



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

**Schlussbericht** 27. Juni 2011

---

# **CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten**

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm EWG  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Bundesamt für Umwelt  
Abteilung Klima, Sektion Klimapolitik  
CH-3003 Bern  
[www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)

**Begleitgruppe**

Nicole A. Mathys BFE  
Andreas Eckmanns BFE  
Lukas Gutzwiller BFE  
Michael Kost BFE

Jacqueline Echensperger-Hug BAFU  
Isabel Junker BAFU

**Auftragnehmer:**

econcept AG  
Gerechtigkeitsgasse 20  
CH-8002 Zürich  
[www.econcept.ch](http://www.econcept.ch)

Amstein + Walthert AG  
Andreasstrasse 11  
CH-8050 Zürich  
[www.amstein-walthert.ch](http://www.amstein-walthert.ch)

Auswertungen Daten Stiftung Klimarappen:

TEP-Energy  
Zürichbergstr. 18 Strasse 88  
CH-8032 Zürich  
[www.tep-energy.ch](http://www.tep-energy.ch)

**Autoren:**

Walter Ott, econcept AG, [walter.ott@econcept.ch](mailto:walter.ott@econcept.ch), Projektleitung  
Daniel Philippen, econcept AG  
Alexander Umbricht, econcept AG

Andreas Baumgartner, Amstein + Walthert AG, [Andreas.Baumgartner@amstein-walthert.ch](mailto:Andreas.Baumgartner@amstein-walthert.ch),  
Projektleitung Amstein + Walthert AG  
Urs Vogel, Amstein + Walthert AG, [Urs.Vogel@amstein-walthert.ch](mailto:Urs.Vogel@amstein-walthert.ch)

Martin Jakob, TEP-Energy, [martin.jakob@tep-energy.ch](mailto:martin.jakob@tep-energy.ch)  
Nadja Grodofzig, TEP-Energy, [nadja.grodofzig@tep-energy.ch](mailto:nadja.grodofzig@tep-energy.ch)

**BFE-Bereichsleiterin** Nicole A. Mathys / **BFE-Programmleiterin** Nicole A. Mathys  
**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 154095 / SI/500175-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	1
Zusammenfassung .....	2
Résumé .....	7
1 Ausgangslage .....	12
2 Fragestellung und Ziele .....	13
3 Vorgehen .....	14
4 Methodische Grundlagen .....	15
4.1 Gebäudekategorien .....	15
4.2 Aufteilung der energetischen Wirkungen nach Bauteilen .....	17
4.3 Erhebung der Inputdaten .....	17
4.4 Bestimmung der spezifischen CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten .....	19
4.5 Definition der Parameter .....	22
5 Datenerhebung .....	25
5.1 Herkunft der Datensätze .....	25
5.2 Beschreibung des Gebäudesamples .....	26
5.3 Vergleich der berechneten mit den effektiv gemessenen Energieeinsparungen .....	29
6 Ergebnisse .....	31
6.1 Vermeidungskosten der energetischen Gesamtmassnahmen .....	31
6.2 Auswertung nach Bauteil .....	33
6.3 Sensitivitätsanalysen .....	37
6.4 Vergleich mit der Auswertung der Stiftung Klimarappen .....	39
7 Resultate und Fazit .....	41
7.1 Resultate .....	41
7.2 Fazit .....	42
Literatur .....	43
Glossar .....	44
Anhang .....	45
A1. Methodik zur Bestimmung der CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten .....	45
A1.1. Allgemeine Begriffsdefinition .....	45
A1.2. Definition der spezifischen CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten (VK) .....	45
A1.3. Annahmen für den Referenzfall .....	46
A1.3.1. Referenzfall «Gleiche Massnahme später ausgeführt» .....	47
A1.3.2. Referenzfall «Ohnehin-Instandsetzung» .....	47
A2. Fragebogen .....	49
Fragebogen an die Eigentümer sanierter Wohnbauten .....	49
Umfrage bei Objekten der Stiftung Klimarappen .....	54

# Abstract

Erstmals wurden in der Deutschschweiz CO<sub>2</sub> –Vermeidungskosten für eine grössere Zahl von realisierten energetischen Erneuerungen von Wohngebäuden (38 Einfamilienhäuser und 23 Mehrfamilienhäuser) aufgrund der *gemessenen* Energieverbrauchreduktion und der *effektiven energetischen Sanierungskosten* ermittelt. Die Sanierungen stammen aus den Jahren 2004-2007.

Die ausgeführten Massnahmenpakete ergeben eine Endenergie-Verbrauchsreduktion von durchschnittlich 56.6 kWh/m<sup>2</sup> a (64 kWh/m<sup>2</sup> a bei Einfamilienhäusern, 61 kWh/m<sup>2</sup> a bei kleinen Mehrfamilienhäusern und 51 kWh/m<sup>2</sup> a bei grossen Mehrfamilienhäusern). Die CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten belaufen sich auf durchschnittlich 190 CHF/t CO<sub>2</sub> (324 CHF/t CO<sub>2</sub> bei Einfamilienhäusern und 137 bzw. 147 CHF/t CO<sub>2</sub> bei kleinen bzw. grossen Mehrfamilienhäusern).

Die Investitionskosten der ausgeführten energetischen Massnahmenpakete liegen in einem Bereich von 200 CHF pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche (EBF) für die grossen Mehrfamilienhäuser bis deutlich über 400 CHF pro m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> für die Einfamilienhäuser. Bei Einfamilienhäusern und kleineren Mehrfamilienhäusern wurden somit umfangreichere Massnahmenpakete realisiert, welche auch zu höheren spezifischen Energie- und Emissionsreduktionen geführt haben. Damit ist die Sanierung von Einfamilienhäusern erwartungsgemäss weniger effizient als die Sanierung von Mehrfamilienhäusern.

# Zusammenfassung

Erstmals wurden in der Deutschschweiz für eine grössere Zahl von realisierten energetischen Erneuerungen von Wohngebäuden (38 Einfamilienhäuser (EFH) sowie 14 kleine und 9 grosse Mehrfamilienhäuser (MFH)) die CO<sub>2</sub> –Vermeidungskosten aufgrund der *gemessenen* Energieverbrauchsreduktion (Verbrauch vorher minus Verbrauch nachher) und der *effektiv in Rechnung gestellten* energetischen Sanierungskosten ermittelt.

Die untersuchten Wohngebäudeerneuerungen erfolgten in der Periode von 2004 – 2007, die ausgewerteten Objekte wurden in der Periode von 1900 bis 1983 erstellt, mit einer starken Häufung in der Periode von 1960 bis 1975.

Im Vordergrund stehen energetische Massnahmen an der Gebäudehülle (Dach/Estrichboden, Fenster, Wände, Kellerdecke bzw. Wand/Boden gegen unbeheizt). Erneuerungsmassnahmen an der Heizung und/oder bei der Warmwasserproduktion werden zwar bei der Zuteilung der gemessenen Energieeinsparungen auf die einzelnen Massnahmen mit Standardwerten berücksichtigt. Die CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten von Massnahmen der Raumwärme- und Warmwasserproduktion werden jedoch nicht ermittelt.

Für die Zuteilung der gemessenen gesamten Energieeinsparung pro Objekt auf die einzelnen Massnahmen wird eine vereinfachte Berechnung des Wärmebedarfes nach SIA 380/1 für das energetisch sanierte Objekt sowie für das Objekt vor der Sanierung vorgenommen. Bei sanierten Bauteilen, bei denen keine genaueren Angaben über ihre Eigenschaften vor der Sanierung verfügbar gemacht werden konnten, werden Defaultwerte eingesetzt.

Die energiebedingten Erneuerungskosten werden aufgrund des Vergleichs der ausgeführten Sanierungen mit einer Referenzsanierung ohne energetische Verbesserungen von den gesamten Erneuerungskosten abgegrenzt (s. folgende Tabelle):

Bauteil	Beschrieb des Referenzfalls	Kosten [CHFm <sup>2</sup> Bauteilfläche]	U-Wert
Schrägdach Warm	Neue Eindeckung Dach	205	Unverändert
Schrägdach Kalt mit Estrichboden	Neue Eindeckung Dach und Oberfläche Estrichboden.	205	Unverändert
Flachdach	Neue Dachfolie und Randbleche.	130	Unverändert
Fassade	Pinselfernovation mit Putzausbesserung.	100	Unverändert
Fenster	Instandsetzung Rahmen u. Dichtungen.	50	Unverändert
Kellerdecke	Pinselfernovation	15	Unverändert

**Tabelle 1: Festlegung des Referenzfalls nach Bauteilen (Abgeleitet aus TEP Energy 2010)**

Für die Bewertung der Energieeinsparungen und die Ermittlung der resultierenden Einsparungen von CO<sub>2</sub> –Emissionen wird generell angenommen, dass die Wärme mit Heizöl extraleicht (HEL) erzeugt wird, wobei ein Endenergiepreis von 80 CHF/100 L HEL bzw. 120 CHF/100 L HEL (für das Energiepreisszenario Hoch) angenommen wird. Der verwendete CO<sub>2</sub> - Emissionsfaktor beträgt 74 kg CO<sub>2</sub> /GJ HEL. Für den (realen) Zinssatz für die Ermittlung der Kapitalkosten werden 3% p.a. und für die angenommenen Amortisationsdauern für die energetischen Massnahmen 30 Jahre für Flachdach/Schrägdach warm, 35 Jahre für Fenster, 40 Jahre für die Fassade und 45 Jahre für Kellerdecke/Schrägdach kalt mit Estrichbodensanierung angenommen.

## Energieverbrauchsreduktion der ausgewerteten Erneuerungen:

Die mit den realisierten Massnahmen erzielte Reduktion des Heizenergiebedarfes Q<sub>h</sub> ist beträchtlich und liegt bei 46% als Durchschnitt über das untersuchte Gebäudesample. Bei der

Gruppe der grossen Objekte ist die Verbrauchsreduktion mit durchschnittlich 42% geringer als bei den kleinen MFH und den EFH (durchschnittlich 47%).

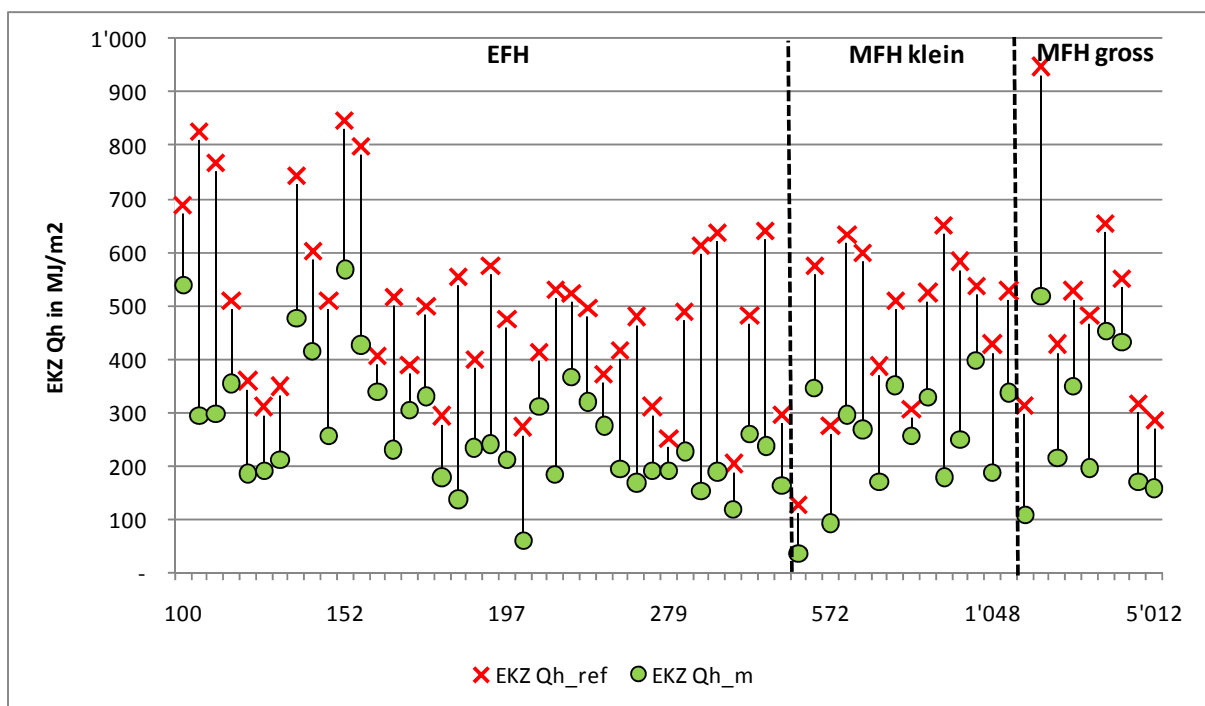


Abbildung 1: Energiekennzahl (EKZ) für den Heizenergiebedarf vor (EKZ  $Q_{href}$ ) und nach (EKZ  $Q_{hm}$ ) der Sanierung, geordnet nach der Energiebezugsfläche EBF

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

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

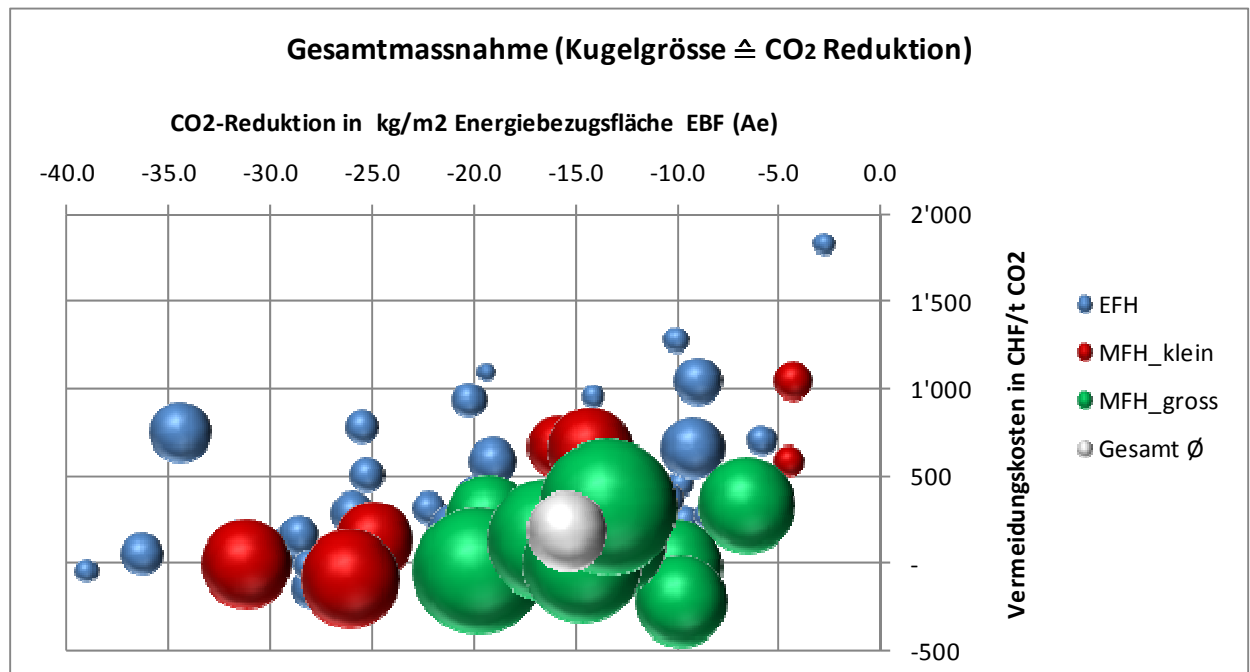
Tabelle 2: Ergebnisse für die Gesamtmassnahmen (Bezugsfläche ist die Energiebezugsfläche): Spezifische Investitionskosten der Massnahmen, spezifische Reduktion des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die resultierenden spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten pro m<sup>2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

Die Investitionskosten der ausgeführten energetischen Massnahmenpakete liegen in einem Bereich von 200 CHF pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche (EBF) für die grossen Mehrfamilienhäuser bis deutlich über 400 CHF pro m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> für die Gruppe der Einfamilienhäuser. Bei Einfamilienhäusern und kleineren Mehrfamilienhäusern wurden somit umfangreichere Massnahmenpakete realisiert, welche auch zu höheren spezifischen Energie- und Emissionsreduktionen geführt haben. Bei kleinen Mehrfamilienhäusern scheinen die Massnahmenpakete am optimalsten konzipiert worden zu sein (allerdings ist das Sample von 14 kleinen und 9 grossen MFH zu klein, um diesbezüglich belastbar zu verallgemeinern). Die geringere Kosteneffizienz pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche bei Einfamilienhäusern bestätigt die diesbezüglichen Erwartungen.

Die mittleren CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der energetischen Sanierung der Gebäudehülle der ausgewerteten 61 Objekte von CHF 190 pro Tonne CO<sub>2</sub> sinken auf CHF 42 pro Tonne CO<sub>2</sub>

wenn für Heizöl EL ein um den Faktor 1.5 gestiegener Energiepreis von 120 statt 80 CHF/100 L HEL angenommen wird.

Die Verteilung der Vermeidungskosten der Gesamtmassnahmen pro Objekt lässt keine klare Tendenz erkennen, die Streuung der pro Objekt ermittelten Vermeidungskosten um den resultierenden Gesamtwert des Gebäudesamples ist gross und zufällig.



**Abbildung 2: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten pro Gebäude und Gesamtergebnis für die Gesamtmassnahmen (Kugelgrösse = CO<sub>2</sub>-Reduktion)**

Die Gewichtung der Datenpunkte mit der effektiven CO<sub>2</sub>-Reduktion in Abbildung 2 zeigt, dass die Streuung zu hohen Vermeidungskosten nur kleine Objekte mit einem kleinen Mengenanteil betrifft. Die Streuung der grossen MFH ist deutlich geringer. Der Mittelwert des Samples (Gesamt Ø) liegt bei einer Reduktion von 15.4 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> EBF mit Vermeidungskosten von 190 CHF pro kg CO<sub>2</sub>.

Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten wurden auch nach Massnahme an der Gebäudehülle für die erfassten Ein- und Mehrfamilienhauserneuerungen ausgewertet (siehe Tabelle 3):

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

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

Die Massnahmen an den Kellerdecken sind erwartungsgemäss am wirtschaftlichsten und lohnen sich finanziell auch bei einem Erdölpreis von weniger als 80 CHF/100 L HEL.

Die übrigen Massnahmen (Dach, Fenster, Aussenwand) sind mit Ausnahme des Spezialfalls Fenster bei 100-110 CHF pro 100 L HEL wirtschaftlich, die Dachisolation tendenziell etwas eher als Fassadenisolationen. Die Wirtschaftlichkeitsschwelle liegt bei einem Erdölpreis von etwa 105 CHF pro 100 L HEL.

Bei Fenstern sind die Verhältnisse etwas schwieriger, weil keine befriedigende Referenzsituation für eine nicht energetische Fenstererneuerung besteht (ausser der nicht sehr massgeblichen Erneuerung des Fensteranstriches bei einer Fensterinstandsetzung). Daher werden in Tabelle 3 fast die ganzen Kosten des Fensterersatzes der resultierenden Energieeinsparung angerechnet, was eigentlich nicht sachgemäss ist (präziser wäre die Berücksichtigung des abzuschreibenden Zeitwertes der jeweils ersetzten Fenster). Die resultierenden CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Fenster sind daher in der Regel zu hoch.

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

Vergleich Kennwerte	Investition mit minus Investition ohne energetische Massnahmen CHF/m <sup>2</sup> Bauteil		Reduktion Energieverbrauch kWh/m <sup>2</sup> Bauteil		CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten CHF/ t CO <sub>2</sub>	
	Tabelle 11 u. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab.127, Sp.2,4	s. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab. 125, Sp.3	s. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab.129,Sp.4
Dach	78	74	-30	-67	109	-63
Aussenwand	136	107	-55	-67	97	-8
Fenster	511	522	-91	-165	676	237
Boden	63	99	-57	-50	-129	2

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

In der vorliegenden Studie können die real gemessenen Energieeinsparungen über das gesamte Sample mit der Modellrechnung plausibel nachvollzogen werden (siehe 5.3). In TEP Energy 2010 werden die berechneten Energieeinsparungen dagegen nicht mit realen Verbrauchszahlen verifiziert. Aus dem oben vorgestellten Vergleich kann daher der Schluss gezogen werden, dass in TEP Energy 2010 die berechneten Energieeinsparungen eher überschätzt werden, was die Ursache der tieferen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Vergleich mit den hier vorgenommenen Auswertungen sein dürfte.

## Fazit

Die energetische Sanierung der Gebäudehülle von Wohnbauten, die mit fossilen Energieträgern beheizt werden, ergibt in der Summe aller Massnahmen bei den hier untersuchten 61 Objekten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von rund CHF 190 pro Tonne CO<sub>2</sub>.

Wird ein um den Faktor 1.5 gestiegener Energiepreis von 120 Franken pro 100 Liter Heizöl extraleicht angenommen, verringern sich die Vermeidungskosten auf noch CHF 42 pro Tonne CO<sub>2</sub>.

Energetische Massnahmen an den Kellerdecken sind erwartungsgemäss am wirtschaftlichsten und lohnen sich auch bei tieferen Erdölpreisen als 80 CHF/100 L HEL.

Die übrigen Massnahmen sind mit Ausnahme des Spezialfalles Fenster bei 120 CHF/100 L HEL wirtschaftlich, die Dachisolation tendenziell etwas früher als Fassadenisolationen. Die Wirtschaftlichkeitsschwelle dürfte bei einem Erdölpreis von etwa 105 CHF/100 L HEL liegen.

Weil beim Fenster keine befriedigende Referenzsituation für eine nicht energetische Fenstererneuerung besteht, wird die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und der CO<sub>2</sub>-



Vermeidungskosten erschwert. In der Regel werden fast die ganzen Kosten des Fensterersatzes der resultierenden Energieeinsparung angerechnet, was nicht sachgemäss ist (präzise wäre eine Zustandsbestimmung des ersetzten Fensters, wonach nur noch der Fensterrestwert des ersetzten Fensters sowie die Mehrkosten des realisierten neuen Fensters gegenüber einem neuen Fenster mit dem kostengünstigsten energetischen Standard der energetischen Sanierung anzurechnen wäre).

Die hier erarbeiteten Ergebnisse zeigen, dass eine korrekte Ermittlung von Energieeffizienz- und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten weiterhin eine grosse Herausforderung darstellt. Die folgenden Voraussetzungen müssen dabei erfüllt werden:

- Die Energieeinsparungen vor/nach der Erneuerung müssen korrekt über ein ganzes Jahr gemessen und von Klima- sowie möglichst auch von Benutzereinflüssen bereinigt werden.
- Die energetischen Eigenschaften der erneuerten Bauteile müssen sowohl im Zustand vor der Erneuerung als auch danach bekannt sein, bzw. erhoben werden.
- Die betroffenen Bauteilflächen müssen korrekt erfasst werden (das Total muss vor und nach der Sanierung übereinstimmen).
- Die Kosten müssen vollständig erfasst werden, d.h. inkl. der Projektierungskostenanteile und der Anteile von Anschlusskosten, welche infolge der energetischen Massnahmen entstanden sind.
- Die Abgrenzung der energiebedingten Kosten von den gesamten Sanierungskosten erfordert die Definition einer Referzerneuerung ohne energetische Massnahmen, zu welcher die energiebedingten Mehrkosten eruiert werden müssen. Das fällt zum Teil schwer und schafft Abgrenzungsprobleme: z.B. beim Fensterersatz oder bei der schwierigen Frage, was der Auslöser der Sanierung war.
- Die CO<sub>2</sub> –Vermeidungskosten von energetischen Massnahmen an der Gebäudehülle sind stark von der Art der Energieversorgung der jeweiligen Gebäude abhängig, weswegen in dieser Studie aus Gründen der Vergleichbarkeit generell von einer Ölheizung ausgegangen wurde.

Die Ergebnisse der hier vorgenommenen empirischen Vermeidungskostenbestimmungen sind aufschlussreich und helfen, die empirische Basis zu Wirkungen und Kosten energetischer Massnahmen zu verbreitern.

Die festgestellten Unterschiede zwischen den hier ermittelten Vermeidungskosten und denjenigen der Auswertungen von TEP Energy für die Stiftung Klimarappen werfen Fragen nach den Ursachen der Differenzen auf. So müsste unter anderem vertiefter untersucht werden, ob die Berechnung der Einsparungen zu systematisch anderen Ergebnissen führt als die Messung.

Eine breite und solide Basis von *empirischen* Angaben zu Kosten und Wirkungen von Energie- und CO<sub>2</sub>-Massnahmen im Gebäudebereich sind eine wichtige Grundlage für das Monitoring und die Ausgestaltung der Energiepolitik (insbesondere für die diversen Förderprogramme). Die Erfahrungen, die hier mit der Beschaffung der dazu erforderlichen Informationen zu den erneuerten Gebäuden und den ergriffenen Massnahmen gemacht wurden zeigen, dass die Beschaffung qualitativ guter Informationen aufwändig ist. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass derartige Daten in grösserem Umfang auf freiwilliger Basis verfügbar gemacht werden.

# Résumé

Pour la première fois, les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> ont été déterminés, en Suisse alémanique, à partir de la réduction de la consommation énergétique *mesurée* (consommation antérieure diminuée de la consommation postérieure) et des coûts de la rénovation énergétique *effectivement facturés*. Un nombre relativement important de rénovations énergétiques de bâtiments d'habitation (38 maisons individuelles, ou MI, et 14 petits ainsi que 9 grands immeubles locatifs, ou IL) a été analysé pour l'étude.

Les rénovations de bâtiments d'habitation étudiées ont été effectuées durant la période allant de 2004 à 2007; les objets évalués ont été construits durant la période s'étalant de 1900 à 1983, et, pour une bonne part d'entre eux, entre 1960 et 1975.

Les mesures d'amélioration énergétique prises concernent principalement l'enveloppe du bâtiment (toit/dalle des combles, fenêtres, parois, plafond du sous-sol ou paroi/sol contre espace non chauffé). Les mesures de rénovation qui concernent le chauffage et/ou la production d'eau chaude sont certes prises en compte sous forme de valeurs normées pour attribuer les économies mesurées aux différentes mesures d'amélioration. Toutefois, les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> dus à des mesures d'amélioration de la production de chaleur ambiante et de la production d'eau chaude ne sont pas déterminés.

Pour chacun des objets, l'attribution, à chacune des différentes mesures d'amélioration, de toute l'énergie économisée mesurée, se fait au moyen d'un calcul simplifié de la chaleur nécessaire (SIA 380/1) pour l'objet ayant subi une rénovation énergétique et pour l'objet avant la rénovation. En ce qui concerne les éléments de construction rénovés pour lesquels il manque de données précises sur leurs caractéristiques avant la rénovation, des valeurs par défaut sont employées.

Les coûts de rénovation dus à l'aspect énergétique sont distingués des coûts totaux de la rénovation par comparaison entre les rénovations effectuées et une rénovation de référence sans améliorations énergétiques (se reporter au tableau qui suit):

Élément de construction (EC)	Description du cas de référence	Coûts [CHF/m <sup>2</sup> Surface de l'élément de construction]	Valeur U
Toit incliné, chaleur	Nouvelle couverture du toit	205	Sans changement
Toit incliné, froid, avec dalle des combles	Nouvelle couverture du toit et sol des combles	205	Sans changement
Toit plat	Nouveau lé d'étanchéité et nouveau couvre-mur métallique	130	Sans changement
Façade	Rénovation cosmétique avec rénovation du crépi.		
Fenêtres	Réparation des cadres et calfeutrages.	50	Sans changement
Plafond du sous-sol	Rénovation cosmétique	15	Sans changement

**Tableau 5: Détermination du cas de référence par élément de construction (base: étude TEP Energy 2010)**

Les économies d'énergie et les économies en émissions de CO<sub>2</sub> qui en résultent sont généralement déterminées en admettant que la chaleur est produite avec du mazout extraléger, pour un prix de l'énergie finale de 80 CHF/100 l huile extra-légère (HEL) ou 120 CHF/100 l HEL (pour le scénario avec un prix élevé de l'énergie). Le facteur utilisé pour les émissions de CO<sub>2</sub> est de 74 kg de CO<sub>2</sub> /GJ HEL. Le taux d'intérêt annuel (réel) utilisé pour déterminer les coûts des capitaux est de 3 %; les durées d'amortissement sont estimées à 30 ans pour les mesures d'amélioration énergétique pour les toits plats/toits inclinés, chaleur, à 35 ans pour les fenêtres, à 40 ans pour les façades et à 45 ans pour les plafonds de sous-sol/toits inclinés, froid, avec rénovation de la dalle des combles.

## Réduction de la consommation énergétique des rénovations évaluées

La réduction de l'énergie de chauffage nécessaire  $Q_h$  de l'échantillon de bâtiments est considérable puisqu'elle se monte à 46%. La diminution de la consommation des grands objets se monte à 42% en moyenne. Elle est plus faible que celle des petits IL et des MI (moyenne: 47%).

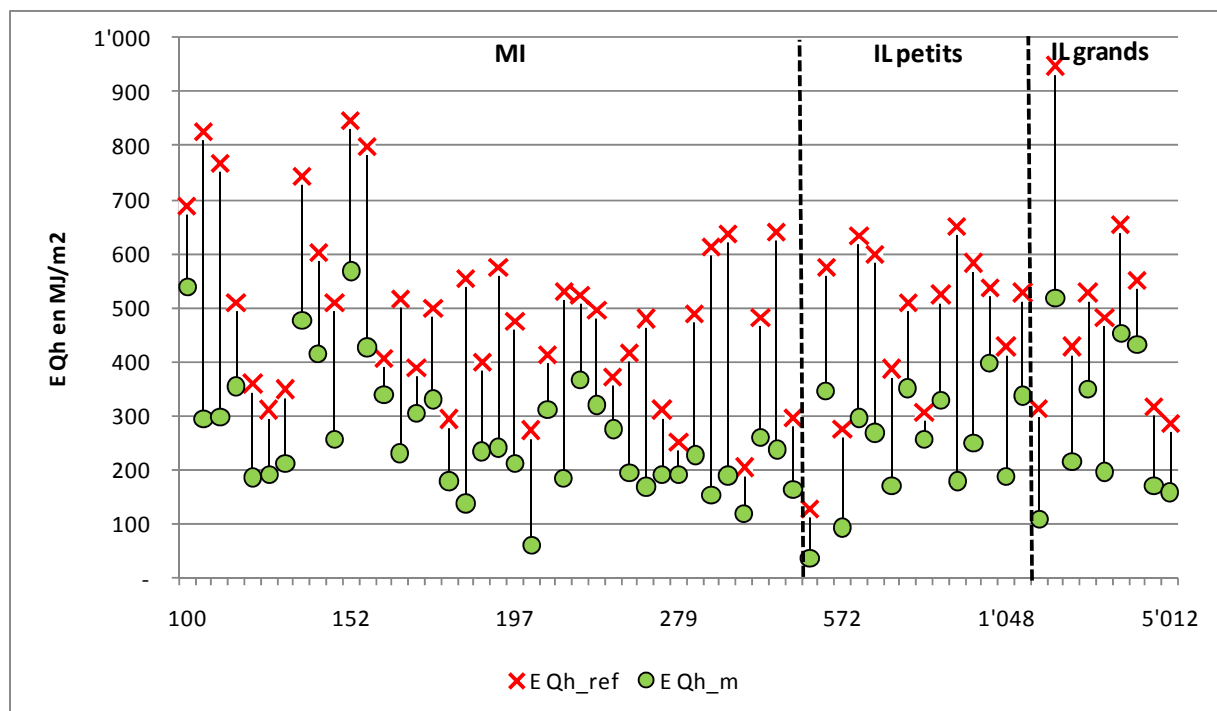


Figure 3: Indice de dépense d'énergie de chauffage nécessaire avant ( $E Q_{h\_ref}$ ) et après ( $E Q_{h\_m}$ ) l'assainissement, dans l'ordre de la taille des objets [surface de référence énergétique SRE]

## Coûts d'évitement du CO<sub>2</sub>, réduction de la consommation énergétique et réduction des émissions de CO<sub>2</sub>

TOTALITÉ DES MESURES	Nombre n	Coûts d'investissements CHF/m² <sub>SRE</sub>	Réduction de la consommation finale d'énergie kWh/ m² <sub>SRE</sub> a	Réduction des émissions de CO <sub>2</sub> kg/ m² <sub>SRE</sub> a	Coûts d'évitement du CO <sub>2</sub> CHF/t CO <sub>2</sub>
MI	38	424	-64,4	-19,5	324
ILpetits	14	279	-61,3	-17,0	137,4
ILgrands	9	201	-51,3	-13,0	147,1
<b>TOTAL</b>	<b>61</b>	<b>267</b>	<b>-56,6</b>	<b>-15,4</b>	<b>190,2</b>

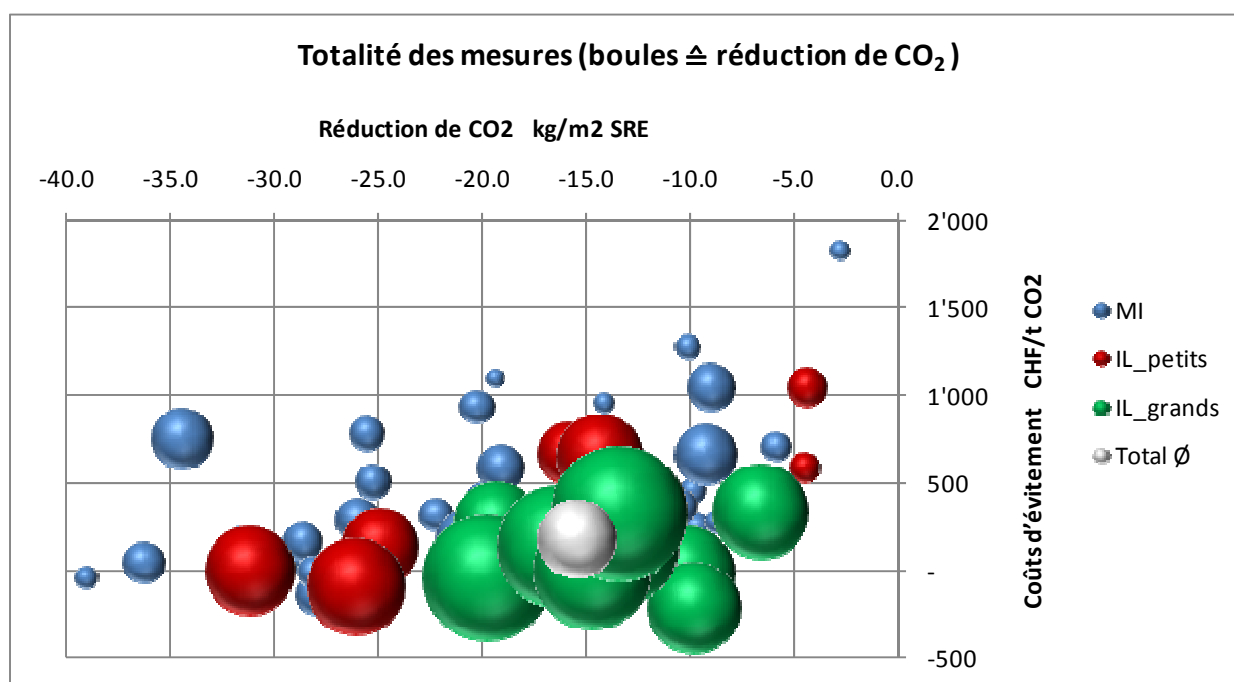
Tableau 6: Résultats pour la totalité des mesures (la surface de référence est la surface de référence énergétique): coûts d'investissements propres aux mesures d'amélioration, réduction spécifique de la consommation finale d'énergie, réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et coûts spécifiques d'évitement du CO<sub>2</sub>, par m² surface de référence énergétique

Les coûts d'investissements des paquets de mesures énergétiques vont de 200 CHF par m² de surface de référence énergétique (SRE) environ, pour les grands immeubles locatifs, à nettement plus de 400 CHF par m² SRE, en ce qui concerne le groupe de maisons individuelles. Pour les maisons individuelles et les petits immeubles locatifs, les paquets de mesures sont donc plus importants, et ils ont de ce fait induit des réductions spécifiques plus importantes de la consommation énergétique et des émissions. Les paquets de mesures semblent avoir été conçus de manière la plus optimale pour les petits immeubles locatifs (toutefois, l'échantillon de 14 petits IL et 9 grands IL est trop restreint pour permettre une

généralisation fiable). L'efficacité plus faible des coûts par m<sup>2</sup> de surface de référence énergétique des maisons individuelles confirme les prévisions sur le sujet.

Les coûts moyens d'évitement du CO<sub>2</sub> de la rénovation énergétique de l'enveloppe du bâtiment des 61 objets examinés, de 190 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>, s'abaissent à 42 CHF par tonne de CO<sub>2</sub> si l'on admet, pour le mazout de chauffage extraléger, un prix de l'énergie augmenté par le facteur 1,5, c'est-à-dire de 120 au lieu de 80 CHF/100 l HEL.

Il ne se dégage pas de tendance claire de la répartition par objet des coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> de la totalité des mesures; la dispersion des coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> par objet est grande autour de la valeur globale de l'échantillon, et elle est aléatoire.



**Figure 4: Coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> par bâtiment et résultat total pour la totalité des mesures (boules = réduction de CO<sub>2</sub> en kg)**

La pondération des points des données avec la réduction effective du CO<sub>2</sub> dans le tableau 2 montre que la dispersion autour des coûts élevés ne concerne que de petits objets avec une faible importance quantitative. La dispersion des grands IL est nettement plus faible. La moyenne de l'échantillon (moyenne totale) se situe aux alentours d'une réduction de 15,4 kg de CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> SRE, avec des coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> de 190 CHF par kg de CO<sub>2</sub>):

Les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> ont également été évalués après une mesure d'amélioration apportée à l'enveloppe du bâtiment, en ce qui concerne les rénovation des MI et des IL saisies (se reporter au tableau 3 qui suit).

CHF/t CO <sub>2</sub>	Toit		Paroi extérieure		Fenêtres		Sol		Total	
	CHF 80/100 l	CHF 120/100 l	CHF 80/100 l	CHF 120/100 l	CHF 80/100 l	CHF 120/100 l	CHF 80/100 l	CHF 120/100 l	CHF 80/100 l	CHF 120/100 l
MI	148	-0,62	221	73	992	844	-46,1	-194	324	176
ILpetits	181	32,7	48,3	-99,8	473	325	-40,8	-189	137	-10,8
ILgrands	-25,7	-174	56,6	-91,6	639	491	-170	-318	147	-1,08
<b>Total</b>	<b>109</b>	<b>-39,0</b>	<b>97,1</b>	<b>-51,1</b>	<b>676</b>	<b>528</b>	<b>-129</b>	<b>-277</b>	<b>190</b>	<b>42</b>

**Tableau 7: Coûts moyens d'évitement du CO<sub>2</sub> en CHF/t CO<sub>2</sub>, pour les divers éléments de construction de 38 MI, 14 ILpetits et 9 ILgrands; 2 scénarios avec prix différents pour le mazout**

Conformément aux prévisions, les mesures d'amélioration apportées aux plafonds de sous-sols sont les plus rentables. Elles sont rentables même lorsque les cours du pétrole sont inférieurs à 80 CHF/100 l HEL.

Les autres mesures d'amélioration sont rentables à un seuil de 100 à 110 CHF/100 l HEL, à l'exception du cas particulier des fenêtres; l'isolation du toit tend à être un peu plus rentable que les isolations de façades. Le seuil de rentabilité est atteint lorsque le cours du pétrole est de 105 CHF/100 l HEL environ.

En l'absence de situation de référence satisfaisante pour décrire une rénovation non énergétique les concernant (hormis une nouvelle couche de peinture à l'occasion de leur rénovation, ce qui ne constitue par une rénovation fondamentale), l'évaluation est plus délicate pour les fenêtres. C'est pourquoi, dans le tableau 3, en règle générale, la quasi-totalité des coûts de remplacement des fenêtres sont utilisés pour calculer l'énergie économisée, ce qui ne correspond pas véritablement à la réalité (il serait plus précis de prendre en compte le temps nécessaire pour l'amortissement des fenêtres concernées par le remplacement). De ce fait, les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> qui en résultent sont en général trop élevés pour les fenêtres.

Les coûts d'évitement déterminés dans l'étude TEP Energy 2010 sont inférieurs à ceux de la présente étude pour les mesures d'amélioration énergétique apportées aux toits, parois et fenêtres, et supérieurs pour les mesures d'amélioration portant sur l'élément de construction qu'est le sol.

Comparaison des valeurs	Investissements avec moins investissements sans mesures d'amélioration énergétique [CHF/m <sup>2</sup> EC]		Réduction de la consommation énergétique [kWh/m <sup>2</sup> élément de construction]		Coûts d'évitement du CO <sub>2</sub> : [CHF/ t CO <sub>2</sub> ]	
	Tabelle 11 et chapitre 6.2	Étude TEP2010 Tab.127, Sp.2,4	Se reporter à: 6.2	Étude TEP 2010 Tab. 125, Sp.3	Se reporter à: 6.2	Étude TEP 2010 Tab.129,Sp.4
Toit	78	74	-30	-67	109	-63
Paroi extérieure	136	107	-55	-67	97	-8
Fenêtres	511	522	-91	-165	676	237
Sol	63	99	-57	-50	-129	2

**Tableau 8: Comparaison avec les résultats de l'étude TEP Energy 2010. Coûts d'évitement du CO<sub>2</sub>, valeurs des coûts pertinents (investissements énergétiques supplémentaires INVm-INVref) et économies d'énergie**

Cette étude permet de retracer de manière plausible les économies d'énergie mesurées pour tout l'échantillonnage au moyen du calcul modélisé (se référer à: 5.3). Dans l'étude TEP Energy 2010 par contre, les économies d'énergie calculées ne sont pas vérifiées au moyen des chiffres de consommation réels. La comparaison présentée ci-dessus permet donc de conclure que les économies d'énergie calculées dans l'étude TEP Energy 2010 sont plutôt surévaluées, ce qui pourrait expliquer les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> plus faibles par rapport aux évaluations effectuées pour la présente étude.

## Conclusion

Les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> demandés par la rénovation énergétique de l'enveloppe des bâtiments d'habitation chauffés à l'énergie fossile sont de l'ordre de CHF 190 par tonne de CO<sub>2</sub> économisée pour les 61 objets analysés dans la présente étude, lorsque les coûts de toutes les mesures d'amélioration sont additionnés.

En admettant un prix de l'énergie augmenté d'un facteur de 1,5, soit de 120 CHF pour 100 litres de mazout extraléger, les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> s'abaissent à 42 CHF par tonne de CO<sub>2</sub>.

Conformément aux prévisions, les mesures d'amélioration énergétique apportées aux plafonds de sous-sols sont les plus rentables. Elles sont rentables même lorsque les cours du pétrole sont inférieurs à 80 CHF/100 l HEL.

Les autres mesures d'amélioration sont rentables à 120 CHF/100 l HEL, à l'exception du cas particulier des fenêtres; l'isolation du toit tend à être un peu plus rapidement rentable que les isolations de façades. Le seuil de rentabilité devrait se situer à un cours du pétrole de l'ordre de 105 CHF/100 l HEL.

L'absence de situation de référence satisfaisante pour décrire des rénovations de fenêtres sans rénovation énergétique rend l'évaluation de la rentabilité et des coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> plus difficile. En règle générale, la quasi-totalité des coûts de remplacement des fenêtres sont utilisés dans le calcul de l'énergie économisée, ce qui ne correspond pas véritablement à la réalité (il serait plus précis de déterminer l'état des fenêtres remplacées, pour n'utiliser que la valeur résiduelle des fenêtres remplacées ainsi que les coûts additionnels des nouvelles fenêtres à comparer avec la norme énergétique de rénovation la meilleure marché).

Les résultats obtenus dans la présente étude montrent que déterminer de façon juste les coûts de l'efficacité énergétique et de l'évitement du CO<sub>2</sub> continue de représenter un véritable défi. Voici les conditions qui doivent être remplies si l'on veut le relever:

- Les économies d'énergie avant/après rénovation doivent être correctement mesurées, une année durant, et corrigées du climat et de l'effet d'un maximum d'autres influences dues aux utilisateurs.
- Les caractéristiques énergétiques des éléments de construction rénovés doivent être connues dans leur état précédant la rénovation et dans leur état suivant celle-ci, ou alors elles doivent être relevées.
- Les surfaces des éléments de construction concernées doivent être saisies correctement (le total avant rénovation doit correspondre au total après rénovation).
- Les coûts doivent être saisis dans leur intégralité, c'est-à-dire y compris avec les parts dues aux mesures d'amélioration énergétique qui sont contenues dans les coûts de lancement du projet et dans les coûts de raccordement.
- La détermination des coûts dus aux mesures énergétiques parmi l'ensemble des coûts de rénovation demande qu'une rénovation de référence, effectuée sans mesures d'amélioration énergétique, soit définie, à partir de laquelle les coûts d'amélioration énergétique doivent être calculés. Cette démarche peut être difficile et poser des problèmes de délimitation, par exemple en ce qui concerne le remplacement des fenêtres ou concernant la difficile question de savoir quel a été le déclencheur de la rénovation.
- Les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> liés à des mesures d'amélioration énergétique prises sur l'enveloppe du bâtiment dépendent fortement du type d'approvisionnement énergétique du bâtiment. Comparaison oblige, la présente étude est en général partie du principe d'un chauffage au mazout.

Les résultats qu'apporte la détermination empirique des coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> qui a été menée dans cette étude sont riches d'enseignements. Ils aident notamment à élargir la base empirique utile pour mesurer les effets et les coûts des mesures d'amélioration énergétique.

Les différences constatées entre les coûts d'évitement du CO<sub>2</sub> déterminés par la présente étude et ceux des évaluations de l'étude TEP Energy réalisée par la Fondation Centime Climatique ouvrent la question des causes de ces différences. Il conviendrait notamment d'analyser de manière plus approfondie si le calcul des économies fournit systématiquement d'autres résultats qu'une mesure.

Une base large et solide de données *empiriques* concernant les coûts et les effets de mesures d'amélioration de bâtiments en ce qui concerne l'énergie et le CO<sub>2</sub> constitue une base importante de suivi et de conception de la politique énergétique (en particulier pour les divers programmes d'encouragement). Les expériences faites dans le cadre de la présente étude, pour obtenir les informations nécessaires relatives aux bâtiments rénovés et aux mesures d'amélioration prises, montrent que l'obtention d'informations de qualité représente un important travail. Il n'est pas envisageable que ce type de données soient fournies à large échelle sur une base volontaire.

# 1 Ausgangslage

Der Gebäudepark der Schweiz nimmt in der Energie- und Klimapolitik der Schweiz einen zentralen Stellenwert ein. Verschärfte energetische Standards (SIA 380/1:2009, die neuen Minergie-Standards) und die verschiedenen Förderprogramme von Bund, Kantonen, einzelnen Gemeinden und Energieversorgern wollen zurzeit die im Gebäudebereich vorhandenen energetischen Effizienzpotenziale mobilisieren und zur verstärkten Verwendung erneuerbarer Energien beitragen. Als besondere Herausforderung erweist sich dabei die aus Sicht der bestehenden klima- und energiepolitischen Zielsetzungen erwünschte starke energetische Verbesserung des Gebäudebestandes und die damit verbundene Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen von Sanierungsmassnahmen. Wegen der Grösse des Bestandes sowie wegen der langen Sanierungszyklen sind energetisch weitreichende Sanierungen eine entscheidende Voraussetzung für die Senkung des Verbrauchs nicht erneuerbarer Energieträger bei Gebäuden im Laufe der nächsten Jahrzehnte.

In verschiedenen Untersuchungen wurden die Hemmnisse untersucht, welche energetische Verbesserungen bei Gebäudesanierungen behindern (so zum Beispiel für die Schweiz: econcept, CEPE 2006; econcept / energie-cluster.ch 2005). Dabei wird immer wieder die Frage der Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungsmassnahmen aufgeworfen, obwohl diverse Untersuchungen belegen, dass viele energetische Massnahmen bei aktuellen Energiepreisen (im Bereich von 70 – 100 CHF/MWh) wirtschaftlich sind (econcept/CEPE 2006, McKinsey 2009; Hinz 2010).

Den CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten bei Gebäudesanierungen kommt bei der schwierigen Ausgangslage im Gebäudebestand daher besondere Bedeutung zu. So will die Politik wissen, wie hoch die Förderung bei energetischen Sanierungen sein sollte, um die verwendeten Fördersätze begründen zu können. Bei der Konzeption der Energie- und Klimapolitik, bei der Ausgestaltung von *Fördermassnahmen* wie auch bei ihrer politischen Durchsetzung haben die CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten und die bestehenden Reduktionspotenziale eine wichtige Informations- und Überzeugungsfunktion.

Bisher wurden die Kosten von Energieeffizienzmassnahmen bei Gebäuden bzw. die CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten für einzelne Modellgebäude (EFH und MFH) oder für einzelne Massnahmen aufgrund von Angaben zu den Massnahmenkosten (Herstellerangaben, Angaben von Einzelprojekten oder Auswertungen einiger realisierter Projekte) und berechneten Energieeinsparungen ermittelt.

Erst die Auswertung des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen, welche parallel zu den hier vorgenommenen Untersuchungen erfolgte, hat nun erstmals eine breite Basis von realisierten energetischen Erneuerungsmassnahmen an der Gebäudehülle untersucht und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit ausgewertet (TEP Energy, 2010). Bei 400 durch die Stiftung Klimarappen geförderten Projekten wurden Kostenkennwerte baulicher Energieeffizienzmassnahmen, die Wirtschaftlichkeit und die CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten dieser Massnahmen ermittelt. Die Massnahmen und die Kosten ergaben sich aus den Gesuchsunterlagen. Die Energie- und CO<sub>2</sub> – Einsparungen wurden jedoch aufgrund der ergriffenen Massnahmen berechnet und nicht mit realen Verbrauchsdaten vor und nach der Sanierung bestimmt. Was daher nach wie vor fehlt, ist eine Untersuchung von realisierten energetischen Gebäudeerneuerungen bei denen die CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten aufgrund der *gemessenen* Energieeinsparungen und der *effektiv aufgetretenen* Kosten ermittelt werden.

## 2 Fragestellung und Ziele

Auslöser der empirischen Untersuchung von energetisch erneuerten Gebäuden ist die Frage nach der effektiven Höhe der resultierenden CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei realisierten Gebäudesanierungen. Zusätzlich interessiert das Kosten-/Nutzenverhältnis unterschiedlicher energetischer Massnahmen an der Gebäudehülle. Die Auswertung einer grösseren Zahl realisierter Erneuerungen soll Aufschluss darüber geben, ob die teilweise auf Berechnungen beruhenden Vermeidungskosten und Kosten-/Nutzenverhältnisse von analysierten Einzelobjekten und Literaturangaben empirisch bestätigt werden können.

Durch die Ermittlung der effektiven CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten einer grösseren Zahl energetisch erneuerter Wohnbauten soll die bestehende empirische Informationslücke im Sanierungsbereich von *Wohngebäuden* geschlossen werden. Dabei wurden die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten nach Gebäudetyp und Massnahmenwahl unterschieden.

Die Untersuchung konzentrierte sich auf energetisch erneuerte Wohngebäude in der deutschen Schweiz. Insgesamt konnten 61 Gebäude ausgewertet werden.

Soweit es die Menge der erfassten Daten erlaubte, wurde zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragen eine zweckmässige Differenzierung bzw. Gruppierung der bestehenden Wohnbauten vorgenommen. Die Energieeinsparungen und die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für energetische Erneuerungen an der Gebäudehülle (Fenster, Dach, Fassade oder Kellerdecke) sowie zum Teil für Heizungserneuerungen wurden zwei bis fünf Jahre nach der Erneuerung der jeweiligen Objekte erhoben. So konnte gewährleistet werden, dass der Energieverbrauch mindestens einer vollen Heizperiode nach der Erneuerung verfügbar war.



# 3 Vorgehen

Das Projekt umfasst die drei folgenden Phasen:

- Vorbereitung, Entwicklung der Methodik
- Akquisition der sanierten Objekte für die Datenerhebung und Erhebung der erforderlichen Daten
- Auswertung der erhobenen Daten

## Vorbereitungs- und Methodikphase

Mit den methodischen Vorbereitungsarbeiten wurden insbesondere die folgenden Aspekte geklärt, bevor die Datenerhebung gestartet wurde:

- Kategorisierung des Wohngebäudebestandes im Hinblick auf die hier verfolgte Fragestellung, unter Berücksichtigung des begrenzten Umfangs des untersuchten Gebäudesamples
- Abgrenzungsfragen, insbesondere die anrechenbaren energetischen Massnahmenkosten
- Festlegung von Zinssatz, Energiepreisen und Lebensdauern von Gebäudeelementen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung
- Methodik zur Ermittlung der energiebedingten Zusatzkosten durch die Definition von Referenzvarianten ohne energetische Massnahmen
- Definition der einbezogenen Gebäudeelemente
- Methodik zur Aufteilung der gemessenen Energieeinsparungen auf die verschiedenen ergriffenen Sanierungsmassnahmen
- Festlegung von Defaultwerten bei allenfalls fehlenden Einzelinformationen zum Zustand der Gebäude vor der Sanierung

## Datenbeschaffung

Die Erhebung der Daten von 100 anvisierten Objekten erwies sich als sehr schwierig, weshalb trotz deutlich höherem Beschaffungsaufwand als erwartet nur 61 Objekte für die Analysen im Rahmen dieser Studie verfügbar gemacht werden konnten. Die Erfahrungen mit der Beschaffung derartiger Daten führen uns zum Schluss, dass ein derartiger Forschungsansatz verlangt, dass die Objekteigentümer für die Datenlieferung voll bezahlt werden, bzw., dass ihnen ein Auftrag zur Datenlieferung erteilt wird. Nur so kann erwartet werden, dass die teilnehmenden Datenlieferanten ein Interesse an der Bereitstellung qualitativ guter Daten innert nützlicher Frist haben.

Aus den oben genannten Gründen wurde zusätzlich auf das Datenmaterial von sanierten Objekten zurückgegriffen, welche von der Stiftung Klimarappen gefördert wurden. Zwar war auch bei diesen Objekten eine kurze Befragung der Objekteigner notwendig (Erteilung Einverständnis, dass Vollzugsdaten genutzt werden sowie Angaben zu Energieverbrauch und zum Heizsystem vor/nach der Sanierung, einzelne Angaben zum Zustand des Gebäudes vor der Sanierung), welche aber viel weniger aufwändig zu beantworten waren.

## Auswertung der erhobenen Daten

Nach der Bereinigung der erhobenen Daten wurden die verbleibenden Datensätze ausgewertet. Dabei erfolgt auch ein Vergleich mit den Ergebnissen der Auswertung der Wirkungen des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen, welche von TEP Energy für die Stiftung vorgenommen wurde (TEP Energy 2010).

# 4 Methodische Grundlagen

## 4.1 Gebäudekategorien

Ziel der empirischen Untersuchung war die Erfassung von 100 energetisch sanierten Wohnbauten. Dabei stellt sich die Frage, welche Kategorien von Gebäuden zweckmässigerweise erhoben werden sollen. Als Differenzierungsmerkmale wurden die Gebäudegrösse (Ein-/ Zweifamilienhäuser, Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser klein, mittel, gross, Hochhäuser), das Erstellungsjahr bzw. das Alter, die Standortregion (eventuelle Baukostenunterschiede), der Bautyp (architektonisch und bauphysikalisch, Massiv-/Leichtbau, denkmalgeschützt) und die Art der ausgeführten energetischen Massnahmen vorgeschlagen und geprüft.

Angeichts des sehr limitierten Sampleumfanges erfolgte eine Konzentration auf die Unterscheidung von erneuerten Ein-/Zweifamilienhäusern und von Mehrfamilienhäusern.

### **Erstellungsjahr Gebäude:**

Erhebungen der Energiekennzahlen bestehender Bauten nach Alterskategorie zeigen, dass diese bei Gebäudekategorien älter als 1975 unabhängig vom Baujahr ungefähr gleich gross sind (AUE-BS 2003, AWEL 2003). Erst bei den danach gebauten Wohngebäuden nimmt die Energiekennzahl sukzessive ab. Weil hier die Vermeidungskosten an der Gebäudehülle im Vordergrund stehen und diese grossmehrheitlich erst nach 25-40 Jahren erstmals erneuert werden, sind die von uns untersuchten Bauten, welche in der Zeit von 2004 – 2007 saniert wurden, vor allem solche mit Baujahr vor 1975. Eine Unterscheidung nach Erstellungsperiode in Bezug auf die Energiekennzahl der Gebäude drängt sich daher nicht auf. Dabei ist aber zu beachten, dass in TEP Energy 2010 für Gebäude mit Baujahr vor 1900 relevant höhere Sanierungskosten festgestellt wurden. Im hier untersuchten Gebäudesample ist kein Gebäude mit einem Baujahr vor 1900 enthalten wodurch diese Feststellung keine Bedeutung erhält.

### **Vorgenommene Erneuerungsmassnahmen:**

Im Hinblick auf die hier verfolgten Fragestellungen steht die Ermittlung der CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten unterschiedlicher energetischer Massnahmen an der Gebäudehülle im Vordergrund. Weil die Reduktion der CO<sub>2</sub> – Emissionen aufgrund des gemessenen Verbrauchs nach der Erneuerung ermittelt wird, werden auch allfällige Massnahmen am Heizungssystem (Heizsystem, Steuerung/Regelung, Abrechnung und bei der Warmwasserversorgung) mitberücksichtigt, um zu einer realistischen Einschätzung der Vermeidungskosten der diversen Massnahmen an der Gebäudehülle zu kommen.

Folgende Sanierungsmassnahmen werden in der Analyse der Vermeidungskosten berücksichtigt:

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

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

### Regionale Differenzierung:

Es ist zwar zu erwarten, dass es aufgrund von unterschiedlichen Marktsituationen regionale Unterschiede bei den Massnahmenkosten gibt. Das erhobene Gebäudesample ist jedoch zu klein, um eine regionale Differenzierung durchzuführen. Zudem schätzen wir die systematischen regionalen Kostendifferenzen in der Schweiz als in der Bandbreite gering und im Bezug auf die im folgenden vorgestellten Effekte als untergeordnet und vernachlässigbar ein.

### Effekte auf die Kostenkennwerte der Bauteile:

Mit der Auswertung des weit umfangreicheren Gebäudesamples der Stiftung Klimarappen wurden die Effekte von diversen Einflussfaktoren auf die Bauteilkosten untersucht (TEP Energy 2010). Die für die vorliegende Untersuchung relevanten Einflüsse auf die Kostenkennwerte werden anschliessend kommentiert.

- Bei **allen Bauteilen ausser beim Steildach** wird ein Skaleneffekt, d.h. tiefere spezifische Kosten bei grösseren Flächen festgestellt.  
**Kommentar:** Der Skaleneffekt wird zusätzlich verstärkt durch geringere Gebäudehüllzahlen von grösseren Gebäuden, welche deswegen eine höhere Effizienz pro Einheit Energiebezugsfläche aufweisen. Damit ist zu erwarten, dass grössere Gebäude generell tiefere Vermeidungskosten aufweisen werden als kleine Gebäude.
- Beim Bauteil **Dach** ist der Kostenbereich für das warme Steildach in der gleichen Bandbreite wie für das Flachdach. Ein wesentlicher Kostenunterschied von rund einem Faktor 3 besteht dagegen bei der günstigen Sanierungsvariante Isolation Estrichboden (mit kaltem Steildach) gegenüber dem warmen Steildach.  
**Kommentar:** Die Sanierungsvariante mit Isolation Estrichboden ist in der Auswertung zu beachten.
- Beim Bauteil **Wand** ist die Ausführungsvariante mit hinterlüfteter Fassade um rund 30% teurer als die Ausführung als Kompaktfassade.  
**Kommentar:** Bei der Auswertung ist die Ausführungsvariante der Wand zu beachten.
- Beim Bauteil **Fenster** sind Produkte mit Holz bzw. Holz-/Metallrahmen um rund 20% teurer als Fenster mit Kunststoffrahmen. Der Kosteneffekt der unterschiedlichen Gläser liegt dagegen bei unter 10%.  
**Kommentar:** Bei der Auswertung ist die Rahmenart der Fenster zu beachten.
- Generell deuten die Ergebnisse aus TEP Energy 2010 darauf hin, dass Gebäude mit Baujahr vor 1946 und noch verstärkt solche mit Baujahr vor 1900 generell höhere Sanierungskosten aufweisen als Gebäude der Bauperiode 1946-1975.  
**Kommentar:** Im vorliegenden Gebäudesample sind nur rund 10% der Gebäude mit einem Baujahr vor 1946 und keines mit Baujahr vor 1900. Die Auswirkung der Massnahmenkosten in Bezug auf das Erstellungsjahr der Gebäude wurde nicht untersucht.

## 4.2 Aufteilung der energetischen Wirkungen nach Bauteilen

Die energetischen Sanierungsmassnahmen verringern den gemessenen Endenergieverbrauch der untersuchten Objekte. Der reduzierte Endenergieverbrauch führt gleichzeitig zu geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Ausmass des Emissionsrückgangs hängt dabei vom Wärmeerzeugungssystem (Nutzungsgrad) und den eingesetzten Energieträgern ab (CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren).

Mit der angewandten Methodik werden die Energieeinsparungen infolge der Sanierung empirisch ermittelt. Dabei bleibt vorerst unklar, in welchem Ausmass die verschiedenen energetischen Sanierungsmassnahmen an den Bauteilen des Gebäudes zu der festgestellten Einsparung beitragen. Die Zuordnung der energetischen Wirkung auf die einzelnen Massnahmen erfolgt rechnerisch, basierend auf einer vereinfachten Energiebedarfsrechnung nach SIA 380/1. Diese rechnerische Aufteilung erfordert die im folgenden beschriebenen, detaillierten Informationen zu den veränderten Bauteilen (Ausmass und energetische Qualität vor und nach der Sanierung) sowie zu Veränderungen bei der Raumwärme- und Warmwassererzeugung. Die Details zum verwendeten Rechenmodell sind im Anhang A1 zusammengestellt.

## 4.3 Erhebung der Inputdaten

Der Forschungsansatz erforderte die Erhebung des folgenden, minimalen Datensatzes pro untersuchtes Objekt:

- Gebäudezustand vor der Erneuerung differenziert nach Dach bzw. Estrichboden, Fassade, Fenster und Boden (Kellerdecke): Ausmass der Flächen der Gebäudehülle, Qualität pro Bauteil der Gebäudehülle (U-Wert oder Angabe, welche einen Rückschluss auf einen U-Wert erlaubt) sowie Angaben zur Wärmeversorgung (Energieträger, Art der Heizung)
- Energieverbrauch 1-2 Jahre vor der Sanierung, mit dem jeweiligen Bezugsjahr
- Vorgenommene Erneuerungsmassnahmen an der Gebäudehülle wiederum differenziert nach Dach bzw. Estrichboden, Fassade, Fenster und Boden (Kellerdecke): Art der Massnahmen, Ausmass der Massnahmen (Flächen), Qualität der Massnahmen (U-Wert)
- Vorgenommene Erneuerungsmassnahmen bei der Gebäudetechnik (Heizung, Komfortlüftung): Art der Massnahmen, Kenndaten und Qualität der Massnahmen.
- Kosten der Massnahmen differenziert nach Bauteil. Die Bauteilkosten werden als Vollkosten der ausgeführten Massnahme erfasst. Die Abgrenzung des nicht energetischen Anteils erfolgt über die Definition des Referenzfalls.
- Energieverbrauch nach der Sanierung (1-2 volle Heizperioden).

### Datenerhebung mit Fragebogen

Das oben definierte, minimale Datenset ist mit über 30 zwingend erforderlichen Einzelwerten pro Objekt bereits schon sehr umfangreich. Mit zusätzlichen deskriptiven Fragen und Fragen zur Plausibilitätskontrolle der primären Angaben wurde ein Fragebogen mit insgesamt 140 Eingabefeldern erstellt. Die hohe Zahl der erforderlichen Werte pro Objekt ist überraschend und umfasst auch einige redundante Abfragen, die jedoch zum Zweck der Plausibilitätskontrolle als erforderlich erachtet werden.

Der für die standardisierte Datenerhebung verwendete Fragebogen befindet sich im Anhang A3. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die erhobenen Datenkategorien. Die Erhebung der bauteilspezifischen Daten und des Energieverbrauchs erfolgte jeweils für den Zustand vor und nach der Sanierung, wobei der Energieverbrauch, wenn erhältlich, für mehrere Jahre vor und nach der Sanierung erhoben wurde.

Bereich	Kategorien
Allgemeine Informationen zum Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gebäudeadresse, Gebäudealter, Jahr der Sanierung, Anbausituation, Schutzanlagen etc.</li> <li>– Allfällige Veränderung des Gebäudes durch Anbau, Ausbau oder Aufstockung (u.a. Energiebezugsfläche, Flächen Gebäudehülle)</li> </ul>
Sanierungsmassnahmen an den betrachteten Bauteilen und deren Kosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Qualitativer Zustand und Alter der Bauteile vor der Sanierung</li> <li>– Grösse und U-Wert der Bauteile nach der Sanierung; Kosten für die Bauteilsanierung</li> <li>– Gebäudetechnik Heizung und Warmwasser: Art der Erzeugung und Verteilung (inkl. individuelle Verbrauchserfassung) vor und nach der Sanierung</li> <li>– Gebäudetechnik Lüftung: Art der Lüftung, Wärmerückgewinnung</li> <li>– Gesamtkosten der Sanierung</li> </ul>
Energieverbrauch vor und nach der Sanierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser. Je nach Erzeugung des Warmwassers im Gebäude zusammen oder getrennt erhoben</li> <li>– Elektrizitätsverbrauch</li> </ul>
Ergänzende Angaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wechsel der Mieterschaft im Zuge der Sanierung</li> <li>– Gründe für die Sanierung</li> <li>– Erfolg der Sanierung / Auftreten von Problemen nach der Sanierung</li> </ul>

**Tabelle 9: Übersicht über die mit dem Fragebogen erhobenen Datenkategorien.**

## Defaultwerte für die Bauteilqualität vor der Sanierung

Für die U-Werte der bestehenden Bauteile vor der Sanierung musste trotz hohem Aufwand für die Datenerhebung häufig mit Annahmen gerechnet werden, da das durch die Sanierung ersetzte Bauteil entweder nicht mehr vorhanden (Fenster, Dach) oder der Bestand nicht dokumentiert ist (Wand, Kellerdecke). Wo keine genaueren Angaben über die Eigenschaften der Bauteile vor der Sanierung vorliegen, wurde daher mit Defaultwerten gerechnet.

Die Defaultwerte für die Bauteile vor der Sanierung wurden aufgrund der aktuellen Auswertung von Gebäudedaten der Stiftung Klimarappen (TEP Energy 2010) wie folgt festgelegt:

Bauteil	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Kommentar
Dach	0.6	Für Steildach-Warm bzw. Flachdach bzw. Steildach-Kalt mit Estrichboden.
Fassade	1.0	Für alle Fassaden mit unbekanntem U-Wert
Fenster	2.5	U-Wert Fenster für Zweifach-Verglasung alt (keine Isolierverglasung)
Boden	1.6	Für nicht isolierte Kellerdecken ohne genauere Angaben

**Tabelle 10: Defaultwerte für Bauteil-U-Werte (nach Auswertungsergebnissen TEP Energy 2010)**

Für die Auswertungen für die Stiftung Klimarappen wurden die U-Werte der Bauteile aufgrund der Materialbeschriebe und Massenauszüge bestimmt. Die in Tabelle 10 übernommenen Werte entsprechen den von (TEP Energy 2010) ermittelten Medianwerten.

## 4.4 Bestimmung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

### Definition der spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

Die spezifischen CO<sub>2</sub> -Vermeidungskosten (VK) entsprechen dem monetären Aufwand um den Ausstoss von Treibhausgasen um ein bestimmtes Mass zu reduzieren.

Die spezifischen CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten VK für die realisierten Massnahmen sind immer relativ zu einem **Referenzfall** zu betrachten. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten ist stets die Angabe des berücksichtigten Referenzfalls und aller Parameterwerte erforderlich. (siehe Anhang A1).

$$VK = \frac{\Delta KK + \Delta BK}{\Delta CO_2} = \frac{(KK_m - KK_{ref}) + (BK_m - BK_{ref})}{(CO_{2m} - CO_{2ref})}$$

**Formel 1: Spezifische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Allgemeine Formel**

Differenzbetrachtung der **Massnahme m** gegenüber einem **Referenzfall ref**:

Die Differenz ist gleich der Wirkung der Massnahme minus der Wirkung des Referenzfalls. Die Betrachtung erfolgt über die Lebenszyklusdauer der Massnahme.

VK: Spezifische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF pro Menge CO<sub>2eq</sub>.

KK: Kapitalkosten in CHF p.a. (Jahreskosten).

BK: Betriebskosten in CHF p.a.

CO<sub>2</sub>: Treibhausgasemissionen in Menge CO<sub>2eq</sub> p.a.

Mit der empirischen Erhebung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten werden real ausgeführte Massnahmen ausgewertet. Diese Massnahmen sind in der Regel als Bündel verschiedener Teilmassnahmen der energetischen Gebäudesanierung realisiert worden. Ist in einem solchen Massnahmenbündel auch der Ersatz der Wärmeerzeugung mit einem Wechsel des Energieträgers enthalten, dann ist eine Festlegung erforderlich, welcher Anteil der CO<sub>2</sub>-Reduktion den Massnahmen an der Gebäudehülle zuzurechnen ist und welcher Anteil der Massnahme Wärmeerzeugung und dem Wechsel des Energieträgers zugeschlagen wird.

### Festlegung 1: Gebäudehülle vor Wärmeerzeugung

Diese Festlegung folgt dem heutigen Credo, dass zuerst die Gebäudehülle zu sanieren ist, wonach erst in einem zweiten Schritt die Wärmeerzeugung ersetzt werden soll. Die Reduktionsanteile der Massnahmen an der Gebäudehülle werden daher immer ausgehend vom Zustand vor der Sanierung ermittelt. Der verbleibende Reduktionsanteil der Wärmeerzeugung inklusive der Einfluss eines Wechsels des Energieträgers wird anschliessend auf der Basis der sanierten Gebäudehülle bestimmt.

### Festlegung 2: Auswertung Gebäudehülle mit Heizöl als Energieträger

Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten sind invers proportional zum Treibhausgas-Emissionsfaktor des verwendeten Energieträgers. Je nachdem, welcher Energieträger in den konkreten Fällen eingesetzt wird, führen identische bauliche Massnahmen bei unterschiedlichen Energieträgern und Energieträgerkosten zu stark abweichenden CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. In der Auswertung der Massnahmen an der Gebäudehülle wird daher stets Heizöl als Energieträger angenommen.

Für die Beurteilung der gleichen Massnahme mit anderen Energieträgern wird eine Sensitivitätsanalyse mit Erdgas und Fernwärme als alternative Energieträger durchgeführt (siehe Abschnitt 6.3).

Diese Festlegung gilt nicht für die Massnahmen der Wärmeerzeugung selbst. Im realen Fall muss bei Massnahmen die einen Wechsel der Energieträger zur Folge haben, mit den effektiv verwendeten Energieträgern gerechnet werden. Für die vorliegende Studie wurden Massnahmen bei der Energieversorgung (Raumheizung und Warmwasser) nicht explizit ausgewertet. Sie mussten jedoch bei der rechnerischen Aufteilung der Einsparungen auf die einzelnen Bauteile und im Vergleich der berechneten mit den deklarierten Energieeinsparungen voll berücksichtigt werden.

### **Festlegung 3: Die Rentabilität der Massnahmen wird voll angerechnet**

Mit der Definition der spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten werden die nicht amortisierbaren Mehrkosten der Massnahme mit der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen verrechnet. Es ist nun eine weitere Festlegung erforderlich, wie Massnahmenfälle behandelt werden, bei denen Gewinne durch die energetische Sanierung, also negative Mehrkosten entstehen. Werden diese Gewinne vollständig den energetischen Massnahmen zugewiesen, dann können aus der Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten heraus keine negativen Werte entstehen. Das Minimum der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten wäre damit auf den Wert Null begrenzt.

Die zweite Sichtweise ist, dass die Rentabilität der Massnahme voll der CO<sub>2</sub>-Vermeidung gutgeschrieben wird und damit auch negative Werte (d.h. Gewinne) für die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten zugelassen sind. Über ein ganzes Gebäudesample betrachtet werden so die Mehrkosten mit den Minderkosten verrechnet und es resultieren im Ergebnis tiefere CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten als mit der ersten Sichtweise möglich ist.

In der vorliegenden Studie wird die Rentabilität der Massnahmen voll der CO<sub>2</sub>-Vermeidung angerechnet und damit werden auch negative CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten zugelassen.

### **Festlegung 4: Die "graue Energie" der Baustoffe wird nicht berücksichtigt**

In der vorliegenden Studie wird die "graue Energie", d.h. die mit der Erstellung der Bauten und die mit der Herstellung und dem Transport der Baustoffe verbundenen Treibhausgasemissionen werden nicht bilanziert.

### **Der Referenzfall**

Die Definition der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten erfordert die Festlegung eines Referenzfalls.

Bei einem Variantenvergleich (ex ante Evaluation) stellt der Referenzfall den Fall dar, mit dem die favorisierte Variante gegenüber einer Alternative verglichen wird. Bei der hier vorgenommenen ex post Evaluation von bereits ausgeführten Massnahmen besteht das Problem, dass nur die Werte des realisierten Falles konkret bekannt sind. Die Werte des nicht realisierten Referenzfalles sind unbekannt und müssen daher festgelegt werden.

Es ist naheliegend, für den Referenzfall die Weiterführung des Zustandes vor der Sanierung (Ist-Zustand) anzunehmen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten auf die ganze Lebenszyklusdauer der realisierten Massnahme beziehen. Daher muss bei den Annahmen für den Referenzfall (Weiterführung des Ist-Zustandes) ebenfalls der gleiche Zeitraum berücksichtigt werden.

Das bedeutet, dass die ausgeführte Sanierung über einen Zeitraum von 30 bis 40 Jahren mit einer Referenzvariante "Ist-Zustand vor der Sanierung" verglichen wird. Die Bandbreite von plausiblen Annahmen dazu ist beträchtlich, was zu entsprechenden Bandbreiten bei den ermittelten Vermeidungskosten führen würde.

Um einen sinnvollen Vergleich zu ermöglichen, wird der Referenzfall wie folgt festgelegt:

- Mit der ausgeführten energetischen Massnahme wird das entsprechende Bauteil als neuwertig betrachtet.

- Beim Referenzfall wird von derselben Funktionstüchtigkeit, denselben Unterhaltskosten und einer vergleichbaren Lebenszyklusdauer ausgegangen wie beim real sanierten Bauteil.

Der Referenzfall wird somit nicht einfach als Weiterführung des real existierenden Ist-Zustandes angenommen. Er entspricht vielmehr einer nicht energetisch wirksamen Instandsetzung mit einer Lebenszyklusdauer, welche mit den real ausgeführten Massnahmen vergleichbar ist. Dies führt zu den folgenden Festlegungen für den Referenzfall nach Bauteilen. Die zu berücksichtigenden Kosten entsprechen der Instandsetzung des Bauteils für eine Lebensdauer, die mit der realisierten Massnahme gleich ist.

### Festlegung des Referenzfalls nach Bauteilen

Bauteil	Beschrieb des Referenzfalls	Kosten [CHF pro m <sup>2</sup> Bauteilfläche]	U-Wert
Schrägdach Warm	Neue Eindeckung Dach	205	Unverändert
Schrägdach Kalt mit Estrichboden	Neue Eindeckung Dach und Oberfläche Estrichboden.	205	Unverändert
Flachdach	Neue Dachfolie und Randleuchte.	130	Unverändert
Fassade	Pinselformierung mit Putzausbesserung.	100	Unverändert
Fenster	Instandsetzung Rahmen u. Dichtungen.	50	Unverändert
Kellerdecke	Pinselformierung	15	Unverändert

**Tabelle 11: Festlegung des Referenzfalls nach Bauteilen (Abgeleitet aus TEP Energy 2010)**

Um die realen Vermeidungskosten bestmöglich abzubilden, müssten die Annahmen für den Referenzfall individuell pro Objekt festgelegt werden. Im vorliegenden Gebäudesample weisen die realen Massnahmen beim Dach in 21 von 47 Fällen geringere Kosten auf, als die in Tabelle 11 aufgeführten Mittelwerte für den Referenzfall. Die Abweichung ist mehrheitlich gering. Ohne Korrektur würde jedoch bei zu hohen Abweichungen ein Wechsel des Vorzeichens der Vermeidungskosten und damit eine starke Verzerrung der Resultate entstehen. In der vorliegenden Auswertung mit realen Daten wurden daher für das individuelle Objekt die Kosten des Referenzfalls wo erforderlich auf die Kosten der real ausgeführten Massnahme limitiert. In diesen Fällen wird der finanzielle Gewinn der Massnahme auf die erzielte Reduktion von Energiekosten limitiert und die ungewollte Verzerrung der Resultate durch rechnerisch entstehende negative Massnahmenkosten wird vermieden.

Damit ist der Referenzfall nach Bauteil für die Auswertung von real ausgeführten Massnahmen im Vergleich mit der Weiterführung des Zustandes vor der Sanierung definiert.

### Spezielle Betrachtung für den Referenzfall Fenster

Für die Bauteile Dach, Aussenwand und Boden (Kellerdecke) lassen sich die nicht energetisch wirksamen Instandsetzungsmassnahmen plausibel und auch für die Praxis realistisch erklären.

Für das Bauteil Fenster ist als Instandsetzungsmassnahme bei alten, doppelt verglasten Fenstern ein Ersatz der Fenster eher die Regel als eine Sanierung der bestehenden. Diese Tatsache führt zu einem methodischen Dilemma bei der Definition des Referenzfalles für das Fenster:

- Wird als Referenzfall für den zu untersuchenden realen Fensterersatz eine nicht energetische Instandsetzung mit geringen Kosten angenommen (Anstricherneuerung), dann resultieren wie in Abschnitt 6.2 gezeigt, hohe Vermeidungskosten für die Massnahme Fensterersatz. Zudem zeigt die Praxis, dass der Fensterersatz gegenüber einer Sanierung bestehender Fenster aus der Bauperiode von 1950 bis 1970 die deutlich häufiger realisierte



Lösung ist, da neue Fenster nebst den energetischen Vorteile auch noch andere Vorteile aufweisen wie: besserer Schallschutz, einfachere Reinigung, Kippstellung, Abschliessbarkeit etc.

- Wird aber als Referenzfall ein der beobachteten Praxis entsprechender Fensterersatz angenommen, dann erfolgt kein Vergleich mehr mit dem Zustand vor der Sanierung, sondern ein Vergleich des real ausgeführten Fensterersatzes mit einem als Referenzfall angenommenen, typischen Fensterersatz. Wie in Abschnitt 6.2 gezeigt wird, führt diese Annahme für den Referenzfall zu keinem brauchbaren Resultat.
- Präziser wäre die Zustandsbestimmung des ersetzten Fensters, wonach dann nur noch der Fensterrestwert des ersetzten Fensters sowie der Mehrkosten des realisierten neuen Fensters gegenüber einem neuen Fenster mit dem kostengünstigsten energetischen Standard der energetischen Sanierung anzurechnen wäre, was aber aus Datenbeschaffungsgründen hier nicht machbar war.

Aufgrund dieses Dilemmas müsste die Massnahme Fensterersatz als Ohnehin-Massnahme erklärt werden, die ausserhalb der energetischen Betrachtung analog zu anderen, nicht energetischen Massnahmen der baulichen Instandsetzung, wie z.B. der Ersatz von Küchen und Bädern, behandelt wird. In der Auswertung wird daher für das Bauteil Fenster sowohl der Vergleich mit einfacher Instandsetzung und der Vergleich mit einem typischen Fensterersatz gezeigt.

## 4.5 Definition der Parameter

### Endenergiepreise:

Den Kalkulationen werden die untenstehenden Endenergiepreise zu Grunde gelegt. Für die Abschätzung der Sensitivität der Ergebnisse auf die Energiepreise wird je Energieträger ein aktueller, durchschnittlicher Preis und ein Preis für ein Szenario mit zukünftig höheren Energiepreisen verwendet.

Energieträger	Aktueller Preis	Hoher, zukünftiger Preis	Annahmen
Heizöl	80 Fr./100 l	120 Fr./100 l (Steigerung: 1,5)	Heizöl extraleicht
Erdgas	9 Rp./kWh	13 Rp./kWh (Steigerung: 1,44)	Preissteigerung wegen Nicht-Ausbau des Gasnetzes geringer als bei den anderen Energieträgern
Strom	18 Rp./kWh	27 Rp./kWh (Steigerung: 1,5)	Hochtarif: 22 Rp./kWh.; Niedertarif: 12 Rp./kWh; Preismix: 60% HT und 40% NT
Holz: Brennholz	120 Fr./Ster	180 Fr./Ster (Steigerung: 1,5)	1 Ster sind ca. 0,59 m <sup>3</sup> = 0,59 Festmeter; Energieinhalt: 1 Ster = ca. 1,4 MWh, Annahme: Buche/Tanne gemischt
Holz: Pellets	395 Fr./t	592 Fr./t (Steigerung: 1,5)	Energieinhalt: 1 t Pellets = ca. 5 MWh
Fernwärme	8 Rp./kWh	12 Rp./kWh (Steigerung: 1,5)	

**Tabelle 12: Angenommenen Energiepreise für zwei Preisszenarien: Szenario mit aktuellen Energiepreisen (2010) und Szenario mit höheren künftigen Endenergiepreisen**

## Zinssatz

Die Berechnung von CO<sub>2</sub> –Vermeidungskosten wird mit realen Kosten (ohne Teuerung) und gleichzeitig mit realen Zinssätzen vorgenommen. Gemäss SIA 480 wird bei Privaten im Immobilienbereich von einem Realzins von 3.0% bis 3.5% p.a. ausgegangen (beim aktuellen Zinsniveau eher 3.0%), vorausgesetzt es bestehen keine objektspezifischen speziellen Immobilienrisiken.

Verwendeter realer Zinssatz für die Hauptauswertung: **3.0% p.a.**

## Amortisationsdauer der energierelevanten Elemente der Gebäudehülle

Für die energierelevanten Elemente der Gebäudehülle werden ausgehend von Wüest & Partner 2004 die folgenden mittleren Amortisationsdauern für Wohngebäude angenommen:

Bauteil	Mittlere Lebensdauer
Schrägdach Warm	30 Jahre
Schrägdach Kalt mit Estrichboden	45 Jahre
Flachdach	30 Jahre
Fassade	40 Jahre
Fenster	35 Jahre
Kellerdecke	45 Jahre

**Tabelle 13: Mittlere Lebensdauer für Bauteile von Wohnbauten (nach Wüest & Partner 2004)**

Diese Amortisationsdauern orientieren sich an den mittleren technischen Lebensdauern der entsprechenden Gebäudeteile für Wohnbauten. Es besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Bauteile durch Nutzungsänderungen (zukünftige Gebäudeerweiterung) oder im Zuge eines Besitzerwechsels bereits vor der mittleren Lebensdauer ersetzt werden. Institutionelle Gebäudeeigentümer werden u.U. aus Risikoüberlegungen mit kürzeren Amortisationsfristen rechnen, was in allen Fällen höhere Kapitalkosten und CO<sub>2</sub> –Vermeidungskosten für die jeweiligen Massnahmen ergeben würde als hier in der Hauptauswertung ermittelt.

In der Auswertung wird im Vergleich daher auch der Einfluss einer um 10 Jahre verkürzten Lebensdauer berechnet (Siehe Abschnitt 6.3).

## CO<sub>2</sub> - Emissionsfaktoren

Im Kontext der Treibhausgasreduktion und des Klimaschutzes bestehen verschiedene methodische Ansätze mit unterschiedlichen Systemgrenzen.

Entsprechend dem eidgenössischen CO<sub>2</sub>-Gesetz werden bei den Emissionen aus Brennstoffen nur die CO<sub>2</sub> -Emissionen erfasst.

Gemäss Kyoto-Protokoll müssten die üblichen Konversionsfaktoren für die verschiedenen Treibhausgase verwendet werden. Die Nicht-CO<sub>2</sub> -Treibhausgase werden dabei als CO<sub>2</sub>-Äquivalente erfasst, ohne vorgelagerte Emissionen im Ausland.

Nach SIA wird der Endenergieverbrauch mit spezifischen Treibhausgaskoeffizienten in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet. Diese Faktoren umfassen die lokale Emission inklusive vorgelagerte Emissionen der Energiegewinnung, –umwandlung und –verteilung.

**Festlegung:** Wir verwenden für Heizöl Extraleicht und Erdgas Emissionsfaktoren<sup>1</sup>, die kompatibel mit der Systemdefinition des CO<sub>2</sub>-Gesetzes und des Kyotoprotokolls sind. Für die Vergleichsbetrachtung mit Fernwärme wird ein Emissionsfaktor für den schweizerischen Durchschnitt von Fernwärmenetzen mit Wärme von Kehrlichtverbrennungsanlagen aus Frischknecht et. al.<sup>2</sup> eingesetzt.

Energieträger	Emissionsfaktor in kg CO <sub>2</sub> / MJ <sub>Heizwert</sub>
Heizöl Extraleicht HEL	0.074
Erdgas	0.055
Fernwärme (CH-Mix mit KVA)	0.040

**Tabelle 14:** Emissionsfaktoren der für die Auswertung verwendeten Energieträger

<sup>1</sup> Energieinhalte und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren von fossilen Energieträgern. BAFU G134-0296

<sup>2</sup> Primärenergiefaktoren von Energiesystemen 2.1, ESU-Services 2009

# 5 Datenerhebung

## 5.1 Herkunft der Datensätze

Aufgrund des Forschungsansatzes, welcher auf gemessenen Verbrauchsdaten vor/nach der Sanierung und effektiven Kosten beruht, lag die Sanierung meist schon mehrere Jahre zurück. Sehr häufig fehlten die Energieverbrauchsdaten vor der Sanierung oder sie waren nur noch in Frankenbeträgen und nicht mehr in den Originaleinheiten gespeichert. Aufgrund der in der Vergangenheit sehr volatilen Preisentwicklung bei Heizöl und Gas wurde auf die Auswertung von Energieangaben in Frankenbeträgen verzichtet. Generell erwies es sich als sehr schwierig, vollständige Datensätze zu erhalten.

Bei den oben erwähnten Erhebungsproblemen war es nicht möglich, mit vertretbarem Zeitaufwand mehr 80 Objekte zu erheben, wovon 61 auswertbar waren. Dabei stammen 50 der 80 Objekte aus einer Auswertung der Vollzugsdaten der Stiftung Klimarappen, welche von TEP Energy für die Forschungsgemeinschaft vorgenommen wurde, womit der Aufwand für die Datenerhebung etwas reduziert werden konnte. Gleichzeitig liessen sich Daten für Ein- und Zweifamilienhäuser gewinnen, welche bei der Datenbeschaffung über grössere Immobilieneigentümer unterdurchschnittlich vertreten waren. Zusätzlich sind die ausgewerteten Objekte aus dem Gebäudeprogramm der Stiftung Klimarappen stärker über die Deutschschweiz verteilt als die übrigen Objekte (siehe unten), welche vorwiegend aus den Kantonen Zürich, Graubünden und Basel-Stadt stammen.

### Gebäudedaten der Stiftung Klimarappen

Das Gebäudesample der Stiftung Klimarappen enthält Gebäude, deren energetische Sanierungen der Gebäudehülle durch das Gebäudeprogramm der Stiftung Klimarappen gefördert wurden. Die Auswertung der Gebäudedossiers aus der Datenbank der Stiftung Klimarappen wurde im Auftrag der Forschungsgemeinschaft durch TEP Energy vorgenommen.

Da nicht alle für die vorliegende Studie benötigten Daten in den Gebäudedossiers der Stiftung enthalten sind, wurde bei den ausgewählten Gebäudeeigentümern nach Einholung ihres Einverständnisses zur Datenverwendung eine zusätzliche Datenerhebung mittels Fragebogen vorgenommen.

Bei der Erhebung der Gebäudedaten der Stiftung Klimarappen wurde folgendes Vorgehen gewählt:

1. Auswahl von Gebäudeeigentümern aus der Adressdatenbank und Anfrage um Teilnahme sowie um Erlaubnis, Vollzugsdaten aus dem Förderprogramm zu verwenden
2. Erhalt der Zusage
3. Abklärung mit TEP Energy GmbH, welche Daten in der Datenbank der Stiftung Klimarappen enthalten sind
4. Erhalt der unvollständigen Datensätze mit Angaben aus den Datendossiers der Datenbank Stiftung Klimarappen
5. Erhebung fehlender Daten bei den Gebäudeeigentümern
6. Ergänzung der Datensätze

## Gebäudedaten aus Einzelerhebungen

Der zweite Teil des Gebäudesamples wurde durch Einzelerhebungen von unterschiedlichen Gebäudeeigentümern erhoben. Der Kanton Graubünden lieferte Adressen von Architekten/Promotoren, bei welchen Daten beschafft und um die Erlaubnis für die Verfügbarmachung von Vollzugsdaten aus dem Bündner Gebäudeprogramm nachgefragt werden konnte. Auch der Kanton Basel-Stadt lieferte Informationen zu sanierten Gebäuden aus seinem Gebäude-Förderprogramm, welche ausgewertet werden konnten.

Die restlichen Daten stammen vorwiegend von institutionellen Immobilieneigentümern, einzelnen Genossenschaften und Architekturbüros.

Herkunft der Objektdaten	Anzahl	EBF gesamt	EBF pro Objekt
Objekte, die von der Stiftung Klimarappen gefördert wurden	46	16'470 m <sup>2</sup>	358 m <sup>2</sup>
Objekte privater, institutioneller und genossenschaftlicher Eigentümer	15	22'000 m <sup>2</sup>	1'470 m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>61</b>	<b>38'470 m<sup>2</sup></b>	<b>630 m<sup>2</sup></b>

**Tabelle 15: Lieferanten der ausgewerteten Datensätze und Verteilung**

## 5.2 Beschreibung des Gebäudesamples

Das ausgewertete Gebäudesample<sup>3</sup> umfasst 61 Objekte. Die Datensätze der Stiftung Klimarappen beinhalten mehrheitlich kleinere Gebäude, die zusammen rund 40% der untersuchten Gesamtfläche (Energiebezugsfläche) ausmachen. Demgegenüber sind in den übrigen 15 Datensätzen mit zusammen rund 60% der untersuchten Gesamtfläche mehrheitlich grössere Objekte enthalten.

### Einteilung in Gebäudegruppen

GESAMT	Anzahl n	EBF, Ae mittel MJ/m <sup>2</sup>	EKZ E <sub>h</sub> m MJ/m <sup>2</sup>	EKZ E <sub>h</sub> ref MJ/m <sup>2</sup>	Reduktion % ref
EFH	38	207	263	496	47%
MFH klein	14	718	250	476	47%
MFH gross	9	2'285	289	501	42%
<b>GESAMT</b>	<b>61</b>	<b>631</b>	<b>264</b>	<b>492</b>	<b>46%</b>

**Tabelle 16: Übersicht Gebäudesample nach Gruppen**

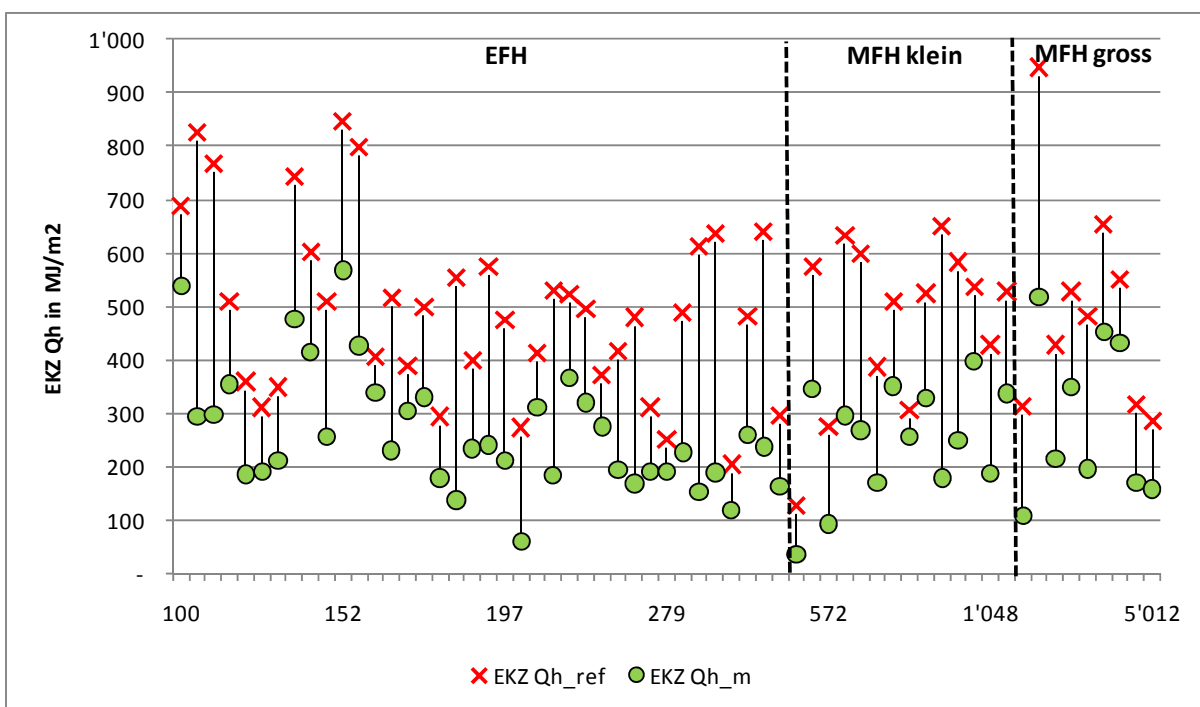
Die Einteilung des Gebäudesamples wurde in drei Gruppen entsprechend der Energiebezugsfläche EBF (Ae, nach SIA) eingeteilt. Mit einer EBF bis 500 m<sup>2</sup> pro Objekt sind in der ersten Gruppe vor allem Einfamilienhäuser enthalten. Die mittlere Gruppe mit Flächen von 500 bis 1'200 m<sup>2</sup> umfasst kleinere bis mittlere Mehrfamilienhäuser. Die Klasse MFH gross umfasst grosse Einheiten von Wohnsiedlungen. Die mittlere Energiekennzahl für den Energieverbrauch Raumheizung der drei Gruppen vor (EKZref) und nach der Sanierung (EKZm) zeigt wenig Abweichung zwischen den Gruppen und gegenüber dem Mittelwert des

<sup>3</sup> Von 80 erhobenen Datensätzen konnten letztlich 61 für die Auswertung verwendet werden (38 EFH und 23 MFH). Bei 19 Datensätzen waren nur einzelne Bauteile auswertbar oder es bestehen Datenlücken bzw. nicht plausible Angaben, so dass sie für die Auswertungen und die Vergleiche nicht einbezogen werden konnten.

gesamten Samples und weist damit auf eine gute statistische Verteilung innerhalb der Klassen hin.

In der Gruppe der EFH weisen die meisten Gebäude eine EBF zwischen 100 und 300 m<sup>2</sup> auf. Kein Gebäude hat hier eine EBF grösser als 400 m<sup>2</sup>. Das grösste Objekt hat eine EBF von rund 5'000 m<sup>2</sup> und ist damit rund 50 mal grösser als das kleinste Objekt im gesamten Gebäudesample (siehe Abbildung 5).

Die durchschnittlich erzielte Reduktion des Heizenergieverbrauches des Gebäudesamples ist beträchtlich und liegt bei 46%. Bei den grossen Objekten ist die Verbrauchsreduktion mit durchschnittlich -42% etwas geringer als bei den kleinen MFH und den EFH (durchschnittlich - 47%).



**Abbildung 5: Energiekennzahl für den Heizenergiebedarf vor ( $Q_{href}$ ) und nach ( $Q_{hm}$ ) der Sanierung, geordnet nach der Energiebezugsfläche EBF**

Abbildung 5 zeigt die Werte für die Energiekennzahl vor und nach der Sanierung pro Objekt entsprechend der Verteilung der Objekte nach Grösse der Energiebezugsfläche auf der X-Achse. Obwohl die Durchschnittswerte zwischen den Klassen gemäss Tabelle 16 wenig voneinander abweichen, sind die grossen Abweichungen zwischen den einzelnen Objekten klar zu erkennen.

### Verteilung nach Baujahr

Die Verteilung des Gebäudesamples nach Baujahr bestätigt die Annahme, dass die in den letzten 5-10 Jahren sanierten Gebäude ein Alter von heute rund 40-50 Jahren haben und damit mehrheitlich zwischen dem 30. und 50. Betriebsjahr saniert wurden (Abbildung 6). Die grosse Mehrheit der untersuchten Gebäude wurde nach 1946 erstellt, mit einer deutlichen Häufung zwischen 1960 und 1970. Das jüngste Gebäude hat das Baujahr 1983, das älteste stammt aus dem Jahr 1907.

In der Gebäudeklasse EFH (EBF bis 500 m<sup>2</sup>) ist die Streuung der Baujahre am grössten. In den Klassen MFH-klein und MFH-gross ist die Verteilung des Baujahres deutlich auf die Periode von 1950 bis 1975 begrenzt.

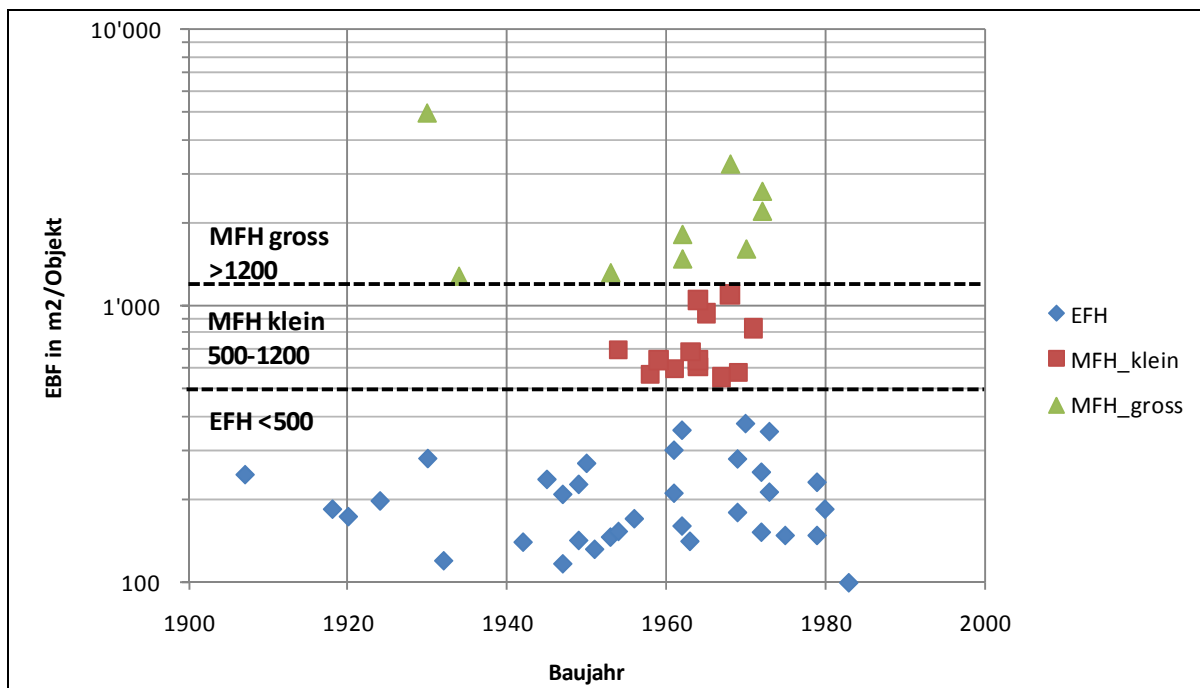


Abbildung 6: Verteilung des Gebäudesamples nach Baujahr und Energiebezugsfläche EBF

## Verteilung der Massnahmen

Die untersuchten Massnahmen wurden in die vier Kategorien Dach, Aussenwand, Fenster und Boden (Kellerdecke) unterteilt. Mit den 61 Gebäuden wurden 166 realisierte Einzelmassnahmen ausgewertet. Das entspricht einem Durchschnitt von 2.7 Massnahmen pro Objekt. Bei 11 Objekten wurden Massnahmen bei allen vier Massnahmenkategorien realisiert, bei 22 Objekten drei Massnahmen und bei restlichen 28 Objekten noch zwei Massnahmen.

Die häufigste Kombination ist Dach und Wand (in 12 Objekten) sowie Dach, Wand und Fenster und Wand und Fenster (je bei 10 Objekten).

An 51 der 61 Objekte wurde die Aussenwand gedämmt, an 47 Objekten das Dach und an 45 Objekten die Fenster. Die Massnahme Boden (Wärmedämmung Kellerdecke) wurde nur in 23 Fällen und damit deutlich weniger häufig vorgenommen.

Die folgende Tabelle 17 zeigt die Verteilung der 166 Massnahmen nach Gebäudetyp und Massnahmenkategorie.

	Anzahl Objekte	Dach		Aussenwand		Fenster		Boden		Total	
		Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Ø Massn./Objekt
EFH	38	28	0.74	30	0.79	29	0.76	11	0.29	98	2.6
MFH klein	14	13	0.93	13	0.93	9	0.64	6	0.43	41	2.9
MFH gross	9	6	0.67	8	0.89	7	0.78	6	0.67	27	3.0
<b>GESAMT</b>	<b>61</b>	<b>47</b>	<b>0.77</b>	<b>51</b>	<b>0.84</b>	<b>45</b>	<b>0.74</b>	<b>23</b>	<b>0.38</b>	<b>166</b>	<b>2.7</b>

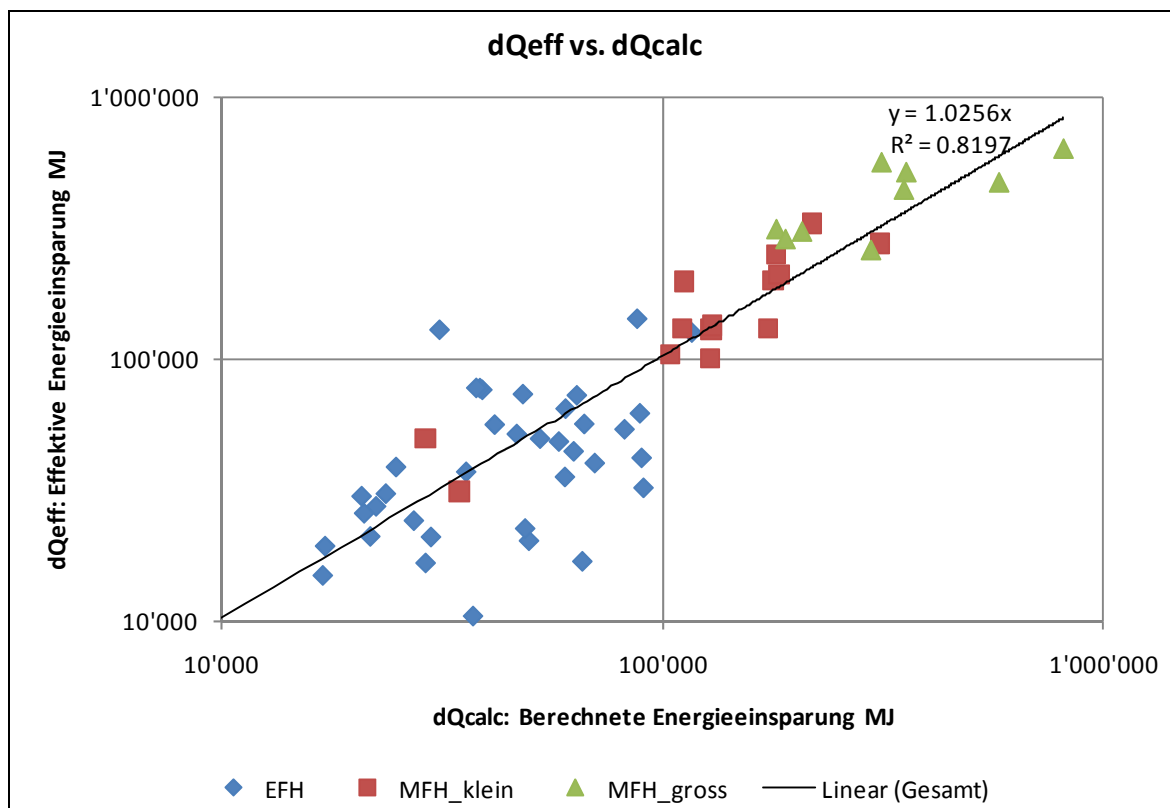
Tabelle 17: Anzahl und Anteile der realisierten Massnahmen nach Gebäudetyp und Massnahmenkategorie sowie das Total der Massnahmen und durchschnittliche Anzahl Massnahmen pro Gebäudetyp

### 5.3 Vergleich der berechneten mit den effektiv gemessenen Energieeinsparungen

Als Teil der Datenerhebung wurde die Berechnung der Wirkungsanteile der einzelnen Gebäudeteile vorgenommen. Dies erfolgte mit dem im Anhang A1 beschriebenen Rechenmodell nach SIA 380/1. Der empirisch erhobene Energieverbrauch vor und nach der Sanierung diente hierbei als Kontrolle und Abgleich für die Modellrechnung. Als Kriterium für das Rechenmodell wurde die pro Bauteil berechnete Einsparung von Energie pro Objekt summiert und mit der gemessenen Einsparung in Vergleich gesetzt. Das Verhältnis der effektiven Einsparung zur berechneten Einsparung soll dabei über das ganze Gebäudesample betrachtet möglichst bei 1.0 liegen.

Abweichungen der einzelnen Objekte zu diesem Idealwert sind möglich, da verschiedene für den realen Energieverbrauch massgebliche Einflussfaktoren unbekannt bleiben (z.B. der unklare aber u.U. beträchtliche Beitrag der internen und der solaren Wärmegewinne). Besonders relevant ist dabei das individuelle Benutzerverhalten das im Einzelfall zu erheblichen Abweichungen gegenüber dem berechneten Wert führen kann, sich aber über mehrere Gebäude betrachtet im Effekt wieder aufhebt. Diese Erfahrung wird auch mit dem vorliegenden Gebäudesample gut bestätigt. Die grösseren Gebäude, bei denen durch die Anzahl der Wohnungen bereits innerhalb des Objekts eine Nivellierung des unterschiedlichen Benutzerverhaltens stattfindet, haben deutlich geringere Abweichungen als die Einfamilienhäuser bei denen das Benutzerverhalten direkt in den Verbrauchswerten abgebildet ist.

**Vergleich der Reduktion des effektiv gemessenen Heizenergiebedarfes  $dQ_{\text{eff}}$  mit der berechneten Reduktion des Heizenergiebedarfes  $dQ_{\text{calc}}$**



**Abbildung 7: Korrelation der effektiven Einsparungen  $dQ_{\text{eff}}$  mit den berechneten Einsparungen  $dQ_{\text{calc}}$  beim Heizenergiebedarf**



In Abbildung 7 ist die *gemessene* Einsparung in Funktion der *berechneten* Einsparung für das gesamte Gebäudesample aufgetragen. Die Korrelation des Gebäudesamples stimmt gut mit dem Idealwert 1.0 überein. Aufgrund der durchgeführten Regressionsanalyse sind keine systematischen Abweichungen zwischen den berechneten und den gemessenen Energieeinsparungen zu erkennen.

### **Lage- und Klimakorrektur**

Bei der berechneten Einsparung wurde die Klimastation entsprechend dem Standort des Objektes in der Modellrechnung nach SIA 380/1 berücksichtigt. Die deklarierten Verbrauchswerte vor und nach der Sanierung wurden dagegen nicht einzeln nach Heizgradtagen korrigiert. Diese Klimakorrektur erfolgte mit der oben gezeigten Korrelation über das gesamte Sample.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Vermeidungskosten der energetischen Gesamtmassnahmen

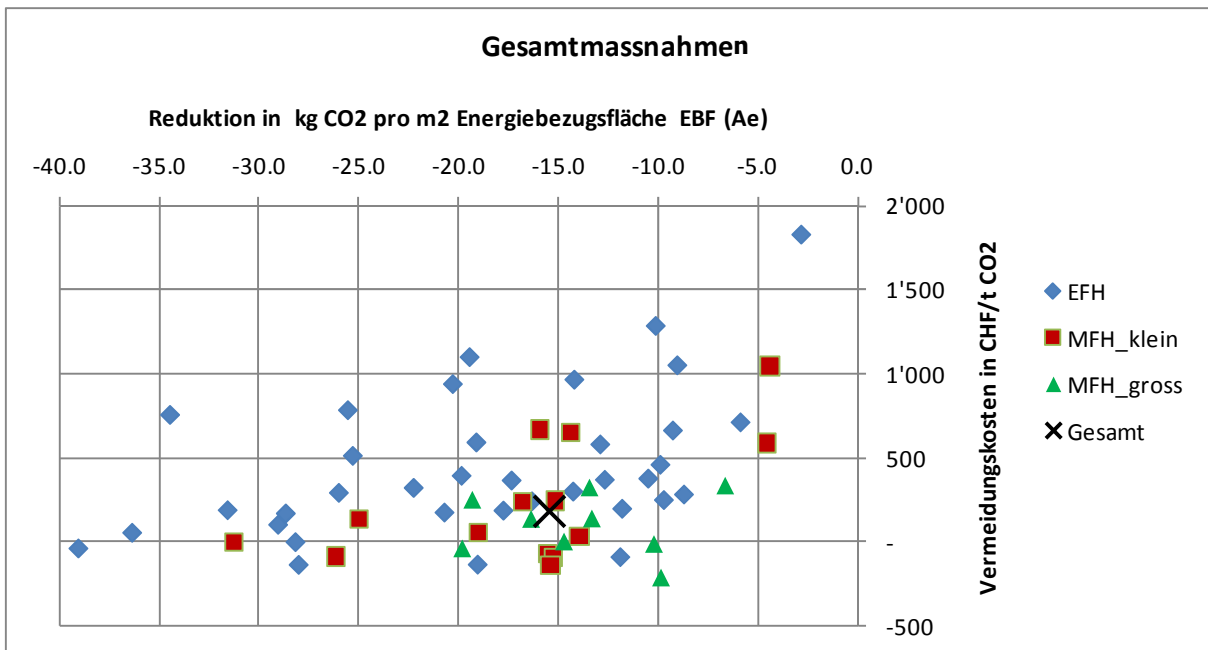
GESAMT	Anzahl n	Investitions- kosten <sub>m</sub> CHF/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub>	Reduktion End- energieverbrauch kWh/ m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> a	Reduktion CO <sub>2</sub> - Emissionen kg/ m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> a	CO <sub>2</sub> -Vermeidungs- kosten CHF/t CO <sub>2</sub>
EFH	38	424	-64.4	-19.5	324
MFH klein	14	279	-61.3	-17.0	137.4
MFH gross	9	201	-51.3	-13.0	147.1
<b>GESAMT</b>	<b>61</b>	<b>266.7</b>	<b>-56.6</b>	<b>-15.4</b>	<b>190.2</b>

**Tabelle 18:** Ergebnisse für die Gesamtmassnahmen (Bezugsfläche ist die Energiebezugsfläche): Spezifische Investitionskosten der Massnahmen, spezifische Reduktion des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die resultierenden spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche

Die Investitionskosten der energetischen Gesamtmassnahmen liegen in einem Bereich von CHF 200 pro m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> für die grossen Mehrfamilienhäuser bis deutlich über CHF 400 pro m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> für die Gruppe der Einfamilienhäuser. Die resultierenden Einsparungen pro m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> sind daher bei den Einfamilienhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern deutlich grösser als bei den grossen Mehrfamilienhäusern.

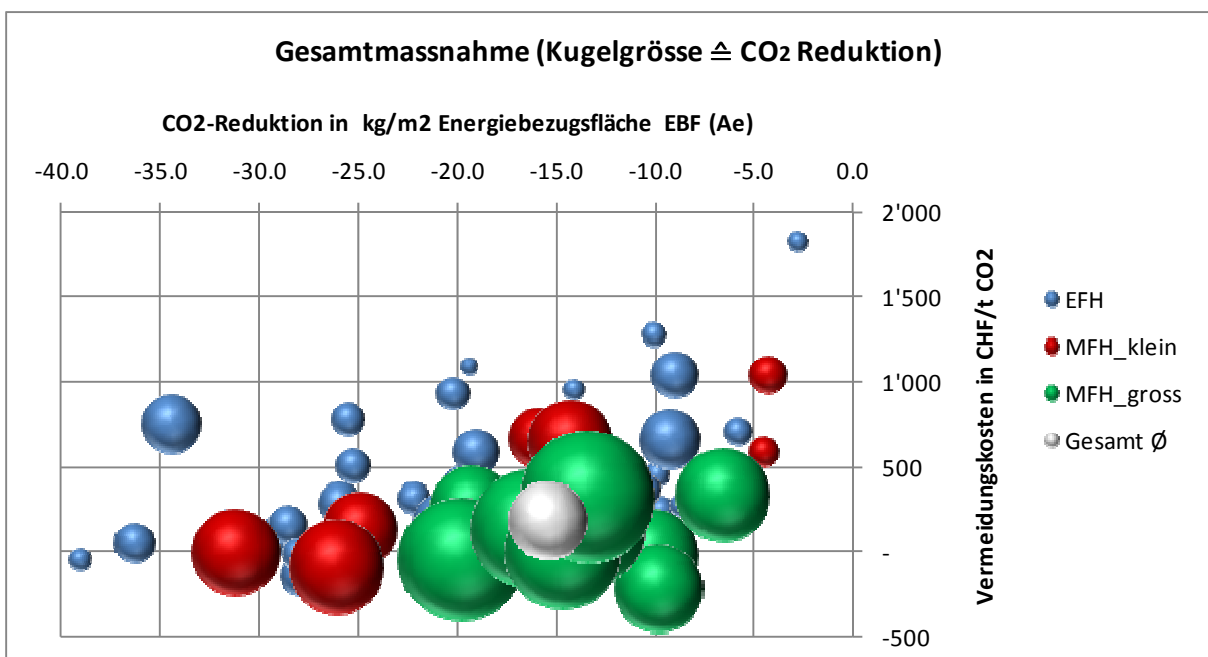
Bei der Interpretation dieser Resultat ist zu beachten, dass die Gruppe der EFH mehrheitlich aus Gebäuden besteht, die im privaten Besitz der Bewohner stehen und im Rahmen des Förderprogramms Klimarappen saniert wurden. Demgegenüber sind die grossen Mehrfamilienhäuser überwiegend im Besitz von institutionellen Eigentümern, die eine Gesamtsanierung nach wirtschaftlichen Kriterien entsprechend ihrem Instandsetzungsplan vornehmen und in der Regel den gesetzlichen Minimalstandard realisiert haben.

Die deutlich höheren spezifischen Investitionen und die höheren spezifischen Einsparungen bei den Einfamilienhäusern im Vergleich zu den Mehrfamilienhäusern kann zudem durch die unterschiedliche Flächeneffizienz begründet werden. Im Verhältnis zur Energiebezugsfläche haben kleine Gebäude eine grössere Aussenhülle. Dadurch entstehen höhere spezifische Investitionskosten, aber es resultiert auch eine höhere spezifische Einsparung als bei den grösseren Gebäuden. Demgegenüber ist die Gesamteffizienz der Massnahmen bei den grösseren Gebäuden deutlich höher, was aus den tieferen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei den Mehrfamilienhäusern im Vergleich zu den Einfamilienhäusern klar hervorgeht.



**Abbildung 8: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten pro Gebäude und Gesamtergebnis für die Gesamtmassnahmen**

Die Verteilung der Vermeidungskosten der Gesamtmassnahmen pro Objekt lässt keine klare Tendenz erkennen und bestätigt die in 5.3 erläuterte generell grosse und im Gesamtergebnis zufällige Streuung der pro Objekt ermittelten Vermeidungskosten um den resultierenden Gesamtwert des Gebäudesamples.



**Abbildung 9: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten pro Gebäude und Gesamtergebnis für die Gesamtmassnahmen (Kugelgrösse = CO<sub>2</sub>-eigentliche Reduktion in kg)**

Die Gewichtung der Datenpunkte mit der effektiven CO<sub>2</sub>-Reduktion in Abbildung 9 zeigt, dass die Streuung zu hohen Vermeidungskosten nur kleine Objekte mit einem kleinen Mengenanteil betrifft. Die Streuung der grossen MFH ist deutlich geringer. Der Mittelwert des Samples (Gesamt Ø) liegt bei einer Reduktion von 15.4 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> EBF mit Vermeidungskosten von CHF 190 pro kg CO<sub>2</sub>. (Siehe auch Tabelle 18).

## 6.2 Auswertung nach Bauteil

Die Definition der Referenzsanierungen für die Auswertung nach Bauteilen ist im Abschnitt 4.4 beschrieben.

### Kennwerte

In den folgenden Tabellen sind die spezifischen Kennwerte des Gebäudesamples nach Gebäudebauteilen zusammengestellt. Die Kennwerte sind wie folgt beschrieben.

### Spezifische Investitionen: INVm

Die spezifischen Investitionen beschreiben die Kosten der Teilmassnahmen, also für das einzelne Bauteil im Verhältnis zur massgebenden Bauteilfläche. Es handelt sich dabei um empirisch erhobene Massnahmenkosten (Vollkosten der ausgeführten Massnahme) und Bauteilflächen ohne weitere Umrechnung. Diese Angaben dienen zur Prüfung der Plausibilität der erhobenen Kostenkennwerte mit Kostenangaben aus anderen Studien.

### Spezifische Endenergieeinsparungen: red. E

Mit der in Anhang 2 beschriebenen rechnerischen Aufteilung der gesamten Endenergieverbrauchsreduktion auf die Bauteile können die spezifischen Endenergieeinsparungen pro sanierte Bauteilfläche bestimmt werden. Diese Angaben dienen zur Plausibilitätsprüfung der pro Bauteil erreichten Energieeinsparung im Vergleich mit anderen Studien.

### Spezifische CO<sub>2</sub> –Einsparungen: red. THG

Dieser Wert beschreibt die spezifischen Emissionseinsparungen pro Bauteilfläche analog zur Energieeinsparung. Die spezifische CO<sub>2</sub> -Einsparung wird mit Heizöl als Energieträger berechnet.

### Spezifische CO<sub>2</sub> –Vermeidungskosten: VK

Dieser Wert entspricht den spezifischen Vermeidungskosten pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche. Die spezifischen CO<sub>2</sub> -Vermeidungskosten werden generell mit Heizöl als Energieträger berechnet. Die weiteren Parameterwerte werden je nach Bauteil gemäss Tabelle 11, Tabelle 12 und Tabelle 13 eingesetzt.

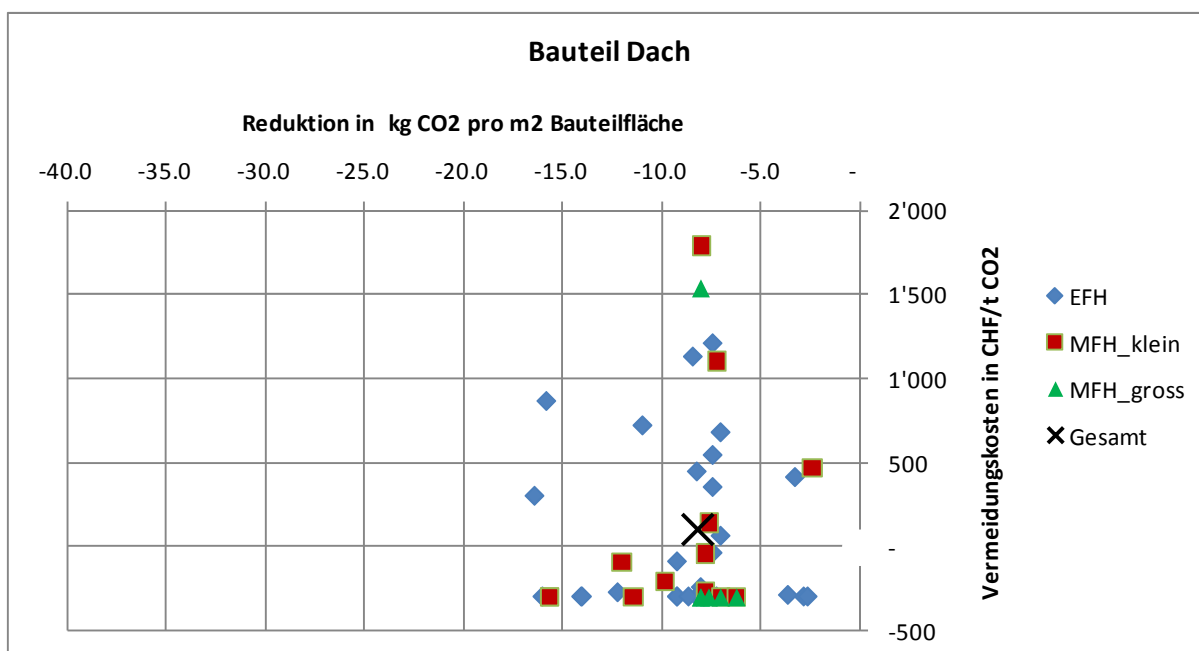
Negative Vermeidungskosten bedeuten, dass die jeweiligen Massnahmen zu Minderkosten führen und sich damit wirtschaftlich lohnen.

### Bauteil Dach

DACH	Anzahl n	INVm CHF/m <sup>2</sup> Bauteil	red. E kWh/ m <sup>2</sup> Bauteil a	red. CO <sub>2</sub> kg/ m <sup>2</sup> Bauteil a	VK CHF/t CO <sub>2</sub>
EFH	28	236	-31.8	-8.58	148
MFH klein	13	224	-32.3	-8.72	181
MFH gross	6	162	-26.6	-7.17	-26
<b>GESAMT</b>	<b>47</b>	<b>208</b>	<b>-30.2</b>	<b>-8.16</b>	<b>109</b>

**Tabelle 19: Resultattabelle für das Bauteil Dach (Bezugsfläche ist die Bauteilfläche).**

In der Auswertung wurden Steil- und Flachdächer gemeinsam ausgewertet. Bei EFH und kleinen MFH überwiegen die Steildächer während in der Gruppe MFH gross überwiegend Flachdächer behandelt wurden. Mit den für den Referenzfall Flachdach definierten Parametern weisen Flachdachsaniierungen generell sehr tiefe Vermeidungskosten auf.



**Abbildung 10: Vermeidungskosten pro Gebäude und Gesamtergebnis für das Bauteil Dach**

Die Verteilung der Vermeidungskosten zeigt eine markante vertikale und horizontale Gruppierung der Resultate. Hohe Werte der Vermeidungskosten entstehen in Einzelfällen durch eine im Vergleich geringe CO<sub>2</sub>-Reduktion der Massnahme.

Die vertikale Gruppierung entsteht durch gleiche energetische Wirkung bei unterschiedlichen Massnahmenkosten. Die horizontale Gruppierung entsteht durch die in Abschnitt 4.4 erläuterte Begrenzung beim Vergleich der Massnahmenkosten mit den Kosten für den Referenzfall.

## Bauteil Aussenwand

AUSSENWAND	Anzahl n	INVm CHF/m <sup>2</sup> Bauteil	red. E kWh/ m <sup>2</sup> Bauteil a	red. CO <sub>2</sub> kg/ m <sup>2</sup> Bauteil a	VK CHF/t CO <sub>2</sub>
EFH	30	270	-53	-14.2	221
MFH klein	13	222	-56.7	-15.3	48
MFH gross	8	223	-55.9	-15.1	57
<b>GESAMT</b>	<b>51</b>	<b>236</b>	<b>-55.2</b>	<b>-14.9</b>	<b>97</b>

**Tabelle 20: Resultattabelle für das Bauteil Aussenwand (Bezugsfläche ist die Bauteilfläche)**

Die Gruppe EFH weist gegenüber den grösseren Gebäuden deutlich höhere Investitionskosten und leicht geringere Einsparungen aus. Die Vermeidungskosten sind dadurch deutlich höher als bei den MFH.

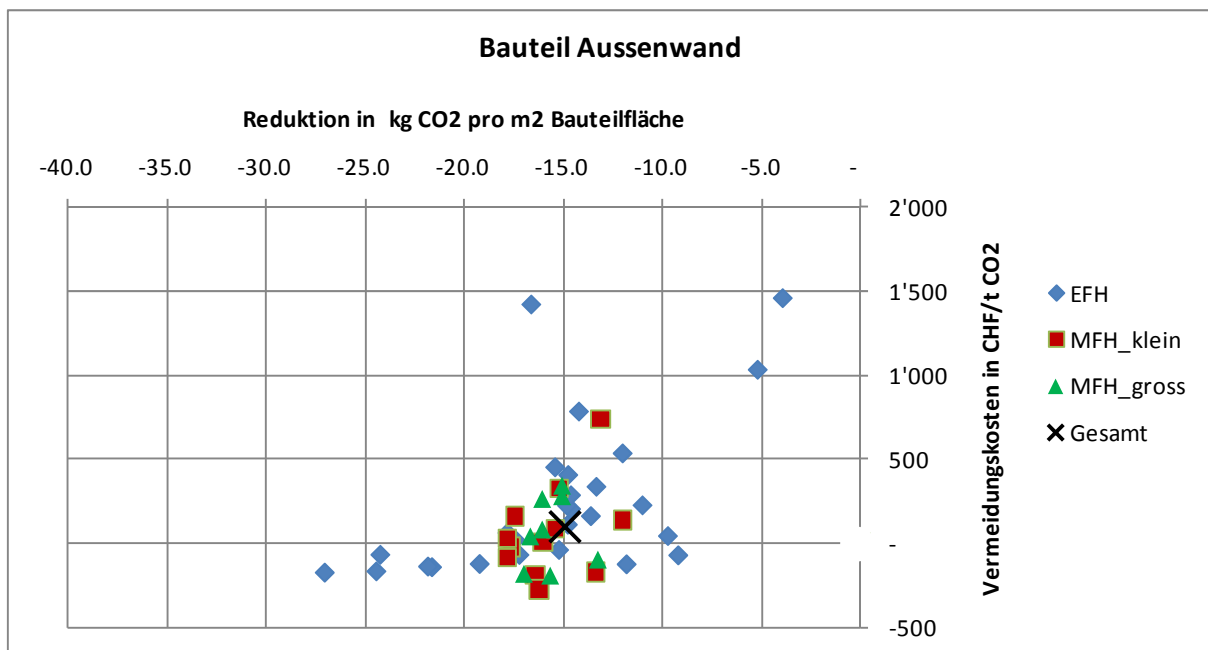


Abbildung 11: Vermeidungskosten pro Gebäude und Gesamtergebnis für das Bauteil Aussenwand

### Bauteil Fenster (Referenzfall *Instandsetzung*)

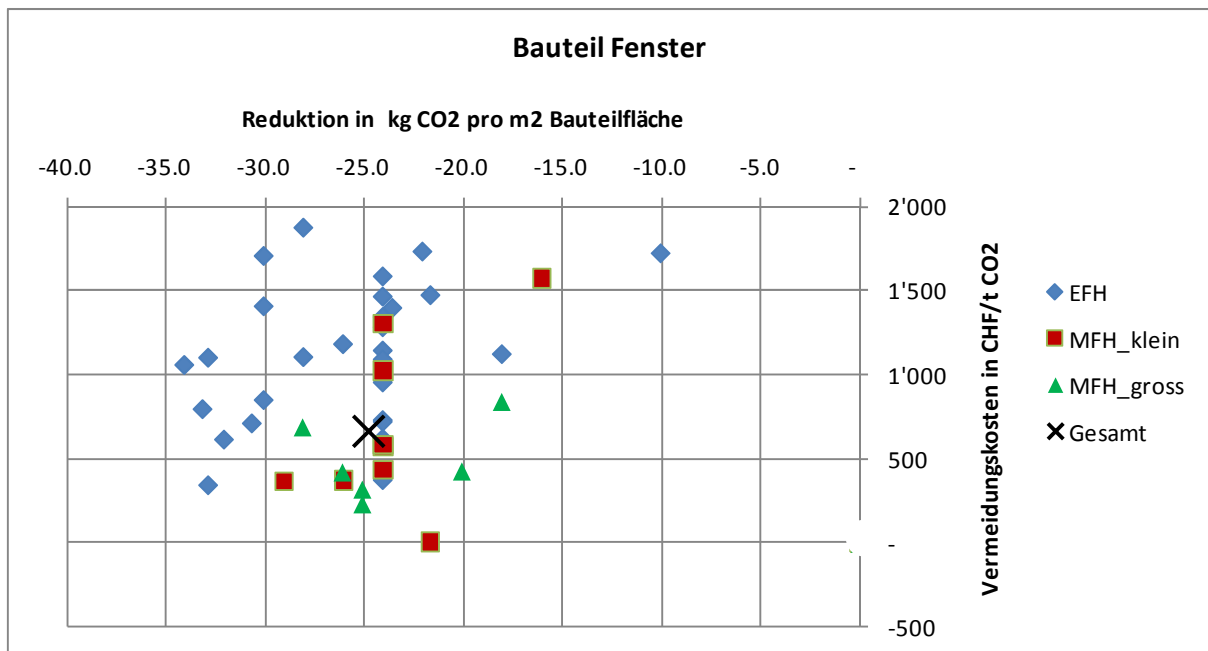
FENSTER	Anzahl n	INVm CHF/m <sup>2</sup> Bauteil	red. E kWh/ m <sup>2</sup> Bauteil a	red. CO <sub>2</sub> kg/ m <sup>2</sup> Bauteil a	VK CHF/t CO <sub>2</sub>
EFH	29	804	-101	-27.3	992
MFH klein	9	442	-87.8	-23.7	473
MFH gross	7	527	-87.9	-23.7	639
GESAMT	45	561	-90.5	-24.4	676

Tabelle 21: Resultattabelle für das Bauteil Fenster, Instandsetzung. (Bezugsfläche ist die Bauteilfläche)

Die häufigere Verwendung von teureren Holzrahmen in der Gruppe der Einfamilienhäuser führt zu deutlich höheren spezifischen Investitionen. Teilweise bessere Verglasungen mit tieferen U-Werten führen zu höheren Einsparungen.

Die Kostendifferenz der Massnahme im Vergleich zum Referenzfall ist bei den Fenstern am grössten und deutlich grösser als bei Dach, Wand oder Boden.

Werden wie in Tabelle 21 die vergleichsweise hohen Kosten neuer Fenster mit einer reinen Instandsetzung bestehender Fenster verglichen (Kosten 50 CHF pro m<sup>2</sup>), resultieren hohe CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Das stellt aber den schlechtesten Fall dar. Realistischerweise kann davon ausgegangen werden, dass instandgesetzte Fenster jeweils nur noch eine begrenzte Lebensdauer haben und somit neue Fenster immer auch einen Fensterteilersatz bedeuten. Dadurch verringert sich aber der der Energieeinsparung anzurechnende Investitionskostenanteil deutlich und damit auch die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (siehe unten).



**Abbildung 12: Vermeidungskosten pro Gebäude und Gesamtergebnis für das Bauteil Fenster (verglichen mit einer Instandsetzung bestehender Fenster)**

Die markant vertikale Gruppierung der Vermeidungskosten entsteht durch die real häufig verwendete gleiche Glasqualität (Minimalanforderung entsprechend gesetzlichen Auflagen) im Vergleich mit dem angenommenen Defaultwert für die ersetzten Fenster. Diese Verteilung zeigt den Einfluss unterschiedlicher Bauteilkosten bei gleichen energetischen Einsparungen, welcher zu einer Verteilung nur in vertikaler Richtung führt.

### Bauteil Fenster (Referenzfall *Fensterersatz*)

Die hier nur zur Information aufgeführte Auswertung mit einem Referenzfall Fensterersatz zeigt gegenüber dem Referenzfall Instandsetzung erwartungsgemäss stark reduzierte Vermeidungskosten (siehe Tabelle 21) trotz gleichzeitig kleineren spezifischen Energie- und CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen.

FENSTER	Anzahl n	INVm CHF/m <sup>2</sup> Bauteil	red. E kWh/ m <sup>2</sup> Bauteil a	red. CO <sub>2</sub> kg/ m <sup>2</sup> Bauteil a	VK CHF/t CO <sub>2</sub>
EFH	29	804	-60	-16.1	<b>412</b>
MFH klein	9	442	-34.2	-9.2	<b>-98</b>
MFH gross	7	527	-23.6	-6.4	<b>139</b>
<b>GESAMT</b>	<b>45</b>	<b>561</b>	<b>-33.7</b>	<b>-9.1</b>	<b>173</b>

**Tabelle 22: Resultattabelle für das Bauteil Fenster, Fensterersatz. (Bezugsfläche ist die Bauteilfläche)**

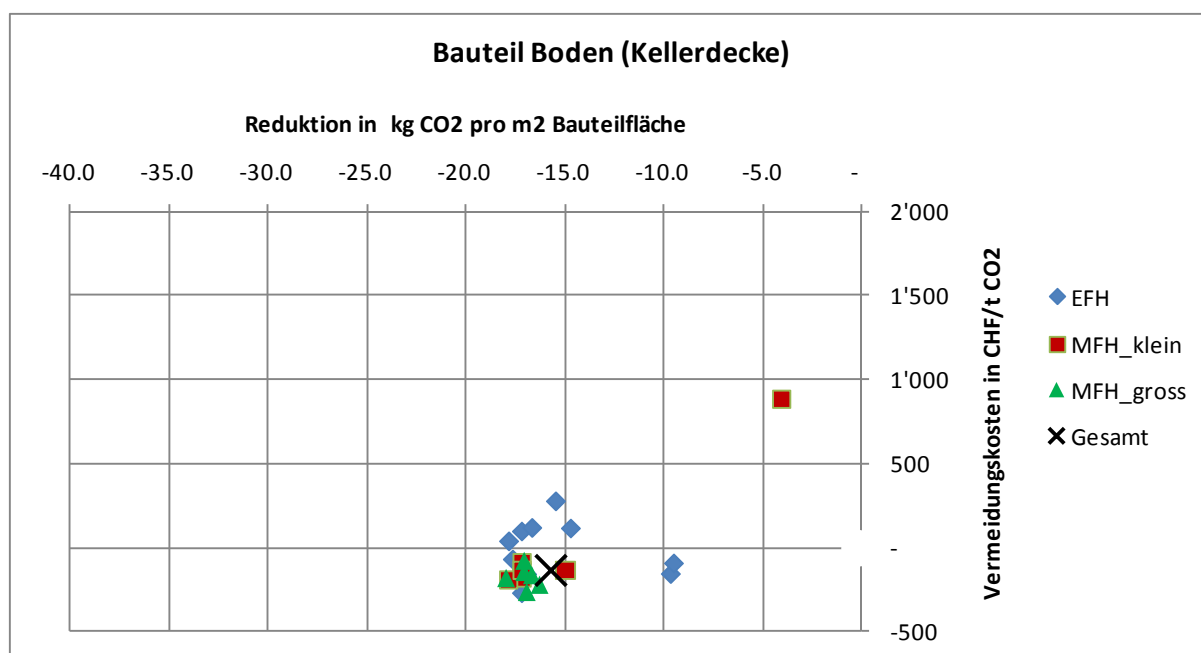
In diesem Fall handelt es sich jedoch nicht um einen Vergleich mit einem dem Zustand vor der Sanierung vergleichbaren Fall, sondern um einen Vergleich des realen Fensterersatzes mit einem angenommenen typischen Fall für den Fensterersatz.

## Bauteil Boden

BODEN	Anzahl n	INVm CHF/m <sup>2</sup> Bauteil	red. E kWh/ m <sup>2</sup> Bauteil a	red. CO <sub>2</sub> kg/ m <sup>2</sup> Bauteil a	VK CHF/t CO <sub>2</sub>
EFH	11	107	-55.5	-15.0	-46.1
MFH klein	6	92	-45.4	-12.26	-41
MFH gross	6	66.3	-61.1	-16.5	-170
<b>GESAMT</b>	<b>23</b>	<b>78.1</b>	<b>-56.9</b>	<b>-15.4</b>	<b>-128.6</b>

**Tabelle 23: Resultattabelle für das Bauteil Boden/Kellerdecke (Bezugsfläche ist die Bauteilfläche)**

Die Kellerdeckenisolation bringt vergleichsweise hohe energetische Einsparungen bei vergleichsweise geringen Investitionskosten und ist daher wirtschaftlich, was aus den negativen Kosten (bzw. den Erträgen) der Reduktion von CO<sub>2</sub> – Emissionen ersichtlich wird.



**Abbildung 13: Vermeidungskosten pro Gebäude und Gesamtergebnis für das Bauteil Boden (Kellerdecke)**

## 6.3 Sensitivitätsanalysen

Die ermittelten Ergebnisse hängen unter anderem von den getroffenen Annahmen zu den über die Amortisationszeit der Massnahmen geltenden Energiepreisen, von der mittleren Amortisationsdauer pro Massnahme sowie vom eingesetzten Energieträger ab (hier wurde zu Vergleichszwecken angenommen, dass Heizöl verwendet wird). Die folgenden Sensitivitätsrechnungen illustrieren, wie sich die Ergebnisse bei anderen Annahmen verändern.



## Energiepreis höher

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

**Tabelle24: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/t CO<sub>2</sub>, Vergleichstabelle mit Energiepreis Referenz (80 CHF/100 L) und Energiepreis hoch (120 CHF/100 L)**

Die Annahme eines um +50% höheren Energiepreises führt zu deutlichen Reduktionen der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Die spezifischen Vermeidungskosten des untersuchten Gebäudesamples würde mit dieser Annahme um rund CHF 150 pro Tonne auf noch CHF 42 pro Tonne CO<sub>2</sub> reduziert.

## Amortisationsdauer 10 Jahre kürzer

Mit der Annahme einer kürzeren Amortisationsdauer resultieren höhere Massnahmenkosten und damit auch höhere CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Mit der Annahme der generell um 10 Jahre verkürzten Amortisationsdauer der Massnahmen steigen die spezifischen Vermeidungskosten des Gesamtsamples von CHF 190 auf CHF 366 pro Tonne CO<sub>2</sub>.

CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	Dach		Aussenwand		Fenster		Boden		Gesamt	
	gemäss Tab 5.	-10 Jahre	gemäss Tab 5.	-10 Jahre	gemäss Tab 5.	-10 Jahre	gemäss Tab 5.	-10 Jahre	gemäss Tab 5.	-10 Jahre
EFH	148	594	221	369	992	1'313	- 46.1	- 5	324	552
MFH klein	181	596	48.3	160.8	473	676	- 40.8	2	137	306
MFH gross	- 25.7	340.4	0.6	171.2	639	881	- 170	- 146	147	297
<b>GESAMT</b>	<b>109</b>	<b>522.3</b>	<b>97.1</b>	<b>219.6</b>	<b>676</b>	<b>926</b>	<b>- 129</b>	<b>- 99</b>	<b>190</b>	<b>366</b>

**Tabelle25: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/t CO<sub>2</sub> mit den Amortisationsdauern gemäss Tabelle 13 sowie für jeweils um 10 Jahre verkürzte Amortisationsdauern**

## Einfluss der Energieträger

Die spezifischen Vermeidungskosten werden in diesem Bericht generell basierend auf Heizöl als Energieträger berechnet. Mit Emissionsfaktoren, die verglichen mit denjenigen von Heizöl geringer sind, steigen bei gleichem Energiepreis die spezifischen Vermeidungskosten für den konkreten Fall proportional zum Verhältnis der Emissionsfaktoren.

Bei der Interpretation der Sensitivität bezüglich der eingesetzten Energieträger muss beachtet werden, dass unterschiedliche Emissionsfaktoren sowohl die negativen wie die positiven Vermeidungskosten gleichermassen verstärken oder abschwächen. Ein Wechsel des Vorzeichens wird durch die Energieträgerwahl nicht verursacht.

Werden Energieträger mit unterschiedlichen Emissionsfaktoren und mit unterschiedlichen Energiepreisen für ein Gebäudesample verglichen, das Objekte mit positiven und negativen

spezifischen Vermeidungskosten umfasst, kann das Resultat nicht allgemein vorausgesagt werden. Das Gesamtergebnis wird durch die Verstärkung der positiven und negativen Einzelwerte je nach Zusammensetzung des Samples erhöht oder abgemindert.

CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	[CHF/t CO <sub>2</sub> ]									
	Dach		Aussenwand		Fenster		Boden		Gesamt	
	Heizöl	Erdgas	Heizöl	Erdgas	Heizöl	Erdgas	Heizöl	Erdgas	Heizöl	Erdgas
EFH	148	148	221	247	992	1'279	-46.1	-111	324	385
MFH klein	181	193	48.3	15.1	473	584	-40.8	-104	137	134
MFH gross	-25.7	-84.0	56.6	26.1	639	806	-170	-277	147	147
<b>GESAMT</b>	<b>109</b>	<b>96.5</b>	<b>97.1</b>	<b>80.4</b>	<b>676</b>	<b>856</b>	<b>-129</b>	<b>-222</b>	<b>190</b>	<b>205</b>

**Tabelle 26:** CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/t CO<sub>2</sub> beim Einsatz des Energieträgers Erdgas an Stelle von Heizöl, Energiepreise gemäss Tabelle 12.

CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	[CHF/t CO <sub>2</sub> ]									
	Dach		Aussenwand		Fenster		Boden		Gesamt	
	Heizöl	Fernwärme	Heizöl	Fernwärme	Heizöl	Fernwärme	Heizöl	Fernwärme	Heizöl	Fernwärme
EFH	148	263	221	395	992	1'771	-46.1	-82	324	579
MFH klein	181	323	48.3	86.3	473	845	-40.8	-73	137	245
MFH gross	-25.7	-45.9	56.6	101.0	639	1'141	-170	-303	147	263
<b>GESAMT</b>	<b>109</b>	<b>194.8</b>	<b>97.1</b>	<b>173.3</b>	<b>676</b>	<b>1'208</b>	<b>-129</b>	<b>-230</b>	<b>190</b>	<b>340</b>

**Tabelle 27:** CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/t CO<sub>2</sub> beim Einsatz des Energieträgers Fernwärme an Stelle von Heizöl, Energiepreise gemäss Tabelle 12.

## 6.4 Vergleich mit der Auswertung der Stiftung Klimarappen

Mit dem Bericht „Energetische Gebäudeerneuerungen – Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten“ (TEP Energy 2010) wurden 9'000 Projekte aus dem Gebäudeprogramm der Stiftung Klimarappen ausgewertet. Daraus wurden die energetischen Massnahmen einer Stichprobe von 400 Objekten detailliert untersucht. Die nicht amortisierbaren Mehrkosten (NAM) und die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (VK) wurden mit den aggregierten Resultaten aus dem Stichproben-Sample ermittelt. Die für das Schlussresultat relevante Energieeinsparung wurde von TEP Energy aus den **Bauteil-U-Werten vor und nach der Sanierung** berechnet.

Im Unterschied zu TEP Energy 2010 wurden in der vorliegenden Untersuchung die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten mit den **realen (gemessenen) Energieeinsparungen** pro Objekt bestimmt.

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

Vergleich Kennwerte	INVm - INVref CHF/m <sup>2</sup> Bauteil		Energieeinsparungen red. E kWh/m <sup>2</sup> Bauteil		CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten VK CHF/t CO <sub>2</sub>	
	Tabelle 11 u. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab.127, Sp.2,4	s. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab. 125, Sp.3	s. Abschnitt 6.2	TEP 2010 Tab.129,Sp.4
Dach	78	74	-30	-67	109	-63
Aussenwand	136	107	-55	-67	97	-8
Fenster	511	522	-91	-165	676	237
Boden	63	99	-57	-50	-129	2

**Tabelle 28: Vergleich mit Resultaten aus TEP Energy 2010. Vermeidungskosten VK und relevante Kostenwerte (energetische Mehrinvestitionen INVm-INVref) und Energieeinsparungen (red. E.)**

Tabelle 28 zeigt die relevanten Werte der vorliegenden Untersuchung im Vergleich mit den Werten, die in TEP Energy 2010 für die Bestimmung der Vermeidungskosten VK verwendet wurden (die Parameter Zins, Amortisationsdauer, Emissionsfaktor und Energiepreis sind ebenfalls zum Teil unterschiedlich, aber nicht relevant für die Erklärung).

Für das Bauteil **Dach** ist die Kostendifferenz zum Referenzfall ohne energetische Massnahmen praktisch gleich, die Energieeinsparung ist im vorliegenden Bericht jedoch deutlich tiefer, daher resultieren hier höhere CO<sub>2</sub> -Vermeidungskosten. Grund dafür sind die unterschiedlichen Annahmen zum Referenz-U-Wert Dach vor der Sanierung. Im vorliegenden Bericht wurde der in TEP Energy 2010 gefundene und für das vorliegende Sample als plausibel betrachtete **Medianwert** von 0.6 W/m<sup>2</sup>\*K verwendet. Für die Berechnung der Vermeidungskosten in TEP Energy 2010 wurde dagegen der höhere **Mittelwert** von 1.0 W/m<sup>2</sup>\*K verwendet.

Für das Bauteil **Aussenwand** ist hier die Kostendifferenz zum Referenzfall ohne energetische Massnahmen um rund 30 CHF/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> höher und zudem die Energieeinsparung geringer, was ebenfalls zu höheren Vermeidungskosten VK führt. Der angenommene U-Wert Wand ist in beiden Fällen gleich. Somit ist die Abweichung auf die ermittelten realen Werte des vorliegende Samples zurückzuführen.

Beim **Fenster** (Variante Instandsetzung) ist die Kostendifferenz praktisch gleich. Die in dieser Studie ermittelten Energieeinsparungen sind jedoch markant geringer, weswegen sich auch hier höhere Vermeidungskosten ergeben. Im Gegensatz zu TEP Energy 2010 wurden in der vorliegenden Studie keine zusätzlichen Energieeinsparungen durch möglicherweise reduzierte Lüftungsverluste in Zusammenhang mit dem Fensterersatz (dichtere Rahmen der neuen Fenster) berücksichtigt.

Beim **Boden** (Kellerdecke) ist die in dieser Studie festgestellte Kostendifferenz kleiner und die Einsparungen gegenüber Keller unbeheizt sind in etwa gleich, was in diesem Fall zu tieferen VK als bei TEP Energy 2010 führt.

In der vorliegenden Studie konnten die real gemessenen Energieeinsparungen über das gesamte Sample mit der Modellrechnung plausibel nachvollzogen werden (siehe 5.3).

Dagegen konnten in TEP Energy 2010 die berechneten Energieeinsparungen mangels Datengrundlagen nicht mit realen Verbrauchszahlen verifiziert werden. Aus dem oben vorgestellten Vergleich kann daher der Schluss gezogen werden, dass in TEP Energy 2010 die berechneten Energieeinsparungen eher überschätzt werden, was zu tieferen CO<sub>2</sub> - Vermeidungskosten im Vergleich zu den hier vorgenommenen Auswertungen führt.

# 7 Resultate und Fazit

## 7.1 Resultate

Als generelles Fazit für das ausgewertete Gebäudesample kann festgestellt werden, dass im Vergleich mit nicht energetischen Instandsetzungsmassnahmen die energetische Sanierung der Gebäudehülle von Gebäuden, die mit fossilen Energieträgern beheizt werden, in der Summe aller Massnahmen bei den untersuchten 61 Objekten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von rund CHF 190 pro Tonne CO<sub>2</sub> aufweisen.

Wird ein um den Faktor 1.5 gestiegener Energiepreis von 120 Franken / 100 Liter angenommen, verringern sich die Vermeidungskosten auf noch CHF 42 pro Tonne CO<sub>2</sub>.

Die mittleren Vermeidungskosten für einzelne Bauteile, falls die Objekte mit Heizöl EL beheizt werden, sind aus Tabelle 29 ersichtlich.

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

**Tabelle 29: Mittlere CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/t CO<sub>2</sub> für die diversen energetisch erneuerten Bauteile bei 38 EFH, 14 MFH<sub>klein</sub> und 9 MFH<sub>gross</sub> für zwei Heizölpreis-Szenarien**

Aus Tabelle 29 wird ersichtlich, dass die Massnahmen an den Kellerdecken erwartungsgemäss am wirtschaftlichsten sind und sich auch bei tieferen Erdölpreisen als 80 CHF/100 l HEL lohnen würden.

Die übrigen Massnahmen sind mit Ausnahme des Spezialfalles Fenster bei 120 CHF/100l HEL wirtschaftlich, die Dachisolation tendenziell etwas mehr als Fassadenisolationen. Die Wirtschaftlichkeitsschwelle dürfte bei einem Erdölpreis von etwa 105 CHF/100 l HEL liegen.

Beim Fenster sind die Verhältnisse wie bereits erwähnt etwas schwieriger, weil keine befriedigende Referenzsituation einer nicht energetischen Fenstererneuerung besteht (ausser der nicht sehr massgeblichen Erneuerung des Fensteranstriches bei einer Fensterinstandsetzung). Daher werden fast die ganzen Kosten des Fensterersatzes der resultierenden Energieeinsparung angerechnet, was nicht realistisch ist (präzise wäre wie oben erwähnt die Zustandsbestimmung des ersetzten Fensters, wonach dann nur noch der Fensterrestwert des ersetzten Fensters sowie der Mehrkosten des realisierten neuen Fensters gegenüber einem neuen Fenster mit dem kostengünstigsten energetischen Standard der energetischen Sanierung anzurechnen wäre, was aber aus Datenbeschaffungsgründen hier nicht machbar war).

## 7.2 Fazit

Die hier erarbeiteten Ergebnisse zeigen, dass eine korrekte Ermittlung von Energieeffizienz- und Vermeidungskosten weiterhin eine Herausforderung bedeutet. Die folgenden Voraussetzungen müssen dabei erfüllt werden:

- Die Energieeinsparungen vor/nach der Erneuerung müssen korrekt über ein ganzes Jahr gemessen und von Klima- und Benutzereinflüssen bereinigt werden.
- Die energetischen Eigenschaften der erneuerten Bauteile müssen sowohl im Zustand vor der Erneuerung als auch danach bekannt sein, bzw. erhoben werden können
- Die betroffenen Bauteilflächen müssen korrekt erfasst werden (das Total muss vor und nach der Sanierung übereinstimmen)
- Die Kosten müssen vollständig erfasst werden, d.h. inkl. der Projektierungskostenanteile und der Anteile von Anschlusskosten, welche infolge der energetischen Massnahmen entstanden
- Die Abgrenzung der energiebedingten Kosten erfordert die Definition einer Referenz-erneuerung ohne energetische Massnahmen, zu welcher die energiebedingten Mehrkosten eruiert werden müssen. Das fällt zum Teil schwer und schafft Abgrenzungsprobleme: z.B. beim Fensterersatz oder bei der schwierigen Frage, was der Auslöser der Sanierung war.
- Die CO<sub>2</sub> –Vermeidungskosten von energetischen Massnahmen an der Gebäudehülle sind stark von der Art der Energieversorgung der jeweiligen Gebäude abhängig, weswegen aus Gründen der Vergleichbarkeit in dieser Studie generell von einer Ölheizung ausgegangen wurde.

Die Ergebnisse der hier vorgenommenen empirischen Vermeidungskostenbestimmungen sind aufschlussreich und helfen, die empirische Basis zu Wirkungen und Kosten energetischer Massnahmen zu verbreitern, bestehen doch sonst in der Regel nur Einzelangaben zu ausgewerteten und ausgemessenen Gebäuden bzw. berechnete Angaben, oft mit Standardwerten entweder zu Kosten oder zu Wirkungen.

Die festgestellten Unterschiede zwischen den hier ermittelten Vermeidungskosten und denjenigen der Auswertungen von TEP Energy für die Stiftung Klimarappen werfen Fragen nach den Ursachen der Differenzen auf. So müsste unter anderem vertiefter untersucht werden, ob die Berechnung der Einsparungen zu systematisch anderen Ergebnissen führt als die Messungen.

Eine breite Basis von *empirischen* Angaben zu Kosten und Wirkungen von Energie- und CO<sub>2</sub>–Massnahmen im Gebäudebereich sind eine wichtige Grundlage für das Monitoring und die Ausgestaltung der Energiepolitik (insbesondere für die diversen Förderprogramme). Die Erfahrungen, die hier mit der Beschaffung der dazu erforderlichen Informationen zu den erneuerten Gebäuden und den ergriffenen Massnahmen gemacht wurden zeigen, dass die Beschaffung qualitativ guter Informationen aus den diversen geschilderten Gründen aufwändig ist. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass derartige Daten in grösserem Umfang auf quasi-freiwilliger Basis verfügbar gemacht werden.

# Literatur

- AUE-BS 2003: «Energiebedarf von Wohnbauten in Bezug zum Baujahr», Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel 2003
- AWEL 2003: «Energieplanungsbericht 2002 für den Kanton Zürich», Zürich 2003
- econcept/CEPE 2006: «Mobilisierung der energetischen Erneuerungspotenziale im Wohnbaubestand», BFE/EWG, Zürich/Bern 2006
- econcept/energie-cluster.ch 2005: «Grundlagen für eine Strategie Gebäudepark Schweiz», EnergieSchweiz, Bern/Zürich, 2005
- McKinsey 2009: «Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland», im Auftrag von BDI Initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz, 2009
- Hinz E. 2010: «Kosten energetischer Modernisierungen im Wohngebäudebestand», Institut Wohnen und Umwelt Darmstadt, Studie im Auftrag des BBR, Ergebnispräsentation an der internationalen Passivhaustagung 28.-29. Mai 2010 in Dresden
- SIA, Schweiz. Ingenieur und Architektenverein: «SIA 480 Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau», SIA, Zürich 2004
- SIA, Schweiz. Ingenieur und Architektenverein: «SIA 380/1:2009 Thermische Energie im Hochbau», Ausgabe 2009, SIA, Zürich 2009
- TEP Energy 2010: «Energetische Gebäudeerneuerungen – Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten», Stiftung Klimarappen, Zürich, 2010
- Wüest und Partner 2004: „Forschreibung der Energiebezugsflächen: Modellrevision, Ergänzung um Bauteile, Perspektiven bis 2035“, für die Energieperspektiven des BFE, Bern/Zürich, 2005.

# Glossar

Ae	Energiebezugsfläche EBF, dauernd beheizte Geschossfläche [m <sup>2</sup> ]
BK	Betriebs- und Unterhaltskosten
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid, wichtigstes Treibhausgas
CO <sub>2equi</sub> / CO <sub>2äqui</sub>	Kohlendioxid-Äquivalente: Nicht-CO <sub>2</sub> –Treibhausgase wie Methan, Lachgas, etc. welche aufgrund ihrer Treibhausgaswirkung in CO <sub>2</sub> –Emissionen umgerechnet werden (die Wirkung von 1 kg Methan entspricht der von 24 kg CO <sub>2</sub> )
EBF	Energiebezugsfläche Ae, dauernd beheizte Geschossfläche [m <sup>2</sup> ]
EFH	Einfamilienhaus
EKZ	Energiekennzahl [kWh/m <sup>2</sup> oder MJ/m <sup>2</sup> ],
EKZ <sub>ref</sub>	Energiekennzahl der Referenzsanierung ohne energetische Massnahmen,
EKZ <sub>m</sub>	Energiekennzahl der Sanierung mit energetischen Massnahmen
HEL	Heizöl extraleicht
H <sub>u</sub>	Unterer Heizwert (ohne Kondensationswärme)
INV <sub>m</sub>	Investitionskosten der energetischen Massnahmen
INV <sub>ref</sub>	Investitionskosten Referenzmassnahme, ohne energetische Verbesserung
KK	Kapitalkosten (Annuität, Zinsen und Amortisation)
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
L, l	Liter
MFH	Mehrfamilienhaus
MFH <sub>klein</sub> , MFH <sub>gross</sub>	Mehrfamilienhaus klein bzw. gross
n	Anzahl (Objekte)
NAM	Nicht amortisierbare Mehrinvestitionen bzw. Mehrkosten
Q <sub>h</sub>	Heizenergiebedarf [kWh/m <sup>2</sup> a oder MJ/,m <sup>2</sup> a]
dQ <sub>eff.</sub>	Gemessener effektive Veränderung Heizenergiebedarf
dQ <sub>calc</sub>	Berechnete Veränderung Heizenergiebedarf
red. CO <sub>2</sub>	Reduktion der CO <sub>2</sub> - Emissionen
red. E	Energieverbrauchsreduktion
THG	Treibhausgase
U-Wert	Wärmedurchgangszahl [W/m <sup>2</sup> K]
VK	CO <sub>2</sub> –Vermeidungskosten [CHF/t CO <sub>2</sub> ]

# Anhang

## A1. Methodik zur Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

### A1.1. Allgemeine Begriffsdefinition

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten sind der monetäre Aufwand, um den Ausstoss an Treibhausgasen um ein bestimmtes Mass zu reduzieren.

Der monetäre Aufwand wird hier in Schweizer Franken [CHF] angegeben.

### A1.2. Definition der spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (VK)

$$VK = \frac{\Delta KK + \Delta BK}{\Delta CO_2} = \frac{(KK_m - KK_{ref}) + (BK_m - BK_{ref})}{(CO_{2,m} - CO_{2,ref})}$$

**Formel 2: Spezifische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Allgemeine Formel**

Differenzbetrachtung der **Massnahme m** gegenüber einem **Referenzfall ref**:

Die Differenz ist gleich der Wirkung der Massnahme minus Wirkung des Referenzfalls.

Die Betrachtung erfolgt über die Lebenszyklusdauer der Massnahme.

**VK:** Spezifische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF pro Menge CO<sub>2eq</sub>.

**KK:** Kapitalkosten in CHF, als Jahreskosten

= Investition in CHF x Annuitätsfaktor (=  $INV \times f_a$ ).

**BK:** Betriebskosten in CHF

= Jahreskosten Instandhaltung  $IHK$  + Jahreskosten Energie  $EK$ .

**EK:** Energiekosten = Endenergieverbrauch  $E_f$  in MJ x Endenergiepreis  $f_E$  in CHF/MJ.

**IHK:** Instandhaltungskosten = Investition  $INV$  in CHF x Instandhaltungssatz  $f_{IHK}$ .

**CO<sub>2</sub>:** Treibhausgasemissionen in Kilogramm CO<sub>2eq</sub> pro Jahr.

= Endenergieverbrauch  $E_f$  in MJ x Treibhausgasfaktor  $f_{CO_2}$  in kg/MJ.

Die allgemeine Formel liefert gemäss Definition negative Werte für resultierende CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Die Treibhausgasfaktoren liegen als Tabellenwerte in kg/MJ vor.

Mit dem generellen Multiplikator (-1000) werden die CO<sub>2</sub> Vermeidungskosten in diesem Bericht immer als positive Werte in CHF / Tonne CO<sub>2eq</sub> angegeben.

Damit ergibt sich die folgende Formel für die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten VK:

$$VK = -1000 * \frac{\Delta KK + \Delta IHK + \Delta EK}{\Delta CO_2} = \frac{(KK_m - KK_{ref}) + (IHK_m - IHK_{ref}) + (EK_m - EK_{ref})}{(CO_{2,m} - CO_{2,ref})}$$
$$VK = -1000 * \frac{(INV_m * a_m - INV_{ref} * a_{ref}) + (INV_m * f_{IHK,m} - INV_{ref} * f_{IHK,ref}) + (E_{f,m} * f_{E,m} - E_{f,ref} * f_{E,ref})}{(E_{f,m} * f_{CO_2,m} - E_{f,ref} * f_{CO_2,ref})}$$

**Formel 3: Spezifische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/T.CO<sub>2eq</sub>. (detaillierte Grundformel)**



### Inputwerte aufgrund der Befragung sind:

$INV_m$  : Investition für die energetische Massnahme

$E_{f,m}$  : Endenergieverbrauch und Art des Energieträgers der Massnahme.

$E_{f,ref}$  : Endenergieverbrauch und Art des Energieträgers der Referenz.

### Von uns festzulegende Werte sind:

$INV_{ref}$  : Investition für die Referenzlösung.

$a_m$  : Annuität der Massnahme (abhängig von Zinssatz und Lebensdauer).

$a_{ref}$  : Annuität für die Referenzlösung (Abhängig von Zinssatz und Lebensdauer).

$f_E$  : Endenergiepreis für Massnahme und Referenz.

$f_{IHK}$  : Instandhaltungssatz für Massnahme und Referenz.

### Feste Faktoren sind:

$f_{CO_2}$  : Treibhausgasfaktoren entsprechend Energieträger.

Aufgrund der später beschriebenen Methode der Aufteilung auf Einzelmassnahmen kann mit den folgenden Festlegungen eine Vereinfachung der Berechnung erreicht werden:

Für Massnahmen an der Gebäudehülle werden die Instandhaltungskosten für den Fall mit energetischen Massnahmen und für den Referenzfall gleichgesetzt. Damit werden die Instandhaltungskosten aus der Formel gehoben.

Wird im Massnahmen- und im Referenzfall der gleiche Energieträger verwendet, dann sind Energiepreis  $f_E$  und Treibhausgasfaktor  $f_{CO_2}$  für den Massnahmen- und den Referenzfall identisch.

Die vereinfachte Formel präsentiert sich wie folgt:

$$VK = -1000 * \frac{(INV_m * a_m - INV_{ref} * a_{ref}) + (E_{f,m} * f_E - E_{f,ref} * f_E)}{(E_{f,m} * f_{CO_2} - E_{f,ref} * f_{CO_2})}$$

und die Differenz des Endenergieverbrauches freigestellt:

$$VK = -1000 * \frac{(INV_m * a_m - INV_{ref} * a_{ref}) + f_E * (E_{f,m} - E_{f,ref})}{f_{CO_2} * (E_{f,m} - E_{f,ref})}$$

und noch weiter reduziert:

$$VK = \frac{-1000}{f_{CO_2}} * \left( \frac{(INV_m * a_m - INV_{ref} * a_{ref})}{(E_{f,m} - E_{f,ref})} + f_E \right)$$

**Formel 4: Spezifische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in CHF/T CO<sub>2eq</sub>. (vereinfachte Formel)**

## A1.3. Annahmen für den Referenzfall

Aus der oben gefundenen, vereinfachten Formel ist klar ersichtlich, dass eine rein empirische Erhebung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten nicht möglich ist. Es lässt sich nur ein Teil der für die Berechnung erforderlichen Werte empirisch erheben. Die Werte für den nicht realisierten Referenzfall müssen als Annahmen eingesetzt werden. Im folgenden wird der Einfluss der Annahmen für den Referenzfall an zwei Szenarien erläutert.

### A1.3.1. Referenzfall «Gleiche Massnahme später ausgeführt»

Im Referenzfall «Gleiche Massnahme später ausgeführt» wird angenommen, dass die effektiv realisierte Massnahme ohnehin - aber zu einem späteren Zeitpunkt - ausgeführt worden wäre. Die ausgewiesene CO<sub>2</sub> - Reduktion ist mit dem Referenzfall «Gleiche Massnahme später ausgeführt» geringer gegenüber dem Referenzfall «Nichts tun», da ab dem Zeitpunkt der angenommenen späteren Ausführung die Differenz der CO<sub>2</sub> - Reduktion von Massnahme und Referenzfall gleich Null wird. Die anrechenbaren Mehrkosten der Massnahme sind aber ebenfalls geringer, da diese ja nur bis zum Zeitpunkt der angenommenen späteren Ausführung der effektiv realisierten Massnahme angerechnet werden muss.

Dieser Fall führt mit der Annahme von konstanten Massnahmen- und Energiepreisen zu gleichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten wie der Referenzfall „Nichts tun“. Da das Resultat damit nur durch die angenommene Preisentwicklung definiert wird, wird dieser Referenzfall nicht für die Auswertung verwendet.

### A1.3.2. Referenzfall «Ohnehin-Instandsetzung»

Mit dem Referenzfall «Ohnehin-Instandsetzung» soll der Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten ermittelt werden, der durch in der Praxis nicht vermeidbare Instandsetzungsmassnahmen ohnehin besteht. Damit wird berücksichtigt, dass der Referenzfall «Nichts tun» d.h. ein Referenzfall ohne Kosten und ohne Wirkung über die Dauer des Lebenszyklus der untersuchten Massnahme betrachtet, nicht für alle Massnahmen gleichermassen realistisch ist.

Mit «Ohnehin-Instandsetzung» wird also ein Referenzfall angenommen, der anstelle der effektiv realisierten Massnahmen hätte realisiert werden müssen. Der Einfluss dieser Referenzannahme ist im Wertebereich gemäss Abbildung 1 dargestellt.

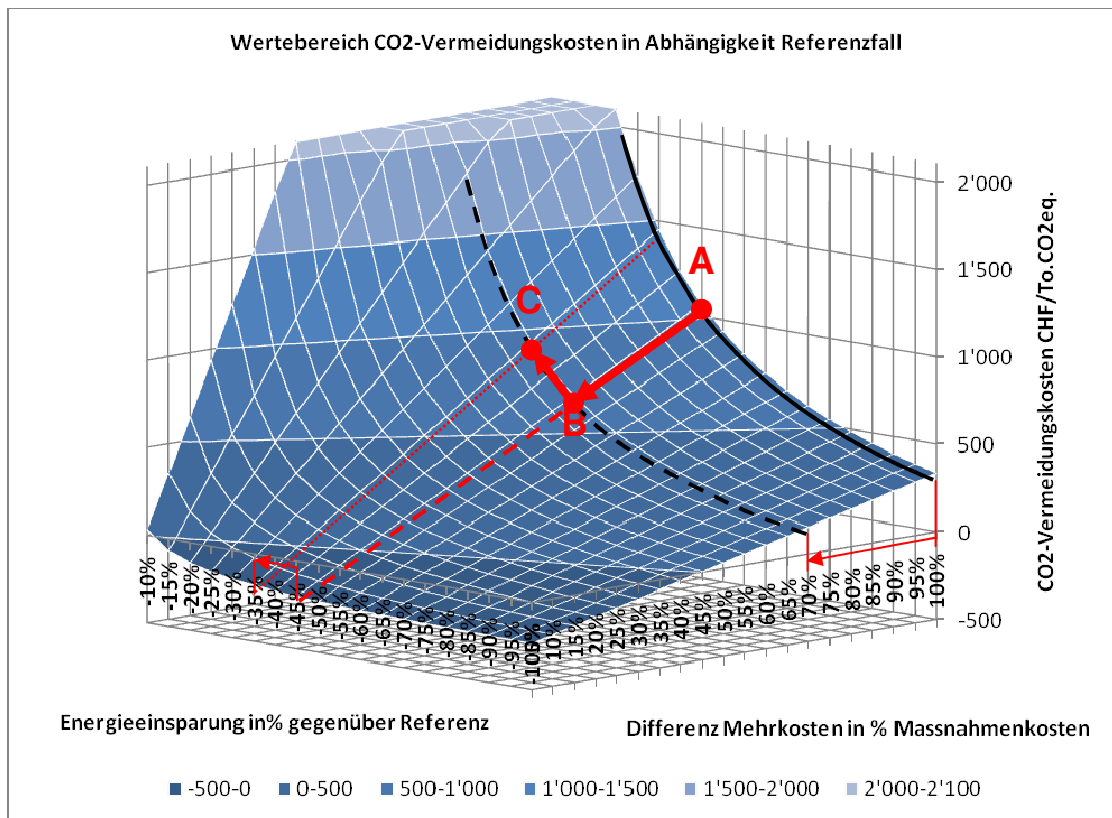


Abb. 1: Wertebereich der Vermeidungskosten in Abhängigkeit des Referenzfalls

Der Punkt A entspricht dem Resultat der Massnahme mit einem Referenzfall ohne Kosten und Wirkung («Nichts tun»). Die Mehrkosten entsprechen den Massnahmekosten (100%). Die Energieeinsparung ist im Beispiel mit -45% angenommen.

Mit der Annahme einer Ohnehin-Instandsetzung, die Kosten aber keine Energieeinsparung zur Folge hat, werden die Vermeidungskosten linear reduziert (Achse A-B). Die Vermeidungskosten der Massnahme mit Referenzfall «Ohnehin-Massnahme» wird vom Punkt A nach Punkt B verschoben.

Für den Fall, dass die Ohnehin-Instandsetzung zudem selbst noch eine Energieeinsparung zur Folge hätte, verschiebt sich der Wert der Vermeidungskosten entsprechend der Energieeinsparung auf der Isolinie von B nach C.

Der resultierende Wert der spezifischen Vermeidungskosten ist damit abhängig von den angenommenen Kosten und der angenommenen Energieeinsparung der als Referenzfall eingesetzten, hypothetischen Massnahme. Besonders zu beachten ist, dass die Steigung der Kurve bei kleinen Energieeinsparungen sehr steil wird. Die zu treffenden Annahmen für den Referenzfall können das Resultat der spezifischen Vermeidungskosten in einem weiten Bereich verändern. Daher sind diese Annahmen sehr sorgfältig zu treffen und fundiert zu begründen.

## A2. Fragebogen

### Fragebogen an die Eigentümer sanierter Wohnbauten



AMSTEIN + WALTHERT

#### Fragebogen zur Erhebung der Gebäudedaten sanierter Wohngebäude:

#### «Gebäudepark Schweiz: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten und Einsparpotenziale»

Ein Forschungsprojekt des Bundesamt für Energie BFE und Bundesamt für Umwelt BAFU

#### Hinweise für den Gebrauch:

Alle erforderlichen Eingabefelder sind blau hinterlegt. Sie können in diese Felder die geforderten Text- und Werteeingaben machen oder aus einer vorgegebenen Auswahl wählen.

Bei den Auswahlantworten wählen Sie bitte die für Ihr Gebäude am besten zutreffende Antwort. Für Bemerkungen und zusätzliche Angaben steht Ihnen in jedem Abschnitt ein entsprechendes Textfeld zur Verfügung.

Es ist für die Auswertung sehr wichtig, dass sowohl die Angaben für den Zustand **vor** der Sanierung und die Angaben für den Zustand **nach** der Sanierung gleichermassen komplett sind.

Die mit dem vorliegenden Fragebogen erhobenen Daten werden durch die beauftragten Firmen, econcept und Amstein+Walthert, vertraulich behandelt. Für die weitere Bearbeitung werden die Objekte anonymisiert, d.h. mit einer Codenummer versehen. Die angegebene Kontaktadresse verwenden wir ausschliesslich im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt.

Bitte senden Sie den ausgefüllten Fragebogen und eine oder zwei aussagekräftige Fotos des Gebäudes an die angegebene e-mail Adresse zurück.

Falls Sie beim Ausfüllen und bei der Datenbeschaffung Fragen haben, können Sie sich gerne an folgende Kontaktperson wenden:

Daniel Philippen  
econcept AG  
Gerechtigkeitsgasse 20  
8002 Zürich  
daniel.philippen@econcept.ch  
Tel. 044 286 75 52  
Fax 041 286 75 76

**Herzlichen Dank, dass Sie sich entschieden haben, an der Erhebung teilzunehmen!**

# 1. Allgemeine Informationen

## 1.1 Kontaktadresse EigentümerIn bzw. Vertretung

Name:	
Vorname:	
Firma:	
PLZ, Ort:	
Telefonnummer:	
Handy-Nummer:	
E-Mail:	

## 1.2 Informationen zum Gebäude:

Strasse, Nr.:	
PLZ, Ort:	

Baujahr:	
Gebäudekategorie:	

Jahr der Sanierung:	
Schutzauflagen:	

Fassadengliederung:	
Grundrisstyp:	
Anbausituation:	
Hauptausrichtung Wohnen:	
Bauweise Gebäude:	

## 1.3 Veränderung des Gebäudes durch Ausbau / Anbau / Aufstockung:

	vor Sanierung / Umbau	nach Sanierung / Umbau
Geschossfläche GF	- m2	- m2
Energiebezugsfläche EBF	- m2	- m2
Gebäudebreite	- m	- m
Gebäudelänge	- m	- m
Anzahl Vollgeschosse	-	-
Lichte Raumhöhe	- m	- m

Anzahl Wohnungen im Gebäude, nach Grösse:	Anzahl vor Sanierung / Umbau	Anzahl nach Sanierung / Umbau
	- Whg mit 1-1.5 Zimmer	- Whg mit 1-1.5 Zimmer
	- Whg mit 2-2.5 Zimmer	- Whg mit 2-2.5 Zimmer
	- Whg mit 3-3.5 Zimmer	- Whg mit 3-3.5 Zimmer
	- Whg mit 4-4.5 Zimmer	- Whg mit 4-4.5 Zimmer
	- Whg mit 5-5.5 Zimmer	- Whg mit 5-5.5 Zimmer
	- Whg mit 6 und mehr Zi.	- Whg mit 6 und mehr Zi.

Bemerkungen/Kommentar zum Gebäude:

## 2. Sanierungsmassnahmen und deren Kosten

### 2.1 Dach

	vor Sanierung / Umbau	nach Sanierung / Umbau
Dachtyp	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Zustand	- bitte auswählen	
Alter, letzte Sanierung	- bitte auswählen	
Lukamen	- bitte auswählen	- bitte auswählen

Art der Sanierung	- bitte auswählen
Stärke und Art der verwendeten Wärmedämmung.	- cm - bitte auswählen
und/oder U-Wert des sanierten Bauteils	- $W/(m^2 \cdot K)$
Gesamtfläche der sanierten Teile	- $m^2$
Kosten dieser Massnahme	- Fr. - bitte auswählen

### 2.2 Aussenwände

	vor Sanierung / Umbau	nach Sanierung / Umbau
Bauweise Aussenwand	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Zustand	- bitte auswählen	
Alter, letzte Sanierung	- bitte auswählen	

Art der Sanierung	Innendämmung
Stärke und Art der verwendeten Wärmedämmung.	- cm - bitte auswählen
und/oder U-Wert des sanierten Bauteils	- $W/(m^2 \cdot K)$
Gesamtfläche der sanierten Teile	- $m^2$
Kosten dieser Massnahme	- Fr. - bitte auswählen

### 2.3 Bauteile gegen Keller und Erdreich

	vor Sanierung / Umbau	nach Sanierung / Umbau
Gebäude unterkellert ?	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Kellerdecken, Wände, Boden	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Zustand	- bitte auswählen	
Alter, letzte Sanierung	- bitte auswählen	

Art der Sanierung	- bitte auswählen
Stärke und Art der verwendeten Wärmedämmung.	- cm - bitte auswählen
und/oder U-Wert des sanierten Bauteils	- $W/(m^2 \cdot K)$
Gesamtfläche der sanierten Teile	- $m^2$
Kosten dieser Massnahme	- Fr. - bitte auswählen

### 2.4 Fenster

	vor Sanierung / Umbau	nach Sanierung / Umbau
Fenstergrösse	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Flächenanteil Fenster	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Zustand	- bitte auswählen	
Alter der Fenster	- bitte auswählen	
Verglasung	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Storenkasten	- bitte auswählen	- bitte auswählen

Rahmenart der neuen Fenster	- bitte auswählen
U-Wert der neuen Gläser	- $W/(m^2 \cdot K)$
und/oder U-Wert der neuen Fenster inkl. Rahmen	- $W/(m^2 \cdot K)$
Gesamtfläche der sanierten Teile	- $m^2$
Kosten dieser Massnahme	- Fr. - bitte auswählen

## 2.5 Gebäudetechnik

### Heizung/Warmwasser

	vor Sanierung / Umbau	nach Sanierung / Umbau
Wärmeerzeugung Heizen	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Zustand	- bitte auswählen	
Alter der Wärmeerzeugung	- bitte auswählen	
Solaranlage	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Warmwasserversorgung	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Temperaturhaltung	- bitte auswählen	- bitte auswählen

### Lüftung

	vor Sanierung / Umbau	nach Sanierung / Umbau
Küche	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Bad-WC	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Raumlüftung	- bitte auswählen	- bitte auswählen

### Individuelle Verbrauchserfassung

	vor Sanierung / Umbau	nach Sanierung / Umbau
Für Heizung	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Für Warmwasser	- bitte auswählen	- bitte auswählen
Für Waschen/Trocknen	- bitte auswählen	- bitte auswählen

### Kosten der Massnahmen an der Gebäudetechnik:

Ersatz Wärmeerzeugung Heizung	-	Fr.
Ersatz Warmwasseraufbereitung	-	Fr.
Neue Steuerung/Regelung/Thermostatventile	-	Fr.
Einbau thermische Solaranlage	-	Fr.
Einbau Komfortlüftungsanlage	-	Fr.
Einbau individuelle Verbrauchserfassung	-	Fr.
Umstellung Warmwasserverteilung	-	Fr.
Weitere	-	Fr.
Total Massnahmen Gebäudetechnik Heizung/Sanitär/Elektro	-	Fr. - bitte auswählen

## 2.6 Kostenzusammenzug

Diese Tabelle wird automatisch berechnet

2.1 Massnahmen Dach	-	Fr.
2.2 Massnahmen Fassade	-	Fr.
2.3 Massnahmen Bauteile gegen Keller und Erdreich	-	Fr.
2.4 Massnahmen Fenster	-	Fr.
2.5 Massnahmen Gebäudetechnik	-	Fr.
<b>Total Kosten der deklarierten Einzelmassnahmen</b>	-	<b>Fr. - bitte auswählen</b>

### Gesamtkosten der Sanierung inkl. weiteren Leistungen,

die in den Einzelmassnahmen **nicht** enthalten sind: bitte ankreuzen.

<input type="checkbox"/> Gerüste	<input type="checkbox"/> Malerarbeiten Wohnungen	<input type="checkbox"/> Honorare Architekt / Fachplaner
<input type="checkbox"/> Baumeisterarbeiten	<input type="checkbox"/> Schreinerarbeiten Wohnungen	<input type="checkbox"/> Gebühren
<input type="checkbox"/> Elektroanlagen Wohnungen	<input type="checkbox"/> Apparate für Küche / Bad	<input type="checkbox"/> Umgebungsarbeiten
<input type="checkbox"/> Sanitäranlagen Wohnungen	<input type="checkbox"/>	

Bemerkungen/Kommentar zu den Sanierungsmassnahmen und Kosten:

### 3. Energieverbrauch vor und nach der Sanierung

Bitte mindestens je zwei Verbrauchsperioden angeben!

	vor Sanierung / Umbau - bitte auswählen - bitte auswählen				nach Sanierung / Umbau - bitte auswählen - bitte auswählen			
Verbrauchsperiode	04/05	- wählen	- wählen	Einh.	05/06	06/07	07/08	Einh.
Für Heizung und WW	0	0	0	?	0	0	0	?
oder								
Für Heizung	0	0	0	?	0	0	0	?
Für Warmwasser	0	0	0	?	0	0	0	?
sowie								
Elektrizität Allgemein	0	0	0	kWh	0	0	0	kWh

Bemerkungen/Kommentar zum Energieverbrauch:

### 4. Ergänzende Angaben

#### Mieterschaft

Hat die Mieterschaft im Zuge der Sanierung geändert (neue Bewohner nach der Sanierung)?

- bitte auswählen

#### Gründe für die Sanierung

Bitte geben Sie an, aus welchen Gründen die Sanierung ausgelöst wurde (Ankreuzen mehrerer Gründe möglich):

- ☐ Nicht mehr zeitgemässer Komfort
- ☐ Bauschäden
- ☐ Schlechter Zustand der Hülle / der Gebäudetechnik
- ☐ Hoher Energieverbrauch
- ☐ Hohe Mieterfluktuation

Andere Gründe, nämlich:

Falls bei mehreren Gründen ein Grund dominant war, welcher?:

#### Erfolg der Sanierung

Wurden die Erwartungen insgesamt erfüllt?

Sind nach der Sanierung neue Schäden / Probleme aufgetaucht?



# Umfrage bei Objekten der Stiftung Klimarappen

## Antwortformular

Bitte beantworten Sie die unten aufgeführten Fragen, soweit die entsprechenden Massnahmen an Ihrem Gebäude durchgeführt wurden. Antworten, welche wir von Ihnen bereits erhalten haben, sind aufgeführt. Das Antwortformular können Sie uns per Post, Fax oder Mail zukommen lassen.

GebäudeeigentümerIn:

Adresse:

ID:

### 1. Angaben zum Heizenergieverbrauch

Der Heizenergieverbrauch Ihres Gebäudes ist für uns sehr wichtig. Um bessere Ergebnisse zu erhalten, sollten wir von Ihnen möglichst Angaben zum Energieverbrauch während zwei Heizperioden vor und zwei Heizperioden nach der Sanierung erhalten. Eine Heizperiode umfasst jeweils ein Jahr. Falls für die Heizung oder die Warmwassererzeugung Strom verwendet wurde, geben Sie dies bitte bei der nächsten Frage an.

**Bitte füllen Sie alle leeren Felder in der unten stehenden Tabelle aus, soweit Ihnen die Angaben bekannt sind:**

#### Energieträger und -verbrauch der Heizung vor der Sanierung

(nach Möglichkeit für zweimal ein Jahr und mit Einheit: Liter, m<sup>3</sup>, kWh, MJ, CHF oder sonstiges)

Energieträger:	Heizöl	<input type="checkbox"/> Andere:
Verbrauch:	<input type="checkbox"/> abgelesen <sup>1)</sup> <input type="checkbox"/> geschätzt	<input type="checkbox"/> gemäss Rechnung für Brennstofflieferung
Heizperiode:		Heizperiode:
Energieverbrauch:	4250 Liter	Energieverbrauch:

#### Energieträger und -verbrauch der Heizung nach der Sanierung

(nach Möglichkeit für zweimal ein Jahr und mit Einheit: Liter, m<sup>3</sup>, kWh, MJ, CHF oder sonstiges)

Energieträger:	Heizöl	<input type="checkbox"/> Andere:
<input type="checkbox"/> Warmwassererzeugung mit Sonnenkollektoren unterstützt (Fläche der Kollektoren: m <sup>2</sup> )		
Verbrauch:	<input type="checkbox"/> abgelesen <sup>1)</sup> <input type="checkbox"/> geschätzt	<input type="checkbox"/> gemäss Rechnung für Brennstofflieferung
Heizperiode:	2007/2008	Heizperiode:
Energieverbrauch:	Liter	Energieverbrauch:
Ggf. Verbrauch zweiter Energieträger:		Ggf. Verbrauch zweiter Energieträger:

<sup>1)</sup> Abgelesen: Vom Zähler oder bei Ölheizungen aus dem Tankbüchlein

### 2. Stromverbrauch

**Diese Frage brauchen Sie nur zu beantworten, falls vor oder nach der Sanierung für die Heizung oder die Warmwassererzeugung Strom verwendet wurde (Elektroboiler oder Wärmepumpe):**

Bitte geben Sie den Stromverbrauch im Gebäude vor und nach der Sanierung samt Zeitperiode an (falls möglich jeweils über 2 x 1 Jahr):

Stromverbrauch <u>vor</u> der Sanierung		Stromverbrauch <u>nach</u> der Sanierung	
Periode:	Periode:	Periode: 2007/2008	Periode: 2008/2009
kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a

### 3. Warmwassererzeugung

*Diese Frage brauchen Sie nur zu beantworten, falls Sie bei der von der Stiftung Klimarappen geförderten Sanierung die Warmwassererzeugung ersetzt haben:*

Bitte kreuzen Sie in der nachstehenden Tabelle an, wie das Warmwasser vor und nach der Sanierung erzeugt wurde:

Warmwassererzeugung <u>vor</u> der Sanierung:	Warmwassererzeugung <u>nach</u> der Sanierung:
<input type="checkbox"/> Warmwasser mit dem Heizkessel erzeugt (Heizöl / Erdgas)	<input type="checkbox"/> Warmwasser mit dem Heizkessel erzeugt (Heizöl / Erdgas)
<input type="checkbox"/> Separate Warmwassererzeugung mit Elektroboiler	<input type="checkbox"/> Separate Warmwassererzeugung mit Elektroboiler
<input type="checkbox"/> Sonstiges:	<input type="checkbox"/> Warmwassererzeugung mit Wärmepumpe
	<input type="checkbox"/> Sonstiges:

### 4. Fenster

*Die Fragen 4.1 und 4.2 brauchen Sie nur zu beantworten, falls Sie bei der von der Stiftung Klimarappen geförderten Sanierung die Fenster im Gebäude ersetzt haben:*

4.1) Wie waren die alten Fenster, welche entfernt wurden, beschaffen?

- ☐ Einfachverglasung
- ☐ Doppelverglasung (Fenster aufschraubbar, zwischen Scheiben konnte gereinigt werden)
- ☐ Isolierverglasung

4.2) Falls die alten Fenster eine Isolierverglasung hatten:

- Aus welchem Jahr oder Jahrzehnt stammten die alten Fenster? \_\_\_\_\_
- Was für einen Rahmen hatten die alten Fenster?  
☐ Holz   ☐ Kunststoff   ☐ Metall   ☐ Holz/Metall

### 5. Dach

*Diese Frage brauchen Sie nur zu beantworten, falls Sie bei der von der Stiftung Klimarappen geförderten Sanierung das Dach saniert haben:*

Wann wurde das alte Dach vor der hier betrachteten Sanierung erstellt oder letztmalig saniert?

Jahr oder Jahrzehnt: \_\_\_\_\_

Der Dachraum      wurde bei der Dacherneuerung neu ausgebaut      ☐  
                              war schon vorher ausgebaut                              ☐

Wir wären Ihnen dankbar, wenn Sie uns Ihre Antwort möglichst bis zum **23. November** auf einem der folgenden Wege zukommen lassen könnten:

**Per Fax:**    an 044 286 75 76

**Per Post:**   mit beigelegtem Antwortkuvert

**Per Email:**   an dp@econcept.ch