175.
- METEOSCHWEIZ, 2006. [HTTP://WWW.METEOSCHWEIZ.CH/WEB/DE/KLIMA/KLIMAAENDERUNG.HTML](http://www.meteoschweiz.ch/web/de/klima/klimaaenderung.html). (27.7.2006)
- NIPKOW, J., BUSH, E. & BERGER-WEY, A., 2006: Topten-Ratgeber: Kochfelder. <http://www.topten.ch/ratgeber.php?p=338> (25.07.2006).
- NIPKOW, J.; BRUNNER, C.U., 2005: Energie effizient nutzen - Perspektiven des Elektrizitätsverbrauchs. Bulletin SEV/VSE, 9/2005: 27-32.
- NZZ am Sonntag, 5. Februar 2006: Private Klimapolitik.
- OTT, W., 2002: Neubauen statt Sanieren?, BfE/BWO/ARE. Bern. 119 S.
- PERRUCHOUD, D.; KIENAST, F.; KAUFMANN, E.; BRÄKER, O. U., 1999: 20th century carbon budget of forest soils in the Alps. Ecosystems 2: 320-337.
- PILS, M., 1998. Eine Nachhaltigkeitsstrategie für den Tourismus. Naturfreunde Internationale. 22 S.
- POHL, t., 2001. Treibhausgas-Emissionsbilanz der Stadt Luzern 1990-1999. Umweltschutz Stadt Luzern. Luzern. 57 S.
- PROCLIM, 2002: IPCC Assessment Report. Klimaänderung 2001: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. <http://www.proclim.ch/IPCC2001.html> (27.07.2006).
- PROCLIM, 2006: Ist Klimaschutz für die Wirtschaft interessant? CLIMATE-PRESS NR.22/ JANUAR 2006.
- RUDOLPH, S., 2003: Die Innovation und Diffusion des 3-Liter-Autos. Berlin. 41 S.
- SCHLESINGER, W.H., 1990: Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. Nature 348: 232-234.
- SCHMID, S.; HUBER-HOTZ, A., 2005: Botschaft vom 22. Juni 2005 zur Genehmigung des CO₂-Abgabesatzes für Brennstoffe (BBI 2005 4885). <http://www.admin.ch/ch/d/ff/2005/4885.pdf> (27.07.2006).
- SCHMITZ, R. A. 2002: The Earth's Carbon Cycle. Chemical Engineering Education, 296-309.

- SCHNYDER, O., 2006: Zweitwohnungen und ihre Eigentümer - Charakterisierung der Zweitwohnungseigentümer in der städtisch geprägten Top-Tourismusdestination Davos. Diplomarbeit Geogr. Institut, Univ. Zürich. Zürich. 97 S.
- SCHWEIZERISCHES LANDESFORSTINVENTAR, 1999: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. WSL/BUWAL. Bern; Stuttgart; Wien: Haupt Verlag. 442 S.
- SIEGENTHALER, U. T. F. Stocker, E. Monnin, D. Lüthi, J. Schwander, B. Stauffer, D. Raynaud, J.M. Barnola, H. Fischer, V. Masson-Delmotte, J. Jouzel. 2005. Stable Carbon Cycle–Climate Relationship During the Late Pleistocene. Science 25 November Vol. 310. no. 5752, pp. 1313 - 1317
- SPRENG, D. UND M. SEMADENI, 2001. Energie, Umwelt und die 2000 Watt Gesellschaft. CEPE, Centre for Energy Policy and Economics, Swiss Federal Institute of Technology, 2001
- STADT SCHAFFHAUSEN 2002. Ökobilanz. Bestandeserhebungen 2000/01. Stand der Massnahmenumsetzung. Schaffhausen. 181 S.
- STRÄSSLE, R. 2006: Der CO₂-Handel boomt. Umwelt Perspektiven, Nr. 3, Juni 2006
- SWISSOLAR, 2005: Sonnenkollektoren für Warmwasser und Heizung. Zürich. 11 S.
- THÜRIG, E., 2005: Carbon budget of Swiss forests: evaluation and application of empirical models for assessing future management impacts. Dissertation ETHZ No. 15872, Zürich. 125 S.
- UMWELTBUNDESAMT, 2003: Neues zum Thema Leerlaufverluste 2003/5. Berlin. 43 S.
- UMWELTBUNDESAMT, 2006.
<http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/kraftubst/kraftstoff/biodiesel/biodiesel.htm> (24.7.2006).
- UNFCCC, 2005: IPCC Special Report: Carbon Dioxide Capture and Storage. UNFCCC 2005, ISBN 92-9169-119-4.
- UVEK, 2006: CO₂ und Klima. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. <http://www.uvek.admin.ch/> (27.07.2006).
- VEREIN MINERGIE®, 2005: Reglement zu Nutzung der Qualitätsmarke MINERGIE®. Bern. 20 S.
- VOLZ, Richard. 2005. Die Rolle des Schweizer Waldes. Möglichkeiten und Grenzen von CO₂-Senken im Klimaschutz. <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/buwalcontent/folder/01-12-10co2/9.pdf>. (27.07.2006).
- VORLET, L. 2003. Hozhaushalt in der Landschaft Davos. Diplomarbeit ETHZ, Zürich. 96 S.
- WIPF, S.; RIXEN, C.; FISCHER, M.; SCHMID, B.; STOECKLI, V., 2005: Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. Journal of Applied Ecology 42: 306-316.