

## 5 Referenzentwicklung des Gebäudebestands 2000 – 2030

Beim Grenzkostenansatz ist die Definition einer Referenzentwicklung eine unabdingbare Grundlage, denn alle zusätzlichen Investitionen werden jeweils mit ihren zusätzlichen Kosten und Energieeinsparungen abgebildet. Dieses Kapitel berichtet über die Überlegungen und Annahmen zu der diesem Bericht unterstellten Referenzentwicklung, um eine Ausgangsbasis für die weiteren Analysen in Kap. 6 zu legen.

### 5.1 Die Referenzentwicklung des Gebäudebestandes mit Neubau und Abriss

Wüest & Partner gingen 1994 in ihren Perspektiven davon aus, dass die Neubautätigkeit in den nächsten 30 Jahren markant zurückgehen wird (durchschnittlicher Rückgang bei kleinen MFH – 18%, bei grösseren –10%). Der Sektor der Ein- und Zweifamilienhäuser überrascht durch einen massiven Rückgang (durchschnittlicher Rückgang um die 42%). In der Rezession der 90er Jahre hat sich jedoch gerade dieser Sektor als konstant erwiesen. Ob dieser Trend anhält und auch in näherer Zukunft mit einem weiteren Wachstum zu rechnen ist, kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden; im Immo-Monitoring wird für 2001 und 2002 von einer leichten Trendwende gesprochen.

Die in Tabelle 5.1-1 genannten Werte müssen jedenfalls aus einer langfristigen Perspektive heraus betrachtet werden. Berücksichtigt ist dabei die langfristige Dynamik der Bevölkerungsentwicklung (Altersverteilung, Familienzusammensetzungen), die Haushaltsgrössen (Anzahl Personen pro Haushalt, immer noch leicht fallend) sowie die Flächenbedürfnisse pro Person (weiterhin steigend), die Dynamik des Wohnungs- und Gebäudewechsels (künftig werden z.B. EFH, die heute von nur noch einer oder zwei Personen bewohnt werden, in vielen Fällen wieder von Familien besetzt sein).

Tabelle 5.1-1      Neubau von Energiebezugsflächen (EBF), Jahr 2000 (Ex post) und Prognose bis 2030

Periode	EuZFH	Kleine MFH	Grosse MFH
Jahr 2000	3420	2369	
2001-05	14052	4659	8558
2006-10	12627	4082	7599
2011-15	7912	3947	7603
2016-20	6817	3648	7155
2021-25	5396	3154	6226
2026-30	3853	2777	5423

Quelle    Wüest & Partner, 1994, 2000

Bei der Auswertung der Studie lässt sich im Bezug auf die Rückgangs-Quoten sagen, dass diese mit zunehmender Grösse des Objektes abnehmen; d.h., während die kleinen Ein- und Mehrfamilienhäuser einer deutlichen Schwankung unterliegen, charakterisiert sich die Neubautätigkeit der grösseren Mehrfamilienhäusern durch einen langsamen, jedoch konstanten Rückgang. Der Rückgang verläuft über die gesamte Periode nicht linear, sondern nimmt im Laufe der Zeit weiter progressiv zu; der Rückgang der Neubautätigkeit beschleunigt sich also nach diesen Annahmen zunehmend.

Gründe für diesen negativen Trend liegen vielerorts. Wüest & Partner führen unter anderem im Immo-Monitoring 2000 (Band 3, Baumarkt) folgende Gründe an:

"Der Stellenwert der Bauwirtschaft ist aus gesamtwirtschaftlicher Sicht in den letzten Jahrzehnten gesunken. Tiefgreifende Veränderungen im Arbeitsbereich, neue Technologien und vieles mehr absorbieren in einem zunehmenden Mass das Produktionskapital. Zusätzlich nahm die Mobilität und Flexibilität der Unternehmen aufgrund der Globalisierung überproportional zu, wodurch der Investitionsbedarf im zeitlichen Verlauf dosiert ausfällt: ein Wachstum der Wirtschaft wird nicht mehr einen Bauboom auslösen, wie dies früher der Fall war.

Die Wohnungsnachfrage hat immer mehr ökonomisch und demographisch bedingte Ursachen (Ausbleiben eines Bevölkerungswachstums, Zunahme des Wohlstandes, Umstrukturierung der gesellschaftlich-sozialen Struktur der Bevölkerung, etc.) und reagiert damit stärker auf Veränderungen der konjunkturellen Entwicklung und der Angebotspreise. Die steigende Nachfrage spiegelt ein Bedarf nach mehr Wohnfläche und mehr Wohnqualität: immer weniger Personen leisten sich immer mehr Wohnfläche. Die Umstrukturierung der Gesellschaft, weg von der klassischen Familie mit Kindern (Ideal: Einfamilienhaus auf dem Land), hin zu freien Beziehungsformen (Ideal: Wohngemeinschaften, Lofts etc. im Zentrum der Stadt) ist ein Grund für die verschiedenartigen Rückgangs-Tendenzen: massiver Rückgang im Einfamilienhaus-Sektor, Konstanz im grösseren Mehrfamilienhaus-Sektor. Unterstrichen wird diese Aussage durch eine Verschärfung der regionalen Unterschiede in der Bautätigkeit: während in den Städten (hier vor allem Zürich und Zug) und ihren Agglomerationen eine sehr hohe Bautätigkeit herrscht und in den nächsten Jahren auch zu erwarten ist, stagniert die Bauwirtschaft in den restlichen ländlichen Gebieten auf tiefem Niveau oder sinkt sogar.

Zwar ist für die nächsten fünf Jahre auch in diesen Gebieten mit einem leichten Wachstum zu rechnen, welches jedoch durch oben erwähnte Faktoren gebremst werden wird, wodurch das gesamte Wachstum deutlich tiefer ausfallen wird als in den vergangenen Jahren."

Aufgrund dieser Überlegungen werden die Projektionen von Tabelle 5.1-1 für diesen Bericht im Grundsatz übernommen, wenngleich man in Einzelentwicklungen auch zu anderen Annahmen neigen könnte. Wegen der unterschiedlichen gesamten Investitionskosten und deren Struktur sowie aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen wird bei der Erarbeitung der Grenzkostenkurven zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern unterschieden.

### 5.1.1 Einfamilienhäuser

Für die Referenzentwicklung müssen für einzelne Wärmedämminvestitionen in den neugebauten Einfamilienhäusern bestimmte Annahmen getroffen werden, um auf dieser definierten Basis weitere Wärmeschutzmassnahmen aufzubauen. Ebenso müssen Marktanteile der neuen Heizanlagen für diese Neubauten festgelegt werden, wenn man die möglichen Verminderungen der Investitionskosten für die Wärmeerzeugung und -verteilung mit berücksichtigen will (vgl. Tab. 5.1-2). Die Angaben sind jeweils für die Periode 2000 bis 2010 gemacht, da man davon ausgehen muss, dass sich im Laufe dieser Dekade die "Referenz"-Praxis verbessert und auch entsprechende Novellierungen der Bauvorschriften durchgeführt werden.

Tabelle 5.1-2 Marktanteile der Heizanlagen bei EFH-Neubauten

	Öl	Gas	El	Holz	FW	WP	Solar
2000-2005	29.2	25.0	3.0	9.5	1.2	31.9	0.1
2005-2010	26.4	26.0	3.0	9.6	1.2	33.5	0.2

Quelle CEPE 2002 („Erdgasbericht“)

### 5.1.2 Mehrfamilienhäuser

Gemäss der Ausgangslage von Wüest & Partner, 1994 sowie CEPE, 2001 werden bis 2010 rund 25 Mio m<sup>2</sup> EBF in reinen oder gemischt genutzten (mehr als 50% Wohnflächenanteil) Mehrfamilienhäusern erstellt werden. Im Referenzfall mussten detaillierte wärmetechnische Annahmen festgelegt werden (vgl. Anhang). Diese Annahmen wurden möglichst in Übereinstimmung mit der Energiekennzahluntersuchung (Wüest & Partner, 2000), den in diesem Projekt vorgenommenen Auswertungen von Energienachweisen (Kap. 3), den Angaben der Unternehmer bzgl. Dämmstärken und Fensterqualitäten (Kap. 3) und den gesetzlichen Anforderungen, getroffen (SIA 380/1, Musterverordnung der Kantone).

Tabelle 5.1-3 Einzelannahmen zu den MFH-Neubauten in der Referenzentwicklung

	Mittleres MFH	Grosses MFH		Alle Gebäudetypen U-Wert
	mittel verschattet, Luftwechsel mittel	Verschattung gering	Verschattung hoch	
Q <sub>h</sub>	214	186	196	
EBF	1100		1800	
A/EBF	1.44		1.12	
A <sub>Fenster</sub> /EBF	0.21		0.13	
A <sub>Fenster</sub> /A <sub>Fassade</sub>	0.26		0.26	
Luftwechsel (1/h)	0.43		0.50	
Wand	654		654	0.28 W/m <sup>2</sup> K
Fenster klein	133		133	1.52 (Glas 1.1)
Fenster gross	93		93	1.28 (Glas 1.1)
Süd	0.16		0.16	
Ost/West	0.71		0.71	
Nord	0.13		0.13	
Dach	513		840	0.27 W/m <sup>2</sup> K
Boden	367		600	0.33 W/m <sup>2</sup> K
Sockel	100		100	0.3 W/mK

Quelle Annahmen CEPE

Wird das MFH mit tiefem bzw. hohem A/EBF zu gleichen Teilen gewichtet, ergibt sich ein durchschnittliches Q<sub>h</sub> von 203 MJ/m<sup>2</sup>a. Werden dazu 100 MJ/m<sup>2</sup>a für das Warmwasser hinzurechnet und ein Nutzungsgrad von knapp 90% für die Raumwärme und 85% für das Warm-

wasser angenommen, ergibt sich eine EKZ von knapp 350 MJ/m<sup>2</sup>a, was etwas tiefer ist als die EKZ-Untersuchung von Wüest & Partner, welche 420 MJ/m<sup>2</sup>a für MFH für die Bauperiode 1996–1998 angibt. Die oben dargestellten Annahmen sind für die Zeitperiode 2001 bis 2010 möglicherweise etwas zu optimistisch. Bei einem mittleren Q<sub>h</sub> von 203 MJ/m<sup>2</sup>a beträgt der Heizwärmebedarf dieser Neubauf Flächen rund 5'100 TJ/Jahr. Dieser teilt sich gemäss Tabelle 5.1-4 auf die einzelnen Heizanlagenarten auf.

Tabelle 5.1-4 Marktanteile der Heizanlagen bei MFH-Neubauten

	Öl	Gas	El	Holz	FW	WP
2000-2005	45,8	42,1	1,4	1,3	2,5	6,9
2005-2010	44,4	43,1	0,9	1,3	3,0	7,5

Quelle CEPE 2002 („Erdgasbericht“)

## 5.2 Die künftigen Erneuerungen im Wohngebäudebestand in der Referenzentwicklung

Ausgehend von den Feststellungen und Fazits zu den Gebäudeerneuerungen im Kapitel zwei wird in diesem Kapitel das Mengengerüst und die bau- und wärmetechnische Charakterisierung der künftigen Erneuerungen beschrieben.

Econcept hat in ihrem Projekt „Ersatz-Neubauen vs Sanieren“ Modellrechnungen zu Sanierungs- und Erneuerungszyklen durchgeführt (Econcept 2002a), dies um zu eruieren, welche und wie viele Gebäude wann vor der Frage stehen, ob grundlegend erneuert oder abgebrochen und neu gebaut werden soll. Sichtbar wird hier eine Unterteilung der Bauperiode „vor 1970“, die bei Wüest & Partner zusammengefasst ist (Tabelle 5.2-1). Im Mittel sind die Ergebnisse jedoch durchaus vergleichbar (vgl. Tabelle 5.2-2). Die genannten Teil- und Vollerneuerungsraten basieren auf Erneuerungszyklen von 25 resp. 50 Jahren mit oder ohne Streuung um diesen Wert und mit unvollständigem Realisierungsgrad. Der Modellansatz hat vom Ansatz her u.a. auch einen deutlichen Bezug zum Innern des Gebäudes und nicht (nur) zur Gebäudehülle.

Tabelle 5.2-1 Künftige Teil- und Vollsanierraten<sup>1</sup> in Anteilen/Dekade für EFH und MFH

		Teilsanierung				Vollsaniierung			
		EFH		MFH		EFH		MFH	
		2000-10	2011-20	2001-10	2010-20	2000-10	2010-20	2001-10	2011-20
Gebäude-Erstellungsperiode	bis 1970	0.10	0.12	0.07	0.05	0.15	0.11	0.16	0.20
	1971-75	0.37	0.01	0.21	-	-	-	-	-
	1976-80	0.70	0.00	0.70	-	-	-	-	-
	1981-85	0.34	0.36	0.48	0.25	-	-	-	-
	1986-90	-	0.70	-	-	-	-	-	-

Quelle Wüest & Partner, 1994

<sup>1</sup> Wir verwenden hier die Originalbegriffe der zitierten Berichte, obwohl wir in den übrigen Berichtsteilen die Begriffe Instandsetzung und Erneuerung gebrauchen.

Vom Alterungsverhalten und von den Randbedingungen der Bauabläufe her geniesst die Gebäudehülle eine gewisse Unabhängigkeit gegenüber den Renovations- und Erneuerungszyklen im Innern. Eine Erneuerung von Küche und Bad z.B. muss nicht mit einem Fensterersatz, einem Fassadenanstrich oder einer energetischen Dacherneuerung koordiniert werden. Im Gegenteil, gerade private EFH-Besitzer oder Besitzer von MFH mit kleinem Gebäudebestand werden ihre Instandhaltungs- und Erneuerungsinvestitionen eher zeitlich staffeln, da sonst die Finanzbelastung und die finanziellen Risiken durch Investitionsbündelung zu hoch wären.

Tabelle 5.2-2 Anteil der EBF der MFH (nur reine Wohngebäude), die vor der Frage „Neu bauen oder Gesamterneuern“ stehen

		Erneuerungsperiode			
		2001 - 2010	2011 - 2020	2021 - 2030	Später oder nie
Gebäude-Erstellungsjahr	Vor 1900	0.31	0.30	0.09	0.30
	1900-20	0.31	0.31	0.09	0.30
	1921-46	0.30	0.32	0.08	0.30
	1947-60	0.12	0.19	0.22	0.48
	1961-70	0.12	0.19	0.03	0.65
	1971-80	-	0.15	0.18	0.67
	1981-85	-	-	-	1.01
	1986-90	-	-	-	1.00
Vor 1970		0.16	0.20	0.09	0.44

Quelle Neubauen statt Sanieren, Econcept

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Bauteilen sowie zwischen Gebäudehülle und Gebäudeninnerem zeigen sich auch beim Vergleich der durchschnittlich kumulierten Anteile von erneuerten Bauteilen im Kanton Zürich (vgl. Tabelle 2.5-2) mit den vorherstehenden Sanierungsraten von Wüest & Partner und Econcept. Die Anteile der energetischen Wand- oder Dacherneuerung der Gebäude 1961-75 liegen einerseits höher als die Anteile für die Vollsanierung, andererseits tiefer als die für die Teilsanierung. Ausserdem sind Unterschiede in der energetischen Erneuerungshäufigkeit der einzelnen Bauteile zu verzeichnen, insbesondere bei den Gebäuden der Bauperiode 1961-75, wo sich Wand, Dach und Fenster erheblich unterscheiden.

Eine gewisse Homogenisierung der Anteile der Fassadenerneuerungen bzgl. der Bauperioden bis 1960 bietet sich also an (Homogenisierung im Vergleich zu Tabelle 5.2-1). Weiter erhärten lassen sich die getroffenen Annahmen, wenn die Auswertung der Haupterhebung des Projekts „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäuden“ abgeschlossen sein wird.

### 5.2.1 Definition der Referenzfälle für 2001 bis 2010

Aufgrund der obigen und den in den vorangegangenen Kapiteln dargelegten Vorüberlegungen wurden zunächst zwei Referenzfälle für die Erneuerung von bestehenden Gebäuden definiert: die **Instandsetzung** und die **energetische Erneuerung** (vgl. Tabelle 5.2-3). Die jeweilig quantitativen Werte der beiden Referenzfälle und der Zusatzinvestitionen sind in Kap. 6 angegeben.

Tabelle 5.2-3 Definition der Referenzentwicklung und der Grenzkostenbetrachtung mit verwendeten Begriffen und ihrer Bedeutung

Referenzfall- bezeichnung	Referenzfall	Grenzkostenbetrachtung Energetische oder weiterge- hende energetische Erneuerung	
Instandsetzung	Wand	Farbanstrich, mit oder ohne Putzausbesserung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aussenwärmedämmung statt Farbe/Putz</li> <li>• Erhöhte Dämmstärken</li> </ul>
	Fenster	Rahmenanstrich und evtl. weitere lokale Massnahmen, siehe auch Erb 2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fensterersatz statt Rahmenanstrich</li> <li>• Ersatz mit energetisch verbessertem Fenster statt mit Standardfenster</li> </ul>
	Steildach	Erneuerung des Unterdachs, evtl. inkl. Reparatur / Ersatz der Eindeckung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmedämmung statt nur Unterdacherneuerung</li> <li>• Erhöhte Dämmstärke</li> </ul>
	Flachdach	Erneuerung der Abdichtung, evtl. nur Reparatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Dämmstärke</li> </ul>
Energetische Erneuerung	Wand	Aussenwärmedämmung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstärkte Aussenwärmedämmung</li> </ul>
	Fenster	Fensterersatz, Renovationsfenster (je energetische Standardqualität)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ersatz mit energetisch verbessertem Fenster statt mit Standardfenster</li> </ul>
	Steildach	V1 Dämmen des Estrichbodens V2 Dämmen des Steildachs oder verstärken der bestehenden WD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Dämmstärke</li> </ul>
	Flachdach	V1 Wärmedämmen beim Erneuern der Abdichtung (Abbruch der bestehenden WD) V2 Verstärken der bestehenden Wärmedämmung über der bestehenden Abdichtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Dämmstärke</li> </ul>

Quelle CEPE

Aufgrund der unterschiedlichen baulichen und energetischen Voraussetzungen, aber auch aufgrund der unterschiedlichen Instandsetzungs- und Erneuerungsanteile müssen zunächst separate Kostenkurven für die Gebäude der einzelnen Bauperioden erstellt werden, wobei jeweils zwischen EFH und MFH unterschieden wird und hierzu die entsprechenden Annahmen getroffen werden müssen.

### 5.2.2 Mengengerüst der Referenzentwicklung

Grundlage der folgenden Annahmen bilden die ersten Auswertungen des Projekts zum Erneuerungsverhalten (Jakob, 2002), die Auswertung des Lärmschutzprogramms des Kantons Zürich, die Untersuchungen zum Alterungsverhalten der Bauteile (IP Bau) sowie allgemeine Schätz- und Erfahrungswerte, etwa die Tatsache, dass mengenmässig mehr Fassaden gestrichen werden als aussenwärmedämmung. Wie bei der Betrachtung der Vollsanierungen, wird auch bei der Gebäudehülle mit einem angenommenen Realisierungsfaktor gearbeitet, d.h. mit der

Annahme, welcher Anteil nur instand gesetzt wird. Gewisse Einschränkungen für z.B. Fassaden-erneuerungen bieten auch Bestimmungen der Denkmalpflege<sup>1</sup>. Dieser Effekt ist quantitativ allerdings als relativ gering einzuschätzen (gesamtschweizerisch sind ca. 5% der Gebäude unter Schutz gestellt) und er manifestiert sich für die Periode 2001 bis 2010 zudem noch nicht sehr deutlich (das Potential der Gebäude, die erneuerungsbedürftig sind bzw. die sich erneuern lassen, ist noch gross genug).

Folgende Einzelüberlegungen fliessen als Annahmen in die Analyse ein (vgl. auch Tabelle 5.2-4):

Im Verhältnis zur Fassade wurden bereits überproportional viele Dächer wärmetechnisch verbessert. Bzgl. der nächsten zehn Jahre nehmen wir einen Trendbruch betreffend die Häufigkeit von Dacherneuerungen an, und zwar aus folgenden Gründen:

- Es sind bereits hohe Anteile an Erneuerungen im Dachbereich realisiert, insbesondere auch solche der Eindeckungs-/Unterdacherneuerung (ein mangelhaftes Unterdach ist im Dachbereich ein sehr wichtiges auslösendes Moment).
- Auch das zweite allenfalls auslösende Moment, die Wärmedämmung in der Schräge oder auf dem Dachboden, trat schon häufig in Erscheinung.

Letztere Gebäude sind – zusammen mit dem Dachraumausbau – gleichzeitig das Potential für künftige Dacherneuerungen, weil in diesen Fällen das Unterdach noch nicht erneuert wurde.

Aufgrund der vorangegangenen Überlegungen schlagen die Autoren vor, die Einzelannahmen gemäss Tabelle 5.2-4 zugrunde zu legen. Die Annahmen sind evtl. nach der definitiven Auswertung des Projekts „Erneuerungsverhalten im Bereich Wohngebäude“ nochmals zu prüfen.

---

<sup>1</sup>

Hinweise dazu ergeben die erhobenen Daten des Lärmschutzprogramms sowie die Anteile der Wohngebäude in den einzelnen Nutzungszonen im Siedlungsgebiet.

Tabelle 5.2-4 Übersicht über die Anteile der Instandsetzung und der energetischen Erneuerung für die einzelnen Bauteile in der Referenzentwicklung, Periode 2001 bis 2010

		Wand		Fenster		Steildach / Estrich		Flachdach		Lüftungsanlagen	
		Instandsetzung	Erneuerung	Instandsetzung	Erneuerung	Instandsetzung	Erneuerung	Instandsetzung	Erneuerung	Instandsetzung	Erneuerung
Vor 1900	EFH	0.15	0.15	k.A.	0.15	0.10	0.08	Keine Bedeutung		-	
	MFH	0.12	0.10		0.10	0.10	0.10				
1900-60	EFH	0.15	0.15	k.A.	0.15	0.10	0.08			-	0.002
	MFH	0.12	0.10		0.10	0.10	0.10				0.005
1961-75	EFH	0.15	0.15	k.A.	0.15	0.10	0.08				0.005
	MFH	0.12	0.10		0.10	0.10	0.10			0.10	0.15
1975-85	EFH	0.12	0.06	k.A.	0.06	0.05	0.05	0.10	0.15	-	0.005
	MFH	0.10	0.04		0.04	0.05	0.05	0.10	0.15	-	0.01

Quelle Annahmen CEPE

Im Referenzfall wird davon ausgegangen, dass Lüftungsanlagen in den kommenden zehn Jahren noch eine relativ geringe Bedeutung haben werden. Sie werden im Fall einer Gesamt-erneuerung (im Sinn von Wüest & Partner bzw. Econcept ) eingebaut werden, jedoch nicht im Lauf einer Teilsanierung).

Weitere zugrunde liegende Annahmen werden im einzelnen in den folgenden Unterkapiteln bzw. im Anhang beschrieben.

### 5.2.3 Energetische Beschreibung der Referenzentwicklung im allgemeinen

Aus den zusammengefassten Erkenntnissen aus diesem Projekt sowie aus der Literatur ordnen die Autoren den Instandsetzungen bzw. Erneuerungen die energetischen Kennwerte gemäss Tabelle 5.2-5 zu. Die mit „Vor Erneuerung“ überschriebenen Spalten stehen für den Referenzfall der Instandsetzung, bei der im Grenzkostenansatz eine Wärmedämmung mit zunehmender Dämmstärke angenommen wird. Diejenigen mit „Nach Erneuerung“ überschriebenen Spalten für den Referenzfall der energetischen Erneuerung, bei der im Grenzkostenansatz die Dämmstärke erhöht wird.

Viele Gebäude mit Steildächern sind im Dachbereich bereits wärmetechnisch nachträglich verbessert worden, siehe Kap. 2.5. Der Ausgangs-U-Wert ist bei den zu erneuernden Gebäuden deshalb im Durchschnitt nicht mehr so hoch wie im Originalzustand. Bei der Beurteilung der energetischen Wirkung der Massnahmen wird jedoch berücksichtigt, dass diese bestehende WD häufig abgebrochen wird.

Ein Fensterersatz ist- auch verbunden mit einer Innendämmung – mit bauphysikalischen Risiken verbunden (Sturz und Brüstung, vgl. Wärmebrückenkatalog 3, SIA 1993) und lokale Massnahmen sind selten möglich. Zu prüfen ist im Einzelfall, ob der Einbau von Fenstern ohne



Falzdichtung möglich und sinnvoll ist. Wir setzen den Anteil der Fenstererneuerung nicht über den Anteil der Aussenwärmedämmung. Dasselbe gilt für die Bauperiode 1900 bis 1960 (Brüstung bis 1925, Sturz nachher). Es ist auch für die Periode bis 1975 mit solchen Risiken zu rechnen und auch die Erhebung des Lärmschutzprogramms hat solche festgestellt.

Tabelle 5.2-5 Übersicht über die flächenbasierten U-Werte ( $W/m^2K$ ) bei energetischen Erneuerungen, Periode 2001 bis 2010

	Wand		Fenster (ohne Psi-Einbau)		Estrich** / Steildach*		Flachdach		Kellerboden	
	Vor Erneuerung	Nach Erneuerung	Vor Erneuerung	Nach Erneuerung	Vor Erneuerung	Nach Erneuerung	Vor Erneuerung	Nach Erneuerung	Vor Erneuerung	Nach Erneuerung
Vor 1900	1.0		3.0	1.5	0.70	0.29**	unbedeutend		0.75	
1900-60	1.15		2.7	1.5	0.85	0.27*	unbedeutend		1.3	
1961-75	0.9	0.27	2.5	1.5	0.80	0.27	0.85	0.25-0.3	1.0	
1975-85	0.7		2.3	1.5	0.50	0.27	0.6	0.25-0.3	0.7	

Zusätzlich sind im Einzelfall Überlegungen zur linearen Wärmeverlustsituation anzustellen, d.h., es sind Annahmen über vorhandene Wärmebrücken, das Referenzverhalten gegenüber diesen Wärmebrücken und im Grenzkostenansatz über die weitergehenden Möglichkeiten zu machen. Dies erfolgte separat für jede Bauperiode. Nachfolgend wird das Vorgehen am Beispiel der Einfamilienhäuser mit Bauperiode 1900 bis 1960 erläutert.

#### 5.2.4 Detaillierte Beschreibung der Referenzentwicklung am Beispiel der EFH der Bauperiode 1900 - 1960

Diese Bauperiode kann für die Einfamilienhäuser wie folgt charakterisiert werden.

- Energiebezugsfläche: 34 Mio  $m^2$
- Wandfläche: 20 Mio  $m^2$
- Dachfläche: 19 Mio  $m^2$
- Aussenwand Backstein, U-Wert 1.0 bis 1.15
- Die Fenster bestehen zu einem Drittel aus EV bzw. DV (grossmehrheitlich) und zu zwei Dritteln aus IV (grossmehrheitlich zweifach)
- EFH: Überwiegend Klappläden, MFH: Rollläden im städtischen Umfeld
- Decken: Holzdecken bis 1925, Stahlbeton nachher
- Fast ausschliesslich Steildächer
- Estrich kalt, evtl. Mansarde, U-Wert Dach 0.9
- Sockel: Hochparterre, z.T. ebenerdig
- $Q_h=470 MJ/m^2a$

Beurteilung: Relativ einfache Erneuerungsmöglichkeiten. Die Fensterleibung kann mehrheitlich gedämmt werden (Fensterläden). Die Wärmebrücke an Sockel / Kellerdeckenanschluss kann ebenfalls relativ einfach energetisch erneuert werden, da das Niveau der Kellerdecke meist oberhalb oder auf gleichem Niveau wie das Terrain liegt (im letzteren Fall kann entweder eine kontrollierte WB in Kauf genommen werden (v.a. bei versiegeltem Terrain) oder der Sockel kann ca. 50 cm tief freigelegt werden.

Bauabläufe: Die Bauteile werden eher einzeln erneuert. Da die EFH dieser Periode für heutige Begriffe eher klein dimensioniert sind, insbesondere bei denjenigen um die Nachkriegszeit bis in die 60er Jahre, und ein Generationenwechsel stattfindet, wird der Dachraum – wenn möglich – eher ausgebaut als dass der Dachboden gedämmt wird. Die WB können damit weitgehend erneuert werden.

Im Referenzfall wird angenommen, dass in den nächsten 10 Jahren 15% der Wandfläche wärmegeklämt wird. Bei 10% der Dachflächen wird die Eindeckung repariert oder das Unterdach erneuert. Gleichzeitig wird angenommen, dass bei zusätzlich 8% der Dachfläche eine Wärmedämmung angebracht wird. Es wird damit gerechnet, dass 15% der Fensterfläche durch Renovationsfenster oder neue Fenster ersetzt wird. **Damit beträgt im Referenzfall die kumulierte Heizwärmebedarfsreduktionen für die Gebäude dieser Bauperiode (EFH 1900-1960) 7% bis zum Jahr 2010.**

## 6 Gesamtschweizerische Grenzkostenkurven des Wärmeschutzes (für Energiesystemmodelle)

Die Grenzkosten für Energiesystemmodelle geben die zusätzlichen Kosten je eingesparte Energieeinheit an, die mit einer jeweils definierten zusätzlichen Energieeffizienzmassnahme verbunden sind. Diese spezifischen Kosten werden mit ihren jeweiligen Einsparpotentialen zu einem Gesamtenergieeinsparpotenzial in einer Abbildung – der Grenzkosten-Potenzialkurve – aufgetragen. Im allgemeinen werden diese Massnahmen nach der Höhe der Grenzkosten geordnet, um auf diese Weise einen kontinuierlich mit den Kosten ansteigenden Kurvenverlauf zu erreichen. Diese Darstellungsweise ist relativ anschaulich, weil den Grenzkosten die jeweiligen (auch für die Zukunft projizierten) Energie- oder Wärmepreise auf der Ordinate gegenübergestellt werden können und somit sehr schnell das wirtschaftliche Energieeinsparpotenzial abgeschätzt werden kann (vgl. Abb. 6.1-1). Bisher waren die Grenzkostenkurven für Wärmedämminvestitionen an Gebäuden nur in sehr vereinfachender Form entwickelt worden, es fehlten wesentliche Differenzierungen wie z. B.:

- die Berücksichtigung der verminderten Wärmeerzeugungsleistung infolge des verminderten Wärmebedarfs eines Gebäudes,
- die Berücksichtigung von Verschattung bei Wohngebäuden, die bei grossem Flächen-/Volumenverhältnis wie z. B. Einfamilienhäusern bedeutsam sein kann,
- die Berücksichtigung von Lüftungsverlusten, die mit zunehmender wärmetechnischer Qualität an Bedeutung gewinnen,
- die Berücksichtigung von Begleitnutzen (Co-Benefits), welche die Wärmedämmkosten merklich reduzieren können,
- die Berücksichtigung der Kostendynamik für Investitionen – insbesondere neuer Technologien – in der Zukunft, die aufgrund von Lern- und Skaleneffekten die wirtschaftliche Attraktivität von Wärmedämminvestitionen erheblich verbessern können.

Aufgrund der nunmehr vorliegenden empirischen Daten und vorhandenen Simulationsmodelle für Gebäude ist es in diesem Bericht erstmals möglich, die o. g. Vereinfachungen aufzulösen: dabei werden zunächst die Aspekte der Verschattung, der Art der Wärmeerzeugung und der Lüftungsverluste nach dem heutigen Kostenstand behandelt (vgl. Kap. 6.1), wobei bereits die Kosteneinsparung auf Seiten der Wärmeerzeugung und -verteilung mit behandelt wird. Anschliessend wird die Berücksichtigung von Begleitnutzen (vgl. Kap. 6.2) und der Einfluss der Dynamisierung der Kosten (vgl. Kap. 6.3) wiedergegeben. Schliesslich werden die auf die beheizte Fläche (Energiebezugsfläche EBF) bezogenen Effizienzgewinne mit den in der Schweiz für diesen Fall anzutreffenden Flächen hochgerechnet, um zu einer energiewirtschaftlichen Aussage zu gelangen.

Die Fülle der Varianten und Möglichkeiten kann hier nur angedeutet werden. Die Varianten können als Versuch von Sensitivitätsanalysen verstanden werden, um anhand der Ergebnisse festzulegen, welche Varianten man infolge der geringen Unterschiede der Grenzkosten zusammenziehen und als einen Typ von Massnahmen abbilden kann.

Grundsätzlich sind im folgenden die Kosten-Potenzialkurven so aufgebaut, dass man den spezifischen Wärmebedarfswert je  $\text{m}^2$  Wohnfläche aufzeichnet. Dies hat den Vorteil, dass man je nach unterstelltem Investitionsumfang unmittelbar die erzielte Energieeffizienz und den verbleibenden Wärmebedarf des Gebäudes ablesen kann. Wenn man die spezifischen Werte mit der Wohnfläche multipliziert, die in dem jeweiligen Fall (z. B. Neubau von Einfamilienhäusern bis 2010) betroffen sind, erhält man die gewohnten in der Literatur veröffentlichten

Kosten-Potenzialkurven, die insbesondere in prozessorientierten Optimierungsmodellen (bottom up-Modelle) gerne verwendet werden.

## 6.1 Neubau: heutiger Kostenstand und wichtige Einflüsse für Ein- und Mehrfamilienhäuser

In den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels werden beim heutigen Kostenstand die für Wärmedämminvestitionen erreichbaren Effizienzpotenziale mit zunehmender Intensität dargestellt. Hierbei werden die Einflüsse von Fensterflächenanteilen, Verschattung (bei Einfamilienhäusern besonders deutlich), der Kostenminderung für die Wärmeerzeugung und der unkontrollierten Lüftung behandelt.

Die gesamtschweizerischen Grenzkostenkurven, ausgedrückt in CHF/kWh<sub>NE</sub> und in eingesparten PJ, können anhand der bekannten Anteile der Neubau-EBF und der folgenden Grenzkostenkurven auf Gebäudeebene berechnet werden. Hierzu müssen lediglich Annahmen bzgl. der Verschattungssituation und der Gebäudehüllenziffern getroffen werden (letztlich muss einfach die neu zu bauende Dach-, Fassaden- und Fensterfläche etc. bekannt sein); zudem müssen Annahmen zur Beheizungsstruktur gemacht werden, um die verminderten Wärmeerzeugungs- und -verteilungskosten berücksichtigen zu können.

### 6.1.1 Spezifische Grenzkostenkurven auf Gebäudeebene

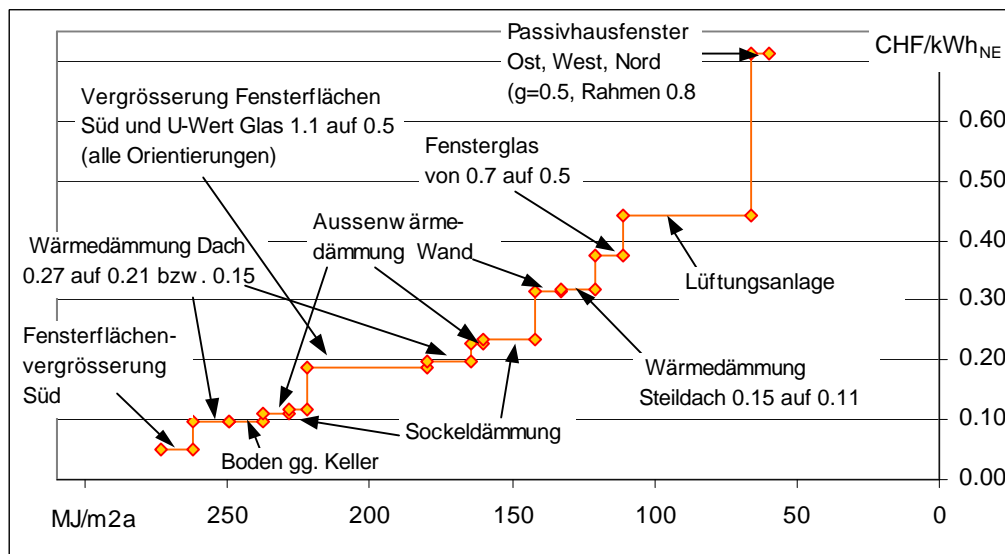
Die Erarbeitung der im folgenden dargestellten spezifischen Grenzkostenkurven dient einerseits dem Aufzeigen der Sensitivität bzgl. Annahmen zum Gebäude und zum anderen bilden sie die Grundlage für die nachfolgende Aggregation auf die gesamtschweizerische Ebene. Es wird wiederum zwischen EFH und MFH unterschieden.

#### a) Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH)

Im folgenden wird zur Erläuterung der einzelnen Einflüsse sukzessive vorgegangen. Untersucht wird:

- ein Gebäude mit Möglichkeit für hohen solaren Gewinn (beschattungsfreie Situation)
- das gleiche Gebäude bei höherer Verschattung bei zunächst gleicher Reihenfolge der Massnahmen
- das gleiche Gebäude mit neu nach stetig steigenden Grenzkosten geordneter Massnahmenreihenfolge
- der Einfluss der möglichen Reduktion der Investitionskosten auf Seite Wärmeerzeugung und -verteilung aufgrund des geringeren Leistungsbedarfs

Bei der angenommenen Situation mit viel Möglichkeiten für solare Gewinne ergibt sich bei einem heutigen Wärmepreis von 8 bis 10 Rp/kWh<sub>NE</sub> eine Reduktion von etwa 50 MJ/m<sup>2</sup>a (vgl. Abbildung 6.1-1). Die kostengünstigsten Massnahmen sind die Vergrößerung der Fensterflächen nach Süden sowie zusätzliche Wärmedämmung bei Dach und Keller. Die spezifischen Kosten der Erhöhung der Fensterflächen gegen Süden sind deshalb tief, weil angenommen wird, dass teilweise grösserflächige Fenster eingesetzt werden können, einerseits weil letztere spezifisch kostengünstiger sind und zum anderen wegen der solaren Gewinne. Die zusätzliche Aussenwärmedämmung hat bei ihren verschiedenen Dämmstärken Grenzkosten zwischen 10 und 31 Rp/kWh<sub>NE</sub>.



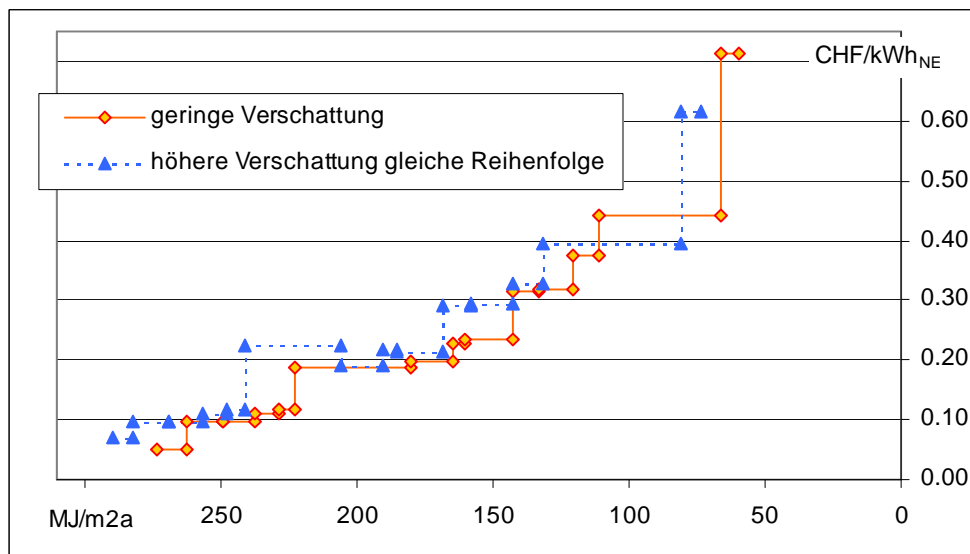
Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-1: EFH- Bruttogrenzkostenkurve (ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmeerzeugung/-verteilung) für geringe Verschattung

Die höhere Verschattung des gleichen Gebäudes zeigt einen höheren Jahreswärmebedarf von etwa 15 MJ/m<sup>2</sup>a im Referenzfall und in einigen Fällen wenig geringere Effizienzpotenziale, die sich insgesamt nicht besonders auswirken (vgl. Abbildung 6.1-2). Der Nachteil der Verschattung bleibt über alle Massnahmen, die das Fenster betreffen, erhalten, aber die Grenzkosten der zuletzt getroffenen Massnahmen liegen niedriger als im Falle geringer Verschattung, weil der Grenznutzen von Wärmedämminvestitionen bei geringeren solaren Gewinnen grösser ist (denn der Ausnutzungsgrad der freien Wärme wird weniger stark reduziert). Betrachtet man die gesamte Palette der Investitionsmöglichkeiten, so kann bei gleichen Bruttogrenzkosten (z.B. bei 30 Rp/kWh<sub>NE</sub>.a) der spezifische Wärmebedarf mehr reduziert werden (gerade weil die Ausgangslage bei der Verschattung ungünstiger war).

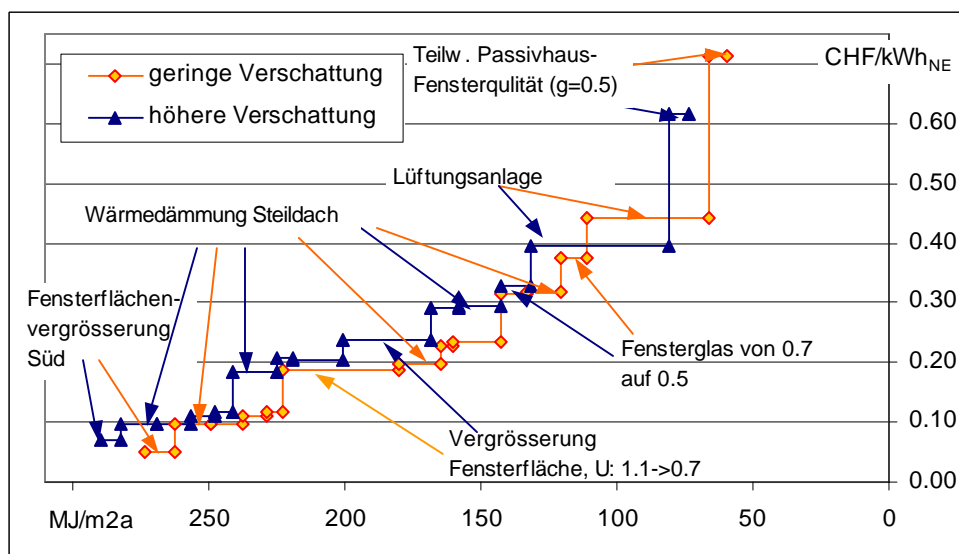
Ausserdem fällt auf, dass einige Massnahmen bei der Situation mit Verschattung andere (bessere) Kosten-Nutzenrelationen haben als jene ohne Verschattung, weil die verschatteten Gebäude mehr Wärme benötigen und daher die Wärmedämmung mehr Nutzen bringt. Bei der Massnahme der Erhöhung der Fensterflächen ist es umgekehrt; wegen der reduzierten solaren Gewinne steigen die spezifischen Grenzkosten leicht an, bleiben aber im Gesamtkontext immer noch relativ kostengünstig und bringen einen vergleichsweise hohen Effizienzgewinn. Ohne diese Massnahme wäre der gesamthaft erreichbare Effizienzgewinn weniger gross; dies gilt für den hier angenommenen Fall einer Verschattung von 40% ( $b=0.6$ ); eine noch höhere Verschattung der Südfront ist allerdings eher unwahrscheinlich, es sei denn, sie wird bewusst oder unbewusst durch den Planenden vom Gebäude verursacht (bei sehr hoher Verschattung (z.B. 70%) wären dann die Grenzkosten stark höher bzw. es wäre je nach Fenstertyp kein Effizienzgewinn mehr zu erreichen, siehe auch Kap. 4.3.6).

Die Ergebnisse kann man neu ordnen (vgl. Abbildung 6.1-3), wengleich diese Darstellung die schnelle vorgleitende Zuordnung zu einzelnen Massnahmen erschwert.



Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-2: EFH-Bruttogrenzkostenkurve (ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmeerzeugung/-verteilung) für geringe Verschattung und für höhere Verschattung (gleiche Massnahmenreihenfolge)

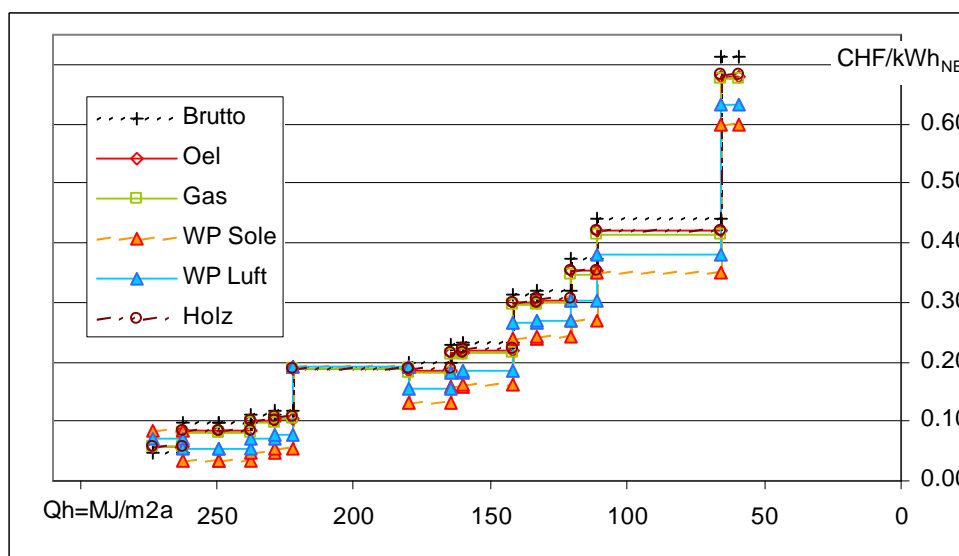


Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-3: EFH-Bruttogrenzkostenkurve (ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmeerzeugung/-verteilung) für geringe Verschattung und für höhere Verschattung (Massnahmenreihenfolge gemäss dem Prinzip der ansteigenden Grenzkosten)

Bei höherer Energieeffizienz der Gebäude, also bei tieferem Heizwärmebedarf, kann die Wärmeerzeugung und teilweise auch die Verteilung kleiner dimensioniert werden und damit Investitionskosten eingespart werden (der Zusammenhang zwischen Energieeffizienz des Gebäude, des Wärmeleistungsbedarf, der davon nicht linear abhängt, sowie der entsprechen-

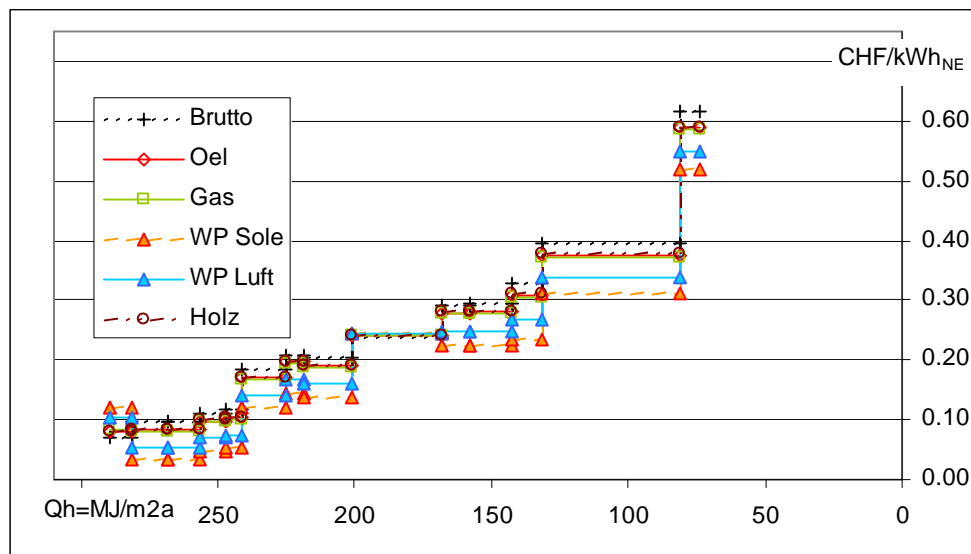
den Kosten, ist in den Kapiteln 4.2.10 und 4.3.12 behandelt). Ausserdem reduziert sich derjenige Anteil der Unterhalts- und Reparaturkosten, der proportional zur Investitionssumme anzunehmen ist (Annahme: diese Unterhaltskosten betragen 0.7% der Investitionskosten pro bei Öl-, Gas- und Holzheizungen, 1% bei WP-Anlagen). Der Einfluss der verminderten Wärmeerzeugungs- und Verteilungskosten ist zwar nicht so gross, dass die Grenzkosten der Wärmedämminvestitionen kompensiert würden, aber es zeigt sich doch eine deutliche Reduktion zwischen 2 und 6 Rp/kWh je nach Wärmeerzeuger. Ein Teil der Massnahmen ist selbst bei heutigen Energiepreisen wirtschaftlich. Bei den Gebäuden mit Wärmepumpen ist eine grössere Verminderung der Bruttogrenzkosten festzustellen (vgl. Abbildung 6.1-4); allerdings sind diese Kosten nicht mit dem Strompreis allein, sondern mit dem Strompreis dividiert durch den Nutzungsgrad (Faktor 2.5 bis über 4) zu vergleichen. Absolut betrachtet haben die Gebäude mit Wärmepumpen denn auch nicht deutlich günstigere Jahresenergiekosten (vgl. auch Kap.4.4). Der Unterschied zwischen nicht oder stark verschatteten Gebäuden ist wiederum der gleiche: die Grenzkosten liegen etwas niedriger, allerdings bei höherem spezifischem Wärmebedarf infolge der fehlenden Solargewinne (vgl. Abbildung 6.1-4 und Abbildung 6.1-5).



Quelle Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-4: EFH-Brutto- und Nettogrenzkostenkurve (mit Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmeerzeugung/-verteilung) für geringe Verschattung

Als Fazit lässt sich festhalten, dass bei dem relativ hohen Verhältnis von Aussenfläche zu Energiebezugsfläche ( $A/EBF$ -Verhältnis) von 1.8 sich der Passivhausstandard nur mit relativ hohen Nettogrenzkosten realisieren lässt, d.h. auch bei Gegenrechnung der für die Wärmeerzeugung und -verteilung geringeren Leistungen und entsprechender Kostenreduktionen. In der Praxis ist bei den Passivhaus-Einfamilienhäusern der Keller innerhalb des Dämmerimeters, weshalb sich rechnerisch die EBF erhöht und weniger lineare Wärmeverluste entstehen (Sockel). Häufig sind auch sie über 30 cm hinaus gedämmt, und auf lineare Wärmeverluste (bei Fensterschlüssen) ist ein besonderes Augenmerk zu richten, siehe u.a. die Dokumentationen auf der Website des Passivhaus-Institutes.



Quelle Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-5: EFH-Brutto- und Nettogrenzkostenkurve (mit Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmezeugung/-verteilung) für höhere Verschattung

Wird auf die Massnahmen der Fensterflächenvergrösserung verzichtet, so wird der maximal zu erreichende Effizienzgewinn geringer, und das Gebäude wäre noch weiter vom Passivhausstandard entfernt (der zu erreichende Wert liegt mit der hier angewandten Berechnungsmethode bei unter  $50 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ , siehe nähere Ausführungen zur Berechnungsmethodik des Heizwärmebedarfs von Passivhäusern in Kap. 4.2.11). Wird hingegen durch architektonische Massnahmen eine kleinere Gebäudehüllenziffer erreicht, so nähert sich die Grenzkostenkurve derjenigen eines kleinen MFH an, siehe u.a. Abbildung 6.1-6), und die Grenzkosten des letzten Schrittes zum Passivhausstand sinken tendenziell.

#### b) Mehrfamilienhäuser (grosses Gebäude mit $A/EBF=1.12$ ; und mittelgrosse Gebäude)

Bei den Mehrfamilienhäusern wurden verschiedene Relationen der Aussen- zur Energiebezugsfläche unterschieden. Ausser der Verschattung als Parameter wurde auch die Luftwechselrate zusätzlich modifiziert, um diesen Einfluss auf die Energieeinsparpotenziale und die Grenzkosten zu dokumentieren.

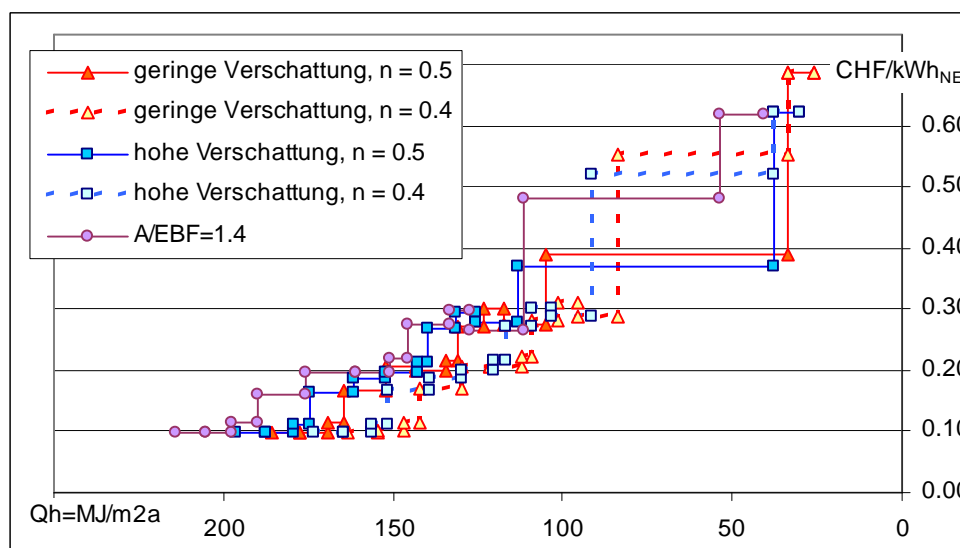
Bei den Beispielberechnungen für Mehrfamilienhäuser wurde von einer Ost-West-Ausrichtung der Gebäude ausgegangen, nicht zuletzt, um eine bei den EFH nicht vorkommende Dimension abzubilden. Je mehr sich das (kleine) MFH dem Charakter eines EFH-Hauses angleicht (z.B. von Süd nach Nord durchgehende Wohnungen, Südausrichtung), desto eher kann auf die Grenzkostenergebnisse der EFH zurückgegriffen werden (es verändert sich aufgrund der anderen Flächenverhältnisse allenfalls das Potential der einzelnen Massnahmen).

Allgemein kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei einem Teil der Mehrfamilienhäuser, insbesondere bei grösseren, die Fensterflächenanteile (pro Fassadenfläche bzw. pro EBF) gegen Süden nicht ganz so gross wie beim Einfamilienhaus gewählt werden können, weil zum einen nicht alle Gebäude gegen Süden ausgerichtet werden können und zum anderen der Wärmeaustausch (der solaren Gewinne) innerhalb des Gebäudes aufgrund der Raumunterteilung der Wohnungen und Gänge geringer ist als bei Einfamilienhäusern. Dadurch wird der



Ausnutzungsgrad der freien Wärme geringer und das Risiko von Überhitzungen für einzelne Wohnungen grösser.

Erwartungsgemäss führt eine geringere Luftwechselrate zu einem geringeren spezifischen Wärmebedarf eines Gebäudes und daher bei den gleichen Investitionsmassnahmen zu höheren Grenzkosten bei den Lüftungsanlagen (wie auch bei den übrigen Massnahmen), denn der Ausnutzungsgrad der freien Wärme sinkt stärker. Diese Grenzkostenunterschiede werden aber erst bei Grenzkosten über 20 Rp/kWh<sub>NE</sub> deutlich und könnten – erst auf diesem relativ höheren Kostenniveau die Entscheidungen beeinflussen (vgl. Abbildung 6.1-6); am interessantesten auf Seiten der Kostenminderung ist natürlich das verschattete Gebäude ( $b=0.6$  gegen Süd/Ost/West) mit der höheren Luftwechselrate, was in der Praxis auch die häufigste Variante sein dürfte, insbesondere im städtischen Umfeld.



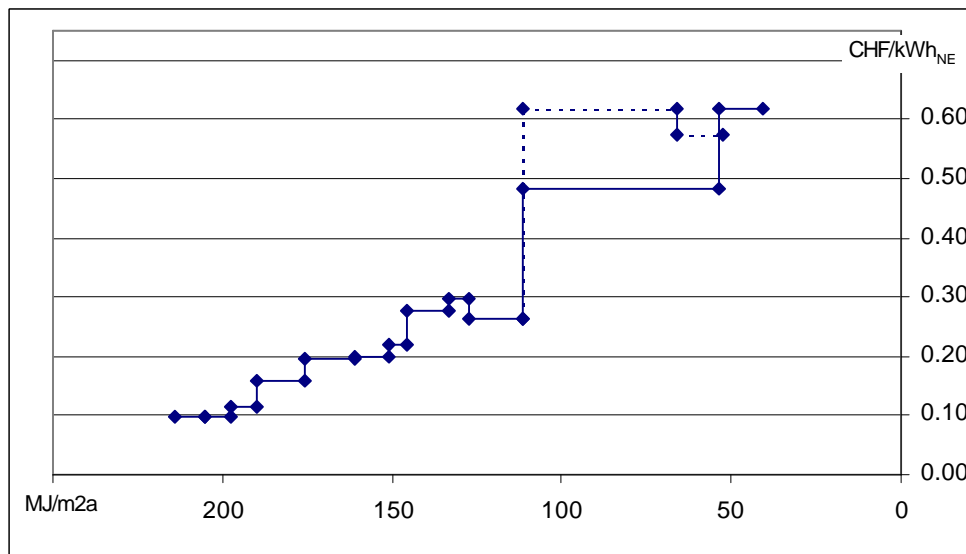
Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-6: MFH-Bruttogrenzkostenkurve (ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmezeugung/-verteilung) für verschiedene Ausgangslagen der Verschattung und des Luftwechsels

Spezifische Grenzkosten und Effizienzpotential bei Lüftungen sind sehr abhängig von der Annahme bzgl. des Referenzfalls und der Effizienz der Lüftungsanlage (d.h., nicht nur der Wärmerückgewinnungsgrad der Anlage ist entscheidend, sondern auch, welcher Anteil des Luftwechsels über die Anlage läuft und welcher Anteil durch Undichtigkeiten bei Fenstern und Türen (Personen gehen auch in solchen Gebäuden ein und aus) im Wärmetauscher der Lüftungsanlage gar nicht rückgewinnbar ist. In Abbildung 6.1-6 wird dies illustriert, indem die Grenzkosten nicht nur für den Optimalfall mit einem verbleibenden energetischen Luftwechsel von 0.13/h dargestellt werden, sondern exemplarisch auch mit einem solchen von 0.2/h.

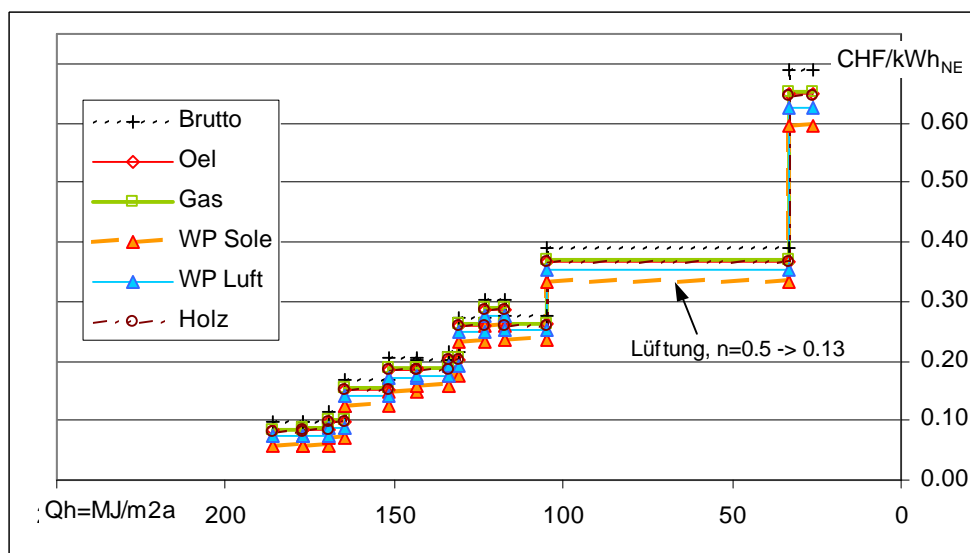
Deutlich ersichtlich ist der hohe Einfluss der Luftwechselrate  $n$  auf den spezifischen Wärmebedarf auch im Referenzfall (ohne Lüftung). Die relative Bedeutung steigt zudem bei zunehmender Wärmedämmung an (vgl. Abb. 6.1-8 bis 6.1-12). Am Grenzkostenvergleich zeigt sich auch, dass die kontrollierte Lüftung in hoch wärmedämmten Gebäuden eine zunehmende Aufmerksamkeit haben muss. Hierbei sind nicht nur Kostenprobleme zu überwinden, sondern

auch mangelnde Akzeptanz und mangelnde Kenntnisse bei Bauherren und Gebäudenutzern zur kontrollierten Lüftung von Wohngebäuden



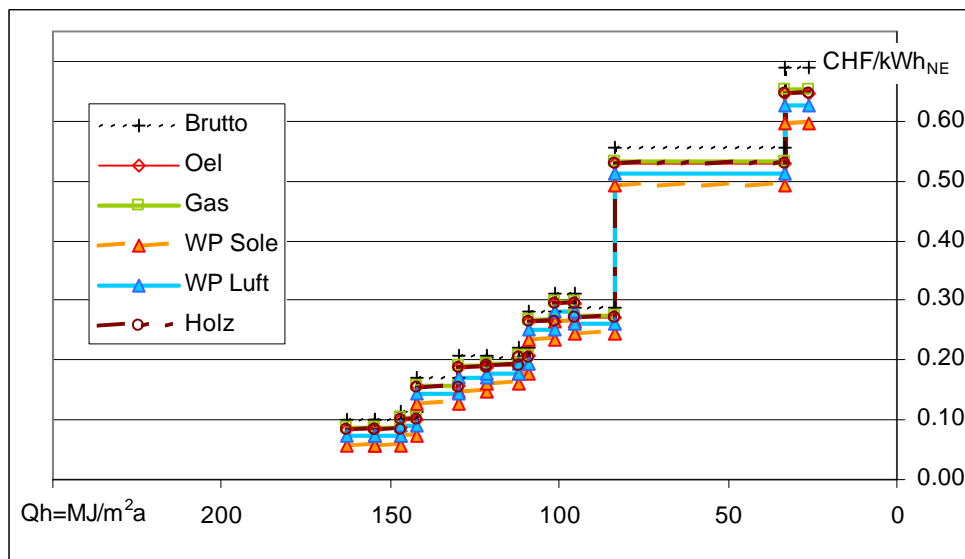
Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-7: Sensitivität der MFH-Bruttogrenzkostenkurve (ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmeerzeugung/-verteilung) bzgl. Lüftungseffizienz der Komfortlüftung für das MFH mit A/EBF=1.4



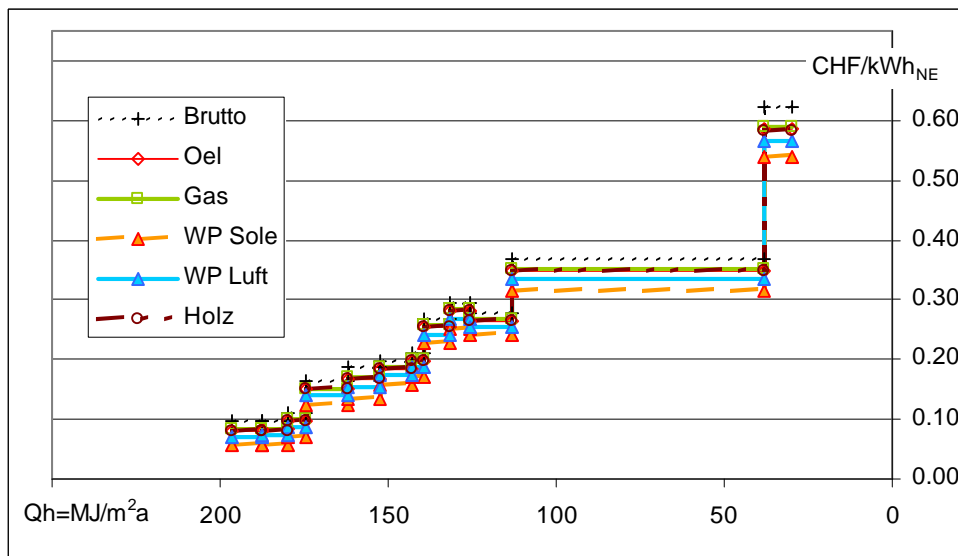
Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-8: MFH-Grenzkostenkurve unter Berücksichtigung der Kosteneinsparung auf Seiten der Wärmeerzeugung/-verteilung, geringe Verschattung, „hoher“ Luftwechsel im Referenzfall



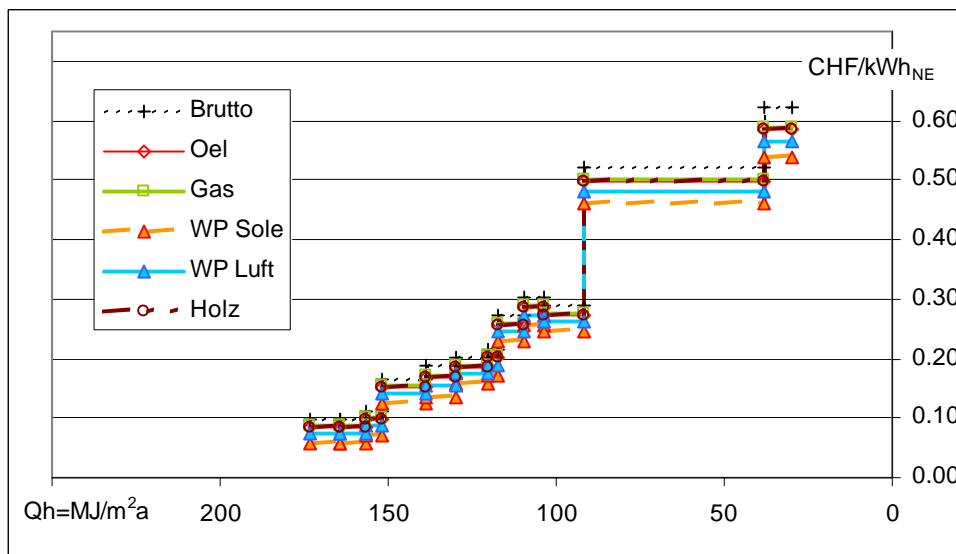
Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-9: MFH-Grenzkostenkurve unter Berücksichtigung der Kosteneinsparung auf Seiten der Wärmeerzeugung/-verteilung, geringe Verschattung, niedriger Luftwechsel im Referenzfall



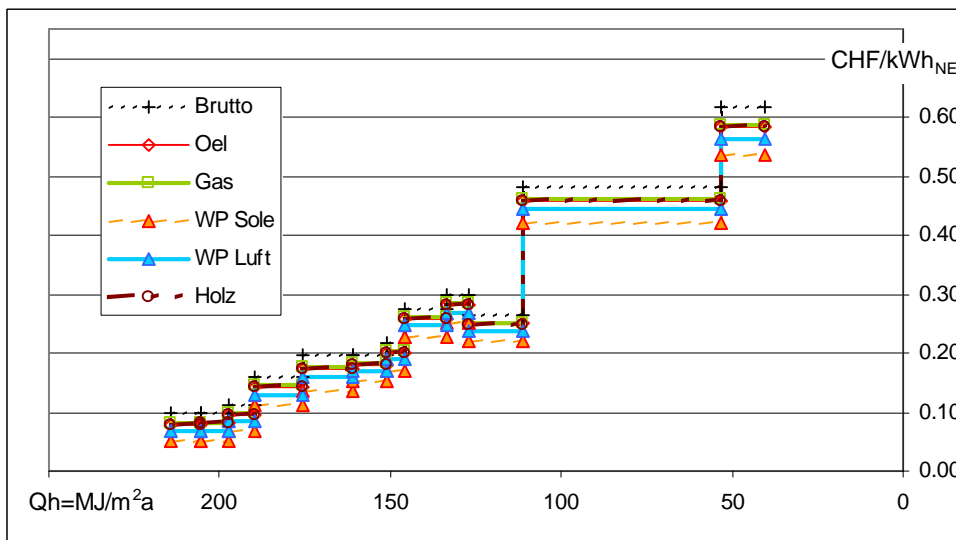
Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-10: MFH-Grenzkostenkurve unter Berücksichtigung der Kosteneinsparung auf Seiten der Wärmeerzeugung/-verteilung, hohe Verschattung, „hoher“ Luftwechsel im Referenzfall



Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-11: MFH-Grenzkostenkurve unter Berücksichtigung der Kosteneinsparung auf Seiten der Wärmeerzeugung/-verteilung, hohe Verschattung, tiefer Luftwechsel im Referenzfall



Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-12: MFH-Grenzkostenkurve unter Berücksichtigung der Kosteneinsparung auf Seiten der Wärmeerzeugung/-verteilung, mittlere Verschattung, mittlerer Luftwechsel im Referenzfall, mit einem Verhältnis A/EBF=1.44

Fazit für die Analysen im Bereich der Mehrfamilienhäuser:

Gemessen an dem spezifischen Wärmebedarf verschiedener Mehrfamilienhäuser, typisiert nach Merkmalen wie A/EBF, Luftwechselrate, Verschattung und Gebäudeausrichtung, ist die Ausgangslage (die Referenzbasis) der Grenzkostenberechnung sehr unterschiedlich. Dieser

Referenzfall bestimmt nicht unerheblich die Grenzkosten der weiterhin unterstellbaren Wärmedämminvestitionen. Denn je höher der spezifische Wärmebedarf im Referenzfall durch Verschattung, Ausrichtung und hohes A/EBF-Verhältnis ist, desto geringer sind bei den gleichen Wärmedämminvestitionen die Grenzkosten infolge ihrer grösseren Wirkung.

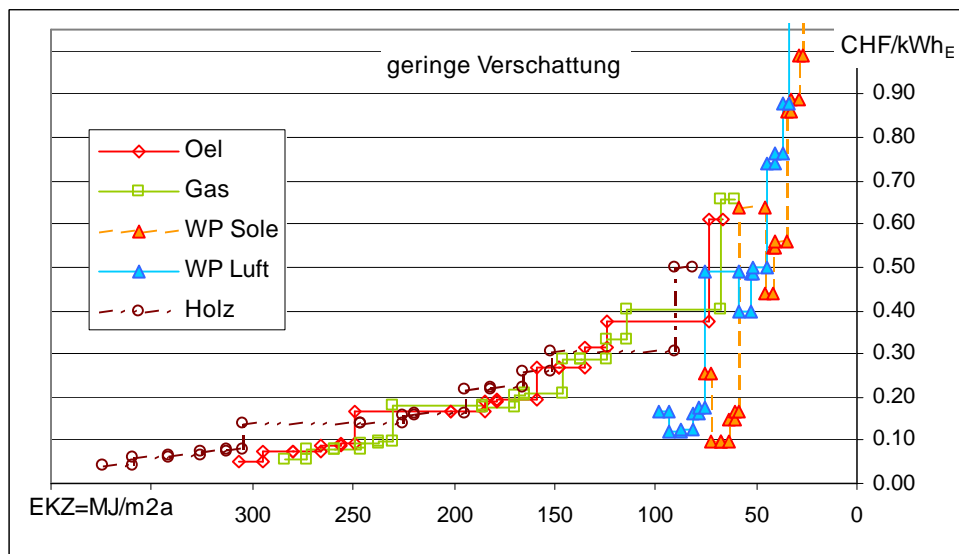
Auch bei den Mehrfamilienhäusern sind die Kostenminderungen bei Anrechnung der verminderten Investitionskosten auf Seiten der Wärmeerzeugung und -verteilung bei den gering gedämmten Gebäuden relativ am grössten (bis zu knapp 50 %), aber dieser kosten-vermindernde Einfluss verliert bei zunehmender Intensität der Wärmedämminvestitionen an Bedeutung. Erst eine völlige Abkehr von der Warmwasserheizung würde das Bild der Nettogrenzkosten noch deutlich günstiger ausfallen lassen. Bei allen Beispielen lässt sich rechnerisch der Passivhausstandard mit Lüftungsanlagen und Wärmerückgewinnung erreichen; bei den Beispielen für grosse Gebäude ( $A/EBF = 1.1$ ) u.U. sogar mit Dämmstärken unter 30 cm und ohne gedämmte Fensterrahmen, was sich besonders kostensenkend wegen der (heute noch) hohen Grenzkosten dieser Massnahmen auswirkt.

#### **a) Exkurs: Betrachtung auf Ebene Endenergie**

Obwohl zwischen Netto-Grenzkosten Unterschiede zwischen den verschiedenen Heizanlage-typen bestehen, sind die Grenzkostenkurven auf der Ebene der Nutzenergie (Heizwärmebedarf) recht ähnlich. Dies gilt nur noch bedingt, wenn die Grenzkostenbetrachtung auf der Ebene der Endenergie gemacht wird, wie die Abbildung 6.1-13 aufzeigt. Der Hintergrund dieses Phänomens ist unmittelbar einsichtig, wenn man sich vor Augen hält, dass der Endenergieverbrauch bei Anlagen mit schlechterem Wirkungsgrad (z.B. Holz mit 73%) grösser ist bzw. bei WP mit einem Nutzungsgrad von 2.5 bis über 4 wesentlich kleiner. Im selben Mass unterscheiden sich auch die Differenzen des Endenergieverbrauchs zwischen den verschiedenen Effizienzstufen des Gebäudes. Werden die im wesentlichen sehr ähnlichen Kosten durch diese unterschiedlichen Differenzen dividiert, entstehen naturgemäss sehr unterschiedliche spezifische Werte. Besonders eindrücklich ist dies bei der WP, für die angenommen wird, dass der Nutzungsgrad bereits im Referenzfall (heutiger Neubaustandard) über 2.5 (Luft) bzw. 3.5 (Sole) beträgt (zur Abhängigkeit der Nutzungsgrade in Funktion der Gebäudeenergieeffizienz siehe weitere Ausführungen im Kap 4.3.12). Entsprechend sind die Grenzkosten um etwa diesen Faktor höher. Etwas kompensiert wird der Effekt, weil die Nutzungsgrade bis Gebäude mit dem tiefsten Bedarf ansteigen (Sole-WP auf 4.3) und dadurch die gesamte Endenergieverbrauchdifferenz entsprechend zunimmt (um gut 20%).

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang aber auch, dass jetzt nicht mehr die Wärmekosten, sondern direkt der Energiepreis (unter Berücksichtigung der Langfristigkeit) als Vergleich heranzuziehen ist. Der Strompreis pro kWh liegt mit 12 Rp/kWh<sub>e</sub> bis über 25 Rp/kWh<sub>e</sub> denn auch deutlich höher als der Energiepreis für fossile Energieträger (1990er Jahre: 5 bis 8 Rp/kWh).

Zu berücksichtigen ist bei der Interpretation der Grenzkostenkurven auf Endenergieebene auch, dass die Heizanlage eine rund zwei bis dreimal kürzere Lebensdauer hat als die betrachteten baulichen Effizienzinvestitionen und die Gebäudeeffizienz eher auf der Ebene der Wärmekosten beurteilt werden sollte.



Quelle Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-13 Spezifische Grenzkostenkurve für EFH-Neubauten inkl. Darstellung der Co-Benefits

### b) Fazit der Grenzkostenbetrachtungen im Neuaufbau

Insgesamt zeigt sich bereits an diesen Kostenbeispielen heutiger Preisbasis (d.h. ohne Dynamisierung der Kosten für Wärmeschutz und ohne begleitende Nutzen), dass eine differenzierte Grenzkostenbetrachtung für energiewirtschaftliche Energiesystemanalysen erforderlich ist, und zwar sowohl die Unterscheidung nach Ein- und Mehrfamilienhäusern als auch nach weiteren einflussreichen Merkmalen. Welche man letztlich zur Differenzierung der Grenzkosten heranzieht, hängt von ihrer Häufigkeit im gesamtschweizerischen Gebäudebestand ab. Die bisher übliche, sehr vereinfachende Grenzkostendarstellung lief Gefahr, volkswirtschaftlich attraktive Wärmedämmoptionen in einem Teil des Schweizer Neubausegmentes oder Gebäudebestandes zu verbergen.

#### 6.1.2 Aggregation der Grenzkostenkurven auf die gesamtschweizerische Ebene

Die Aggregation auf die gesamtschweizerische Ebene erfolgt anhand der spezifischen Grenzkostenkurven (Kap. 6.1.1) sowie der gesamtschweizerisch zu bauenden Neubauf Flächen (Kapitel 5). Betrachtet wird zunächst die Periode 2001 bis 2010. Unter Umständen muss in Erwägung gezogen werden, die Aggregation in Fünfjahresschritten vorzunehmen, denn die Dynamik der Grenzkosten insbesondere im Bereich der Fenster ist beachtlich, siehe Kapitel 6.3.

Bei der Aggregation auf gesamtschweizerische Grenzkostenkurven ist zwischen einem theoretischen und einem realisierbaren Potential zu unterscheiden. Beim realisierbaren Potential wird berücksichtigt, dass die Einführung der effizientesten Produkte, Bauweisen und Erfahrungen etc. am Markt nicht unmittelbar erfolgen kann, sondern gemäss der Charakteristik eines Diffusionsprozesses erst mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung erfolgen kann. In dieser Phase haben die Unternehmen und die Planenden einen Lern- und Erfahrungsprozess durchzumachen. Dies gilt insbesondere für Dämmstärken über 20 cm (kleinere Unternehmen haben auch für über 16 cm kaum Erfahrungen, wie eine spontane Umfrage kürzlich bei einer Tagung

zeigte) und Lüftungsanlagen mit WRG. Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den Annahmen in Tabelle 6.1-1 um relativ grobe Expertenschätzungen handelt.

Nicht berücksichtigt ist beim Unterschied zwischen theoretischem und realisierbarem Potential die Wirtschaftlichkeit. Diese würde mit der Ausschöpfbarkeit des realisierbaren Potentials beschrieben und ist vom allgemeinen wirtschaftlichen, energie- und umweltpolitischen Rahmenbedingungen (insbesondere den Energiepreisen) sowie den Präferenzen der Bauleistungsnachfragenden bestimmt (nicht alle Wirtschaftsakteure entscheiden nach rein wirtschaftlichen Kriterien, zudem können die Methoden und Systemgrenzen für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sehr unterschiedlich sein).

Tabelle 6.1-1 Annahmen zu den Realisierungsanteilen der verschiedenen Massnahmen im Neubaubereich, Zeitperiode 2001–2010

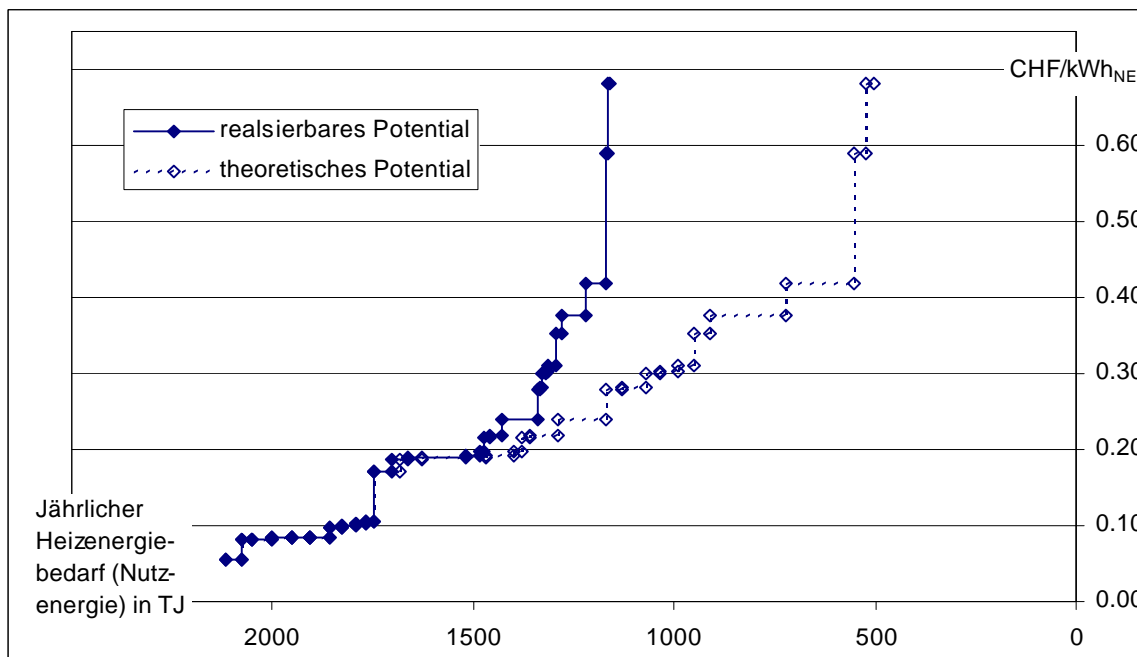
Massnahmen	Realisierungsanteil
Mehr Fensterfläche im Süden (inkl. teilweise grosse statt kleine Fenster)	100%
Wärmedämmung Steildach, Verbesserung des U-Werts von 0.27 auf 0.21	100%
Dämmung Boden (mit Bodenheiz.) gegen Keller, Verbesserung U-Werts von 0.33 auf 0.26	100%
Aussenwärmedämmung Wand. U-Wert von 0.28 auf 0.23	100%
Sockeldämmung + 50 cm tiefer, U-Wert <sub>in</sub> von 0.3 auf 0.2	100%
Vergrösserung Fensterfläche-Süd von 15m <sup>2</sup> auf 35 m <sup>2</sup> , Fensterglas U-Wert von 1.1 auf 0.7 für alle Orientierungen	90%
Wärmedämmung Steildach, Verbesserung des U-Werts von 0.21 auf 0.15	70%
Aussenwärmedämmung Wand. U-Wert von 0.23 auf 0.2	70%
Sockeldämmung, Verbesserung , U-Wert <sub>in</sub> von 0.2 auf 0.12	50%
Wärmedämmung Steildach, Verbesserung des U-Werts von 0.15 auf 0.11	20%
Aussenwärmedämmung Wand. U-Wert von 0.2 auf 0.15	10%
Fensterglas U-Wert von 0.7 auf 0.5 (g=0.5), alle Orientierungen	50%
Lüftungsanlage mit WRG	30%
Fenster an West/Ost/Ost-Fassade auf Passivhausfensterqualität (g=0.5, Rahmen=0.8)	20%

Quelle Annahmen CEPE

Im folgenden wird die Aggregation getrennt nach EFH und MFH dargestellt.

#### a) Ein- und Zweifamilienhäuser

Zur Aggregation der Grenzkostenkurven werden Annahmen der relativen Gewichte der betrachteten Gebäudetypen bzw. -lagen notwendig. Bei den Einfamilienhäusern wird angenommen, dass die Anteile für die unverschattete Lage (b=0.9 nach Süden bzw. je 0.7 nach Ost und Westen) bzw. für verschattete Lage (b=0.7 nach Süden bzw. je 0.5 nach Ost und Westen) je 50% betragen.



Quelle Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-14 Unterschied zwischen realisierbarem und theoretischem Potential bei der aggregierten gesamtschweizerischen Grenzkostenkurve für EFH-Neubauten, Zeitperiode 2001 bis 2010, am Beispiel der mit Öl beheizten Gebäude

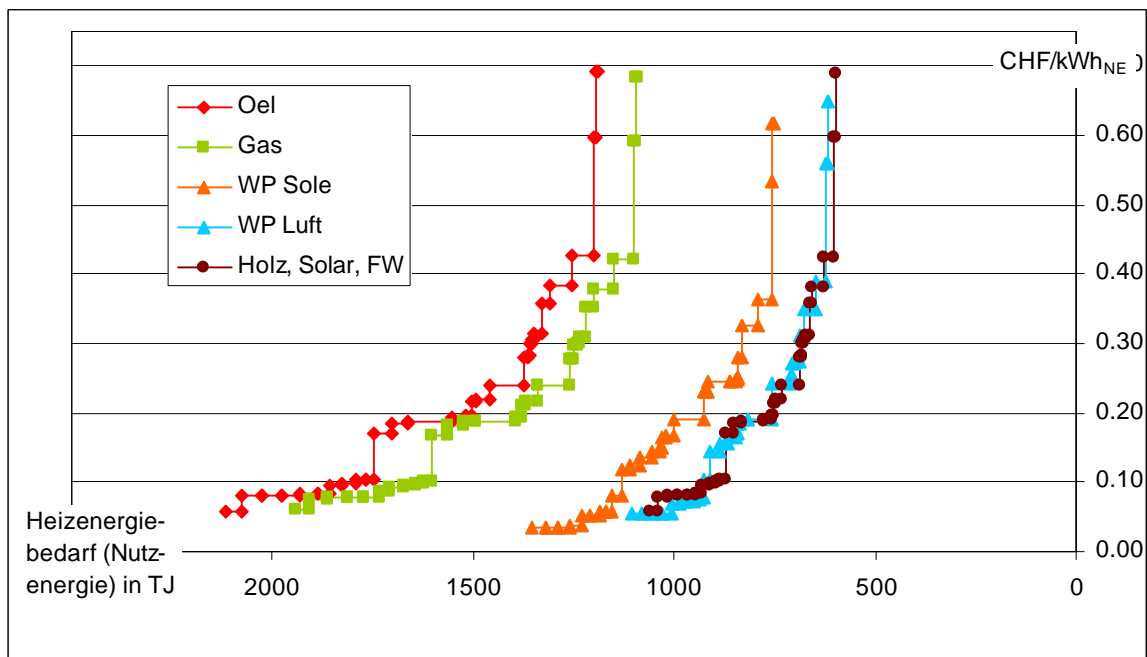
Die Nettogrenzkostenkurven sind unterschiedlich für die Gebäude mit verschiedenen Heizanlagen. Um dies bei der Darstellung der gesamtschweizerischen Grenzkostenkurve zu berücksichtigen, gäbe es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Die spezifischen Grenzkostenkurven werden nach den Marktanteilen der Heizanlagen in Neubauten gewichtet und zu einer einzigen Grenzkostenkurve aggregiert
- Es werden separate Grenzkostenkurven für die Gebäude mit den unterschiedlichen Heizanlagen erstellt.

Der Transparenz halber wurde zunächst die zweite Variante durchgeführt. Dazu wurden die Marktanteile der Heizanlagen in EFH-Neubauten gemäss Tabelle 5.1-2 zugrunde gelegt. Diese basieren auf Modellrechnungen des CEPE und stützen sich auf die BFE-Energieperspektiven, wobei Aktualisierungen insbesondere im Bereich der WP vorgenommen wurden.

Eigentlich hat im EFH-Neubau die WP als gesamtes den höchsten Marktanteil und müsste dem zufolge (im Referenzfall) auch den höchsten Heizwärmebedarf haben. Bei den WP wurde jedoch zwischen zwei Typen unterschieden (Sole und Luft, Wasser weist einen Anteil von unter 10% auf und kann methodisch der Sole-WP zugeschlagen werden), so dass Öl im Referenzfall mit dem höchsten Verbrauch erscheint (die Kurve beginnt ganz links), dicht gefolgt von Erdgas. Obwohl von Auge betrachtet die Grenzkostenkurven dieser Anlagentypen flacher erscheinen, ist dies nicht so; relativ gesehen ist der zu realisierende Effizienzgewinn bei gleichen Grenzkosten vergleichbar, dies gemäss den Abbildungen mit den spezifischen Grenzkostenkurven, siehe weiter oben.





Quelle Berechnungen CEPE

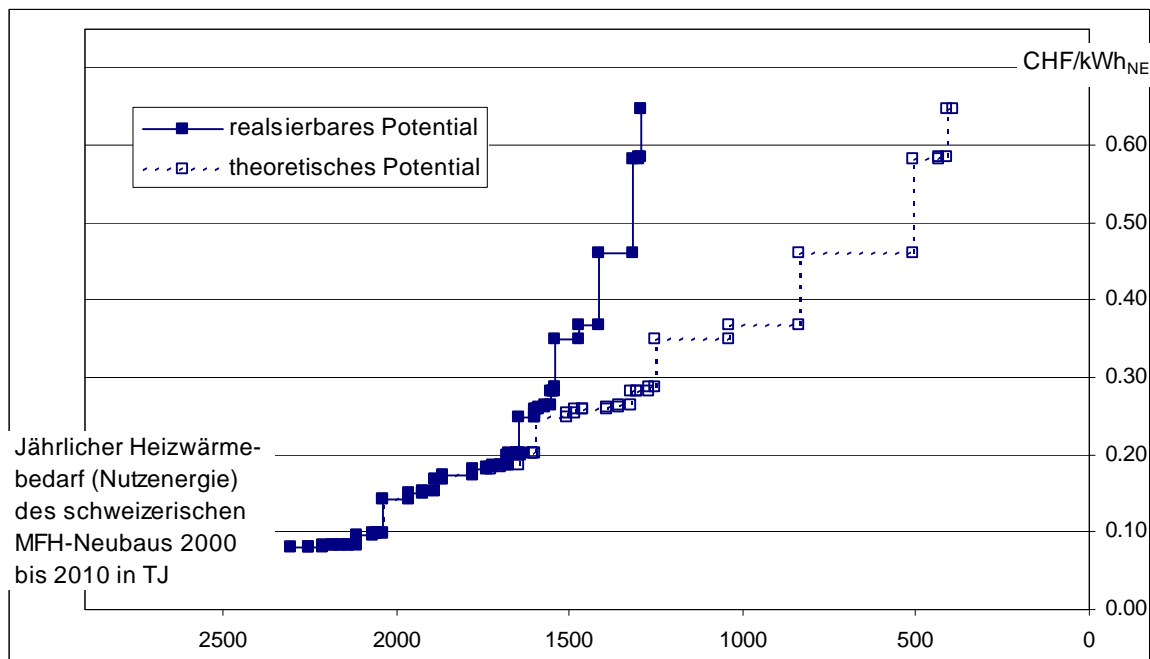
Abbildung 6.1-15 Gesamtschweizerische Grenzkostenkurven (realsierbares Potential) für den EFH-Neubau des Zeitraums 2001 bis 2010, (Marktanteil Anlagentypen gemäss Tabelle 5.1-2), heutiger Kostenstand

Im Referenzfall beträgt der Nutzenergiebedarf der Gebäude, die bis 2010 neu gebaut werden, rund 7600 TJ. Bis zu Grenzkosten von 10 Rp/kWh<sub>NE</sub> lässt sich der jährliche Heizwärmebedarf (auf Ebene Nutzenergie) mit Massnahmen an Boden, Dach, Wand und Fenster gesamtschweizerisch bei EFH-Neubauten um rund 1300 TJ reduzieren. Bis zu Grenzkosten von 20 Rp/kWh<sub>NE</sub> sind es weitere 935 TJ. Ein vergleichsweise grosses Potential der Heizwärmebedarfsreduktion bietet der Einbau von Lüftungsanlagen. 1300 beträgt dieses Potential theoretisch, wenn in allen MFH eine Lüftungsanlage eingebaut würde. Gemäss der Annahme in Tabelle 6.1-1 liegt der realisierbare Anteil bis 2010 jedoch nur bei 30% des Wertes. Die Grenzkosten betragen je nach Situation und Wärmeerzeugung 23 Rp/kWh<sub>NE</sub> bis 38 Rp/kWh<sub>NE</sub>, wenn die gesamten Kosten der Lüftungsanlage der Energie zugerechnet würden.

## b) MFH

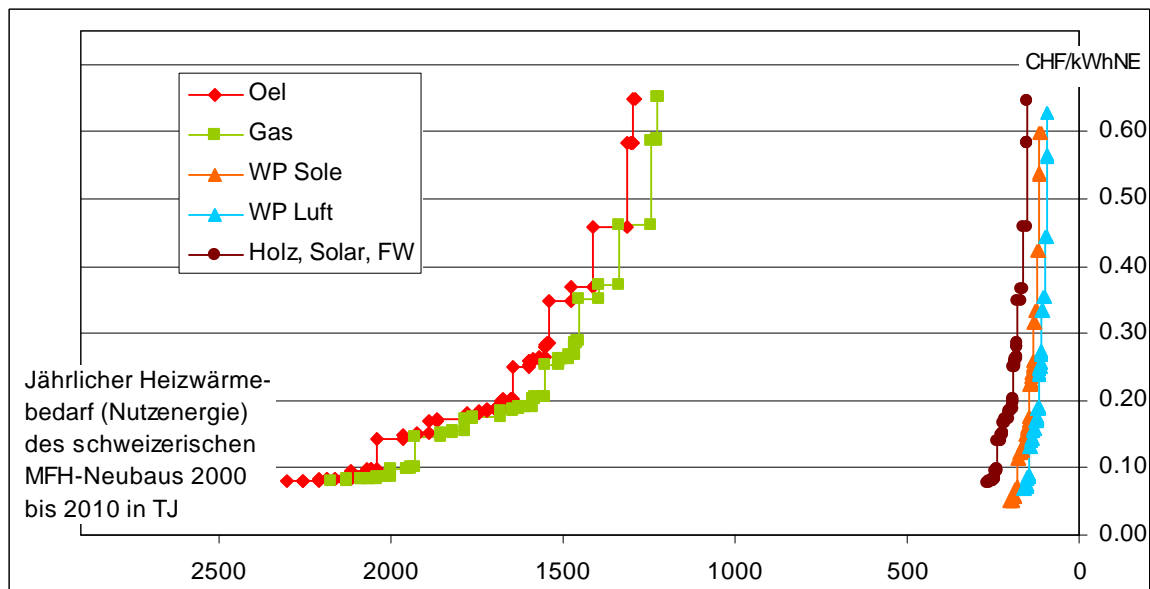
Gemäss der Ausgangslage von Wüest & Partner, 1994 sowie CEPE, 2001 werden bis 2010 rund 25 Mio m<sup>2</sup> EBF in reinen oder gemischt genutzten (mehr als 50% Wohnflächenanteil) Mehrfamilienhäusern erstellt werden. Im Referenzfall beträgt der Heizwärmebedarf dieser Flächen rund 5600 TJ/Jahr.

Wie bei den EFH ist auch hier zwischen einem theoretischen und einem realisierbaren Potential zu unterscheiden (Abbildung 6.1-16 am Beispiel der Gebäude mit Öl-Anlagen) und die Kostenkurven werden für die Gebäude mit verschiedenen Heizanlagenentypen separat dargestellt (Abbildung 6.1-17). Die Grenzkostenkurve der Heizanlagen mit geringem Potential erscheinen optisch steiler, sind es aber relativ gesprochen nicht (siehe vorangehendes Kapitel).



Quelle Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-16 Unterschied zwischen realisierbarem und theoretischem Potential bei der aggregierten gesamtschweizerischen Grenzkostenkurve für MFH-Neubauten, Zeitperiode 2001 bis 2010, am Beispiel der mit Öl beheizten Gebäude



Quelle Berechnungen CEPE

Abbildung 6.1-17 Gesamtschweizerische Grenzkostenkurven (realisierbares Potential) für MFH-Neubauten der verschiedenen Anlagentypen (Marktanteile Anlagen gemäss Tabelle 5.1-4), Zeitraum 2001 bis 2010, heutiger Kostenstand

## 6.2 Integration der Co-Benefits in die Grenzkostenkurven

Wie im Kapitel 4.6 an einigen Stellen angetönt, konnten die begleitenden Nutzen der Energieeffizienzmassnahme im Verlaufe dieses Projekts nicht in der gebotenen Differenziertheit und repräsentativ für die relevanten Fälle quantifiziert und monetarisiert werden. Nachfolgend werden die Co-Benefits exemplarisch für einen Fall, nämlich für MFH an lärmiger Lage, in die Grenzkostenkurve eingearbeitet.

Die Co-Benefits fallen nicht gleichermassen für alle Effizienzinvestitionstypen an und die Nutzen verteilen sich auch nicht gleichmässig über die Spannweite der Energieeffizienzgewinne. Im allgemeinen ist von stark abnehmendem Grenznutzen auszugehen.

Für die Darstellung in Abbildung 6.2-1 wurden folgende Annahmen getroffen:

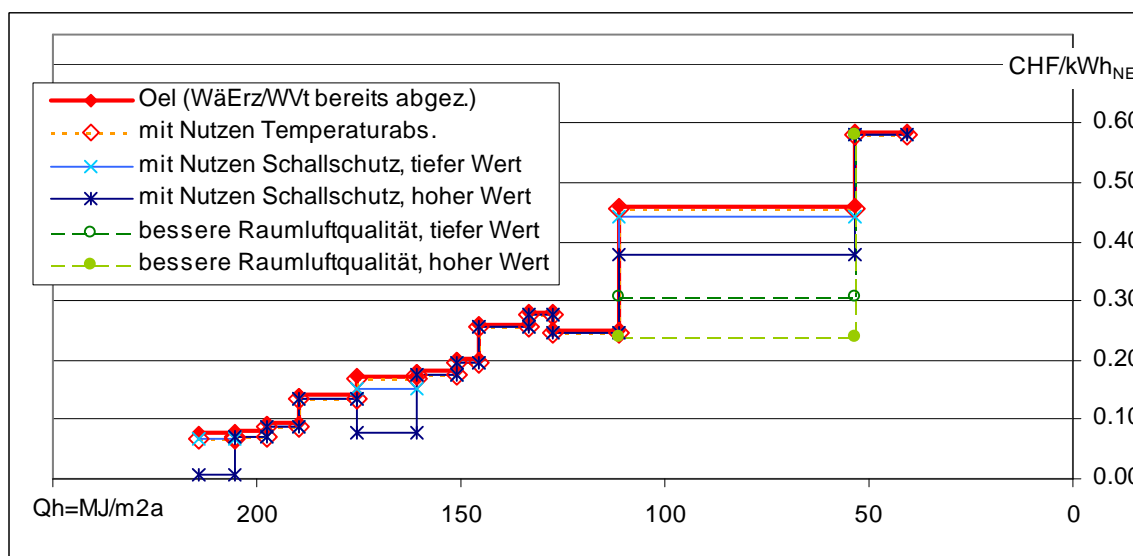
- **Temperaturabsenkung:** Es wird gemäss Kap. 4.6 von einem Nutzen von 0.2 CHF/m<sup>2</sup>a ausgegangen, wobei der Nutzen auf die ganze Effizienz einsparung verteilt wird, allerdings nicht linear, sondern mit exponentiell abnehmendem Nutzen (bei 50 MJ/m<sup>2</sup>a ist schon ca. die Hälfte des Nutzens erreicht. Der Nutzen könnte u.U. spezifisch nach einzelnen Massnahmen differenziert werden: bei grossflächigen Fenstern gegen Süd ist aus energetischen Gründen eine Dreifachverglasung nicht notwendig oder u.U. sogar kontraproduktiv (wenn nicht auf einen hohen g-Wert geachtet wird), aber aus Komfortgründen am Abend oder bei Abwesenheit der Sonne ist eine Dreifachverglasung trotzdem angezeigt, denn diese weist höhere Oberflächentemperaturen auf und verursacht weniger Kaltluftabfälle.
- **Lärm:** Die Kosten der Lärmbelastung in Form von Mietzinsreduktionen bzw. Gebäudewertverminderungen sind für die Schweiz recht gut bekannt. Weniger klar ist, um wie viel diese Kosten durch Energieeffizienzmassnahmen (besser schalldämmende Fenster, Lüftungen) vermindert werden können (diese Verminderung der Kosten entspricht den Co-Benefits der Massnahmen). Angenommen wird im folgenden, dass die Lärmkosten insgesamt bereits im Referenzfall um 50% verringert werden (heute marktübliche Fenster weisen bereits ein gutes Schalldämmmass auf). Die restlichen Kosten können durch weitergehende Energieeffizienzmassnahmen um weitere 50% reduziert werden. Die gesamte Lärmkostenreduktion beträgt also 25%, was als konservative Annahme bezeichnet werden kann. Die Höhe des Nutzens und die Annahmen bzgl. der Zuordnung auf die einzelnen Energieeffizienzmassnahmen ist in Tabelle 6.2-1 dokumentiert.
- **Der Nutzen der verbesserten Raumluftqualität** wird mit 15% bis 30% der Jahreskosten angenommen (aus Kap. 4.6 übernommen).

Durch diese Aufzählung wird auch verdeutlicht, dass es sich um Nutzen für einen Neubau an eher lärmigem (tiefer Wert) bis sehr lärmigem (hoher Wert) Standort handelt. Die Nutzen von anderen Gebäuden können davon beträchtlich abweichen. Beispielsweise werden die Lärmkosten bei Gebäuden mit alten Fenstern wohl höher sein und damit auch das Nutzenpotential der Energieeffizienzmassnahmen (ein neues Fenster gegenüber einem solchen alten mit Doppel- oder Einfachverglasung ohne Dichtung bringt eine vergleichsweise hohe Reduktion des Schallpegels).

Tabelle 6.2-1 Lärmkosten bei Neubauten sowie Lärmkostenreduktion (=Co-Benefits) durch Energieeffizienzmassnahmen

	Lärmkosten, tiefer Wert (1dB)	Lärmkosten, hoher Wert (4dB)
Total	0.05 CHF/m <sup>2</sup> /Monat 0.60 CHF/m <sup>2</sup> /Jahr	0.30 CHF/m <sup>2</sup> /Monat 2.40 CHF/m <sup>2</sup> /Jahr
Reduktion der Lärmkosten durch Energieeffizienzinvestitionen, total	0.30 CHF/m <sup>2</sup> /Jahr	1.80 CHF/m <sup>2</sup> /Jahr
Davon:		
Dreifach- statt Zweifachverglasung	20%	20%
Verstärkte Dachdämmung (gilt v.a. für Gebäude in Flughafennähe)		8%
Lüftungsanlage und Dreifachverglasung	80%	80%

Quelle Annahmen CEPE



Quelle Berechnungen CEPE

Abbildung 6.2-1 Spezifische Grenzkostenkurve für MFH-Neubauten (mit A/EBF=1.44) inkl. Darstellung der Co-Benefits

Die Ergebnisse (Abbildung 6.2-1) zu den Grenzkostenkurven mit Einbezug der Co-Benefits verdeutlichen folgendes:

- Der ökonomische Nutzen der angenommenen Temperaturabsenkung (z.B. von 21° auf 20°C) ist am Anfang am grössten (ca. 0.01 CHF/kWhNE) und nimmt im Verlauf der zunehmenden Energieeffizienz stark ab. Die Grenzkostenkurve beginnt dadurch auf einem tieferen Level und endet auf dem gleich hohen Niveau wie die Grenzkostenkurve ohne Einbezug des Temperaturabsenkungszusatznutzens (recall: die Grenzkosten in diesem Kapitel messen sich am unmittelbar vorangehenden Effizienzniveau).

- Vergleichsweise hoch sind die Nutzen der Energieeffizienzinvestitionen im Lärmbereich, besonders für Standort mit hoher Lärmbelastung. Die Grenzkosten der Lüftungsanlage werden so z.B. um rund 4% bis zu 18% reduziert. Es ist aber an dieser Stelle auch zu betonen, dass es sich sowohl beim totalen Anteil der Lärmkosten, welcher Energieeffizienzinvestitionen reduziert werden kann, als auch bei der Zuordnung zu den einzelnen Effizienzmassnahmen, um grobe Schätzungen bzw. Annahmen handelt (die eigentlichen Lärmkosten sind hingegen empirisch recht gut abgestützt). Die geeigneten Lesenden werden mit der Offenlegung der Annahmen jedoch in die Lage versetzt, die Auswirkungen anderer Annahmen abzuschätzen.

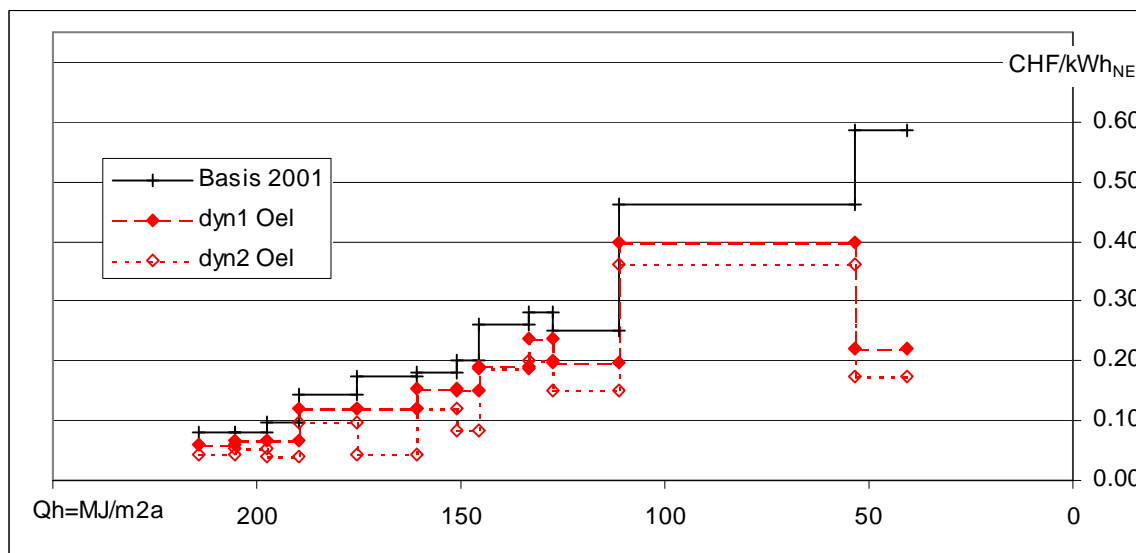
Der Nutzen der verbesserten Raumluftqualität reduziert entsprechend den Annahmen die Grenzkosten der Lüftungsanlage um einen ähnlich hohen Betrag.

### 6.3 Grenzkosten mit Einschluss der Lern- und Skaleneffekte (dynamisierte Kosten)

Gerade bei neuen Technologien, wie sie bei Wärmedämminvestitionen heute realisiert werden bzw. in Zukunft zur Anwendung kommen, spielen Kostensenkungspotenziale zur richtigen Einschätzung energiepolitischer Massnahmen eine zentrale, bisher zu wenig in den energie-wirtschaftlichen Analysen betrachtete Rolle.

#### 6.3.1 Beispiel einer Grenzkostenkurve mit dynamisierten Kosten

Für ein typisches Mehrfamilienhaus mit einem A/EBF-Verhältnis von 1.4, einer mittleren Verschattung, einer Ölheizung und mittlerem Referenzluftwechsel wurden zwei dynamisierte Kostenentwicklungen berücksichtigt (vgl. Abbildung 6.3-1). Zugrunde gelegt wurden die Annahmen zur Kostenreduktion gemäss Kapitel 4.5. Dabei bezieht sich die in der Abbildung mit „dyn1“ bezeichnete Kurve im wesentlichen für das Jahr 2010 und die dem „dyn2“ bezeichnete auf das Jahr 2020.



Berechnungen CEPE

Abbildung 6.3-1: Brutto-Grenzkostenkurve für MFH-Neubauten mit dynamisierten Kosten am Beispiel eines Gebäudes mit Öl-Heizung und mittlerer Verschattung und Luftwechselrate

Es ist jedoch zu betonen, dass die Dynamik nicht von der Zeit an und für sich bestimmt wird, sondern von den Absatzmengen, also von der Nachfrage und somit beeinflusst werden kann, siehe dazu das folgende Kapitel 6.3.2. Auch aus diesem Grund sind die Abbildungen nicht mit den Jahreszahlen beschriftet.

Von besonderem Einfluss sind nach den bisherigen Ergebnissen die Kostensenkungspotenziale im Fensterbereich, wo sich die Grenzkosten in einigen Fällen halbieren (vgl. Abbildung 6.3-1). Dieses erhebliche Kostensenkungspotential ist darin begründet, dass effizientere Fenster bzw. Verglasungen heute erst in kleinen Serien oder gar in Einzelanfertigungen hergestellt werden, was mit realen betrieblichen Zusatzkosten verbunden ist (kurzfristige Umstellung der Fertigungssysteme). Bei längerfristig nachhaltiger Nachfrage von energieeffizienteren Fenstern kann jedoch der Vorteil des hohen Wertschöpfungsanteils des industriell gefertigten Fenstersystems ausgeschöpft werden. Es sind noch erhebliche Kosten-Reduktionspotenziale – analog zur Vergangenheit mit den früheren Produktgenerationen für Fenster – aufgrund der weiteren Automation und Serienfertigung zu erwarten (vgl. Kap. 4.5).

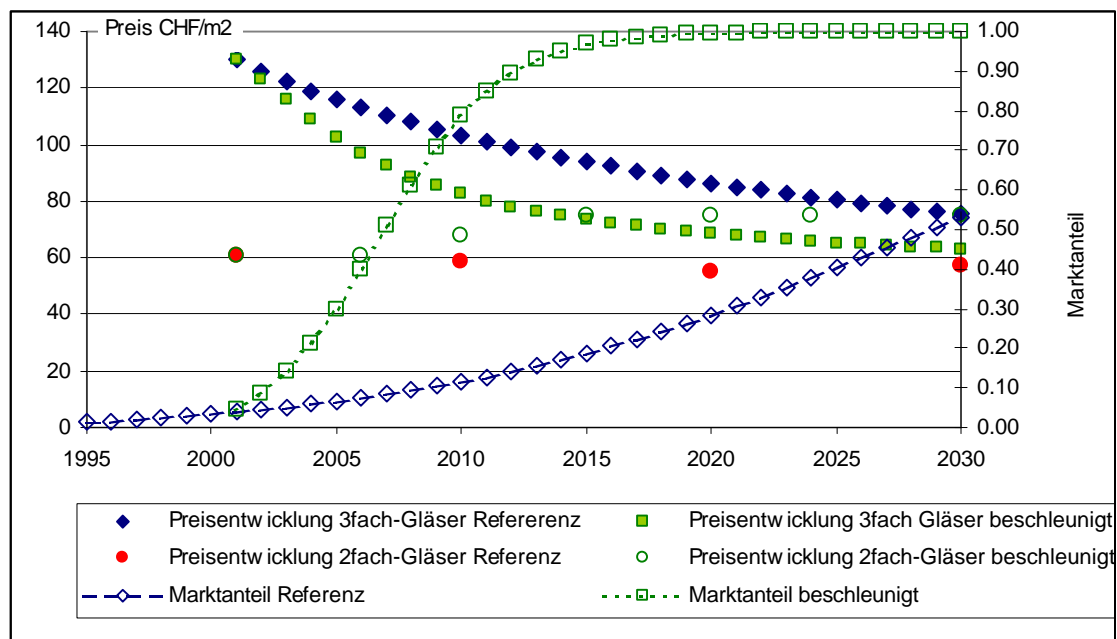
Die Dynamik der Grenzkosten ist ausserdem in der Arithmetik begründet: Nehmen wir z.B. an, die Kostendifferenz betrage heute 200 CHF/m<sup>2</sup> bei einem Preisniveau von 500 CHF/m<sup>2</sup> und die Dynamik führe für das effizientere Fenster zu einer Kostenreduktion von 15% und für das „normale“ zu einer solchen von 10%, dann beträgt die Kostendifferenz anschliessend noch 145 CHF/m<sup>2</sup>. Die Kostendifferenz (und diese ist ja für den Grenzkostenansatz relevant) reduziert sich damit um beinahe 30%. Bei kleineren Kostendifferenzen ist der Effekt noch ausgeprägter (und natürlich auch bei grösserem Unterschied der Dynamik).

Die deutlich (infolge der Dynamisierung) reduzierten Brutto-Grenzkosten sind ein Hinweis, dass eine gezielte Energiepolitik (längerfristige Ankündigung von verschärften Bauvorschriften, finanzielle Anreize für Neubauten und tiefgreifende Sanierungen, Information über langfristig erwartete Energiepreissteigerungen) diese Kostenreduktionspotenziale zeitlich deutlich früher realisieren könnte, als wenn man diese Prozesse allein den Marktentwicklungen überliesse; letztere sind grundsätzlich nicht in der Lage, die Notwendigkeiten des heutigen Handelns aus den sehr langfristigen Entwicklungen des Klimawandels und der weltweiten Brennstoffmärkte abzuleiten.

### 6.3.2 Dynamik der Kosten in Funktion der Marktentwicklung bzw. des Marktumfeldes (bzw. der energiepolitischen Rahmenbedingungen)

Die Dynamik der Kosten kann nicht unabhängig von Annahmen zur Marktentwicklung betrachtet werden. Die Marktentwicklung von energieeffizienten Bauleistungen und Produkten hängt von energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen, baulichen Anforderungen, der Rolle von Qualitätslabeln wie Minergie etc. ab. Am Beispiel der Verglasungen wird im folgenden verdeutlicht, wie sich die Preise bzw. Kosten von energieeffizienten Lösungen gegenüber dem Standard entwickeln, einmal in der Referenzentwicklung und einmal bei einer beschleunigten Einführung.

Die energieeffizientesten Verglasungen sind heute noch teurer als die weit am Markt verbreiteten, weil sie sich erst am Beginn des Innovationszyklus befinden und die Lern- und Skaleneffekte erst bevorstehen. Sie haben deshalb eine höhere Fortschrittsrate als die Verglasungen der Standardqualität. Da sie zudem ein viel kleineres kumuliertes Produktionsvolumen aufweisen, erfolgt die Verdoppelung des kumulierten Produktionsvolumens im zeitlichen Ablauf wesentlich schneller, dies selbst in der Referenzentwicklung. Deshalb verringert sich der Preisunterschied im Zeitablauf deutlich. Innerhalb von zehn Jahren (vgl. das Jahr 2010 in Abbildung 6.3-2) würde sich der Preisunterschied um mehr als ein Drittel verringern, obwohl sich der Preis der energieeffizienteren Verglasung nur um 20% nach unten entwickelt hat.



Quelle: CEPE

Abbildung 6.3-2 Vergleich der Preisentwicklung von Wärmeschutzverglasungen zwischen der Referenzentwicklung und einer beschleunigten Einführung (Annahmen zur Entwicklung der Marktanteile siehe rechte Skala).

Wird nun durch geeignete Rahmenbedingungen ein Umfeld geschaffen, dass die Markteinführung der energieeffizienteren Lösungen beschleunigt, so erfolgt die Verdoppelung entsprechend früher und der Preis der energieeffizienteren Lösungen bewegt sich schneller nach unten. Entsprechend kann sich der Preisunterschied markant früher verringern, wie dies in Abbildung 6.3-2 exemplarisch veranschaulicht wird. In vier bis fünf Jahren wäre bereits der Preisstand erreicht, der in der Referenzentwicklung erst in zehn Jahren zu verzeichnen wäre. Und der Preisunterschied würde sich bei der beschleunigten Einführung innerhalb von zehn Jahren nicht nur um ein Drittel (wie bei der Referenzentwicklung) verringern, sondern um mehr als siebzig Prozent.

### 6.3.3 Wahl der Dämmstärke in der dynamischen Betrachtungsweise

Wie erwähnt ist es nicht die Zeit, welche die Dynamik bestimmt, und sinkende Kosten bedeuten nicht, dass mit Effizienzinvestitionen zugewartet werden soll, im Gegenteil. Ein weiteres Argument für die Wahl von effizienteren Lösungen ist ein unmittelbares und bezieht sich sehr direkt auf die betriebswirtschaftlichen Ebene. Wird nämlich heute nicht zukunftsorientiert investiert und muss zu einem späteren Zeitpunkt nachgebessert werden, so entstehen wesentlich höhere Kosten, wie das Rechenbeispiel in Tabelle 6.3-1 zeigt wo eine Verstärkung der Wärmedämmung zu einem späteren Zeitpunkte zu 3 bis 5 mal höheren Grenzkosten und auch zu beinahe doppelt so hohen Gesamtkosten führt.

Tabelle 6.3-1 Vergleich der Grenzkosten einer direkten forcierten Wärmedämmung mit einer nachträglich angebrachten Verstärkung der Wärmedämmung

		Dämmstärke cm	U-Wert W/m <sup>2</sup> K	Kosten CHF/m <sup>2</sup>	Grenzkosten <b>Rp/kWh<sub>NE</sub></b>
Referenz	Fassadendämmung heute	12	0.28	120	
Verstärk heute	Fassadendämmung heute	direkt auf 24	0.18	140 - 160	
	Differenz zu Referenz		0.10	20 - 40	<b>12 - 23</b>
Verstärkt nachträglich (25 Jahre später)	Fassadendämmung später	nachträglich von 12 auf 24	0.10	115	
	Differenz zu Referenz			100 - 115	<b>56 - 66</b>

Quelle CEPE



## 6.4 Erneuerung des Gebäudebestandes 2001 bis 2010

Aufgrund der unterschiedlichen baulichen und energetischen Voraussetzungen, aber auch aufgrund der unterschiedlichen Instandsetzungs- und Erneuerungsanteile werden zunächst separate Kostenkurven für die Gebäude der einzelnen Bauperioden erstellt. Es wird jeweils zwischen EFH und MFH unterschieden.

### 6.4.1 EFH der Bauperiode 1900 bis 1960

Wiederum sind zwei Referenzfälle zu unterscheiden:

- Instandsetzung (keine Wärmebedarfsreduktion)
- Energetische Erneuerung

Im Referenzfall der energetischen Erneuerung beträgt die kumulierte Heizwärmebedarfsreduktionen für die Gebäude dieser Bauperiode (EFH 1900-1960) 7% bis zum Jahr 2010.

Im Fall der weitergehenden energetischen Erneuerungen (Grenzkostenansatz) wird davon ausgegangen, dass zusätzlich 15% der Wandflächen wärmedämmen und die Fassaden statt mit 12 cm mit 20 cm gedämmt werden. Beim Dach wird angenommen, dass die Eindeckung nicht nur repariert und das Unterdach nicht nur erneuert wird, sondern dass ausserdem eine Wärmedämmung angebracht wird. Dies betrifft 1.9 Mio m<sup>2</sup> innerhalb der nächsten 10 Jahre. Und bei 1.5 Mio m<sup>2</sup> Dacherneuerungen, bei denen im Referenzfall eine Wärmedämmung angebracht wird, wird diese von 14 cm auf 20 cm verstärkt.

In der Tabelle 6.4-1 sind die im Referenzfall realisierten Heizwärmebedarfsreduktionen sowie Grenzkosten und die zu diesen Kosten realisierbaren Heizwärmebedarfsreduktionen auf der Ebene des Gebäudes zusammengestellt.

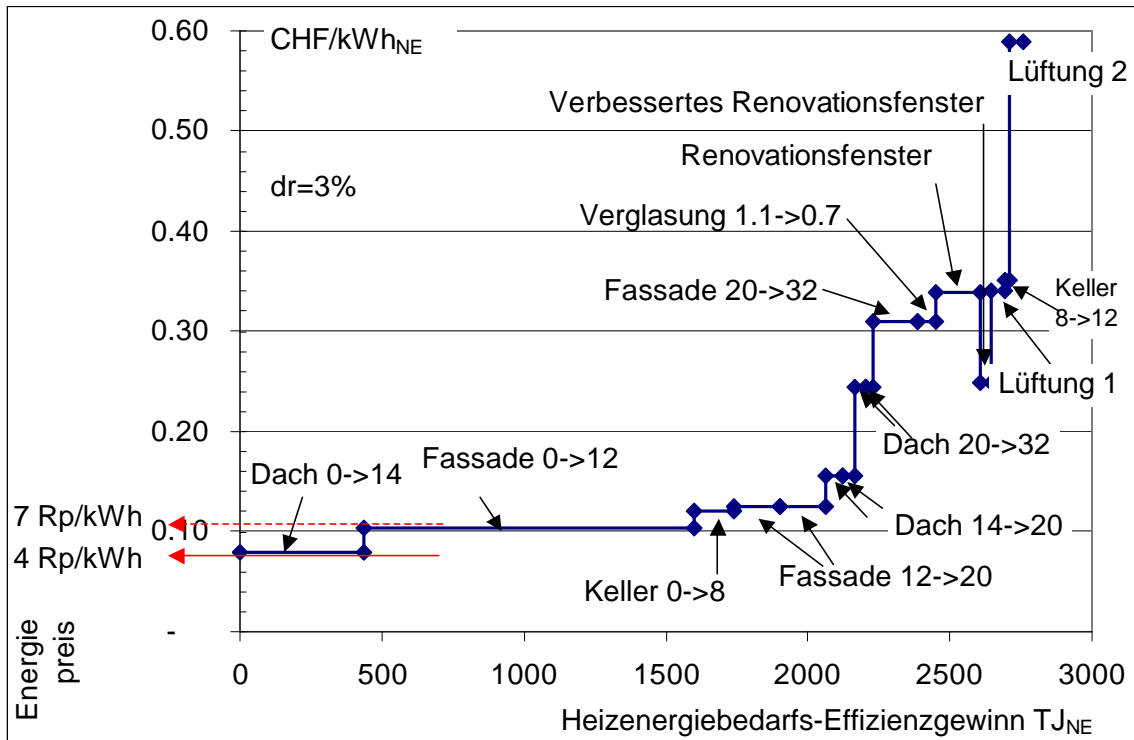
Ein beachtliches Potential an Heizwärmebedarfsreduktion liegt im Bereich von Brutto-Grenzkosten bis 11 Rp/kWh<sub>NE</sub>. Um weitere 9% zusätzlich zur Referenzentwicklung könnte der Heizwärmebedarf des Gesamtbestandes der EFH der Periode 1900 bis 1960 zu diesen Kosten reduziert werden. Mit Brutto-Kosten zwischen 9% bis 13 Rp/kWh<sub>NE</sub> könnten weitere 3% des Heizwärmebedarfs reduziert werden. Von diesen Kostenangaben sind die eingesparten Kosten auf Seite Wärmezeugung und -verteilung abzuziehen. Langfristig sind dies 2 bis 5 Rp/kWh für die Anlagen und für die Energiekosten 4 bis 6 Rp/kWh bei Energiepreisen der vergangenen Jahre und 8 bis 12 Rp/kWh für künftige Energiepreise.

Anschliessend reduziert sich das jeweilige Reduktionspotential der weitergehenden Massnahmen und die Grenzkosten beginnen markant anzusteigen.

Tabelle 6.4-1 Übersicht über die Annahmen und Berechnungsergebnisse zur Grenzkosten

Bauteil	Referenz	Weitergehende Erneuerung	Beschreibung	Anteil 2001-2010	U-Wert W/m <sup>2</sup> K		delta Q <sub>h</sub> Fr/kWh	
					Von	nach		
Wand	RWo		Instandsetzung der Fassade, Putzausbesserung	0.15	1.0	1.0		
		RWo->EW1	Wärmedämmung 12 cm, Leibung 2 cm mit Kompaktfassade.	0.15	1.0	0.3	150	0.10
		EW1->EW2	Wärmedämmung 20 cm statt 12 cm, Leibung 4 cm	0.15	0.3	0.2	21	0.13
		RW1	Wärmedämmung 12 cm mit Kompaktfassade oder hinterlüfteter Fassade	0.15	1.0	0.3	150	
		RW1->EW2	Wärmedämmung 20 cm statt 12 cm, Leibung 4 cm	0.15	0.3	0.2	21	0.13
		RW2->EW3	Wärmedämmung 30 cm statt 20 cm, Leibung 4 cm	0.15	0.2	0.15	10	0.31
Fenster	RFeo		Evtl. Rahmenanstrich / keine Massnahme		2.3	2.3		
		RFeo->EFe1	Fensterersatz oder Renovationsfenster, Glas 1.1, Rahmen konventionell	0.1	2.3	1.5	30	0.34
		EFe1->EFe2	Verbesserte Verglasung, Glas 0.7, verbesserter KS-Rahmen	0.1	1.5	1.15	8	0.25
		RFe1	Fensterersatz oder Renovationsfenster, Glas 1.1, Rahmen konventionell	0.15	2.3	1.5	30	
		RFe1->EFe1	Verbesserte Verglasung, Glas 0.7	0.15	1.5	1.15	8	0.31
		EFe1->EFe2	Verbesserte Verglasung, Glas 0.5, verbesserte Rahmen	0.15	1.15	0.9	0	N.A.
Dach	RDo		Reparatur Eindeckung /Erneuerung des Unterdachs	0.10	0.85	0.85		
		RDo->ED1	Wärmedämmung des Dachs von oben, 14 cm auf die Sparren	0.10	0.85	0.27	85	0.08
		ED1->ED2	Wärmedämmung des Dachs von oben, 20 cm statt 14 cm	0.10	0.27	0.19	11	0.16
		ED2->ED3	Wärmedämmung des Dachs von oben, 32 cm statt 20 cm	0.10	0.19	0.14	7	0.24
		RD1	Wärmedämmung des Dachs von oben, 14 cm auf die Sparren	0.08	0.85	0.27	85	
		RDo->ED2	Wärmedämmung des Dachs von oben, 20 cm statt 14 cm	0.08	0.27	0.19	11	0.16
		ED2->ED3	Wärmedämmung des Dachs von oben, 32 cm statt 20 cm	0.08	0.19	0.14	7	0.24
Kellerdecke	EKo->EK1		Wärmedämmung 8 cm statt 0 cm	0.10	0.8	0.29	27	0.12
			Wärmedämmung 12 cm statt 8 cm	0.10	0.29	0.24	3	0.35
Lüftung			Nach Einbau von dichten Fenstern	0.02			93	0.72

Mit den Anteilen der Referzerneuerungen bzw. der weitergehenden Erneuerungen gemäss Grenzkostenansatz Tabelle 6.4-1 sowie mit den Energiebezugsflächen gemäss Tabelle 5.2-2 lässt sich anschliessend die gesamtschweizerische Grenzkostenkurve erstellen, siehe Abbildung 6.4-1. Bzgl. der Anteile wird zunächst angenommen, dass diese für die weitergehenden Massnahmen gleich sind wie für die Anteile der Referzerneuerung.



Quelle Berechnungen CEPE

Abbildung 6.4-1 Aggregierte Grenzkostenkurve des Gebäudebestandes der EFH der Bauperiode von 1900-1960 für die Periode 2001 bis 2010

#### 6.4.2 Bauperiode 1961 - 1975

Vom Grundsatz und Charakter her dürfte die Grenzkostenkurve für diese Bauperiode ähnlich verlaufen wie diejenige der Periode 1900 bis 1960, zumindest bei den EFH. Die Ausgangslage (Flächen-U-Werte) ist ähnlich. Einzig die Wärmebrücken, die in dieser Periode häufig sind, schmälern das Effizienzpotential. Angenommen wird dabei, dass zwischen 2001 und 2010 vorwiegend diejenigen Fassaden energetisch erneuert werden, welche bis zu Beginn der Periode noch keine energetische Erneuerung erfahren haben.

Die Berechnung der Grenzkostenkurven erfolgt nach Drucklegung dieses Berichts; die Resultate können auf Anfrage beim CEPE erhalten werden.

#### 6.4.3 Bauperiode 1976-1985

Aufgrund ihres Alters kommen die Gebäude der Bauperiode 1976-1985 bzgl. der Gebäudehülle in die erste Erneuerungsphase (mit Ausnahme der Flachdächer und teilweise der Fenster, welche schon früher erneuert wurden oder werden mussten).

Möglicherweise hat hier die energetische Erneuerung z.B. der Fassaden als Referenzfall eine geringere Bedeutung als für die vorangegangenen Bauperioden. Es ist vielmehr anzunehmen, dass, um im Fassadenbereich zu bleiben, häufig die Putzerneuerung bzw. der Fassadenanstrich den Referenzfall bildet.

Gemäss Abbildung 4.3-61 im Kapitel 4.3.11 (Zusammenfassung der Grenzkosten für die verschiedenen Investitionsmassnahmen) ist das Heizwärmereduktionspotential der energetischen Erneuerungen gegenüber den Instandsetzungen geringer, weil in der Bauperiode 1975-1985 von einem besseren energetischen Ist-Zustand, einem tieferen U-Wert, ausgegangen werden muss. Und auch die Grenzkosten sind entsprechend höher. Die Grenzkosten gegenüber der Referenz „Energetische Erneuerung“ sind in der selben Grössenordnung.

Die Berechnung der Grenzkostenkurven erfolgt nach Drucklegung dieses Berichts; die Resultate können auf Anfrage beim CEPE erhalten werden

## 6.5 Erneuerung des Gebäudebestandes mit dynamisierten Kosten und technischen Kennwerten am Beispiel der Einfamilienhäuser der Bauperiode 1900 - 1960

Ein Teil der Einfamilienhäuser der Bauperiode wird wohl erst in zehn Jahren erneuert werden, typischerweise bei einem Generationenwechsel der Bewohnerinnen und Bewohner. Damit sind die dynamisierten Kosten anzuwenden. Die entsprechende Grenzkostenkurve ist in Abbildung 6.5-1 dargestellt (gestrichelte Kurve).

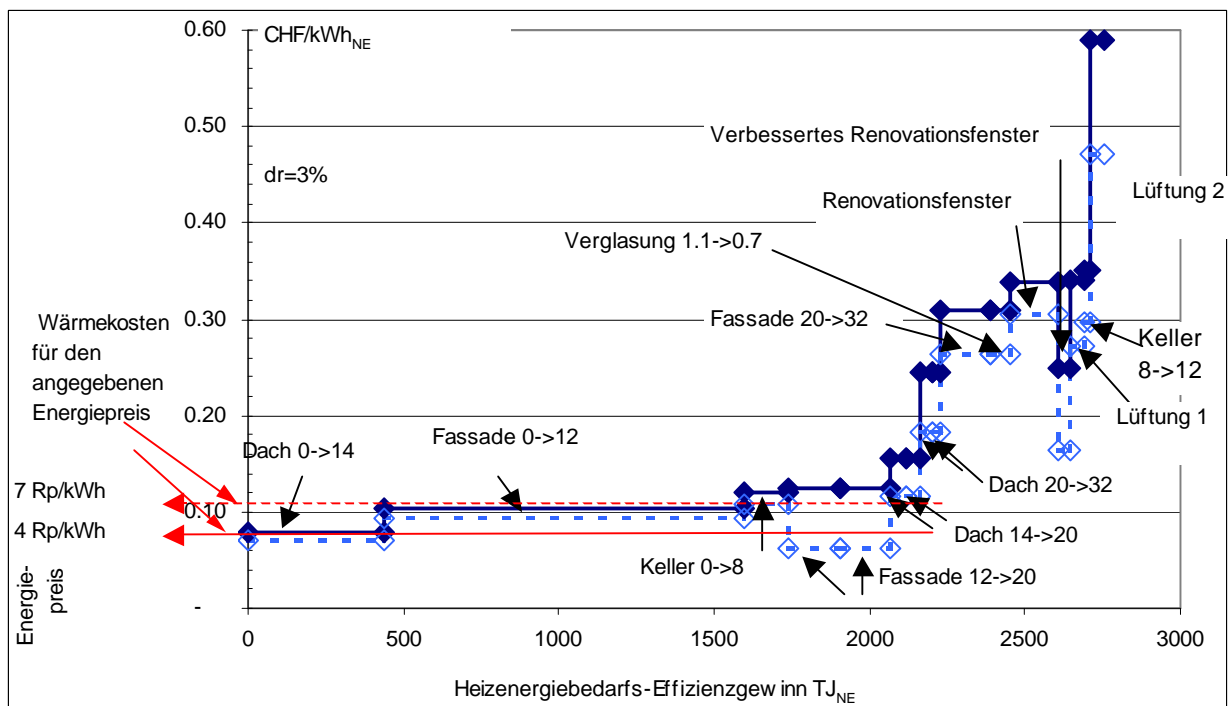


Abbildung 6.5-1 Grenzkostenkurve der EFH mit Bauperiode 1900 – 1960, mit heutigem Kostenstand (durchgezogene Treppenkurve) sowie mit dynamisierten Kosten (gestrichelte Treppenkurve)

Auffallend ist, wie unterschiedlich die Grenzkosten der verschiedenen Massnahmen aufgrund der Dynamisierung reagieren. Dies hat zum einen mit der unterschiedlichen Dynamisierung in den einzelnen Bereichen zu tun, zum anderen wiederum mit Zahlenarithmetik, siehe dazu auch die Erläuterungen beim Neubau. Folgende Unterscheidungen können gemacht werden:

- Eine geringe Dynamik ist bei denjenigen Grenzkostenelementen festzustellen, welche vom Typ „Vollkosten“ sind. Darunter fällt die Fassadendämmung, wenn der Referenzfall keine Dämmung beinhaltet oder den Einbau einer Lüftungsanlage.
- Eine hohe Dynamik weisen die Grenzkostenelemente auf, welche auf Differenzkosten zwischen einer sich stark dynamisch entwickelnden und einer sich weniger dynamisch entwickelnden Effizienzinvestition basieren, z.B. Hocheffizienzfenster und Referenzfenster oder hohe Dämmstärke vs. heute übliche Dämmstärke.

Im dynamisierten Ansatz fallen nebst dem bereits grossen Potential weitere rund 500 TJ Effizienzgewinn in den Bereich der Wirtschaftlichkeit, dies selbst dann, wenn keine starke Energiepreisssteigerung angenommen wird. Das entspricht weiteren 2% des gesamten Heizwärmebedarfs dieser Gebäudegruppe bzw. 20% des realisierbaren Erneuerungspotentials.



## 7 Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Grenzen der Untersuchung

Angesichts der Fülle des empirischen Materials und darauf aufbauender Ergebnisse dieser Arbeit sind die Schlussfolgerungen zahlreich; sie sind deshalb an dieser Stelle auch selektiv wiedergegeben und auf wesentliche Aussagen beschränkt (vgl. Kap. 7.1). Weitere Fazits - nicht zuletzt für Baufachleute und Planende – sind in den Kapiteln 2 und 4.1 (Energiepreise, Methode der Wirtschaftlichkeitsrechnung), 4.2 (energetische, bauphysikalische Aspekte), 4.3 (Kosten und Nutzen des Wärmeschutzes auf Bauteilebene), 4.4 und 6 (Kosten- und Nutzen von verschiedenen Neubaukonzepten) zu finden. Die sich anschliessenden Empfehlungen (vgl. Kap. 7.2) werden im wesentlichen aus den Schlussfolgerungen abgeleitet und wurden teilweise mit Vertretern der Bau- und Wohnungswirtschaft als wichtige Akteure und Zielgruppen diskutiert; sie sind seitens der Autoren auch als Anregung für Massnahmen und Geschäftsstrategien der betroffenen Wirtschaftszweige gedacht (vgl. Kap. 7.2).

Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen stehen im Kontext der hier möglichen Erhebungen und Analysen sowie auch mancher Annahmen infolge fehlender weitergehender Informationen, z.B. über zukünftige Entwicklungen in Technik, Wirtschaft und Politik. Daher erschien es den Autoren notwendig, auf manche als wichtig erscheinende Grenzen und Unsicherheiten dieser Analyse hinzuweisen (vgl. Kap.7.3)

### 7.1 Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerungen sind im folgenden in technische, betriebs- und wohnungswirtschaftliche sowie energiewirtschaftliche und methodische Aspekte strukturiert; da es zwischen den genannten Bereichen erhebliche Interdependenzen gibt, sind diese auch jeweils in einem der vier Bereiche angesprochen.

#### 7.1.1 Energietechnische Aspekte

**Rückblick:** *25 Jahre grosse technische Fortschritte bei real konstanten Kosten und Brennstoffpreisen*

- (1) Der technische Fortschritt der Wärmeschutztechnologien war in den letzten 30 Jahren ganz erheblich (vgl. Kap.2, 3, und 4.5), insbesondere
  - bei den *Fenstersystemen* um durchschnittlich mehr als 3 % jährlich vor allem infolge Beschichtungstechnik, Dreifachverglasung, Edelgasbefüllung, teilweise auch infolge Fensterrahmenkonstruktion und Wärmedämmung des Fensterrahmens,
  - bei den *Dämm-Massnahmen* durch dickere Dämmstärken (beginnend von 4 bis 6 cm Mitte der 1970er Jahre bis heute zwischen 12 und 30 cm) und bessere Wärmedämmeigenschaften (durch verbesserte Polystyrole, die Hochleistungskerndämmung und Vakuumelemente, wobei letztere sich in der Demonstrationsphase befinden).

Diese technischen Fortschritte sind in der politischen Diskussion kaum wahrgenommen, zumal da die realen Brennstoffpreise von heute denen Mitte der 1970er Jahre gleichen. Die technischen Fortschritte bei Fenstern und Wärmedämmung konnten - nach einer Reife- und Lernzeit von jeweils etwa 10 bis 15 Jahren - bei leicht sinkenden realen Kosten infolge von Lern- und Skaleneffekten realisiert werden. Beispielsweise wurde die Verarbeitungszeit zur Herstellung von Fenstern in den vergangenen 20 Jahren um zwei Drittel verringert. Das jährliche Produktionsvolumen von Fenstersystemen ist seit drei Jahrzehnten relativ konstant, während die Produktion von Wärmedämm-Material wegen

der zunehmenden Dämmstärken kontinuierlich gestiegen ist. Die Werte der Degressionskoeffizienten bei Produktionsverdopplung liegen im - auch ansonsten - häufig beobachteten Bereich zwischen 0.8 und 0.9, je nach Stand der einzelnen Investitionsmassnahmen in ihrem Innovationszyklus.

- (2) Dieser schnelle energietechnische Fortschritt führte deshalb zu Neubaustandards und zu einer Erneuerungspraxis sowie zu einer *energiewirtschaftlichen Referenz-Entwicklung aus heutiger Sicht, die man Anfang der 1980er Jahre als eine technische Super-Sparentwicklung bezeichnet hätte* (typische Werte heute: 12 bis 14 cm Dämmstärke bei Fassaden und Dächern, Fensterglas mit einem U-Wert von 1.1 und Fenstersysteme mit einem U-Wert von 1.4 W/m<sup>2</sup>K; vgl. Kap.3).
- (3) Als verursachend für diese beeindruckende Entwicklung sind verschiedene zusammenspielende Faktoren zu nennen:
  - Die beiden Ölpreissteigerungen in den Jahren 1973 und 1980 waren ein zentraler Anlass.
  - Normen und Gesetzgebungen zur Energienutzung in Gebäuden sowie Aktivitäten und Empfehlungen seitens des Bundes, der Kantone und verschiedenere Verbände, insbesondere dem SIA im Bereich der Gebäudehülle im Gefolge der Brennstoffpreissteigerungen.
  - Der Antrieb der bauleistungserbringenden Unternehmen und Planer, zum einen die Energieeffizienz ihrer Produkte und Dienstleistungen zu verbessern (sei es mit dem Ziel des Wettbewerbsvorteils oder aus den gleichen oben erwähnten Motiven wie die Bauträgerschaften, ihren Kunden) und zum anderen, die Produktivität kontinuierlich zu erhöhen durch bessere Organisation der Arbeitsabläufe, Investitionen in effizientere Produktionsmittel, Innovationen etc.
  - Teilweise mag zu dieser Entwicklung auch das geweckte Bewusstsein der Bauträgerschaften (private Bauherren von Einfamilienhäusern, Investierende in den Mehrfamilienhausbau) für ökologische Zusammenhänge (Luftschadstoffe, Klima, Ressourcenknappheit) beigetragen haben.

### **Wärmeschutzinvestitionen und Lüftungssysteme: heutige Praxis und Ausblick auf Morgen**

- (4) Beim *Bau neuer Wohngebäude* lässt sich ein erhöhter Wärmeschutz mit einem Heizwärmebedarf des Minergiestandards und darunter relativ kostengünstig durch bauliche und konstruktive Massnahmen erreichen, d.h. durch richtige Orientierung und Öffnung des Gebäudes zur solaren Energienutzung, durch eine kompakte Bauweise (ein günstiges Aussenflächen/Volumen-Verhältnis) und eine angepasste Haustechnik. Diese konstruktiven Möglichkeiten beim Neubau werden häufig noch zu wenig genutzt, gemäss vorliegender Erhebungen auch recht unterschiedlich in einzelnen Kantonen.
- (5) Statistische Analysen zum *Heizwärmebedarf neuer Wohnbauten und seiner Abhängigkeit von den Baukosten* zeigen eine geringe Steigerung der Kosten im Bereich der Bedarfswerte zwischen 450 und 100 MJ/m<sup>2</sup>.a. Sie zeigen auch einen wesentlich stärkeren Einfluss anderer Faktoren auf die Baukosten, wie z.B. Komfortausstattung, Heizsystem und Bauform. Methodisches Fazit: Um hier genauere Angaben zum kausalen Zusammenhang zwischen Heizwärmebedarf und Baukosten aus einer gesamt-systemaren Sicht machen zu können, müsste das Sample für derartige Analysen entsprechende Variablen aufweisen und sehr gross sein. Da derartig grosse Sample und insbesondere die Daten zu einzelnen Merkmalen wie z.B. zu Ausstattung, Ausbau etc. für eine statistische Analyse nicht zur Verfügung stehen, musste in dieser Arbeit mit



Einzelanalysen gearbeitet werden. Inhaltlich stützen die Daten und die Analysen die These, dass die einzelanalytisch festgestellten Mehrkosten nur so hoch sind, als dass sie weitgehend durch die Reduktion anderer Kostenkomponenten (Ausstattung, Materialwahl etc.) und/oder kosteneffizientes Planen und Bauen kompensiert werden können.

- (6) Wengleich die *Wärmedämm-Investitionen an Fassaden mit Wandstärken von 12 bis 14 cm* heute wesentlich fortschrittlicher als vor 10 oder 20 Jahren und auch bei Erneuerungen als kosteneffizient angesichts der langen Nutzungszeiten (und auch angesichts der in dieser Periode zu erwartenden Brennstoffpreisstigerungen) zu bewerten sind, so werden diese bei den Renovierungszyklen von Fassaden und Dächern unzureichend durchgeführt: der Anteil der energieeffizienten Erneuerungen an allen Erneuerungen beträgt je nach Bauteil ca. 25 bis 45 %; d.h., es handelt sich aus wohnungswirtschaftlicher und klimapolitischer Sicht um einen *typischen Fall verpasster Gelegenheiten* ("lost opportunities").
- (7) Erfreulich ist, dass heute in relativ vielen Fällen der *Dacherneuerung* (je nach Besitzverhältnissen, Kantonen und Baujahren sowie Haustypen) - im Durchschnitt etwa gut die Hälfte - auch eine *Wärmedämmung* vorgenommen wird; allerdings beträgt die Dämmstärke *im Durchschnitt nur 14 cm*.
- (8) Ein *Grossteil der Wärmebrücken "verschwindet" bei der energetischen Erneuerung* der Flächen oder verursacht - entgegen der gängigen Meinung - nicht oder kaum höhere Kosten, besonders wenn die Gebäudehülle integral und zeitgleich erneuert wird. Nicht sanierbare Wärmebrücken reduzieren jedoch das insgesamt erschliessbare Energieeinsparpotenzial.
- (9) Die Verminderung des Heizwärmebedarfs durch den *Einsatz von Lüftungsanlagen* ist wegen der Vielfalt der technischen Lösungen und insbesondere des durch Lüftungsverhalten unklaren Referenzfalles nur mit einem Unschärfbereich zu bestimmen; die Minderung des Heizwärmebedarfs dürfte im vorsichtigen Fall mindestens 45 bis 120 MJ/m<sup>2</sup> a betragen, d.h. rd. 140.- CHF bis 370.- CHF je Wohnung (160 m<sup>2</sup> als hier benutzter Wert) und Jahr. Bei zuvor sorglosen Lüftungsgewohnheiten kann der Nutzen auch noch höher ausfallen (vgl. Kap. 4.2.6 und 4.3.11).

### 7.1.2 Betriebs- und wohnungswirtschaftliche sowie planerische/architektonische Aspekte

#### Betriebswirtschaftliche Bewertung

- (10) Auf der betriebswirtschaftlichen Ebene wurden die Kosten für Wärmeschutz-Massnahmen jeweils im Vergleich zu einer *Referenz-Investition* ermittelt, d.h., sie sind beim Neubau als Zusatzkosten gegenüber der Baunorm SIA 380/1 bzw. gegenüber der heutigen Neubauweise zu verstehen; desgleichen bei der Erneuerung einerseits gegenüber der reinen Instandsetzung (z.B. Putzerneruerung/Fassadenanstrich ohne Wärmedämmung) und andererseits gegenüber einer energetischen Referenzerneuerung; sie werden in Kap.4.3 auch als "Grenzkosten auf Durchschnittskostenbasis" bezeichnet.

Die Ergebnisse für die *Bruttogrenzkosten* (d.h. ohne Abzug der möglichen Kosteneinsparung auf Seiten der Wärmeerzeugung und -verteilung sowie ohne Berücksichtigung der Co-Benefits) liegen bei:

- ca. 7 bis 15 Rp je eingesparte kWh<sub>NE</sub> für *Wärmedämm-Massnahmen an Fassaden* mit Dämmstärken zwischen 14 und 16 cm,

- ca. 7 bis 20 Rp je eingesparte kWh<sub>NE</sub> bei *neuen effizienteren Fenstersystemen* je nach Verglasung, Verschattungssituation und Orientierung. Besteht die architektonische Möglichkeit, grösserflächige statt kleinflächige Fenster einzusetzen, kann sogar eine Kostenreduktion bei gleichzeitig geringerem Energiebedarf erreicht werden.
- für *neue Wohngebäude* mit einem Heizwärmebedarf von 120 - 170 MJ/m<sup>2</sup>a bei etwa 8 bis 22 Rp/kWh<sub>NE</sub>.

Damit liegen die Zusatzkosten heute üblicher Wärmeschutz-Investitionen am unteren Spektrum in der Höhe der heutigen Wärmekosten (ca. 8 bis 10 Rp/kWh) bzw. übersteigen sie am oberen Spektrum um das Doppelte bis das Dreifache (weitergehende Wärmedämmung, Fenster). Da über eine Nutzungszeit von 40 bis 50 Jahren bis zur nächsten Erneuerung gerechnet und von einer Energiepreissteigerung von mindestens 25 % bis zur Zeitperiode 2020 - 2030 ausgegangen werden muss (vgl. Kap.4.1.1), wäre ein *mittlerer Wert von 11 bis 14 Rp/kWh ein angemessener Durchschnittspreis für die eingesparten Wärmemengen heutiger Wärmeschutz-Investitionen*. Dieser energetische Nutzen ist allerdings in den meisten Fällen nur ein Teil derjenigen Nutzen, die mit Wärmeschutz- und Lüftungsanlagen-Investitionen verbunden sind (vgl. Ziff. 13).

- (11) *Bei Dämmstärken grösser 16 cm* beobachtet man *bei Fassaden heute eine überproportionale Preissteigerung* der meisten befragten Unternehmen. Diese kostenseitige Barriere für rentable Investments in grössere Dämmstärken ist nur zu einem Teil vom zusätzlichen Material- und Arbeitseinsatz her zu erklären. Hinzu kommen nach Einschätzung der Autoren *Lern-, Angst- und Pioniermarkt-Aufschläge* der ausführenden Firmen; diese könnten auf geeignete Weise relativ zügig vermindert werden (z.B. durch Information in Baufachzeitschriften und Bausparkassenjournalen, berufliche Fortbildung). Diese hohen Kostenunterschiede der Investitionskosten scheinen auch ein Grund zu sein, dass es in der Praxis zu erheblichen Differenzen in der Einschätzung der Rentabilität derartiger Wärmedämminvestitionen mit sehr dicken Dämmstärken kommt.

Die *Grenzkosten reagieren sehr sensitiv auf derartige Unterschiede* der Investitionskosten-Angaben; so liegen in einem durchgerechneten Beispiel die Grenzkosten, berechnet mit den Kostenangaben des besten Unternehmens, um rund die Hälfte niedriger als jene Grenzkosten, die aufgrund des Mittelwertes der Kostenangaben der befragten Unternehmen ermittelt wurden.

- (12) Das *knappe betriebswirtschaftliche Ergebnis* der Wärmeschutz-Investitionen deutet bereits *das Dilemma ihrer heutigen (oberflächlichen) ökonomischen Bewertung* in der Baupraxis an: denn häufig nicht in diese Bewertung mit einbezogen werden folgende reale Veränderungen, die durch die Investition selbst induziert werden, oder absehbare Veränderungen der Rahmenbedingungen während der Nutzungszeit der Investitionen:
- *zukünftige Wertsteigerungen des Wohngebäudes*, wenn das entsprechende Wohngebäude infolge der Erneuerung ein *geringeres Leerstandsrisiko und geringere Heizkosten bzw. ein höheres Komfortniveau für den Eigennutzer* (vgl. Ziff. 40) aufweist
  - *indirekte Nebennutzen (Co-benefits) für den Eigentümer und/oder den Nutzer des Wohngebäudes* (vgl. Ziff. 13);
  - *zukünftige Energiepreissteigerungen*, die nicht nur aus einer Verknappung kostengünstig zu fördernder Erdöl- oder Erdgasreserven und einem Produktionsmaximum der globalen Erdölförderung in den nächsten 20 bis 30 Jahren resultieren werden, sondern auch aus einer ab 2005 denkbaren CO<sub>2</sub>-Abgabe bis maximal 4. bis 5. Rp/kWh Erdgas bzw. Heizöl gemäss des CO<sub>2</sub>-Gesetzes (maximal 210.-CHF/ t CO<sub>2</sub>) und eventuell

weiteren treibhausgasbedingten Preisaufschlägen durch den CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel nach 2008 im Rahmen der ersten Verpflichtungsperiode des Protokolls von Kyoto.

- (13) Die *indirekten positiven Nebeneffekte* (geringere möglich werdende Raumtemperatur infolge höherer Oberflächentemperaturen an Innenfenstern und -wänden und geringerem Luftzug, zum Teil Lärminderung durch Fenster, Rolläden und Dachwärmeeisung, geringeres Krankheitsrisiko infolge besserer Innenraumluft durch Lüftungsanlagen, angenehmere Innenraumtemperaturen bei sommerlichen Hitzeperioden, Diebstahlsicherung durch Rolläden, bessere Vermietbarkeit und Bonität, Wertsteigerung des Wohngebäudes) sind zum Teil schwer und zum Teil nur mit weiterer Forschung zu quantifizieren (sie treffen auch nicht überall zu), zum Teil schwer oder nur in Schwankungsbreiten zu monetarisieren und deshalb nicht einfach mit den Zusatzkosten verrechenbar. Sie schlagen sich als unterschiedliche Gebäudemerkmale allerdings bereits heute in unterschiedlichen Miethöhen nieder. Diese indirekten Nutzen können nach überschlägigen Schätzungen - je nach spezieller Fallkonfiguration - *10 bis 50 % der zusätzlichen Wärmedämmkosten kompensieren. Sie sind deshalb in den meisten Investitionsfällen nicht vernachlässigbar* und müssten deshalb in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit einbezogen werden (vgl. Kap. 4.6).<sup>1</sup>
- (14) Bei der Wahl der Dämmstärke oder der Qualität des Fenstersystems muss der Investor berücksichtigen, dass *nachträgliche, d.h. ausserhalb des Re-Investitionszyklus erfolgende Zusatzinvestitionen* (z. B. wegen Energiepreissteigerungen infolge einer eventuellen CO<sub>2</sub>-Abgabe gemäss CO<sub>2</sub>-Gesetz ab 2005 oder des CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandels ab 2008) *wesentlich höhere Grenzkosten verursachen werden (ca. Faktor 2 bis 5)*. Die Autoren weisen darauf hin, dass aus gesamtwirtschaftlicher und klimapolitischer Sicht es sich bei unzureichender Nutzung der wirtschaftlichen Potenziale des Wärmeschutzes im Re-Investitionszyklus um hohe Risiken (sunk cost) handelt.

### Wohnungs- und bauwirtschaftliche Aspekte

- (15) Die *schnelle technische Entwicklung und Kostensenkung bzw. -Stabilität* (in realen Preisen) der Wärmeschutzinvestitionen in den letzten 20 bis 30 Jahren sind auf erhebliche Lern- und Skaleneffekte in den letzten 30 Jahren zurückzuführen; heute absehbare oder derzeit bereits realisierte weitere technische Verbesserungen der Wärmeschutztechnik (z.B. verbessertes Polystyrol, Hochleistungskerndämmung, Vakuumisolation, Dämmung und Edelgasnutzung und selektivere Beschichtungen in Fenstersystemen sowie Einsatz von verbesserten Abstandshaltern) werden derzeit noch in sehr kleinen Mengen produziert und installiert. Mit zunehmender Anwendung und grösseren Stückzahlen werden auch für diese Technologien - ähnlich wie in der Vergangenheit - erhebliche Kostenreduktionen in den nächsten 20 bis 30 Jahren erwartet (vgl. Kap.4.5). Diese *Kostendynamik durch Lern- und Skaleneffekte* mit Kostendegressionskoeffizienten zwischen 0.8 und 0.9 (*10 bis 20 % Kostenreduktion bei jeder Verdopplung der kumulierten Produktion bzw. Installationsfälle*) wurde bis heute weder für die Vergangenheit richtig wahrgenommen und kommuniziert, noch wird sie bei langfristigen Strategieüberlegungen der Investoren oder der Energiepolitik bewusst ins Kalkül und als *valables Argument für zeitlich begrenzte Innovationszuschüsse* herangezogen.

---

<sup>1</sup> Eine entsprechende Analyse wurde vom BFE/EWG im April 2002 vergeben.

- (16) Verstärkte Wärmedämmung bei Mietwohngebäuden - sei es im Neubau oder bei Erneuerungen - erhöhen den *Gebäudewert* nicht nur um die zusätzlichen Investitionsaufwendungen, sondern auch um eine Prämie des *verminderten Risikos von Leerständen sowie höherer akzeptierter Bruttomieten* (= Warmmiete). Bessere langfristige Vermietbarkeit führt auch zu *verbesselter Bonität des Gebäudebesitzers* beim Rating der Hausbank (gemäss Basler Abkommen II) und damit zu geringeren Kapitalkosten (in Höhe bis zu einem Prozentpunkt der Zinsen). Diese Effekte auf den cash flow – einerseits geringere Kapitalkosten und andererseits erhöhte Sicherheit der Mieteinkommen – müssen Wohnungswirtschaft und einzelne Hausbesitzer nach Auffassung der Autoren mit in ihre Wirtschaftlichkeitsberechnungen einbeziehen, wenn sie keine Fehleinschätzung der Investitionen forcierter Wärmedämmung machen wollen. Entsprechende Informationen in speziellen Kommunikationskanälen der Verbände der Wohnungswirtschaft und Hauseigentümer sowie berufliche Fortbildung erscheinen geeignete Massnahmen

### Planerische und architektonische Aspekte

- (17) Mit dem vorliegenden Bericht erhält der Planer und die Architektin eine Grundlage und Datenbasis, die anregt, *Neubauten und Gebäudeerneuerungen energie- und kosteneffizient zu optimieren*; im Neubau wird das architektonische Spektrum des kosten- und energieeffizienten Bauens aufgezeigt, insbesondere auch bzgl. der neuen Möglichkeiten im Fensterbereich (*hohe g-Werte*) und im Holzsystembau.
- (18) Indem nicht nur die Mittelwerte, sondern die ganze Spannweite und damit auch die *Kosten von best practice* (d.h. ohne Preisaufschläge für Lern-, Angst- und Pioniermarkt-Effekte für avancierte technische Lösungen) dargestellt wird, erhalten die *Bauleistungsbesteller sowie die -lieferanten eine Informationsbasis, um energieeffiziente Lösungen möglichst kostengünstig zu realisieren*.
- (19) Bei der energetischen Erneuerung der Gebäudehülle sind *architektonische Ansprüche* (die durchaus berechtigt gestellt werden, nota bene) nur in wenigen Fällen ein Hindernis. Oft ist es im Gegenteil so, dass *die Gebäude- bzw. Fassadenerneuerung neue architektonische Gestaltungselemente und -möglichkeiten eröffnet*. Selbst bei denkmalgeschützten Gebäuden bestehen architektonische und bauliche Möglichkeiten, den Heizwärmebedarf der Gebäude zu reduzieren, wie einige realisierte Demonstrationsobjekte zeigen.
- (20) Gegen eine *energetische Erneuerung* und für einen *Abriss bestehender Wohngebäude* sprechen oft nicht die Bautechnik oder Kosten der Gebäudehüllenerneuerung, sondern die Kosten der Erneuerung im Gebäudeinnern, um den zeitgemässen Ansprüchen nach Grundrissaufteilung etc. gerecht zu werden. Welche der beiden Varianten, ob die Erneuerung der Gebäude oder der Ersatzneubau, vorzuziehen ist, muss im Einzelfall und unter Einbezug verschiedenster Faktoren (wirtschaftliche, ökologische, soziale und gesellschaftliche) entschieden werden. Beide Varianten bieten die Möglichkeit der Erneuerung und Wiederbelebung von Siedlungsstrukturen und der Schaffung von lebenswerten Wohnsituationen<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Mehr zum Thema Erneuerung bzw. Abriss und Ersatzneubau ist im EWG/BFE Projekt "Neubauen vs Sanieren", erarbeitet von Econcept, Zürich, nachzulesen.

### 7.1.3 Energiewirtschaftliche und klimapolitische Schlussfolgerungen

- (21) Die *wirtschaftlichen Energieeffizienzpotenziale* (zu heutigen Energiepreisen) werden derzeit *bei Neubauten* in der Regel realisiert; knapp 10 % der Neubauten erreichen Minergiestandard. Dieser Standard ist angesichts des in den kommenden Jahrzehnten zu erwartenden Anstiegs der Brennstoffpreise und der begleitenden Nutzen dieses Wärmedämm-Standards als wirtschaftlich effizient anzusehen.
- (22) Bei *Gebäudesanierungen* dagegen werden derzeit die *betriebswirtschaftlich rentablen Wärmeschutz-Potenziale* (selbst jene rentablen Potenziale unter Ausschluss der begleitenden Nutzen) in einem hohen Umfang *nicht oder nur unzureichend genutzt*. Am ehesten werden mögliche *Wärmeschutz-Investitionen bei der Dacherneuerung sowie beim Fensteraustausch* getätigt (vgl. Kap.3.2). Die Gründe zu diesen verpassten Chancen wurden zwar von den Autoren nicht erhoben, sind aber hinreichend bekannt durch mehrere Untersuchungen in der Schweiz und im Ausland: fehlende Kenntnisse über die bestehenden Potenziale bei den Gebäudeeigentümern, Architekten und auch bauausführenden Unternehmen; fehlende Investitionsmittel und andere Finanzierungsprobleme, die übliche Praxis der Nettomieten, die Mietgesetzgebung mit beschränkter Überwälzbarkeit der Zusatzkosten trotz hoher Nutzen für die Mieter, fehlende Kenntnisse über Lebenszyklus-Kostenanalysen bei Bauherren, Architekten und Planern und der häufige Wettbewerb der bauausführenden Firmen über die reinen Investitionskosten führen zu mangelnder Transparenz der Kosten und Nutzen sowie zu Fehlentscheidungen, die erst bei der nächsten Erneuerungsphase in 25 bis 40 Jahren korrigiert werden können ("lost opportunities"). *Faktisch fehlen* nach Auffassung der Autoren *Vorschriften für den Fall der Fassaden-, Dach- und Fenstersanierung zur Offertenerstellung, zum Einbezug von begleitenden Nutzen und zum Bau selbst sowie eine Anpassung der Mietgesetzgebung an die technischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten und Chancen*, dies nicht nur in der Schweiz, sondern weltweit.
- (23) Die Ergebnisse zu den *Grenzkostenkurven* decken wegen der Vielzahl möglicher Fälle nur exemplarisch einen Teil der möglichen Fälle ab. Die Grenzkosten von *Lüftungsanlagen* sind zwar relativ hoch, vergleichbar den reinen Grenzkosten der Wärmedämmung von 20 cm auf 30 cm, aber im Unterschied dazu erschliesst die Lüftung ein grosses energiewirtschaftliches Potenzial und in erheblichem Umfang durch die Verbesserung der Luftqualität in den Wohnräumen direkte Nutzen aus privater und gesamt- sowie wohlfahrtsökonomischer Sicht (insbesondere Vermeidung von Erkrankungen der Atemwege und von Allergien sensibler Personen).
- (24) Unter den o.g. Vorbehalten weiterer Analysen zu den *Kostenschätzungen (Kostendegression, Einbezug der Co-Benefits)* sind auch die ermittelten Grenzkostenkurven für energiesystemanalytische Arbeiten zu verstehen (vgl. Kap. 6.1). Allerdings sind diese Aspekte nach Vorliegen dieser Informationsbasis relativ einfach zu berücksichtigen, da die in den Abbildungen dargestellten anlegbaren Wärmepreise bzw. die auf der Ordinate ablesbaren Kosten um jene Nutzen ergänzt werden können, die monetarisiert sind. Zieht man diese Bewertungsdimension *begleitender Nutzen* mit ein, fällt ein relativ grosses zusätzliches Energieeffizienzpotenzial in den Bereich wirtschaftlich positiver Bewertung. Beispielsweise erhöht sich das Potenzial für die gewählten Investitionsoptionen im Bereich der MFH-Neubauten an lärmigen Standorten um 230 bis 400 TJ/a oder 4 % bis 8 % des Energiebedarfs der Neubauten einer Zehnjahresperiode. Bei der *Gebäudeerneuerung* könnten die Co-Benefits eine noch *markantere Verschiebung der Wirtschaftlichkeit* ergeben, d.h., der Minergie-Standard für bestehende Gebäude ist aus gesamtwirtschaftlicher Sicht angesichts der langen Erneuerungszyklen von 30 bis 50

Jahren nach Ansicht der Autoren auf seine Optimalität bei den heutigen technischen Möglichkeiten von best practice zu überprüfen.

- (25) Mit den in diesem Bericht erarbeiteten Grundlagen lassen sich die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten im Gebäudebereich berechnen und mit denjenigen in anderen Bereichen vergleichen. Erste Abschätzungen zeigen, dass *im Gebäudebereich ein vergleichsweise grosses Reduktions- bzw. Vermeidungspotenzial zu relativ tiefen Kosten zu erschliessen ist.*
- (26) Ein wesentlicher Beitrag des Wohngebäudebereichs zum *Reduktionsziel des CO<sub>2</sub>-Gesetzes* (für Brennstoffe im Jahre 2010 -15 % gegenüber 1990, und dieser Beitrag muss angesichts des hohen Brennstoffanteils der Wohngebäude am Brennstoffbedarf der Schweiz sein) *ist nur möglich, wenn nicht nur die neue Baunorm SIA 380/1 beim Neubau mehr als erfüllt wird, sondern die zur Erneuerung anstehenden Wohngebäude in erheblichem Umfang wärmegeklämmt und mit modernster Heiztechnik ausgestattet werden.* Dies gilt insbesondere auch unter dem Aspekt der für die Zukunft erwarteten geringeren Neubautätigkeit (falls nicht ein Umschwung des Investitionsverhaltens der Gebäudeeigentümer von der Erneuerung zum Abriss und Neubau für Gebäude bestimmter Bauperioden erfolgt).
- (27) Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene ist zu bedenken, dass bei einer Technologieführerschaft von schweizerischen Technologieproduzenten (z.B. bei den Fenstersystemen, Lüftungsanlagen) auch durch die *Exporte in benachbarte Länder die Skaleneffekte der inländischen Produktion verbessert bzw. beschleunigt* werden könnten. Die neue Energiesparverordnung (für Neubauten zwischen 250 und 350 MJ/m<sup>2</sup>.a) sowie die aufkommende Passivhausbauweise in Deutschland beispielsweise geben hierzu unmittelbar Gelegenheiten und Ansatzpunkte.
- (28) Während die in Kap. 4.2 genannten Kosten- und Nutzenaspekte lediglich aus dem einzelwirtschaftlichen Blickwinkel behandelt sind (und dabei nur auf den energetischen Nutzen beschränkt), sind aus umwelt und klimapolitischer Sicht weitere Kostenaspekte in die ökonomische Bewertung miteinzubeziehen. Nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnisse über externe Schäden bei der Produktion, dem Transport und der Umwandlung von fossilen Energieträgern belaufen sich die *externen Kosten ohne Einbezug der klimarelevanten Schäden* auf rd 1 Rp je kWh beim Erdgas und auf 2.0 bis 3.0 Rp/kWh beim Heizöl und *mit Einbezug klimarelevanter Schäden oder Adaptionsmassnahmen* (wie z. B. verstärkter Muren- und Lawinenschutz, verstärkter Hochwasser- und Sturmschutz), auf 5 bis 6 Rp/kWh für Erdgas und auf 7 bis 10 Rp/kWh für Heizöl. Bei der Abschätzung dieser externen Kosten gibt es nicht nur Unsicherheiten bzgl. der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Grösse des Schadenumfangs, sondern auch in der ökonomischen Bewertung eines lang in der Zukunft liegenden Schadens (z.B. Zulässigkeit der Deflationierung langfristiger Schäden, monetäre Bewertung von Toten).
- (29) Betrachtet man die in Ziffer (12) genannten Energiepreissteigerungen, die in Ziffer (13) genannten positiven Nebeneffekte und in Ziffer (27) angedeuteten Aussenhandels- und Kosteneffekte sowie die in Ziffer (28) angesprochenen externen Effekte, so wird deutlich, dass auch *Wärmedämm-Investitionen mit einem Minergie-Standard unter Einschluss dieser genannten Kosten aus gesamtwirtschaftlicher Sicht auch heute schon "rentabel" sein können und zu einem viel grösseren Ausmass zu wirtschaftlichen Nutzen beitragen, als die betriebswirtschaftlichen Analysen selbst unter Einschluss erwarteter Energiepreissteigerungen und begleitender Nutzen (Co-benefits) suggerieren.*

#### 7.1.4 Methodische Anmerkungen

- (30) Methodisch und datenseitig gestaltete sich die Bestimmung der Grenzkosten der Wärmeschutz-Investitionen als schwierig und aufwändig. Der grossen Varianz der bestehenden Gebäude, der Vielfalt möglicher Investitionen konnten jedoch durch einen *bauteilorientierten Ansatz* begegnet werden. Mangelnde Kostendaten zwangen zu *Erhebungen bei Unternehmen und Bauökonomern*, welche nicht zuletzt deshalb aufwändig waren, weil eine grosse Vielfalt von Bauteilen, Neubauvarianten und Erneuerungsmöglichkeiten abzudecken war.
- (31) *Die Vielfalt der Gebäudetypen, die der Gebäudeeigner und ihrer Investitionsmotive*, die verschiedenen Investitionsoptionen nach Art, Ort und Energieeffizienz machen es allerdings aufwändig, eine für energiewirtschaftliche Analysen geeignete präzise Datenbasis aufzubauen und Zukunftsaussagen zu erarbeiten, ohne in bedeutendem Umfang *vereinfachende Typisierungen* anhand vorhandener Informationen und Indikatoren zu machen.
- (32) Die *Vielfalt möglicher Wärmeschutz-Investitionen* erforderte zwar einen partial-analytischen, einzeltechnologischen Ansatz der ökonomischen und energetischen Bewertung und eine Typisierung für eine begrenzte Anzahl von Investitionsfällen nach Gebäudealter, Massnahmenkonfiguration und -tiefe. Die Analysen haben aber gezeigt, dass die *Grenzkosten für die verschiedenen Bereiche der Gebäudehülle (bei gleichem Referenzfall)* recht ähnlich verlaufen und *energiewirtschaftliche Rechnungen deshalb gegenüber einem grossen Teil der Annahmen relativ robust* sind.
- (33) Die Analyse der *Preis- und Kostenentwicklung der Wärmeschutz-Investitionen für die vergangenen 20 bis 30 Jahre* ist wegen mangelnder (zugänglicher) Dokumentation aufwändig und *nur für wesentliche Kostenanteile machbar*. Hinzu kommt der Mangel an hinreichend differenzierten Preisindices, um die jeweils nur nominell vorhandenen Kostendaten auf ein einheitliches Basisjahr (hier das Jahr 2000) zu normieren und damit die Ausgangsbasis zur Bestimmung der Degressionskoeffizienten für Erfahrungskurven ableiten zu können.
- (34) Der empirische Ansatz, *Kosten-Degressionskoeffizienten der Erfahrungskurven* anhand von kumulierten Produktionsmengen zu ermitteln, führt zu einem erheblichen Recherchier- und Schätzaufwand einzelner technischer Komponenten und Dienstleistungen, die in dieser Detaillierung nicht in der Produktionsstatistik auftauchen. Auch hier sind die erforderlichen Befragungen aufwändig und bedürfen Interview-Partnern mit einem Marktüberblick über zwei bis drei Jahrzehnte, denn historische Daten zu Preisen und Mengen liegen in den wenigsten Unternehmen schriftlich oder in aufbereiteter Form vor.
- (35) Die methodischen Schwierigkeiten und der enorm hohe Aufwand für die Ermittlung der Grenzkostenkurven wurde zum Zeitpunkt der Offertenstellung zu dieser Arbeit nicht zuletzt deshalb unterschätzt, weil bisher die Bedeutung der Nebennutzen (Co-Benefits) in den ökonomischen Bewertungen nicht beachtet bzw. unterschätzt wurden und es eine Dynamisierung der Kosten im Bereich der rationellen Energienutzung im Gebäudebestand weltweit noch nicht gibt. Die bisherigen Dynamisierungen der Kosten beziehen sich ausschliesslich auf Energiewandler, insbesondere im Bereich der erneuerbaren Energien

## 7.2 Empfehlungen für Energiepolitik, die Wohnungs- und die Bauwirtschaft

- (36) Da infolge der Zielsetzungen des Schweizer CO<sub>2</sub>-Gesetzes und der Verpflichtungen der Schweiz im Kyoto-Protokoll eine marktkonforme Steuerung über die Energiepreise hochwahrscheinlich ist, die Re-Konzentration der Erdölproduktion im politisch latent instabilen Nahen Osten wegen der weltweiten Verteilung der Erdölressourcen unvermeidlich ist und das Produktionsmaximum der globalen Erdölförderung zwischen 2020 und 2030 erwartet wird, ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit mit höheren Brennstoffpreisen in den nächsten Jahrzehnten zu rechnen, d.h. während der nächsten Nutzungsperiode der heute und morgen erstellten und renovierten Wohngebäude. Die Wohnungs- und Baupolitik sollte daher schon heute diesen sich *abzeichnenden Energiepreissteigerungen wegen der langen Re-Investitionszyklen im Wohngebäudebereich Rechnung tragen*
- (37) Die vorliegende Studie zeigt durch eine Reihe wichtiger Fakten, dass eine *intensivere Energiepolitik im Bereich der Gebäude* nicht nur technisch möglich und bei sorgfältiger Analyse der ökonomischen Wirkungen *wirtschaftlich vernünftig* ist, sondern dass dies wegen der sehr langen Re-Investitionszyklen auch klima-, *wirtschafts- und beschäftigungs-politisch als geboten* erachtet werden könnte:
- Weitere wärmetechnische Verbesserungen im Bereich der Gebäudeneubauten und Erneuerungen sind heute deutlich absehbar (Mineriestandard und Passivhausstandard im Neubau und bei Erneuerungen). Diese absehbaren Verbesserungen werden – ähnlich wie in der Vergangenheit – mit real etwa stagnierenden Kosten zunehmend realisierbar sein (*etwa 2 bis 3 % jährliche Verbesserungen bei gleichen realen Kosten*).
  - Jüngste Berechnungen des CEPE im Rahmen von detaillierten Energiebedarfsanalysen bis 2010 weisen darauf hin, dass die *mittelfristigen Ziele der Schweizer Energie- und Klimapolitik* (CO<sub>2</sub>-Gesetz und Kyoto-Verpflichtungen) sowie die langfristigen Visionen des ETH-Rates (Reduktion des pro Kopf Energiebedarfs um zwei Drittel bis Mitte des Jahrhunderts gegenüber heute) *nur erreichbar sind, wenn die in diesem Bericht identifizierten wärmetechnischen Effizienzpotenziale bei Neubauten und Erneuerungen auch weitgehend realisiert* werden. Andernfalls muss wegen der hohen Bedeutung der Emissionen aus dem Raumwärmebereich und der langfristigen Re-Investitionszyklen mit einer Zielverfehlung gerechnet werden.
  - Das *hohe technologische und Kostensenkungspotenzial* der Wärmeschutz-Investitionen *der nächsten Jahrzehnte* führt ausserdem zu einer weiteren positiven ökonomischen Bewertung der Energieeffizienzoptionen in einer längerfristigen Perspektive. Denn die Grenzkostenkurven der in 2010 und 2020 zur Erneuerung oder als Neubau anstehenden Wohngebäude werden geringere Herstellkosten haben als die heutigen (vgl. Kap. 6.2). Da ein Teil dieser Kostenminderungen durch mengenabhängige Lern- und Skaleneffekte erreicht wird, sind *Anreize zur Beschleunigung und Realisierung dieser Skaleneffekte* – auch zur Ausweitung von Exporten dieser Güter und Dienstleistungen – gesamtwirtschaftlich sinnvoll.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Ein sehr anschauliches Beispiel dieser Wirkungsdynamik ist die Förderung der Windkraftkonverter in Dänemark und Deutschland in den 80er und 90er Jahren, so dass heute Anlagengrößen über 3 MW zu Stromerzeugungskosten unter 8 Rp/kWh möglich werden, die Anfang der 80er Jahre schon allein technisch gescheitert waren



- Wengleich die vorliegende Arbeit zu gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen keine Analysen durchführte, so möchten die Autoren doch auf die Beschäftigungswirkungen hinweisen. Zur *Sicherung der Beschäftigung (und speziell in den ländlichen Gebieten)* kann eine forcierte Energieeffizienzpolitik in der Schweiz beitragen, denn anstelle der Importe der Brennstoffe (mehr als 90 % des Bedarfs) entsteht zusätzlich Nachfrage nach den industriell gefertigten Wärmeschutzprodukten sowie nach inländisch erzeugten Planungs-, Bau- und Finanzierungsleistungen. Nach Abzug der kontraktiven Effekte im Brennstoffbereich entstehen nach den heutigen Erkenntnissen netto etwa 50 zusätzliche Arbeitsplätze je eingesparte PJ.
- (38) Aus diesen Gründen werden der Bau- und Wohnungspolitik auf Ebene des Bundes und der Kantone folgende Empfehlungen nahegelegt:
- Bund und Kantone sollten prüfen, wie der längerfristige Prozess zu *weiteren Novellierungen der Baustandards bei Neubauten in Richtung Minergiestandard und Passivhausstandard beschleunigt* werden könnte. Denn die erreichbare Kostendegression bei verbessertem Wärmeschutz verläuft im wesentlichen über die produzierten bzw. installierten Mengen.
  - Bei Erneuerungen und Renovierungsarbeiten sollte man gleiche Wärmedämmstandards intensiv empfehlen. Hierzu bedarf es heute *verbesserter Information und beruflicher Fortbildung*, die *Aspekte der begleitenden Nutzen und verpasster Chancen bei unzureichendem Wärmeschutz deutlich hervorhebt*, aber auch *finanzieller Anreize* (z. B. der Halbierung oder Wegfall der Mehrwertsteuer für Wärmedämmprodukte, hocheffizienter Heizungs- und Lüftungsanlagen, Zinsvergünstigung für Wärmeschutz-Investitionen mit einem Mindeststand oder ein entsprechender Investitionszuschuss für private Hausbesitzer), um diesen Prozess verstärkter Nutzung der Energieeffizienzpotenziale zu realisieren. Ebenso wäre eine Anpassung der Mietgesetzgebung, so dass das Investor-Nutzer-Dilemma entschärft werden kann.
  - Auch wenn im Moment eine entgegenlaufende Entwicklung im Gang ist, sehen die Autoren als weiteres unterstützendes Instrument die *individuelle Wärmeverbrauchs- und -abrechnung* pro Wohnung in (neuen und auch in bestehenden) Mehrfamilienhäusern, um die Markttransparenz für den Wärmedämmzustand der Wohnungen zu verbessern. Diese Massnahme hätte auch eine unmittelbare Folge auf das Energieverhaltensverhalten (erfahrungsgemäss im Durchschnitt etwa 8 bis 15 %, wenn gleichzeitig Thermostatventile eingebaut werden). Um einen Anreiz für besonderes energieeffiziente Gebäude zu schaffen und nicht zuletzt aus bauphysikalischen Gründen könnte bei Gebäuden mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf auf diese Massnahme verzichtet werden (BS und evtl. andere Kantone praktizieren bereits diese Regelung).
- (39) Die Werte der *verschiedenen Zusatznutzen (Co-Benefits)* - typisiert nach den verschiedenen Fällen - zu erhärten und sie gegenüber Hauseigentümern, Bauherren, Wohnungsbau-gesellschaften und Mietern zu *kommunizieren*, erscheint schon aus betriebs- und wohnungswirtschaftlicher Sicht geboten, um gravierenden Fehleinschätzungen und Unterlassungen derartiger "forcierter" Wärmeschutz-Investitionen vorzubeugen und ihre häufigere Umsetzung sowie Akzeptanz infolge der verbesserten Kosten-Nutzen-Relation zu fördern. Um zu diesem Themenbereich eine aktuelle Informationsbasis und sachlich korrekte Wirtschaftlichkeitsberechnungen zur Verfügung zu haben, sollte entsprechendes *Lehrmaterial für die Ausbildung und berufliche Fortbildung* erstellt werden. Weiterhin wird wegen der Vielzahl möglicher Fälle

empfohlen, eine entsprechend *differenzierte Software* für die Beratung bei Neubau und Erneuerung zu entwickeln.

- (40) Die wohnungswirtschaftlichen Aspekte zum Thema *Wertsteigerung und Verminderung von Leerständen durch exzellenten Wärmeschutz* sowie zu einer verbesserten Einschätzung der Bonität der Gebäudebesitzer könnten für spezielle Zielgruppen (Wohnungsbaugesellschaften, Liegenschaftsverwaltungen, Einzelhausbesitzer, Banken) als Information aufbereitet und über geeignete Kommunikationskanäle und in Weiterbildungsveranstaltungen kommuniziert werden.
- (41) Um die wohnungswirtschaftlichen Implikationen von Wohnungsbauerneuerungen mit exzellentem *Wärmeschutz im Kontext von Re-Vitalisierungen von Siedlungsgebieten* zu demonstrieren, wird das Minergieprogramm als ein schweizweites Demonstrationsprogramm als sehr wichtig seitens der Autoren bewertet, das die sehr positiven Erfahrungen derartiger Wärmeschutzmassnahmen im grösseren Kontext der Re-Vitalisierung von Siedlungsgebieten (z.B. Teilverkauf von Wohnungen zur Re-Finanzierung eines Teils der Modernisierungsmassnahmen sowie zur Veränderung und Stabilisierung der Bewohnerstrukturen, z.B. wie in Ludwigshafen) ebenfalls aufgreifen und verbreiten könnte..
- (42) Die Ergebnisse dieses Projekts zu den Zusammenhängen der *Kosten und Nutzen von Wärmeschutz- und Energieeffizienz-Investitionen im Bereich der Bauleistungen und Bauprodukte* könnten zu einer Planungsgrundlage für Architekten, Kostenplaner und Wohnungsbaugesellschaften *handbuchartig oder als Software aufgearbeitet* werden. Ausserdem ist die Einarbeitung der Kostendaten in bestehende Kostenplanungs-, Bewirtschaftungs- oder Optimierungstools bzw. deren Erweiterung um die Komponente der weitergehende Energieeffizienz und begleitender Nutzen ins Auge zu fassen. Zu nennen sind die Produkte des CRB, OGIP, EPIQUR sowie weitere Produkte, die aus IP Bau hervorgingen.

### 7.3 Grenzen und Unsicherheiten der vorliegenden Analyse

Obwohl die Erhebung der Daten zu den Kosten der Wärmeschutzmassnahmen an Gebäuden in der vorliegenden Form einmalig sein dürfte, verbleiben Grenzen bzgl. genauer Aussagen über die zukünftigen wirtschaftlichen Potenziale der Wärmeschutzes und Energieeffizienz in Wohngebäuden.

- (43) Die *Kostenangaben bei hohen Dämmstärken* sind infolge der den Autoren unbekanntem Angst-, Lern- und Pioniermarkt-Preisauflagen nur mit gewissen Abstrichen verwendbar. Die *Kostendegression* könnte bei schneller Marktdurchdringung der hohen Dämmstärken *deutlich schneller verlaufen*, als hier angenommen.
- (44) Die *technischen und kostenbezogenen Fortschritte* im Bereich der neuen Dämm-Materialien (Polystyrolprodukte, Hochleistungskerndämmung, Vakuumdämmung), Fenstersysteme mit neuen Beschichtungen, Folien, Rahmenverbundmaterialien, Vakuumgläsern) sind heute noch zum Teil schwer einschätzbar. Die Kostenschätzungen wurden in diesem Bericht relativ konservativ gewählt oder noch nicht durchgeführt.
- (45) Die moderaten Perspektiven zur *Entwicklung der Brennstoffpreise*, die diesen Analysen zugrunde gelegt wurden, könnten sich als Fehleinschätzung erweisen, wenn die politisch latent instabile Situation im Nahen Osten zu merklichen längerfristigen Förderbeschränkungen führen sollte. Allerdings kann an den dynamisch angelegten Grenz-

kostenkurven leicht ersehen werden, in welchem Umfang sich die Energieeinsparpotenziale bei grösseren Energiepreissteigerungen erhöhen würden.

#### 7.4 Weiterer Forschungsbedarf

Weiterer Forschungsbedarf besteht auf verschiedenen Ebenen, sowohl auf der „Hardware“, also in der Praxis des Bauens und Erneuerns, wie auch auf der analytischen Ebene im Bereich der Energie-, Wohnungs- und Bauwirtschaft. Zu nennen sind u.a.

- Messkampagnen zur *Bestimmung des Luftwechsels und der Innenraumqualität* für verschiedene Gebäudetypen sowie für verschiedene soziale Bewohnergruppen (Bildung, Raucher/Nichtraucher, sensible Personengruppen für Lärm, Erkrankungen der Atemwege und Allergien);
- Sozialwissenschaftliche Begleitforschung bei Neubauten und Erneuerungen mit Minergie- und Passivhausstandard *zur Akzeptanz der verschiedenen Zielgruppen* (private Bauherren, Wohnungsbaugesellschaften, Mieter, die während der Erneuerung die Wohnungen bewohnen) für die Bau- und Investitionsentscheide und nach durchgeführten Wärmeschutz-Investitionen.
- Analyse der Kostendegressionspotentiale von Lüftungsanlagen (zentrale und dezentrale) sowie von neuen Wärmedämmsystemen (Hochleistungskerndämmung, transluzente Wärmedämmung, Vakuumisolation) sowie neuer Verglasungstypen und Fenstersysteme (Verglasungen mit Folien, Vakuumgläser, Rahmen mit Verbundmaterialien etc.) unter Einbezug optionaler Entwicklungen der Baustandards, Erneuerungen, Exportmengen
- Entwicklung eines Konzepts zum Einbezug begleitender Nutzen von Wärmeschutz-Investitionen in software gestützte Kosten-Nutzenkalkulationen und Erarbeitung einer entsprechenden Datenbank für Architekten und Immobiliengesellschaften und private Bauträgerschaften.
- Entwicklung eines Policy-Bündels für Massnahmen auf Bundes- und kantonaler Ebene sowie für Wohnungswirtschaft und Hausbesitzer sowie Baufachleute, um die Erneuerungsrate mit hohem Wärmeschutz wesentlich zu erhöhen.



## 8 Literaturverzeichnis

- Aebischer, B., et al.,** (2002): „CO<sub>2</sub> -Reduktionspotential Erdgas. Projektphase 1: Referenz-Szenario. In Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Gasindustrie“, CEPE-Bericht, Zürich
- Afjei et al.,** (1999): „Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe. Zwischenberichte Phasen 1 bis 4“, i.A. Bundesamt für Energie, Bern und Zürich, 1996 bis 1999
- Barreto, L.,** (2001): „Technological Learning in Energy Optimisation Models and Deployment of Emerging Technologies“, Thesis, ETH Zürich
- Basler & Hofmann,** (1992): „Energiesparpotentiale und Energiesparkosten im Raumwärme und Warmwasserbereich“, Sozio-ökonomische Energieforschung, BEW, Bern
- Belz, Frank-Martin,** (2000): „Ökologie und Wettbewerbsfähigkeit in der Baubranche: Erfolgreiche Vermarktung von Niedrigenergiehäusern jenseits der Öko-Nische“, IWÖ-Diskussionsbeitrag Nr. 81, IWÖ, Hochschule St. Gallen
- Belz, Egger,** (2001): „Nutzen und Kosten von Niedrigenergiehäusern: Empirische Ergebnisse einer explorativen Studie“, in der Markt, 40. Jahrgang, Nr. 156, S. 3 - 14
- BFE, Bundesamt für Energie** (Hrsg.), (1996): „Arbeitsberichte zu den Energieperspektiven der Szenarien I bis IV 1990 bis 2030 (insb. Anhänge zu den Kostenkurven)“, Prognos AG, Basics AG, Fachgruppe Energieanalysen ETHZ, Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern
- BFE, Bundesamt für Energie,** (2000): „Schweizerische Gesamtenergiestatistik“, Sonderdruck aus Bulletin SEV/VSE, Nr. 16. August 2000
- BFS, Bundesamt für Statistik,** (1993): „Gebäude und Wohnungen“, Eidgenössische Volkszählung 1990, Band 9, Bau und Wohnungswesen, Bern
- BFS, Bundesamt für Statistik,** (1996): „Wohnen in der Schweiz“, Eidgenössische Volkszählung 1990, Bern
- BFS, Bundesamt für Statistik,** (1997): „Der schweizerische Baupreisindex – Detailkonzept“, Bern
- BFS** (Bundesamt für Statistik), **BUWAL** (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft) (1997), „Lärm“, in: Umwelt in der Schweiz, S. 127 – 138, zu beziehen bei EDMZ, Bern
- BFS, Bundesamt für Statistik,** (1999): „Bau- und Wohnbaustatistik der Schweiz, Bauinvestitionen, Bauausgaben und –vorhaben 1998-99 Wohnbautätigkeit 1998“, BFS, Neuchâtel
- BFS, Bundesamt für Statistik,** (2000a): „Schweizerischer Baupreisindex, Oktober 1998=100 – Ergebnisse vom Oktober 1999“, BFS, Neuchâtel
- BFS Bundesamt für Statistik,** (2000b): „Preisstatistik 2000, Inventar der preisrelevanten politischen Massnahmen“, BFS Aktuell, Neuchâtel

- Binz**, A. (2001): „Der nächste Schritt MINERGIE-P?“, Vortrag gehalten anlässlich der Minergie-Messe am 8.11.01 in Bern, Fachhochschule beider Basel, Liestal
- Binz** et al., (2002): „MINERGIE und Passivhaus: Zwei Gebäudestandards im Vergleich – Schlussbericht“, i.A. Bundesamt für Energie, zu beziehen bei EMPA ZEN, Dübendorf
- BKKZ**, (1998): P. Meyer, K. Christen, A. Hüttenmosser: „Baukosten-Kennzahlensystem – Benchmark für Neubau, Kostenrichtwerte für Gebäudeerneuerung“, Professur für Lehrstuhl für Architektur und Baurealisation, ETH Zürich
- Bürgi**, H.P., (2000): „Kosten und Nutzen im MINERGIE-Haus“, MINERGIE Agentur Bau, Bern
- BUWAL/BFS**, (1997): „Umwelt in der Schweiz 1997 – Daten, Fakten, Perspektiven“, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft und Bundesamt für Statistik, Bern
- BWO**, Silvio Graf, Daniel Sager, (1998a): „Mietzinsgestaltung und Finanzierung der Erneuerungsinvestitionen bei Wohnimmobilien“, ZHW und CS Economic Research, i.A. Bundesamt für Wohnungswesen, Winterthur und Zürich
- BWO**, Integrated Financial Business Consulting AG, (1998b): „Lage und Zukunft der Wohnbaufinanzierung in der Schweiz“, i.A. Bundesamt für Wohnungswesen, Zürich und Grenchen
- Christen**, K., Meyer–Meierling, P., (1999): „Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten“, ETH Zürich
- Denkmalpflege**, (2002): „Mündliche Auskunft eines Vertreters der Eidgenössischen Kommission für Denkmalpflege“, Bern
- Econcept**, FHBB, (2002a): „Neubauen statt Sanieren - Schlussbericht“ i.A. BFE/BWO/ARE, Bern
- Econcept**, (2002b): „Grundlagen für freiwillige CO<sub>2</sub>-Vereinbarungen und Verpflichtungen im Gebäudebereich - Markt-, Interessen- und Akzeptanzanalyse“, i.A. Energieagentur der Wirtschaft (EnW), Bundesamt für Energie, Bern, Hauseigentümerverband (HEV), Zürich
- Ecoplan**, (1998): „Externe Lärmkosten des Verkehrs – Schlussbericht Vorstudie I“, Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Bern
- Ecoplan**, (2000): „Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse - (Vorstudie II)“, Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Bern
- Empa**, (2000): Verschiedene Teil- und Abschlussberichte des Forschungsprogramms „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“, Dübendorf
- EMPA**, (2001): „EUROKOBRA Wärmebrückenatlas auf PC“, bauphysikalisches Programm zur Berechnung der thermischen Verluste von Wärmebrücken, Abteilung Bauphysik, Dübendorf
- Enquête**, (2000): „Anhörungen 2000“, Enquête-Kommission

- Erb, M., Eicher, H.P., Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal et al, (2000):** „Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen“, in: „Energie- und Umweltforschung im Bauwesen – 11. Schweizerisches Status-Seminar 2000“, Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen, ZEN (Hrsg.), EMPA, Dübendorf
- Erb, M., Eicher, H.P., Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal, (2001):** „Sanierung von einfach und doppeltverglasten Fenstern“, Bundesamt für Energie, Bern, zu beziehen bei Forschungsprogramms „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“, ZEN, EMPA, Dübendorf
- Erhorn, H., Szerman, M. und Gertis, K. (1986):** „Wie beeinflusst die Heizkörperanordnung im Raum die thermische Behaglichkeit und den Wärmeverlust?“ **Bauphysik 5**
- ETSAP, news 5 (GENIE), (1998):** „Down the Learning Curve with Emerging Technologies“
- Fanger, P.O. (1970), Thermal Comfort, McGraw Hill Book Company, New York, Düsseldorf.**
- Federal Statistical Office Germany, (1996):** „The construction of abatement curves. Methodological steps and empirical experiences“, Wiesbaden
- Gantner, U., Jakob, M. und Hirschberg, S., (1999):** „Methoden und Analysen - Grundlagen sowie ökologische und ökonomische Vergleiche von zukünftigen Energieversorgungsvarianten der Schweiz“, Schlussentwurf, Beitrag zum VSE-Projekt „Dezentral - Möglichkeiten, Grenzen und Auswirkungen einer verstärkt dezentralen Stromproduktion aus nicht erneuerbaren Energieträgern“, Arbeitsmaterial, Villigen
- Garrett, D.E., (1989):** „Chemical Engineering Economics“, v. Nostrand Reinhold, New York
- Glas Trösch AG, (2000):** „Glas und Praxis“, Bützberg
- Glas Trösch AG, (2001):** „Lärmschutz wird immer wichtiger“, in Gesundheits- und Umwelttechnik Nr. 4, S. 14 – 15
- Graf, S., Sager, D., (1998):** „Mietzinsgestaltung und Finanzierung der Erneuerungsinvestitionen bei Wohnimmobilien“, i. A. des Bundesamtes für Wohnungswesen, Zürcher Hochschule Winterthur und Credit Suisse Economic Research Zürich
- Gutschner, (1997):** „Entwicklung eines Ansatzes zur Ermittlung des ertragskriterium-differenzierten photovoltaischen Flächenpotentials im schweizerischen Gebäudepark“, Institut für Geographie, Universität Freiburg
- Haari, R., (1988):** „Wie Eigentümer ihre Mietwohnungen erneuern“, COPLAN, i.A. Bundesamt für Wohnungswesen, Arbeitsbericht Nr. 16, Bern
- Haller, A., Humm O., Voss K., (2000):** „Renovieren mit der Sonne – Solarenergienutzung im Altbau“, Ökobuch Staufen bei Freiburg
- Hieber, W.L.; (1992):** „Lern- und Erfahrungskurven-Effekte und ihre Bestimmung in der flexibel automatisierten Produktion“, Franz Vahlen Verlag, München
- Hohmeyer, K. K., Katell, S., (1981):** „Basic-Cost Engineering“, M. Dekker New York/Basel

- Humm, O.**, (1997): „NiedrigEnergieHäuser – Innovative Bauweisen und neue Standards“, Ökobuch, Staufen bei Freiburg
- Humm, O.**, (1998): „NiedrigEnergiehäuser und PassivHäuser – Konzepte, Planung, Konstruktion, Beispiele“, Ökobuch, Staufen bei Freiburg
- IAE, Internationale Energieagentur**, (2000): „Energy Prices and Taxes, 3rd Quarter 2000“, S. 266, Paris
- IEPE, Institut d'Economie et de Politique de l'Energie**, , (2000): „World Energy under the Pressure of Emerging Countries: the Asian Energy Thurst and its Consequences for Europe. Shared Analysis Project“, Vol. III, EU Brüssel
- INFRAS/ECONCEPT/PROGNOS**, (1996): „Die vergessenen Milliarden“, Verlag Paul Haupt, Bern
- Intep**, (1995): „Kostenkurven im Haushaltsbereich – Zwischenbericht zu Handen der Expertensitzung vom 12.5.95“, Zürich
- IPCC, Intergovernmental Panel om Climate Change**, , (Hrsg.), (2001): „Third Assessment Report of Working Group III, Chapt. 8 :Cost and Co-Benefits. Final Draft“, RIVM Bilthoven, Niederlande
- IWK** (Hrsg.), (1997): H. Reichenbach, J. Hubler: „Investitionskosten Gas–WKK–Anlagen in bestehenden Gebäuden“, im Auftrag des PSI, IWK, Zürich
- IWÖ** (Hrsg.), (2000): F.-M. Belz, D. Egger: „Nutzen und Kosten von Niedrigenergiehäusern: Empirische Ergebnisse einer explorativen Studie“, IWÖ-HSG (Institut für Wirtschaft und Ökologie Universität St. Gallen, St. Gallen
- IWU, Institut für Wohnen**, (2001): „Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit“, Baustein I und 2, Darmstadt
- Jakob, M., Primas, A., Jochem E.**, (2002): „Erneuerungsverhalten bei Wohngebäude – erste Auswertungen der Haupterhebung“, CEPE-WP Nr. 9, CEPE, ETH Zürich
- Jochem, E., Dickmann, J.**, (2001): „Überlegungen zu einer sachgerechten Handhabung von Kostenangaben für Energiesystem-Modelle mit langfristigen Zeithorizonten“, Arbeitspapier im Rahmen des IKARUS-Projektes, Berlin-Karlsruhe
- Kölbel, H.: Schulze, J.**, (1982): „Projektierung und Vorkalkulation in der Chemischen Industrie“, Springer Berlin
- Kypreos, S.**, (1998): „New Modelling Developments and Applications with MARKAL“, IEA/ETSAP Workshop Berlin May
- Ladner, H.** (1998): „Vom Altbau zum NiedrigEnergiehaus – Energietechnische Gebäudesanierung in der Praxis“, Ökobuch Staufen bei Freiburg
- LESO** (Hrsg.), (1996): F. Leresche, J.P. Eggimann: „Berechnung der thermischen Bilanz eines Gebäudes – Beschrieb des Programms LESOSAI 4“, LESO-PB, EPFL, Lausanne
- Lutiger**, (2001): „Analyse Gebäudetechnik und erneuerbare Energien“, ZIG-HTA Luzern, anzufragen bei K. Hildebrand, HTA Luzern



- Mattsson, N.**, (1997): „Internalizing technological development in energy systems models. Thesis.“, Chalmers University of Technology, Göteborg, Schweden
- Mattson**, (1998): „GENIE: An Energy System Model with Uncertain Learning“, IEA/ETSAP Workshop Berlin May
- Mayer, E. (1985):** „Bei welchen Luftbewegungen zieht es?“ IBP-Mitteilungen 12, Nr. 101
- McDonald, A., Schrattenholzer**, (2001): „Learning rates for energy technologies“, Energy Policy 29 (2001), S. 255-261
- Meier, R.**, (1998): „Sozioökonomische Aspekte von Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz“, Hochschulverlag ETH Zürich
- Messner, Sabine** (1997): „Endogenized Technological Learning in an Energy Systems Model“, IIASA, RR-97-15, Laxenburg, Österreich
- Messner, S.**, (1998): „Approaches to Handle Uncertainty and Technological Dynamics in Energy Models“, Joint Forum /ETSAP Workshop Berlin May
- Metron**, (1998), „Energietechnische Gesamtanierungen und MieterInnen-Vermieter-Verhältnis“, im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern
- Minergie** (Hrsg.), (1998a): H.P. Bürgi, P. Raaflaub: „Gebäudesanierung nach Minergie-Standard – Übersicht, Beispiele, Grundsätze: ein Leitfaden“, Bern
- Minergie**, (1998b): Fraefel: „Das Minergie-Haus – Planungshilfe für Baufachleute“, Hrsg. Kanton ZH (AWEL) und Kanton BE
- Neij, Lena**, (1997): „Use of experience curves to analyse the prospects for diffusion and adoption of renewable energy technology“, Energy Policy 23(1997)13, p.1099-1107
- Niedrigenergie 97–99**, (1998): Diverse Berichte über Niedrigenergiegebäude, u.a. R. Fraefel „Passives Niedrigenergie-MFH in Russikon“, Grünigen
- Ostertag, K., Jochem, E., Schleich, J., Walz, R. et al.**, (1998): „Energiesparen – Klimaschutz, der sich rechnet“, Kap.6: „Transaktions- und Programmkosten. ISI Karlsruhe“, DIW Berlin
- Prognos** (Hrsg.), (1997): P. Hofer: „Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte in Szenario IV – Arbeitsbericht“, Basel
- Prognos** (Hrsg.), (1999): P. Hofer: „Analyse- und Prognosemethode, Modellstrukturen und ausgewählte Ergebnisse. Dokumentation im Rahmen des Projektes Energieperspektiven der Haushalte“, i.A. des BFE, Bern
- Prognos**, (2000): Prognos AG: „Energetische und klimatische Auswirkungen der Förderabgabe und der Abgabe gemäss Grundnorm“, i.A. Bundesamt für Energie, Bern
- Prognos**, (2001): Szenarien zu den Initiativen „Strom ohne Atom“ sowie „Moratorium Plus“. Prognos AG, im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bern.

- PSI**, Gantner, U., und Hirschberg, S., (1999): „Entwicklung der Nutzung regenerativer Energiequellen in der Schweiz“, Beitrag zum Schlussbericht der SATW–Arbeitsgruppe „CH 50 % – Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien“
- PSI**, Gantner, U., Jakob, M., und S. Hirschberg, S., (2000a): „Methoden und Analysen – Grundlagen sowie ökologische und ökonomische Vergleiche von zukünftigen Energieversorgungsvarianten der Schweiz“, Beitrag zum VSE–Projekt „Dezentral – Möglichkeiten, Grenzen und Auswirkungen einer verstärkt dezentralen Stromproduktion aus nicht erneuerbaren Energieträgern“, zu erscheinen als PSI–Bericht
- PSI**, Gantner, U., Jakob, M., und S. Hirschberg, S., (2000b): „Perspektiven der zukünftigen Energieversorgung in der Schweiz unter Berücksichtigung von Nachfrage–orientierten Massnahmen – Ökologische und ökonomische Betrachtungen, Hintergrundpapier zu "Energiespiegel – Facts für die Energiepolitik von morgen" Nr. 1 und Nr. 2, Villigen
- Rahl**, A.; Spandaro, J.V., (1999): „Environmental Damages and Costs:an Analysis of Uncertainties“, Environment International, Vol.25(1), S. 29-46
- Ressort WB**: Diverse Vorträge, Forum „Treffpunkt der Entscheidungsträger“, Energie 2000 Ressort Wohnbauten, <http://www.e2000.ch/Wohnbau>, 1997-2000
- Rouvel**, L; Elsberger, M.; Heckler, R., (1999): „Klimaschutzpotenziale im Bereich Raumwärme“, in: G. Stein, H.-F. Wagner (Hrsg.): Das IKARUS-Projekt: Klimaschutz in Deutschland. Strategien für 2000 – 2020. Springer Berlin/Heidelberg, S. 123-154
- Seebregts**, A.J. et al., (1999): „Endogenous Technological Change in Energy Systems Models – Synthesis of Experience with ERIS, MARKAL, and MESSAGE“, ECN report ECN-C-99-025 April 1999. (EU TEEM project), also published in Int. J. of Global Energy Issues. Vol 14(2000)1-4, p.48-64
- Schembra**, M., **Schulze**, J., 1993: „Schätzung der Investitionskosten bei der Prozessentwicklung“, Chem. Ing. Technik 65 1, S. 41-47
- Schuler** et al., (1994): „La construction du parc immobilier en Suisse – approche typologique de l’habitat“, EPFL Lausanne
- Schweizer Bau Dokumentation**, (1994): „Zürcher Index der Wohnbaukosten“, B lauen
- SFHF**, (1998): „Bestimmung der wärmetechnischen Einflüsse von Wärmebrücken bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden – Richtlinie, Ausgabe 1998“, In: SFHF-Richtlinien „Alles über hinterlüftete Fassaden“, SFHF (Hrsg), Dietikon
- SIA**, (1988): „SIA.Norm 380/1, Energie im Hochbau“, Ausgabe 1988, Zürich
- SIA**, Brunner C.U., Nänni J., (1993): „Wärmebrückenkatalog 3 – Altbaudetails“, SIA Dokumentation Do107, Zürich
- SIA**, Kommission SIA 380/1 (1999): „Festsetzung der Grenz- und Zielwerte für den Heizwärmebedarf in der neuen Norm 380/1 Thermische Energie im Hochbau“, Zürich
- SIA**, (2000): „SIA Norm 380/1, Thermische Energie im Hochbau“, Entwurf, Zürich
- SIA**, (Hrsg), (2001a): „SIA Norm 380/1“, Ausgabe 2001, Zürich

- SIA**, (Hrsg), (2001b): „Thermische Energie im Hochbau – Leitfaden zur Anwendung der Norm SIA 380/1“, Ausgabe 2001, sia Dokumentation **D 0170**, Zürich
- Stein**, H.-G., (1988): „Kostenführerschaft als strategische Erfolgsposition“, in: Henzler, H.A. (Hrsg.): Handbuch strategische Führung, Wiesbaden S.397-426
- Tiefbauamt Kanton Zürich**, (2002): „Lärmbelastung im Kanton“, Raum, Landschaft,Umwelt, S. 8 - 12
- UNDP/World EnergyCouncil/UNDESA**, (2000): „World Energy Assessment. Chapt. 6. End-use energy efficiency“, New York
- Viriden**, (2001): „Mutschellenstr. 103 – Eine mustergültige Sanierung“, Synthesebericht des Pilot- und Demonstrationsprojekts, zu beziehen bei Viriden+Partner, Zürich
- Vollzug BE**, (1998): „Evaluation – Vollzug der Energiegesetzgebung; Untersuchung an 50 neuen und sanierten Wohnbauten mit Baubewilligung sei 1993“, WEA Kt. BE
- Wene**, C.O.; (2000): „Experience Curves for Energy Technology Policy“, IEA/OECD, Paris
- Widmer**, U., (2001): „Heiliger Krieg gegen die Fakten – Zum Statistischen Jahrbuch der Schweiz 2000“, Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel
- Williams**, R. Jr., (1947): „'Six-Tenth Factor' Aids in Approximating Costs“, Chem. Eng., 54, S. 124-125
- Wüest** et al., (1994): Wüest und Partner: „Basisdaten und Perspektiven zur Entwicklung des Gebäudebestandes 1990 – 2030“, i.A. BEW, Bern, Zürich
- Wüest und Partner.**, (1998a): Wüest und Partner AG: „Bauen, Markt und Energie – eine Standortbestimmung“, i.A. Flumroc AG, Flums und Zürich
- Wüest und Partner**, (1998b): „Energieplanungsbericht 1998 – Kontrollrechnung Sanierungstätigkeit“, i.A. des AWEL, Baudirektion des Kantons ZH, Zürich
- Wüest und Partner**, (2000): Wüest und Partner AG: „Immo–Monitoring 2000, Bände 1 bis 3“, Zürich
- Wüest und Partner**, (2000): „Erhebung der durchschnittlichen Energiekennzahlen für Neubauten in 13 Kantonen“, i.A. Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG), Bundesamt für Energie (BFE), Bern
- Wüest und Partner**, (2001): Wüest und Partner AG, „Immo–Monitoring 2001, Bände 1 bis 3“, Zürich
- Zürcher Kantonalbank** (1988): „Wertvolle Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft 3“, Zürich S.24-36

Viele Informationen stammen ausserdem aus Expertengesprächen und Interviews, welche nicht alle im einzelnen zitiert werden



## 9 Abkürzungsverzeichnis

a	Annuitätenfaktor
$A_F$	Rahmenfläche ( $A_{\text{Frame}}$ )
$A_g$	Glasfläche
$A_W$	Fensterfläche ( $A_{\text{window}}$ )
A/EBF	Gebäudehüllenziffer. Verhältnis der Gebäudehüllensfläche zur Energiebezugsfläche (EBF), wobei die Bauteile gegen das Erdreich bzw. gegen unbeheizte Räume mit einem Faktor $< 1$ gewichtet werden.
CEPE	Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich
CHF	Schweizer Franken
dB	Dezibel, Masseinheit des Schalldämmpegels
DS	Dämmstoff
dr	Discount rate (Realzinssatz)
DV	Doppelverglasung
EBF	Energiebezugsfläche
$EBF_i$	EBF bezogen auf das Innenmass gemäss deutscher Berechnungsart
EE	Endenergie („Verbrauch“ an (kommerziellen) Energieträgern. Endenergie = Nutzenergie + Umwandlungs- und Verteilverluste
EFH	Einfamilienhaus
EKZ	Energiekennzahl
EMPA	Eidgenössische Material Prüfanstalt
EV	Einfachverglasung
fg	Gewinnfaktor freie Wärme gemäss SIA 380/1
g-Wert	Gesamtenergiedurchgangswert bei Gläsern (als Anteil)
GJ	Gigajoule
HEL	Heizöl Extraleicht
HF	Hinterlüftete Fassaden
HF 1 bis 9	Bezeichnung der befragten Unternehmen aus dem Bereich der hinterlüfteten Fassaden
HTA	Hochschule für Technik und Architektur
IV	Isolierverglasung
$kWh_{NE}$	kWh Nutzenergie
$kWh_{EE}$	kWh Endenergie
Lambda	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)
MFH	Mehrfamilienhaus
Minergie	Label für energie-effiziente Gebäude und (andere energetische Anwendungen)

---

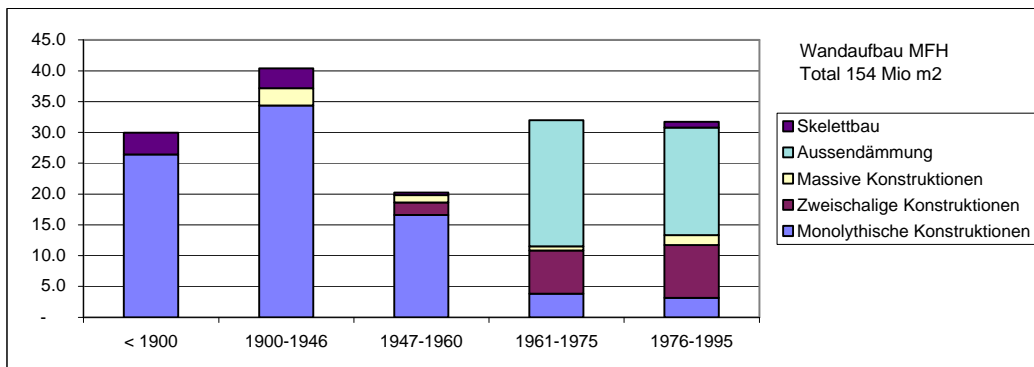
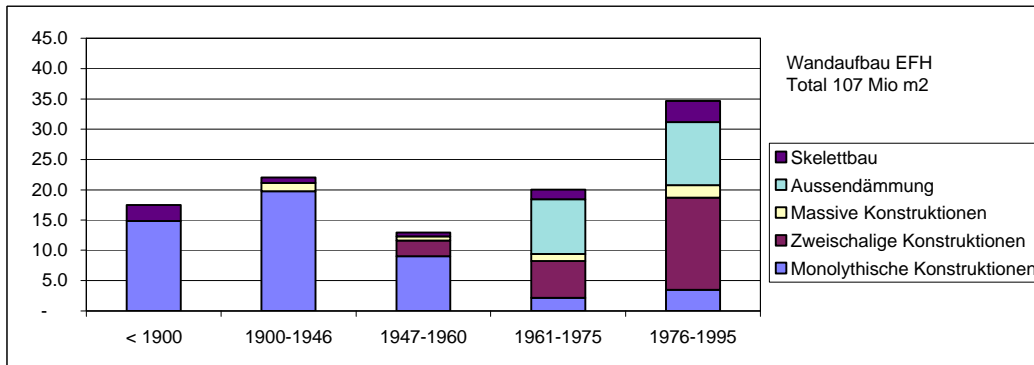
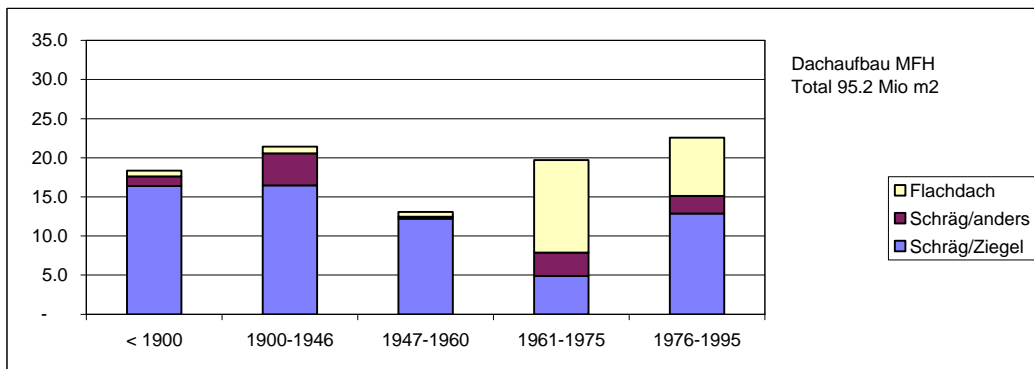
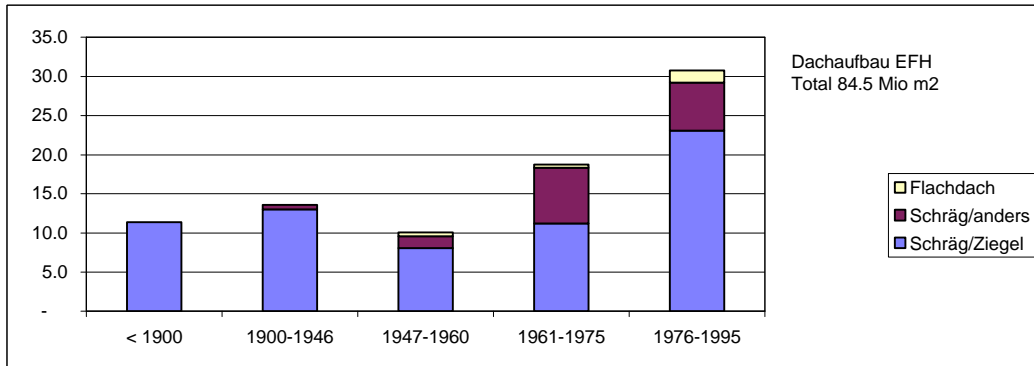
Minergie-P	Vorschlag für eine zusätzliche, erhöhte Anforderung des Minergie-Labels, qualitativ ähnlich zum Passivhausstandard
MuKE	Muster Verordnung der Kantone im Energiebereich
MJ	Megajoule
NE	Nutzenergie (Energiebedarf, um den angestrebten Nutzen zu erfüllen. Bsp. Raumwärme: Energiebedarf für die Aufrechterhaltung der gewünschten Temperatur in den Räumen.)
NT	Niedertemperatur
PH	Passivhaus
Psi	Linearer Wärmedurchgangskoeffizient (W/mK)
Q <sub>h</sub>	Heizwärmebedarf des Gebäudes nach alter Berechnungsnorm (SIA 380/1 1988) bzw. Heizwärmebedarf nach neuer Berechnungsnorm (SIA 380/1 2001). Q <sub>h</sub> ist eine Nutzenergiegrösse.
SFHF	Schweizerischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden
SVDW	Schweizerischer Verband für Dach und Wand
SIA	Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein
SIA 380/1	Norm „Energie im Hochbau“ (Ausgabe 1988) bzw. „Thermische Energie im Hochbau (Ausgabe 2001)
TD	Thermodübel
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient (W/m <sup>2</sup> K), Wärmeleistung pro m <sup>2</sup> durch ein Bauteil pro K Temperaturdifferenz
UD	Unterdach
UK	Unterkonstruktion
WB	Wärmebrücken
WD	Wärmedämmung
WLB	Wärmeleistungsbedarf (W/m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> oder kW)
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung

# Anhänge





## A Wand- und Dachflächen im Wohngebäudebestand



Quelle Wüest und Parnter



## B Erhebung Fenster

### B.1 Erhebungskonzept Fenster

Pro kleines oder mittleres Unternehmen wurden Fensterpreise für 4 Fensterqualitäten gemäss einer der 22 Kombinationen in Tabelle B.1-1 (Holzfenster) bzw. Tabelle B.1-2 (Kunststofffenster) abgefragt. Mit Anz. ist bezeichnet, an wieviele verschiedene Unternehmen die jeweilige Kombination verschickt wurde.

Nicht abgedeckt in dieser Darstellung sind die innovativen Unternehmen, u.a. jene, welche in der Lage sind, Fenster gemäss Passivhausstandard herzustellen. Diese wurden vorgängig telefonisch kontaktiert und nach den technischen Möglichkeiten befragt.

Ebenfalls nicht mittels dieses Versuchsplans abgedeckt sind die grössten Unternehmen der Branche. Bei diesen wurden mehr als nur vier verschiedene Fensterqualitäten abgefragt.

Tabelle B.1-1 Detail des statistischen Versuchsplans für Holz- und Holzmetallfenster

K	Anz.	Fensterqualität A			Fensterqualität B			Fensterqualität C			Fensterqualität D		
		U <sub>n</sub>	U <sub>E</sub>	dB	U <sub>n</sub>	U <sub>E</sub>	dB	U <sub>n</sub>	U <sub>E</sub>	dB	U <sub>n</sub>	U <sub>E</sub>	dB
1	2	1.1	1.6	32	0.7	1.4	32	0.5	1.4	32	0.5	1.4	36
2	2	0.7	1.2	32	0.7	1.2	40	0.5	1.0*	32	0.5	1.2	40
3	4	1.1	1.6	32	1.1	1.6	40	0.5	1.6	32	0.5	1.6	40
4	2	1.1	1.4	32	1.1	1.2	32	1.1	1.0*	32	0.7	1.0*	32
5	3	1.1	1.4	32	1.1	1.4	36	1.1	1.0*	32	0.7	1.0*	40
6	2	1.1	1.6	32	0.5	1.4	32	0.5	1.0*	32	0.5	1.0*	36
7	4	0.7	1.6	32	0.7	1.6	40	0.7	1.4	36	0.5	1.2	32
8	2	1.1	1.4	36	0.7	1.2	36	0.7	1.0*	36	0.5	1.0*	36
9	6	1.1	1.6	36	1.1	1.6	40	0.7	1.6	32	0.5	1.4	32
10	6	1.1	1.4	32	0.7	1.4	32	0.7	1.2	36	0.5	1.2	32
11	3	0.7	1.6	36	0.7	1.6	40	0.7	1.4	32	0.5	1.2	40
12	2	1.1	1.4	32	1.1	1.0*	36	0.5	1.4	32	0.5	1.4	40
13	3	1.1	1.4	32	1.1	1.4	36	1.1	1.0*	36	0.5	1.0*	32
14	5	1.1	1.4	32	0.7	1.4	36	0.7	1.4	40	0.5	1.0*	40
15	5	1.1	1.6	36	0.7	1.4	36	0.7	1.2	32	0.7	1.0*	36
16	4	1.1	1.6	32	0.7	1.6	32	0.7	1.2	32	0.7	1.2	40
17	4	1.1	1.6	36	1.1	1.6	40	0.7	1.2	40	0.5	1.2	40
18	3	0.7	1.4	32	0.7	1.4	40	0.7	1.2	40	0.5	1.2	36
19	2	1.1	1.2	32	1.1	1.2	40	0.5	1.4	32	0.5	1.4	40
20	4	1.1	1.6	40	1.1	1.4	40	1.1	1.2	32	0.7	1.0*	32
21	4	0.5	1.6	32	0.5	1.4	32	0.5	1.2	36	0.5	1.0*	32
22	4	1.1	1.4	40	0.7	1.6	32	0.7	1.6	40	0.5	1.2	32

Gemäss der Verfügbarkeit von Adressen und weil die Kunststofffensterhersteller weniger klein strukturiert sind, war die Anzahl Anfragen im Bereich Kunststoff kleiner als im Bereich der Holz und Holzmetallfenster.

Tabelle B.1-2 Detail des statistischen Versuchsplans für Kunststofffenster

K	Anz.	Fensterqualität 1			Fensterqualität 2			Fensterqualität 3			Fensterqualität 4		
		U <sub>g</sub>	U <sub>F</sub>	dB	U <sub>g</sub>	U <sub>F</sub>	dB	U <sub>g</sub>	U <sub>F</sub>	dB	U <sub>g</sub>	U <sub>F</sub>	dB
1	1	1.1	1.9	32	0.7	1.6	32	0.5	1.6	32	0.5	1.6	36
2	3	0.7	1.4	32	0.7	1.4	40	0.5	1.2*	32	0.5	1.4	40
3	1	1.1	1.9	32	1.1	1.9	40	0.5	1.9	32	0.5	1.9	40
4	3	1.1	1.6	32	1.1	1.4	32	1.1	1.2*	32	0.7	1.2*	32
5	1	1.1	1.6	32	1.1	1.6	36	1.1	1.2*	32	0.7	1.2*	40
6	2	1.1	1.9	32	0.5	1.6	32	0.5	1.2*	32	0.5	1.2*	36
7		0.7	1.9	32	0.7	1.9	40	0.7	1.6	36	0.5	1.4	32
8	2	1.1	1.6	36	0.7	1.4	36	0.7	1.2*	36	0.5	1.2*	36
9	1	1.1	1.9	36	1.1	1.9	40	0.7	1.9	32	0.5	1.6	32
10	1	1.1	1.6	32	0.7	1.6	32	0.7	1.4	36	0.5	1.4	32
11	2	0.7	1.9	36	0.7	1.9	40	0.7	1.6	32	0.5	1.4	40
12	1	1.1	1.6	32	1.1	1.2*	36	0.5	1.6	32	0.5	1.6	40
13		1.1	1.6	32	1.1	1.6	36	1.1	1.2*	36	0.5	1.2*	32
14		1.1	1.6	32	0.7	1.6	36	0.7	1.6	40	0.5	1.2*	40
15		1.1	1.9	36	0.7	1.6	36	0.7	1.4	32	0.7	1.2*	36
16	2	1.1	1.9	32	0.7	1.9	32	0.7	1.4	32	0.7	1.4	40
17	1	1.1	1.9	36	1.1	1.9	40	0.7	1.4	40	0.5	1.4	40
18	1	0.7	1.6	32	0.7	1.6	40	0.7	1.4	40	0.5	1.4	36
19		1.1	1.4	32	1.1	1.4	40	0.5	1.6	32	0.5	1.6	40
20		1.1	1.9	40	1.1	1.6	40	1.1	1.4	32	0.7	1.2*	32
21	1	0.5	1.9	32	0.5	1.6	32	0.5	1.4	36	0.5	1.2*	32
22		1.1	1.6	40	0.7	1.9	32	0.7	1.9	40	0.5	1.4	32

KOMBI	GLAS	RAHME	SCHALL	GLAS	RAHME	SCHALL	GLAS	RAHME	SCHALL	GLAS	RAHME	SCHALL
1	1.1	1.9	32	0.7	1.6	32	0.5	1.6	32	0.5	1.6	36
2	0.7	1.4	32	0.7	1.4	40	0.5	1.2*	32	0.5	1.4	40
3	1.1	1.9	32	1.1	1.9	40	0.5	1.9	32	0.5	1.9	40
4	1.1	1.6	32	1.1	1.4	32	1.1	1.2*	32	0.7	1.2*	32
5	1.1	1.6	32	1.1	1.6	36	1.1	1.2*	32	0.7	1.2*	40
6	1.1	1.9	32	0.5	1.6	32	0.5	1.2*	32	0.5	1.2*	36
7	0.7	1.9	32	0.7	1.9	40	0.7	1.6	36	0.5	1.4	32
8	1.1	1.6	36	0.7	1.4	36	0.7	1.2*	36	0.5	1.2*	36
9	1.1	1.9	36	1.1	1.9	40	0.7	1.9	32	0.5	1.6	32
10	1.1	1.6	32	0.7	1.6	32	0.7	1.4	36	0.5	1.4	32
11	0.7	1.9	36	0.7	1.9	40	0.7	1.6	32	0.5	1.4	40
12	1.1	1.6	32	1.1	1.2*	36	0.5	1.6	32	0.5	1.6	40
13	1.1	1.6	32	1.1	1.6	36	1.1	1.2*	36	0.5	1.2*	32
14	1.1	1.6	32	0.7	1.6	36	0.7	1.6	40	0.5	1.2*	40
15	1.1	1.9	36	0.7	1.6	36	0.7	1.4	32	0.7	1.2*	36
16	1.1	1.9	32	0.7	1.9	32	0.7	1.4	32	0.7	1.4	40
17	1.1	1.9	36	1.1	1.9	40	0.7	1.4	40	0.5	1.4	40
18	0.7	1.6	32	0.7	1.6	40	0.7	1.4	40	0.5	1.4	36
19	1.1	1.4	32	1.1	1.4	40	0.5	1.6	32	0.5	1.6	40
20	1.1	1.9	40	1.1	1.6	40	1.1	1.4	32	0.7	1.2*	32
21	0.5	1.9	32	0.5	1.6	32	0.5	1.4	36	0.5	1.2*	32
22	1.1	1.6	40	0.7	1.9	32	0.7	1.9	40	0.5	1.4	32

B.2 Beschreibende Statistik

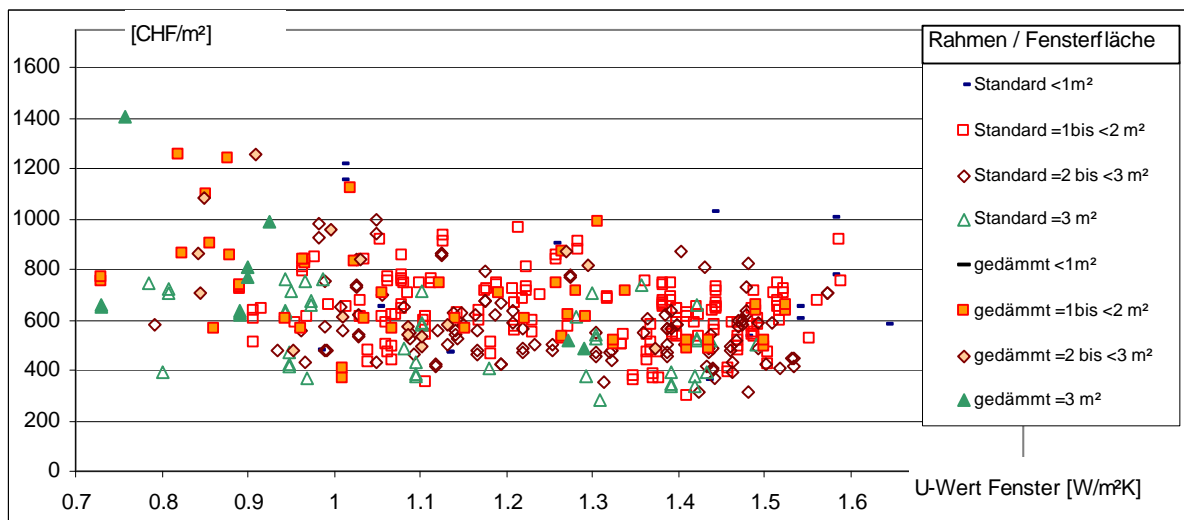


Abbildung B.2-1 Spezifische Fensterpreise (CHF/m²) in Abhängigkeit der Fenster-U-Werte für Fenster mit Holzrahmen, aufgeteilt nach Rahmenqualität (Standard oder gedämmt) und Fenstergrößenklassen.

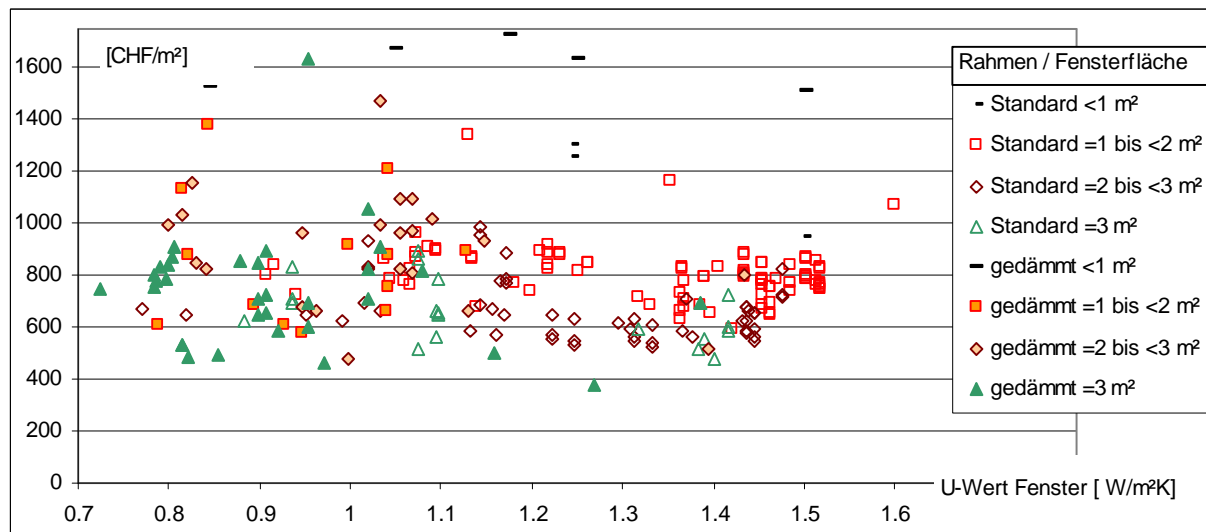


Abbildung B.2-2 Spezifische Fensterpreise (CHF/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit der Fenster-U-Werte für Fenster mit Holz-Metallrahmen aufgeteilt nach Rahmenqualität (Standard oder gedämmt) und Fenstergrößenklassen.

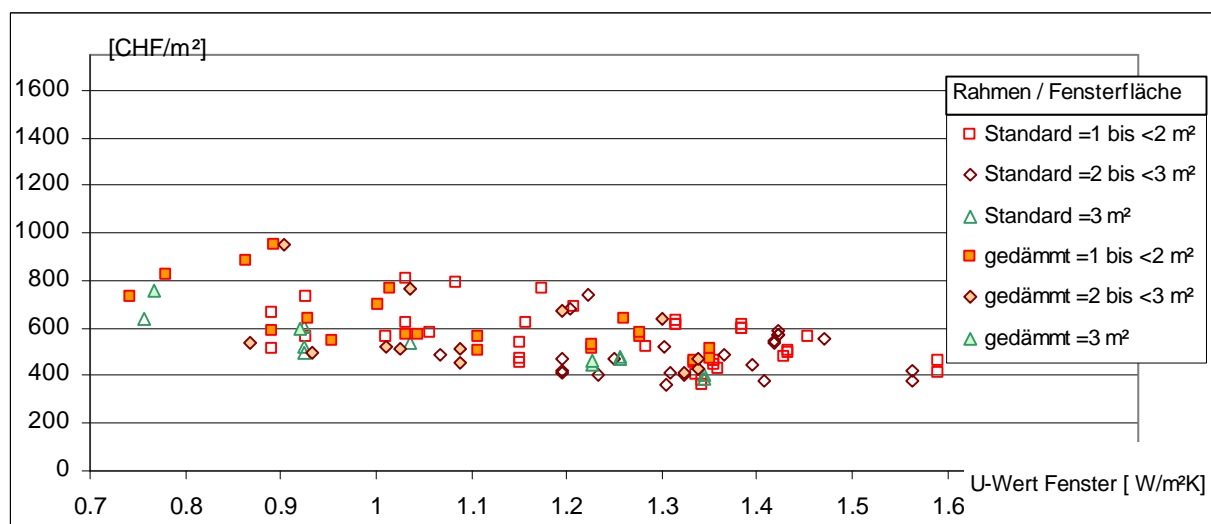


Abbildung B.2-3 Spezifische Fensterpreise (CHF/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit der Fenster-U-Werte für Fenster mit Kunststoffrahmen aufgeteilt nach Rahmenqualität (Standard oder gedämmt) und Fenstergrößenklassen.

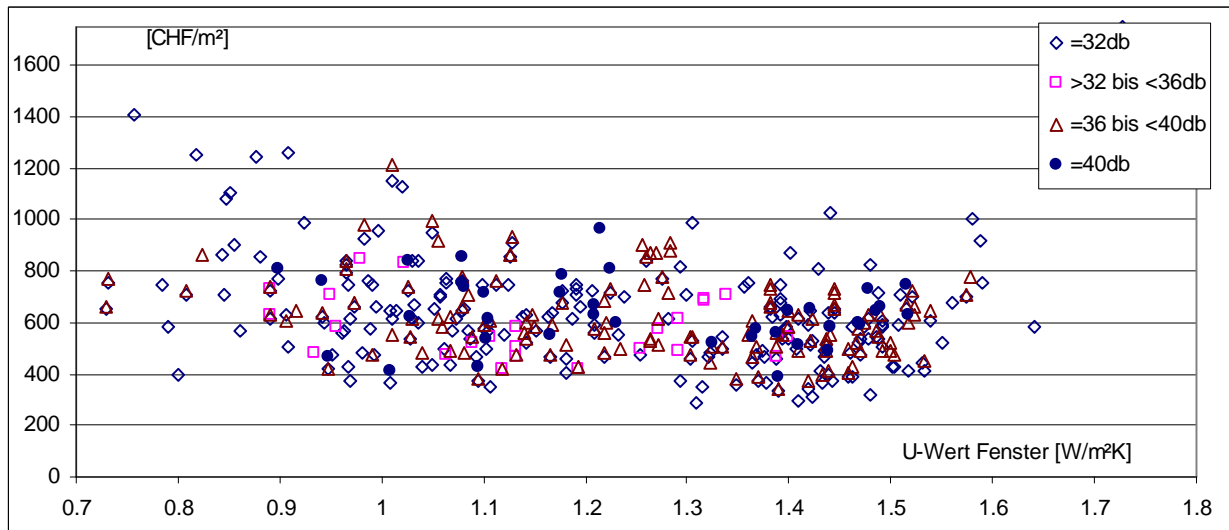


Abbildung B.2-4 Spezifische Fensterpreise (CHF/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit der Fenster-U-Werte für Fenster mit Holzrahmen, aufgeteilt nach Schalldämm-Klassen.

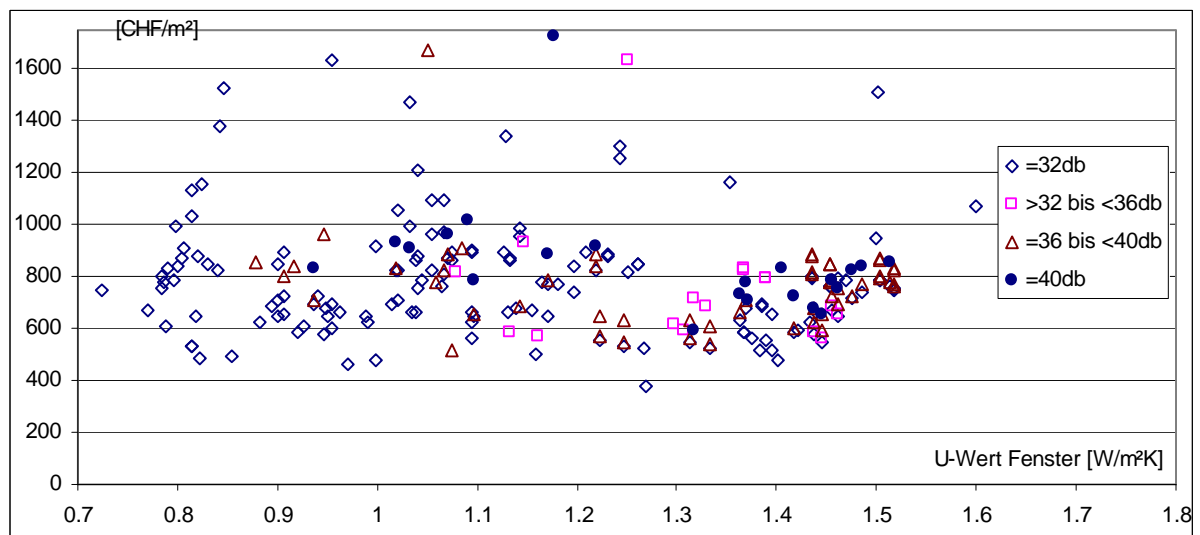


Abbildung B.2-5 Spezifische Fensterpreise (CHF/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit der Fenster-U-Werte. für Fenster mit Holz-Metall-Rahmen, aufgeteilt nach Schalldämm-Klassen

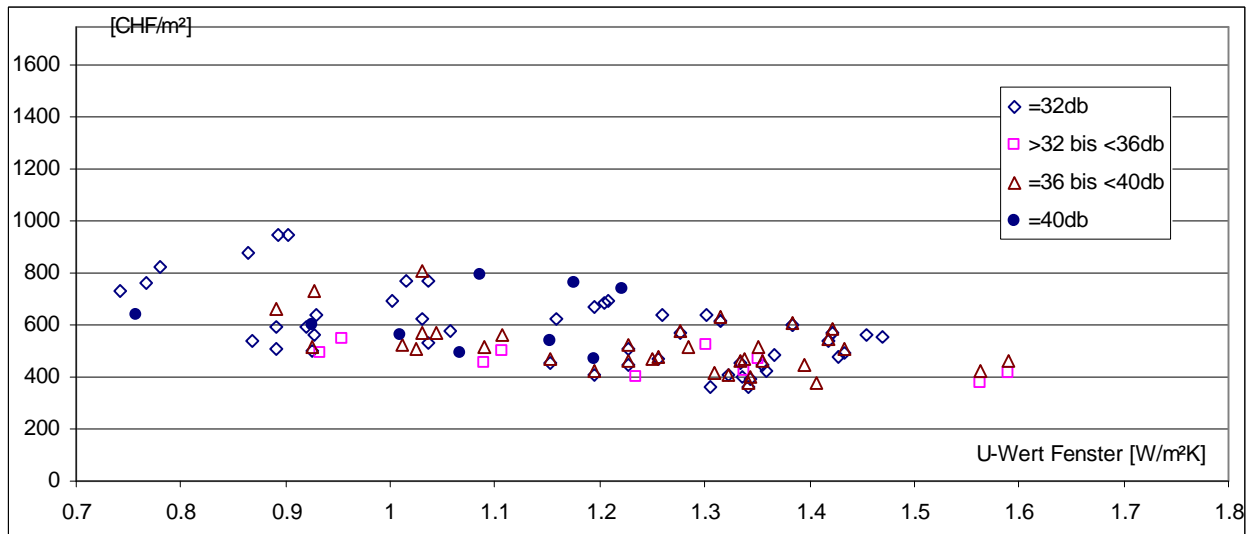


Abbildung B.2-6 Spezifische Fensterpreise (CHF/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit der Fenster-U-Werte, für Fenster mit Kunststoffrahmen, aufgeteilt nach Schalldämm-Klassen

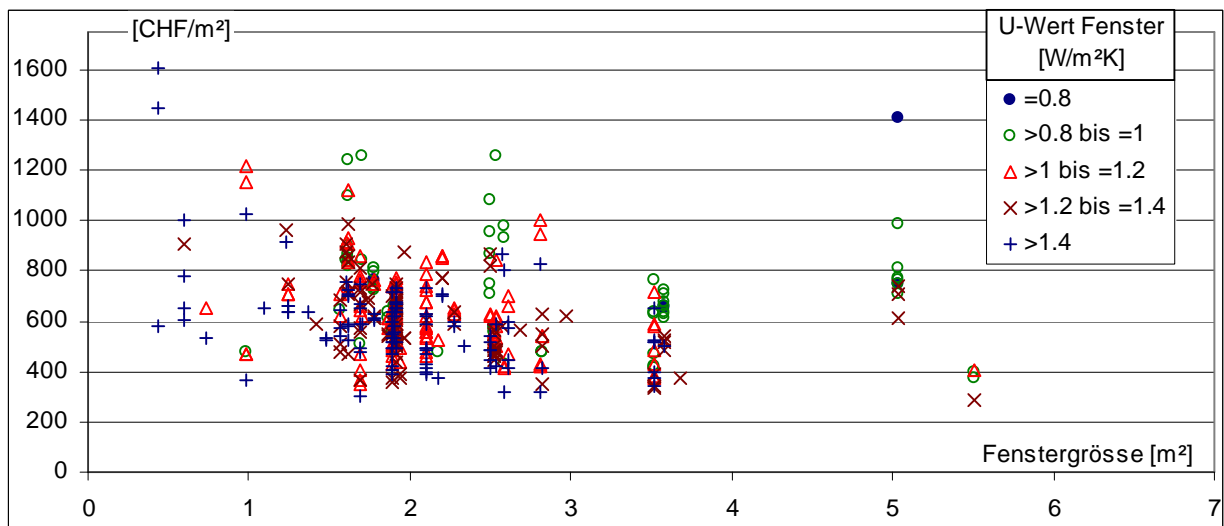


Abbildung B.2-7 Spezifische Fensterpreise (CHF/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit ihrer Fenstergrösse für Fenster mit Holzrahmen, aufgeteilt nach Fenster-U-Wert-Klassen.



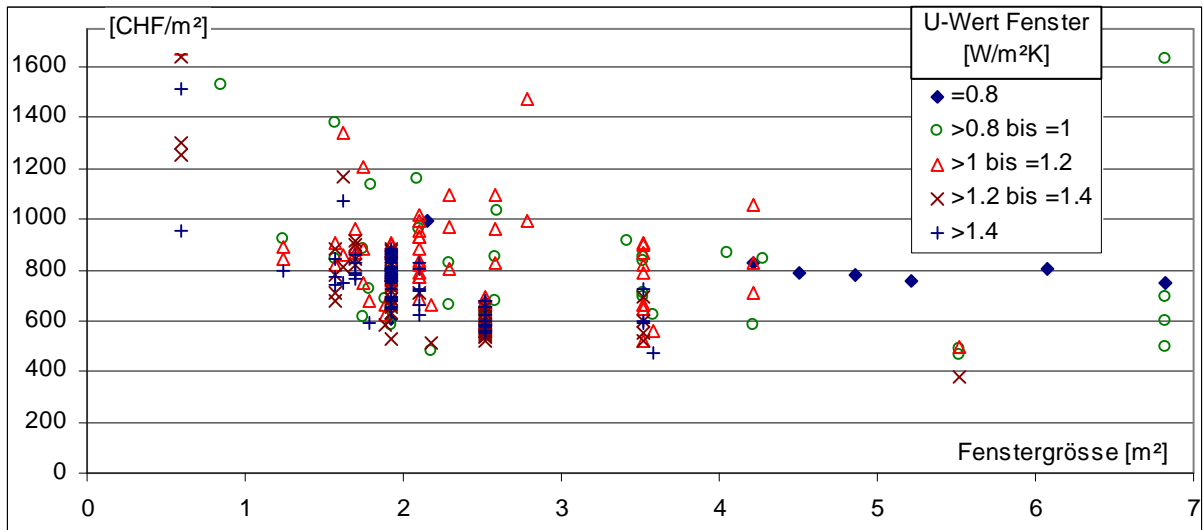


Abbildung B.2-8 Spezifische Fensterpreise (CHF/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit ihrer Fenstergrösse für Fenster mit Holz-Metallrahmen, aufgeteilt nach Fenster-U-Wert-Klassen.

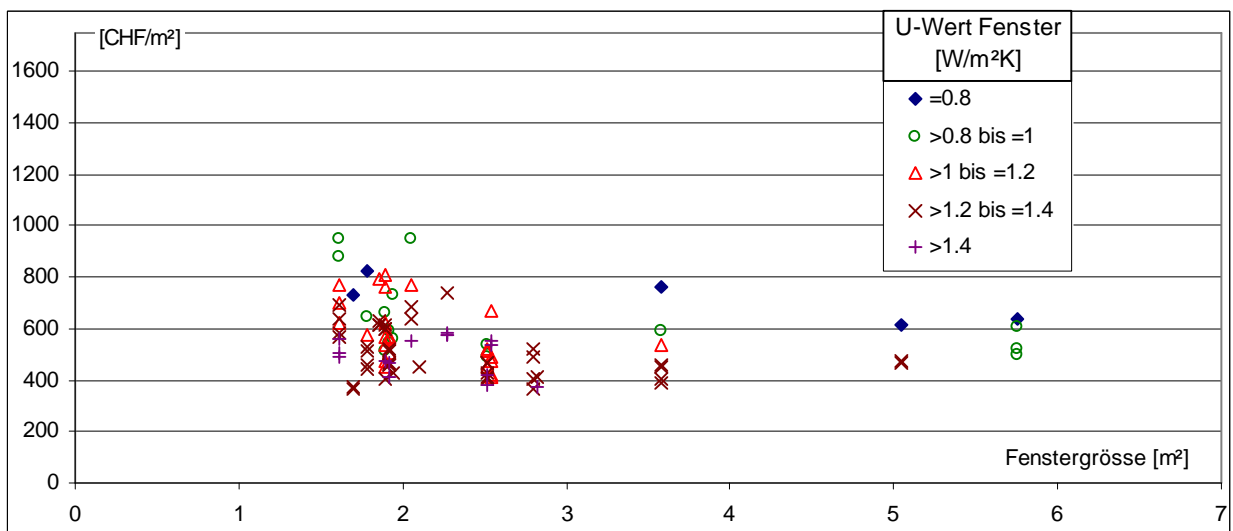


Abbildung B.2-9 Spezifische Fensterpreise (CHF/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit ihrer Fenstergrösse für Fenster mit Kunststoffrahmen, aufgeteilt nach Fenster-U-Wert-Klassen.

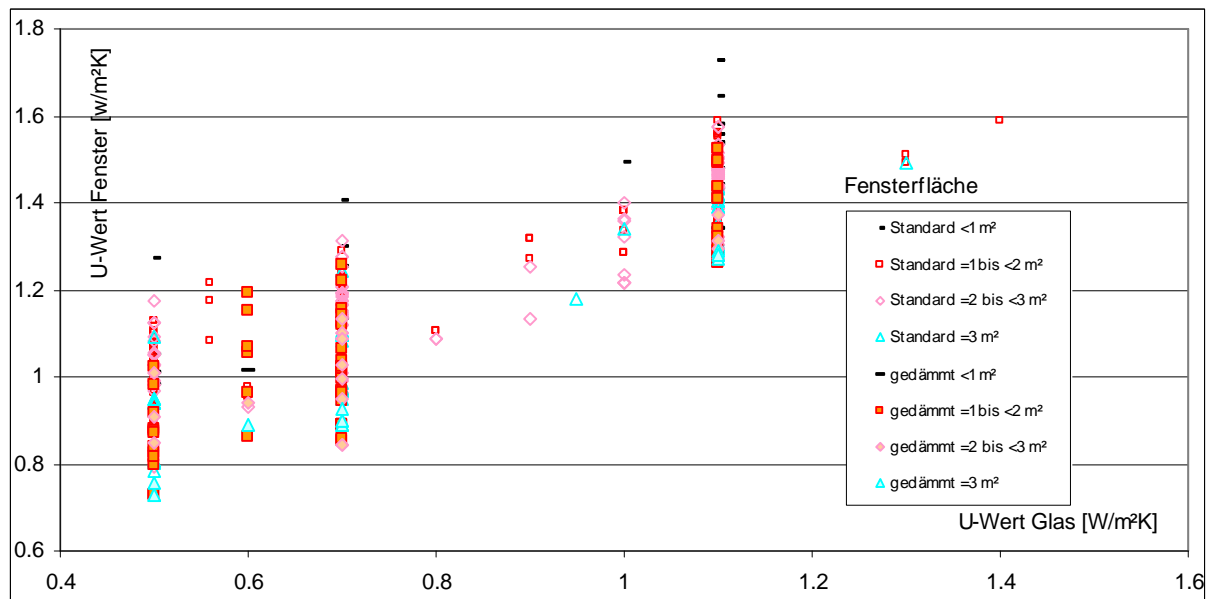


Abbildung B.2-10 Der U-Wert des Fensters in Abhängigkeit des U-Wertes des Glases. Hier berücksichtigte Daten stammen von Fenstern mit Holzrahmen. Die Punkte werden zusätzlich in Gruppen bezüglich ihrer Fensterfläche dargestellt.

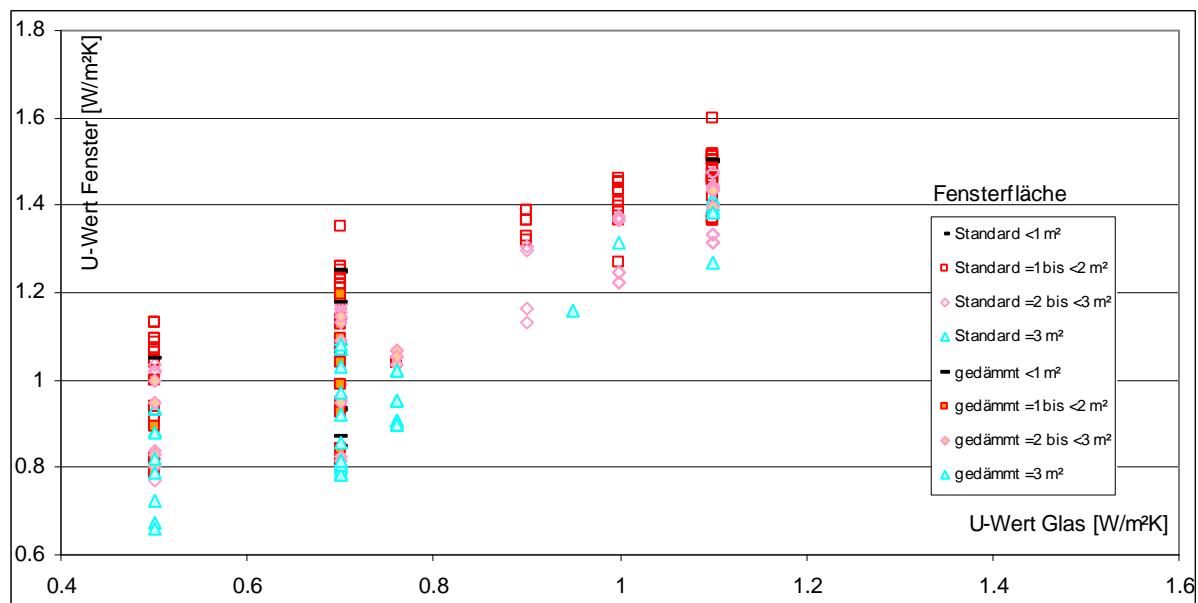


Abbildung B.2-11 Der U-Wert des Fensters in Abhängigkeit des U-Wertes des Glases. Hier berücksichtigte Daten stammen von Fenstern mit Holz-Metallrahmen. Die Punkte werden zusätzlich in Gruppen bezüglich ihrer Fensterfläche dargestellt.

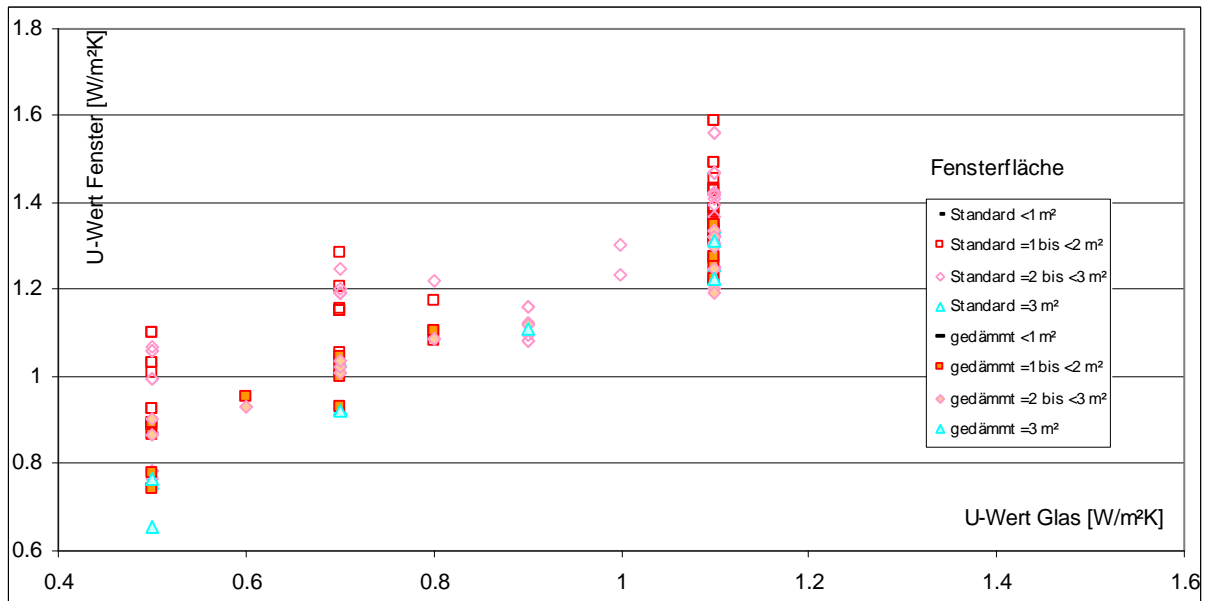


Abbildung B.2-12 Der U-Wert des Fensters in Abhängigkeit des U-Wertes des Glases. Hier berücksichtigte Daten stammen von Fenstern mit Kunststoffrahmen. Die Punkte werden zusätzlich in Gruppen bezüglich ihrer Fensterfläche dargestellt.

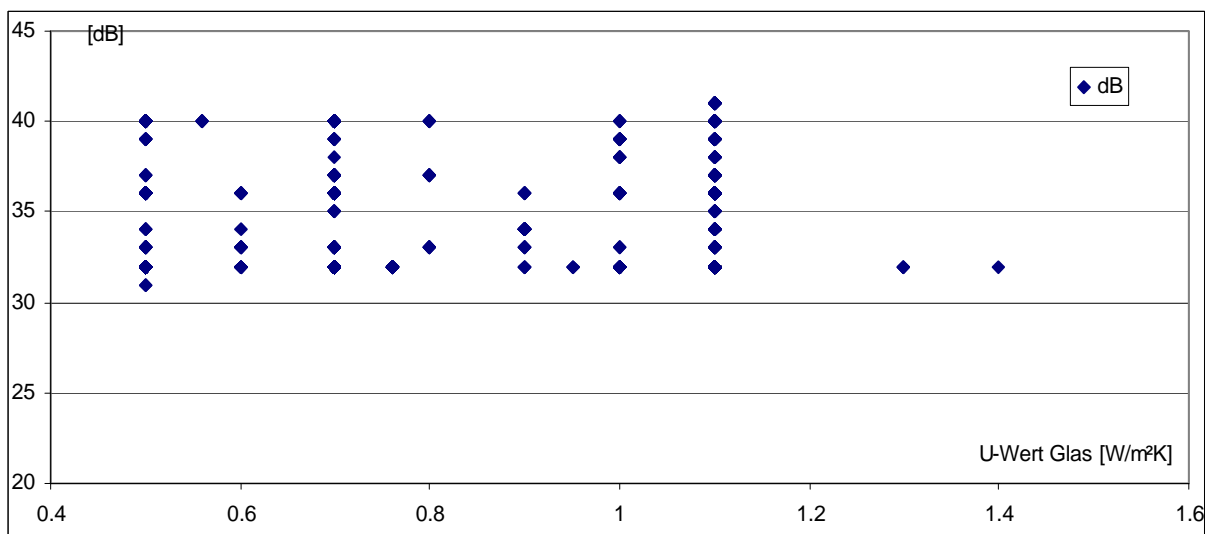


Abbildung B.2-13 Das Schalldämmmass in Abhängigkeit des U-Wertes des Glases.

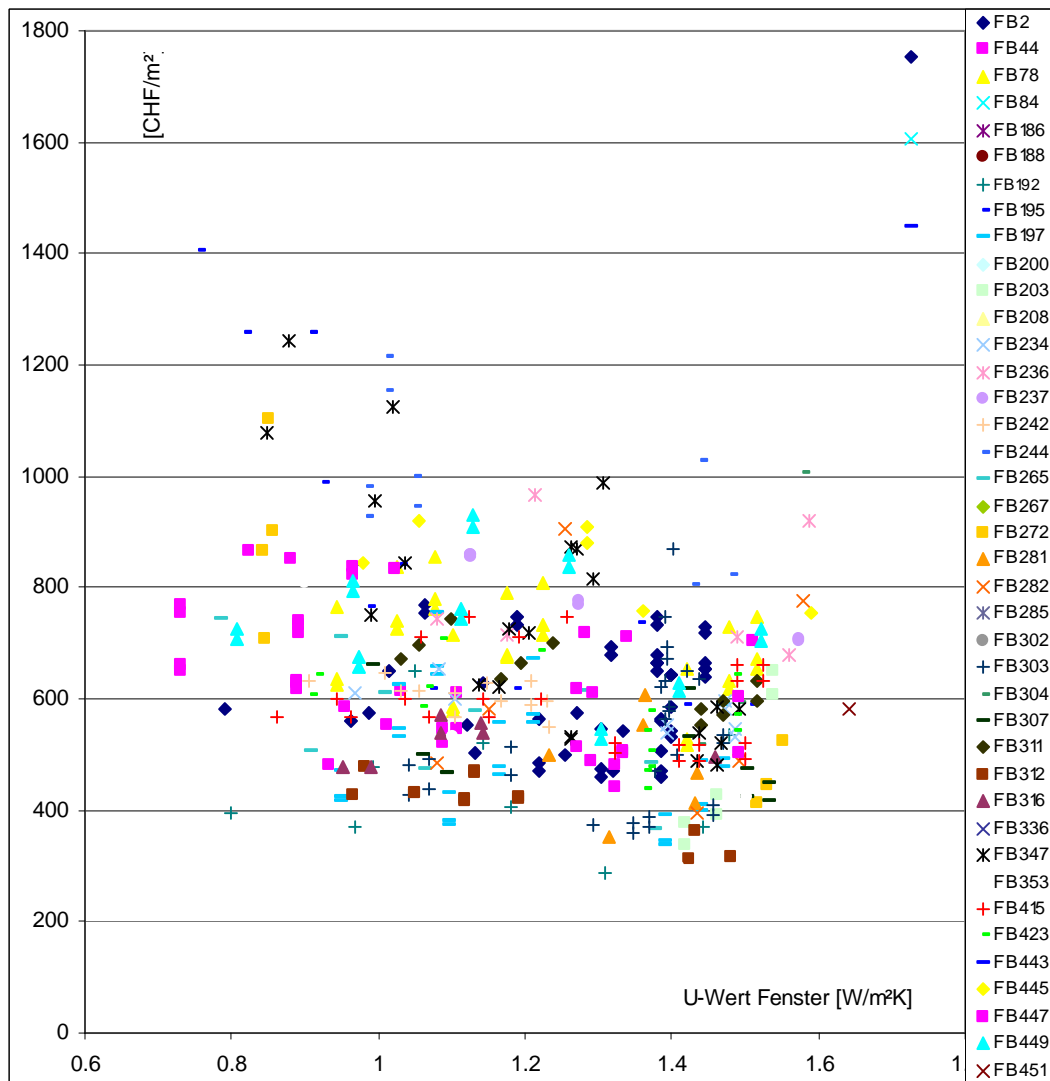


Abbildung B.2-14 Quadratmeter-Fensterpreise der einzelnen Fensterbauer in Abhängigkeit der U-Werte der Fenster. Die hier dargestellten Werte stammen von Fenstern mit Holzrahmen.

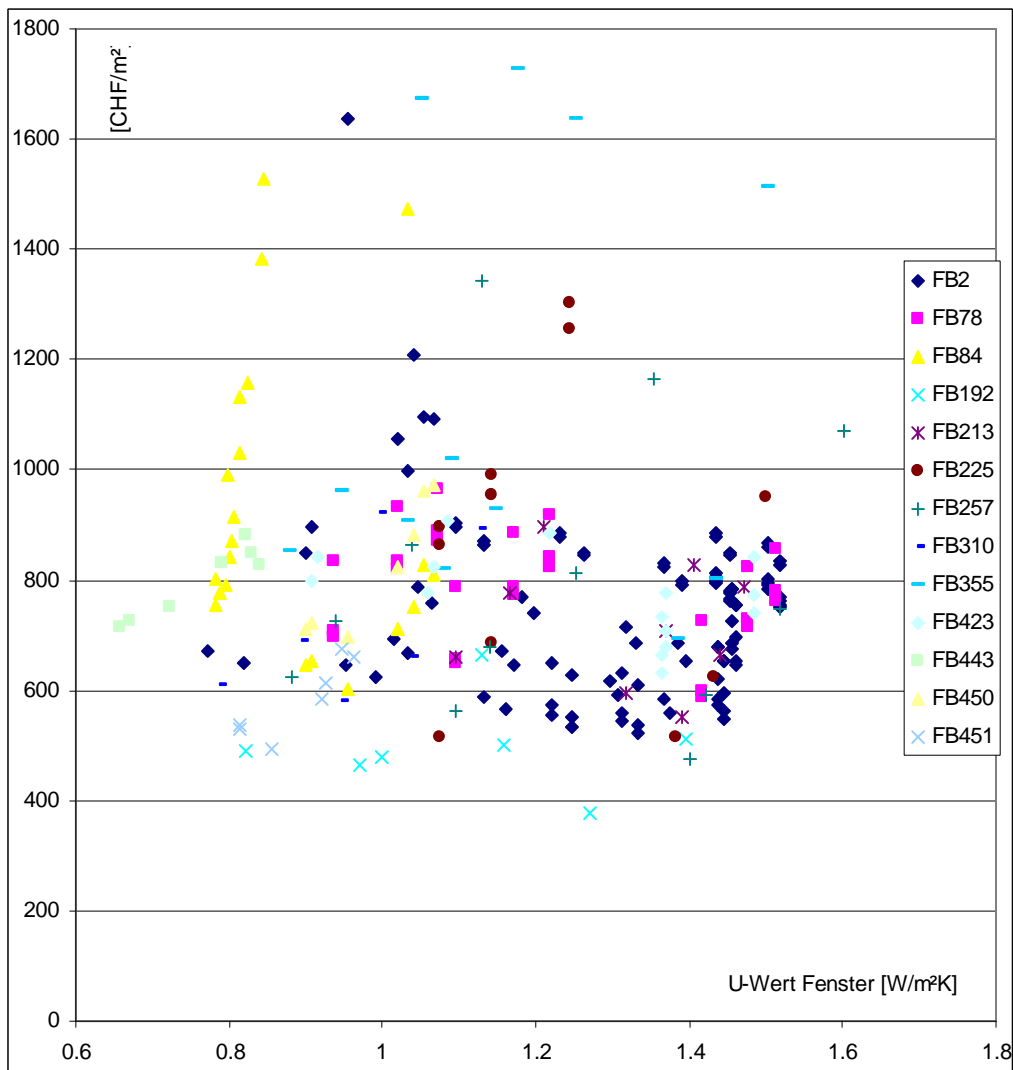


Abbildung B.2-15 Quadratmeter-Fensterpreise der einzelnen Fensterbauer in Abhängigkeit der U-Werte der Fenster. Die hier dargestellten Werte stammen von Fenstern mit Holz-Metallrahmen.

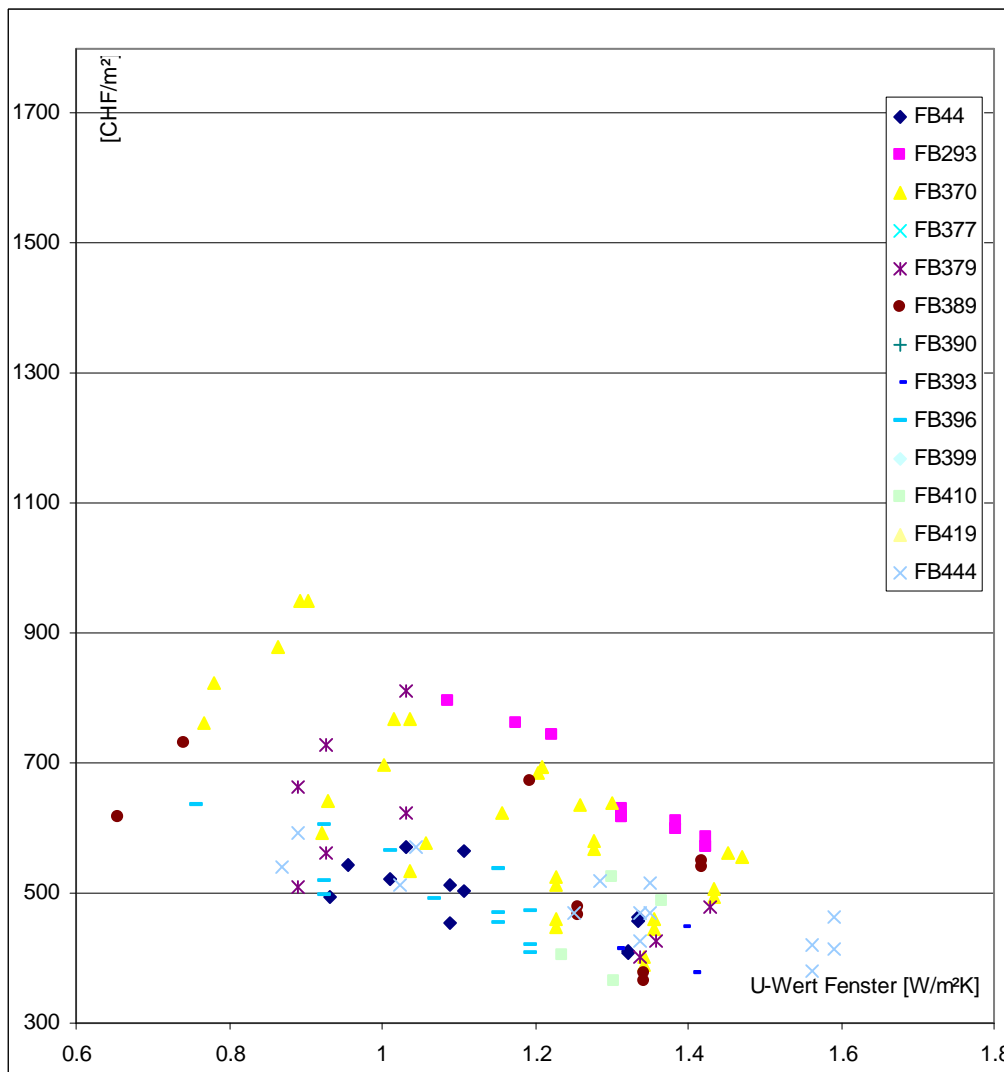


Abbildung B.2-16 Quadratmeter-Fensterpreise der einzelnen Fensterbauer in Abhängigkeit der U-Werte der Fenster. Die hier dargestellten Werte stammen von Fenstern mit Kunststoffrahmen.

## C Heizwärmebedarf in Funktion verschiedener Einflussfaktoren

### C.1 Energiebilanz von Fenstern, Sensitivitätsrechnungen

Tabelle C.1-1 Energiebilanz unterschiedlicher Fensterqualitäten bei verschiedenen Einbausituationen ( $\text{MJ}/\text{m}^2_{\text{Fenster}}\text{a}$ ), ohne Berücksichtigung der linearen Verluste der Fensterleibungen. Werte in fett: am Markt weit verbreitete Fenstertypen.

	Beschattungsfaktor=0.9 fg= 0.94 bis 0.96				Beschattungsfaktor =0.7 fg 0.96 bis 0.97				Beschattungsfaktor =0.5 fg 0.97 bis 0.98			
	Süd	Ost	West	Nord	Süd	Ost	West	Nord	Süd	Ost	West	Nord
Referenzfenster, g=0.65	172	-115	-95	-304	35	-192	-176	-341	-108	-272	-261	-381
Referenzfenster, g=0.57	97	-157	-139	-324	-25	-226	-212	-358	-153	-298	-288	-394
Dreifachglas U=0.7	136	-96	-80	-249	24	-159	-147	-280	-93	-225	-216	-312
Dreifachglas U=0.5, g=0.42	83	-106	-93	-231	-10	-159	-149	-257	-105	-213	-205	-283
Dreifachglas U=0.5, g=0.5	160	-63	-47	-210	52	-124	-112	-240	-60	-187	-178	-271
Rahmen 0.8, Glas Referenz	162	-91	-74	-258	40	-160	-146	-292	-86	-231	-221	-327
Rahmen 0.8, Glas U=0.7	201	-30	-14	-182	89	-93	-80	-213	-26	-158	-149	-245
Passivhausfenster* (g=0.42)	176	-12	1	-136	84	-64	-54	-161	-10	-117	-110	-188
Passivhausfenster (g=0.5)	253	31	46	-115	146	-29	-17	-144	35	-92	-83	-175

Quelle Berechnungen CEPE mittels Entech, Monatsmethode, Fensteranteil  $A_{Fe}/EBF=0.2$  (50% Süd, je 16 bzw. 17% für Ost/West bzw. Nord), Rahmenanteil Fenster 30%, **Gebäudehülle heutiger Baustandard**, interne Wärmegewinne gemäss Standardnutzung EFH,

Tabelle C.1-2 Energiebilanz unterschiedlicher Fensterqualitäten bei verschiedenen Einbausituationen ( $\text{MJ}/\text{m}^2_{\text{Fenster}}\cdot\text{a}$ ), ohne Berücksichtigung der linearen Verluste der Fensterleibungen. Werte in fett: am Markt weit verbreitete Fenstertypen.

	Beschattungsfaktor=0.9 fg= 0.81 bis 0.87				Beschattungsfaktor =0.7 fg 0.85 bis 0.90				Beschattungsfaktor =0.5 fg 0.89 bis 0.93			
	Süd	Ost	West	Nord	Süd	Ost	West	Nord	Süd	Ost	West	Nord
Referenzfenster, g=0.65	95	-158	-141	-325	-10	-217	-203	-354	-130	-285	-275	-387
Referenzfenster, g=0.57	39	-190	-174	-341	-60	-246	-233	-368	-170	-308	-298	-398
Dreifachglas U=0.7	78	-129	-115	-265	-11	-179	-167	-290	-111	-235	-227	-317
Dreifachglas U=0.5, g=0.42	41	-130	-118	-243	-35	-173	-164	-264	-119	-220	-213	-287
Dreifachglas U=0.5, g=0.5	101	-96	-83	-226	17	-144	-133	-250	-78	-197	-189	-276
Rahmen 0.8, Glas Referenz	95	-129	-114	-276	0	-182	-170	-303	-107	-243	-233	-332
Rahmen 0.8, Glas U=0.7	134	-68	-54	-201	49	-116	-105	-224	-47	-170	-162	-251
Passivhausfenster* (g=0.42)	124	-41	-30	-150	52	-82	-73	-170	-27	-127	-120	-192
Passivhausfenster (g=0.5)	180	-10	3	-135	101	-54	-44	-157	12	-105	-97	-182

Quelle Berechnungen CEPE mittels Entech, Monatsmethode, Fensteranteil  $A_{Fe}/EBF=0.2$  (50% Süd, je 16 bzw. 17% für Ost/West bzw. Nord), Rahmenanteil Fenster 30%, **Wärmedämmung äquival. Passivhaus (rund 30cm)**, interne Wärmegevinne gemäss Standardnutzung EFH, mit WRG, **energetisch wirksamer Lüftungsverlust 0.15/h** Gewinn/Verlust<0.85

Bei der nachfolgenden *Tabelle C.1-3* wird der Einfluss eines höheren Glasanteils (geringerer Rahmenanteil) ersichtlich, indem die Werte dieser Tabelle mit denjenigen in Tabelle 4.2-17 verglichen werden. Hinweis: *Die Werte in Tabelle C.1-3 sind nur für die Sensitivität des höheren Glasanteils zu verwenden (ceteris paribus Berechnung)*; realistischerweise ist ein so tiefer Glasanteil eher bei grösserflächigen Fenstern zu erreichen. Diese haben bei den angenommenen g-Werten jedoch einen tieferen Gesamtfenster-U-Wert. Die Energiebilanz von grossflächigen Fenstern mit entsprechend hohem Glasanteil ist in Tabelle Tabelle 4.2-18 im Haupttext zu finden (Gebäudehülle Minergiequalität) und in Tabelle C.1-4 für eine Gebäudehüllenqualität gemäss heutiger Bauweise.



Tabelle C.1-3 Energiebilanz unterschiedlicher Fensterqualitäten bei verschiedenen Einbausituationen (MJ/m<sup>2</sup>Fenster a), kleine Fenster (1.7 m<sup>2</sup>), Sensitivität hoher Glasanteil (85% pro Fenster) ohne Berücksichtigung der linearen Verluste der Fensterleibungen. Werte in fett: am Markt weit verbreitete Fenstertypen.

	Beschattungsfaktor=0.9 fg= 0.83 bis 0.87				Beschattungsfaktor =0.7 fg 0.85 bis 0.90				Beschattungsfaktor =0.5 fg 0.89 bis 0.93			
	Süd	Ost	West	Nord	Süd	Ost	West	Nord	Süd	Ost	West	Nord
Referenzfenster, g=0.65	<b>225</b>	<b>-85</b>	<b>-64</b>	<b>-289</b>	<b>100</b>	<b>-155</b>	<b>-138</b>	<b>-324</b>	<b>-47</b>	<b>-238</b>	<b>-225</b>	<b>-364</b>
Referenzfenster, g=0.57	<b>158</b>	<b>-122</b>	<b>-103</b>	<b>-307</b>	<b>39</b>	<b>-190</b>	<b>-174</b>	<b>-340</b>	<b>-96</b>	<b>-266</b>	<b>-254</b>	<b>-378</b>
Dreifachglas U=0.7	<b>190</b>	<b>-65</b>	<b>-48</b>	<b>-234</b>	<b>82</b>	<b>-127</b>	<b>-112</b>	<b>-264</b>	<b>-42</b>	<b>-196</b>	<b>-186</b>	<b>-298</b>
Dreifachglas U=0.5, g=0.42	<b>137</b>	<b>-76</b>	<b>-61</b>	<b>-216</b>	<b>42</b>	<b>-129</b>	<b>-118</b>	<b>-242</b>	<b>-62</b>	<b>-188</b>	<b>-179</b>	<b>-271</b>
Dreifachglas U=0.5, g=0.5	211	-34	-18	-196	107	-93	-79	-225	-11	-159	-149	-257
Rahmen 0.8, Glas Referenz												
Rahmen 0.8, Glas U=0.7	246	-4	13	-170	142	-63	-49	-199	22	-131	-120	-232
Passivhausfenster* (g=0.42)	222	14	28	-123	131	-37	-26	-148	31	-94	-86	-176
Passivhausfenster (g=0.5)	290	52	69	-104	193	-3	11	-131	80	-66	-56	-163

Quelle Berechnungen CEPE mittels Entech, Monatsmethode, Fensteranteil A<sub>f</sub>/EBF=0.2 (50% Süd, je 16 bzw. 17% für Ost/West bzw. Nord), Rahmenanteil 15%, **Wärmedämmung äquival. Minergie (rund 20cm)**, interne Wärmegewinne und Lüftungsverluste gemäss Standardnutzung EFH

Tabelle C.1-4 Energiebilanz (MJ/m<sup>2</sup><sub>Fenster a</sub>) **grossflächiger Fenster (5 m<sup>2</sup>) mit hohem Glasanteil von 85%** für unterschiedlicher Fensterqualitäten bei verschiedenen Einbausituationen, ohne Berücksichtigung der linearen Verluste der Fensterleibungen

U <sub>w</sub>		Beschattungsfaktor=0.9 fg= 0.87 bis 0.9				Beschattungsfaktor =0.7 fg 0.91 bis 0.94				Beschattungsfaktor =0.5 fg 0.94 bis 0.96			
		Süd	Ost	West	Nord	Süd	Ost	West	Nord	Süd	Ost	West	Nord
1.28	<b>Referenzfenster, g=0.65</b>	<b>328</b>	<b>7</b>	<b>29</b>	<b>-204</b>	<b>192</b>	<b>-69</b>	<b>-51</b>	<b>-242</b>	<b>38</b>	<b>-157</b>	<b>-143</b>	<b>-285</b>
1.28	<b>Referenzfenster, g=0.57</b>	<b>255</b>	<b>-34</b>	<b>-14</b>	<b>-224</b>	<b>128</b>	<b>-106</b>	<b>-90</b>	<b>-260</b>	<b>-13</b>	<b>-185</b>	<b>-174</b>	<b>-299</b>
0.94	<b>Dreifachglas Ug=0.7</b>	<b>304</b>	<b>41</b>	<b>59</b>	<b>-132</b>	<b>188</b>	<b>-24</b>	<b>-10</b>	<b>-164</b>	<b>60</b>	<b>-97</b>	<b>-86</b>	<b>-200</b>
0.77	<b>3fach-WS, Ug=0.5, g=0.42</b>	<b>255</b>	<b>37</b>	<b>52</b>	<b>-107</b>	<b>155</b>	<b>-19</b>	<b>-7</b>	<b>-134</b>	<b>47</b>	<b>-80</b>	<b>-71</b>	<b>-164</b>
0.77	3fach-WS, Ug=0.5, g=0.5	333	81	98	-85	222	19	33	-116	100	-51	-40	-150
1.17	U <sub>Rahmen</sub> 0.8, Glas Referenz	285	-3	17	-192	159	-73	-58	-227	19	-152	-141	-266
0.83	U <sub>Rahmen</sub> 0.8, 3fach-WS, Ug=0.7	333	72	90	-100	219	8	22	-132	92	-64	-53	-167
<b>0.66</b>	<b>PH*-fenster (g=0.42)</b>	<b>285</b>	<b>69</b>	<b>84</b>	<b>-74</b>	<b>187</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	<b>-101</b>	<b>80</b>	<b>-47</b>	<b>-38</b>	<b>-131</b>
<b>0.66</b>	<b>PH-fenster (g=0.5)</b>	<b>362</b>	<b>112</b>	<b>129</b>	<b>-53</b>	<b>254</b>	<b>51</b>	<b>65</b>	<b>-83</b>	<b>132</b>	<b>-18</b>	<b>-8</b>	<b>-117</b>

Quelle Berechnungen CEPE mittels Entech, Monatsmethode, Fensteranteil A<sub>f</sub>/EBF=0.2 (50% Süd, je 16 bzw. 17% für Ost/West bzw. Nord), Rahmenanteil 15%, Wärmedämmung Gebäudehülle ähnlich heutige Bauweise (U-Wert=0.3), interne Wärmegewinne und Lüftungsverluste gemäss Standardnutzung EFH,

## C.2 Heizwärmebedarf in Funktion der Fensterflächen

Nachfolgend die Gebäude-Heizwärmebedarfe in Funktion der Fensterflächen für Gebäude mit Gebäudehülle der Passivhausqualität (Annahme:  $U$ -Wert= $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Die Annahme bei den Sensitivitätsrechnungen von Abbildung C.2-1 bis Abbildung C.2-4 ist, dass die Fläche pro Fenster **nicht** ändert in Funktion des zunehmenden Fensterflächenanteils (und damit auch nicht die  $U$ -Werte sowie die Glasanteile pro Fenster. Aufgezeigt wird also der Effekt von mehr Fenstern der gleichen Fläche. [Eine Sensitivitätsrechnung, bei der gleichzeitig realistische Annahmen über die zunehmende Fläche pro Fenster und entsprechend höhere Glasanteile und tiefere  $U$ -Werte (von  $1.7 \text{ m}^2$  zu  $5 \text{ m}^2$  ergibt sich immerhin eine Verbesserung um ca.  $0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$  bis  $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) in Funktion des zunehmendem Fensterflächenanteils getroffen werden, ist noch ausstehend].

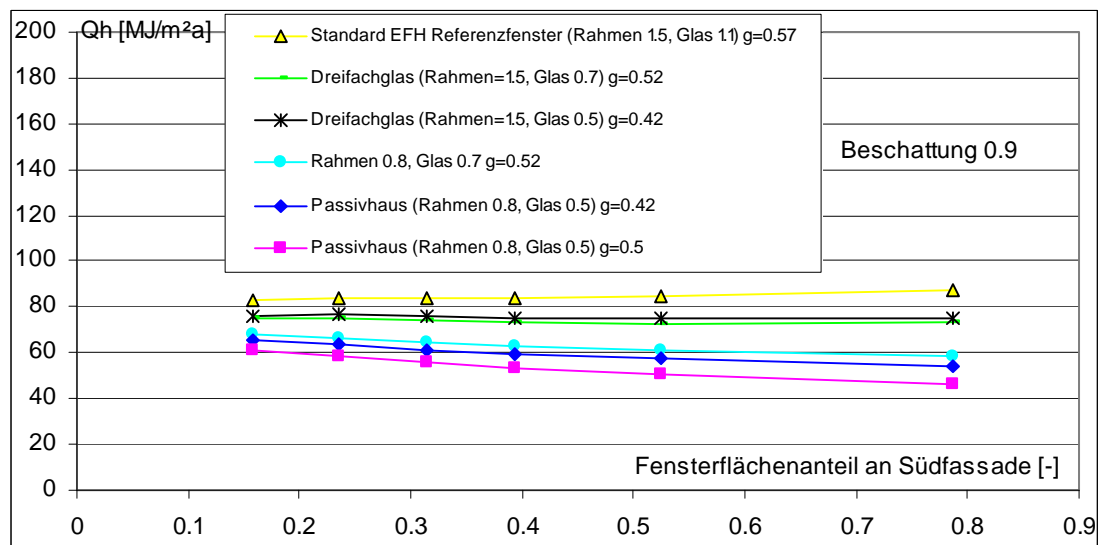


Abbildung C.2-1 Der Heizwärmebedarf  $Q_h$  in Abhängigkeit der Fensteranteile an der Südfassade für verschiedene Fensterqualitäten. Ausgangslage ist ein Einfamilienhaus mit Wand- $U$ -Wert von  $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , energetisch wirksamen Luftwechsel von  $0.15$  und einer Beschattung von  $0.9$ .

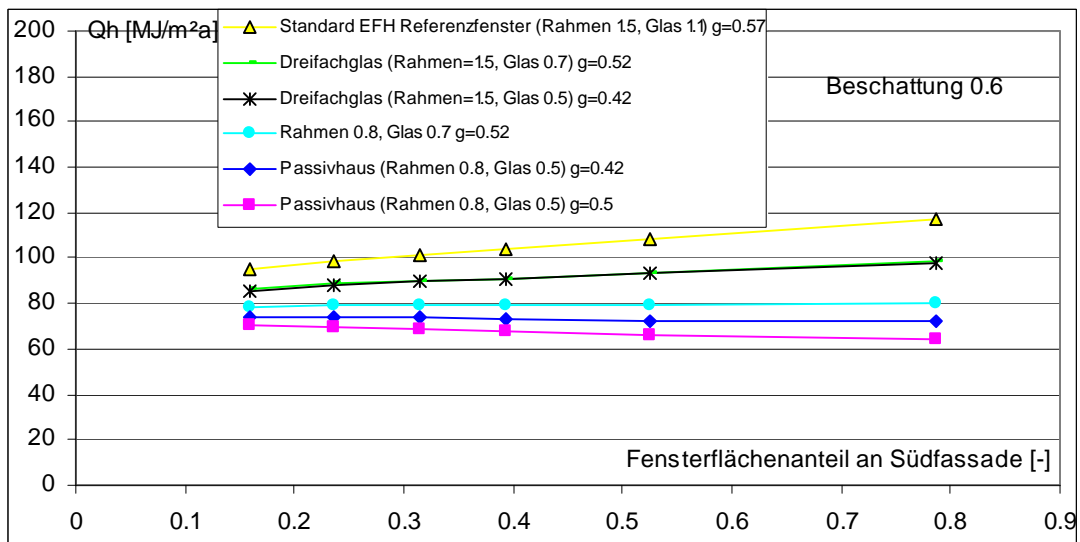


Abbildung C.2-2 Der Heizwärmebedarf  $Q_h$  in Abhängigkeit der Fensteranteile an der Südfassade für verschiedene Fensterqualitäten. Ausgangslage ist ein Einfamilienhaus mit Wand-U-Wert von  $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , energetisch wirksamen Luftwechsel von  $0.15$  und einer Beschattung von  $0.6$ .

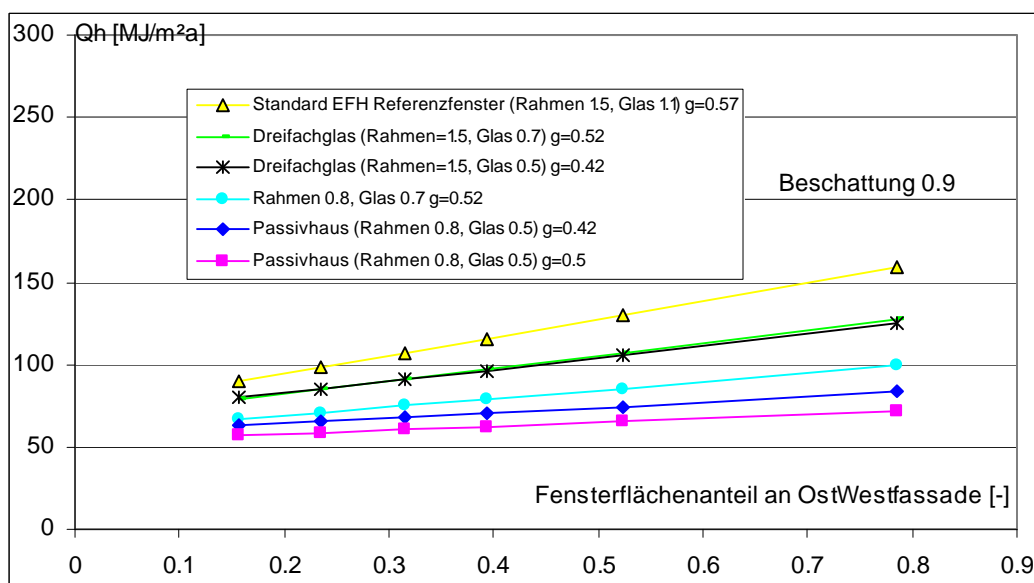


Abbildung C.2-3 Der Heizwärmebedarf  $Q_h$  in Abhängigkeit der Fensteranteile an der Ost- und Westfassade für verschiedene Fensterqualitäten. Ausgangslage ist ein Einfamilienhaus mit Wand-U-Wert von  $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , energetisch wirksamen Luftwechsel von  $0.15$  und einer Beschattung von  $0.9$ .

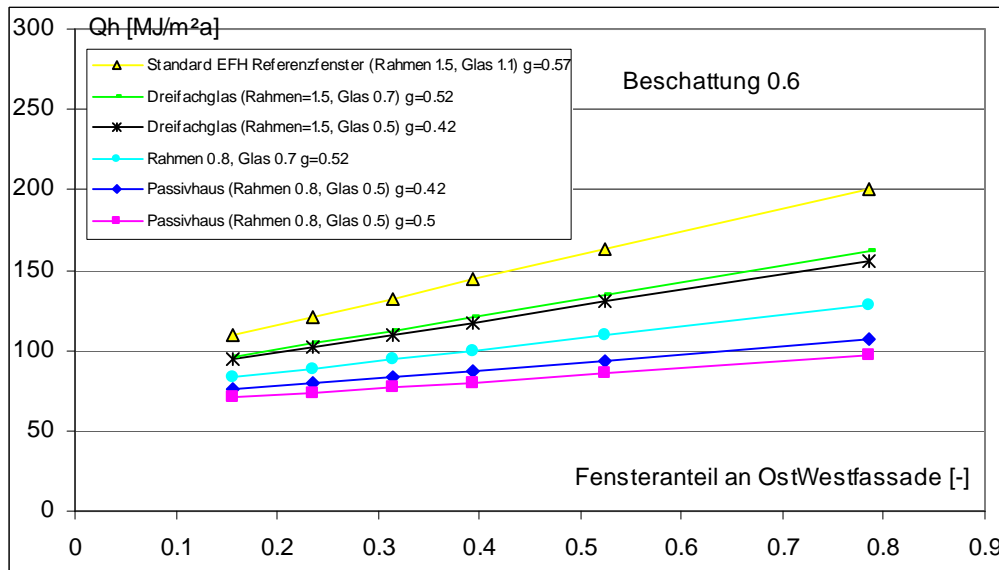


Abbildung C.2-4 Der Heizwärmebedarf  $Q_h$  in Abhängigkeit der Fensteranteile an der Ost- und Westfassade für verschiedene Fensterqualitäten. Ausgangslage ist ein Einfamilienhaus mit Wand-U-Wert von  $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , energetisch wirksamen Luftwechsel von  $0.15$  und einer Beschattung von  $0.6$ .

### C.3 Sensitivitätsrechnungen: Grenzkosten der Vergrößerung der Fensterflächen

#### Fall 3b Wechsel zu grösserflächigen Fenstern

Tabelle C.3-1 Grenzkosten der Vergrößerung der Fensterflächenanteile bei gleichzeitigem Wechsel von kleinflächigen zu grossflächigen Fenstern, Südorientierung (Fallbeispiel **Wand gemäss heutiger Bauweise**,  $U\text{-Wert}_{\text{Wand}}=0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), gemessen am kleinflächigen Fenster der jeweiligen Qualität

Süden	Beschattungssituation			
	0.9	0.7	0.5	0.3
Referenzfenster (Rahmen 1.5, Glas 1.1) $g=0.65$	0.08	0.10	0.16	0.67
Referenzfenster (Rahmen 1.5, Glas 1.1) $g=0.57$	0.08	0.10	0.18	
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.7) $g=0.52$	0.09	0.11	0.16	0.36
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.5) $g=0.42$	0.11	0.13	0.19	0.35
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.5) $g=0.5$	0.12	0.14	0.19	0.33
Rahmen 0.8, Glas 1.1 $g=0.57$	0.13	0.17	0.30	
Rahmen 0.8, Glas 0.7 $g=0.52$	0.15	0.18	0.25	0.55
Passivhaus (Rahmen 0.8, Glas 0.5) $g=0.42$	0.18	0.23	0.32	0.65
Passivhaus (Rahmen 0.8, Glas 0.5) $g=0.5$	0.18	0.22	0.29	0.55

Quelle Erhebungen, Auswertungen und Grenzkostenberechnungen: CEPE

Tabelle C.3-2 Grenzkosten der Vergrößerung der Fensterflächenanteile bei gleichzeitigem Wechsel von kleinflächigen zu grossflächigen Fenstern, Ost- und Westorientierung (Fallbeispiel **Wand gemäss heutiger Bauweise** -Wand,  $U\text{-Wert}_{\text{Wand}}=0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), gemessen am kleinflächigen Fenster der jeweiligen Qualität

	Beschattung 0.9		Beschattung 0.7	
	Ost	West	Ost	West
Referenzfenster (Rahmen 1.5, Glas 1.1) $g=0.65$	0.27	0.23	0.48	0.39
Referenzfenster (Rahmen 1.5, Glas 1.1) $g=0.57$	0.32	0.27	0.72	0.53
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.7) $g=0.52$	0.24	0.22	0.33	0.30
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.5) $g=0.42$	0.26	0.24	0.34	0.31
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.5) $g=0.5$	0.26	0.24	0.33	0.31
Rahmen 0.8, Glas 1.1 $g=0.57$	0.49	0.42	1.01	0.78
Rahmen 0.8, Glas 0.7 $g=0.52$	0.36	0.33	0.49	0.45
Passivhaus (Rahmen 0.8, Glas 0.5) $g=0.42$	0.43	0.39	0.57	0.52
Passivhaus (Rahmen 0.8, Glas 0.5) $g=0.5$	0.40	0.38	0.51	0.48

Quelle Erhebungen, Auswertungen und Grenzkostenberechnungen: CEPE

Tabelle C.3-3 Grenzkosten der Vergrößerung der Fensterflächenanteile bei gleichzeitigem Wechsel von kleinflächigen zu grossflächigen Fenstern, Südorientierung (Fallbeispiel **Passivhauswand**,  $U\text{-Wert}_{\text{Wand}}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), gemessen am kleinflächigen Fenster der jeweiligen Qualität

Süden	Beschattungssituation			
	0.9	0.7	0.5	0.3
Referenzfenster (Rahmen 1.5, Glas 1.1) $g=0.65$	0.06	0.07	0.13	3.38
Referenzfenster (Rahmen 1.5, Glas 1.1) $g=0.57$	0.05	0.07	0.15	
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.7) $g=0.52$	0.07	0.09	0.14	0.41
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.5) $g=0.42$	0.09	0.11	0.17	0.40
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.5) $g=0.5$	0.10	0.12	0.17	0.35
Rahmen 0.8, Glas 1.1 $g=0.57$	0.11	0.16	0.30	
Rahmen 0.8, Glas 0.7 $g=0.52$	0.13	0.17	0.25	0.71
Passivhaus (Rahmen 0.8, Glas 0.5) $g=0.42$	0.17	0.22	0.33	0.89
Passivhaus (Rahmen 0.8, Glas 0.5) $g=0.5$	0.17	0.21	0.30	0.67

Quelle Erhebungen, Auswertungen und Grenzkostenberechnungen: CEPE

Tabelle C.3-4 Grenzkosten der Vergrößerung der Fensterflächenanteile bei gleichzeitigem Wechsel von kleinflächigen zu grossflächigen Fenstern, Ost- und Westorientierung (Fallbeispiel **Passivhauswand** -Wand,  $U\text{-Wert}_{\text{Wand}}=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), gemessen am kleinflächigen Fenster der jeweiligen Qualität

	Beschattung 0.9		Beschattung 0.7	
	Ost	West	Ost	West
Referenzfenster (Rahmen 1.5, Glas 1.1) $g=0.65$	0.27	0.22	0.74	0.48
Referenzfenster (Rahmen 1.5, Glas 1.1) $g=0.57$	0.35	0.27	6.58	1.12
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.7) $g=0.52$	0.23	0.20	0.36	0.31
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.5) $g=0.42$	0.25	0.23	0.37	0.33
Dreifachglas (Rahmen 1.5, Glas 0.5) $g=0.5$	0.26	0.24	0.35	0.32
Rahmen 0.8, Glas 1.1 $g=0.57$	0.63	0.49	3.93	1.60
Rahmen 0.8, Glas 0.7 $g=0.52$	0.39	0.35	0.59	0.52
Passivhaus (Rahmen 0.8, Glas 0.5) $g=0.42$	0.47	0.43	0.71	0.63
Passivhaus (Rahmen 0.8, Glas 0.5) $g=0.5$	0.44	0.40	0.60	0.54

Quelle Erhebungen, Auswertungen und Grenzkostenberechnungen: CEPE

## D Lüftungsanlagen

### D.1 Grenzkosten der Lüftungsanlagen bei höheren Baukosten

Sind die baulichen Voraussetzungen gemäss **Tabelle 4.3-46** nicht erfüllt, ist mit Mehrinvestitionen zu rechnen. Tabelle D.1-2 (Referenzfall tiefe Luftwechsel) und Tabelle D.1-1 (Referenzfall hohe Luftwechsel) zeigen die entsprechenden Grenzkosten.

Tabelle D.1-1 Spezifische Grenzkosten der Nutzenergieerzeugung CHF/kWh<sub>NE</sub> von Lüftungsanlagen bei ungünstigen baulichen Voraussetzungen (Mehrkosten gemäss **Tabelle 4.3-46**), ohne Berücksichtigung der nicht-energetischen Nutzen, Referenzfall tiefe Luftwechselraten gemäss **Tabelle 4.2-13**.

Ausgangslage	Bestehende EFH, alte Fenster		Bestehende EFH, neue Fenster (nach 1990)	Bestehende MFH, alte Fenster		Bestehende MFH, neue Fenster (nach 1990)
	keine	neue Fenster		keine	neue Fenster	
gleichzeitige Massnahme	-	-	-	-	-	-
Komfortlüftung zentral, mit WRG				0.54	0.44	0.56
Komfortlüftung pro Wg, mit WRG	0.59	0.38	0.52	0.58	0.48	0.61
Einzelraum-Komfortlüftung	1.00	0.66	1.11	0.79	0.60	0.85

Quelle: Berechnungen CEPE aufgrund der Tabellen zu Lüfterneuerungen im Referenzfall und für die Lüftungsanlagen im Hauptberichtsteil

Tabelle D.1-2 Spezifische Grenzkosten der Nutzenergieerzeugung CHF/kWh<sub>NE</sub> von Lüftungsanlagen bei ungünstigen baulichen Voraussetzungen (Mehrkosten gemäss **Tabelle 4.3-46**), ohne Berücksichtigung der nicht-energetischen Nutzen, Referenzfall hohe Luftwechselraten gemäss **Tabelle 4.2-14**.

Ausgangslage	Bestehende EFH, alte Fenster		Bestehende EFH, neue Fenster (nach 1990)	Bestehende MFH, alte Fenster		Bestehende MFH, neue Fenster (nach 1990)
	keine	neue Fenster		keine	neue Fenster	
gleichzeitige Massnahme	-	-	-	-	-	-
Komfortlüftung zentral, mit WRG				0.30	0.24	0.39
Komfortlüftung pro Wg, mit WRG	0.33	0.22	0.34	0.33	0.26	0.43
Einzelraum-Komfortlüftung	0.46	0.32	0.56	0.37	0.29	0.52

Quelle: Berechnungen CEPE aufgrund der Tabellen zu Lüfterneuerungen im Referenzfall und für die Lüftungsanlagen im Hauptberichtsteil





## E Liste der Daten liefernden Unternehmen

### E.1 Fassaden und Dämmstoffe

- BWT Bau AG, E. Hitz, Luegislandstr. 26, 8051 Zürich
- Neba-therm, K. Hubschmid, Aarburgerstr. 1, 4600 Olten/SO
- Flumroc AG, Hans Winteler, Industriestr. 8, 8890 Flums/SG
- Flumroc AG, Kurt Frei, Industriestr. 8, 8890 Flums/SG
- Ernst Schweizer AG, Walter Baumgartner, Hagenholzstrasse 70, 8050 Zürich
- Gadola AG, Arthur Jörke, Willikon 35, 8618 Oetwil am See
- Gadola AG, Markus Gadola, Willikon 36, 8619 Oetwil am See
- Sarna Granol, Alex Kaiser, Hochhaus, 6060 Sarnen
- Sarna Granol, Ruedi Kistler, Hochhaus, 6061 Sarnen
- Röfix AG, Jack Hautle, Herberriedstrasse, 9466 Sennwald
- Röfix AG Dietikon, R. Scharpf, Mossmattstrasse 30, 8953 Dietikon
- Marmoran AG, M. Baumann, Herr Schön, Industriestrasse 10, 8603 Volketswil
- EPS, Herr Suter, Bahnhofstrasse 61, 6403 Küssnacht am Rigi
- Carbotech, Herr Dinkel, Eulerstr. 68, 4051 Basel/BS
- Greutol AG, Peter Plangger, Libernstrasse 28, 8112 Otelfingen
- STO AG, Bruno Aellig, Südstrasse 14, 8172 Niederglatt
- ZZ Wancor, Herr Spitznagel, Althardstrasse 5, 8105 Regensdorf
- Dycherhoff, Herr Baioni, Steinacker 17, 4565 Rechterswil/SO
- Contraco AG, Jean-Pierre Feuz, Grundrebenstrasse 27, 8932 Mettmenstetten
- Bramit AG, E. Mendel, Ladhuebstrasse 20, 9303 Wittenbach
- Fassag Fassadenbau AG, A. Maeder, Hohlstrasse 610, 8048 Zürich
- Diethelm, T. Peter, Spilhof 1, 5626 Hermetschwil
- Ickler SA, C.A. Huguenin, Hôtel-de-Ville 107, 2300 La Chaux-de-Fonds
- Foamglas, Pittsburgh Corning (Schweiz) AG, W. Trittenbach, Schöngrund 26, 6343 Rotkreuz
- Spaltenstein Hoch+Tiefbau AG, Karl Signer, Siewerdstrasse 7, 8050 Zürich
- Eternit AG, Ch. Weder, 8867 Niederurnen/GL

### E.2 Dach

- Ledermann Ulrich, entreprise de couverture, 2612 Cormoret
- Reusser Gottfried, Jungfrauweg 1, 3114 Wichtrach
- Junker-Dräyer Werner Dachdeckergeschäft, Hauptstrasse 14, 3251 Ruppoldsried
- Neuhaus Bedachungen AG, Einschlagweg 67, 3400 Burgdorf
- R. + M. Fischer AG, Bedachungen Lehenmattstrasse 55, 4052 Basel

- Buchli GmbH, Bedachungen, Bollweilerstrasse 21, 4055 Basel
- Jauslin, Flachdach AG, Sonnenmattstrasse 12, Postfach 429, 4132 Muttenz
- Hübscher AG Laufen, Bedachungen, St. Martinsweg 21, 4242 Laufen
- Kaufmann Holz und Bau AG, Im Kohlack 397, 4323 Wallbach
- Dachtechnik, Andreas Escher, Oristalstrasse 85, 4410 Liestal
- Ritter Matthias, Bedachungen Geissbrunnen 51, 4457 Diegten
- Brunner Heinz, Bedachungen Kirchenfeld 469, 4712 Laupersdorf
- Meyer Adelbert, Bedachungen, Sängeliweg 27, 4900 Langenthal
- Christoffel Rageth dipl. Dachdeckermeister, Zelgweg 3, 5034 Suhr
- Grütter Bedachungen AG, Sandstrasse 22, 5712 Beinwil a.S.
- Ruedi Distel AG, Spenglerei & Bedachungen, Moosmattstrasse 20c, 6005 Luzern
- Brundach, Brun Christoph, Gewerbe Badhus 6, 6022 Grosswangen
- Werth AG, Kernserstrasse 11, 6056 Kägiswil
- Leo Ohnsorg AG, Bedachungen + Bauspenglerei, Hasenbergstrasse 5, 6312 Steinhausen
- Annen Holzbau AG, Herr Koch, Aeschi, Postfach 63, 6410 Goldau
- Moser Florian, Spenglerei/Bedachungen, Voa Nova 6, 7078 Lenzerheide
- Camastral Roger, Bedachungen, Saliestrasse 10, 7203 Trimmis
- E. Eisenhut, Inh. Staudacher + Söhne AG, Fröhlichstrasse 54, 8008 Zürich
- Süssmann AG, Bauabdichtungen, Herr A. Fluor, In Büngerten 46, Postfach, 8046 Zürich
- Alfred Gehring AG, Glattalstrasse 27, 8052 Zürich
- Hans Notter AG, Hüttenwiesenstrasse 3, 8108 Dällikon
- Ueli Brunner AG, Bedachungen & Fassaden, Hallauerstrasse 38, 8213 Neunkirch
- Gebrüder Looser, Fabrikstrasse 3, 8340 Hinwil
- K. Steiner AG, Bedachungen, Reitweg 2, 8400 Winterthur
- Willy Beyeler & Söhne AG, Hauswiesenweg 4, 8404 Winterthur
- Dachmarder GmbH, Bedachungen / Fassadenbau, Winterthurerstrasse 69, 8472 Seuzach
- Erne Bedachungs AG, Dorfstrasse 88, 8542 Wiesendangen
- Signer Dach AG, Sunnebergweg 5, 8634 Hombrechtikon
- Häni Martin, Burgstrasse 61, 8706 Meilen
- Diethelm Bedachungen GmbH, Schulhausstrasse 5, 8832 Wilen
- Eternit AG, Postfach, 8867 Niederurnen
- Schnider Markus Bedachungen & Fassadenbau, Birchstrasse 2b, 8906 Bonstetten
- Grob AG, Bedachungen / Fassadenbau, Lerchentalstrasse 2, 9016 St. Gallen
- Kurt Büchler AG, Ibergstrasse 16, 9220 Bischofszell
- Breu Bedachungen GmbH, Rutlenstrasse 5, 9413 Obereggen
- Näf Emil Bedachungen, 9633 Bächli/Hemberg

- Brändle Heinz Bedachungen AG, Schwarzenboden, 9656 Alt St. Johann
- Meyer & Salamon AG, Herr Salamon, 8915 Hausen
- Rösti-Bdachungen, Lenk, Herr Hsp. Rösti
- Matthias Ritter Bedachungen, Geissbrunnen 51, 4457 Diegten
- Leo Ohnsorg AG, Leo Ohnsorg jun, Steinhausen
- Markus Schnider Sägerei Zimmerei, Birchstrasse 3, 8906 Bonstetten
- Arthur Müggler & Co Bedachungen + Fassaden, Alte Landstrasse 65, 9450 Altstätten
- Ziegelei Rapperswil, L. Gasser AG, Heinz Reber, 3255 Rapperswil
- HG Commerciale, Christian Röthenmund, Staufacherquai 46, 8039 Zürich
- Bäeriswyl AG, René Spicher, Ried PF 16, 1716 Plaffeien
- Isofloc-Zellulosedämmstoff, Herr Wyss, St. Urbanstrasse 34, 4900 Langenthal BE
- Fritz Looser Söhne, Dachdecker u. Kaminfegergeschäft, Fehrenstr. 18, 8030 Zürich
- Wagner Bedachungen + Fassadenbau AG, E. Mosimann, Hardstrasse 78b, 5430 Wettingen
- Markus Schmid, Eschenmoos, 9413 Oberegg
- Bio Bau Zentrum (BBZ) AG, St. Urbanstrasse 34, 4902 Langenthal
- Beda Kälin, Bedachungen, Nauerstrasse 1, 8847 Egg
- Aarebau + Beratungs AG, Güterstrasse 2, Postfach 76, 5014 Gretzenbach
- E. Rüegg & Sohn AG, Dachdeckergeschäft, Scheuchzerstrasse 188, 8057 Zürich
- Mächler Dachbau GmbH, Adletshausen, Postfach 146, 8627 Grüningen
- Groog + CO, Bedachungen – Fassadenbau, Juraweg 17, 4803 Vordemwald
- Sahli AG, Dachdeckergeschäft, Gimmerz, 3283 Kallnach
- Huwiler Bedachungen AG, Rebbergstrasse 32, 5610 Wohlen
- Röllin, Dächer & Fassaden AG, Industriestrasse 9, 6345 Neuheim

### **E.3 Glas**

- Glas Trösch, U. Moor, Industriestr. 29, 4922 Bützberg
- Glas Trösch, Erich Trösch, Industriestr. 29, 4922 Bützberg
- Pilkington, B. Gandola, Zentrumstr. 2, 4806 Wikon
- Pilkington, R. Flury, Zentrumstr. 2, 4806 Wikon
- Sofraver, Michel Grandchamp, 1754 Rosé /FR
- Giesbrecht, Kreuzlingen

### **E.4 Grosse und/oder innovative sowie zufällig ausgewählte Fensterfirmen**

- 4B Bachmann AG, Kurt Kriesi, Thomas Walther, Herr Arnold An der Ron 7, 6280 Hochdorf
- 4B Bachmann AG, Ivo Bachmann, Zürichstrasse 81, Postfach 1033, 8134, Adliswil
- EgoKiefer AG, Norbert Buschor, Paul Hutter, Schöntalstrasse 2, 9450 Altstätten
- EgoKiefer AG, A. Gross, Bachstrasse 15, Postfach, 8038 Zürich

- Dörig Fenster Service AG, HR Kurz, Postfach, 9016 St.Gallen-Mörschwil
- EgoKiefer AG, Herr Rhyner, Herr Eugster, 8038 Zürich
- Hunkeler AG Luzern, Rolf Hunkeler, Zürichstrasse 85a, 6000 Luzern
- Klarer Fenster AG, R. Gredig, Gröblistrasse 14, 9014 St.Gallen
- Lehmann Arnegg AG, Fensterfabrikation, Daniel Lehmann, 9212 Arnegg
- Wenger A.+E. AG, Fensterbau, A. Wenger, Postfach 20, 3638 Blumenstein
- Fensterfabrik Albisrieden, Urs Frei, 8047 Zürich
- Kicon AG, Herr Widmer, Postfach, Weststrasse 14, 8570 Weinfelden
- Pophaus AG, Viktor Eggenschwiler, Passwangstrasse 15, 4226 Breitenbach
- Lederbauer, Eberschwang 81, A-4906
- Häring, Müller, Bachmatten 9, 4435 Niederdorf
- Aerni Fenster AG, Fredy Kaufmann, 4422 Arisdorf
- Renggli AG, W. Meier, Gläng, 6247 Schötz
- Renggli AG, Herr Renggli, Gläng, 6247 Schötz
- AG für Holzindustrie, Daniel Martig, Alte Dorfstrasse 7, 3073 Gümligen
- Erne AG, Holzbau, Peter Humm, Werkstrasse 3, 5080 Laufenburg
- Scherrer Schreinerei AG, Bernhard Scherrer, Dorf 8, 9527 Niederhelfenschwil
- Schreinerei Schwab, Fensterfabrik, Rudolf Schwab, Bielstrasse 13, 3232 Ins
- Wirz AG, Fensterfabrik, H. von Allmen, Freiburgstrasse 359, 3018 Bern
- Wüst Schreinerei AG, Ernst Roth, Chr.Schnyderstr. 11, 6210 Sursee
- Aerni Fenster AG, Frau Jung, Klosterstrasse 44, 9403 Goldach
- EHRSAM FENSTERSYSTEME, B. Ehram, Postfach, 5430 Wettingen
- KFG Kunststoff-Fenster Gaeng GmbH, Herr Flückiger, Unt. Zollgasse 108, 3063 Ittigen
- KFT GmbH Pfaffnau, Fritz Wechsler, Brunnmatt 495, 6264 Pfaffnau
- Schär Werner, Mario Affrini, Galgenfeldweg 11, 3006 Bern
- Steme, Markus Meyer, Sandackerweg 35, 4704 Niederbipp
  
- Hekler AG, Beat Hekler, Höggerstrasse 118, 8037 Zürich
- Auderset, Othmar AG, Brüelmatt 233, 3212 Gurmels
- Baumgartner G. AG, A. Meier, Flurstrasse 41, 6332 Hagendorn
- Berther H, Schreinerei, Hans B. Berther, Hellgasse 10, 6460 Altdorf
- Bresga Fenster AG, D. Bregenzer, Luxburgstrasse 8, 9322 Egnach
- DEMA Werk AG Holzbau, W. Hedinger, Postfach, 7402 Bonaduz
- HTI-Holzbau AG, Herr Spycher, Untere Bönigstr. 48, 3800 Interlaken
- Hasler Fenster AG, Herr Hasler, Oberwilerstr. 73, 4106 Therwil
- Holzbau Bucher AG, Fensterfabrik, Josef Röthlin, Untergasse 11, 6064 Kerns

- Könitzer + Hofer AG, Fensterfabrik, Peter Könizer, Vechigenstrasse 4, 3076 Worb
- Küng AG, Fensterfabrik, Peter Küng, Grünmattstrasse 8, 6032 Emmen
- Muesmatt AG Bern, Frau Sahli, Alpenstrasse 40, 3052 Zollikofen
- Parquet + Holzbau AG, Christian Oswald, Weissensteinstr. 4, 3008 Bern
- Roth Pius, Pius Roth, Im Latschget 199, 4204 Himmelried
- Rüeegg Peter AG, Herr Peter Rüeegg, Fabrikstrasse 74, 3800 Interlaken
- Rütli AG, Fensterfabrik, Urs Altermatt, Falkensteinerstr. 18, 4710 Balsthal
- Scandella Tista, Gian-Reto Scandella, Bröl 72A, 7357 Müstair
- Schmid Fritz, Schreinerei, Fritz Schmid, Allmend, 3714 Wengi/Frutigen
- Tributsch AG, Fensterfabrik, Willi Tributsch, Stutzenbühlstr. 2, 9242 Oberuzwil
- Fab Kunststoff-Fenster AG, Peter Meier, Glütschbachstrasse 43A, 3661 Uetendorf
- Locher Walter Schreinerei, Walter Locher, Schönenwerderstrasse 43, 5742 Kölliken
- Polyfen, Herr Odermatt, via Rivapiana 20 (Locarno), 6648 Minusio
- F plus GmbH, Martin Eggimann, Thunstrasse 111, 3006 Bern
- Fahrni & Co AG, Klaus Kiener, Bernstrasse 84, 3250 Lyss
- CMA Constructeurs métalliques, Rue Wilhelm Kaiser 4, 1700 Fribourg
- Bisang AG, Beat Bisang, Talstrasse 12, 6403 Küsnacht am Rigi
- Blumer Technofenster AG, Sepp Signer, Kasernenstr. 88a, 9100 Herisau
- Fenster Imboden AG, Christoph Herber, Eichli 19, 6370 Stans
- Gasser + Siegrist Holzbau AG, M. Siegrist, Untere Zollgasse 110, 3063 Ittigen
- Haller Jörg AG, Fenster, Jörg Haller, Haldenstrasse 163, 5728 Gontenschwil
- Hess Paul, Paul Hess, Schönhaldenstr. 12, 8272 Ermatingen
- Mosimann Holzbau AG, Sonnenweg 22, 3098 Köniz
- Müller Fenster AG, Herr Müller, Niesenweg 16, 3063 Ittigen
- Schmid-Fenster, Josef Schmid, Battenhusstrasse 18, 9062 Lustmühle
- Schneider AG Schreinerei, Roland Artmann, Meierhofweg 9, 4133 Pratteln

## E.5 Verschiedene

- Minergie-Agentur Bau c/o Bürgi&Raaflaub, Bern
- Jeker Blanckarts Architekten SIA, H. Jeker, R. Martin, 4002 Basel
- Lärmschutzprogramm des Kantons ZH, R. Schuchter
- Energieberatung Stadt Zürich, Herr Keel, Zürich
- Bauamt Gemeinde Spreitenbach, W. Muri, Spreitenbach
- Luzerner Kantonalbank, Herr Birrer, Luzern
- Bauamt Gemeinde Illnau, W. Felix, Illnau-Effretikon
- Stadt Baden, Herr Burkart, Baden

- Bauamt Stadt Luzern, Herr Theiler, Luzern
- Bauamt Zofingen
- Stadt Thun, Herr Dähler, Herr Gugger, Thun
- Energie Thun, Herr Hänni Thun
- Bauamt Widen



**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • [office@bfe.admin.ch](mailto:office@bfe.admin.ch) • [www.admin.ch/bfe](http://www.admin.ch/bfe)

BBL, Vertrieb Publikationen Bestellnummer: 805.054 d

Vertrieb: BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, [www.bbl.admin.ch/bundespublikationen](http://www.bbl.admin.ch/bundespublikationen)

09.2002/200