

Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden

Ausgearbeitet durch

**M. Jakob, E. Jochem, Centre for Energy Policy and Economics (CEPE) und
K. Christen, Architektur und Baurealisation, ETH Zürich**

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

September 2002

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen des Bundesamtes für Energie; www.ewg-bfe.ch

Auftragnehmer:

PSI, Paul Scherrer Institut, Allgemeine Energieforschung, 5232 Villigen
CEPE, Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich, 8092 Zürich
HBT, Architektur und Baurealisation, Prof. P. Meyer-Meierling, ETH Zürich, 8093 Zürich

In Zusammenarbeit mit:

Hochschule Technik + Architektur Luzern
Schweiz. Verband für Dach und Wand (SVDW)
Schweiz. Fachverband für Hinterlüftete Fassaden (SFHF)
Schweiz. Gesellschaft für Bauökonomie (AEC)

Autoren:

Martin Jakob, CEPE
Eberhard Jochem, CEPE
Kurt Christen, HBT

Begleitgruppe:

R. Meier, Programmleiter Energiewirtschaftliche Grundlagen
M. Beck, Bundesamt für Energie
H.P. Bürgi, Bürgi&Raaflaub, Bern
T. Fisch, Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt
J. Fournier, Energiefachstelle Wallis
P. Hofer, Prognos, Basel
R. Humm, Energiefachstelle Aargau
E. Jakob, Wasser- und Energiewirtschaftsamt, Kt. Bern
F. Jehle, Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Land
H. Jeker, Jeker Blanckarts Architekten, Basel
B. Nietlisbach, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kt. Zürich
A. Paoli, Energiefachstelle Thurgau
M. Steiner, Energiefachstellenkonferenz
V. Steiner, Bundesamt für Wohnungswesen
M. Stettler, Bundesamt für Energie
R. Vogel, SRT Architekten, Zürich
P. Wittwer, WMI, Bern

2002

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Energiewirtschaftliche Grundlagen“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

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 • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen

BBL, Vertrieb Publikationen, Bestellnummer: 805.054 d

Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden

Coûts marginaux des mesures d'efficacité énergétique supplémentaires
aux bâtiments d'habitation

Forschungsprojekt in Zusammenarbeit und im Auftrag des

Bundesamts für Energie (BFE)

Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG)

Schlussbericht

In Zusammenarbeit mit der HTA Luzern

Martin Jakob, CEPE
Eberhard Jochem, CEPE
Kurt Christen, HBT

Auftraggeber

Bundesamt für Energie (BFE), Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG)

Zusammenarbeit

HTA Luzern, H. Huber

Schweizerischer Verband für Dach und Wand (SVDW), A. Müggler

Schweizerischer Fachverband für Hinterlüftete Fassaden (SFHF), Ch. Weder

Schweizerische Gesellschaft für Bauökonomie (AEC), St. Häberli

Begleitgruppe

R. Meier (EWG), M. Beck (BFE), M. Stettler (BFE), R. Vogel (SRT Architekten, Zürich), H.P. Bürgi (Bürgi&Raaflaub, Bern), P. Hofer (Prognos, Basel), H. Jeker (Jeker Blanckarts Architekten, Basel), P. Wittwer (WMI, Bern, Energie 2000), J. Fournier (Energiefachstelle VS). Ab November 2001 zusätzlich M. Steiner (Energiefachstellenkonferenz), V. Steiner (BWO), R. Humm (Energiefachstelle AG), A. Nietlisbach (AWEL ZH), F. Jehle (AUE BL), Th. Fisch (AUE BS), E. Jakob (WEA BE), A. Paoli (Energiefachstelle TG)

Projektorganisation

Hauptauftragnehmer	Paul Scherrer Institut PSI
Projektleitung	E. Jochem, CEPE M. Jakob, CEPE
Wissenschaftliche bzw. inhaltliche Sachbearbeitung	E. Jochem, CEPE M. Jakob, CEPE K. Christen, HBT P. Stocker, HBT A. Müller, CEPE
Unterauftrag	H. Huber, HTA Luzern
Sachbearbeitung, Erhebungen	Oliver Streiff, CEPE Alex Primas, CEPE Dominic Abt, CEPE Heike Gerling-Moraschetti, CEPE

Vorwort

In den energiewirtschaftlichen Debatten wird einerseits immer wieder auf das enorm hohe Energieeffizienzpotential der Raumwärme bei Gebäuden hingewiesen, die in der Schweiz etwa 3 % des Endenergiebedarfs erfordert. Hier werden auch etwa 30 % der energiebedingten CO₂-Emissionen freigesetzt, die über viele Jahrzehnte auf einen Bruchteil reduziert werden könnten. Allerdings sind die Erneuerungszeiten bzw. Re-Investitionszeiten von Gebäuden sehr lang. Andererseits wird bei der Frage, wie dieses grosse, aber nur langfristig erschliessbare Potential realisiert werden könne, immer wieder der Eindruck erweckt, dass dies nur mit gewaltigen Zusatzkosten erreicht werden könne und der Staat gar nicht so viele Mittel habe, um hier die nötigen finanziellen Anreize den potentiellen Investoren geben zu können.

Diese Arbeit macht den Versuch, diese nie genauer analysierte Kostenbarriere kritisch zu überprüfen. Denn möglicherweise wurden und werden ungeprüfte ökonomische Bewertungen tradiert, die einen selbst verursachten Attentismus perpetuieren. Wenn Mitte der 1970er Jahre in Europa und in der Schweiz die Neubaustandards für den Raumwärmebedarf von Wohngebäuden bei 500 bis 800 MJ/m² und Jahr lagen und heute bei 200 bis 300 MJ/m² und Jahr liegen, obwohl die Brennstoffpreise Ende der 1990er Jahre real wieder beim Niveau von 1972, d.h. bei jenem vor der ersten Erdölpreiskrise angelangt sind, dann müssen gewaltige technische Fortschritte und Kostendegressionen stattgefunden haben, die man sich für die vergangenen drei Jahrzehnte kaum bewusst macht und die man für die Zukunft als undenkbar zu halten scheint. Vielleicht, so könnte man vermuten, sind diese Zeithorizonte von Jahrzehnten im Zeitalter der vierteljährlichen Share Holder Value Kassenstürze einfach ausserhalb heutiger ökonomischer Bewertungspraxis angesiedelt.

Diese Vermutung wird inzwischen von ersten Unternehmen der Wohnungswirtschaft selbst widerlegt. Erste selbst finanzierte Siedlungserneuerungen mit Wärmebedarfswerten zwischen 110 und 250 MJ/m² und Jahr, wie z. B. in Ludwigshafen in 2001/2002 realisiert, machen deutlich, dass nicht nur der technische Fortschritt bei Wärmedämmung, Lüftungsverlusten und Komfortlüftung nicht stille steht und die Kosten nach unten tendieren, sondern auch der Nutzen der Erneuerungen vielfältig ist, bei eingesparten Energiekosten beginnt und bei Wertsteigerungen und langfristig vermindertem Leerstandsrisiko des Gebäudes und verbesserter Bonität mit geringeren Zinslasten für Fremdkapital endet. Diese gesamthafte ökonomische Bewertung von Erneuerung und nachhaltig erstellten Neubauten, die in diesem Bericht in ersten Ansätzen versucht wurde, dürfte ein wichtiger Schlüssel sein, sich von dem selbst verursachten Attentismus zu befreien und die langfristig grossen Ressourceneinsparpotentiale auch zu realisieren.

Danke

Dieses Projekt konnte mit der Fülle der gewonnenen Informationen nur durchgeführt werden dank den Beiträgen zahlreicher Unternehmen mit Preisangaben, Kostendaten und technischen Informationen. Allen diesen Unternehmen sei an dieser Stelle unsere grosse Wertschätzung für ihre Beiträge gesagt und herzlich gedankt. Eine Liste dieser Unternehmen ist im Anhang zu finden.

Zu grossem Dank verpflichtet sind wir auch den oben aufgeführten Verbänden, welche die Erhebungen fachlich unterstützt, die Mitgliedfirmen mit Begleitbriefen motiviert und Adressmaterial zur Verfügung gestellt haben, namentlich Herrn Weder (SFHF), Herrn Müggler (SVDW) und Herrn Häberli (AEC). Danken möchten wir auch der HTA Luzern für die Zusammenarbeit, speziell H. Huber für seine Beiträge im Bereich der Wohnungslüftungen.

Expliziten und verbindlichen Dank geht schliesslich an die zahlreichen Unternehmen, welche zu diesem Projekt mit Daten, namentlich Kostendaten beigetragen haben. Das grosszügige Mitwirken dieser Unternehmen und der von ihnen geleisteten Aufwand sowie ihr Sachverstand und ihre Erfahrung bilden die unabdingbare Grundlage der Ergebnisse dieses Projekts. Entsprechend gross ist der Dank, den wir allen diesen Unternehmen aussprechen möchten. Die Liste der Unternehmen befindet sich im Anhang D.

Dem Bundesamt für Energie (BFE) sowie dessen Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG) sowie speziell ihren Vertretern M. Beck, M. Stettler, P. Previdoli und R. Meier danken für ihre Unterstützung, die Flexibilität, die Begleitung und das entgegen gebrachte Vertrauen. Danke auch an das Sekretariat des Programms EWG, H. Lehmann, sowie an OKA, S. Aepli.

Den Mitgliedern der Begleitgruppe ein grosses Danke für die Feedbacks, Kommentare und Anregungen an den Sitzungen und zu den Berichtsentwürfen.

Zum Projekterfolg beigetragen haben ebenfalls die Eigenmittel des Centre for Energy Policy and Economics (CEPE) und des Instituts für Hochbautechnik (HBT, Professur Meyer-Meierling) der ETH Zürich sowie des Paul Scherrer Instituts (PSI). Diesen Institutionen gebührt ebenfalls ein grosses Dankeschön. Danken möchten wir dem PSI und im Speziellen Herrn Wokaun, Herrn Hirschberg und Herrn Kypreos, für ihre Grosszügigkeit, das am PSI begonnene Projekt am CEPE weiterzuführen.

Ausserdem sei den zahlreichen Fachpersonen gedankt, die zu einem der vielfältigen Aspekte des energie-effizienten Bauens mit Auskünften und Fachgesprächen beigetragen haben. Nebst weiteren, hier nicht namentlich genannten, aber durchaus mitgemeinten Personen sind dies B. Gamper, SKS Ingenieure, W. Baumgartner (Ernst Schweizer AG), St. Häberli (AEC), K. Hubschmid (Nebatherm AG), E. Hitz (BWT Bau AG), Th. Frank, Th. Nussbaumer, H. Bertschinger, Herr Simmler (alle EMPA), A. Jochem (FHSO), R. Vogel (SRT Architekten), H. Jeker (Jeker Blanckarts Architekten), H.P. Bürgi (Minergie-Agentur Bau), Ch. Weder (SFHF), A. Müggler (SVDW), A. Nietlisbach (AWEL), R. Gmür (AWEL), Th. Fisch (AUE BS), E. Jakob (WEA BE), P. Wittwer (WMI, Energie 2000), J. Fournier (Energiefachstelle VS), W. Ott (Econcept); A. Huber (Huber Energietechnik), W. Meier (Renggli AG), H. Blattmann (Bürgi & Raaflaub), H. Pignolet (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, CRB), M. Baumann (Marmoran AG), H. Winteler (Flumroc AG (K. Frei (Flumroc AG), R. Oswald und M. Bühlmann (Peikert Contract AG), J. Anderegg (KPMG Fides), K. Viridén (Viridén + Partner U. Moor (Glas Trösch Holding AG), B. Aellig (Sto AG), I. Bachmann, Kurt Kriesi, Thomas Walther, Herr Arnold (alle 4B Bachmann AG), Norbert Buschor, Paul Hutter, A. Gross, Herr Rhyner und Herr Eugster (alle EgoKiefer AG), R. Hunkeler

(Hunkeler AG), D. Lehmann (Lehmann Arnegg AG), Fredy Kaufmann (Aerni Fenster), Herr Widmer (Kicon), Herr Klarer und Herr R. Gredig (Klarer Fenster AG), L. Müller (Häring Fenster + Fassaden AG), A. Baumgartner (Amstein + Walthert), Wenger (Wenger AG Wimmis), Herr Gadola, Herr Jörke (Gadola Fassaden), Herr Schön (Marmoran), Herr Plangger (Greutol), Herr Hautle, Herr Scharpf (Röfix), Herr Spitznagel (ZZ Wancor), Th. Nordmann (TNC), G. Schriber (BFE), W. Kubik (WEA BE), W. Breitenmoser (Alcopor Management AG), A. Binz (FHBB), M. Zimmermann (EMPA), C.U. Brunner (CUB).

En outre nous tenons à remercier beaucoup le service de traduction de l'OFEN, en particulier B. Salis, de la traduction efficace et exacte.

Das Projektteam dankt des weiteren den Mitarbeitern bei diesem Projekt, namentlich Herrn P. Stocker (HBT) und den weiteren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Hochbautechnik der Architekturabteilung der ETH Zürich. Den MitarbeiterInnen und KollegInnen am CEPE und am ISI sei herzlich gedankt für die geleistete Sachbearbeitung, die Mitarbeit bei den Erhebungen, das Lektorat und das Layouten. Namentlich sind dies Susanne Münch, Adrian Müller, Oliver Streiff, Alex Primas, Dominic Abt, Heike Gerling-Moraschetti, Rebekka Köppel, Fabrizio Grossole, Marc Cavigelli, Daniel Hennessy, Christiane Schmid und besonders Renate Schmitz vom ISI, die Übersicht bewahrt und die Fäden, die e-mails und die Faxe in der Hand behalten hat. Den „Beiträgern“ von wertvollen und stimulierenden Diskussion, namentlich Bernard Aebischer, Reinhard Madlener, Gürkan Kumbaroglu, Jörg Wild, Cornelia Luchsinger, Michael Kuenzle, Lukas Weber und Silvia Banfi, gebührt ebenfalls ein herzliches Danke. Speziell verdanken möchten wir auch die prompten und speditiven Einsätze der Reprozentrale der ETH Zürich.

Und last but not least ein herzliches Dankeschön auch den Freunden, Familien und Partnerinnen der am Projekt Mitwirkenden für Ihre Unterstützung und ihr Verständnis für die in Anspruch genommene Zeit, die sie missen mussten, namentlich an Barbara und Angelika.

Eberhard Jochem

Martin Jakob

K. Christen

Inhaltsverzeichnis

Résumé	X
Problématique, objectifs et méthode	X
Situation initiale	X
Objectifs du présent rapport.....	xi
Aperçu méthodologique	xi
Situation initiale des bâtiments: économie et technique.....	xiii
Nouveaux bâtiments et rénovations: activités passées et présentes.....	xiii
Méthodologie des coûts et avantages des investissements visant à améliorer l'efficacité énergétique (analyse technique partielle)	xv
Méthodologie de la détermination des coûts et des calculs de rentabilité des coûts directs et des améliorations énergétiques	xv
Éléments d'une évaluation économique comprehensive	xviii
Interprétation économique des coûts relevés	xviii
Progrès techniques et dynamique des coûts	xviii
Evolution future du prix des énergies	xix
Evolution des conditions-cadres – Evaluation du rendement, diminution et vieillesse de la population résidente	xix
Avantages supplémentaires pour le particulier et pour la collectivité	xx
Coûts externes.....	xxi
Relevés et calculs de coûts et bénéfiques	xxi
Éléments de construction: murs, toit et fenêtres.....	xxii
Isolation des façades et du toit	xxii
Fenêtres et cadres de fenêtre.....	xxv
Le bâtiment dans son ensemble.....	xxvi
Avantages supplémentaires des investissements consacrés à l'isolation thermique (co-bénéfices)	xxx
Coûts et avantages futurs des investissements consacrés à l'efficacité énergétique.....	xxxii
Courbes des coûts concernant l'ensemble de la Suisse	xxxiv
Conclusions et bilan	xxxvi
Autre domaine de recherches: approfondir les avantages complémentaires.....	xxxviii
Zusammenfassung.....	xxxix
Problemstellung, Zielsetzungen und methodisches Vorgehen	xxxix
Ausgangslage	xxxix
Zielsetzungen des vorliegenden Berichts.....	xxxix
Methodisches Vorgehen im Überblick.....	xl
Die gebäudewirtschaftliche und -technische Ausgangssituation.....	xli

Die vergangene und heutige Neubau- und Erneuerungstätigkeit.....	xlii
Methodik der Kosten und Nutzen von Energieeffizienz-Investitionen (einzelwirtschaftliche Partialanalyse)	xlili
Elemente einer ganzheitlichen ökonomischen Bewertung.....	xliv
Ökonomische Interpretation der erhobenen Kosten.....	xliv
Technischer Fortschritt und Kostendynamik.....	xliv
Künftige Entwicklung der Energiepreise	xlvi
Veränderte Rahmenbedingungen - Bonitätsbewertung, rückläufige und alternde Wohnbevölkerung.....	xlvi
Private und öffentliche Zusatznutzen.....	xlvii
Vermiedene externe Kosten.....	xlviii
Ergebnisse zu einzelwirtschaftlichen Kosten und energetischen Nutzen	xlviii
Wärmedämmung von Fassade und Dach.....	xliv
Fenster und Fensterrahmen.....	li
Das Gebäude als Ganzes.....	liii
Begleitende Nutzen (Co-Benefits) von Wärmeschutzinvestitionen	lvi
Künftige Kosten und Nutzen der Energieeffizienz-Investitionen.....	lviii
Gesamtschweizerische Kostenkurven.....	lx
Schlussfolgerungen und Fazits	lxii
1 Problemstellung, Zielsetzungen und methodisches Vorgehen	1
1.1 Problemstellung und Ausgangslage.....	1
1.2 Zielsetzungen des vorliegenden Berichts.....	2
1.3 Methodisches Vorgehen im Überblick.....	3
2 Die gebäudewirtschaftliche und –technische Ausgangssituation und die Erneuerungstätigkeit im Gebäudebestand	5
2.1 Wohnungswirtschaftliche Ausgangslage und Abgrenzung des Projekts.....	5
2.2 Besitzer- und Nutzerverhältnis und andere Hemmnisse der Energieeffizienz in Wohngebäuden.....	6
2.3 Architektonische Gliederung des Gebäudebestandes	7
2.3.1 Gebäudeformen, Flächen- und Längenverhältnisse.....	7
2.3.2 Ästhetische und denkmalpflegerische Aspekte	11
2.4 Gliederung des Gebäudebestandes nach wärmetechnischen Gesichtspunkten sowie die Bauweise in Abhängigkeit der Bauperioden	12
2.5 Die vergangene und heutige Erneuerungstätigkeit unter energiewirtschaftlichem und energietechnischem Blickwinkel.....	17
2.5.1 Datenlage, Ausgangslage und Überblick	17
2.5.2 Fassadenerneuerungen.....	20
2.5.3 Fenstererneuerungen	24
2.5.4 Dacherneuerungen	28
2.5.5 Kellerdecke.....	33
2.5.6 Art der Erneuerungen, Massnahmenkombinationen.....	34
2.6 Marktvolumen und -anteile der opaken Bauteile, Wärmedämmstoffe und Fenster.....	35
2.7 Fazit	38

3	Die Charakterisierung der heutigen Neubautätigkeit.....	39
3.1	Neubau und Ersatzneubau.....	39
3.1.1	Energetische und bautechnische Charakterisierung auf Gebäudeebene	39
3.1.2	Bauteile und bauliche Varianten.....	44
4	Kosten und Nutzen von Energieeffizienzinvestitionen im Wohngebäudebereich ..	49
4.1	Methodisches Vorgehen zur Kostenermittlung und zu den Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	49
4.1.1	Annahmen zur Kostenermittlung und zu energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen	49
4.1.2	Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnungen sowie Grenzkostenbetrachtungen aus Sicht der Hauseigentümer, der Immobilienwirtschaft und der Gesamtwirtschaft	52
4.1.3	Grenzen und Sensitivitäten der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	59
4.2	Methodik und Grundlagen zur Bestimmung des energetischen Nutzens der Energieeffizienz-Investitionen.....	63
4.2.1	Aussenwärmedämmung mittels hinterlüfteter Fassaden.....	63
4.2.2	Aussenwärmedämmung mit Kompaktfassaden.....	63
4.2.3	Fensterleibungen	64
4.2.4	Balkonplatten	67
4.2.5	Anschluss Flachdach.....	68
4.2.6	Natürlicher Luftwechsel und Lüftungsanlagen.....	69
4.2.7	Fenster	76
4.2.8	Heizwärmebedarf in Funktion der Fensterflächenanteile	82
4.2.9	Methodische Hinweise zur Bestimmung der energetischen Wirkung von Energieeffizienz-Massnahmen im Gebäudekontext	87
4.2.10	Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs.....	90
4.2.11	Passivhaus.....	94
4.3	Kosten und energetische Nutzen von Energieeffizienzinvestitionen mit Kostenstand 2000 unter technischem Blickwinkel	97
4.3.1	Determinanten der Kosten in Abhängigkeit der energetischen Effizienz, Unterschiede zwischen Neubau und Erneuerung und Methodisches zur Datenerhebung	97
4.3.2	Methodische Hinweise zur Kostenermittlung im Bereich Wand und Fassade	99
4.3.3	Kompaktfassaden.....	100
4.3.4	Hinterlüftete Fassaden.....	114
4.3.5	Holzsystembau (Neubau).....	127
4.3.6	Verglasungen.....	129
4.3.7	Das Fenster als Gesamtsystem.....	133
4.3.8	Dach.....	169
4.3.9	Kellerdecke, Bodenplatte	192
4.3.10	Wärmebrücken	192
4.3.11	Zusammenfassung der Grenzkosten für die verschiedenen Investitionsmassnahmen.....	194
4.3.12	Lüftung, Luftdichtigkeit der Gebäudehülle	196
4.3.13	Heizanlagen und Luftheizungen in Funktion der energetischen Qualität der Gebäudehülle	203
4.3.14	Fazit des empirischen Kapitels.....	207
4.4	Zusatzkosten und –nutzen energieeffizienter Wohnneubauten mit Kostenstand 2000	209
4.4.1	Methodisches Vorgehen.....	211

4.4.2	Top-down-Ansatz – Ergebnisse statistischer Auswertungen von Neubauten	212
4.4.3	Bottom-up Ansatz (Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser)	216
4.4.4	Jahreskosten von weiteren Neubaukonzepten.....	242
4.5	Dynamisierung der Kosten und energetischen Nutzen von Wärmeschutzinvestitionen bis 2030	244
4.5.1	Methodische Hinweise zu Lerneffekten und Skaleneffekten – Erfahrungskurven	244
4.5.2	Wärmedämmung bei Fassaden	250
4.5.3	Fenstersysteme.....	255
4.5.4	Lüftungsanlagen.....	260
4.5.5	Neubauten: Dynamisierung des bottom-up Ansatzes durch neue Technologien	261
4.5.6	Dynamisierung von Neubaukonzepten durch industrielle Vorfertigung	261
4.6	Nicht-energetische Nutzen, Co-Benefits	264
4.6.1	Methodisches Vorgehen.....	265
4.6.2	Wohnkomfort durch verstärkten Wärmeschutz.....	266
4.6.3	Geringere Lärmbelastung	267
4.6.4	Bessere Raumluftqualität.....	269
4.6.5	Grössere Wohnraumfläche	271
4.6.6	Verbesserte Einbruchssicherung und weitere Nebeneffekte.....	271
4.7	Vermiedene externe Kosten durch zusätzliche Wärmeschutzinvestitionen	273
5	Referenzentwicklung des Gebäudebestands 2000 – 2030.....	275
5.1	Die Referenzentwicklung des Gebäudebestandes mit Neubau und Abriss	275
5.1.1	Einfamilienhäuser	276
5.1.2	Mehrfamilienhäuser.....	277
5.2	Die künftigen Erneuerungen im Wohngebäudebestand in der Referenzentwicklung	278
5.2.1	Definition der Referenzfälle für 2001 bis 2010	279
5.2.2	Mengengerüst der Referenzentwicklung.....	280
5.2.3	Energetische Beschreibung der Referenzentwicklung im allgemeinen	282
5.2.4	Detaillierte Beschreibung der Referenzentwicklung am Beispiel der EFH der Bauperiode 1900 - 1960.....	283
6	Gesamtschweizerische Grenzkostenkurven des Wärmeschutzes (für Energiesystemmodelle).....	285
6.1	Neubau: heutiger Kostenstand und wichtige Einflüsse für Ein- und Mehrfamilienhäuser	286
6.1.1	Spezifische Grenzkostenkurven auf Gebäudeebene	286
6.1.2	Aggregation der Grenzkostenkurven auf die gesamtschweizerische Ebene..	296
6.2	Integration der Co-Benefits in die Grenzkostenkurven.....	301
6.3	Grenzkosten mit Einschluss der Lern- und Skaleneffekte (dynamisierte Kosten)	303
6.3.1	Beispiel einer Grenzkostenkurve mit dynamisierten Kosten.....	303
6.3.2	Dynamik der Kosten in Funktion der Marktentwicklung bzw. des Marktumfeldes (bzw. der energiepolitischen Rahmenbedingungen).....	304
6.3.3	Wahl der Dämmstärke in der dynamischen Betrachtungsweise	305
6.4	Erneuerung des Gebäudebestandes 2001 bis 2010	307
6.4.1	EFH der Bauperiode 1900 bis 1960	307
6.4.2	Bauperiode 1961 - 1975	309
6.4.3	Bauperiode 1976-1985	309
6.5	Erneuerung des Gebäudebestandes mit dynamisierten Kosten und technischen Kennwerten am Beispiel der Einfamilienhäuser der Bauperiode 1900 - 1960.....	311

7	Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Grenzen der Untersuchung	313
7.1	Schlussfolgerungen	313
7.1.1	Energietechnische Aspekte.....	313
7.1.2	Betriebs- und wohnungswirtschaftliche sowie planerische/architektonische Aspekte	315
7.1.3	Energiewirtschaftliche und klimapolitische Schlussfolgerungen	319
7.1.4	Methodische Anmerkungen	321
7.2	Empfehlungen für Energiepolitik, die Wohnungs- und die Bauwirtschaft.....	322
7.3	Grenzen und Unsicherheiten der vorliegenden Analyse.....	324
7.4	Weiterer Forschungsbedarf	325
8	Literaturverzeichnis	327
9	Abkürzungsverzeichnis	335
A	Wand- und Dachflächen im Wohngebäudebestand	339
B	Erhebung Fenster	341
B.1	Erhebung Fenster.....	341
B.2	Beschreibende Statistik.....	343
C	Heizwärmebedarf in Funktion verschiedener Einflussfaktoren	353
C.1	Energiebilanz von Fenstern, Sensitivitätsrechnungen	353
C.2	Heizwärmebedarf in Funktion der Fensterflächen	356
C.3	Sensitivitätsrechnungen: Grenzkosten der Vergrößerung der Fensterflächen	359
D	Lüftungsanlagen.....	361
D.1	Grenzkosten der Lüftungsanlagen bei höheren Baukosten.....	361
E	Liste der Daten liefernden Unternehmen	363
E.1	Fassaden und Dämmstoffe	363
E.2	Dach.....	363
E.3	Glas	365
E.4	Grosse und/oder innovative sowie zufällig ausgewählte Fensterfirmen	365
E.5	Verschiedene	367

Résumé

Problématique, objectifs et méthode

Situation initiale

En Suisse, le chauffage des bâtiments totalise aujourd'hui, à lui seul, 50 % de la demande d'énergie utile et près de 33 % de la demande d'énergie finale. Du point de vue du potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique, il s'agit donc d'un poste-clé. Or, les besoins d'énergie utile (p. ex. selon la norme MINERGIE) sont en réalité de deux tiers environ inférieurs à la consommation énergétique moyenne effective du parc immobilier. Dans le cas des maisons solaires ou passives nouvellement construites, ce facteur peut même être de un cinq jusqu'à un dix.

Si l'on procède à la simulation des différentes étapes d'exploitation de ce potentiel en se fondant sur des modèles propres à l'économie énergétique ou que l'on examine de plus près les mesures de politique énergétique et climatique envisageables, l'évolution des coûts marginaux représente une source d'information capitale pour apprécier les investissements forcés visant à améliorer l'efficacité énergétique. En Suisse, toutefois, les informations d'ensemble disponibles à ce sujet sont déjà anciennes; par conséquent, elles ne sont guère représentatives des nouvelles constructions et du parc des bâtiments rénovés. Elles sont en outre entachées d'incertitudes. Par ailleurs, les investissements à des fins d'isolation thermique opérés dans ce secteur ont débouché, au cours des années 1990, sur d'importantes améliorations techniques et sur de réelles économies, que les données à disposition, généralement dépassées, conduisent à minimiser (il n'était guère possible alors d'estimer la rentabilité de telles mesures).

Les technologies visant à accroître l'efficacité énergétique de l'enveloppe des bâtiments et celle des techniques de chauffage sont souvent récentes, ou font appel à de nouveaux matériaux, concepts de construction ou procédures de traitement. Elles sont parfois riches en enseignements ou offrent un réel potentiel de production en série susceptible de réduire à l'avenir leurs coûts. On peut donc estimer que les coûts marginaux vont baisser sous l'effet des progrès futurs. Cet aspect a toutefois été très peu étudié: les modèles actuels de l'économie énergétique s'en tiennent à des hypothèses rudimentaires et, d'ailleurs, la dégression des coûts n'avait jamais été prise en compte dans le secteur du bâtiment (Hieber 1992, Messner 1997).

Enfin, les investissements supplémentaires dans des améliorations énergétiques des bâtiments présentent souvent des avantages secondaires (co-bénéfices) déterminants pour faire accepter lesdits investissements (p. ex. confort d'habitation et facilité de mise en œuvre, isolation phonique, sécurité accrue). Là aussi, la valeur monétaire de ces co-bénéfices n'a fait l'objet que d'estimations sommaires dans le cadre d'évaluations d'ensemble, dans les analyses de l'économie énergétique comme dans le secteur du marché immobilier (IPCC 2001). Or, ces aspects se prêtent à une évaluation économique bienvenue tant pour l'économie du logement que pour les locataires et les maîtres d'ouvrage: d'une part, l'évaluation porte sur une période suffisamment longue, d'autre part, elle tient compte du caractère multifonctionnel de tels investissements.

Objectifs du présent rapport

Au vu de la problématique évoquée plus haut, le présent projet de recherche poursuit les objectifs suivants dans le domaine des bâtiments d'habitation:

- améliorer sensiblement, par rapport à l'information disponible sur le plan suisse, l'état des connaissances tirées de l'expérience sur les coûts marginaux des mesures supplémentaires en matière d'efficacité énergétique qui pourraient revêtir une importance considérable dans les 10 à 30 prochaines années pour l'économie énergétique et la politique climatique (isolation thermique, fenêtres, ventilation);
- établir autant que possible les courbes d'efficacité des coûts pour les nouvelles constructions et les rénovations du parc immobilier sur une base empirique; ces courbes reflèteront l'état le plus récent de la technique, de la conception et de la réalisation de constructions, ainsi que les procédures de calcul des coûts;
- outre le fait de faciliter les analyses de l'économie énergétique, faire en sorte que les acteurs du marché immobilier – propriétaires, maîtres d'ouvrage, producteurs de technologies, planificateurs et entreprises d'installation – perçoivent mieux les rapports entre les coûts et les avantages et, dans la mesure du possible, dispensent une information ciblée à leurs propres publics-cibles;
- pour autant que le budget de recherche le permette, présenter les coûts (et les avantages) de manière différenciée et transparente afin, d'une part, de refléter la diversité des bâtiments existants, des investissements et des concepts de construction envisageables pour améliorer l'efficacité énergétique, et, d'autre part, de faciliter les corrections en fonction de l'évolution des connaissances sur les coûts (ou les avantages) directs;
- vérifier et expliciter l'influence de l'évolution de référence retenue pour le montant des coûts marginaux, puisque sa définition est le fruit d'une décision somme toute assez subjective.

Enfin, sur la base des résultats des travaux, il devrait être possible d'inférer, pour les divers acteurs concernés, des conclusions et (si possible) des recommandations importantes.

Aperçu méthodologique

Les objectifs précités sont trop différents pour permettre de présenter ici l'ensemble de la méthodologie. Les diverses méthodes employées n'étant évoquées ici que de manière succincte, le lecteur se reportera au chapitre concerné.

Afin de déterminer les coûts marginaux et les avantages respectifs des mesures imposées en matière d'efficacité énergétique dans le secteur des bâtiments d'habitation, il a fallu examiner – ou distinguer – les aspects suivants (cf. également l'illustration R.1):

- Les investissements accompagnent une rénovation qui aurait eu lieu de toute façon, ou une nouvelle construction; d'où la nécessité de définir un cas de référence pour les types de bâtiments et les cas d'investissement (nouvelles constructions, rénovations).
- Dans le cas des rénovations, en particulier, il a fallu traiter séparément les mesures portant sur l'enveloppe des bâtiments, le renouvellement de l'air et la technique de chauffage; une même démarche a été tentée avec les nouvelles constructions conventionnelles (bottom-up), tandis qu'une approche intégrée se justifiait pour les maisons MINERGIE ou passives.
- Des enquêtes complexes ont été nécessaires auprès des entreprises de construction, des économistes de la branche, des fabricants et des cantons, afin de préciser la pratique en vigueur dans la construction, la structure actuelle des bâtiments d'habitation (y compris les investissements dans l'isolation thermique réalisés par le passé, cf. chapitres 2, 3 et 4.5), la

structure actuelle ou passée des coûts ainsi que des marchandises produites. Or, ces enquêtes se sont avérées très lourdes.

- Le relevé ou l'estimation des coûts des divers investissements portant sur l'efficacité énergétique et l'évaluation des avantages énergétiques ou non énergétiques qui en découlent ont été replacés dans le contexte général des investissements opérés au titre de rénovation ou de construction. Il s'agissait d'une opération très complexe, qui n'a parfois pu être que partiellement réalisée.
- Les données empiriques ont été réunies par catégorie d'investissements et en fonction des types de bâtiments. Elles ont ensuite servi à établir des courbes dégagant les potentiels d'économies de coûts (compte tenu de la fréquence relative desdits investissements sur le plan suisse) par rapport à l'économie énergétique. Or cette opération a une valeur exemplaire. Elle a par ailleurs révélé l'importance de la définition d'une variante de référence pour les divers cas d'investissements.
- Afin de garantir une transparence maximale reflétant bien la diversité des acteurs, les utilisateurs nets (ou les coûts nets) ont été traités séparément, en tenant compte des co-bénéfices et des coûts externes évités. La présente analyse ne présente toutefois que des exemples ponctuels.

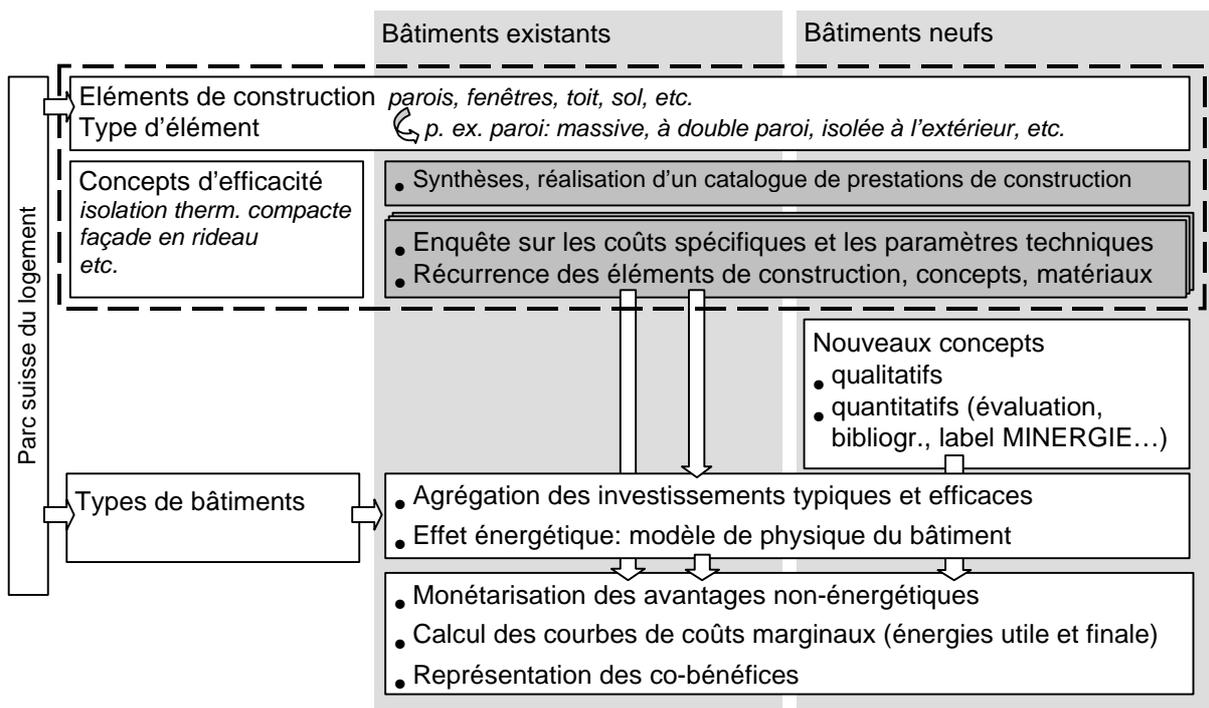


illustration R.1 Procédure d'analyse pour déterminer les coûts marginaux des investissements supplémentaires dans des améliorations énergétiques des logements

Situation initiale des bâtiments: économie et technique

Différents facteurs ont influencé et continuent d'influer sur les méthodes de construction et activités de rénovation passées, présentes et futures. De tels facteurs ont une incidence non seulement sur les décisions d'investissement et la fréquence des rénovations qui en découle, mais également, par une sorte d'effet rétroactif, sur les coûts, les améliorations énergétiques ainsi que d'autres avantages induits par les mesures de rénovation appliquées. Une classification systématique, sous l'angle de la gestion d'entreprise (état des bâtiments, rendement effectif, potentiel de rendement, aspects liés au financement, rapport propriétaire/utilisateurs), des différents cas de figure, servant de point de départ à un examen économique individuel conclusif des mesures d'efficacité du point de vue de leur rentabilité aurait été bien trop lourde à mettre en œuvre. De surcroît, elle aurait nettement dépassé le cadre du présent projet. Il serait néanmoins utile de connaître les tenants et aboutissants de ces interactions jusqu'à présent peu étudiées de manière empirique. Cela permettrait notamment de mieux comprendre le comportement des investisseurs et des propriétaires fonciers privés, d'élaborer un modèle de la rénovation du parc immobilier ou de tirer profit des potentiels existants en matière d'efficacité énergétique.

Le présent projet de recherche s'efforce cependant d'élaborer une approche des coûts marginaux portant sur les coûts et avantages supplémentaires engendrés par les mesures de promotion de l'efficacité énergétique, de même que sur les potentiels que renferment ces mesures. Un cas de référence, dont les coûts et avantages supplémentaires ont été mesurés, sert de base et de situation initiale à notre approche des coûts marginaux. Pour les nouvelles constructions, on examinera la méthode de construction; pour les rénovations de bâtiments existants, l'état du parc immobilier et les activités de rénovation.

Complétant nos propres relevés par des données tirées d'études empirique, nous avons pu mettre en évidence l'amélioration continue des propriétés énergétiques des nouvelles constructions, cette évolution prenant naissance vers le milieu des années 1970. On constate que, peu à peu, l'épaisseur de l'isolation assurée par des matériaux calorifuges est passée d'env. 4 cm à 10–12 cm (façades), resp. 12–14 cm (toitures), la perte d'énergie spécifique s'améliorant de ce fait jusqu'à un facteur d'env. 1:4 par rapport à l'efficacité énergétique de bâtiments non isolés. L'un des phénomènes les plus marquants est le progrès technico-économique réalisé au niveau des fenêtres et du vitrage, domaine dans lequel l'efficacité énergétique et économique actuelle représente un multiple de ce qu'elle était auparavant. A coûts pratiquement égaux, l'indice d'isolation thermique (valeur isolante) des vitres a chuté d'env. 3.0 W/m²K, au début des années 1970, au niveau actuel de 1.1 W/m²K.

Nouveaux bâtiments et rénovations: activités passées et présentes

Effectuée sur mandat de l'OFEN (Wüest und Partner, 2000), une recherche empirique révèle, pour les nouvelles constructions, des valeurs spécifiques de consommation énergétique de près de 400 MJ/m²a (y c. consommation d'eau chaude et pertes de rendements). Ce chiffre semble indiquer que les 12 cm, resp. 14 cm précédemment mentionnés sont loin d'être généralisés. De même, la dispersion constatée eu égard à la consommation énergétique spécifique des nouvelles constructions indique que le cas de référence énergétique présente une certaine amplitude de variation, laquelle se répercute sur les coûts marginaux.

L'élan initialement imprimé par les nouvelles constructions s'est également transmis au secteur de la rénovation, excepté lorsque l'aspect énergétique n'était pas pris en compte dans les projets de rénovation. Les rénovations liées à la question énergétique font appel à des matériaux isolants d'épaisseur et à des fenêtres de qualité identiques à ceux utilisés pour les

nouvelles constructions. Les particularités techniques d'une construction et l'organisation des travaux imposent parfois des compromis (pas ou peu d'isolation des éléments de construction situés près des raccords: embrasures de fenêtre, bords de toits plats, passages dans un mur, une paroi ou vers le toit, pieds de mur). De plus, la rénovation de l'enveloppe des bâtiments n'est pas toujours intégrale, comme l'ont révélé l'examen de certains bâtiments et les entretiens auprès des entreprises spécialisées dans la couverture ou le ravalement des façades (cf. chapitre 2). La consommation énergétique des bâtiments rénovés n'atteint donc que rarement le bas niveau des nouvelles constructions actuelles. Il n'en demeure pas moins qu'il est tout à fait possible, du point de vue des techniques de construction, de parvenir à ces niveaux, voire plus bas encore. Ce fait est d'ailleurs clairement mis en évidence par les nombreux projets Minergie et P&D déjà réalisés à ce jour.

La proportion des éléments longitudinaux spécifiques ainsi que les méthodes de construction choisies – ou imposées par la situation – sont susceptibles d'induire des mesures de construction supplémentaires. Par ailleurs, en cas de compromis, qu'ils fussent obligés ou évitables, avec des éléments situés sur une même ligne tels qu'embrasures de fenêtre, pieds de mur, etc., elles peuvent aussi réduire l'efficacité énergétique des mesures appliquées sur de grandes surfaces.

Du point de vue des différences de coûts potentielles, le parc immobilier est caractérisé par les méthodes de constructions passées et les formes des édifices. Pourtant, au fil du projet, il est par exemple apparu que les murs et parois préexistants avaient une incidence somme toute minimale sur les investissements propres à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. La pose d'une isolation thermique externe, qu'elle soit nouvelle ou complémentaire, s'avère en effet appropriée tant pour des bâtiments de type monolithique qu'avec des constructions dotées soit de murs à double paroi, soit de murs en béton, ou déjà munies d'une première isolation thermique externe. Les coûts supplémentaires découlant de l'augmentation d'épaisseur de l'isolation thermique sont à peu près identiques pour la variante d'isolation appropriée à chaque cas (façades ventilées, façades compactes). Dans certains cas, on constate naturellement des différences d'un bâtiment à l'autre; il convient alors de déterminer la variante la plus adéquate en fonction de la situation spécifique de chaque bâtiment. Cette remarque s'applique aussi aux aspects de physique du bâtiment. Néanmoins, dans 35% à plus de 60% des bâtiments, des problèmes pourraient par exemple survenir en cas de remplacement des seules fenêtres, ce qui rendrait le bâtiment trop étanche.

On a trop souvent négligé la rénovation en général, la question de l'efficacité énergétique. Entre un quart et un tiers seulement des rénovations de façades effectuées ont tenu compte de l'aspect énergétique. Les autres rénovations ne portaient que sur des améliorations cosmétiques. La proportion des rénovations tenant compte de l'aspect énergétique est un peu plus élevée dans le cas des fenêtres et des toitures; dans le cas des fenêtres, surtout parce qu'au cours de ces 15 à 25 dernières années, «rénover une fenêtre» signifiait la plupart du temps «changer de fenêtre» et que les progrès techniques réalisés dans l'intervalle étaient tels que seules des fenêtres présentant de bien meilleures performances isolantes étaient disponibles sur le marché. Globalement, cependant, le potentiel de réduction de la demande d'énergie du parc immobilier est toujours considérable, puisque la part des éléments de construction qui n'ont encore jamais été soumis à une optimisation énergétique oscille encore entre 30% et 80% suivant les éléments de construction (toiture, murs, fenêtres, plafonds de cave, etc.).

Méthodologie des coûts et avantages des investissements visant à améliorer l'efficacité énergétique (analyse technique partielle)

L'un des principaux objectifs du projet était de mieux connaître les coûts marginaux engendrés par les investissements, resp. les mesures **supplémentair(e)s** afin d'optimiser l'efficacité énergétique et de leur donner une nouvelle base empirique. La première phase consiste à présenter la procédure méthodologique concernant les données empiriques ainsi que le calcul des coûts marginaux relatifs aux coûts directs et aux améliorations énergétiques. Une évaluation économique d'ensemble fondée sur divers aspects (long terme, autres bénéfiques, environnement du marché dans lequel les relevés ont été opérés, contexte de politique énergétique et environnementale) s'avère nécessaire dans une seconde phase.

Méthodologie de la détermination des coûts et des calculs de rentabilité des coûts directs et des améliorations énergétiques

Une discussion d'ordre méthodologique a d'abord été menée sur le caractère approprié des diverses méthodes de détermination des coûts marginaux, seules les méthodes dynamiques étant toutefois abordées. La méthode par annuité et la prise en compte de la valeur en capital ont été examinées de près. L'économie des bâtiments fait de plus en plus souvent appel à la méthode du «*discounted cashflow*» (actualisation des flux de trésorerie). Pour l'appliquer, il aurait toutefois fallu disposer d'une multitude de données concernant les flux des capitaux des objets concernés, données malheureusement impossibles à relever de manière représentative dans le cadre de ce projet. En fin de compte, le présent projet se fonde sur la méthode par annuité, les coûts marginaux étant quant à eux calculés suivant deux approches distinctes.

Quel est le coût supplémentaire d'une plus grande épaisseur d'isolation et quel gain d'efficacité énergétique et quelles autres réductions de coûts permet-elle d'obtenir? Pour répondre à cette question, nous nous sommes appuyés sur la méthodologie suivante:

- **Relevés directs** auprès des entreprises: structure des coûts des isolants pour façades et toitures en fonction de leur épaisseur, prix des vitres et des fenêtres et installations d'aération sur la base d'indications techniques de référence chiffrées en matière énergétique ou de leur efficacité de ventilation.
- **Détermination de l'effet énergétique**, donc du gain d'efficacité énergétique (=économies supplémentaires au niveau de la consommation d'énergies de chauffage) des diverses mesures d'optimisation de l'efficacité énergétique par le calcul des indices d'isolation thermique, resp. au moyen d'un modèle de physique du bâtiment (SIA 380/1).
- **Détermination des coûts annuels** par la méthode par annuité tout en tenant compte de la durée de vie spécifique.
- **Définition des cas de référence pertinents.**
- **Calcul des coûts marginaux** par rapport à la référence (**principe des coûts moyens**) resp. par rapport au précédent niveau d'efficacité énergétique (**principe des coûts marginaux nets**).
- **Résumé** de diverses mesures en matière d'investissement sur la base des coûts marginaux spécifiques sous forme de **faisceaux de mesures** resp. de **paquets d'investissements**.

Les coûts marginaux sont définis comme suit:

$$\text{Coûts marginaux (estimation des coûts moyens)} = \frac{\text{Différence de coûts annuels par rapport à la référence}}{\text{Gain defficacité énergétique correspondant}}$$

$$\text{Estimation des coûts marginaux nets} = \frac{\text{Différence de coûts annuels par rapport au niveau defficacité antérieur}}{\text{Gain defficacité énergétique correspondant}}$$

Les deux approches se caractérisent comme suit:

- Estimation des coûts moyens (coûts et avantages supplémentaires par rapport à la nouvelle construction ou à la méthode de rénovation de référence): cette approche convient à la comparaison de diverses variantes par rapport à une variante de référence, surtout pour les propriétaires fonciers, les propriétaires d'immeubles et les gérances immobilières).
- Estimation des coûts marginaux au sens propre du terme (coûts et avantages supplémentaires par rapport au précédent niveau d'efficacité énergétique) visant un examen économique comprehensive et l'élaboration de modèles d'économie énergétique permettant une optimisation sous l'angle économique des programmes de promotion, redevances incitatives, etc..

Du point de vue économique, l'estimation des coûts marginaux au sens propre du terme, en confrontant les coûts supplémentaires du niveau supérieur d'efficacité énergétique (p. ex. surcoûts entraînés par une isolation de 24 cm, comparativement à ceux d'une isolation de 20 cm) et le gain d'efficacité énergétique qui en découle (par exemple, indice d'isolation thermique (valeur U) progressant de 0.2 à 0.18 W/m²K), revêt un grand intérêt. Le principe des coûts moyens correspond à la démarche des maîtres d'ouvrage ou des planificateurs qui comparent plusieurs variantes de projet à une variante de référence. Les divers niveaux d'efficacité énergétique sont alors comparés avec celui de référence, donc par exemple, une épaisseur d'isolation de 16 cm avec une de 12 cm, une épaisseur de 20 cm avec une de 12 cm, une épaisseur de 30 cm avec une de 12 cm.

Au niveau de la présentation des éléments de construction, on utilise la notion de coûts marginaux bruts pour attirer l'attention sur le fait que d'éventuelles réductions de coûts au niveau du bâtiment (installations de chauffages plus petites, entretien moindre, coûts énergétiques plus faibles) n'ont pas encore été portées en déduction. Les coûts marginaux bruts sont surtout utiles à la définition du niveau de priorité des mesures.

La définition de la référence dépend de la problématique examinée. Quand il s'agit de déterminer s'il convient de procéder à la rénovation d'une façade en tenant compte de l'aspect énergétique ou si un simple ravalement suffit, la référence doit tenir compte des coûts de remise en état du crépi et de la peinture.

Lorsqu'une isolation thermique est de toute manière appropriée, comme c'est notamment le cas pour les nouvelles constructions, la question qui se pose est celle des coûts et avantages supplémentaires qu'entraîne une augmentation de l'épaisseur de l'isolation. Les formes d'exécution actuelles, resp. les prescriptions légales en vigueur aujourd'hui font alors référence.

Il a fallu, d'une part, caractériser les formes d'exécution et de construction ainsi que les comportements en cas de rénovation, utilisés comme références, pour des cas typiques en se fondant sur les propriétés énergétiques et techniques de construction propres à chaque élément de construction / bâtiment. D'autre part, il y avait lieu de déterminer la signification quantitative de ces divers cas, c'est-à-dire leur fréquence pour l'ensemble de la Suisse. Outre le recours aux publications et statistiques existantes, il a également fallu procéder à des relevés à la source. Ont notamment été exploités à cet effet les données sur l'énergie des administrations des constructions et le programme de lutte contre le bruit du canton de Zurich afin d'obtenir non seulement des moyennes mais aussi des indications sur la répartition de paramètres tels que la demande d'énergie spécifique ou les chiffres sur l'enveloppe des bâtiments. Dans le secteur des bâtiments existants, nous avons en outre pu obtenir des renseignements sur les cas problématiques et les risques qu'une rénovation serait parfois susceptible d'entraîner du point de vue de la physique du bâtiment.

Les cas de référence suivants sont considérés comme pertinents:

- *Nouvelle construction*: les prescriptions énergétiques actuelles en matière de consommation de chaleur des bâtiments (SIA 380/1) resp. la qualité énergétique effectivement obtenue pour les nouvelles constructions avec les parts respectives des bâtiments à meilleure efficacité énergétique (Minergie), des bâtiments dont l'efficacité énergétique est située dans la moyenne et des bâtiments à moins bonne efficacité énergétique.
- Pour *la rénovation des bâtiments*, il faut distinguer deux cas:
 1. ravalement (p. ex. réfection du crépi ou peinture de la façade);
 2. rénovation énergétique (p. ex. isolation de la façade de 12 cm).
- *Éléments de construction*:
isolation des murs: épaisseur d'isolation de 0 cm, resp. de près de 12 cm,
isolation de la toiture d'une épaisseur de près de 14 cm,
Fenêtres: Valeur $U_{\text{vitre}} = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, Valeurs $U_{\text{CadreBois}} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$, Valeur $U_{\text{lastique}} = 1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$

La détermination des surcoûts induits par les investissements plus conséquents dans des améliorations énergétiques des bâtiments part du principe que ces investissements sont engagés simultanément dans le même projet de construction, c'est-à-dire que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolation coïncide avec la période de la rénovation (avec ou sans isolation thermique) initialement prévue.

Coûts et bénéfices peuvent également être présentés sous forme annuelle en fonction des besoins Q_h en énergies de chauffage (cf. illustration R.8). Cette forme de présentation facilite la comparaison avec d'autres facteurs de coûts (en particulier les loyers) de l'économie du logement.

Comme la majorité des mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique et des investissements dans les bâtiments entraînent assez peu d'entretien, la part des coûts en capital est généralement proche de 100% (sauf pour les installations d'aération). Les coûts annuels resp. les coûts marginaux réagissent de la même manière face au taux d'intérêt hypothétique. Du point de vue économique tout comme à long terme, un taux réel de 3% à 3,5% peut être considéré comme réaliste. A l'heure où nous rédigeons le présent rapport, il est difficile d'estimer si la tendance à exiger des taux d'intérêts plus élevés se poursuivra chez les gros investisseurs institutionnels, surtout par rapport aux bâtiments d'exploitation, et si cette situation aura une incidence significative sur une partie des immeubles locatifs. Pour illustrer notre propos, les coûts marginaux ont parfois été calculés pour un taux d'intérêts réel de 5,5%. D'autres aspects liés au choix du taux d'intérêts réel seront abordés au prochain chapitre qui traite de l'évaluation économique compréhensive.

Éléments d'une évaluation économique compréhensive

L'évaluation économique compréhensive doit intégrer les éléments supplémentaires suivants:

- Interprétation économique des coûts relevés
- Progrès techniques et dynamique des coûts
- Evolution future du prix de l'énergie
- Evolution des conditions-cadres – Evaluation du rendement, diminution et vieillissement de la population résidente
- Avantages supplémentaires pour le particulier et pour la collectivité

Interprétation économique des coûts relevés

L'interprétation des données des coûts liés à ce que l'on appelle les «investissements forcés en vue d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments» doit tenir compte du fait que le marché y relatif n'est encore qu'embryonnaire. Tant sur le plan des aspects techniques que celui du calcul des coûts, les entreprises – du moins une partie d'entre elles – n'ont encore que peu d'expérience, voire pas d'expérience du tout. La dispersion des coûts de ce genre de mesures plus conséquentes n'en est que plus forte, au contraire du secteur du standard de construction, aujourd'hui devenu usuel, où l'on relève une dispersion beaucoup moins importante. Les indications fournies en matière de coûts comportent souvent une composante de coûts d'apprentissage ou de «prudence»; parfois, le fournisseur suppose que le maître d'ouvrage conscient des questions énergétiques se considère comme un «pionnier en matière de technique de chauffage» et acceptera donc un prix plus élevé (marché des pionniers). La méthodologie adoptée tient compte de cet état de fait en prenant en considération, non seulement les chiffres moyens, mais également la *best practice*, de même qu'en excluant les chiffres anormalement élevés de la définition des moyennes.

Progrès techniques et dynamique des coûts

Pour les investisseurs gérant un important portefeuille immobilier et, en particulier, pour l'administration et les politiciens, il est important de savoir que des progrès technico-économiques ont été observés par le passé en matière d'isolation thermique. Du point de vue méthodologique, ces progrès peuvent être décrits grâce au concept des «courbes d'apprentissage et d'expérience». Suivant ces modèles, les nouvelles technologies commencent toujours par être relativement chères lors de leur lancement sur le marché, mais l'expérience démontre qu'à chaque fois que double leur taux d'utilisation, leurs coûts diminuent à raison d'un certain pourcentage (en général 10% à 20%). Les mesures d'amélioration énergétique (en particulier celles concernant les bâtiments) présentent une structure de coûts multiple. Différents coefficients de déflation (déflateurs) ont été attribués aux divers facteurs de coûts afin de convertir au niveau actuel des coûts l'évolution nominale des prix enregistrée auprès des entreprises, resp. d'établir les différentes réductions des coûts, ce qui permet de procéder à des estimations de l'évolution probable des coûts pour ces deux à trois prochaines décennies.

En raison des interactions entre les quantités converties et les réductions de coûts, l'évolution future des coûts ainsi que les progrès techniques prévisibles sont, dans une certaine mesure, modulables. En favorisant l'efficacité énergétique par la mise en place de conditions-cadre appropriées (conditions-cadres, programmes de promotion limités dans le temps, redevances incitatives, etc.), on permet aux entreprises d'accumuler de l'expérience et d'initialiser des processus d'apprentissage.

Evolution future du prix des énergies

Deux raisons justifient que les calculs relatifs à la rentabilité des investissements engagés dans l'isolation thermique, dont l'efficacité s'étale sur des périodes allant de 30 à plus de 50 ans, ne s'appuient pas sur les prix actuels de chauffage, respectivement sur les prix actuels de l'énergie, mais sur des bases plus élevées à estimer comme prix moyens pour toute la période d'utilisation.

- *L'industrialisation et la motorisation rapide* de la Chine, de l'Inde et de l'Amérique du Sud au cours des quelques décennies à venir impliquent une croissance élevée de la demande d'énergie, soit env. 2% par année pour l'ensemble de la Terre et s'ajoutent à un recul des possibilités de production de pétrole et de gaz naturel dans les pays qui ne sont pas membre de l'OPEP. De plus, les *maxima de la production pétrolière globale* devraient être atteints entre les années 2020 et 2030. Ces deux évolutions entraîneront, ces deux prochaines décennies, une *rapide reconcentration de l'extraction du pétrole au Proche-Orient*, dont la part actuelle de 30% de la production pétrolière mondiale passera à 50% d'ici 2020. Même dans l'hypothèse où cette région de production pétrolière devrait se stabiliser politiquement, on peut s'attendre à ce que le prix du baril du pétrole franchisse la barre des 25\$ le baril du fait du retour à un oligopole pétrolier.
- Bien que les graves conséquences des changements climatiques actuellement en cours ne se manifesteront probablement que dans quelques décennies, leurs premiers effets comme le recul des glaciers alpins, le retrait des régions de permafrost, l'augmentation des précipitations et le prolongement de la période de croissance en Europe (IPCC2001) sont déjà perceptibles aujourd'hui. La loi sur le CO₂ adoptée par la Suisse et les engagements de la plupart des Etats industrialisés vis-à-vis du protocole de Kyoto ne représentent qu'un embryon de réactions politiques aux changements climatiques. A titre d'exemple, une redevance sur le CO₂ de 100 CHF par tonne de CO₂ émis ou un certificat d'émission de 70\$ par tonne de CO₂ doubleraient les prix actuels du pétrole et du gaz naturel et feraient augmenter le prix du chauffage de 70 à 80% environ.

Evolution des conditions-cadres – Evaluation du rendement, diminution et vieillissement de la population résidente

Il est plus qu'improbable que le taux d'intérêts réel supposé reste à peu près constant pendant les très longues périodes d'utilisation considérées. On peut s'attendre à *des changements des conditions de crédit ainsi qu'à une évolution à long terme de la demande de logements*.

- L'Accord de Bâle II oblige les banques à procéder dès 2006 à une évaluation de la solvabilité de leurs clients. Dans le cas des propriétaires fonciers et des entreprises de construction de logements, cette classification dépendra notamment de l'état de leurs bâtiments du point de vue de leur technique de construction, de leur valeur et de leur facilité de location. Les expériences déjà réalisées dans ce domaine montrent qu'une bonne ou mauvaise estimation du rendement peut se traduire par un point entier de pourcentage sur le taux d'intérêt exigé, ce qui peut rapidement entraîner des différences de l'ordre de 25% au niveau des coûts des intérêts. Ce qu'un propriétaire économise aujourd'hui en termes d'investissements portant sur l'isolation thermique d'une maison ou d'un immeuble, il devra ultérieurement le consacrer non seulement au paiement de surcoûts énergétiques, mais peut-être aussi à des surcoûts liés à l'application d'un taux d'intérêt supérieur.
- La demande d'appartements bien isolés pourrait augmenter en raison de l'évolution à long terme de la population résidant en Suisse. Un recul des habitants de notre pays transformerait le marché immobilier et le marché du logement en un marché vendeur. L'Office fédéral de la statistique base son «évolution de la tendance» de la population résidente de la Suisse sur l'hypothèse que la *population résidente diminuera à partir de*

2002. Si tel devait être le cas, le marché du logement se transformerait rapidement en un marché vendeur, ce qui entraînerait un taux de logements vides élevé pour les appartements moins bien lotis du point de vue de leur isolation thermique (ce qui déboucherait également sur une estimation défavorable de la solvabilité des propriétaires concernés). Même dans le cas où un tel recul de la population résidente pourrait être évité par le biais d'une politique d'émigration correspondante, cela n'aurait aucune incidence sur le *fort vieillissement de la population*. En raison de leur circulation sanguine souvent mauvaise, les personnes âgées préfèrent vivre dans des pièces bien chauffées et tendent à aérer moins souvent et leurs revenus relativement plus faibles les incitent à opter pour des appartements aux charges réduites. Bien que ces deux derniers facteurs démographiques d'influence ne puissent être directement intégrés aux calculs de la rentabilité des investissements dans l'isolation thermique des bâtiments, ils peuvent, en tant qu'informations supplémentaires, revêtir une certaine importance lors des décisions d'investissement.

Avantages supplémentaires pour le particulier et pour la collectivité

Les rénovations des bâtiments d'habitation sont très rarement entreprises du seul point de vue des améliorations énergétiques et celles ayant trait à l'enveloppe des bâtiments comprennent la plupart du temps plus que des mesures pertinentes en termes d'efficacité énergétique (p. ex. ravalement de façades, aménagement de chiens-assis, étanchéification des murs de cave). A cela s'ajoute le fait que bon nombre des investissements consacrés à l'amélioration de l'efficacité énergétique entraînent fréquemment, à plusieurs égards, *des avantages supplémentaires* par rapport aux économies liées aux coûts énergétiques qu'il s'agit de prendre en considération dans leur contexte global, notamment pour des raisons d'économie d'entreprise (cf. notamment Ostertag, 1999).

L'évaluation de ce genre d'avantages supplémentaires du point de vue économique (p. ex. amélioration du confort liée à une température des murs plus agréable ou à des pièces bien aérées, amélioration de la sécurité ou possibilités de plonger les pièces dans l'obscurité pendant la journée grâce aux stores, amélioration de l'isolation phonique entraînant une plus-value du bâtiment, resp. une plus grande facilité de location des logements, cf. tableau 1) n'a souvent pas été prise en considération dans les précédentes évaluations de l'économie du logement. Comme sa prise en compte détaillée entraînerait des surcoûts considérables, elle n'est la plupart du temps que partiellement examinée sous l'angle quantitatif par l'investisseur, voire uniquement considérée sous l'angle qualitatif, ou carrément omise (IWO 2000), dans la mesure où le propriétaire de ses quatre murs aura tendance à faire intervenir ses propres préférences, tandis que le bailleur y inclura son estimation des recettes supplémentaires à réaliser sur les loyers, de la plus grande facilité à louer les logements ou de la plus-value liée à l'amélioration du confort d'habitation. Cet exemple montre que les bases d'évaluation économique peuvent prendre des formes variables selon que l'on ait affaire à des propriétaires privés, des gérances immobilières ou des locataires.

L'intégration de ce type d'avantages complémentaires dans une évaluation économique formelle échoue bien souvent par manque d'informations disponibles sur la quantification de ces éléments ou de leur monétisation. Ce domaine nécessiterait par conséquent de mener d'importantes recherches afin d'être en mesure de prendre des décisions objectives en matière de politique énergétique (un tel projet de recherche (EWG) est en cours depuis juillet 2002).

Tableau 1: Exemples d'un avantage non-énergétique des mesures d'isolation thermique et approches méthodologiques de sa monétisation.

Avantage non-énergétique	Base d'évaluation méthodologique
Confort lié à des températures plus élevées à la surface des murs et à une réduction des courants d'air près des fenêtres.	Economies d'énergie supplémentaires liées à la possibilité d'abaisser la température moyenne de la pièce tout en bénéficiant d'une température plus élevée à la surface des murs et des fenêtres et en diminuant les courants d'air.
Réduction des nuisances sonores grâce à des fenêtres à double ou triple vitrage avec effet d'insonorisation indirecte, éventuellement en relation avec une aération contrôlée.	Disponibilité à payer pour une meilleure insonorisation, différenciée par classes de revenus, nuisances sonores, jour/nuit ou surcoûts par rapport à une vitrification antibruit.
Amélioration de la qualité de l'air par aération, humidité contrôlée ainsi que nettoyage de l'air amené.	Pour l'asthme et d'autres maladies des voies respiratoires, réduction des coûts liés à la santé (approche économique top-down).
Agrandissement de la surface utile , c.-à-d. de l'espace habitable en cas d'isolation du toit permettant une extension des combles.	Réduction des déperditions de chaleur liées à la surface du logement ainsi que des coûts de chauffage spécifiques.
Espaces extérieurs utilisables plus vastes et plus nombreux (vitrage et/ou agrandissement des balcons, jardins d'hiver).	Pertinent pour les locatifs exposés à des nuisances sonores importantes ou normales; gérances d'immeubles interrogées au sujet de l'évaluation de l'attribut «balcon».
Protection contre les effractions par réduction des fenêtres ouvertes en cas d'aération.	Estimation des réductions de primes d'assurances, comparaison avec d'autres mesures préventives contre l'effraction.

Coûts externes

En outre, dans les considérations de politique énergétique et environnemental il faudrait que la confédération et les cantons tiennent en compte les coûts externes qui peuvent être évités par des émissions énergétique réduits en effectuant des investissements d'efficacité énergétique. Or, tout en étant conscient des incertitudes, le montant des coûts externes est considérable. Le médian des coûts externes des polluants « classique » s'élève à 2.4 centimes/kWh pour le mazout et à 0.8 centimes/kWh pour le gaz naturel. De plus on estime les coûts des dommages par l'effet de serre à 6 centimes/kWh pour le mazout et à 4.5 centimes/kWh pour le gaz naturel. Du point de vue d'économie de prospérité, ceci sont des valeurs non négligeable.

Relevés et calculs de coûts et bénéfices

Les coûts et les avantages sont tout d'abord examinés au niveau des éléments de construction afin d'élaborer des concepts architectoniques, resp. des faisceaux de mesures aussi avantageux que possible, notamment sur la base des découvertes réalisées (ainsi que d'autres facteurs d'influence).

Éléments de construction: murs, toit et fenêtres

Comme le présent projet avait pour objectif d'identifier l'effet systématique de l'efficacité énergétique sur les coûts et par manque de données chiffrées en matière d'énergie et de coûts, voire de données incomparables entre elles, nous avons opté pour la méthode consistant à obtenir les données idoines directement auprès des fabricants des divers composants d'isolation thermique, resp. des entreprises qui les installent et des économistes de la construction. Une exploitation des projets de construction réalisés aurait posé de gros problèmes de comparaison des données. Par ailleurs, les données disponibles ne se prêtaient pas bien à une approche statistique (régression) puisque peu de bâtiments présentent une efficacité énergétique suffisante et en raison de la multitude des facteurs ayant une incidence sur les coûts.

Des relevés directs auprès des entreprises ont permis d'obtenir des informations sur les prix des matériaux d'isolation des façades et des toits en fonction de l'épaisseur de l'isolation, des informations sur les prix des vitres et des fenêtres en fonction de chiffres de référence en matière de technique énergétique, de même que des informations sur les prix des installations d'aération en fonction de leur type et de leur efficacité énergétique et d'aération et ce, tant pour les nouvelles constructions que pour les projets de rénovations.

Isolation des façades et du toit

Les entreprises de ravalement de façades dans le domaine des façades compactes ventilées, de même que les entreprises de couverture ont fourni des données sur les coûts en fonction de l'épaisseur de l'isolation (cf. p. ex. l'exemple de l'illustration R.2 «Surcoûts des façades ventilées et compactes en fonction de l'augmentation de l'épaisseur d'isolation»). Nous avons recueilli des données concernant des zones d'épaisseurs d'isolation jusqu'à env. 30 à 35 cm, aujourd'hui courantes, et demandé, outre les coûts totaux pour une surface donnée, la structure des coûts. Il est ainsi apparu que les surcoûts ne sont en fait imputables à l'augmentation du coût des matériaux plus épais que pour le tiers à la moitié environ. Le solde des coûts supplémentaires provient des constructions, des matériaux de fixation (p. ex. chevilles), du travail supplémentaire (manutention plus difficile, traitement en deux couches); certains surcoûts sont aussi dus à l'échafaudage (consoles).

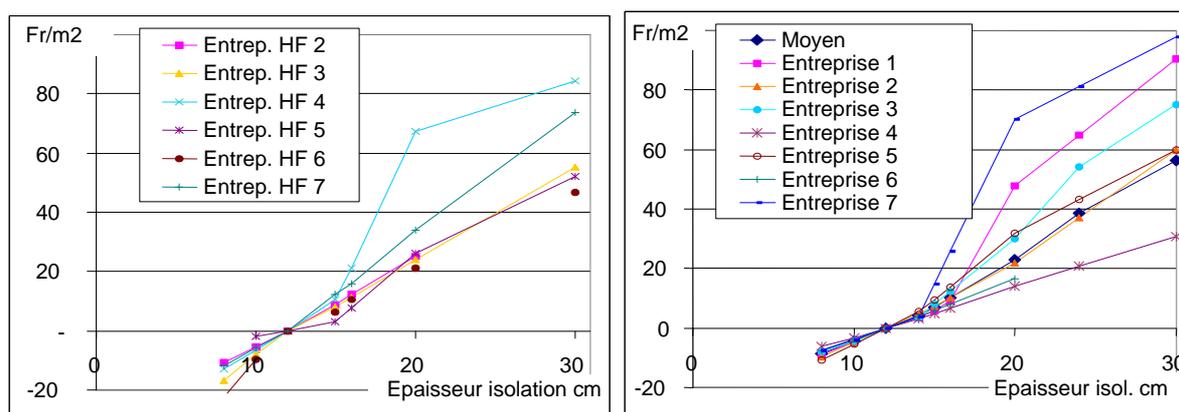


Illustration R.2 Surcoûts d'investissement en fonction de l'épaisseur d'isolation pour isolation des murs extérieurs, à l'exemple d'une façade de fibrociment de petit format (à gauche) et de façades compactes (à droite) par rapport à une épaisseur d'isolation de référence de 12 cm.

Contre toute attente, la différence de progression des coûts entre nouvelle construction et bâtiment rénové est minimale. Il est également surprenant de constater que les coûts des façades ventilées ont plutôt tendance à grimper de manière moins brutale que ceux des façades compactes. Cela s'explique par le fait que, dans le cas des façades compactes, une fixation mécanique supplémentaire devient nécessaire à partir d'une certaine épaisseur d'isolation, ce système de fixation étant de toute façon utilisé pour les façades ventilées. Par ailleurs, un examen plus approfondi des détails de construction ainsi que des raccordements d'éléments de construction adjacents amène des constatations intéressantes. Dans le cas de rénovations, l'isolation des embrasures de fenêtres ou des bordures de toit entraîne certes des coûts supplémentaires, mais leur meilleure efficacité énergétique induit des coûts marginaux sur les économies d'énergie qui ne sont la plupart du temps pas plus élevés qu'avec les éléments de surface. Une planification pertinente des rénovations vaut donc la chandelle et doit être recommandée, même si les rénovations doivent s'échelonner dans le temps.

Le dépouillement des données recueillies révèle aussi que la progression des coûts des épaisseurs d'isolation aujourd'hui usuelles (de 8 à env. 16 cm) est à peu près identique dans toutes les entreprises, mais que pour des épaisseurs d'isolation plus élevées, une forte dispersion des coûts est à relever (cf. illustration R.2). Ces écarts s'expliquent par les différences dans les expériences réalisées par les entreprises; les indications relatives à des surcoûts élevés sont donc le résultat d'une moindre expérience au niveau du calcul des coûts, de l'adjonction d'une marge de sécurité et des marges sur les marchés pionniers.

Tableau 2: Investissements consacrés à l'isolation thermique des façades dans le cas des rénovations (moyenne et *best practice*) et coûts marginaux (approche des coûts moyens, intérêt réel de 3,5%) en comparaison avec les cas de référence «Réfection [2]» et «Rénovation énergétique [1]».

Epaisseur d'isolation (cm)	Valeur isolante (W/m ² K)	Coûts d'investissement (CHF/m ²)		Coûts marginaux bruts (Rp/kWh _{NE})		
		Moy	Best	par rapport à réf. [1]		par rapport à réf. [2]
				Moy	Best	Moyens
0 (Réf. [2])	0.85 - 1.0	35		n.p.	n.p.	-
12 (Réf. [1])	0.28	117	112	-	-	6.1
16	0.23	127	119	12	8.0	6.5
20	0.20	140	133	17	10	7.0
30	0.15	174	143	25	13	8.4

Réf. [2] = Référence «Réfection» (ravalement du crépi, nouvelle peinture)
 Réf. [1] = Référence «Rénovation énergétique» (isolation thermique extérieure de 12 cm)
 n.p. = données non pertinentes

Comme le montre le tableau 2, la dispersion déjà mentionnée a une grande influence sur les coûts marginaux. Les coûts marginaux de l'entreprise dont les coûts progressent le plus modérément (*best practice*) sont presque deux fois plus bas que la moyenne et donc beaucoup plus proches de la limite de rentabilité, en particulier pour les isolations plus épaisses. Du point de vue de la politique énergétique et climatique, mettre en place une dynamique en stimulant le marché sera donc particulièrement efficace. Un aménagement pertinent de cette dynamique permettra d'activer les potentiels d'apprentissage et d'expérience et, par conséquent, de faire baisser les coûts de toutes les entreprises au niveau de la *best practice*.

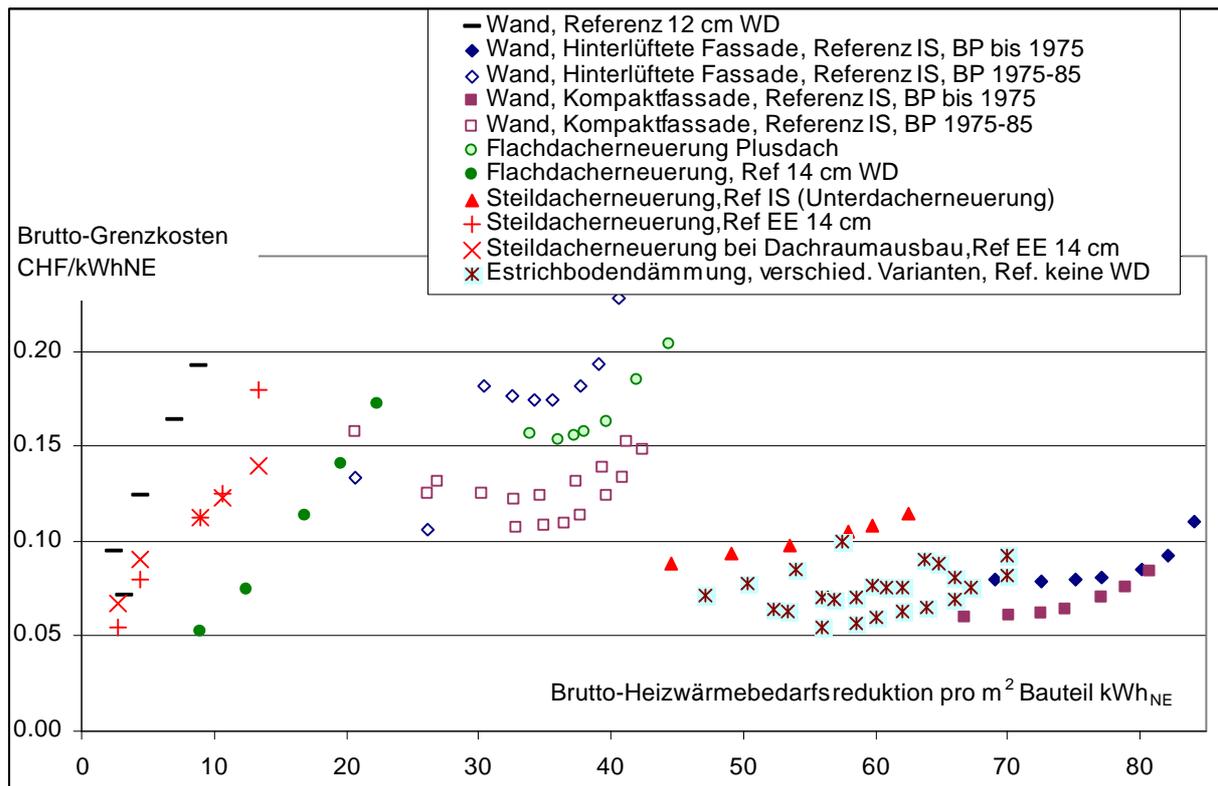


Illustration R.3 Présentation résumée des coûts marginaux bruts (approche des coûts moyens) pour les rénovations (cas de référence: rénovations énergétiques usuelles aujourd'hui) et les nouvelles constructions.

Le cas de référence d'une isolation thermique selon les standards actuels, nécessaire ou prévue de toute façon, montre que, pour la plupart des éléments de construction opaques, la progression des coûts moyens est à peu près identique à la réduction d'énergie utile, c.-à-d. qu'il faut s'attendre à des surcoûts à peu près équivalents pour chaque kWh_{NE} de déperdition de chaleur en moins obtenu pour l'élément de construction concerné (cf. illustration R.3). Autrement dit, à certains coûts marginaux, le gain d'efficacité énergétique par m² est à peu près équivalent. On note cependant une exception: les toits plats, qui présentent des coûts marginaux nettement inférieurs.

Par contre il y a une grande différence entre les deux cas de référence principaux : isolation avec épaisseur de référence ou réfection. Comme le montre le tableau 2, les coûts marginaux (approche des coûts moyens) sont notablement plus bas par rapport au cas de référence de réfection. De plus, le gain d'efficacité énergétique par m² de surface est considérablement plus élevé (69 kWh/m² avec 12 cm par rapport à 0 cm, 80 kWh/m² avec 20 cm par rapport à 0 cm), tandis que le gain énergétique utile est seulement de 7 à 9 kWh/m² si l'on passe de 12 cm à 20 cm.

Les fenêtres doivent être considérées sous un autre angle, car dans ce cas, le bilan énergétique et, par conséquent, les gains d'efficacité énergétique des divers types de fenêtres et de vitres dépendent beaucoup de leur situation (ombre, durée d'ensoleillement, proportions par rapport à la surface, rapport entre gains et déperdition de chaleur). Voir également «Autres exécutions» au prochain chapitre.

Fenêtres et cadres de fenêtre

Des offres indicatives de prix ont été demandées à une centaine d'entreprises, choisies au hasard, spécialisées dans la construction de fenêtres. En outre, les grandes entreprises de construction de fenêtres ont été délibérément sélectionnées, de même que celles proposant des fenêtres d'une très grande efficacité énergétique.

Par le passé, l'amélioration des performances énergétiques des fenêtres a surtout été le fait des remarquables progrès techniques réalisés au niveau des vitrages. Même le standard actuel de $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ peut encore être abaissé par une amélioration des enduits, le recours à d'autres gaz de remplissage et un triple plutôt qu'un double vitrage. Les surcoûts y relatifs sont identiques pour les fenêtres en bois ou en matière synthétique; de nettes différences apparaissent toutefois entre les petites et les grandes fenêtres, comme le révèle l'illustration R.4. En raison de leurs proportions géométriques et du fait que les vitres présentent des indices d'isolation plus bas que les cadres, les valeurs initiales des grandes fenêtres sont non seulement plus basses, mais la progression de leurs coûts en fonction des améliorations apportées au plan énergétique est également plus graduelle. La grande fenêtre d'une maison passive peut être acquise à un prix spécifique comparable à celui d'une petite fenêtre standard.

Ces dernières années, des efforts ont également été entrepris pour optimiser les cadres de fenêtres. Les fenêtres à cadre en matière synthétique présentent une évolution beaucoup plus avancée que celles à cadre métallique ou en bois. Cette réalité se traduit sur le marché par une offre plus large en ce qui concerne les qualités de cadres et apparaît sur l'illustration 4. L'augmentation de coûts des cadres optimisés est considérablement plus marquée pour les cadres en bois que pour les fenêtres à cadre en matière synthétique. L'augmentation de la demande de fenêtres bien isolées résultant des prescriptions de construction Minergie a toutefois également créé pour les fenêtres à cadres de bois, un segment de l'offre qui, jusqu'à présent, ne concerne que les strictes exigences du standard des maisons passives. .

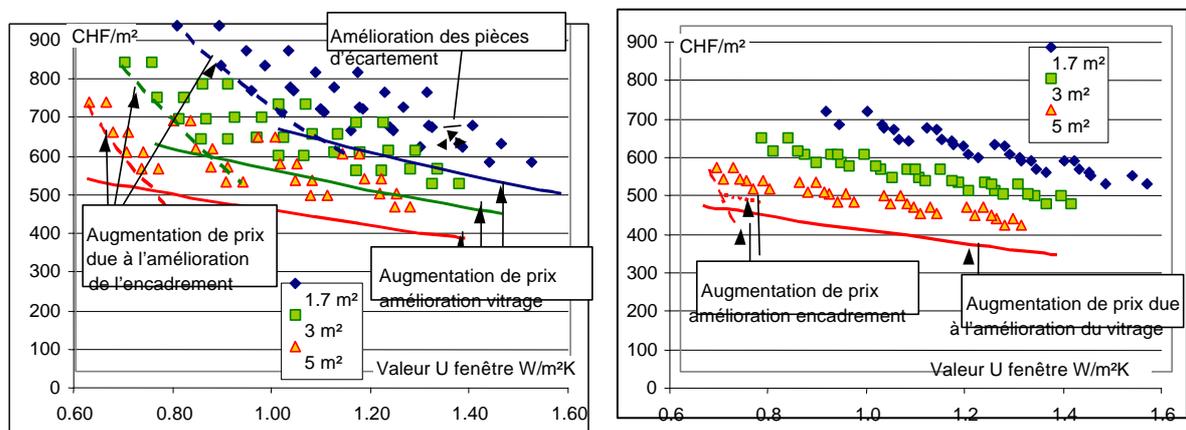


Illustration R.4 Coûts d'investissement des fenêtres en bois (à gauche) et en matière synthétique (à droite) pour des fenêtres de différentes dimensions en fonction de l'indice d'isolation de l'ensemble de la fenêtre.

La relation coût/avantages des fenêtres est influencée par d'autres facteurs encore que leur valeur isolante. Pour les fenêtres orientées vers le sud, mais aussi en cas d'orientation est et ouest peu ombragée, le flux énergétique est positif pendant toute la période de chauffage où la fenêtre fonctionne comme un collecteur solaire et emmagasine de la chaleur solaire, ce qui se répercute sur la consommation d'énergie de chauffage. Le choix de la qualité du vitrage ne

tient donc plus uniquement compte de l'indice d'isolation, mais également d'un indice g aussi élevé que possible (taux global de pénétrations de l'énergie $\geq 50\%$ en % de l'ensoleillement), car sinon, le gain d'isolation serait compensé par une moindre absorption d'énergie solaire.

Les fenêtres doivent donc être considérées différemment des autres éléments de construction puisque, outre la réduction de la déperdition énergétique par transmission de chaleur, il convient dans ce cas de tenir compte également des gains d'énergie solaire, si bien qu'on obtiendra, pour une fenêtre ayant un indice d'isolation donné, des coûts marginaux très variables en fonction de son orientation, de l'ombre et de sa valeur g. Les chiffres de la fenêtre présentée à la illustration R.5 illustrent bien cette situation.

La diversité des possibilités d'influer positivement tant sur les coûts que sur les bénéfices énergétiques dans les nouvelles constructions apparaît sur le l'illustration R.5. Un élément architectonique très attrayant consiste à concevoir de grandes plutôt que de petites fenêtres. De même, l'agrandissement de la surface totale des fenêtres permet d'abaisser la demande d'énergie de chauffage et ce, à des coûts spécifiques relativement peu élevés, en particulier lorsque, simultanément, on utilise de grandes plutôt que de petites fenêtres.

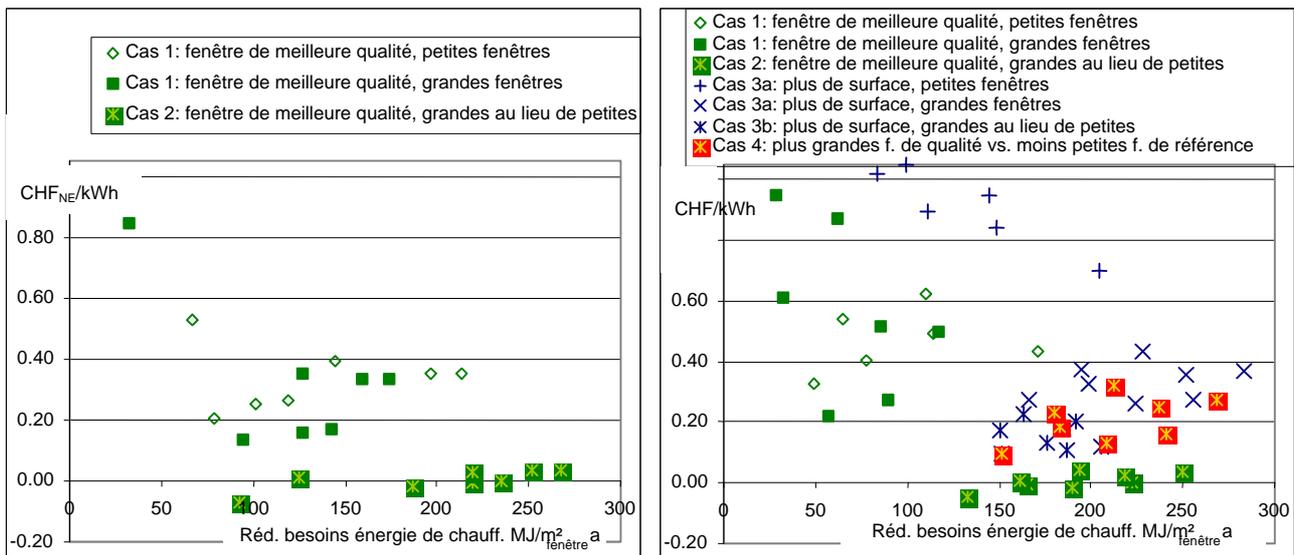


Illustration R.5 Présentation résumée des coûts marginaux bruts (approche des coûts moyens) des fenêtres pour différents cas et orientations (illustration de gauche: nord; illustration de droite: sud), taux d'intérêt réel de 3,5%, pour une durée de vie de 30 ans.

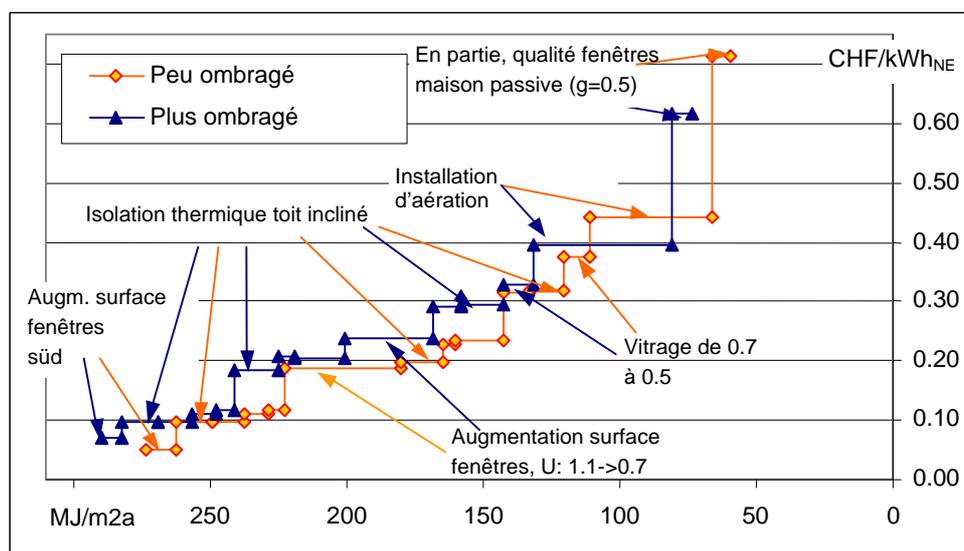
Le bâtiment dans son ensemble

En passant des divers éléments d'une construction au bâtiment dans son ensemble, il faut être conscient du fait qu'il existe certaines interactions entre les différents facteurs de coûts, de même qu'entre les avantages énergétiques des divers secteurs d'investissement. Dès lors, les relations coûts/bénéfices peuvent se déplacer par rapport à l'analyse isolée effectuée sur les types d'éléments de construction. Au plan énergétique, il faut par exemple mentionner le degré d'utilisation de la chaleur libre (chaleur solaire plus chaleur des personnes et appareils), lequel diminue légèrement à mesure qu'augmentent l'isolation thermique ou les gains d'énergie solaire. De même, on constate certaines interactions au niveau des coûts: les coûts de

production et de distribution de chaleur peuvent être réduits en cas de diminution croissante de la demande d'énergie de chauffage.

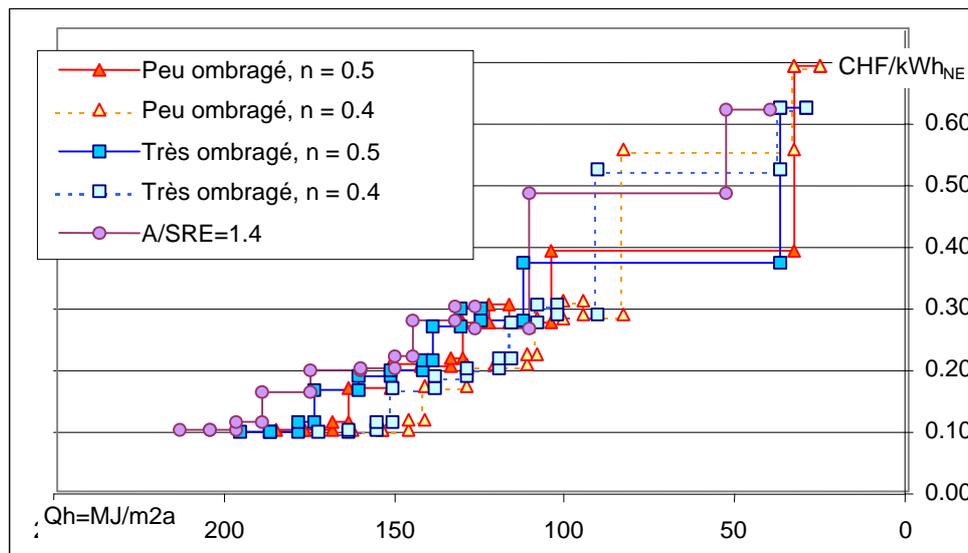
Les rapports des surfaces d'un bâtiment dans son ensemble étant connus d'avance pour tout le parc immobilier, il est possible d'inférer directement son potentiel d'améliorations de l'efficacité énergétique en se fondant sur les divers éléments de construction. Pour les nouvelles constructions, on dispose d'une certaine marge de manœuvre pour influencer sur la demande d'énergie du bâtiment, notamment par le truchement de sa conception architectonique. Une autre marge de manœuvre existe au niveau de la couverture du reste de la demande d'énergie de chauffage, car la liberté d'opérer des choix en matière de technique ménagère y est plus importante que pour le parc immobilier, qui impose de tenir compte de la situation préexistante et pour lequel un changement de système présente souvent des inconvénients au plan économique (coûts transactionnels).

L'examen de plusieurs concepts de nouvelles constructions et de divers cas de figure a révélé que la courbe de leurs coûts marginaux présentait une progression relative similaire (cf. illustration R.6 et R.7). Cela s'explique par le fait que les coûts marginaux des divers éléments de construction progressent eux aussi de manière assez identique. Des différences existent bien sûr au niveau de l'apparence extérieure. Plus favorable est le rapport entre l'enveloppe du bâtiment et la surface de référence énergétique (A/SRE), plus basse est la valeur énergétique initiale et, par conséquent, plus abruptement se redresse la courbe des coûts marginaux. A supposer que les mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique doivent être strictement adoptées dans l'ordre croissant de leurs coûts marginaux, la séquence desdites mesures pourra aussi changer dans certains cas. Il est néanmoins assez essentiel que des mesures progressives soient appliquées pour tous les éléments de construction et non seulement ponctuellement pour certains d'entre eux.



Calculs CEPE

Illustration R.6 Courbe des coûts marginaux bruts (ne tenant pas compte de la réduction des coûts au niveau de la production et de la distribution de chaleur) pour des locatifs peu ombragés et pour des locatifs plus fortement ombragés (séquence des mesures selon le principe des coûts marginaux croissants)



Calculs CEPE

Illustration R.7 Courbe des coûts marginaux bruts (ne tenant pas compte de la réduction des coûts au niveau production/distribution de chaleur) pour des locatifs diversement ombragés et pour différentes situations initiales au niveau de la ventilation (renouvellement de l'air).

En conclusion, on retiendra qu'une stratégie d'isolation thermique conséquente ou une stratégie combinée de gain d'isolation et de gain solaire entraîne des coûts similaires (sur le Plateau). Ceci reste vrai tant que l'on a affaire à un site relativement peu ombragé, donc en particulier dans le cas des maisons individuelles ainsi que des locatifs situés dans des régions à faible densité d'utilisation.

Les coûts marginaux bruts présentés ci-dessus ont permis de situer, les uns par rapport aux autres, les différents investissements visant une amélioration d'efficacité énergétique, de même que la comparaison de divers concepts de nouvelles constructions. Il n'est toutefois pas encore possible d'effectuer une évaluation de rentabilité définitive. Dans une prochaine étape, les coûts de production de chaleur en fonction des besoins en énergie de chauffage, resp. des besoins d'énergie utile devront être intégrés dans l'analyse. Le calcul des dimensions des installations a été réalisé en vertu des besoins d'énergie utile, ces derniers étant toutefois calculés de manière différenciée selon les concepts de construction réellement examinés. En effet, la plupart du temps, les besoins d'énergie utile diminuent moins que proportionnellement à la réduction de la demande annuelle d'énergie de chauffage, car le dimensionnement de la puissance des installations est fondé sur les besoins pendant les jours les plus froids de l'année, en l'absence d'ensoleillement et donc de gains solaires et ce, bien que les gains d'énergie solaire soient susceptibles d'entraîner une réduction de la demande d'énergie de chauffage. Les compensations des coûts potentielles découlant de la possibilité de recourir à de plus petites installations de chauffage sont assez réduites dans le cas des chauffages au mazout, au gaz et au bois. Les coûts d'investissement des pompes à chaleur et, en particulier, des pompes à chaleur sol/eau, enregistrent un net recul. Les surcoûts des investissements consacrés à l'enveloppe des bâtiments ne peuvent toutefois être entièrement compensés par aucun type d'installation, même si la distribution hydraulique de chaleur peut être négligée lorsque le standard de la maison passive est correctement exécuté.

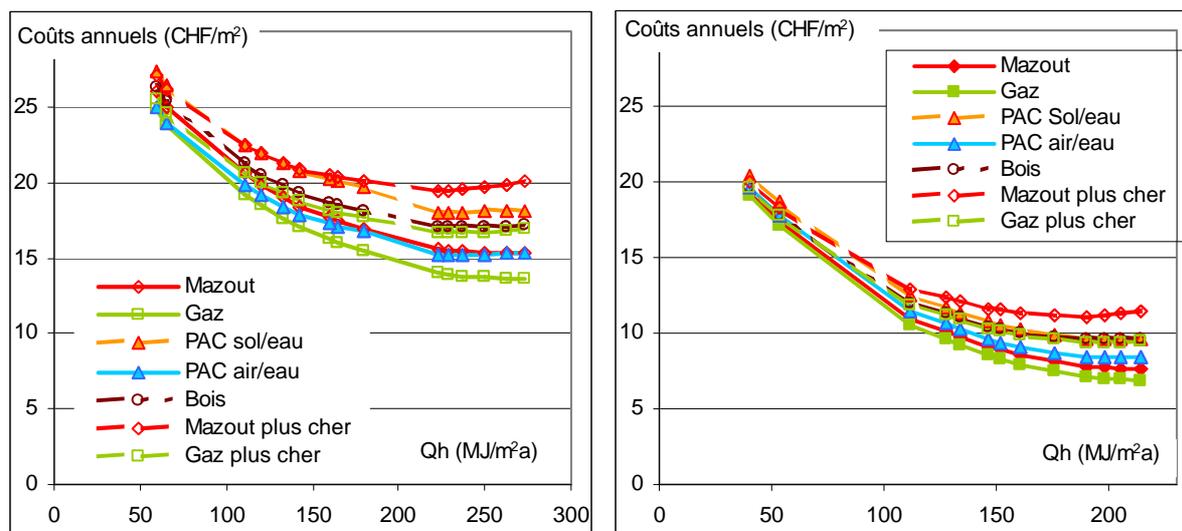


Illustration R.8 Coûts annuels (tenant compte de la réduction des coûts au niveau production/distribution de chaleur) de divers types d'installations pour maisons individuelles (à gauche) et immeubles locatifs (à droite). Prix de l'énergie plus élevé pour chauffages au mazout ou au gaz: majoration de 210 CHF/t CO₂.

Comme le montre l'illustration R.8, les coûts annuels d'ensemble (nets) se distinguent par une progression d'abord très lente dans le secteur des méthodes de constructions actuelles ainsi qu'en dessous (p. ex. entre 250 et 200 MJ/m²a). L'exemple illustré ici permet d'atteindre sans surcoûts trop importants une amélioration des besoins spécifiques d'énergie de chauffage Q_h de 40 MJ/m²a à 60 MJ/m², resp. d'un quart et ce, même dans l'hypothèse conservatrice où le prix de l'énergie ne s'élève, en moyenne pour toute la durée de vie des mesures concernées, qu'à 4.5 cts/kWh (env. 45 CHF/100 l). Au-delà de 100 MJ/m²a, la demande d'énergie de chauffage peut être réduite pour des coûts nets de 2 à 3 CHF/m² ce qui, pour un appartement de 120 m², représente des surcoûts de 20 à 30 CHF/mois. En cas de hausse du prix de l'énergie prévue en raison d'un impôt de 210 CHF par tonne de CO₂, la progression des coûts s'aplatit encore un peu plus et la condition économique optimale se déplace vers la gauche, à un niveau inférieur de demande d'énergie spécifique.

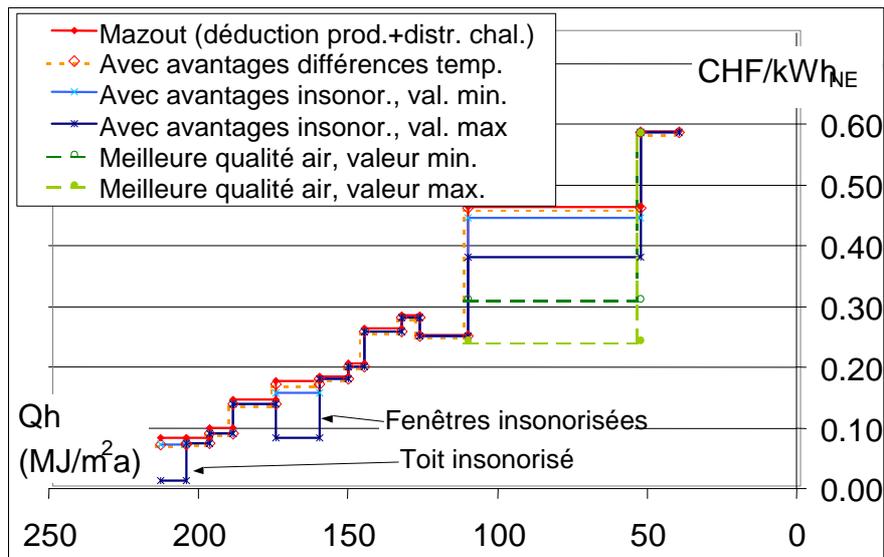
La présentation ci-dessus ne prend pas en compte le fait que des architectes et des entreprises de construction à la pointe en matière d'efficacité énergétique sont simultanément ceux qui proposent les coûts de construction les plus bas, notamment dans le souci de compenser au moins partiellement les surcoûts occasionnés par l'efficacité énergétique. Dans certains cas, la hausse des coûts peut donc tout à fait évoluer de manière plus modérée (à ce sujet, se référer également à la variation des surcoûts présentée à l'illustration R.2).

N'ont pas non plus été pris en compte, dans la présentation ci-dessus, d'autres avantages dits «non-énergétiques» souvent constatés lors de l'adoption de mesures plus rigoureuses visant une amélioration de l'efficacité énergétique (voir le prochain chapitre).

Avantages supplémentaires des investissements consacrés à l'isolation thermique (co-bénéfices)

Les trois exemples ci-après illustrent la manière dont l'intégration d'autres avantages dans l'évaluation économique peut réduire les coûts marginaux liés à l'énergie (cf. illustration R.9).

- Pour quantifier l'augmentation du confort d'habitation, nous nous sommes basés sur des recherches empiriques sur le confort prenant en compte les différences de température entre les murs et l'air ambiant ainsi que les conditions du courant dans le salon. On a déjà découvert depuis de nombreuses années qu'à confort équivalent, une diminution de, par exemple, 5° C de la différence de température entre les murs d'une pièce et la température moyenne de son air permet une réduction de 1° C de la température de la pièce. La prise en compte de cet effet n'entraîne en fait qu'un avantage supplémentaire relativement minime, soit tout au plus un centime par kWh d'énergie de chauffage.
- Le remplacement d'anciennes fenêtres à double vitrage, l'utilisation de vitrages doubles ou triples avec structure asymétrique du verre, de même que de verres spéciaux (résine moulée), le remplacement des boîtiers de stores ainsi que des matériaux d'isolation (lourds) à base de substances minérales contribuent à une diminution de la transmission de l'énergie sonore à l'intérieur des bâtiments. Une quantification de la réduction de bruit ainsi obtenue peut être faite en se basant sur une évaluation de la réduction des coûts induits par le bruit. Ces coûts liés au bruit peuvent être observés de manière empirique, notamment au travers des pertes de loyer consécutives aux nuisances sonores; diverses études les chiffrent entre 0.6% et 0.9 %/dB. Le facteur de réduction du bruit de loin le plus important provient du secteur fenêtres et/ou stores; une première estimation grossière permet de le fixer à 50% des coûts susmentionnés lorsqu'une installation d'aération est utilisée simultanément. Mais les mesures d'isolation thermique faisant appel à des matériaux minéraux dans le secteur des toitures revêtent également une certaine importance (en particulier contre les nuisances sonores, transmises sur de longues distances, liées aux transports aériens ou à la circulation routière, de même que le bruit produit par des installations de production industrielle). Les exemples choisis montrent que la protection contre le bruit au niveau des fenêtres et du toit peuvent avoir une incidence importante voire décisive sur la rentabilité des mesures d'isolation thermique (illustration R.9).
- L'utilisation d'installations d'aération a une influence non moins importante sur l'amélioration de la qualité de l'air dans les pièces. Elle peut améliorer la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments situés dans des quartiers d'habitation très pollués (p. ex. routes à forte circulation), que ce soit par la réduction du taux de renouvellement de l'air en cas d'assainissement des portes et des fenêtres ou par le filtrage de l'air amené depuis l'extérieur pour les installations d'aération, et/ou assurer l'aspiration de l'air par le côté du bâtiment le plus éloigné de la circulation routière. L'autre cas est celui d'un taux de renouvellement de l'air trop faible dans des bâtiments d'habitation bénéficiant d'une bonne isolation thermique et présentant une atmosphère interne trop humide (p. ex. en raison d'une humidité croissante) ou des concentrations de produits toxiques relativement élevées provoquées par les aménagements intérieurs (p. ex. tapis synthétiques, meubles en aggloméré à haute teneur en produits chimiques), insupportables pour les asthmatiques et pour d'autres personnes prédisposées aux allergies et aux maladies des voies et organes respiratoires. Il est toutefois presque toujours très difficile de quantifier ces effets, leur monétisation devant par conséquent la plupart du temps être réalisée par des méthodes économétriques.



Source: calculs CEPE

Illustration R.9 Courbe des coûts marginaux des investissements consacrés à l’isolation thermique, compte tenu de certains co-bénéfices (confort accru, insonorisation, meilleure qualité de l’air dans les pièces grâce aux installations d’aération)

Les avantages des co-bénéfices sont également visibles par la forme de présentation des coûts annuels (cf illustration R.10). En particulier, la forte progression des coûts de l’installation d’aération s’aplanit considérablement lorsque sont pris en compte les avantages supplémentaires apportés par une installation d’aération et lorsque tous les coûts d’amélioration de l’efficacité énergétique sont attribués.

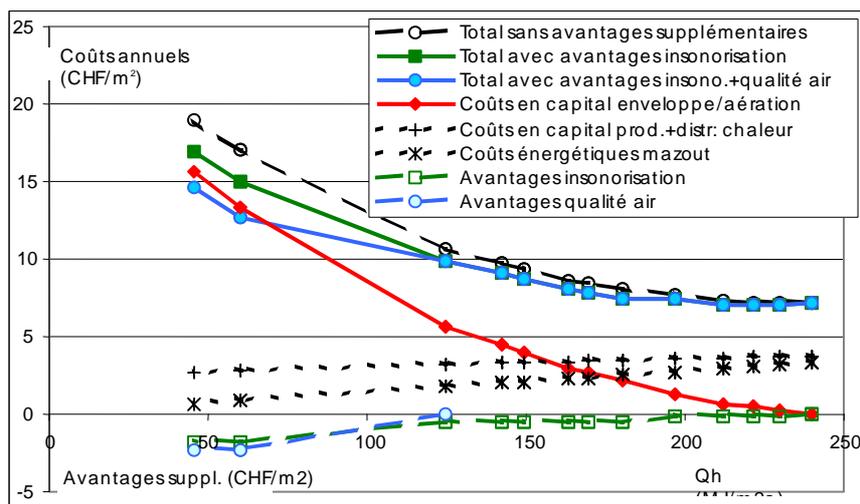


Illustration R.10 Coûts annuels totaux et leurs composants (surcoûts des investissements consacrés à l’efficacité énergétique, réduction des coûts de production / distribution de chaleur), de même qu’avantages supplémentaires. Présentation fondée sur l’exemple d’un nouvel immeuble locatif. Hypothèses: intérêt réel de 3%, prix de l’énergie de 4.5 cts/kWh

Au contraire des coûts annuels, les coûts d'investissement commencent immédiatement à grimper dès le point de référence énergétique, même si ce n'est que légèrement (cf. illustration R.10). Les décisions uniquement fondées sur les coûts d'investissement ne mènent donc pas à des modes de constructions optimaux du point de vue énergétique et économique. Bien que cette affirmation soit en soi triviale et n'apporte pas grand-chose de neuf, elle est en réalité fréquemment négligée et ce, bien souvent, en raison du dilemme investisseur / utilisateur.

Coûts et avantages futurs des investissements consacrés à l'efficacité énergétique

A ce jour, la méthode des courbes d'apprentissage et d'expérience était surtout appliquée dans le domaine des centrales nucléaires, de même que des équipements et installations de conversion énergétique. Dans le présent projet, elle a été transposée au domaine des mesures d'efficacité énergétique. Il faut tenir compte des différences suivantes par rapport aux champs d'application antérieurs de la méthode:

Les quantités caractérisant le progrès d'apprentissage et les effets d'échelle (p. ex. m² de fabrication de vitres ou de fenêtres, ou quantité de matériaux d'isolation thermique) peuvent être obtenues de manière empirique et leur influence sur la régression des coûts inférée pour les trois dernières décennies. Ainsi, depuis 1970, les progrès techniques en matière de protection contre le chaleur se sont élevés à env. 1,8 %/a pour les systèmes de fenêtres et env. 2,3 %/a pour les matériaux d'isolation thermique. Simultanément, les coûts de fabrication réels découlant des effets d'apprentissage et d'échelle ont diminué de 0,8 %/a en moyenne. On peut en déduire les chiffres des coefficients dégressifs en cas de doublement de la production. Selon l'état du cycle d'innovation, ceux-ci sont situés dans une plage oscillant habituellement entre 0,8 et 0,9.

Comme les effets d'apprentissage et d'échelle des diverses mesures d'isolation thermique dus à une réduction de la pénétration du marché et/ou de nouvelles techniques (isolation du noyau ultraperformante, fenêtres à haute efficacité énergétique) sont encore loin d'être épuisés, il faut compter avec des réductions supplémentaires des coûts pour chaque kWh de déperdition de chaleur évitée dans tous les secteurs du bâtiment. Ainsi, depuis un certain temps, par exemple, la plaque isolante de Styropor est munie d'un noyau en matière synthétique moussée présentant une conductivité thermique moindre au facteur de 1,8. Par rapport aux autres matériaux habituellement utilisés de nos jours, on réduit ainsi de près de 40% l'épaisseur de l'isolation. Pour les épaisseurs d'isolation de 100 à 120 mm, ce nouveau matériau – et ces nouvelles solutions de construction – permettent d'atteindre un standard énergétique extrêmement bas, en particulier au niveau des raccords, en fonction de la pratique habituelle en matière de coûts. Ce produit est disponible sur le marché, de même qu'un Styropor aux performances de 10% à 20% supérieures amélioré grâce à des particules de graphite. La technique de l'isolation sous vide d'air est très prometteuse; elle revêt un grand intérêt pour la plus grande liberté qu'elle autorise au niveau de la conception architecturale du fait de son haut pouvoir isolant et ce, pour de relativement faibles épaisseurs d'isolation, resp. une faible profondeur de panneaux.

En ce qui concerne les systèmes de fenêtres, le progrès technique passe par une amélioration des pièces d'écartement, des enduits des vitres, du remplissage avec des gaz nobles, des triples vitrages et de l'amélioration de l'isolation des cadres. A moyen terme, on peut prévoir le développement de vitres plongées sous vide d'air ainsi que de l'insertion de films isolants entre les verres. Ces nouvelles technologies sont souvent très chères lorsqu'elles sont lancées sur le marché, mais l'expérience démontre que chaque fois que leur utilisation double, les prix diminuent ensuite de 10 à 15 %.

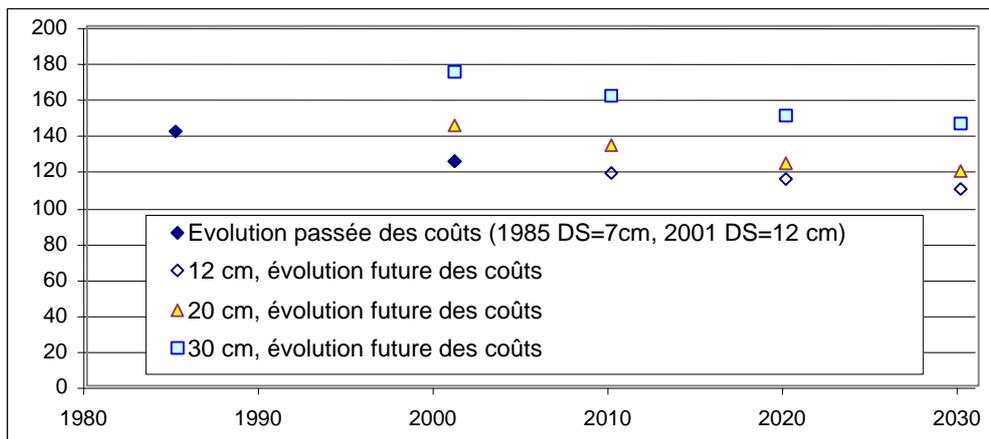


Illustration R.11 Evolution passée et future des coûts d'isolation thermique des façades compactes (relevés et calculs CEPE)

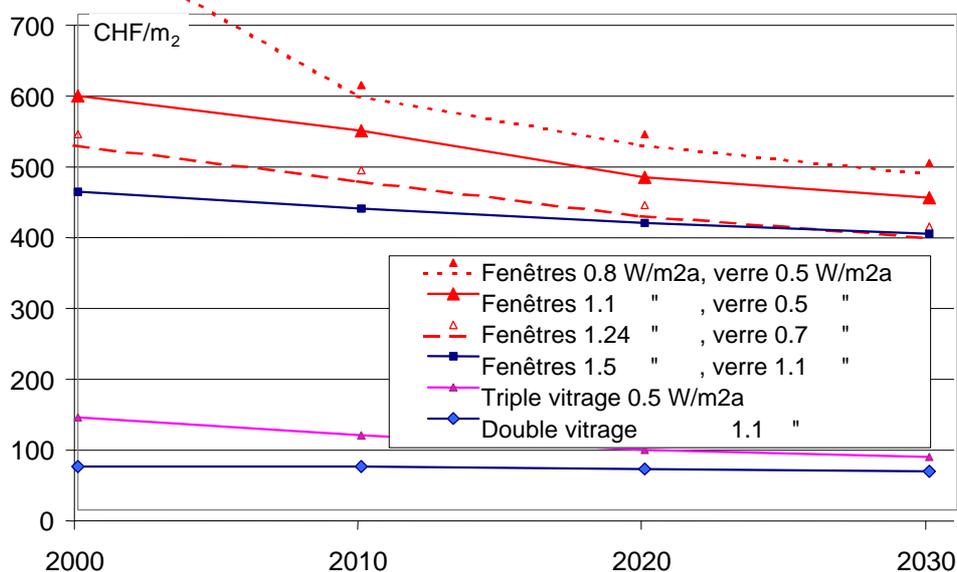


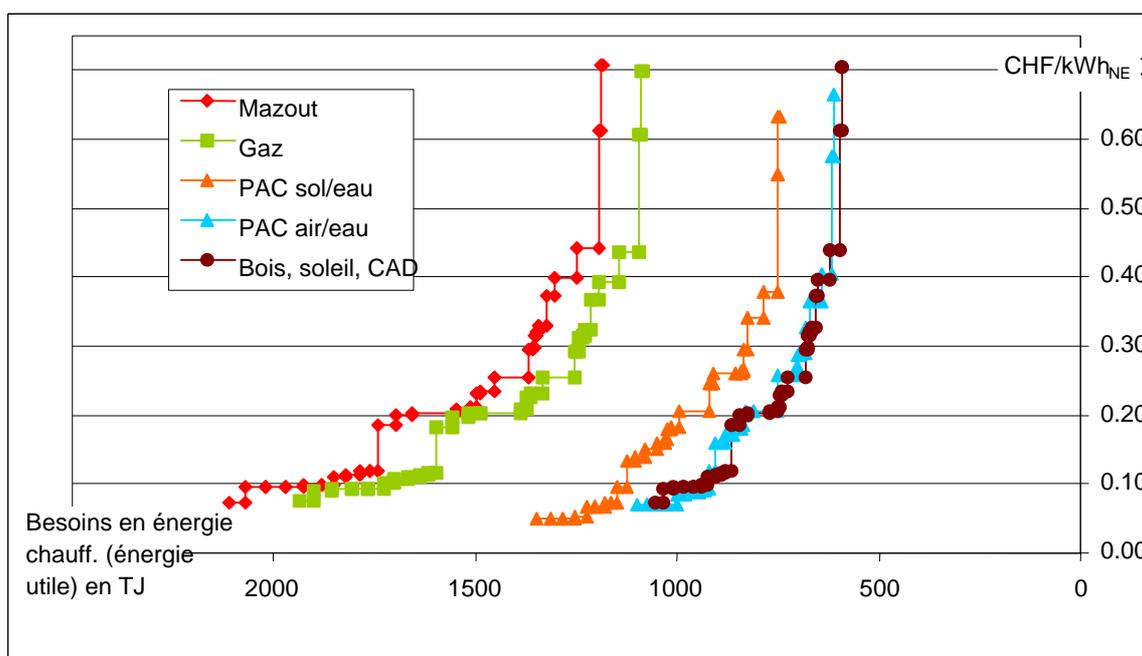
Illustration R.12 Evolution future des coûts des fenêtres et des vitres (relevés et calculs CEPE)

En conséquence de la prévisible baisse des coûts et des futurs progrès techniques (cf. illustration R. 11 et R.12), les coûts marginaux de l'efficacité énergétique diminueront aussi. La dynamique des coûts marginaux est à ce sujet, pour des raisons arithmétiques, sujette à une dynamique particulière, comme l'illustre l'exemple du cas ci-après. Dans la situation initiale, le niveau de prix se situe à 450 CHF/m² et la différence des coûts pour une fenêtre plus efficace s'élève actuellement à 140 CHF/m². En supposant que la fenêtre plus efficace enregistrera une évolution plus dynamique induisant une réduction des coûts de 15%, les coûts d'une fenêtre «normale» ne diminuant quant à eux que de 10%, la différence de coût sera ainsi inférieure à 100 CHF /m². La différence de coût (pertinente dans l'approche des coûts marginaux) s'en trouverait donc réduite de plus de 30%. Cet effet sera encore plus marqué en cas de plus faible différence de coût (de même que, évidemment, en cas de plus grande différence de la dynamique).

Courbes des coûts concernant l'ensemble de la Suisse

La définition d'une évolution de référence constitue une base indispensable de l'approche des coûts marginaux, car tous les investissements supplémentaires et toutes les économies d'énergie qui en découlent sont établis sur ce point de repère. En considérant l'ensemble de la Suisse, il est nécessaire, outre les caractéristiques techniques de construction, de définir une structure quantitative des nouvelles constructions et des activités de rénovation futures.

Pour les nouvelles constructions, c'est encore assez simple, puisqu'il suffit de connaître la future superficie des nouvelles constructions ainsi que les méthodes de constructions actuellement appliquées pour les divers éléments de construction (cf. chapitre précédent). La superficie future des nouvelles constructions peut largement s'appuyer sur les perspectives de *Wüest und Partner*. Jusqu'à l'an 2010, on peut tabler sur une superficie de nouvelles constructions de près de 27 millions de m² pour les maisons individuelles et d'env. 25 millions de m² pour les immeubles locatifs.



Source : Calculs CEPE

Illustration R.13 Courbes des coûts marginaux pour l'ensemble de la Suisse (potentiel réalisable) des nouvelles maisons individuelles, période 2001 à 2010, état actuel des coûts.

Pour le cas de référence, les besoins d'énergie utile des bâtiments qui seront nouvellement construits jusque en 2010 s'élèvent à près de 7600 TJ. Jusqu'à des coûts marginaux bruts de 10 cts/kWh_{NE}, la demande d'énergie de chauffage (au niveau de l'énergie utile) pourra être réduite de 1300 TJ environ dans l'ensemble de la Suisse pour les nouvelles maisons individuelles par l'adoption de mesures touchant au sol, au toit, aux murs et aux fenêtres des bâtiments (total des économies des courbes de coûts marginaux des cinq types d'installations de l'illustration R.13). Jusqu'à des coûts marginaux de 20 cts/kWh_{NE}, on obtient encore 935 TJ supplémentaires. Un potentiel comparativement élevé de réduction de la consommation d'énergies de chauffage réside dans l'intégration des installations d'aération. En supposant que tous les immeubles

locatifs comprennent une installation d'aération, le potentiel théorique s'élève à 1300 TJ. Selon l'hypothèse, le potentiel réalisable d'ici 2010 ne représente que 30% de ce chiffre. Selon la situation et la production de chaleur, les coûts marginaux varient de 23 à 38 cts/kWh_{NE} si l'ensemble des coûts de l'installation d'aération est attribué à l'énergie. Ces coûts marginaux doivent être placés en regard des coûts de chauffage actuels (prix de l'énergie déterminés à long terme divisé par le taux d'utilisation des installations). Le prix du chauffage oscille entre 5 cts/kWh (prix actuel de l'énergie) et près de 10 cts/kWh (hausse des prix internationaux de l'énergie et/ou redevance sur le CO₂). Pour les immeubles locatifs, la consommation annuelle d'énergie de chauffage pour une surface de nouvelles constructions de 25 millions de m² découlant du cas de référence s'élève à près de 5600 TJ. La consommation d'énergie de chauffage peut être réduite de 700 TJ environ pour autant que les investissements consacrés à l'efficacité énergétique soient engagés jusqu'à des coûts marginaux bruts de 10 cts/kWh.

La définition de l'évolution du cas de référence dans le domaine de la rénovation des bâtiments est par contre un peu plus complexe. Outre la connaissance de la condition initiale du point de vue des méthodes de construction des diverses catégories de bâtiments (type, période de construction), il est également nécessaire de connaître les taux et les variantes de rénovation (réfection ou isolation thermique) et ce, tant pour les surfaces de référence énergétiques concernées que pour les divers éléments de construction (murs, toit, fenêtres, plafond de cave, etc., de même que combinaisons correspondantes). En Suisse, la base empirique concernant les activités de rénovation passées au niveau de l'efficacité énergétique susceptible de servir de base à la définition de l'évolution future est assez ténue. A l'heure où nous achevons la rédaction du présent rapport, tous les points des données relevées dans le cadre d'un projet de recherche suggéré par le CEPE visant à combler cette lacune n'ont pas encore été soumis à estimation. Dès lors, la définition de l'évolution de référence dans le domaine des rénovations repose en parti sur des hypothèses encore provisoires. Néanmoins, les courbes des coûts marginaux dans le domaine de la rénovation des bâtiments pour l'ensemble de la Suisse sont extrêmement révélatrices dans le sens où apparaît un important potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique à des coûts marginaux relativement bas, c'est-à-dire à un niveau rentable, surtout lorsque l'on procède à une évaluation économique globale.

Cette situation est illustrée pour les maisons individuelles de la période de construction qui s'étend de 1900 à 1961. Dans le cas de référence, les réductions de consommation d'énergie de chauffage des bâtiments de cette période s'élèvent à 7% jusqu'en 2010, car dans le cas de référence, il convient de procéder à des rénovations énergétiques en plus des réfections usuelles. Dans le cas des rénovations énergétiques plus en profondeur (approche des coûts marginaux), on part du principe qu'en plus, 15% de la surface globale des murs devra être isolée et que les façades doivent être munies d'une isolation de 20 cm plutôt que de 12 cm. Pour le toit, on suppose que la couverture ne doit pas seulement être réparée et que la charpente (sous-toit) ne doit pas uniquement être remplacée, mais qu'une isolation thermique est en outre indiquée. Cela s'applique à 1.9 millions de m² au cours de ces 10 prochaines années. Or, avec 1.5 millions de m² de toits rénovés (application du cas de référence d'une isolation thermique), l'épaisseur de l'isolation passe de 14 à 20 cm. Le segment des coûts marginaux bruts jusqu'à 11 cts/kWh_{NE} renferme un potentiel considérable en matière de réduction des besoins d'énergies de chauffage (cf illustration R.14). Les besoins d'énergies de chauffage de l'ensemble du parc immobilier des maisons individuelles de la période 1900 – 1961 pourraient, à ces coûts, être réduits de 9% supplémentaires par rapport à l'évolution de référence. Avec des coûts bruts allant de 9 à 13 cts/kWh_{NE}, les besoins d'énergie de chauffage pourraient encore être réduits de 3% supplémentaires. De ces données sur les coûts, il y a lieu de soustraire les coûts économisés au niveau de la production et de la distribution de la chaleur. A long terme, cela représente entre 2 et 5 cts/kWh pour les installations de même que, pour les coûts énergétiques, entre 4 et 6 cts/kWh, aux prix de l'énergie de ces dernières années, respectivement 8 à 12 cts/kWh, si l'on se réfère à la projection des prix futurs de l'énergie. A

partir de ce point, le potentiel de réduction des mesures plus radicales ainsi que les coûts marginaux commencent vraiment à progresser de façon très marquée.

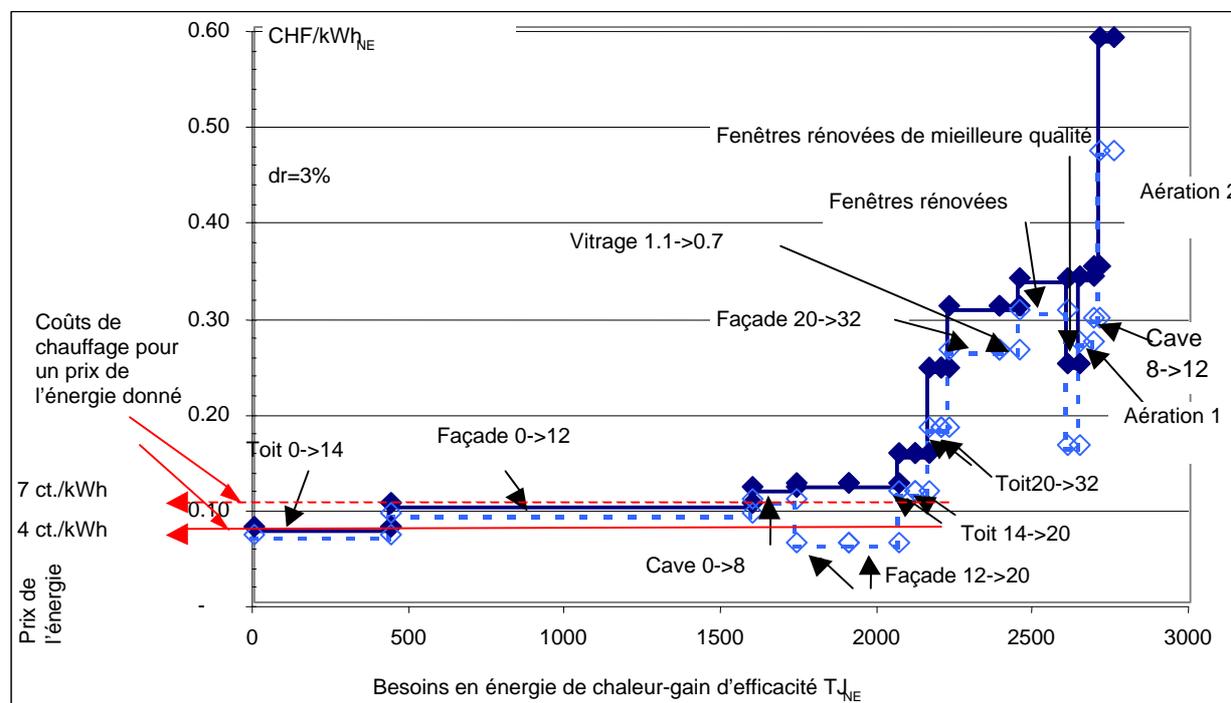


Illustration R.14 Courbe des coûts marginaux des maisons indiv. pour la période de construction 1900 – 1960, au niveau actuel des coûts (courbe en escalier continue) ainsi qu’au niveau des coûts dynamiques (courbe en escalier hachurée).

Dans l’approche dynamique, outre un potentiel déjà important, on constate un potentiel de gain d’efficacité énergétique supplémentaire de près de 500 TJ dans la plage de rentabilité et ce, même si les prix de l’énergie n’enregistrent pas une forte croissance. Ceci correspond à un supplément de 2% de l’ensemble des besoins d’énergie de chauffage pour ce groupe de bâtiments, resp. 20% du potentiel des rénovations réalisables.

Conclusions et bilan

L’analyse du parc immobilier ainsi que les mesures d’isolation thermique envisageables et leurs structures de coûts mettent en lumière la grande complexité de l’objet de nos recherches. Dans les précédentes analyses et les précédents modèles économiques en matière d’énergie, cet objet avait, dans une large mesure, été simplifié à outrance, si bien que l’on parvenait toujours à des évaluations assez clichés, souvent réitérées, selon lesquelles les mesures d’isolation thermique seraient peu rentables et ne pourraient être promues, dans le domaine de la construction, que par des incitations financières. Nos analyses débouchent plutôt sur les constats suivants:

- Les mesures d’isolation thermique du parc immobilier dont les façades, toitures ou caves n’ont pas encore été isolées sont rentables dans bon nombre de cas, surtout lorsque le

propriétaire de l'immeuble tient compte, dans le prix du chauffage, des possibles hausses futures des prix de l'énergie ainsi que des avantages complémentaires liés à l'isolation du bâtiment.

- Du point de vue de l'économie énergétique, des mesures d'isolation thermiques radicales sont efficaces au niveau des coûts, puisque les avantages supplémentaires qu'elles induisent, les coûts externes qu'elles permettent d'éviter et les hausses des prix des énergies auxquelles on peut s'attendre (y compris impôts écologiques et certificats d'émission) doivent être pris en compte pour une longue durée d'utilisation de 30 ou 40 ans.
- Du point de vue économique, il en découle d'autres avantages comme la substitution des énergies d'importation par des biens et des services efficaces produits en Suisse, la possibilité de réinvestissement des économies réalisées sur les coûts de l'énergie, de même que des innovations, diminutions des coûts et exportations (progrès techniques induits par la politique) supplémentaires rendues possibles, sans oublier leurs effets bénéfiques pour l'emploi.

Du point de vue des responsables du bâtiment (propriétaires de maisons individuelle actuels ou futurs, investisseurs immobiliers), il est indiqué d'aborder l'isolation thermique avec une optique à long terme, car leurs investissements (presque toujours liés au bâtiment) ont une très longue portée et qu'une isolation thermique réalisée plus tard, après-coup, revient considérablement plus cher (jusqu'au triple). Une isolation thermique ambitieuse fait en outre l'effet d'une assurance contre la hausse des prix de l'énergie (pensée sécurisante). Au bout du compte, il convient d'en examiner tous les avantages. Autres exemples de co-bénéfices: possibilité d'agrandir l'espace habitable dans les combles en cas d'isolation de la toiture ou protection contre la chaleur en été et propriétés d'insonorisation en cas de rectification des balcons saillants.

Du point de vue de l'économie de l'énergie et de la politique climatique, la rénovation des bâtiments et ses importants potentiels d'efficacité proches de la rentabilité ressortent clairement. Comparativement à d'autres coûts dans le domaine de la protection de l'environnement et du climat, tant la rénovation des bâtiments existants que les nouvelles constructions présentent un potentiel relativement important pour des coûts comparativement peu élevés. Et même du strict point de vue économique, l'optimisation de l'isolation thermique fonctionne comme une assurance, réduisant les risques liés à la fluctuation future des prix de l'énergie.

Pour **tirer profit de ces potentiels**, les instruments suivants sont notamment à l'étude:

- La **fixation de normes et de prescriptions légales** est immédiatement efficace à plusieurs niveaux. D'une part, elle aide à réduire la consommation d'énergie des nouveaux bâtiments et du parc immobilier existant. D'autre part, elle fait appel à l'innovation et au progrès technique, crée des incitations et des marchés. Ainsi, les effets d'apprentissage et d'échelle peuvent se déployer, ce qui permet d'abaisser plus rapidement le seuil de rentabilité à un niveau encore inférieur. Le renforcement et l'adaptation des normes prescrites à l'évolution de la technique sera à cet égard inévitable.
- Par leur rôle de précurseurs et comme premier élan, **les labels tels que MINERGIE** ont également un effet stimulant pour l'innovation, raison pour laquelle il est tout à fait recommandé de les introduire sous une forme adéquate.
- Enfin, **des impulsions au niveau économique** et la définition de conditions-cadres sont également utiles, par exemple l'introduction d'une redevance incitative comme la taxe sur le CO₂. On sait aussi que le dilemme utilisateur/investisseur devrait être surmonté et le

droit du bail adapté. L'annonce des loyers bruts (charges comprises) constitue une première étape dans ce sens.

Les analyses sont documentées dans un rapport final. Il est toutefois manifeste que d'autres analyses détaillées au sujet des calculs des coûts et des rendements sont souhaitables du point de vue des divers acteurs concernés, y compris en ce qui concerne les co-bénéfices (avantages supplémentaires) afin d'être en mesure d'évaluer toutes les mesures d'isolation thermique des bâtiments en parfaite connaissance de cause. Dans ce contexte, il y aurait lieu d'examiner avec toute l'attention nécessaire, en particulier, le dilemme investisseur/utilisateur, c'est-à-dire la problématique bailleur/locataire.

Autre domaine de recherches: approfondir les avantages complémentaires

N'examiner les coûts de mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique plus radicales qu'à l'aune des seuls avantages énergétiques, c'est souvent faire preuve de myopie. Tant dans le cas d'une rénovation que lors d'une nouvelle construction, il est possible de tirer d'autres avantages d'un gain d'efficacité énergétique. Toutefois, pour pouvoir, économiquement parlant, profiter de ces avantages supplémentaires et les faire entrer en ligne de compte dans les discussions, il est nécessaire de les quantifier et de les monétiser, raison pour laquelle le programme «Fondements de l'économie énergétique» (EWG) de l'OFEN a lancé le projet «Co-bénéfices directs et indirects des bâtiments d'habitation performants en matière d'énergie». Ce projet a pour but d'identifier, de quantifier et de monétiser ces avantages complémentaires (Ott, Jakob 2002).

L'efficacité énergétique obtenue lors de la construction, de l'entretien, de la rénovation et de l'exploitation d'immeubles locatifs n'est pas uniquement tributaire des coûts et avantages énergétiques abordés dans le cadre de ce projet, mais également de toute une série d'autres facteurs tels que l'environnement de l'économie du logement, la situation de refinancement, les traditions de la branche, l'état général du bâtiment, les aspects architectoniques, etc. Pour être en mesure de promouvoir et continuer à soutenir efficacement les constructions et rénovations performantes en matière d'énergie, les interactions entre ces divers facteurs doivent être mieux étudiées.

Zusammenfassung

Problemstellung, Zielsetzungen und methodisches Vorgehen

Ausgangslage

Die grossen Energieeffizienzpotenziale liegen in der Schweiz heute u. a. in der Verminderung des Raumwärmebedarfs, der etwa 50% des Nutz- und etwa ein Drittel des Endenergiebedarfs ausmacht. Denn der Nutzenergiebedarf für Raumwärme könnte gegenüber dem heutigen Durchschnittswert des Gebäudebestandes um etwa zwei Drittel niedriger liegen (z.B. nach dem Minergiestandard) und beim Neubau von Solarpassivhäusern können Verbesserungen um einen Faktor fünf bis zehn erreicht werden.

Angesichts der Zielsetzungen des Schweizer CO₂-Gesetzes, die brennstoffbezogenen CO₂-Emissionen in 2010 um 15 % gegenüber jenen des Jahres 1990 zu reduzieren, hat dieses Energieeffizienz- und CO₂-Minderungs-Potenzial im Bereich der Gebäude - und insbesondere im Bereich der Wohngebäude - eine grosse Bedeutung. Allerdings wird dieses Potenzial derzeit von vielen Hausbesitzern und Wohnungsbaugesellschaften bei Erneuerungen sehr wenig genutzt. Als Argument unzureichender Nutzung dieser Energieeffizienzpotenziale wird immer wieder mangelnde ökonomische Rentabilität als Argument genannt. Für eine aktuelle und sachadäquate ökonomische Bewertung der Wärmeschutzinvestitionen sind die heutigen und zukünftigen Kosten und Nutzen dieser Optionen und auch ihr Grenzkostenverlauf als Informationsbasis von grosser Bedeutung.

Neben einer differenzierten Aktualisierung der heutigen Kosten stellt sich die Frage der Kostenentwicklung der Energieeffizienztechniken an Gebäudehülle und der Heiztechnik. Hier handelt es sich häufig um neue Technologien, neue Werkstoffe und Baukonzepte oder Bearbeitungsverfahren. Diese beinhalten zum Teil erhebliche Lernpotenziale oder Potenziale der Serienfertigung, die in Zukunft die Kosten dieser neuen Techniken und Baukonzepte reduzieren könnten. Diese Kostendynamik war bisher nicht untersucht. Über die lange Nutzungsperiode von Wärmeschutzinvestitionen an Gebäuden muss in den kommenden Jahrzehnten infolge des erwarteten Produktionsmaximums von Erdöl mit einem steigenden Energiepreisniveau gerechnet werden, was auch in den Nutzenbewertungen der Wärmeschutzinvestitionen berücksichtigt werden sollte.

Bei der Bewertung derartiger Investitionen an Wohngebäuden geht es i.a. nicht nur um einen energetischen Nutzen, sondern auch andere *begleitende Nutzen (Co-Benefits)*, z. B. höherer Wohn- und Bedienungskomfort, Lärmschutz, zusätzliche Sicherheit, geringere Häufigkeit der Erkrankung der Atmungsorgane, verbesserte Vermietbarkeit). Diese begleitenden Nutzen werden meist weder angesprochen noch quantifiziert. Nur in wenigen Fällen liegen monetarisierte Werte dieser Co-Benefits vor. Aber gerade hier liegen sowohl für die Wohnungswirtschaft wie auch für die Mieter und Bauherren weitere Aspekte einer angemessenen ökonomischen Bewertung. Schliesslich bleibt aus volkswirtschaftlicher Sicht der Aspekt der Vermeidung externer Kosten durch geringere Emissionen.

Zielsetzungen des vorliegenden Berichts

Aufgrund der in der Problemstellung genannten Aspekte verfolgt das hiermit abgeschlossene Forschungsprojekt für den Bereich Wohngebäude folgende Ziele:

- Die empirisch abgestützten Kenntnisse zu den Kosten und Grenzkosten für Wärmeschutz- bzw. Energieeffizienz-Massnahmen (Wärmedämmung, Fenster, Lüftung) sollten gegenüber den bisher für die Schweiz vorliegenden Informationen deutlich verbessert werden.
- Die erforderlichen technischen Kennwerte und Kostendaten für Kosten-Effizienzkurven sollten für den Neubau und für Erneuerungen im Gebäudebestand auf möglichst empirischer Basis aktualisiert werden; sie sollten den neuesten Stand technischer verfügbarer Möglichkeiten, der Baukonzeption und -durchführung sowie der Berechnungsverfahren zur Kostenermittlung (einschliesslich der Dynamisierung zukünftiger Kosten) wiedergeben.
- Die Kosten und (begleitenden) Nutzen sollten – soweit dies das Forschungsbudget zulies – so differenziert und transparent dargestellt sein, dass sie einerseits die Vielfalt bestehender Gebäude und möglicher Energieeffizienz-Investitionen und Baukonzepte reflektieren, andererseits bei neuen Erkenntnissen zu Einzelkosten oder Einzelnutzen auf einfache Weise entsprechende Korrekturen bei der ökonomischen Bewertung ermöglichen.
- Auf diese Weise sollte auch erreicht werden, dass neben dem Informationsbedarf energiewirtschaftlicher Analysen die Akteure des Immobilienmarktes, der Gebäudebesitzer, der Bauherren und der Technologieproduzenten, Planer und Installationsbetriebe einen genaueren Einblick in diese Kosten- und Nutzenzusammenhänge erhalten und nach Möglichkeit für eine differenzierte Information ihres jeweiligen Zielpublikums in Zukunft nutzen können.

Schliesslich sollten aus den Ergebnissen Schlussfolgerungen und (soweit möglich) wesentliche Empfehlungen für die verschiedenen Akteursgruppen abgeleitet werden.

Methodisches Vorgehen im Überblick

Wegen der Vielfalt der Forschungsfragen sind die einzelnen methodischen Vorgehensweisen in den jeweiligen Kapiteln beschrieben. Konzeptionell wurde wie folgt vorgegangen (vgl. auch Abbildung ZF. 1):

- Die Investitionen zum Wärmeschutz werden im Re-Investitionszyklus einer erforderlichen Erneuerung bzw. anlässlich eines Neubaus getätigt; dies erfordert in allen Berechnungsfällen jeweils die Definition eines *Referenzfalles* für die jeweiligen Gebäudetypen (z.B. Ein- und Mehrfamilienhäuser) und Investitionsfälle (z.B. Neubau, Erneuerung);
- Insbesondere bei *Erneuerungen* war eine *getrennte Behandlung der Massnahmen* an der Gebäudehülle, im Bereich des Luftwechsels und der Heiztechnik erforderlich; sie wurde auch im konventionellen Neubau versucht (bottom-up), aber eine *integrierte Betrachtung beim Neubau von Minergie- und Passivhäusern* war sachlich geboten;
- Für die Beschreibung der bisherigen Baupraxis, der heutigen Wohngebäudestruktur (mit Einschluss bisher erzielter Wärmeschutzinvestitionen, vgl. Kap. 2 und 3), der Kostenstruktur von heute (2001) und der vergangenen Jahrzehnte sowie der hergestellten Güter waren *umfangreiche Erhebungen* bei Bauunternehmen, Bauökonomien, Herstellern und Kantonen erforderlich. Diese Erhebungen erwiesen sich als sehr aufwändig, aber auch als sehr informativ.
- Die Erhebung bzw. Schätzung der Kosten der einzelnen Energieeffizienz-Investitionen und der damit verbundenen *energetischen und nichtenergetischen Nutzen* im Gesamtkontext der jeweiligen Erneuerungs- bzw. Neubauinvestitionen war ebenfalls extrem aufwändig und zum Teil nur ansatzweise zur Demonstration des methodischen Vorgehens oder der Werte der Co-Benefits bzw. vermiedenen externen Kosten durchführbar.

- Die Aggregation der empirischen Investitionsdaten zu *typischen Investitionsbündeln* für definierte Gebäudetypen und weiter zu energiewirtschaftlichen Kostenpotentialkurven (unter Berücksichtigung der relativen Häufigkeiten auf gesamtschweizerischer Ebene) erfolgte *exemplarisch*; sie zeigte aber auch die Bedeutung der Definition einer Referenz-Variante für die einzelnen Investitionsfälle und ihre resultierende ökonomische Bewertung.
- Der *Nettonutzen (oder die Nettokosten)* wurde unter Einbezug von *Co-Benefits* und *vermiedener externer Kosten* zur Gewährleistung einer möglichst transparenten und aktorspezifischen Darstellung *separat* behandelt, konnte aber in dieser Analyse exemplarisch behandelt werden.

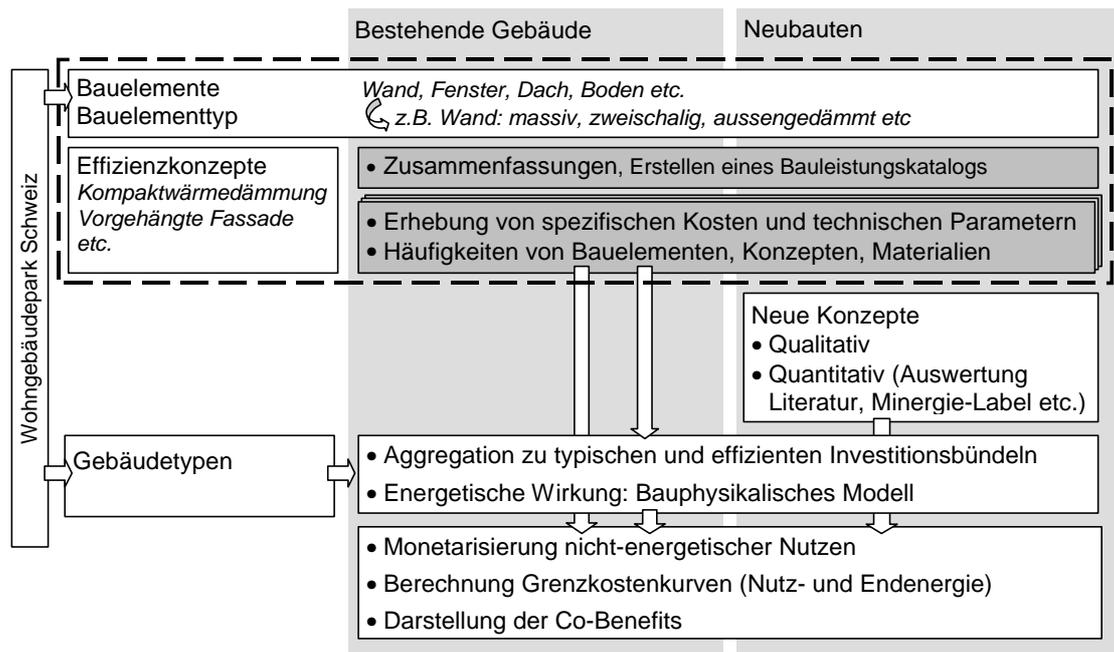


Abbildung ZF. 1 Strukturierung der Analyseinhalte und -teilschritte zur Bestimmung der Grenzkosten und -nutzen zusätzlicher Energieeffizienz-Investitionen in Wohngebäuden

Die gebäudewirtschaftliche und -technische Ausgangssituation

Die vergangene, heutige und künftige Bauweise bzw. Erneuerungstätigkeit wurde und wird von sehr verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt. Diese Faktoren beeinflussen sowohl die Investitionsentscheide und die damit verbundene Erneuerungshäufigkeit, aber auch in einer Art Rückkopplung die Kostenentwicklung sowie die energetischen und weiteren Nutzen der Erneuerungsmassnahmen. Eine systematische Kategorisierung der unterschiedlichen betriebswirtschaftlichen Ausgangslagen (Gebäudezustand, Ertragslage und -potential, Finanzierungsaspekte, Besitzer-/Nutzerverhältnis) und typische darauf aufbauende Investitionsentscheide zu Wärmeschutz- und Energieeffizienzmassnahmen konnten nur in begrenztem Umfang angegangen werden.

Das vorliegende Forschungsprojekt verfolgt in seinem Fokus den Grenzkostenansatz, der auf die Zusatzkosten und -nutzen von weitergehenden baulichen Energieeffizienzmassnahmen und deren Potenziale abzielt. Basis und Ausgangslage des Grenzkostenansatzes ist der Referenzfall, an dem die Zusatzkosten und -nutzen gemessen werden. Beim Neubau ist dies die

Bauweise, bei der Gebäudeerneuerung der Zustand des Gebäudeparks und die Erneuerungstätigkeit.

Die vorhandene, empirisch abgestützte Literatur zur gebäudetechnischen Ausgangssituation wurde durch eigene Erhebungen ergänzt. Damit konnte z.B. eine kontinuierliche Verbesserung der energetischen Qualität bei den Neubauten nachgewiesen werden, wobei die Entwicklung etwa ab ca. Mitte der 1970er Jahre - wenige Jahre nach der ersten Ölpreiskrise - einsetzt (vgl. Kap.2). Sukzessive wurden die Dämmstärken der Wärmedämmungen von rund 4 cm auf 10 cm bis 12 cm (Fassade) bzw. 12 cm bis 14 cm (Dach) erhöht, wodurch der spezifische Energieverlust gegenüber dem ungedämmten Zustand um ca. einen Faktor 4 verbessert wurde. Ähnlich markant war der technisch-wirtschaftliche Fortschritt im Bereich der Fenster bzw. der Gläser, wo die energetische und wirtschaftliche Effizienz um ein Dreifaches gesteigert werden konnte: bei praktisch konstanten Kosten wurde der Glas-U-Wert von rund $3.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu Beginn der 1970er Jahr auf den heutigen Standard von $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesenkt.

Die vergangene und heutige Neubau- und Erneuerungstätigkeit

Eine Untersuchung von Wüest und Partner (2000) berichtet für den *Neubau* spezifische Energieverbrauchswerte von rund $400 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (inkl. Warmwasser-Bedarf und Wirkungsgradverluste); dies deutet darauf hin, dass die oben erwähnten 12 cm bis 14 cm in der Praxis nicht flächendeckend erreicht werden. Auch die festgestellte Streuung beim spezifischen Energiebedarf der Neubauten bedeutet, dass der energetische Referenzfall mit der Wahl eines bestimmten Energiebedarfs eine Typisierung darstellt, die in der Praxis Abweichungen hat.

Die Impulse zu höherem Wärmeschutz, die von den Neubauten ausgingen, übertrugen sich auch auf die *Gebäudeerneuerung*, jedoch nur dann, wenn bei den Erneuerungen der Energieaspekt für den Investor eine Bedeutung hatte. Wenn energetisch erneuert wird, sind die Dämmstärken und die eingesetzten Fensterqualitäten in der Regel ähnlich wie im Neubaufall. Aufgrund der bautechnischen Gegebenheiten und der Bauabläufe müssen allerdings zum Teil Abstriche gemacht werden (keine oder nur geringe Dämmung der Anschlüsse angrenzender Bauteile wie Fensterleibungen, Flachdachränder oder Wand-/Dachübergänge sowie Sockel). Auch wird die Gebäudehülle vielfach nicht integral erneuert, wie die durchgeführten Erhebungen und Befragungen bei Fassaden- und Dachunternehmungen gezeigt haben (siehe Kap. 3). Der Energiebedarf der erneuerten Gebäude erreicht deshalb meistens nicht das niedrige Energieverbrauchs-Niveau der heutigen Neubauten. Auf dieses Niveau und sogar niedriger zu kommen, ist aus bautechnischer Sicht jedoch durchaus möglich, wie die Vielzahl der in den letzten Jahren durchgeführten Minergie- und P&D-Projekte belegen.

Die Anteile der *längenspezifischen Elemente* und die gewählten bzw. die sich aus der Situation heraus ergebenden Bauabläufe führen zum einen zu Zuschlägen bei den baulichen Massnahmen, zum anderen können sie die energetische Wirkung flächiger Massnahmen schmälern, wenn bei linienbasierten Elementen wie Fensterleibungen, Sockel etc. Kompromisse gemacht werden bzw. gemacht werden müssen.

Im Hinblick auf mögliche Kostenunterschiede wurde der *Gebäudepark* hinsichtlich der vergangenen Bauweise und der Gebäudeformen charakterisiert. Im Lauf der Projektarbeit zeigte sich jedoch, dass z.B. die bestehende Wandkonstruktion nur einen geringen Einfluss auf energetische Effizienzinvestitionen hat; sowohl bei monolithischen Konstruktionen, Zweischalenmauerwerk, Betonwänden oder auf bestehende Aussenwärmedämmung kann eine neue oder ergänzende Aussenwärmedämmung angebracht werden. *Die Mehrkosten* bei erhöhten Dämmstärken sind für die jeweils geeigneten Dämmvarianten (hinterlüftete Fassaden, Kompaktfassaden) sehr ähnlich. Im Einzelfall kann es von Gebäude zu Gebäude zu Unterschieden

kommen. Unter *bauphysikalischen Aspekten* könnten bei 35% bis über 60% der Gebäude Folgeprobleme auftreten, wenn z.B. nur die Fenster ausgewechselt würden und das Gebäude nachher zu dicht wäre, d.h. Feuchtigkeitsfolgen an den unzureichend gedämmten Wänden auftreten könnten.

Häufig wurde (und wird immer noch) der Wärmeschutz bei einer *Gebäudeerneuerung* seitens der Hausbesitzer aus mehreren Gründen vernachlässigt. Nur bei einem Viertel bis einem Drittel der im letzten Jahrzehnt durchgeführten Fassadenerneuerungen wurden Fassaden auch energetisch erneuert; die übrigen erfuhren nur eine Putzausbesserung bzw. einen Neuanstrich. Im Dach- und Fensterbereich ist der Anteil der energetischen Erneuerungen etwas höher, beim Fenster vor allem deswegen, weil eine Fenstererneuerung in den letzten 15 bis 25 Jahren meistens ein Fensterersatz bedeutete und aufgrund des grossen technischen Fortschrittes jeweils nur noch merklich verbesserte Fenster erhältlich waren. Insgesamt besteht immer noch ein sehr grosses Potential, den Energiebedarf des Gebäudebestandes zu senken, da der Anteil der noch nicht energetisch verbesserten Bauteile je nach Bauteil (Dach, Wand, Fenster, Kellerdecke etc.) immer noch zwischen 30% und 80% beträgt.

Methodik der Kosten und Nutzen von Energieeffizienz-Investitionen (einzelwirtschaftliche Partialanalyse)

Eines der Hauptziele des Projektes war, die Kenntnis der Grenzkosten von *forcierten Wärmeschutz- bzw. Energieeffizienzinvestitionen* zu verbessern, d.h. auf eine neue empirische Grundlage zu stellen. Zunächst sei kurz das methodische Vorgehen zu den empirischen Erhebungen und zur Grenzkostenberechnung der direkten Kosten und der energetischen Nutzen skizziert. In einem zweiten Schritt wird erläutert, dass dieser einzelwirtschaftliche Bewertungsansatz allein zu kurz greifen würde, wollte man daran die Entscheidungen zu baulichen Energieeffizienz-Investitionen messen.

Wie viel mehr kostet eine höhere Dämmstärke und welcher energetische Effizienzgewinn und welche weiteren Kostenreduktionen lassen sich damit erreichen? Um diese Frage zu beantworten, wurde methodisch wie folgt vorgegangen.

- *Direkterhebungen* bei Unternehmen: Kostenstruktur der Fassaden- und Dachdämmungen in Funktion der Dämmstärke, Preise von Gläsern und Fenstern sowie von Lüftungsanlagen in Funktion der energietechnischen Kennwerte bzw. ihrer Lüftungstechnischen Effizienz. Auf die speziellen Interpretationsprobleme bei Preisangaben neuer Technologien wird im nachfolgenden Absatz noch eingegangen.
- *Bestimmen der energetischen Wirkung*, also des energetischen Effizienzgewinns (=zusätzliche Einsparung des Heizwärmebedarfs) der einzelnen Effizienzmassnahmen mittels U-Wert-Berechnungen bzw. eines gebäudephysikalischen Modells (SIA 380/1).
- *Ermittlung der Jahreskosten*, wobei die (hier dominanten) Kapitalkosten mittels der Annuitätenmethode unter Berücksichtigung der spezifischen Lebensdauer berechnet wurden.
- *Definition der relevanten Referenzfälle* (vgl. unten stehende Erläuterungen).
- *Berechnung der Grenzkosten* gegenüber dem jeweiligen Referenzfall (Durchschnittskostenprinzip) bzw. gegenüber dem jeweils vorangehenden Effizienzlevel (reines Grenzkostenkonzept).
- *Zusammenfassung* einzelner investiver Massnahmen aufgrund der spezifischen Grenzkosten zu *Massnahmenbündeln bzw. Investitionspaketen*.

Die Referenzneubauweise und das Referenzerneuerungsverhalten war zunächst bzgl. energetischer und bautechnischer Merkmale auf der Ebene Bauteil bzw. Gebäude für typische Fälle festzulegen, anschliessend war die quantitative Relevanz, d.h. die gesamtschweizerische Häufigkeit dieser Fälle zu bestimmen. Dazu wurden nebst dem Zurückgreifen auf bestehende Publikationen und Statistiken auch Primärerhebungen durchgeführt. Namentlich wurden Energienachweise bei Bauverwaltungen und das Lärmprogramm des Kantons ZH ausgewertet, um für Parameter wie spezifischer Energiebedarf oder Gebäudehüllenziffern nicht nur einen Durchschnittswert, sondern auch eine Verteilung zu erhalten.

Folgende *Referenzfälle* wurden unterschieden:

- *Neubau*: die aktuellen energetischen Vorschriften bzgl. Wärmeschutz und -bedarf der Gebäude (SIA 380/1) bzw. die tatsächlich realisierte energetische Neubauqualität mit empirisch ermittelten Anteilen von energetisch effizienteren Gebäuden (Minergie), durchschnittlichen und weniger effizienten Gebäuden;
- Bei der *Gebäudeerneuerung* sind zwei *Referenzfälle* zu unterscheiden:
 1. *Instandsetzung* (z.B. Putzerneuerung/Fassadenanstrich);
 2. *energetische Erneuerung* (z.B. Fassadendämmung 12 cm);
- *Bauteile*:
 Wanddämmungen: 0 cm bzw. rund 12 cm Dämmstärke,
 Dachdämmungen rund 14 cm Dämmstärke,
 Fenster: U-Wert_{Glas} = 1.1 W/m²K, U-Werte_{RahmenHolz} = 1.4 W/m²K, U-Werte_{Kunststoff} = 1.6 W/m²K

Die *Grenzkosten* werden wie folgt definiert:

$$\text{Grenzkosten (Durchschnittskostenansatz)} = \frac{\text{Jahreskostendifferenz zu Referenz}}{\text{Energetischer Effizienzgewinn gegenüber der Referenz}}$$

$$\text{Reiner Grenzkostenansatz} = \frac{\text{Jahreskostendifferenz zu vorherigem Effizienzlevel}}{\text{Energetischer Effizienzgewinn gegenüber dem vorherigen Effizienzlevel}}$$

Die beiden Ansätze lassen sich wie folgt charakterisieren:

- *Durchschnittskostenansatz* (Mehrkosten und –nutzen gegenüber der Referenzneubau- bzw. Erneuerungsweise): geeignet und in der Praxis verwendet für den Vergleich von Investitionsvarianten gegenüber einer Referenz-Investition, vor allem für Gebäudebesitzer, Immobilienbesitzer und Liegenschaftsverwaltungen. Die verschiedenen Effizienzlevel werden dabei mit der Referenz verglichen, also z.B. die Dämmstärke 16 cm mit 12 cm, 20 cm ebenfalls mit 12 cm, 30 cm ebenfalls mit 12 cm.
- *Reiner Grenzkostenansatz* (Mehrkosten und –nutzen gegenüber dem jeweils in konkreten Schritten definierten, vorangegangenen Effizienzlevel) für die gesamtwirtschaftliche Betrachtung und für energiewirtschaftliche Modelle zwecks rationaler Gestaltung und Begrenzung von Förderprogrammen, Lenkungsabgaben etc. Beispielsweise werden die Mehrkosten einer Wärmedämmung von 24 cm im Vergleich zu 20 cm dem damit verbundenen Effizienzgewinn gegenübergestellt (z.B. U-Wert-Verbesserung 0.2 auf 0.18 W/m²K).

Bei der Bestimmung der Mehrkosten der weitergehenden Energieeffizienzinvestitionen wird davon ausgegangen, dass diese beim gleichen Bauvorhaben so getätigt werden, dass eine

Erhöhung der Dämmstärke gleichzeitig zur ohnehin geplanten Erneuerung (mit oder ohne Wärmedämmung) erfolgt.

Da es sich bei den meisten Energieeffizienzmassnahmen um bauliche Investitionen mit geringem Unterhaltsanteil handelt, liegt der Kapitalkostenanteil meist bei rund 100% (ausser bei Lüftungsanlagen). Entsprechend ist die Sensitivität der Jahres- bzw. Grenzkosten gegenüber der Annahme zum Realzinssatz. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht wird ein Realzins von 3% bis 3.5% als angemessen angesehen und für den reinen Grenzkostenansatz verwendet. Ob die Tendenz zu Forderungen nach höheren Zinssätzen, die bei grossen institutionellen Anlegern vor allem bzgl. Wirtschaftsbauten anhalten wird und ob dies auch für einen Teil der Wohngebäude von Bedeutung sein wird, ist zur Zeit der Berichtsverfassung schwierig abzuschätzen. Zur Illustration wurden die Durchschnittskosten teilweise auch mit 5.5% Realzins gerechnet.

Die Kosten und Nutzen lassen sich auch als Jahreskosten in Funktion des Heizwärmebedarfs Q_h darstellen, siehe z.B. Graphik 4. Diese Form der Darstellung erleichtert den Vergleich mit anderen Kostenkomponenten in der Wohnungswirtschaft, insbesondere mit dem Mietzins.

Elemente einer ganzheitlichen ökonomischen Bewertung

Zu einer ganzheitlichen ökonomischen Bewertung sind gegenüber den oben beschriebenen Kosten und Nutzenberechnungen weitere Elemente mit einzubeziehen: Das Marktumfeld der Erhebungen zu den Kosten, der technische Fortschritt und seine induzierte Kostendynamik, die ökonomische Bewertung der eingesparten Energien und begleitende Nutzen der Investitionen; aus gesamtwirtschaftlicher Sicht kommen vermiedene externe Kosten noch hinzu.

Ökonomische Interpretation der erhobenen Kosten

Bei der Interpretation der Kostenangaben der forcierten Energieeffizienz-Investitionen ist zu beachten, dass der entsprechende Markt erst im Entstehen ist. Die installierenden Unternehmen (oder mindestens ein Teil von ihnen) verfügt über keine oder nur geringe Erfahrung, sowohl was die technischen Aspekte als auch was die Kostenkalkulation betrifft. Entsprechend gross ist die Streuung der Kosten solcher weitergehender Massnahmen, dies im Gegensatz zum Bereich des heute üblichen Baustandards, bei dem die Streuung wesentlich geringer ist. In den Kostenangaben sind häufig Lernkosten oder "Angstzuschläge" präsentiert, oder der Anbieter vermutet, dass der energiebewusste Bauherr sich als "wärmetechnischen Pionier" versteht und daher auch höhere Preise akzeptiert (Pioniermarkt). Methodisch wird diesen Sachverhalten Rechnung getragen, indem nebst dem Mittelwert auch die best practice-Werte betrachtet werden bzw. als "Ausreisser nach oben" identifizierte Werte bei der Mittelwertbildung ausgeschlossen werden.

Technischer Fortschritt und Kostendynamik

Für Anleger mit grossen Immobilienportfolios, besonders aber für die Verwaltung und die Politik ist von Bedeutung, dass bei Wärmeschutzmassnahmen in der Vergangenheit ein technisch-ökonomischer Fortschritt zu beobachten war. Methodisch kann dieser mit dem Konzept der Lern- und Erfahrungskurven beschrieben werden. Danach sind neue Technologien zu Beginn des Markteintritts meist relativ teuer, aber erfahrungsgemäss sinken die Kosten mit jeder Verdopplung ihrer Anwendung um einen gewissen Prozentsatz (meist 10% bis 20%). Energetische Massnahmen (insbesondere bauliche) weisen eine vielfältige Kostenstruktur auf, für die einzelnen Kostenkomponenten mussten unterschiedliche Deflatoren verwendet werden, um die bei den Unternehmen erhobene nominelle Preisentwicklung auf den heutigen

Kostenstand umzurechnen, bzw. unterschiedliche Kostenreduktionen für die Kostenschätzungen für die kommenden zwei bis drei Jahrzehnte.

Wegen des Zusammenhangs zwischen umgesetzten Mengen und sinkenden Kosten sind die *künftige Preisentwicklung sowie der technische Fortschritt bis zu einem gewissen Mass gestaltbar*. Wenn die Energieeffizienz durch geeignete Rahmenbedingungen (zeitlich begrenzte Förderprogramme, Lenkungsabgaben, Exportförderung, Produktionskooperationen, Pooling von Nachfrage etc.) gefördert wird, ermöglicht dies den Unternehmen, Erfahrungen zu sammeln, Lernprozesse zu initialisieren bzw. grössere Serien zu produzieren.

Künftige Entwicklung der Energiepreise

Zwei Gründe sprechen dafür, dass die Wirtschaftlichkeitsrechnungen zu den Wärmeschutz- Investitionen, deren Nutzungszeiten zwischen 30 und mehr als 50 Jahren liegen, nicht mit heutigen, sondern mit höheren Wärme- bzw. Energiepreisen durchgeführt werden sollten, die im betrachteten Nutzungszeitraum als durchschnittliche Preise anzusetzen sind.

- *Die schnelle Industrialisierung und Motorisierung* von China, Indien und Südamerika in den kommenden wenigen Jahrzehnten mit einem hohen Zuwachs des weltweiten Energiebedarfs fällt zusammen mit einem Rückgang der Produktionsmöglichkeiten für Erdöl und Erdgas in den Nicht-OPEC-Staaten. Zudem erwartet man in der Zeit zwischen 2020 und 2030 das *globale Produktionsmaximum für Erdöl*. Diese beiden Entwicklungen führen in den nächsten zwei Jahrzehnten zu einer *schnellen Rekonzentration der Erdölförderung im Nahen Osten* von derzeit 30 % Anteil der Welterdölförderung auf 50 % in 2020. Selbst wenn diese Förderregion politisch stabilisiert wird, ist für Erdöl mit einem höheren Erdölpreis als 25 \$/barrel zu rechnen.
- Obwohl schwerwiegende Folgen des Klimawandels möglicherweise erst in einigen Jahrzehnten wahrzunehmen sein werden, zeigen sich bereits heute erste kleinere Auswirkungen wie die Halbierung der alpinen Gletscher, verstärkte Niederschläge und eine Verlängerung der Wachstumsperiode in Europa (IPCC 2001). Das CO₂-Gesetz der Schweiz und die Verpflichtungen der meisten Industriestaaten gemäss dem Kyoto-Protokoll sind wohl erst ein Anfang politischer Reaktionen auf den Klimawandel. Aber bereits eine CO₂-Abgabe von 100 CHF/t CO₂ oder ein Emissionszertifikat von 70 \$/t CO₂ würde die heutigen Heizöl- bzw. Erdgaspreise verdoppeln und den Wärmepreis deutlich ansteigen lassen.

Veränderte Rahmenbedingungen - Bonitätsbewertung, rückläufige und alternde Wohnbevölkerung

Veränderte und vom Investor zum Teil beeinflussbare Spielregeln zur Festlegung der Kreditzinsen und eine längerfristig veränderte Wohnungsnachfrage sind absehbar neue Rahmenbedingungen, die zwar heute noch nicht wirksam sein mögen, aber bei Investitionsentscheiden berücksichtigt werden sollten.

- Das Baseler Abkommen II verpflichtet die Banken ab dem Jahre 2006 zu einer Bonitätsbewertung ihrer Kunden. Diese Einstufung wird bei Hauseigentümern und Wohnungsbau-gesellschaften nicht zuletzt von dem bautechnischen Zustand der Wohngebäude, ihrem Wert und ihrer Vermietbarkeit abhängen. Eine gute oder schlechte Bonitätseinschätzung kann nach bisherigen Erfahrungen einen ganzen Prozentpunkt an den Kreditzinsen aus-machen, d.h. einen Unterschied der Zinskosten von bis zu 20 %. Was der Gebäudebesitzer heute an Wärmeschutz-Investitionen spart, haben er oder seine Mieter in Zukunft nicht nur über erhöhte Energiekosten auszugleichen, sondern vielleicht auch zusätzlich über erhöhte Zinskosten.

- Die Nachfrage nach gut wärmegeprägten Wohnungen könnte aufgrund der sich langfristig verändernden Schweizer Wohnbevölkerung zunehmen. Denn eine rückläufige Wohnbevölkerung würde den Haus- und Wohnungsmarkt zu einem Käufermarkt wandeln; von einer schrumpfenden Wohnbevölkerung geht das Bundesamt für Statistik in seiner "Trendentwicklung" nach dem Jahre 2020 aus. Erhebliche Leerstände bei wärmetechnisch schlechten Wohnungen sind dann wahrscheinlich, und damit auch eine schlechte Bonitätseinschätzung der betroffenen Besitzer und höhere Kreditzinsen.
- Selbst wenn eine schrumpfende Wohnbevölkerung durch die Schweizer Einwanderungspolitik vermieden werden sollte, so bliebe der Trend einer *stark alternden Bevölkerung* erhalten. Ältere Menschen bevorzugen wegen des meist schlechten Blutkreislaufs höhere Zimmertemperaturen und geringe Luftwechselraten sowie wegen ihrer relativ geringeren Einkommen niedrige Heizkosten.

Private und öffentliche Zusatznutzen

Erneuerungen von Wohngebäuden werden sehr selten allein im Hinblick auf energetische Verbesserungen vorgenommen, und die Erneuerungen an der Gebäudehülle umfassen meist mehr als nur energierelevante Massnahmen (z.B. Verschönerung der Fassaden, Ausbau von Dachgauben, Feuchtigkeitsschutz von Kellerwänden). Hinzu kommt, dass nicht wenige Energieeffizienz-Investitionen häufig in mehrfacher Hinsicht einen *zusätzlichen Nutzen* zu den Energiekosteneinsparungen mit sich bringen, die in einzelwirtschaftlichen Bewertungen häufig "vergessen" werden.

Die ökonomische Bewertung derartiger zusätzlicher Nutzen (z.B. Komforterhöhung durch angenehme Wandtemperaturen oder gut gelüftete Räume, Verbesserung der Sicherheit oder Verdunklungsmöglichkeit am Tage durch Rollläden, Verbesserung des Lärmschutzes und daraus resultierend eine Wertsteigerung des Gebäudes bzw. bessere Vermietbarkeit, vgl. Tabelle ZF.1) wird in wohnungswirtschaftlichen Bewertungen bisher häufig nicht gemacht; sie ist vollumfänglich auch nur mit erheblichem Mehraufwand möglich und wird vom Investor meist nur teilweise quantitativ, ansonsten lediglich qualitativ, falls überhaupt, in seine Entscheidungen einbezogen, indem der Haus-Eigennutzer seine Präferenzen mit einbezieht und der Vermieter seine Einschätzung über zusätzlich zu erzielende Mieteinnahmen, die verbesserte Vermietbarkeit oder die Wertsteigerung infolge des erhöhten Wohnkomforts.

Der Einbezug derartiger begleitender Nutzen in die formale ökonomische Bewertung scheitert nicht selten an den verfügbaren Informationen zur Quantifizierung dieser Effekte oder ihrer Monetarisierung. Hier ist deshalb noch ein hoher Forschungsbedarf, um im Erneuerungsalltag und in der Energiepolitik zu sachgerechten Entscheidungen zu kommen (seit Juli 2002 läuft ein entsprechendes EWG Forschungsprojekt bei econcept/CEPE).

Tabelle ZF.1 Beispiele des nicht-energetischen Nutzens von Wärmeschutzmassnahmen und methodische Ansätze zu seiner Monetarisierung

Nichtenergetischer Nutzen	Methodischer Ansatz zur Bewertung
Behaglichkeit durch höhere Oberflächentemperaturen der Wände und verminderte Zugluft im Fensterbereich	Über zusätzliche Energieeinsparung durch Absenkmöglichkeit der durchschnittlichen Raumtemperatur bei höherer Temperatur der Wand- und Fensterflächen und verminderter Zugluft
Geringere Lärmbelastung durch doppelt-/dreifach verglaste Fenster mit indirekter Schalldämmwirkung, evtl. in Verbindung mit kontrollierter Lüftung	Zahlungsbereitschaft zur Lärmvermeidung, differenziert nach Einkommensklassen, Lärmbelastung, Tag / Nacht oder Mehrkosten gegenüber Schallschutzverglasung
Verbesserte Luftqualität durch gewährleistete Lüftung, kontrollierte Feuchtigkeit und Staubreinigung von Zuluft	Für Asthma und ähnliche Krankheiten der Atemwege verminderte Gesundheitskosten (volkswirtschaftlicher top-down Ansatz)
Vergrößerung der Nutzfläche , d.h. des Wohnraums bei Dachdämmungen, die mit einem Dachraumausbau verbunden sind	Geringere wohnflächenbezogene Wärmeverluste und geringere spezifische Heizkosten
Grössere und vielfältiger benutzbare Aussenräume (verglaste und/oder vergrösserte Balkone und Wintergärten)	Relevant für MFH, sowohl an lärmbelasteten wie normalen Wohnlagen; Befragung von Immobilienbewirtschaftern bzgl. Bewertung des Attributs „Balkon“
Einbruchschutz durch weniger offen stehende Fenster bei Komfortlüftung	Schätzung über reduzierte Versicherungsprämien, Vergleich mit andern Einbruchschutzmassnahmen

Vermiedene externe Kosten

Für energiepolitische Überlegungen der öffentlichen Hand in Bund und Kantonen sind auch die vermiedenen externen Kosten durch geringere energiebedingte Emissionen zu betrachten, da sie - bei aller Unsicherheit der Schadensquantifizierung und -monetarisierung - in ihren Medianwerten auf etwa 2.4 Rp/kWh Heizöl und Kohle sowie auf etwa 0.8 Rp/kWh Erdgas für Schäden konventioneller Luftschadstoffe und zusätzlich auf etwa 8 Rp/kWh Kohle, 6 Rp/kWh Heizöl und 4.5 Rp/kWh Erdgas für Schäden durch Treibhausgasemissionen geschätzt werden. Dies sind nicht vernachlässigbare Werte aus wohlfahrtsökonomischer Sicht.

Ergebnisse zu einzelwirtschaftlichen Kosten und energetischen Nutzen

Wenngleich die Kosten und Nutzen auf der Ebene der einzelnen Bauteile, der Massnahmenbündel und ganzer Baukonzepte erhoben bzw. berechnet wurden, werden im folgenden schwerpunktmässig die Ergebnisse auf der Ebene der Massnahmenbündel bei Erneuerungen und auf der Ebene des Neubaus dargestellt.

Die benötigten Daten zu den Investitionskosten wurden unmittelbar bei den Herstellern von einzelnen Komponenten des Wärmeschutzes bzw. bei Installationsfirmen und Bauökonomern erhoben. Eine Auswertung von realisierten Bauprojekten hätte zur Frage der Vergleichbarkeit aus statistischen Gründen eine empirische Basis von mehreren tausend Häusern haben müssen, wobei Daten zu sehr vielen kostenbeeinflussenden Faktoren hätten zur Verfügung stehen müssen. Deshalb wurden die Preisinformationen zu Fassaden- und Dachdämmungen in Funktion der Dämmstärke, Glas- und Fensterpreisen in Funktion der energetischen Kennwerte sowie von Lüftungsanlagen in Funktion ihres Typs und der energetischen und

lüftungstechnischen Effizienz erhoben, und zwar getrennt für die Anwendungsfälle Neubau und Gebäudeerneuerung.

Wärmedämmung von Fassade und Dach

Bei Fassadenunternehmen im Bereich der Kompaktfassaden und der hinterlüfteten Fassaden sowie bei Dachunternehmen wurden die Kosten in Funktion der Dämmstärke erhoben (siehe dazu als Beispiel in Abbildung ZF.2). Abgedeckt wurde der Bereich der heute üblichen Dämmstärken bis zu rund 30 cm bis 35 cm, und abgefragt wurde nebst dem Total der Flächenpreise auch die Kostenstruktur. Daraus wurde ersichtlich, dass die Mehrkosten nur zu rund einem Drittel bis zur Hälfte aufgrund der höheren Dämmmaterialkosten verursacht werden. Die übrigen Mehrkosten betreffen Konstruktionen, Befestigungsmaterial (z.B. Dübel), erhöhter Arbeitsaufwand (aufwendigeres Handling, doppellagiges Verarbeiten) und zum Teil Mehrkosten beim Gerüst (Konsolen).

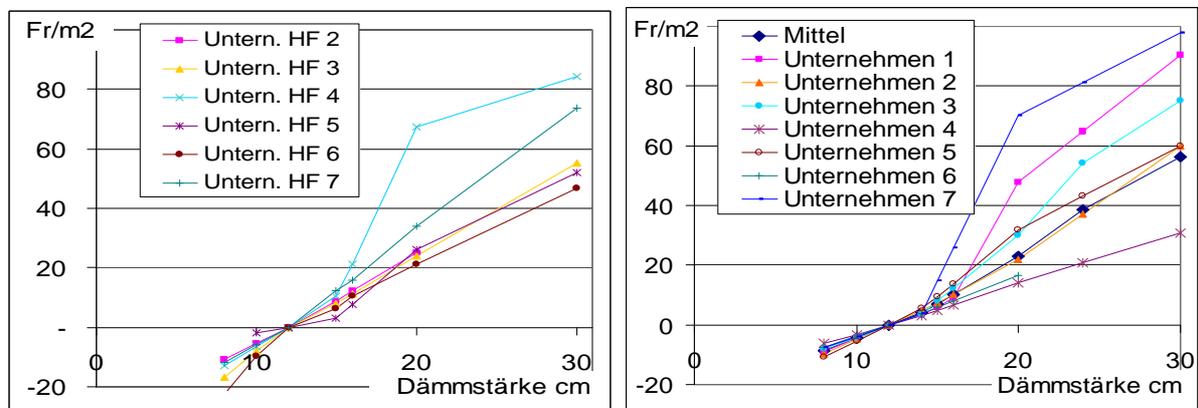


Abbildung ZF.2 Investitionsmehrkosten von Wandaussenwärmendämmungen am Beispiel der kleinformatigen Faserzementfassade (links) und von Kompaktfassaden (rechts) gegenüber der Referenzdämmstärke 12 cm von in Funktion der Dämmstärke.

Die Unterschiede im Kostenverlauf zwischen Neubau und Erneuerung sind wider Erwarten gering. Die Kosten bei den hinterlüfteten Fassaden steigen eher weniger steil an als bei den Kompaktfassaden, weil bei den Kompaktfassaden ab einer gewissen Dämmstärke eine zusätzliche mechanische Befestigung notwendig wird, während eine solche bei den hinterlüfteten Fassaden ohnehin vorhanden ist. Betrachtet man die Baudetails und Anschlüsse von einander angrenzenden Bauteilen näher, so ist bei Erneuerungen die Dämmung der Fensterleibungen oder des Dachrandes zwar mit Mehrkosten verbunden, aber die zusätzliche energetische Wirkung führt zu Grenzkosten der eingesparten Energie, die meistens nicht höher sind als bei Flächenelementen. Eine abgestimmte Planung der Erneuerungen ist hier lohnenswert und zu empfehlen, auch wenn die Erneuerungen zeitlich gestaffelt erfolgen.

Die Auswertungen zeigen auch, dass der Kostenverlauf bei den heute üblichen Dämmstärken (8 cm bis ca. 16 cm) bei allen Unternehmen etwa gleich ist, dass bei höheren Dämmstärken aber eine sehr grosse Streuung zu verzeichnen ist (siehe Abbildung ZF.2). Diese wird durch den unterschiedlichen Erfahrungsschatz bei den Unternehmen erklärt; die Angaben der hohen Mehrkosten kommen durch wenig Erfahrung bei der Kostenkalkulation, Sicherheitszuschläge und Pioniermarktmargin zustande.

Die erwähnte Streuung hat einen grossen Einfluss auf die Grenzkosten (vgl. Tabelle ZF.2). Die Grenzkosten des Unternehmens mit dem geringsten Kostenanstieg (best practice) liegen beinahe halb so tief wie der Mittelwert und sind damit wesentlich näher der Wirtschaftlichkeitsgrenze, besonders auch bei hohen Dämmstärken. Aus energie- und klimapolitischer Sicht ist es also besonders wirkungsvoll, mittels initiiertes Marktstimulation eine Dynamik in Gang zu setzen. Bei geeigneter Ausgestaltung können die Lern- und Erfahrungspotenziale aktiviert und die Pioniermarktmargen durch mehr Wettbewerb vermieden werden, um damit die Kosten bzw. Preise aller Unternehmen an die best practice heranzuführen.

Tabelle ZF.2 Investitionen von Fassadenwärmedämmungen bei Erneuerungen (Mittelwert und best practice) und Grenzkosten (Durchschnittskostenansatz, Realzins 3,5%) verglichen mit den Referenzfällen „Instandsetzung“ bzw. „Energetische Erneuerung“

Dämmstärke (cm)	U-Wert (W/m ² K)	Investitionskosten (CHF/m ²)		Brutto-Grenzkosten (Rp/kWh _{NE})		
				Verglichen mit Ref. EE		Verglichen mit Ref. IS
		Mittel	Best practice	Mittel	Best practice	Mittel
0 (Ref. IS)	0.85 - 1.1	35		n.z.	n.z.	-
12 (Ref. EE)	0.28	117	112	-	-	6.1
16	0.23	127	119	12	8.0	6.5
20	0.20	140	133	17	10	7.0
30	0.15	174	143	25	13	8.4

Ref. IS = Referenz Instandsetzung (Putzausbesserung, Fassadenanstrich)
 Ref. EE= Referenz Energetische Erneuerung (12 cm Aussenwärmedämmung)
 n.z. = nicht zutreffend

Für den Referenzfall einer ohnehin notwendig oder geplanten Wärmedämmung im heutigen Standard (12 cm energetische Erneuerung) zeigt sich, dass der Verlauf der Durchschnittskosten der verminderten Nutzenergie für die meisten opaken Bauteile in etwa gleich ist, d.h., zu bestimmten Grenzkosten ist der Effizienzgewinn pro m² in etwa gleich gross (vgl. Abbildung ZF.3). Eine Ausnahme bildet das Flachdach, wo die Grenzkosten deutlich tiefer liegen.

Wesentlich tiefer sind verständlicherweise die Grenzkosten (Durchschnittskostenansatz) gegenüber dem Referenzfall der Instandsetzung IS (nur Putzausbesserung und Neuanstrich, vgl. Tabelle ZF.2), denn der Effizienzgewinn pro m² erneuerte Fassadenfläche ist wesentlich grösser (z.B. 69 kWh_{NE}/m² bei 12 cm gegenüber 0 cm und 80 kWh_{NE}/m² bei 20 cm gegenüber 0 cm, während es von 12 cm auf 20 cm nur zwischen 7 und 9 kWh_{NE}/m²_{Bauteil} sind).

Differenzierter zu betrachten ist das Fenster, weil hier die Energiebilanz und damit die Effizienzgewinne der verschiedenen Fenster- und Gläserarten von der Einbausituation abhängen (z.B. Verschattung, Sonnenstunden, Flächenverhältnisse, Verhältnis Wärmegewinne zu Transmissionsverluste, siehe unten).

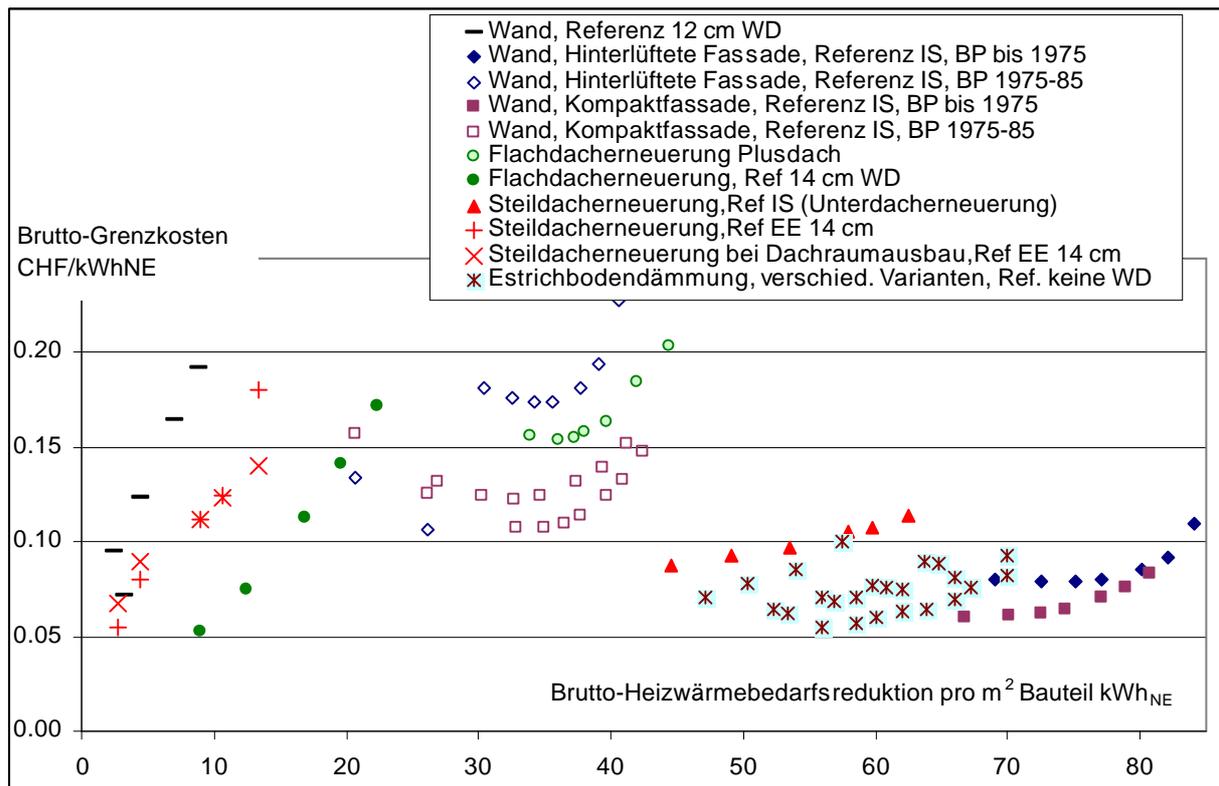


Abbildung ZF.3 Zusammenfassende Darstellung der Brutto-Grenzkosten (Durchschnittskostenansatz) für Erneuerungen (Referenzfall: heute übliche energetische Erneuerungen) und Neubauten

Fenster und Fensterrahmen

Bei den Fensterfirmen wurden ca. hundert zufällig ausgewählte Betriebe um Richtpreisofferten angefragt. Ausserdem wurden gezielt grosse Fensterfirmen befragt sowie solche, bei denen bekannt war, dass sie auch sehr energieeffiziente Fenster im Angebot haben.

Die energetische Verbesserung der Fenster wurde in der Vergangenheit vor allem über den markanten technischen Fortschritt bei den Verglasungen erreicht. Auch der heute erreichte Standard von 1.1 W/m²K kann durch verbesserte Beschichtungen, andere Gasfüllungen und Drei- statt Zweifachverglasungen weiter unterboten werden. Die Mehrkosten dafür sind bei Holz- und Kunststofffenstern ähnlich, zwischen kleinen und grossen Fenstern bestehen jedoch deutliche Unterschiede (vgl. aus Abbildung ZF. 5). Grosse Fenster haben wegen der geometrischen Verhältnisse und der Tatsache, dass Gläser tiefere U-Werte aufweisen als die Rahmen, nicht nur geringere energetische und preisliche Ausgangswerte, sondern der Kostenanstieg bei energetischen Verbesserungen verläuft auch flacher. Ein grosses Passivhaus-Fenster kann zu einem vergleichbaren spezifischen Preis erstanden werden wie ein kleines Standardfenster. Wirtschaftlich attraktiv ist daher das architektonische Element insbesondere beim Neubau, gross- statt kleinflächige Fenster zu konzipieren.

In den letzten Jahren wurden auch Bestrebungen unternommen, die Fensterrahmen zu verbessern. Beim Kunststoff-Fenster ist die Entwicklung weiter fortgeschritten als beim Holz- bzw. Holz-Metallfenster. Dies drückt sich durch ein breiteres Marktangebot im Bereich der Rahmenqualitäten aus und wird auch aus Abbildung ZF. 5 ersichtlich. Die Kostensteigerung von

Rahmenverbesserungen ist beim Holzfenster wesentlich stärker ausgeprägt als beim Kunststoff-Fenster. Die zunehmende Nachfrage nach gut isolierten Fenstern aufgrund der Minergie-Bauweise hat jedoch auch beim Holzfenster ein Angebotsegment induziert, das sich bis zur strengen Anforderung des Passivhausstandards erstreckt.

Die Fenster sind differenziert zu betrachten, da nebst der Verringerung der Transmissionsverluste die energetischen solaren Gewinne mitberücksichtigt werden müssen, so dass sich je nach Orientierung, Verschattung und g-Wert für Fenster mit einem bestimmten U-Wert sehr unterschiedliche Grenzkosten ergeben. Die Werte für die Fenster in Abbildung ZF.4 sollen dies illustrieren. Bei südorientierten Fenstern, aber auch bei wenig verschatteter Ost- und Westorientierung, ist der Energiefluss über die ganze Heizperiode gesehen positiv und das Fenster wirkt wie ein Solarkollektor zur Gewinnung solarer Wärme, was sich mindernd auf den Heizwärmebedarf auswirkt. Bei der Wahl der Gläserqualität sind hier nicht nur tiefe U-Werte massgebend, sondern auch möglichst hohe g-Werte (Gesamtenergiedurchlassgrad $\geq 50\%$ der Sonneneinstrahlung), da ansonsten die U-Wert-Verbesserung durch geringere solare Gewinne wieder kompensiert wird.

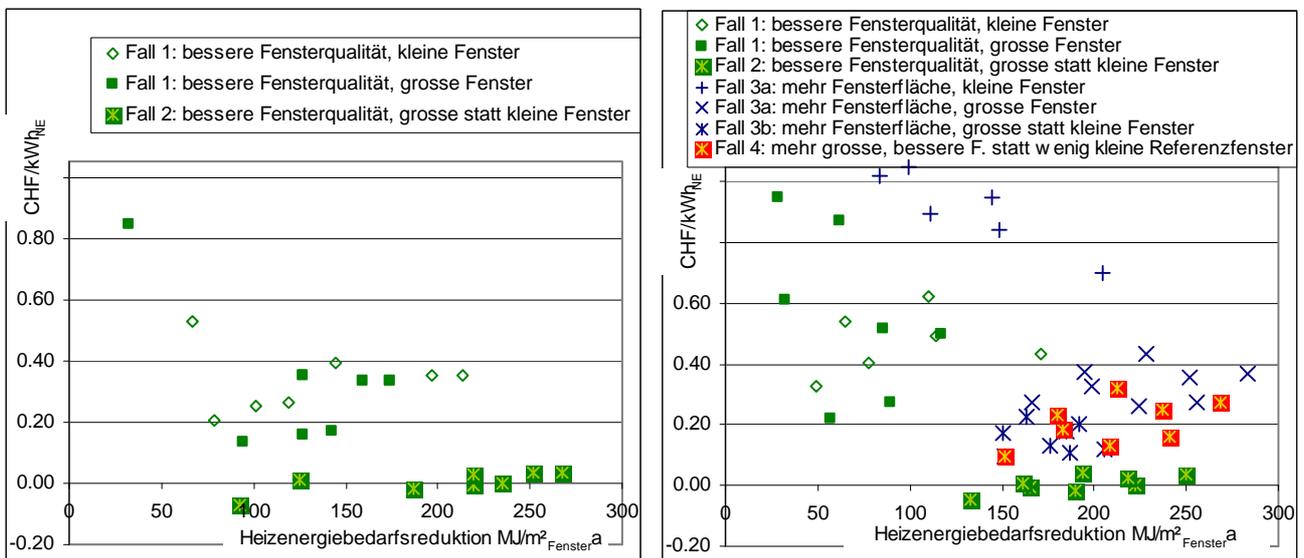


Abbildung ZF.4 Zusammenfassende Darstellung der Brutto-Grenzkosten (Durchschnittskostenansatz) von Fenstern für verschiedene Fälle und Orientierungen (Nord: linke Abbildung, Süd rechte Abbildung), Realzinssatz 3,5%, 30 Jahre Lebensdauer

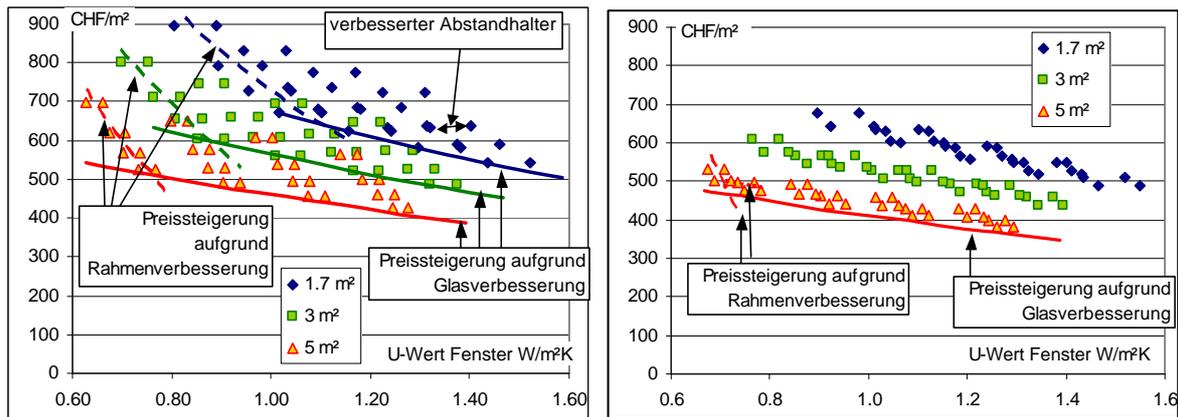


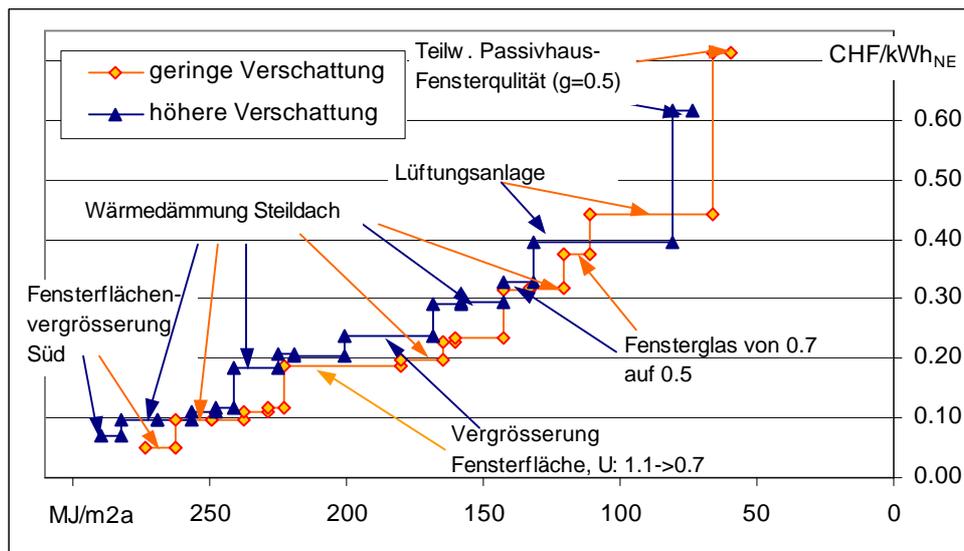
Abbildung ZF. 5 Investitionskosten von Holzfenstern (linke Abbildung) und Kunststofffenstern (rechte Abbildung) für verschiedene Fenstergrößen in Funktion des Gesamtfenster-U-Wertes

Das Gebäude als Ganzes

Beim Schritt von den einzelnen Bauteilen zum Gebäude als Ganzes ist zu beachten, dass die jeweiligen Kosten und auch die energetischen Nutzen der verschiedenen Investitionsbereiche sich zum Teil gegenseitig beeinflussen können. Deshalb können sich die Kosten-Nutzenrelationen im Vergleich zur isolierten Betrachtung auf Bauteilebene verschieben. Auf der energetischen Ebene zu nennen sind z.B. der Ausnutzungsgrad der freien Wärme (solare Wärme plus Wärme von Personen und Geräten), der sich bei zunehmender Wärmedämmung oder erhöhten Solargewinnen leicht verschlechtert. Auch auf der Kostenebene gibt es Interaktionen zu verzeichnen: die Kosten von Wärmeerzeugung und -verteilung können bei zunehmend geringerem Wärmebedarf reduziert werden.

Die Flächenverhältnisse oder die Ausrichtung eines Gebäudes sind beim Gebäudebestand vorgegeben, und entsprechend lässt sich das Potential der Energieeffizienzverbesserungen direkt anhand der einzelnen Bauteile ableiten. Beim Neubau besteht ein gewisser Spielraum, den Energiebedarf des Gebäudes mittels architektonischer Gestaltung zu beeinflussen und Verschattung zu vermeiden (vgl. Abbildung ZF.6 und Abbildung ZF.7). Ein weiterer Spielraum besteht bei der Deckung des restlichen Wärmebedarfs, weil die Wahlfreiheit bei der Haustechnik grösser ist als im Gebäudebestand, wo auf die bestehende Bausubstanz Rücksicht genommen werden muss bzw. Nachrüstungen oft höhere Kosten aufweisen.

Die Untersuchung von verschiedenen Neubaukonzepten und Ausgangslagen hat gezeigt, dass die Grenzkostenkurve einen ähnlichen relativen Verlauf aufweisen. Dies liegt darin begründet, dass auch die Grenzkosten der einzelnen Bauteile und Einzelmassnahmen einen ähnlichen Verlauf haben. Unterschiede gibt es im Erscheinungsbild. Je günstiger das Verhältnis der Gebäudehüllenfläche zur Energiebezugsfläche ist (A/EBF), desto tiefer ist der energetische Ausgangswert und desto steiler erscheint die Grenzkostenkurve.



Berechnungen CEPE

Abbildung ZF.6 EFH-Bruttogrenzkostenkurve (ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmeerzeugung/-verteilung) für geringe Verschattung und für höhere Verschattung (Massnahmenreihenfolge gemäss dem Prinzip der ansteigenden Grenzkosten)

Auch der Einfluss des Luftwechsels auf die Grenzkosten nimmt besserem wärmetechnischen Zustand zu (vgl. Abbildung ZF.7). Im Einzelfall kann sich auch die Reihenfolge der zu treffenden Effizienzmassnahmen ändern, sofern diese strikt nach aufsteigenden Grenzkosten getroffen werden sollen. Es ist jedoch eher wesentlich, dass bei allen Bauteilen sukzessive Massnahmen ergriffen werden und nicht nur punktuell bei einigen Bauteilen.

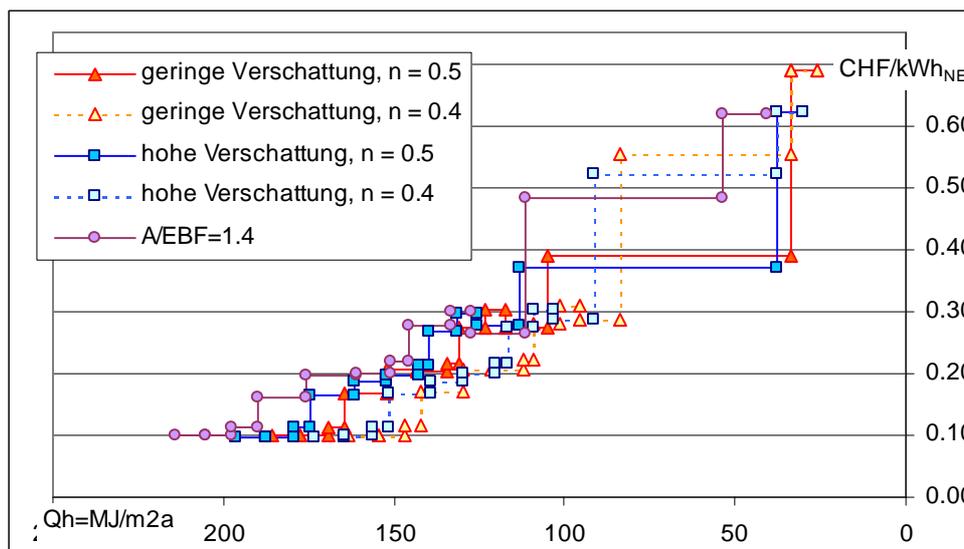


Abbildung ZF.7 MFH-Bruttogrenzkostenkurve (ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmeerzeugung/-verteilung) für verschiedene Ausgangslagen der Verschattung und des Luftwechsels

Als ein Fazit kann festgehalten werden, dass (im Mittelland) sowohl eine konsequente Wärme-Dämmstrategie als auch eine kombinierte Dämm- und Solargewinnstrategie zu ähnlichen Kosten führen. Dies gilt für einigermaßen verschattungsfreie Situation, also insbesondere beim Einfamilienhaus und für MFH für Gebiete mit geringer Ausnützungsziffer.

Die Brutto-Grenzkosten in der oben dargestellten Form erlauben einen Vergleich der einzelnen Investitionsoptionen untereinander sowie den Vergleich von verschiedenen Neubaukonzepten, jedoch noch nicht eine abschliessende Beurteilung der Wirtschaftlichkeit unter Einbezug der Wärmebereitstellung. Die Berechnung der Anlagengrösse erfolgte über den Leistungsbedarf, wobei dieser differenziert aufgrund der tatsächlich betrachteten Gebäudekonzepte berechnet wurde. Denn der Leistungsbedarf sinkt meistens unterproportional zur Reduktion des jährlichen Wärmeenergiebedarfs, weil für die Leistungsdimensionierung der kälteste Tag in Abwesenheit von solaren Gewinnen massgebend ist, während der Wärmeenergiebedarf durch solare Gewinne reduziert werden kann. Die erreichbaren Kostenminderungen infolge der Möglichkeit, kleinere Anlagen einzusetzen, sind bei den Heizöl-, Gas- und Holzheizungen eher gering. Bei den Wärmepumpen - und hier insbesondere bei den Sole-WP - gehen die Investitionskosten markant zurück (vgl. Abbildung ZF.8). Die Mehrkosten der Wärmeschutz-Investitionen lassen sich jedoch nach derzeitigem Kostenstand bei keinem Anlagentyp gänzlich kompensieren, selbst wenn beim gut ausgeführten Passivhausstand die hydraulische Wärmeverteilung weggelassen wird.

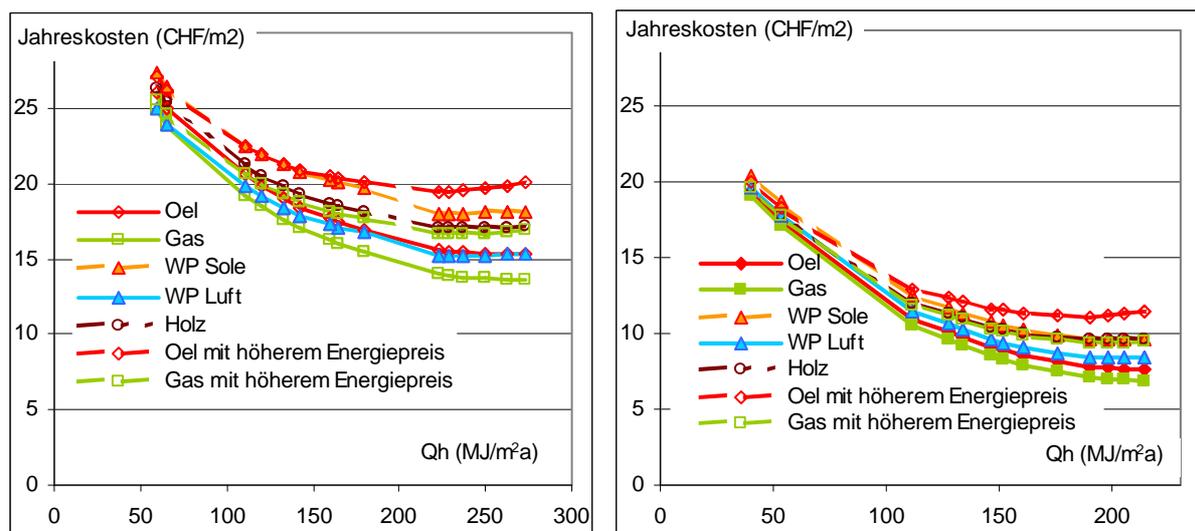


Abbildung ZF.8 Jahreskosten unter Berücksichtigung der Kostenreduktion auf Seite Wärmeerzeugung/-verteilung) für verschiedene Anlagentypen für EFH (linke Abbildung) und MFH (rechte Abbildung). Höherer Energiepreis bei Öl- bzw. Gasheizungen: Zuschlag in der Höhe von 210 CHF/t CO₂

Die ermittelten Gesamtjahreskosten (netto) weisen - ohne Berücksichtigung begleitender Nutzen - einen zunächst sehr flachen Verlauf im Bereich der heutigen Bauweise und darunter (z.B. zwischen 250 und 200 MJ/m²a) auf (vgl. Abbildung ZF.8). Im dargestellten Beispiel kann ohne wesentliche Mehrkosten eine Verbesserung des spezifischen Heizwärmebedarfs Q_h um 40 MJ/m²a bis 60 MJ/m²a bzw. um einen Viertel erreicht werden, dies selbst mit der unwahrscheinlichen Annahme, dass der Energiepreis im Durchschnitt über die gesamte Lebensdauer nur rund 5.5 Rp/kWh beträgt (ca. 55 CHF/100 l). Um insgesamt über 100 MJ/m²a lässt sich der Heizwärmebedarf zu Nettokosten von 2 CHF/m² bis 3 CHF/m² vermindern, was 20 bis

30 CHF/Monat Mehrkosten für eine Wohnung von 120 m² bedeutet. Wird eine Energiepreiserhöhung im Bereich einer CO₂-Steuer von 210 CHF/t CO₂ veranschlagt, verflacht sich der Kostenverlauf weiter, und das wirtschaftliche Optimum verschiebt sich weiter nach links hin zu einem tieferen spezifischen Energiebedarf.

Den Werten der Abbildung ZF.8 wurden nicht die best practice Kosten zugrunde gelegt (siehe dazu auch die Variation der Mehrkosten in Abbildung ZF.2); in Zukunft könnte mit wachsenden Lern- und Skaleneffekten die Kostensteigerung durchaus auch moderater verlaufen, als hier dargestellt. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind die nicht-energetischen Nutzen, die bei weitergehenden Energie-Effizienzmassnahmen häufig beobachtet werden (siehe unten). Insofern sind die oben beschriebenen einzelwirtschaftlichen Netto-Kosten unvollständig und können zu Fehlentscheidungen bei Wärmeschutz- und Energieeffizienz-Investitionen führen.

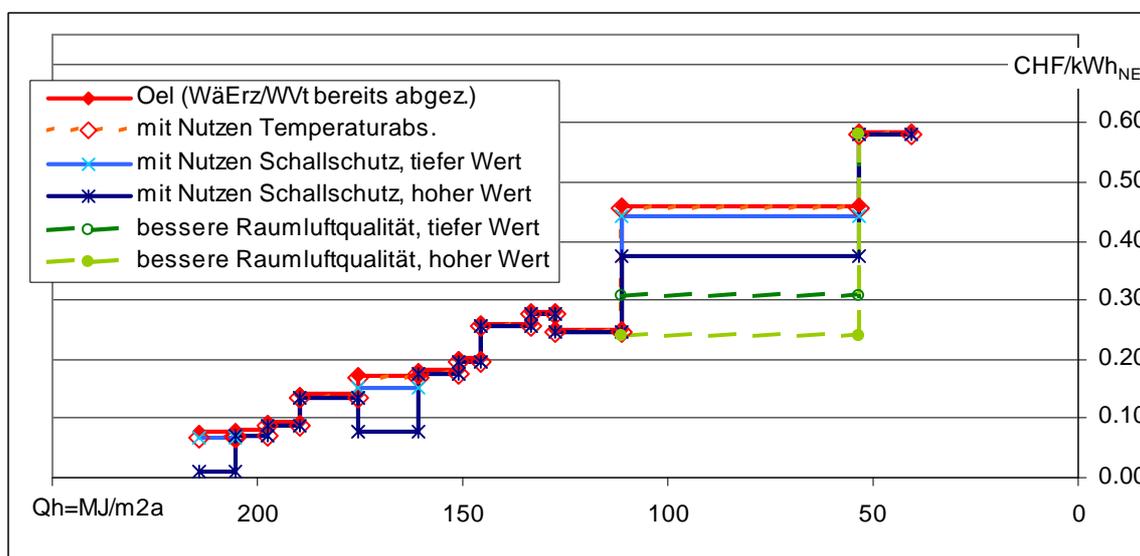
Begleitende Nutzen (Co-Benefits) von Wärmeschutzinvestitionen

An drei Beispielen sei im folgenden illustriert, wie der Einbezug der begleitenden Nutzen in die einzelwirtschaftliche Bewertung die energetisch bedingten Grenzkosten verringern kann (siehe Abbildung ZF.9):

- Für die Quantifizierung des Zuwachses an Wohnkomfort orientierte man sich an empirischen Untersuchungen zur Behaglichkeit anhand der Temperaturunterschiede zwischen Wand und Raumlufttemperatur sowie der Strömungsverhältnisse im Wohnraum. Schon vor Jahren fand man heraus, dass eine Verminderung der Temperaturdifferenz zwischen der Wand eines Raumes und seiner durchschnittlichen Lufttemperatur von etwa 5°C bei *gleichem Behaglichkeitsniveau eine Absenkung der Raumtemperatur* um 1°C ermöglicht. Die Berücksichtigung dieses Effektes führt allerdings nur zu relativ kleinen begleitenden Nutzen von allenfalls einem Rappen je kWh Wärmeenergie.
- Ein Ersatz von alten Doppelverglasungsfenstern, der Einsatz von Zweifach- oder Dreifachverglasung mit asymmetrischem Glasaufbau und speziellen Glasarten (Giessharz), die Erneuerung von Rollladenkästen sowie (schweres) Wärmedämm-Material aus mineralischen Stoffen tragen zur Verminderung der Transmission von Lärmenergie in das Innere von Wohngebäuden bei. Eine Quantifizierung der Lärminderung kann durch eine Abschätzung der Verminderung der durch den Lärm verursachten Kosten erfolgen. Diese Lärmkosten wurden empirisch u.a. durch Mietzinseinbussen in Funktion der Lärmbelastung beobachtet und von verschiedenen Studien mit 0.6% bis 0.9 % je zusätzliches dB angegeben. Der weitaus grössere lärmindernde Effekt ist vom Bereich Fenster und/oder Rollläden zu erwarten; sein Nutzen wird grob auf etwa 50% der oben erwähnten spezifischen Kosten geschätzt, wenn gleichzeitig eine Lüftungsanlage zum Einsatz kommt. Aber auch Dämm-Massnahmen mit mineralischen Materialien im Bereich des Daches haben eine relevante Bedeutung (insbesondere gegen Fluglärm oder über weitere Strecken übertragener Verkehrslärm). Die gewählten Beispiele zeigen, dass der Schallschutz bei Fenster und Dach die Rentabilität der Wärmeschutzmassnahme entscheidend beeinflussen kann (Abbildung ZF.9). Umgerechnet auf Nutzen je kWh Nutzenergie ergibt der Einbezug der begleitenden Nutzen durch Lärminderung Werte zwischen 6 und 8 Rp/kWh, d.h., für diese Beispiele liegt er in der Höhe heutiger Wärmekosten.
- Einen ähnlich grossen Einfluss hat der Einsatz von Lüftungsanlagen bei der Verbesserung der Raumluftqualität (vgl. Abbildung ZF.9). Es wird entweder eine verbesserte Luftqualität in der Wohnung von solchen Wohngebäuden erreicht, die in stark belasteten Wohnquartieren (z.B. sehr verkehrsreiche Strassen) gelegen sind, und zwar entweder durch eine reduzierte Luftwechselrate bei Fenster- und Türsanierungen oder durch Filterung der Aussenluft bei Lüftungsanlagen und/oder dem Ansaugen der Luft von der strassenabgewandten Seite.

Der andere Fall ist eine zu geringe Luftwechselrate in gut wärmegeprägten Wohngebäuden, die ein zu feuchtes Innenklima (z.B. durch aufsteigende Feuchte) oder eine durch die Bewohner (starkes Rauchen) bzw. durch die Inneneinrichtung (z.B. synthetische Teppiche, chemikalienhaltige Pressspanmöbel) verursachte relativ hohe Schadstoffkonzentrationen aufweisen, die für Asthmakranke und andere Menschen mit einer Disposition für Allergien und Erkrankungen der Atmungsorgane unverträglich sind. Die Quantifizierung dieser Effekte ist allerdings meist sehr schwierig; ihre Monetarisierung muss deshalb derzeit meist mit ökonomischen Methoden über die Miethöhe oder mit epidemiologischen Analysen für entsprechende Krankheitsbilder versucht werden.

Die Nutzen der Co-Benefits werden auch in der Darstellungsform der Jahreskosten sichtbar (vgl. Abbildung ZF.10). Insbesondere der steile Kostenanstieg der Lüftungsanlage wird wesentlich flacher, wenn die mit einer Lüftungsanlage verbundenen Zusatznutzen miteinbezogen werden und wenn - fälschlicherweise - nicht alle Kosten allein der Energieeffizienz zugeordnet werden.



Quelle: Berechnungen CEPE

Abbildung ZF.9 Grenzkostenkurve von Wärmedämminvestitionen unter Berücksichtigung ausgewählter Co-Benefits (höherer Komfort, Schallschutz, bessere Raumluftqualität durch Lüftungsanlagen), Fallbeispiel mit Ölheizung

Im Gegensatz zu den Jahreskosten beginnen die Investitionskosten ab dem energetischen Referenzpunkt sofort zu steigen, wenn auch nur leicht (siehe Abbildung ZF.10). Entscheide, die sich nur auf die Investitionskosten abstützen, führen also nicht zu einer energetisch und ökonomisch optimalen Bauweise. So trivial und so wenig neu diese Feststellung ist, so häufig wird sie in der Realität nicht beachtet, in vielen Fällen wegen des Investor-/Nutzerdilemmas und einer Mietgesetzgebung, die diese Zusammenhänge nicht hinreichend wahrnimmt

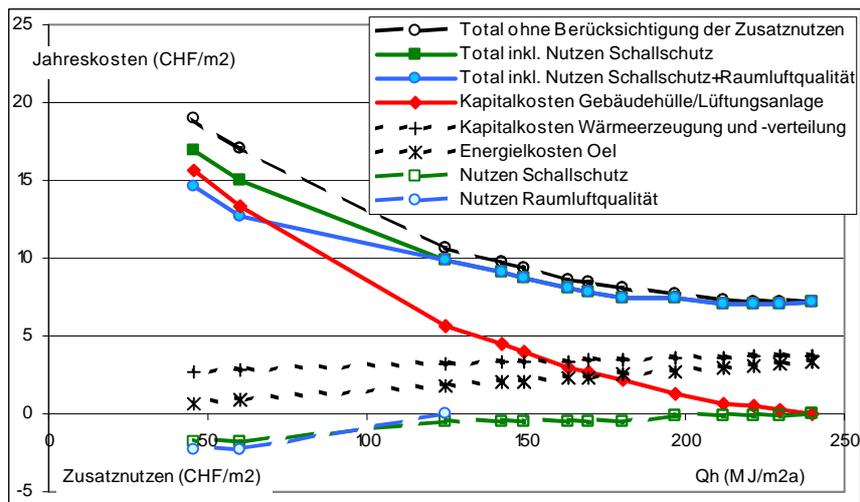


Abbildung ZF.10 Gesamte Jahreskosten und ihre Komponenten (Mehrkosten der Energieeffizienzinvestitionen, Minderkosten der Wärmeerzeugung- und -verteilung) sowie der Zusatznutzen. Beispielhafte Darstellung für einen MFH-Neubau. Annahmen: Realzins 3%, Brennstoffpreis 4.5 Rp/kWh

Künftige Kosten und Nutzen der Energieeffizienz-Investitionen

Wie die Analysen der Vergangenheitsentwicklung der Wärmeschutzmassnahmen zeigten, waren die Lern- und Skaleneffekte in den vergangenen drei Jahrzehnten gewaltig und dürften es wegen der weiteren Innovationen auch in Zukunft sein. So betrug der technische Fortschritt des Wärmeschutzes bei Fenstersystemen seit 1970 etwa 1,8 %/a und bei der Wärmedämmung 2,3 %/a. Gleichzeitig reduzierten sich real die Herstellkosten durch Lern- und Skaleneffekte um 0,8 %/a im Durchschnitt. Daraus lassen sich die Werte der Degressionskoeffizienten bei Produktionsverdopplung ableiten. Diese liegen im üblichen Bereich zwischen 0,8 und 0,9, je nach Stand im Innovationszyklus des jeweils betrachteten Bauteils oder der Investition.

Da die Lern- und Skaleneffekte bei einzelnen Wärmedämm-Massnahmen infolge geringer Marktdurchdringung oder/und neuer Techniken (Hochleistungskerndämmung, hocheffiziente Fenster) bei weitem noch nicht ausgeschöpft sind, wird mit weiteren Kostendegressionen je vermiedene kWh Wärmeverluste in gleicher Höhe von 10 bis 20 % bei jeder Produktions- bzw. Installationsverdopplung gerechnet (vgl. Abbildung ZF. 11). So wird beispielsweise seit einiger Zeit die Dämmplatte aus Styropor wird mit einem Kern aus einem geschäumten Kunststoff versehen, welcher eine um den Faktor 1,8 tiefere thermische Leitfähigkeit aufweist. Dadurch kann die Dämmstärke gegenüber dem derzeit üblichen Material um rund 40% vermindert werden. Bei Dämmstärken von 100 bis 120 mm dieses neuen Materials und konstruktiven Lösungen insbesondere im Bereich der Anschlüsse, die kostenseitig der heutigen Praxis entsprechen, kann der Niedrigenergiestandard erreicht werden. Das Produkt ist auf dem Markt erhältlich, ebenso ein mit Graphitpartikeln um 10 bis 20 % verbessertes Styropor. Die Technik der Vakuum-Isolation ist für die Zukunft vielversprechend und insbesondere für die Gestaltungsfreiheit von Architekten aufgrund der hohen Dämmwirkung bei relativ geringer Dämmstärke bzw. Bautiefe der Panel-Elemente attraktiv.

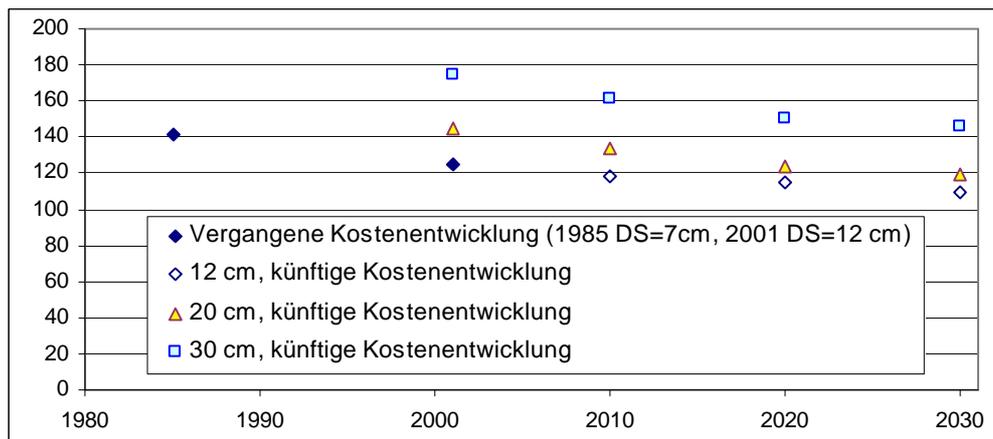


Abbildung ZF. 11 Vergangene und künftige Entwicklung der Kosten von Kompaktfassadenwärmedämmungen (Erhebungen und Berechnungen CEPE)

Bei Fenstersystemen geht der technische Fortschritt über verbesserte Abstandshalter, Beschichtung der Gläser, Edelgasfüllung, Dreifachverglasung und verbesserte Dämmung der Rahmen. Mittelfristig sind Vakuum-Gläser sowie Folien zwischen den Gläsern absehbar. Diese neuen Technologien sind zu Beginn des Markteintritts meist relativ teuer, aber erfahrungsgemäss sinken die Kosten mit jeder Verdopplung ihrer Anwendung von anfänglich 15 auf später 10 % (vgl. Abbildung ZF. 12).

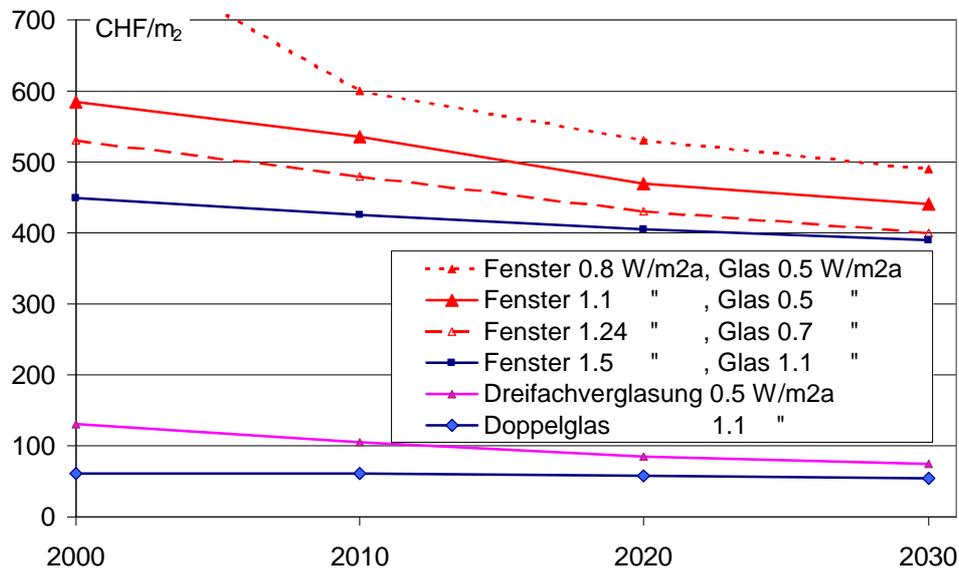


Abbildung ZF. 12 Künftige Entwicklung der Kosten von Fenstern und Gläsern (Erhebungen und Berechnungen CEPE)

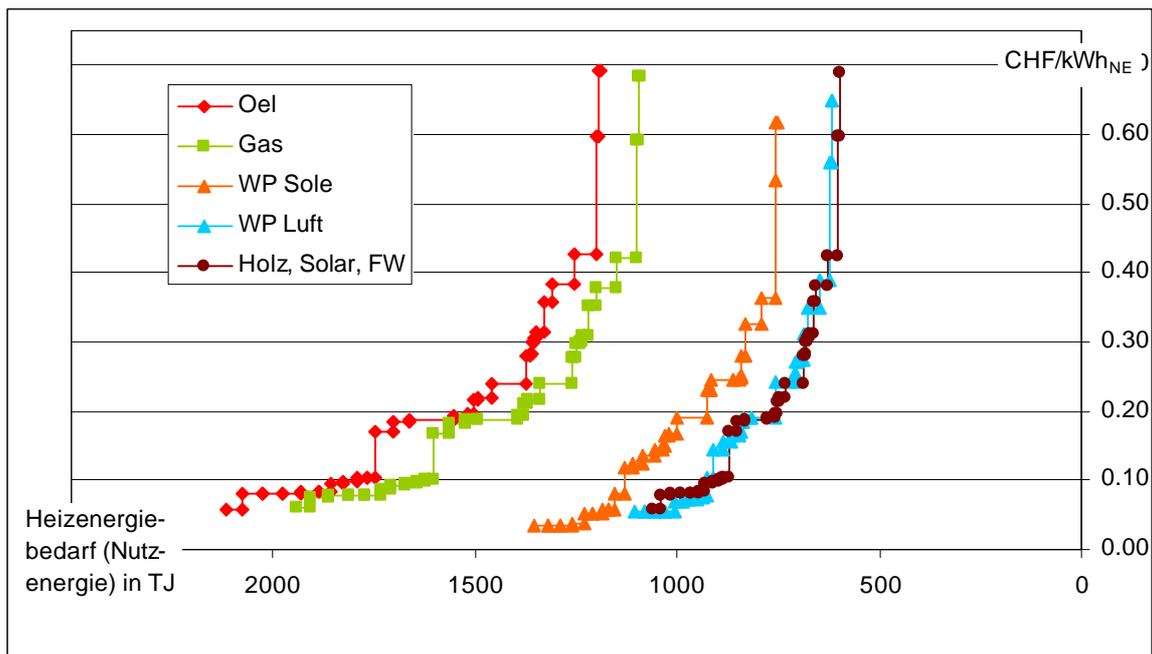
Als Konsequenz der auch künftig sinkenden Kosten und des technischen Fortschritts werden sich auch die Grenzkosten der Energieeffizienz verringern. Der zeitliche Verlauf der Grenzkosten erfährt dabei aus Gründen der Arithmetik eine besondere Dynamik. Beispielsweise liegt In

der Ausgangslage das Kostenniveau bei 450 CHF/m² und die Kostendifferenz beträgt heute 140 CHF/m² für das effizientere Fenster. Unter der Annahme, dass das effizientere Fenster infolge seiner heutigen geringen Stückzahlen eine dynamischere Entwicklung erfährt, die z.B. zu einer Kostenreduktion von 15% je Verdopplung führt, während die Kosten für das „normale“ Fenster nur um 10% zurückgehen, beträgt die Kostendifferenz nach drei Verdopplungsperioden der neuen Technik weniger als 100 CHF/m². Die Kostendifferenz (und diese ist ja für den Grenzkostenansatz relevant) reduziert sich damit um mehr als 30%.

Gesamtschweizerische Kostenkurven

Beim Grenzkostenansatz ist die Definition einer Referenzentwicklung ein unabdingbare Grundlage, denn alle zusätzlichen Investitionen und die damit verbundenen Energieeinsparungen gehen von dieser Referenz aus. Bei einer gesamtschweizerischen Betrachtung wird nebst der bautechnischen Charakterisierung die Festlegung eines Mengengerüsts zur künftigen Neubau- und Erneuerungstätigkeit notwendig. Beim Neubau ist dies relativ einfach; hier genügt die Kenntnis der künftigen Neubaupläche und der heutigen Neubauweise bei den einzelnen Bauteilen (siehe vorangehende Kapitel). Bzgl. der künftigen Fläche der Neubauten kann weitgehend auf die Perspektiven von Wüest und Partner zurückgegriffen werden. Bis ins Jahr 2010 wird beispielsweise von einer Neubaupläche von rund 27 Mio m² bei den Einfamilienhäusern und von rund 25 Mio m² bei den MFH ausgegangen.

Im Referenzfall beträgt der Nutzenergiebedarf der Gebäude, die bis 2010 neu gebaut werden, rund 7.6 PJ. Bis zu Brutto-Grenzkosten von 10 Rp/kWh_{NE} lässt sich der Heizwärmebedarf (auf Ebene Nutzenergie) mit Massnahmen an Boden, Dach, Wand und Fenster gesamtschweizerisch bei EFH-Neubauten um rund 1300 TJ reduzieren (Summe der Einsparungen der Grenzkostenkurven der fünf Anlagentypen in Abbildung ZF. 13). Bis zu Grenzkosten von 20 Rp/kWh_{NE} sind es weitere 935 TJ. Ein vergleichsweise grosses Einsparpotential von 1300 TJ der Heizwärme bietet theoretisch der Einbau von Lüftungsanlagen (wenn in allen MFH eine Lüftungsanlage eingebaut würde). Der realisierbare Anteil wird allerdings nur mit 30% angenommen. Die Grenzkosten betragen je nach Situation und Wärmeerzeugung 23 Rp/kWh_{NE} bis 38 Rp/kWh_{NE}, wenn die gesamten Kosten der Lüftungsanlage der Energie zugerechnet würden. Diesen Grenzkosten ist der jeweilige Wärmepreis gegenüber zu stellen (langfristig gemittelter Energiepreis dividiert durch den Nutzungsgrad der Anlagen). Der Wärmepreis beträgt zwischen 5 Rp/kWh (heutige Brennstoffpreise) und rund 10 Rp/kWh (gestiegene internationale Brennstoffpreise und/oder CO₂-Abgabe bzw. -Emissionszertifikate). Bei den MFH beträgt der jährliche Heizwärmebedarf der 25 Mio m² Neubau-EBF im Referenzfall rund 5.6 PJ. Um rund 0,7 PJ lässt sich der Heizwärmebedarf reduzieren, wenn Energieeffizienzinvestitionen bis zu Brutto-Grenzkosten von 10 Rp/kWh ergriffen würden.



Quelle: Berechnungen CEPE

Abbildung ZF. 13 Gesamtschweizerische Grenzkostenkurven (realisierbares Potential) für den EFH-Neubau 2001 bis 2010, heutiger Kostenstand

Etwas komplexer gestaltet sich die Beschreibung der Referenzentwicklung im Bereich der Gebäudeerneuerung. Neben der Kenntnis des bautechnischen Ausgangszustandes der verschiedenen Gebäudekategorien (Typ, Bauperiode) sind zusätzlich Annahmen zu den Erneuerungsraten und -Varianten (Instandsetzung bzw. Wärmedämmung) notwendig und zwar sowohl bzgl. der betroffenen Energiebezugsflächen wie auch bezüglich der einzelnen Bauteile (Wand, Dach, Fenster, Kellerdecke etc. sowie entsprechende Kombinationen). Die empirische Basis bzgl. der Erneuerungstätigkeit im Hinblick auf Wärmeschutz in der Vergangenheit, die als Grundlage für die Beschreibung der künftigen Entwicklung dienen könnte, ist in der Schweiz (und in allen Ländern) relativ schwach. Die Erhebungen eines vom CEPE angeregten Forschungsprojekts mit dem Ziel, diese Lücke zu schliessen, waren bei Fertigstellung dieses Berichts noch nicht ausgewertet, so dass für die Referenzentwicklung im Erneuerungsbereich zum Teil vorläufige Annahmen getroffen werden mussten. Trotz dieses Vorbehalts sind die gesamtschweizerischen Grenzkostenkurven für die Erneuerung der Wohngebäude sehr aufschlussreich, weil ein grosses Energieeffizienzpotential zu relativ geringen Kosten ermittelt wurde, besonders wenn eine ganzheitliche ökonomische Bewertung zur Anwendung kommt.

Illustriert wird dies für die Einfamilienhäuser der Bauperiode 1900 bis 1961. Im Referenzfall der beträgt die Reduktion für Heizwärme für die Gebäude dieser Bauperiode 7% bis zum Jahr 2010, da im Referenzfall neben Instandsetzungen auch energetischen Erneuerungen angenommen werden. Im Fall der weitergehenden energetischen Erneuerungen (Grenzkostenansatz) wird davon ausgegangen, dass zusätzlich 15% der gesamten Wandflächen wärmedämmen und dass die Fassaden statt mit 12 cm mit 20 cm gedämmt werden (vgl. Abbildung ZF.14). 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 m² innerhalb der nächsten 10 Jahre. Und bei 1.5 Mio m² Dacherneuerungen, bei denen im Referenzfall eine Wärmedämmung angebracht wird, sei diese von 14 cm auf 20 cm verstärkt.

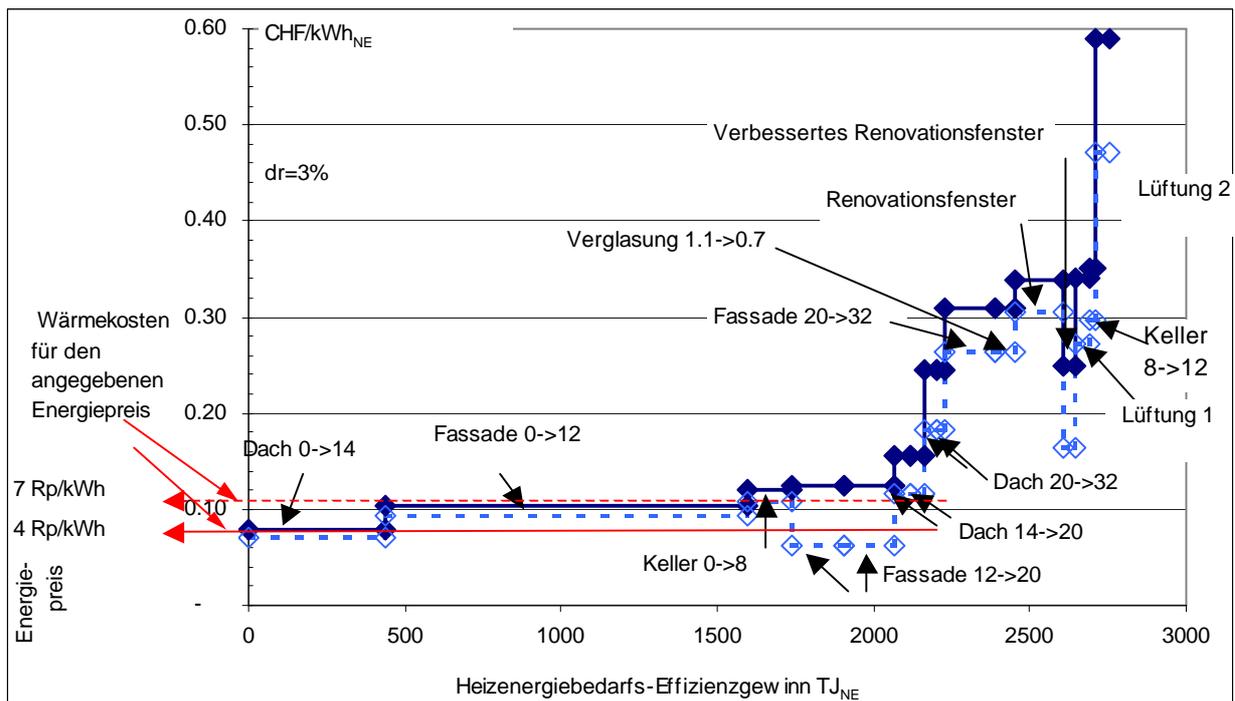


Abbildung ZF. 14 Grenzkostenkurve der EFH mit Bauperiode 1900 – 1960, mit heutigem Kostenstand (durchgezogene Treppenkurve) sowie mit dynamisierten Kosten (gestrichelte Treppenkurve)

Ein beachtliches Potential an Heizwärmebedarfsreduktion von etwa 1'100 TJ liegt im Bereich von Brutto-Grenzkosten bis 11 Rp/kWh_{NE}. 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_{NE} könnten weitere 3% des Heizwärmebedarfs reduziert werden. Von diesen Kostenangaben sind die eingesparten Kosten auf Seite Wärmezeugung und -verteilung abzuziehen. Langfristig sind dies zwei bis fünf 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 (vgl. Abbildung ZF. 14).

Zieht man Kostensenkungspotenziale für 2010 mit ein, fallen nebst dem bereits grossen Potential weitere rund 500 TJ Effizienzgewinn durch Kellerwanddämmung und verstärkte Fassadendämmung in den Bereich der Wirtschaftlichkeit, dies selbst dann, wenn keine Energiepreiserhöhung angenommen wird. Dies entspricht weiteren 2% des gesamten Heizwärmebedarfs dieser Gebäudegruppe bzw. 20% des realisierbaren Erneuerungspotentials.

Schlussfolgerungen und Fazits

Die vorliegende Analyse des Wohngebäudebestands und die möglichen Wärmeschutzmassnahmen mit ihren Kostenstrukturen und begleitenden Nutzen verdeutlichen eine Komplexität des Untersuchungsgegenstands, der in den bisherigen energiewirtschaftlichen Analysen und Modellen in hohem Masse vereinfacht wurde, so dass es auch immer wieder zu den beobachteten, klischeehaften Bewertungen kommen musste, Wärmedämm-Massnahmen

seien wenig kosteneffizient und im Gebäudebestand nur durch finanzielle Anreize in Gang zu setzen. Die Analysen legen vielmehr folgendes nahe:

- Wärmedämm-Massnahmen im Gebäudebestand mit bisher ungedämmten Fassaden, Dächern oder Kellern sind in den meisten Fällen rentabel, insbesondere dann, wenn der Gebäudebesitzer beim Wärmepreis hochwahrscheinliche Energiepreissteigerungen während der langen Nutzungszeiten und begleitende Nutzen in die einzelwirtschaftliche Betrachtung mit einbezieht.
- Aus energiewirtschaftlicher Sicht sind weitergehende Wärmedämm-Massnahmen kosteneffizient, weil begleitende Nutzen, die nicht alle privat angeeignet werden können (z.B. vermiedene Krankheits- und Lohnausfallkosten), sowie vermiedene externe Kosten in den Bereichen konventioneller Luftschadstoffe (in Höhe von 0.8 bis 3.4 Rp/kWh) und der Treibhausgasemissionen (in Höhe von 4.5 bis 8 Rp/kWh) miteinbezogen werden müssen.

Nicht in dieser Analyse untersucht, aber doch erwähnenswert sind weitere Nutzen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht infolge der Substitution von Energieimporten durch inländisch erzeugte Effizienzgüter und -dienstleistungen, durch Wiederverausgabung eingesparter Energiekosten und durch zusätzlich möglich werdende Innovationen, Kostendegressionen und Exporte (politikinduzierter technischer Fortschritt) sowie zusätzliche Beschäftigung, auch in den ländlichen und Bergkantonen.

Aus Sicht der Bauträgerschaften (heutige oder künftige private EFH-BesitzerInnen und MFH-Investoren) ist es angezeigt, den Wärmeschutz mit langfristigem Blickwinkel zu betrachten; denn die (meist baulichen) Investitionen haben eine sehr lange Lebensdauer von drei bis mehr als fünf Jahrzehnten, und späterer, nachträglich anzubringender Wärmeschutz ist wesentlich kostenintensiver (bis zu einem Faktor 3). Ein grosszügiger Wärmeschutz hat sehr geringe Risiken und ist eher wie eine ertragreiche Versicherung gegenüber steigenden Energiepreisen einzuschätzen, weil die Grenzkostenverläufe relativ flach im Bereich heutiger Wärmepreise verlaufen. Da die begleitenden Nutzen, die häufig nicht monetarisiert, ja nicht einmal beachtet werden, von gleicher Grössenordnung sein können wie die Verminderung der Wärmekosten, empfehlen die Autoren eine grössere Beachtung dieser geldwerten Effekte. Die induzierte Wertsteigerung der Gebäude bzw. die verbesserte Vermietbarkeit gut wärmedämmter Gebäude gehen zwar nicht in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Wärmeschutzmassnahmen ein, aber sie sind aufgrund des sich ändernden Umfeldes (Bonitätsbewertung durch die Banken, alternde Bevölkerung) für Investitionsentscheide von zentraler Bedeutung.

Aus energiewirtschaftlicher und klimapolitischer Sicht verdienen die Gebäudeerneuerung und ihre grossen Effizienz-Potenziale nahe der Wirtschaftlichkeit mehr Beachtung. Im Vergleich zu anderen Umwelt- und Klimaschutzkosten bietet insbesondere die Gebäudeerneuerung, aber auch der Neubau ein vergleichsweise grosses Potential zu vergleichsweise geringen oder gar negativen Grenzkosten (d.h. Gewinnen), insbesondere bei Erneuerung statt Instandsetzung.

Um *die bestehenden Potenziale zu erschliessen*, liegen aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeiten u.a. folgende Instrumente oder Massnahmen für eine nähere Betrachtung nahe:

- *Das Setzen von Bau-Standards und ihre Kontrolle* wirkt auf mehreren Ebenen: zum einen hilft es, den spezifischen Energiebedarf der Neubauten mit jeder Novellierung zu senken, vermittelt über die Baupraxis und identische Bauelemente (z.B. Fenster, verbessertes Isolationsmaterial, rationalisierte Installation) auch den Bedarf des Gebäudebestandes zu mindern. Zum anderen fördern die Standards neue technische Lösungen und über Lern- und Skaleneffekte bei Herstellern und Installationsbetrieben weitere Kostensenkungen und damit neue Märkte. Ein periodisches Verschärfen der Bau-Standards gemäss der technischen Entwicklung ist daher unabdingbar.

- Durch ihre Rolle als Vorreiter und Impulsgeber für Hersteller, umweltbewusste Gebäudebesitzer und Architekten haben auch *Standards und Labels der Bauwirtschaft wie MNERGIE* eine innovationsstimulierende Wirkung, sie dienen als Benchmark und der Markttransparenz ebenso wie zum Experimentieren für die nächste Novellierung kantonaler Baustandards.
- Die durch besseren Wärmeschutz vermeidbaren externen Kosten der Energienutzung und erreichbare zusätzliche Begleitnutzen, die nicht privatisiert werden, in Höhe von einigen Rappen je kWh legitimieren auch weitere *staatliche Rahmenbedingungen pretialer Art*, z.B. die Einführung einer Lenkungsabgabe (z.B. die CO₂-Abgabe des CO₂-Gesetzes). Auch die *Anpassung des Mietrechtes*, das die begleitenden Nutzen (Lärmschutz, bessere Innenluft) aus der Sicht des Mieters bisher nicht berücksichtigt, erscheint dringend geboten, um das User/Investor-Dilemma zu überwinden. Die Kommunikation der Bruttomieten (inkl. Nebenkosten) ist ein erster Schritt dazu.
- Die Ergebnisse dieser Arbeit sind auf Seiten der Kosten und des energetischen Nutzens sehr umfangreich; sie könnten durch *weitere detailliertere und praxisnahe Beispiele* für einzelne Akteurs- und Zielgruppen (z.B. Architekten, Bauhandwerker, Hausbesitzer, Bauwillige) sowie *Kommunikationskanäle* (Fortbildungsunterlagen, Informationsbroschüren, Fachzeitschriften, Bausparer-Zeitschriften) weiter aufbereitet bzw. verwertet werden.
- Das Ausmass und die Monetarisierung der begleitenden Nutzen von Wärmeschutzmassnahmen ist wenig analysiert und bekannt. Um diese Nutzen wie selbstverständlich bei den Investitionsentscheiden einbeziehen zu können, bedarf es weiterer Forschung in diesem Bereich (inzwischen durch das Programm „Energiewirtschaftliche Grundlagen“ (EWG) des BFE mittel eines Projektes in Angriff genommen).

Insgesamt stimmen die Ergebnisse optimistisch, weil die Innovationsschleife "Standards/-Innovationen/Kostensenkung", die Imitation und Diffusion der Neubaustandards bei den Erneuerungs-Investitionen und der zukünftige Einbezug der begleitenden Nutzen hoffnungsvolle Ansatzpunkte für eine nachhaltige Entwicklung im Wohnbereich sind.

1 Problemstellung, Zielsetzungen und methodisches Vorgehen

1.1 Problemstellung und Ausgangslage

Die grossen Energieeffizienzpotenziale liegen in der Schweiz heute u. a. in der Verminderung des Raumwärmebedarfs, der etwa 50% des Nutz- und etwa 33% des Endenergiebedarfs ausmacht. Denn der Nutzenergiebedarf für Raumwärme könnte gegenüber dem heutigen Durchschnittswert des Gebäudebestandes um etwa zwei Drittel niedriger liegen (z.B. nach dem Minergiestandard) und beim Neubau von Solarpassivhäusern können Verbesserungen um einen Faktor fünf bis zehn erreicht werden.

Angesichts der Zielsetzungen des Schweizer CO₂-Gesetzes, die brennstoffbezogenen CO₂-Emissionen in 2010 um 15% gegenüber jenen des Jahres 1990 zu reduzieren, hat dieses Energieeffizienz- und CO₂-Minderungs-Potenzial im Bereich der Gebäude - und insbesondere im Bereich der Wohngebäude - eine grosse Bedeutung. Allerdings wird dieses Potenzial derzeit von vielen Hausbesitzern und Wohnungsbaugesellschaften bei Erneuerungen sehr wenig genutzt, so dass die Zielsetzung des CO₂-Gesetzes bei gleichbleibendem Renovierungsverhalten nicht erreicht würde (Aebischer et al. 2002). Als Argument unzureichender Nutzung der Energieeffizienzpotenziale wird immer wieder mangelnde ökonomische Rentabilität als Argument genannt. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit derartige Bewertungen von der aktuellen Datenbasis ausgehen und ob sie als vollständig anzusehen sind. Will man daher eine aktuelle und sachadäquate ökonomische Bewertung der Wärmeschutzinvestitionen durchführen oder in energiewirtschaftlichen Modellen die möglichen Realisierungspfade simulieren und für energie- und klimapolitische Massnahmen genauer anschauen, so sind die Kosten und Nutzen dieser Optionen und auch ihr Grenzkostenverlauf bei forcierten Effizienzinvestitionen als Informationsbasis von grosser Bedeutung.

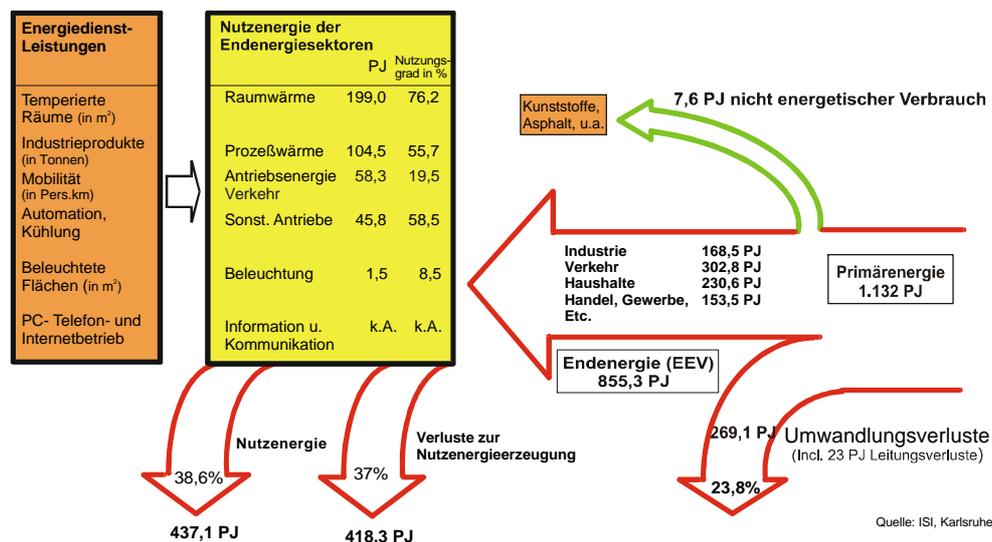


Abbildung 1.1-1: Energiefluss von der Primärenergie bis zur Energiedienstleistung in der Schweiz, 2000

Über die *technische und Kostenbasis dieser Grenzkosten* gibt es in der Schweiz nur ältere aufbereitete Informationen; sie sind für den Neubau und die Erneuerung des Gebäudebestandes nur bedingt repräsentativ und ausserdem mit Unsicherheiten behaftet. Hinzu

kommt, dass auf diesem Gebiet der Wärmeschutzinvestitionen in den 1990er Jahren technisch und kostenseitig erhebliche Verbesserungen erzielt wurden, die in den meist älteren Daten zu Kosten und Technik zu einer Unterschätzung der heutigen (oder in den vergangenen Jahren abschätzbaren) Wirtschaftlichkeit derartiger Massnahmen führen. Sehr wenige OECD-Länder haben eine aktuelle, empirisch einigermaßen abgesicherte Informationsbasis, die zwischen verschiedenen Investitionsmassnahmen zum Wärmeschutz und Gebäudetypen, zwischen Neubau und Erneuerung im Gebäudebestand unterscheidet (z. B. die IKARUS-Datenbank für Deutschland in Rouvel u. a. 1999). Meist liegen derartige Informationen in dieser detaillierten und aktuellen Form für Wohngebäude nicht vor, weil die Typisierung des sehr variantenreichen Gebäudebestandes durch empirische Erhebungen sehr aufwändig ist.

Energieeffizienztechniken an Gebäudehülle und der Heiztechnik greifen heute häufig auf neue Technologien zu oder nutzen neue Werkstoffe, Baukonzepte oder Bearbeitungsverfahren. Diese neuen oder modifizierten technischen Optionen beinhalten zum Teil erhebliche *Lernpotenziale* oder *Potenziale der Serienfertigung*, die in Zukunft die Kosten dieser neuen Techniken und Baukonzepte reduzieren könnten. Die Grenzkosten weiterer Energieeffizienzfortschritte in Wohngebäuden unterliegen damit in Zukunft einer absehbaren Kostendegression, die in diesem zentralen energiewirtschaftlichen Bereich der Raumwärme weitgehend unerforscht ist. Kostendynamik neuer Energietechnologien wird in heutigen energiewirtschaftlichen Analysen und Modellen nur rudimentär für Energiewandler durch Annahmen berücksichtigt (Hieber 1992, Messner 1997) und wurde bisher nicht für den Nutzenergiebereich der Gebäude angewandt.

Obwohl Investitionen zum Wärmeschutz an Gebäuden Nutzungszeiten von 30 bis mehr als 50 Jahren haben, wird in der Regel die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit heutigen Energie- bzw. Wärmepreisen durchgeführt. Allerdings sprechen zwei Gründe dafür, dass man nicht mit heutigen, sondern mit *höheren Wärme- bzw. Energiepreisen* als durchschnittliche Preise einer so langen Nutzungsperiode rechnen müsste: das Produktionsmaximum der globalen Erdölförderung in den nächsten 20 bis 30 Jahren und der Handel mit Emissionsrechten für Treibhausgase im Rahmen einer zunehmenden internationalen Klimapolitik. Obwohl sich diese Einflüsse gegenseitig teilweise kompensieren könnten, erscheint die Frage einer angemessenen Bewertung der vermiedenen Energieverbräuche über eine so lange Nutzungsperiode von Bedeutung.

Schliesslich haben zusätzliche Energieeffizienzinvestitionen an Wohngebäuden häufig nicht nur einen energetischen Nutzen, sondern auch andere *begleitende Nutzen (Co-Benefits)*, die für die Akzeptanz der Investitionsmassnahmen eine wichtige Rolle spielen können (z. B. höherer Wohn- und Bedienungskomfort, Lärmschutz, zusätzliche Sicherheit, geringere Häufigkeit der Erkrankung der Atmungsorgane, verbesserte Vermietbarkeit und dadurch abgeleitet eine bessere Bonität des Gebäudebesitzers). Diese begleitenden Nutzen werden in vielen Fällen von Wärmeschutzinvestitionen weder angesprochen noch quantifiziert. In wenigen Fällen liegen monetarisierte Werte dieser Co-Benefits vor, um eine gesamtheitliche Bewertung bei energiewirtschaftlichen Analysen und im Immobilienmarkt zu ermöglichen (IPCC 2001). Aber gerade hier liegen sowohl für die Wohnungswirtschaft wie auch für die Mieter und Bauherren weitere Aspekte einer angemessenen ökonomischen Bewertung, die zeitlich nicht zu kurz greift und die Multifunktionalität derartiger Investitionen auch berücksichtigt.

1.2 Zielsetzungen des vorliegenden Berichts

Aufgrund der in der Problemstellung genannten Aspekte verfolgt das hiermit abgeschlossene Forschungsprojekt für den Bereich Wohngebäude folgende Ziele:

- Die empirisch abgestützten Kenntnisse zu den Grenzkosten für zusätzliche Wärmeschutz- bzw. Energieeffizienz-Massnahmen (Wärmedämmung, Fenster, Lüftung), die in den

kommenden 10 bis 30 Jahren von erheblicher energiewirtschaftlicher und klimapolitischer Bedeutung sein könnten, sollten gegenüber den bisher für die Schweiz vorliegenden Informationen deutlich verbessert werden.

- Die erforderlichen technischen und Kostendaten für Kosten-Effizienzkurven sollten für den Neubau und Erneuerungen im Gebäudebestand auf möglichst breiter empirischer Basis aktualisiert werden; sie sollten den neuesten Stand technischer verfügbarer Möglichkeiten, der Baukonzeption und -durchführung sowie der Berechnungsverfahren zur Kostenermittlung (einschliesslich der Dynamisierung zukünftiger Kosten) widergeben.
- Die Kosten und (begleitenden) Nutzen sollten – soweit dies das Forschungsbudget zuliesse – so differenziert und transparent dargestellt sein, dass sie einerseits die Vielfalt bestehender Gebäude und möglicher Energieeffizienz-Investitionen und Baukonzepte reflektieren, andererseits bei neuen Erkenntnissen zu Einzelkosten oder Einzelnutzen auf einfache Weise entsprechende Korrekturen bei der ökonomischen Bewertung ermöglichen.
- Auf diese Weise sollte auch erreicht werden, dass neben dem Informationsbedarf energiewirtschaftlicher Analysen die Akteure des Immobilienmarktes, der Gebäudebesitzer, der Bauherren und des Technologieproduzenten, Planer und Installationsbetriebe einen genaueren Einblick in diese Kosten- und Nutzenzusammenhänge erhalten und nach Möglichkeit für eine differenzierte Information ihres jeweiligen Zielpublikums in Zukunft nutzen können.

Schliesslich sollten aus den Ergebnissen Schlussfolgerungen und (soweit möglich) wesentliche Empfehlungen für die verschiedenen Akteursgruppen abgeleitet werden.

1.3 Methodisches Vorgehen im Überblick

Die o.g. Ziele sind so unterschiedlich, dass an dieser Stelle nicht das gesamte methodische Vorgehen dargelegt wird, sondern nur kurz auf die verschiedenen verwendeten methodischen Vorgehensweisen hingewiesen wird. Die methodischen Vorgehensweisen sind im Detail in den jeweiligen Kapiteln beschrieben (insbesondere Kap. 4.1 und Anfangskapitel von 4.3 bis 4.6).

Zur Bestimmung der Grenzkosten von forcierten Energieeffizienz-Massnahmen nach Bauelementen in den verschiedenen Typen von Wohngebäuden und der damit verbundenen Nutzen waren folgende Aspekte zu beachten bzw. zu unterscheiden (vgl. auch Abb.1.3-1):

- Die Investitionen werden gleichzeitig zu einer ohnehin getätigten Erneuerung bzw. beim Neubau gleichzeitig als Baukonzept-Alternative vorgenommen; dies erfordert die Definition eines Referenzfalles für die jeweiligen Bauelemente, Gebäudetypen und Investitionsfälle (Neubau, Erneuerung).
- Insbesondere bei Erneuerungen war eine getrennte Behandlung der Massnahmen an der Gebäudehülle, im Bereich des Luftwechsels und der Heiztechnik erforderlich; sie wurde auch im konventionellen Neubau versucht (bottom-up), aber eine integrierte Betrachtung beim Neubau von Minergie- und Passivhäusern war in den meisten Fällen sachlich geboten.
- Für die Beschreibung der bisherigen Baupraxis, der heutigen Wohngebäudestruktur (mit Einschluss bisher erzielter Wärmeschutzinvestitionen, vgl. Kap. 2 und 3), der heutigen und vergangenen Kostenstruktur sowie hergestellten Güter waren umfangreiche Erhebungen bei Wohnungsbaugesellschaften, Kantonen, Herstellern und Bauökonomern erforderlich. Der Aufwand für diese Erhebungen und Auswertungen wurde bei der Gesuchstellung klar unterschätzt (vgl. Kap. 4.3 bis 4.5);
- Die Erhebung aktueller und früherer Kosten diente auch als Basis zur Schätzung zukünftiger Kosten der einzelnen Energieeffizienz-Investitionen, wobei zwischen neuen

Technologien und Verbesserungsinnovationen bzw. Produktivitätsfortschritten bei der Montage unterschieden wurde (Kosten-Dynamisierung, vgl. Kap.4.5).

- Für die ökonomische Bewertung vermiedener Energie- und Wärmemengen wurden sowohl mögliche Preisentwicklungen fossiler Brennstoffe diskutiert als auch die Kostendefinitionen aus Sicht der Bauwirtschaft, privater Gebäudebesitzer und der Gesamtwirtschaft erläutert. Die Quantifizierung und fallweise Monetarisierung von nicht-energetischen Nutzen wurde methodisch erläutert. Diese Arbeiten waren ebenfalls extrem aufwändig und zum Teil nur ansatzweise durchführbar (vgl. Kap. 4.6).
- Die Aggregation der empirischen Investitionsdaten zu typischen Investitionsbündeln für definierte Gebäudetypen und weiter zu energiewirtschaftlichen Kostenpotentialkurven (unter Berücksichtigung der relativen Häufigkeiten auf gesamtschweizerischer Ebene) erfolgte exemplarisch; sie zeigte aber auch die Bedeutung der Definition einer Referenz-Variante für die einzelnen Investitionsfälle (vgl. Kap. 6).
- Die Ermittlung der Nettonutzen (oder der Nettokosten), auch unter Einbezug von Co-Benefits aus einzelwirtschaftlicher Perspektive und vermiedener externer Kosten aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive (vgl. Kap. 4.7), wurde zur Gewährleistung einer möglichst transparenten und aktorenspezifischen Darstellung separat behandelt, konnte aber in dieser Analyse nur exemplarisch angedeutet werden.

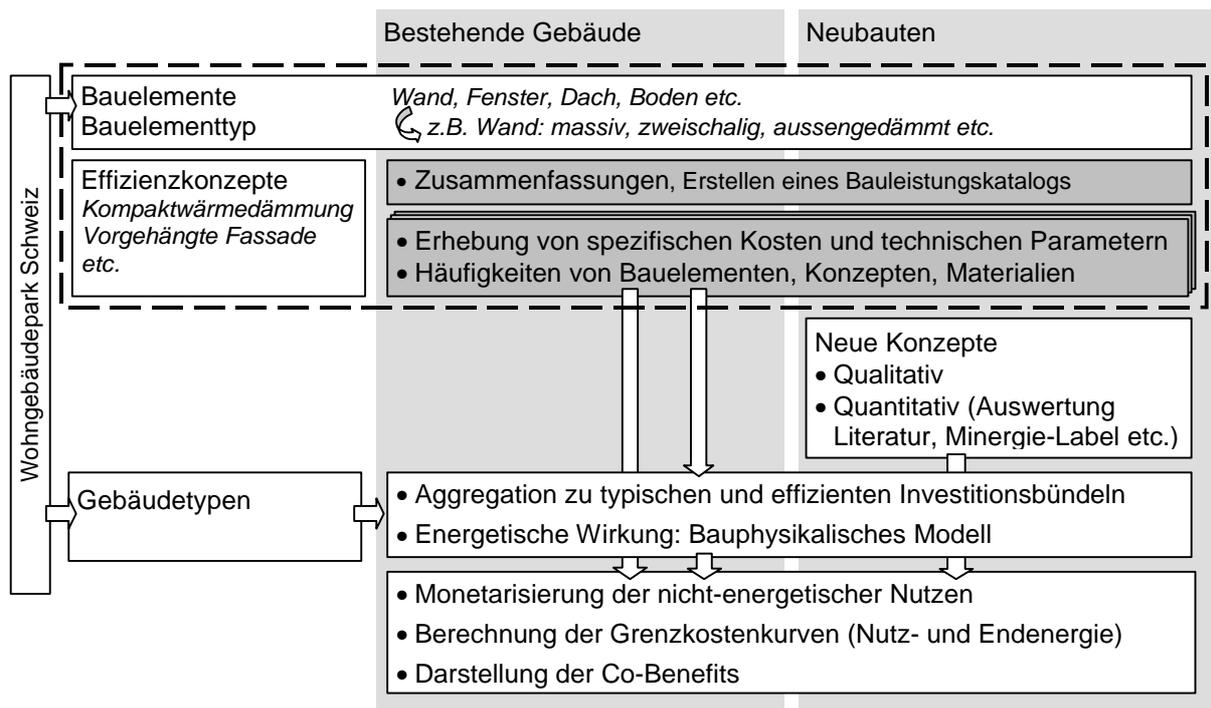


Abbildung 1.3-1: Strukturierung der Analyseinhalte und -teilschritte zur Bestimmung der Grenzkosten zusätzlicher Energieeffizienz-Investitionen in Wohngebäuden

2 Die gebäudewirtschaftliche und –technische Ausgangssituation und die Erneuerungstätigkeit im Gebäudebestand

Die vergangene, heutige und künftige Bauweise bzw. Erneuerungstätigkeit wurde und wird von verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt. Diese Faktoren beeinflussen sowohl die Investitionsentscheide und die damit verbundene Erneuerungshäufigkeit, aber auch in einer Art Rückwirkung die Kosten sowie die energetischen und weiteren Nutzen der Erneuerungsmassnahmen. Eine systematische Kategorisierung der unterschiedlichen betriebswirtschaftlichen Ausgangslagen (Gebäudezustand, Ertragslage und –potential, Finanzierungsaspekte, Besitzer-/Nutzerverhältnis) und eine darauf aufbauende einzelwirtschaftliche und abschliessende Rentabilitätsbetrachtung der Effizienzmassnahmen wäre zu aufwändig gewesen und stand nicht im Fokus des vorliegenden Projekts. Diese noch wenig empirisch erforschten Wechselwirkungen zu kennen wäre jedoch ebenfalls wichtig, um das Verhalten der Investoren und privaten Gebäudeeigentümer zu verstehen, die Erneuerung des Gebäudebestandes zu modellieren oder die Energie-Effizienzpotentiale zu erschliessen.

Das vorliegende Forschungsprojekt verfolgt jedoch auf einen Grenzkostenansatz, der auf die Zusatzkosten und –nutzen von weitergehenden baulichen Energieeffizienzmassnahmen und deren Potentiale abzielt. Basis und Ausgangslage des Grenzkostenansatzes ist der Referenzfall, an dem die Zusatzkosten und –nutzen gemessen werden. Beim Neubau ist dies die Bauweise, bei der Gebäudeerneuerung der Zustand des Gebäudeparks und die Erneuerungstätigkeit. Um eine Grundlage für den Grenzkostenansatz zu erhalten, wird in diesem Kapitel u.a. folgenden Fragen zur gebäudewirtschaftlichen und -technischen Ausgangssituation nachgegangen:

- Wie ist die wärmetechnische Ausgangssituation bei den bestehenden Wohngebäuden?
- Welches sind die wesentlichen Faktoren, welche die Kosten von energetischen Erneuerungen derzeit beeinflussen bzw. in der Vergangenheit beeinflussten?
- Wodurch und wie wird die energetische Wirkung der energetischen Erneuerungsmassnahmen beeinflusst?
- Wie sind die Sanierungsraten des Wohngebäudebestandes im Re-Investitionszyklus der Fassaden und Dächer? Welche typischen Wärmedämmmassnahmen werden in der Gebäudesanierung vorgenommen?
- Welche Hinweise erhält man über den Gesamt-Absatz von Wärmedämmstoffen, Fassadenerneuerungen und Fenstern?

Dieses Kapitel versucht diese Fragen durch Literaturlauswertungen und Befragungen nachzugehen, um eine Ausgangsbasis für die weiteren Analysen zu legen.

2.1 Wohnungswirtschaftliche Ausgangslage und Abgrenzung des Projekts

Die vergangene, heutige und künftige Bauweise bzw. die Instandsetzungs- und Erneuerungstätigkeit wurde und wird von verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt, sowohl auf der Kosten- wie auch auf der Ertragsseite. Diese Faktoren können sich im Zeitablauf verändern, womit eine dynamische Betrachtung der folgenden Faktoren notwendig wird:

- Wohnungswirtschaftliche Rahmenbedingungen (Mietergesetz, Baugesetze etc.)
- Ertragslage und –perspektiven (abhängig von Mikro- und Makrolage, Marktsituation, sozialen Faktoren, Ausstattung, Wohnungsgrösse und –einteilung, Gebäudezustand etc.)
- Besitz- bzw. Mietverhältnisse, Investorkategorie und –ziele (langfristige Anlage oder kurzfristig gewinnorientierte Zielsetzung, Eigenwohnbedarf etc.)
- Gebäudezustand und erwartete Entwicklung desselben.

- Baukosten von Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen, sowie die damit verbundenen Nutzen (Gebäude wird wieder erneuert, Energie- und Unterhaltskosten werden verringert, Wert- und Gebäudesubstanzerfall wird gestoppt)
- Finanzierungskosten (vorhandenes Eigenkapital, Fremdkapitalkosten, Bonität etc.)

Diese Faktoren beeinflussen sowohl die Investitionsentscheide und -strategien und die damit verbundene Erneuerungshäufigkeit, aber auch in einer Art Rückwirkung die Kosten sowie die energetischen und weiteren Nutzen der Erneuerungsmassnahmen. Zudem besteht die Möglichkeit, das Gebäude mittel- oder langfristig auf Abbruch zu bewirtschaften, wenn damit z.B. die Kosten tiefer gehalten werden können, die künftigen Bedürfnisse der BewohnerInnen besser befriedigt werden können oder die Ertragslage gesteigert werden kann (Neubau, evtl. mit grösserer Ausnützungsziffer). Die Antwort zur Frage Abbruch und Neubau versus Sanierung hängt wiederum von vielen Einflussfaktoren ab. Dieser Fragestellung wurde im Projekt „Neubauen statt Sanieren“ nachgegangen (Econcept, 2002a).

Eine systematische Kategorisierung der unterschiedlichen betriebswirtschaftlichen Ausgangslagen und Strategieziele (Gebäudezustand, Ertragslage und -potential, Finanzierungsaspekte, Besitzer-/Nutzerverhältnis, langfristige Erneuerungs- bzw. Abbruchstrategie etc.) und eine darauf aufbauende, einzelwirtschaftliche und abschliessende Rentabilitätsbetrachtung der Energieeffizienzmassnahmen wäre zu aufwändig gewesen und stand nicht im Fokus des vorliegenden Projekts. Diese noch wenig empirisch erforschten Wechselwirkungen zu kennen wäre jedoch ebenfalls wichtig, um das Verhalten der Investoren und privaten Gebäudeeigentümer zu verstehen, die Erneuerung des Gebäudebestandes zu modellieren oder die Energie-Effizienzpotentiale zu erschliessen.

Das vorliegende Forschungsprojekt verfolgt jedoch auf einen Grenzkostenansatz, der auf die Zusatzkosten und -nutzen von weitergehenden baulichen Energieeffizienzmassnahmen und deren Potentiale abzielt. Basis und Ausgangslage des Grenzkostenansatzes ist der Referenzfall, an dem die Zusatzkosten und -nutzen gemessen werden. Beim Neubau hängt dies von der Bauweise, bei der Gebäudeerneuerung vom Zustand des Gebäudeparks und von den Erneuerungstätigkeiten ab.

2.2 Besitzer- und Nutzerverhältnis und andere Hemmnisse der Energieeffizienz in Wohngebäuden

Von verschiedener Seite und seit vielen Jahren wurde auf das Besitzer-Nutzer Dilemma im Zusammenhang mit energetischen Erneuerungen von vermieteten Wohngebäuden hingewiesen (Metron 1998, Econcept 2002a, UNDP/WEC/UNDESA 2000). Das Verhältnis zwischen Besitzer und Nutzer der Gebäude beeinflusst die Investitionsentscheide qualitativ wie folgt:

- Private EFH-Besitzer und -nutzer: Die Kosten und die Nutzen von energieeffizienten Erneuerungen fallen direkt beim Investierenden an, sowohl was die direkten wirtschaftlichen Nutzen wie auch die Co-Benefits betrifft, soweit er sie als Individuum als Nutzen erleben kann.
- Privater MFH-Besitzer: er wohnt selbst im Gebäude; er partizipiert an dem Teilnutzen und an den Co-Benefits und erhält die soziale Anerkennung der Mieter, „dass etwas passiert“.
- Privater MFH-Besitzer (bzw. Wohnungsbaugesellschaften), wohnt nicht selbst im Gebäude: hier ist das Besitzer-Nutzer-Dilemma voll wirksam, weil der Gebäudebesitzer nicht weiss, ob er alle zusätzlichen Kapitalkosten über eine bessere Miete und einen geringeren Leerstand kompensiert bekommt und der Mieter selten nach der Warmmiete seine Wohnungswahl trifft. Dies gilt häufig auch für Kapitalanleger in Immobilien.

Auch die Verwaltungsform beeinflusst möglicherweise Investitionsentscheide. Zu unterscheiden sind:

- Private Eigentümer oder Unternehmen, welche die Gebäude selbst verwalten, erfahren über den unmittelbaren Mieterkontakt Wünsche, Beschwerden und Zufriedenheitsäusserungen.
- Immobilientreuhänder verwalten die Gebäude anderer Besitzer, so dass der unmittelbare Kontakt zwischen Besitzer und Mieter meist unmöglich ist. Erst über eine schlechte Vermietbarkeit und hohe Leerstände kommt es zu Nachfragen seitens der Gebäudebesitzer.

Diese Eigentümer-Nutzer-Konstellationen erklären einen Teil der grossen Vielfalt bei dem heutigen Stand der wärmetechnischen Ausstattung und Eigenschaften von Wohngebäuden.

2.3 Architektonische Gliederung des Gebäudebestandes

Die Architektur der bestehenden Gebäude beeinflusst die Kosten und Nutzen von Wärmeschutzmassnahmen in einem nicht unwesentlichen Mass. Bei der Fassadenwärmedämmung sind die Längen der Fensterleibungen im Verhältnis zur Fassadenfläche kostenbeeinflussend, beim Flachdach das Verhältnis von Dachrandlänge zu Dachfläche. Und der **spezifische, auf die EBF bezogene** Heizwärmebedarf wird nebst den energie-technischen Kennwerten der Gebäudehülle und dem Luftwechsel durch verschiedene Verhältniszahlen bestimmt, welche auch Bestandteil der architektonischen Charakterisierung sind. Die energetische Solargewinn-/Wärmeverlustrisituation im Gebäude. hängt z.B. stark vom Verhältnis der Fensterfläche zur Fläche der opaken Bauteile bzw. zur Energiebezugsfläche ab.

2.3.1 Gebäudeformen, Flächen- und Längenverhältnisse

Die Wirkung einer energetischen Massnahme an der Gebäudehülle ist, absolut gemessen, also z.B. in Litern Öl oder kWh Gas oder Strom pro Jahr, näherungsweise unabhängig von der Energiebezugsfläche. Dies gilt näherungsweise auch für die spezifischen (Grenz-)Kosten. Näher betrachtet ist der **Heizwärmebedarf** in einem Gebäude jedoch von den verschiedenen Faktoren abhängig, die sich gegenseitig beeinflussen. Die wesentlichen Grössen sind die Anteile der Transmissionsverluste, der solaren und übrigen Wärmegewinne sowie der Lüftungsverluste. Und wenn Aussagen über die Wirkung pro Energiebezugsfläche gemacht werden sollen, müssen natürlich die Flächenverhältnisse der einzelnen Bauteile bekannt sein. Die Energiebezugsfläche ist zudem eine Grösse, die am ehesten statistisch erfasst wird bzw. von anderen Grössen (Wohnfläche) abgeleitet werden kann.

Über die gesamtschweizerischen Wand- und Dachflächen der Ein- und Mehrfamilienhäuser liegen Schätzungen von Wüest und Partner vor, differenziert nach den einzelnen Bauperioden (siehe Tabelle 2.3-1). Das Verhältnis Wand zu EBF ist bei den EFH tiefer als bei den MFH, dasselbe gilt für das Verhältnis Dach zu EBF.

Für Betrachtungen, die sich auf die Energiebezugsfläche beziehen, ist die Gebäudehüllenziffer ein entscheidender Faktor, (siehe dazu auch die Ausführungen im Kapitel 4.2). Wie zu erwarten ist die Gebäudehüllenziffer bei den EFH höher als bei den MFH. Das A/EBF bleibt auch über fast alle Bauperioden auf einem ähnlichen Niveau: zwischen 1.8 und 2.4 bei den EFH und zwischen 1.4 und 1.7 bei den MFH (vgl. Tabelle 2.3-2). Erst in der Bauperiode 1961 bis 1975 geht das A/EBF bei den MFH deutlich zurück. Bei den MFH dürften die tiefen A/EBF einerseits vor allem auf die geringen Raumhöhen und die grossen, mehrstöckigen Wohngebäude dieser Bauperiode zurückzuführen sein. Nicht überraschend ist diese vielfach energetisch und bautechnisch suboptimale Gebäudesubstanz auch unter den Gesuchen des Investitionsprogramms Energie 2000 häufig vertreten.

Tabelle 2.3-1 Energiebezugsflächen sowie Wand- und Dachflächen der Wohngebäude in der Schweiz für das Jahr 2000, in Mio. m²

	EFH			MFH		
	EBF	Wand	Dach	EBF	Wand	Dach
Vor 1900	38	17	11	21	30	30
1900-60	52	35	24	65	61	58
1961-75	34	20	19	63	32	38
1976-85	29	17	15	36	16	27
1986-00	44	26	23	51	24	40
Total	197	116	92	236	162	193

Quelle Wüest und Partner 1994, 2000, Prognos 1996, Berechnungen CEPE

Tabelle 2.3-2 Gebäudehüllenziffer (gewichtete Gebäudehüllenfläche / EBF = A/EBF). Angegeben sind Median sowie 1. und 3. Quantil der beobachteten Gebäudehüllenziffern sowie die Anzahl ausgewerteter Fälle in Klammer.

	Bauperiode	Vor 1900	1901-20	1921-45	1946-60	1961-75
EFH	Anzahl Fälle	(119)	(21)	(48)	(47)	(45)
	1. Quantil	1.5	1.9	1.6	1.8	1.8
	Median	1.8	2.3	1.9	2.4	2.2
	3. Quantil	3.0	3.3	2.4	3.1	2.7
MFH	Anzahl Fälle	(77)	(20)	(34)	(21)	(155)
	1. Quantil	1.3	1.4	1.4	1.2	1.0
	Median	1.7	1.6	1.6	1.4	1.1
	3. Quantil	2.2	1.8	2.5	1.7	1.3

Quelle Investitionsprogramm Energie 2002. Basis: Sanierungen ohne Um- oder Anbau, Abgeschlossene Projekte. Auswertungen CEPE

Die Flächenverhältnisse Fassade zu EBF sind Tabelle 2.3-3 aufgeführt. Ein tieferes Wand/EBF-Verhältnis bei den MFH der Bauperiode 1960-75 ist auch bei den gesamtschweizerischen Flächenangaben festzustellen (siehe Tabelle 2.3-1). Im Gegensatz zu den gesamtschweizerischen Werten weisen bei den Gesuchten die MFH eher tiefere Werte auf als die EFH.

Tabelle 2.3-3 Verhältnis der Fassadenaussenfläche zur EBF. (Median sowie 1. und 3. Quantil) sowie die Anzahl ausgewerteter Fälle in Klammer

	Bauperiode	Vor 1900	1901-20	1921-45	1946-60	1961-75
EFH	Anzahl Fälle	(144)	(29)	(66)	(81)	(114)
	1. Quantil	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8
	Median	0.9	1.1	1.0	1.2	1.0
	3. Quantil	1.2	1.4	1.3	1.6	1.2
MFH	Anzahl Fälle	(86)	(30)	(39)	(129)	(366)
	1. Quantil	0.6	0.6	0.8	0.7	0.5
	Median	0.7	0.7	1.0	0.8	0.6
	3. Quantil	0.9	1.0	1.1	0.9	0.8

Quelle Investitionsprogramm Energie 2000. Basis: Sanierungen, abgeschlossene Projekte, Auswertungen CEPE

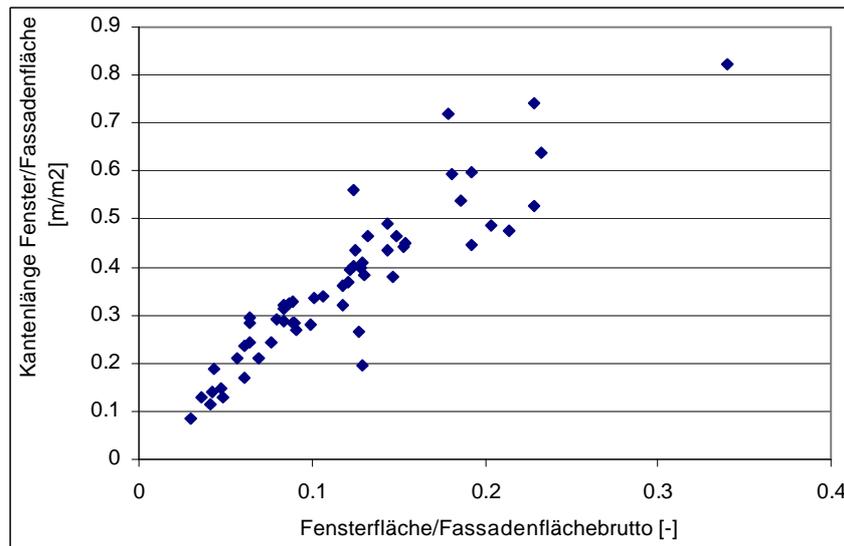
Des weiteren ergibt die Auswertung des Investitionsprogramms Energie 2000 relativ konstante Fensterflächenanteile für alle Bauperioden bis Mitte der 1970er Jahre. Nur bei den EFH sind in der Bauperiode 1976 bis 1985 erhöhte Anteile festzustellen (für die Bauperiode nach 1985 standen nicht genügend Fälle für eine Auswertung zur Verfügung). Wegen der unterschiedlichen vorhandenen Möglichkeit solarer Einstrahlungsgewinne wäre die Kenntnis der Fensterflächenanteile für die verschiedenen Orientierungen ebenfalls hilfreich. Für diese Anteile konnten keine quantitativen empirischen Grössen gefunden werden. Es ist davon auszugehen, dass die Fenster gegen Norden tendenziell etwas kleiner geplant wurden bzw. dass weniger Fenster eingesetzt wurden, die Fensterflächenanteile dort also leicht tiefer liegen. Wir gehen davon aus, dass die Verbreitung grossflächiger Fenster oder hohen Fensterflächenanteilen gegen Süden und evtl. gegen Ost und West vor allem ab den 1980er Jahren ihren Anfang nahm, gleichzeitig mit den empirisch beobachteten höheren Gesamtanteilen (siehe Tabelle 2.3-4).

Tabelle 2.3-4 Verhältnis der Fensterfläche zur Fassadenaussenfläche (brutto, i.e. $A_{Fe}/(A_{Fe}+A_{Fa})$). Angegeben sind Median sowie 1. und 3. Quantil der beobachteten Verhältnisse sowie die Anzahl ausgewerteter Fälle in Klammer.

	Bauperiode	Vor 1900	1901-20	1921-45	1946-60	1961-75	1976-85
EFH	Anzahl Fälle	(298)	(56)	(132)	(134)	(196)	(30)
	1. Quantil	0.10	0.11	0.11	0.10	0.12	0.16
	Median	0.13	0.14	0.14	0.13	0.16	0.28
	3. Quantil	0.18	0.18	0.19	0.19	0.21	0.54
MFH	Anzahl Fälle	(183)	(50)	(85)	(223)	(647)	(22)
	1. Quantil	0.11	0.11	0.12	0.13	0.16	0.16
	Median	0.14	0.14	0.15	0.16	0.20	0.19
	3. Quantil	0.21	0.21	0.19	0.20	0.25	0.25

Quelle Investitionsprogramm Energie 2000, Auswertungen CEPE

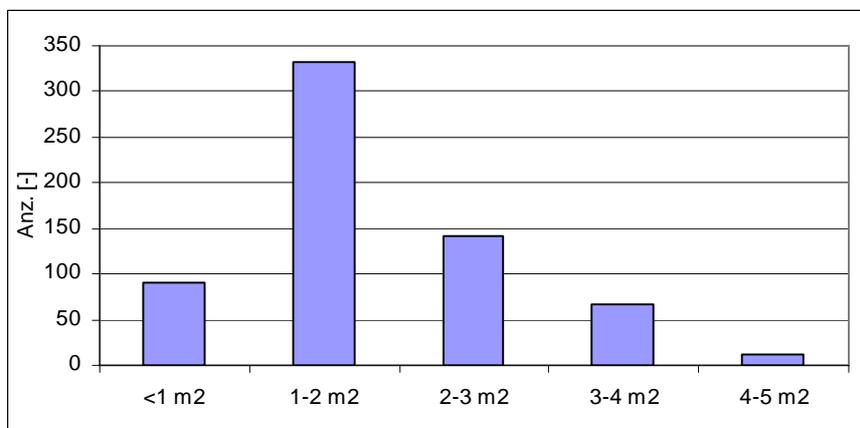
Die Kosten von Fassadenwärmedämmungen sowie deren energetische Wirkung hängen von den architektonischen Formen, den Längen der Anschlüsse, insbesondere der Fenster ab. Auch die energetische Wirkung der Wärmedämmungen wird durch die Anteile der Längen pro m² Fassadenfläche beeinflusst, weil hier Möglichkeiten von Ventilationsverlusten und Wärmebrücken infolge der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten der Bauelemente gegeben sind (vgl. Kapitel 4.2.3). Aus Abbildung 2.3-1 geht hervor, dass die Kantenlänge der Fenster relativ gut anhand der Fensterfläche abgeschätzt werden kann.



Quelle Lärmschutzprogramm Kt. ZH, 3 Gemeinden, 57 Gebäude aus allen Bauperioden, Auswertung CEPE

Abbildung 2.3-1 Spezifische Fensterkantenlänge pro Fassadenfläche in Funktion des Verhältnisses Fensterfläche/Fassadenfläche (brutto) im Gebäudebestand.

Die spezifischen Kosten von Fenstern hängen stark von der Fenstergrösse (i.e. der Fensterfläche) ab. Empirische Analysen im Gebäudebestand kommen zu dem Ergebnis, dass gut 50 % der Fenster zwischen 1 und 2 m² und ein knappes Viertel der Fenster zwischen 2 und 3 m² gross sind (vgl. Abbildung 2.3-2). Die Fläche eines sogenannten Standardfensters beträgt 1.7 m².



Quelle Lärmschutzprogramm Kt. ZH, 3 Gemeinden, 57 Gebäude aus allen Bauperioden, Auswertung CEPE

Abbildung 2.3-2 Verteilung der Fenstergrössen im Gebäudebestand

Weitere Auswertungen betreffen die Verhältnisse Dach zu Fassade sowie Dach zu Kellerdecke. Der Median des Dach/Wand-Verhältnisses der MFH liegt bei während der ganzen Bauperiode 1990 bis 1975 zwischen 0.5 und 0.6 und bei 0.8 bei den Gebäuden vor 1900. Die Quantile liegen jeweils 0.2 darüber bzw. darunter. Zwischen dem ersten und dem dritten Quantil ergibt sich also eine Variation um ca. den Faktor zwei.

2.3.2 Ästhetische und denkmalpflegerische Aspekte

Wärmeschutzmassnahmen an der Gebäudehülle können auch die Architektur und die Erscheinungsform der Gebäude beeinflussen. Dies kann einerseits energetische Erneuerungen behindern oder einschränken, andererseits aber bietet sich auch eine Chance, die Gebäude in einen neuen architektonischen Kontext zu stellen. Zudem können die Aussenräume, namentlich neu gestaltet (indem Balkone abgetrennt und durch solche mit grösserer Nutzfläche ersetzt werden) oder gar neu geschaffen werden,

Die Architektur und Erscheinungsform der Gebäude der 1960er und 1970er Jahre, vor allem auch der typischen vielstöckigen MFH, kann durch Aussenwärmmedämmungen oft auch verbessert werden, wie eine Reise des Autors mit dem Zweck zur stichprobenartigen architektonischen Charakterisierung durch die Schweiz gezeigt hat.

Die Architekten und Unternehmen haben in den letzten Jahren eine grosse Palette von konstruktiven Lösungen und Produkten entwickelt, um nebst den wärmetechnischen auch den ästhetischen Ansprüchen zu genügen.

- Gegen markante Dämmstärken wird oft das Argument der dadurch entstehenden markanten Fenstertiefen ins Feld geführt. Gerade aber bei markanten Dämmstärken lässt sich das Fenster jedoch nach vorne versetzen, in die Ebene der vormaligen Aussenwandoberfläche (dies ist natürlich nur möglich, wenn Fenster und Fassade im gleichen Bauvorhaben erneuert werden). Dies hat zudem den Vorteil, dass die linearen Wärmeverluste der Fensterleibungen stark reduziert werden.
- Sind bei Gebäuden Natur- oder Kunststeingesimse und/oder –gewände vorhanden, lassen sich diese nach aussen ergänzen, indem ähnliche Materialien „aufgedoppelt“ werden. Ein solches Gewände oder Gesimse kann dann gleichzeitig als Schutz für die an der Fassade angrenzende Wärmedämmung dienen. Der Markt bietet zudem sind solche Produkte mit tiefer Wärmeleitfähigkeit an.
- Auch der Übergang der Fassade zum Dach kann so gestaltet werden, dass das Vordach immer noch als schlank erscheint. Auch hier ist eine gleichzeitige Ausführung oder mindestens eine Planung, d.h. eine Vorbereitung für das nachfolgende Erneuerungsprojekt von Vorteil.

Auch die Einschränkung infolge denkmalpflegerischen Bestimmungen darf nicht überschätzt werden. Diese sind von Kanton zu Kanton verschieden und eine vergleichbare gesamtschweizerische Statistik ist nicht vorhanden. Der Anteil der geschützten Bauten wird auf ca. 5% geschätzt (Denkmalpflege, 2002), wobei einzelne höhere (bis 10%) und andere Kantone tiefere Anteile (2%) aufweisen. Ausserdem kann der Anteil geographisch variieren, etwa wenn ganze Strassenzüge oder Quartiere unter Schutz gestellt sind. Bei den meisten Gebäude bzw. Bauteilen lassen sich jedoch Lösungen finden, um den Wärmeschutz stark zu verbessern. Beim Fenster kann z.B. eine Doppel-Wärmeschutzverglasung angebracht werden. Wände gegen aussen können z.B. kombiniert innen und aussen gedämmt werden; selbst relativ geringe Dämmstärken weisen eine relativ grosse Wirkung auf; denn die ersten paar Zentimeter haben bekanntlich die grösste Wirkung. Oft sind auch nicht alle Orientierungen unter Schutz gestellt, sondern nur diejenige gegen die Strasse. Und im Dachbereich lassen sich ohnehin Lösungen finden, sei es mittels Estrichbodendämmung oder Zwischen- und Unter-

sparrendämmungen (wichtig ist natürlich jeweils die fachgerechte Ausführung) oder mittels Ersatz des gesamten Dachaufbaus. Im Rahmen eines Erneuerungsvorhabens, das als Pilot- und Demonstrationsprojekt geführt wurde, ist es denn auch gelungen, den Energiebedarf eines denkmalgeschützten Gebäudes (Viriden, 2001) beinahe bis auf den Passivhausstandard zu reduzieren.

2.4 Gliederung des Gebäudebestandes nach wärmetechnischen Gesichtspunkten sowie die Bauweise in Abhängigkeit der Bauperioden

Die bestehende Gebäudesubstanz beeinflusst die energetischen Nutzen der Erneuerungsmassnahmen, was mittels gebäudephysikalischer Energiebedarfsmodelle hinreichend demonstriert werden kann. Dieses gebäudestatistisch orientierte Kapitel dient dazu, eine Übersicht über den Schweizerischen Gebäudebestand nach wärmetechnischen Gesichtspunkten für die verschiedenen Gebäudeelemente und Bauperioden zu geben.

a) Wärmedämmungen

Wärmedämmungen nach dem heutigen Verständnis mit modernen Dämmmaterialien wurden punktuell etwa ab Mitte der 1960er Jahre, in verstärktem Masse ab Mitte der 1970er angewendet. Seit diesem Zeitpunkt wurde die Dämmstärke bei den verschiedenen Bauteilen sukzessive gesteigert (vgl. Tabelle 2.4-1). Dabei fällt auf, dass ab der Periode 1971-75 die Dämmstärken wegen der ersten Ölpreiskrise (1973) und der zweiten Ölpreiskrise (1979/80) deutlich schneller anstiegen und ein weiterer Anstieg auch nach 1986 beibehalten werden konnte, obwohl die Heizenergiepreise seitdem rückläufig waren und Ende der 1990er Jahre wieder das Niveau der frühen 1970er Jahre erreichten. Diese Entwicklung deutet bereits auf einen grossen technischen Fortschritt bei der Wärmedämmtechnik hin.

Zu vermerken ist hierbei, dass die Preise nicht nur einen direkten Effekt auf das Investitionsverhalten (z.B. die Wahl der Dämmstärken) hat, sondern dass auch die Verbände und Verwaltungen aktiv wurden und den Wärmeschutz in die gesetzlichen Bestimmungen aufgenommen bzw. zum Stand der Technik erhoben hatten.

Tabelle 2.4-1 Vergangene Entwicklung der Dämmstärke für die verschiedenen Bauteile, in mm

	< 1960	1961-1965	1966-1970	1971-1975	1980	1985	1990	1993	1995	1997	2000
Schrägdach			50	75	90	100*	105	117	129	129	135
Kompaktfassade					60-80	75	84		91	96	108
Flachdach	30	40	50	60-80	80-100		110		120		140
Kellerdecke				20	30		40				

*Systemwechsel: Platte statt Rolle. Zusammen mit Dampfbremse qualitativ besser als frühere Aluflexrolle

Quelle: Führender Dämmstoff-Hersteller

Erfahrungsgemäss werden bei Neubauten die Dämmstärken zu etwa 10% dicker gewählt und bei Erneuerungen um etwa 10% dünner als der Durchschnitt der Wärmedämminvestitionen. Eine erste Ausgangslage für die energetische Beschreibung der Gebäudesubstanz aus energiewirtschaftlicher Sicht liefert die sogenannte „Kontrollrechnung zur Sanierungstätigkeit“, die im Auftrag des Kantons ZH erstellt wurde (Wüest und Partner, 1998b).

b) Wandaufbau

Für die verschiedenen Bauperioden sind gesamtschweizerisch der Wandaufbau und der Dachaufbau für beide Grössentypen bekannt. Für drei Zeitperioden und die beiden Gebäudegrössen EFH (Einfamilienhaus) und MFH (Mehrfamilienhaus) wurden über die Flächenangaben jene Gebäudemerkmale herausgearbeitet, die technologisch am häufigsten vorkommen, nachfolgend dargestellt am Beispiel der Wandaufbautypen (vgl. Tabelle 2.4-2).

Tabelle 2.4-2 Wandaufbautypen: Anteile pro Bauperiode (%) sowie gesamtschweizerische Wandflächen pro Bauperiode von Wohngebäuden (Mio m²)

	EFH			MFH		
	bis 1960	1961-75	1976-95	bis 1960	1961-75	1976-95
1) Monolithische Konstruktionen	83%	11%	10%	85%	12%	10%
2) Zweischalige Konstruktionen	5%	30%	44%	2%	22%	27%
3) Massive Konstruktionen	4%	6%	6%	4%	2%	5%
4) (geringe) Aussendämmung	0%	45%	30%	0%	64%	55%
5) Skelettbau	8%	8%	10%	8%	0%	3%
Alle Konstruktionsarten (Mio m ²)	52	20	35	91	32	32

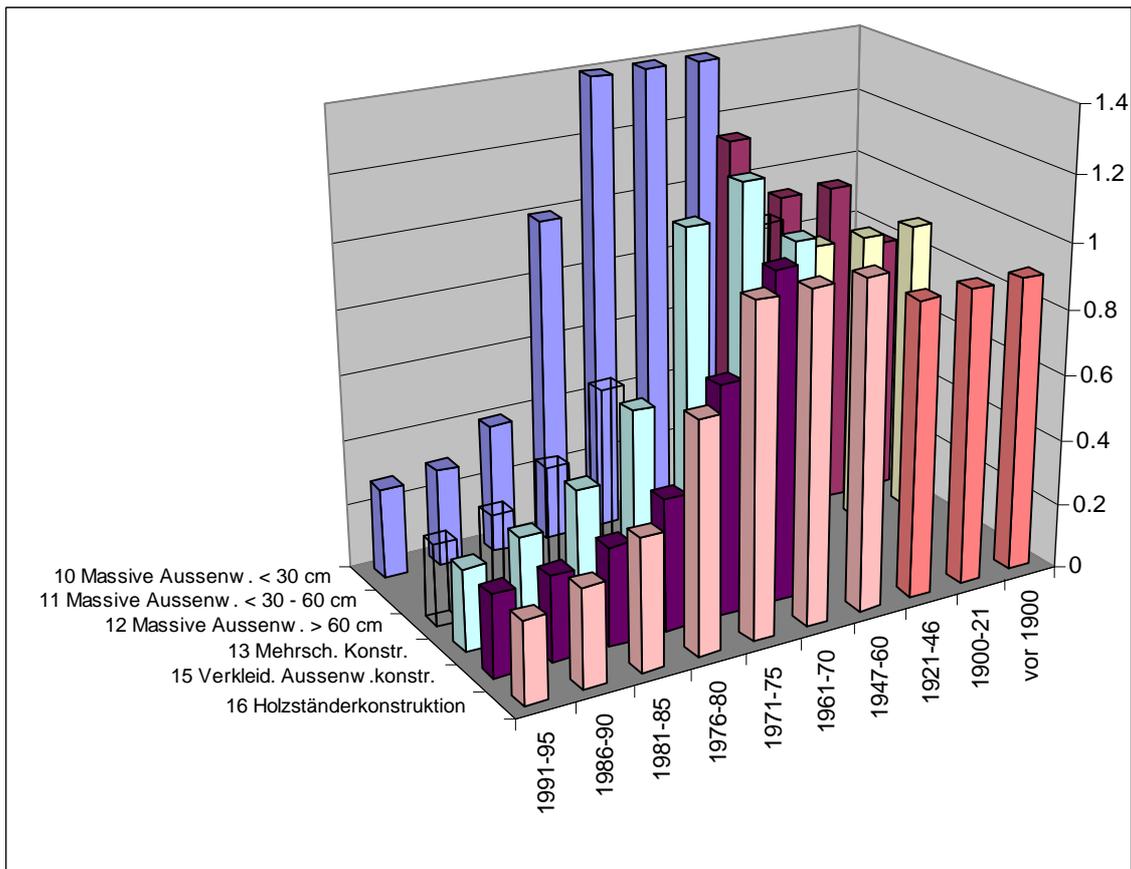
Quelle Wüest und Partner, 1998a

Folgende Feststellungen lassen sich machen:

- In der Periode vor 1960 ist die monolithische Konstruktion (EFH und MFH) mit 83% bzw. 85% sehr dominant.
- In der Periode 1960 bis 1975 ist die relativ dünnwandige (<30 cm) Massivkonstruktion mit geringer Aussenwärmedämmung die häufigste Konstruktionsart (knapp die Hälfte bei den EFH und rund zwei Drittel bei den MFH), gefolgt von der zweischaligen Konstruktion (rund 30% bei den EFH bzw. 20%). Bei den EFH kann die Skelettbauweise zudem energetisch und kostenmässig wie in der Periode vor 1960 behandelt werden.
- In der Periode 1976-1995 gewinnen die zweischaligen Konstruktionen zulasten der Aussenwärmedämmung an Bedeutung; die Summe der beiden macht aber immer noch drei Viertel (EFH) bzw. über 80% (MFH) aus.
- Im Dachbereich wurden nur die zwei Arten des Ziegelsteildachs und des Flachdachs analysiert.

Mit den jeweils zwei häufigsten Wandaufbautypen lassen sich also durchschnittlich rund 80% der bestehenden Gebäude erfassen, was für die Überlegungen in Kap. 6 ein wichtiges Ergebnis ist.

In der „Kontrollrechnung Sanierungstätigkeit“ (Wüest und Partner, 1998b) werden folgende U-Werte für die verschiedenen Wandaufbautypen und Bauperioden angegeben (vgl. Abbildung 2.4-1). Während die U-Werte aller Gebäudetypen bis 1970 über 0.9 W/m²K liegen, sinken sie sämtlich bis zur Periode 1991-95 unter den Wert 0.3 W/m²K für die neugebauten Wohngebäude.



Quelle Wüest und Partner 1998b

Abbildung 2.4-1 U-Werte (W/m^2K) für verschiedene Wandaufbautypen und Bauperioden.

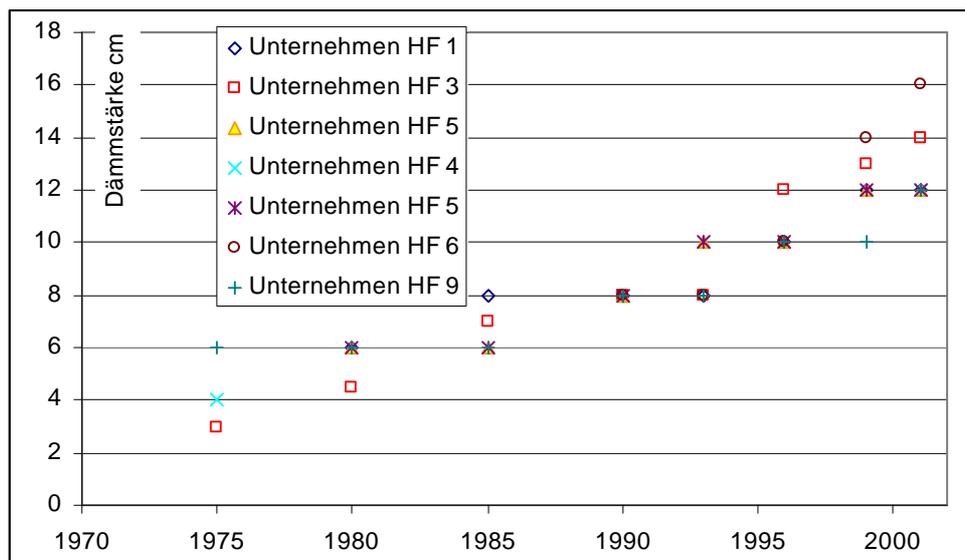
Für das vorliegende Projekt wurden die U-Werte denjenigen Wandaufbautypen, für welche gesamtschweizerische Werte vorliegen, zugeordnet und zur Vermeidung zu vieler Perioden etwas zusammengefasst (siehe Tabelle 2.4-3).

Tabelle 2.4-3 U-Werte (W/m^2K) für die verschiedenen Wandaufbautypen und Bauperioden (energetisch nicht erneuert). Nach Wüest und Partner 1998a und 1998b.

	vor 1960	1961-75	1975-95
1) Monolithische Konstruktionen	1.0	1.4	0.5
2) Zweischalige Konstruktionen	1.0	1.2	0.4
3) Massive Konstruktionen	1.0	1.4	0.5
4) Aussendämmung	-	1.2	0.4
5) Skelettbau	0.9	1.0	0.4

Quelle Wüest und Partner, 1998a und 1998b

Diese Werte lassen sich aufgrund der Angaben der befragten Fassadenunternehmen plausibilisieren.



Quelle CEPE-Umfrage bei SFHF- und anderen Unternehmen

Abbildung 2.4-2 Vergangene zeitliche Entwicklung der Dämmstärken bei hinterlüfteten Fassaden an Neubauten.

Eine ähnliche Entwicklung ergab sich bei einer Erhebung des CEPE für die Erneuerung von hinterlüfteten Fassaden und Kompaktfassaden an bestehenden Wohngebäuden (vgl. Abbildung 2.4-2). So nahm die durchschnittliche Dämmstärke von 4 bis 6 cm Mitte der 1970er Jahre auf 12 bis 14 cm Anfang dieses Jahrzehnts zu. Besonders bemerkenswert ist dabei der Anstieg der Dämmstärke seit 1986, seitdem die Heizenergiepreise real sich mehr als halbierten.

c) Dachaufbau

Analog wird der Dachaufbau betrachtet. Interessant sind hier insbesondere auch nachträglich ergriffene Wärmedämmmaßnahmen, da die Dachbodendämmung relativ einfach zu realisieren ist, weil der kalte Teil direkt begehbar ist. Dachausbauten zu Wohnungszwecken führten ebenfalls zwingend zu Dämmungen, in diesem Fall an der Dachhaut entweder von innen oder von aussen (vgl. Tabelle 2.4-4). In diesen Gebäuden ist auch die Innendämmung der Wände zu berücksichtigen, so weit das aus bauphysikalischen Gründen möglich ist

Tabelle 2.4-4 U-Werte (W/m^2K) für die verschiedenen Dachaufbautypen und Bauperioden (energetisch nicht erneuert). Nach Wüest und Partner 1998a und 1998b.

Bauperiode	vor 1960	1961-75	1975-95
Schrägdach	0.7 - 1.0	0.85	0.25 - 0.6
Flachdach	unbedeutend	1.0	0.22 - 0.5

Quelle Wüest und Partner 1998a und 1998b.

Wie weit die verschiedenen Konstruktionsarten im Dachbereich spezifisch unterschiedliche Wärmedämmtechniken und/oder -kosten erfordern bzw. verursachen, wurde in einem nächsten Schritt geklärt. Je nach möglichem Arbeitsaufwand und Differenzierungsbedarf können die vorhandenen Daten durch Typenbildung wieder mehr zusammengefasst werden.

d) Fenster

Bezüglich der Akzeptanz zusätzlicher Kosten des Fensterersatzes spielt das bestehende Fenster bei Investitionsentscheidungen meist nur eine geringe Rolle. Die Charakterisierung der Fenster ist jedoch hinsichtlich der energetischen Wirkung der Erneuerungsmassnahmen und der Referenzerneuerung in energiewirtschaftlichen Analysen wichtig.

Von Bauperiode zu Bauperiode gab es periodenabhängige Verbesserungen der U-Werte durch verbesserte Beschichtung der Scheiben, Zwei- und Dreifachverglasung und Verbesserung der Rahmen, so dass der U-Wert binnen 30 Jahren mehr als halbiert wurde (vgl. Tabelle 2.4-5). Bei den Gebäuden mit Baujahr vor 1960 ist davon auszugehen, dass der grösste Teil der Fenster nachträglich durch mindestens doppelverglaste Fenster mit einem entsprechenden U-Wert ausgetauscht wurde, siehe Abbildung 2.5-8 und Abbildung 2.5-7 im Kapitel 2.5.3.

Tabelle 2.4-5 U-Werte (W/m^2K) für die verschiedenen Fenstertypen und Bauperioden (energetisch nicht erneuert).

Bauperiode		U-Wert Glas		U-Wert Fenster	
		Standard	Verbessert	Standard	Verbessert
Bis 1960	Einfachverglasung	3.7 – 6			
1961-75	Doppelverglasung, ab 1970 IV	2.8 - 3.3			
1976-85	Doppelverglasung bis IV Verglasung (3-Fachverglasung)	2.7	1.7	2.0 – 2.5	1.6
1986-90	IV Verglasung bis Wärmeschutzverglasung	1.3 - 1.8		1.4 - 1.7	
1990-93	Wärmeschutzverglasung, Zweifach und Dreifach	1.1	0.7	1.3 – 1.5	1.2
1993-2002		1.0 – 1.1	0.5	1.3 – 1.5	1.0

Quellen Wüest und Partner 1998a und 1998b, Fensterunternehmen (Glas-U-Werte, Rahmenmaterialien und U-Werte), Erhebung und Auswertung CEPE

e) Keller

Schliesslich muss noch die Frage der Kellerdecken bzw. der Kellerwanddämmung geklärt werden. Wegen der einfachen Zugänglichkeit geniesst die Kellerdeckenwärmedämmung eine relativ hohe Akzeptanz. Allerdings ist anzunehmen, dass die Dämmstärken generell tiefer sind als bei nachträglichen Dach- und Wanddämmungen.

Tabelle 2.4-6 U-Werte (W/m^2K) für Kellerböden oder Kellerwand gegen aussen (Annahmen).

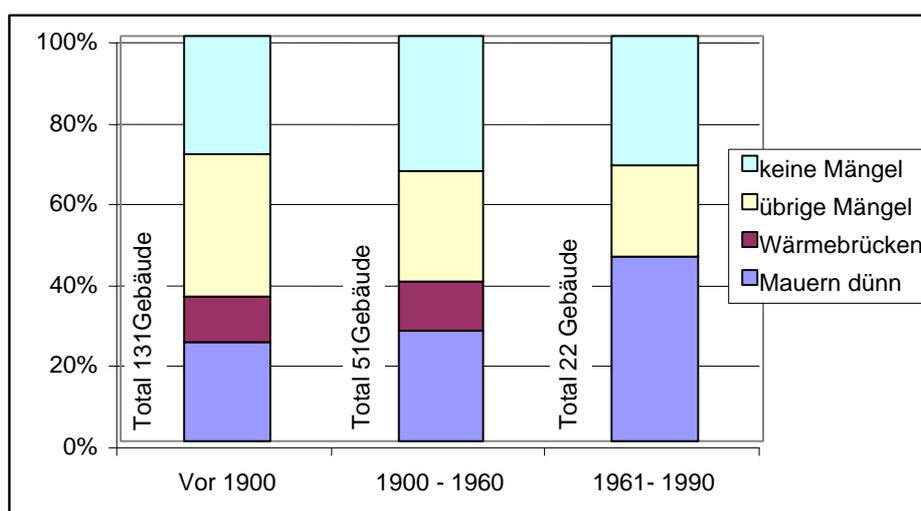
Bauperiode	vor 1960	1961-75	1975-95
Nicht erneuert	1.0	0.9	0.6
Erneuert	0.6	0.6	0.4

Quelle Annahmen CEPE

f) Wärmebrücken und andere bauphysikalische Schwachstellen

Es gibt einige Einzelanalysen zum Gebäudebestand, die bauphysikalische und wärmetechnische Mängelberichte ermöglichen (z.B. die Auswertung des Lärmschutzprogramms des

Kantons ZH). Hierbei wurden in etwa zwei Drittel der Fälle bauphysikalische Mängel (zu dünne Mauern, Wärmebrücken und sonstige Mängel, z.B. an Rolladenkästen) gefunden, die eine alleinige Sanierung von Fenstern (hier zum Lärmschutz) nicht als wünschenswert und kosteneffizient erscheinen lassen (vgl. Abbildung 2.4-3). Vielmehr sollten Fenster bei Vorhandensein derartiger Mängel nur bei gleichzeitiger Behebung erneuert werden. Bei rund zwei Drittel der Gebäude sollten also mit dem Fensterwechsel entweder gleichzeitig eine Aussenwärmedämmung angebracht oder die Rolladenkästen erneuert werden.



Quelle Lärmschutzprogramm Kt. ZH, 3 Gemeinden, 57 Gebäude aus allen Bauperioden, Auswertung CEPE

Abbildung 2.4-3 Verteilung bauphysikalischer und wärmetechnischer Mängel bei der Analyse von Wohngebäuden nach Baujahr

Weitere grobe Abschätzungen zu den typischen Wärmebrücken im Gebäudebestand sind im Wärmebrückenkatalog 3 des SIA zu finden (SIA, 1993). Weitergehende empirisch abgestützte Daten zu Art und Häufigkeit der Wärmebrücken sind leider nicht vorhanden und bei der Berechnung der Grenzkostenkurven im Gebäudebestand wird zum Teil mit Annahmen gearbeitet werden müssen. Diese stützen sich auf allgemein bekanntes Fachwissen (z.B. die durchgehenden Decken und Betonplatten der 1970er Jahre) sowie auf Hinweise von Baufachleuten.

Auf weitere Aspekte der Wärmebrücken vor und nach Erneuerungen derselben bzw. der angrenzenden Bauteile wird in den Kapiteln 4.2 eingegangen.

2.5 Die vergangene und heutige Erneuerungstätigkeit unter energiewirtschaftlichem und energietechnischem Blickwinkel

Die folgenden Überlegungen und Grundlagen dienen der Festlegung der Referenz-Erneuerungsweise (energetische Ausgangslage, Dämmstärke etc), der Berechnung der Kosten pro Gebäudetyp anhand der spezifischen Kosten sowie der Gewichtung derselben (Mengengerüst).

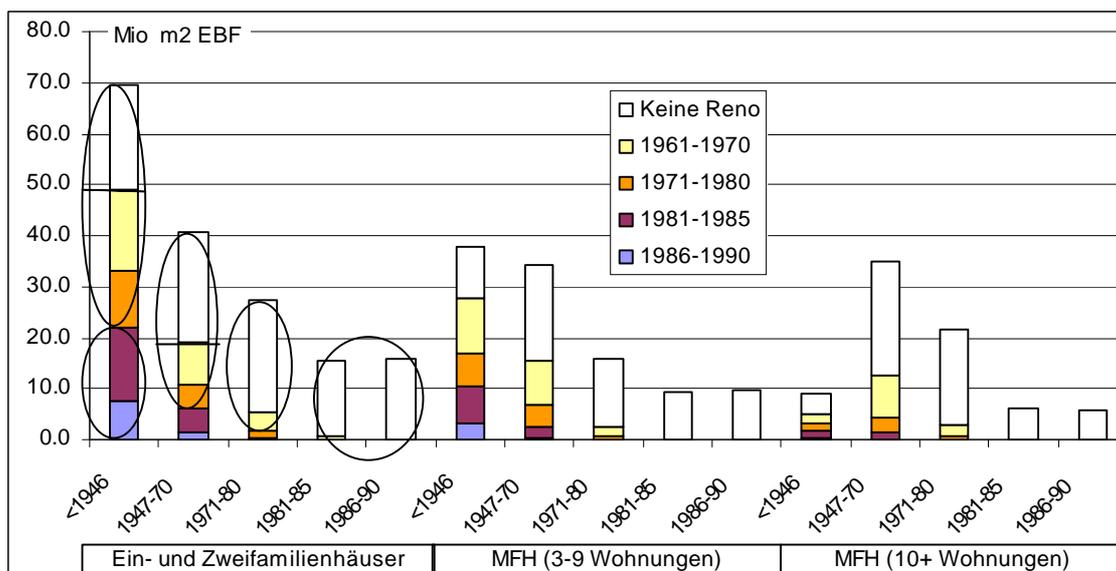
2.5.1 Datenlage, Ausgangslage und Überblick

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die in der Schweiz verfügbaren empirischen Grundlagen über die vergangenen und heutigen Erneuerungen gegeben. Es kann vorweg-

genommen werden, dass wenige davon einen expliziten Bezug zu energetischen Belangen enthalten.

Zunächst werden die Erneuerungsanteile gemäss der vom Bundesamt für Statistik (BFS) alle zehn Jahre durchgeführten vom Gebäude- und Volkszählung in Erinnerung gerufen (vgl. Abbildung 2.5-1). Diese haben einen starken Bezug zum Innern der Gebäude. Die Gebäude- und Wohnungszählung zielt auf grössere (wertvermehrnde) Renovationen ab, ohne jedoch zwischen energetischen (z.B. Aussenwärmedämmung, Fensterersatz) und nicht-energetischen Renovationen (z.B. Küchen- oder Baderneuerung) zu unterscheiden. Zudem wird nicht zwischen Gebäudeinnerem und Gebäudehülle unterschieden. Dasselbe gilt für die jährlichen Erhebungen des BFS bzgl. Bauausgaben bzw. Bauinvestitionen für Umbauten und Renovationen (Bau- und Wohnstatistik). In der Folge werden deshalb ergänzende Überlegungen zu den Erneuerungen der Aussenhülle entwickelt werden müssen.

Die zunächst folgenden Erneuerungs- und Sanierungsüberlegungen haben jedoch durchaus ihre Relevanz für das Grenzkostenprojekt, nämlich für den Bereich der Lüftungsanlagen, deren Einbaumöglichkeiten und Kosten auch von derartigen Erneuerungen im Innern des Gebäudes abhängen.



Quelle BFS, Berechnungen CEPE

Abbildung 2.5-1 EBF in Wohngebäuden nach Bau- und Renovationsperiode gemäss Volks- und Gebäudezählung 1990

Gemäss der Volks- und Gebäudezählung von 1990 werden bei allen Typen von Wohngebäuden mit einem Alter jünger als 20 Jahre praktisch keine Renovierungen oder Erneuerungen durchgeführt (Abbildung 2.5-1) Hingegen waren die Wohnungen mit einem Alter von 20 bis 43 Jahren knapp zur Hälfte renoviert.

Eine weitere Quelle mit Angaben zu vergangenen Erneuerungen stellen die Perspektiven von Wüest und Partner dar (Wüest et al., 1994). Darin wird zwischen sogenannten Voll- und Teilsanierungen unterschieden. Dabei handelt es sich um eine Gebäudemodell mit idealtypischen Sanierungszyklen und Realisierungswahrscheinlichkeiten, wobei Teilsanierungen mit 25 Jahren und Vollsanierungen mit 50 Jahren angenommen wurden. Energetisch wird die Teilsanierungen mit geringer Verbesserung (Küche, Bad, Heizung) und die Vollsanierungen mit

grösserer Verbesserung (Gebäudehülle, Fenster, Haustechnik) charakterisiert. Empirisch abgestützt ist das Modell ebenfalls auf die oben erwähnte Gebäude- und Wohnungszählung sowie auf einen Datensatz der Gebäudeversicherung des Kantons GR. Ein empirischer Bezug auf die Energierrelevanz der Sanierungen bzw. eine Unterscheidung zwischen energetisch relevanten bzw. energetisch nicht relevanten Erneuerungsinvestitionen wird im Modell nicht explizit gemacht. Auch wird zwischen den verschiedenen Bauteilen der Gebäudehülle nicht unterschieden.

Die bisher in den Energieperspektiven verwendete Grundlage für die Beurteilung der künftigen Erneuerungen im Wohngebäudebestand waren die Teil- und Vollerneuerung gemäss Wüest et al. (1994) sein, wobei zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern unterschieden werden kann (vgl. Tabelle 2.5-1). Aufgrund des zu geringen Bezugs zu energetischen Belangen und weil neue empirische Grundlagen vorliegen bzw. erwartet werden können (siehe weitere Ausführungen dazu im Kapitel 2), werden diese Annahmen im vorliegenden Bericht jedoch nicht eins zu eins übernommen, um zu einer Referenzentwicklung für die Schweiz zu kommen. Ausserdem ergibt der idealtypische Ansatz für einzelne Bauperioden unplausible Werte (70% Teilsanierungen innerhalb einer Dekade).

Tabelle 2.5-1 Teil- und Vollsanierraten¹ in Anteilen/Dekade für EFH und MFH für die Periode 1990 bis 2000

		Teilsanierung		Vollsanierung	
		EFH	MFH	EFH	MFH
Gebäude- Erstellungs- periode	bis 1970	0.13	0.10	0.12	0.10
	1971-75	0.33	0.37	-	-
	1976-80	-	0.70	-	-
	1981-85	-	0.34	-	-
	1986-90	-	-	-	-

Quelle Wüest und Partner, 1994

Eine Abschätzung über die bisher durchgeführten energetischen Erneuerungen im Gebäudebestand wurde jedoch im Rahmen einer Kontrollrechnung zur Sanierungstätigkeit im Auftrag des Kantons ZH durchgeführt (Wüest und Partner, 1998b). Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen den bauphysikalischen Kennwerten der Bauteile und den empirisch abgestützten Energiekennzahlen hergestellt. Die relative Bedeutung der erneuerten Bauteile ist in der folgenden Tabelle 2.5-2 zusammengefasst. Die Anteile sind für EFH und MFH unterschiedlich, was im Projekt berücksichtigt wurde. So betreffen die erneuerten Flachdächer fast ausschliesslich MFH. (Bei den Gebäuden mit Baujahr vor 1960 ist anzunehmen, dass ein Teil der Bauteile, insbesondere der Fenster, schon vor 1980 erneuert wurde. Insbesondere ist anzunehmen, dass die überwiegende Mehrheit der Fenster in ganzjährig bewohnten Gebäuden eine Doppelverglasung aufweisen.

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

Tabelle 2.5-2 Durchschnittliche kumulierte Anteile der zwischen 1980 und 1995 erneuerten Bauteile

Bauperiode	Wand	Dach	Fenster
Vor 1960	30%	31%	40%*
1961-75	5%	21%	14%
1976-85	0.5%	1.4%	1.2%
1986-95	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar

Quelle Wüest und Partner, 1998b

Diese Werte lassen sich nun mit den Ergebnissen der Umfrage zum Erneuerungsverhalten erhaltenen Ergebnisse vergleichen, siehe dazu die folgenden Unterkapitel. Denn wegen der oben dargelegten empirischen Lücke hat das CEPE eine empirische Studie angeregt, um mehr über die energie-relevante Erneuerungstätigkeit im Wohngebäudebereich zu erfahren (Jakob et al., 2002). In den folgenden Unterkapiteln zu den Erneuerungen mit Unterscheidung der einzelnen Bauteile und zwischen energetischen und nicht-energetischen Erneuerungen sind erste Auswertungsergebnisse der erwähnten Erhebung eingefügt. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass es sich um vorläufige Ergebnisse handelt und insbesondere die Stichprobenverzerrung noch nicht geprüft wurde. Bis zur definitiven Auswertung könnten sich demzufolge noch Verschiebungen aufgrund von Neugewichtungen ergeben. Genauer wird man nach Vorliegen der Erhebungsergebnisse Ende 2002 sagen können.

2.5.2 Fassadenerneuerungen

Auch auf Bauteilebene sind zwei Aspekte wesentlich, um die Erneuerungstätigkeit zu beschreiben:

- Erneuerungsaktivität (Anteile)
- bautechnische Aspekte.

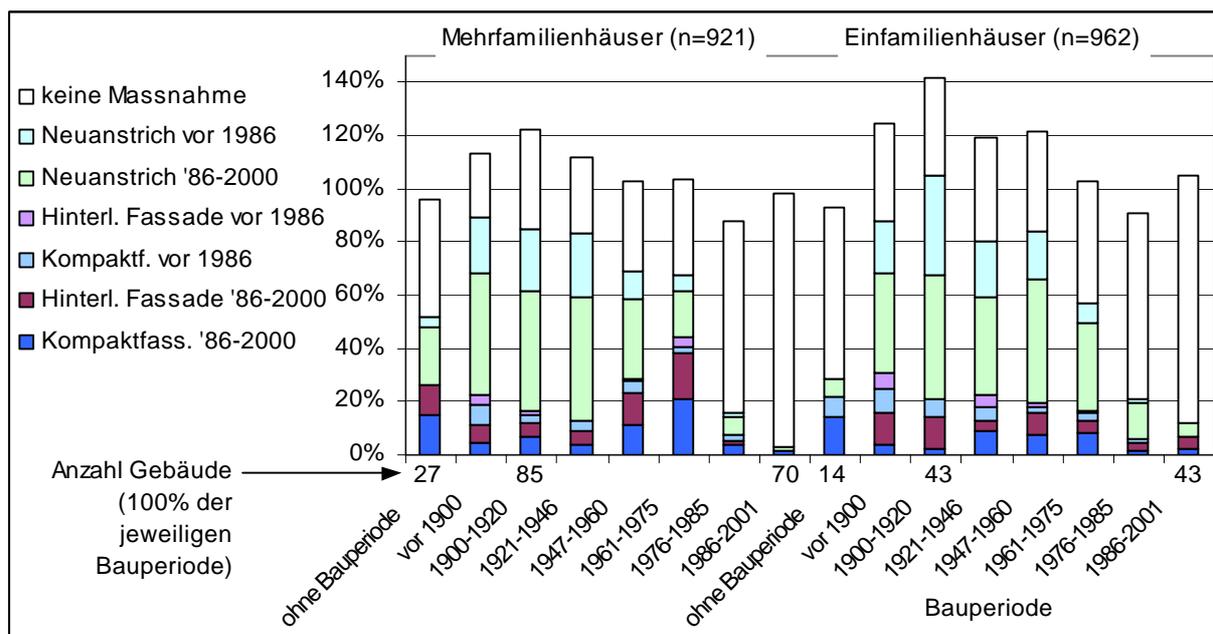
a) *Erneuerungsaktivität (Anteile)*

Aus den quantitativen Indikationen, die sich aus den ersten Auswertungen des Projekts „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäuden“ (Jakob, 2002) ziehen lassen (Abbildung 2.5-2 bis Abbildung 2.5-4), ergeben sich folgende Feststellungen.

- Für die Bauperiode bis 1960 sind die Anteile der energetischen Wanderneuerungen den Vollsanierungsraten gemäss Wüest und Partner (vgl. Tabelle 2.5-1) ähnlich (rund 10% pro Dekade)
- Die Erhebung zeigt bei den MFH der Periode 1961 bis 1975 starke Unterschiede zu den vorangegangenen Bauperioden; die Anteile der energetischen Erneuerungen liegen seit Mitte der 1980er Jahre bei über 10% pro 5-Jahresperiode, also markant höher als bei den Gebäuden der früheren Bauperioden.
- Die Anteile der energetischen Erneuerungen liegen vor allem bei den MFH ebenfalls markant höher als die Vollsanierungsraten (Tabelle 2.5-1) bzw. die Werte der sogenannten Kontrollrechnung von Wüest und Partner aus dem Jahr 1998 (Tabelle 2.5-2), bei den EFH etwas höher.
- Die folgende Bauperiode (1975-85) weist nicht unerwartet erst geringe Anteile von energetischen Erneuerungen auf.

- Zwischen den verschiedenen Bauperioden vor 1960 lassen sich nur geringe Unterschiede bzgl. der energetischen Erneuerungen ausmachen. Diese betreffen die Erneuerungsperiode vor 1986, wobei anzumerken ist, dass für die definitive Auswertung noch miteinzubeziehen ist, wie lange die Antwortenden das Gebäude bereits besitzen bzw. verwalten. Das Gebäudealter scheint also für die Gebäude vor 1960 nur einen geringen Einfluss auf die Anteile zu haben.

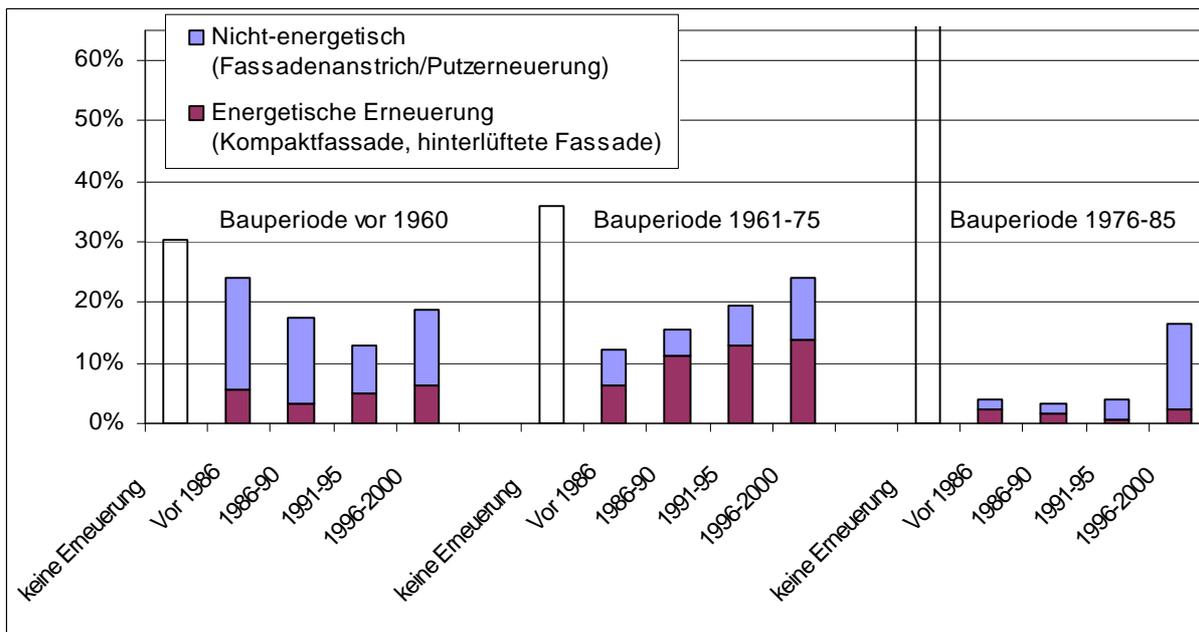
Letzteres ist mit der Feststellung kohärent, dass die Erneuerung die Aussenwärmedämmung im wesentlichen erst zu Beginn der 1980er Jahre startete und erst ab Mitte der 1980er, Anfang der 1990er Jahre eine wesentliche Bedeutung bekam, zu einer Periode also, als die Lebensdauer dieser Fassaden der 1960er Jahre gemäss IP-Bau Untersuchung schon im Bereich des Endes ihrer Lebensdauer war. Entsprechend wenig wurde für die Aussenwärmedämmung der Periode vor 1986 im Vergleich zu den späteren Erneuerungsperioden angegeben. Dass die Fassaden der älteren Gebäude eine so viel längere Lebensdauer haben als diejenigen der 60er Jahre bzw. nicht schon frühzeitiger, in jüngeren Jahren sozusagen, wärmegeklärt wurden, hat auch damit zu tun, dass damals die entsprechende Technik nicht zur Verfügung stand. Diese Aussage wird zudem weiter untermauert durch die Feststellung, dass beim Fassadenanstrich, wo eine „praktizierte Technik“ zur Verfügung stand, durchaus signifikante Unterschiede zwischen Bauperioden festzustellen sind; der Anteil des Neuanstrichs ist bei den Gebäuden vor 1960 fast doppelt so hoch wie bei denjenigen nach 1960.



Quelle Projekt „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäude, erste Auswertungen, CEPE

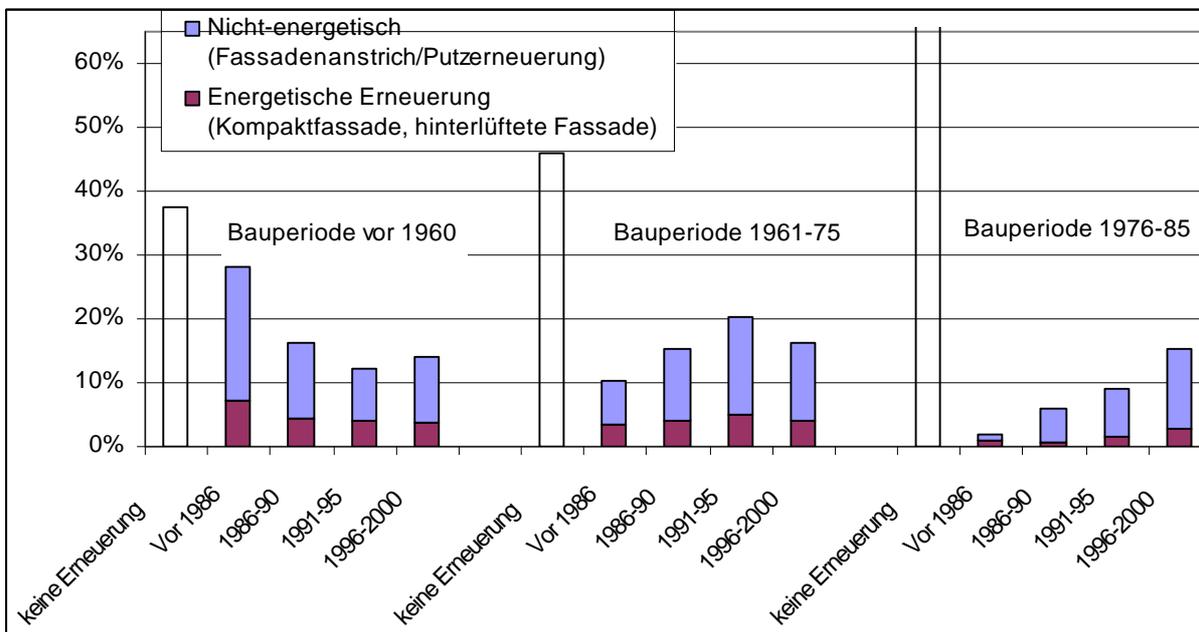
Abbildung 2.5-2 Anteil der durchgeführten Erneuerungen im Bereich Fassade für EFH und MFH, bezogen auf das Total der Gebäude der jeweiligen Bauperioden (Mehrfachnennungen möglich)

Zu beobachten ist auch, dass die Fassadeninstandsetzungen (Anstrich plus Putzausbesserung) ca. 15 bis 20 Jahre nach der Gebäudeerstellung anzusteigen beginnen. Betroffen ist jedoch nur ein relativ geringer Teil der Gebäude; von den im Durchschnitt 20 Jahre alten Gebäude gaben über 70% explizit an, keine Instandsetzung oder Erneuerung durchgeführt zu haben und auch bei folgenden Bauperiode 1961 bis 1975 sind rund 35% (MFH) bzw. 45% (EFH) „never touched“.



Quelle Projekt „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäude, erste Auswertungen, CEPE

Abbildung 2.5-3 Anteil der durchgeführten Erneuerungen im Bereich Fassade für MFH im Zeitablauf der Erneuerungsperioden, bezogen auf das Total der jeweiligen Bauperioden der Gebäude (Mehrfachnennungen möglich)



Quelle Projekt „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäude, erste Auswertungen, CEPE

Abbildung 2.5-4 Anteil der durchgeführten Erneuerungen im Bereich Fassade für EFH im Zeitablauf der Erneuerungsperioden, bezogen auf das Total der jeweiligen Bauperioden der Gebäude (Mehrfachnennungen möglich)

b) Bautechnische Aspekt, Bauabläufe

Zwischen Fassadenerneuerungen mit Kompaktfassaden und hinterlüfteten Fassaden ist bzgl. der ausgeführten Dämmstärken und der Bauabläufe kein grundsätzlicher Unterschied festzustellen, weshalb die beiden Systeme nachfolgend zusammengefasst dargestellt werden. Allerdings sind sie kostenseitig zu unterscheiden (vgl. Kap. 4.3).

Die häufigsten Dämmstärken, die heute bei Erneuerungen von Fassaden und Dächern beobachtet werden, liegen

- bei Fassaden bei 10-12 cm,
- bei Sockeln zwischen 8-10 cm,
- bei Fensterleibungen (wegen dem andernfalls reduzierten Lichteinfall) bei 2-4 cm und
- bei Dächern bei 11 bis 14 cm (vgl. Tabelle 2.5-3 und Tabelle 2.5-7).

Tabelle 2.5-3 Genannte Häufigkeiten der Dämmstärken bei Fassadenerneuerungen.

		sehr häufig	häufig	weniger häufig	selten
Fassade	8 cm - 10 cm	2	4	1	-
	10 cm - 14 cm	8	3	-	-
	14 cm - 20 cm	-	1	4	1
	Mehr als 20 cm	-	-	2	4
Sockel	8 cm - 10 cm	5	3	1	-
	10 cm - 14 cm	4	4	-	-
	14 cm - 20 cm	-	-	4	1
	Mehr als 20 cm	-	-	-	4
Fensterleibung	0 cm - 2 cm	1	4	3	-
	2 cm - 4 cm	7	2	-	-
	4 cm - 8 cm	1	1	4	1

Quelle CEPE-Umfrage bei SFHF- und Unternehmen im Bereich Kompaktfassade (Systemhalter).

Die Bauabläufe können einen entscheidenden Einfluss auf die Kosten von wärmetechnischen Massnahmen haben. Dies gilt insbesondere für die EFH und die kleinen MFH, wo die längenspezifischen Kosten (z.B. beim Dachrand oder beim Sockel) aus geometrischen Gründen einen höheren Anteil ausmachen.

Bei den antwortenden Unternehmen des SFHF bzw. den befragten Systemhaltern überwiegen kombinierte Erneuerungen (Fassade zusammen mit angrenzenden Bauteilen wie Rolladenkästen, Sockel, Flachdach etc.) gegenüber Einzelerneuerungen oder Nicht-Erneuerung der angrenzenden Bauteile (vgl. Tabelle 2.5-4), allerdings nur leicht.

Tabelle 2.5-4 Genannte Bauabläufe bei Fassadenerneuerungen

		sehr häufig	häufig	weniger häufig	selten
Gebäudehülle wird integral erneuert		2	4	2	1
Rolladenkasten	Schon früher wärmetechnisch erneuert	-	-	2	8
	Gleichzeitig mit Fassade erneuert	3	5	2	-
	Nicht/minimal erneuert	1	1	5	3
Flachdach	Schon früher wärmetechnisch erneuert	1	2	3	4
	Flachdach schon früher gedämmt	-	5	2	3
	Gleichzeitig mit Fassade erneuert	4	4	1	1
	Nicht/minimal erneuert	-	3	3	4
Balkon wird wärmetechnisch erneuert		-	3	5	3
Sockeldämmung auch unter Terrainniveau		3	3	2	2

Quelle CEPE-Umfrage bei SFHF-Mitgliedern und Unternehmen im Bereich Kompaktfassade (Systemhalter).

2.5.3 Fenstererneuerungen

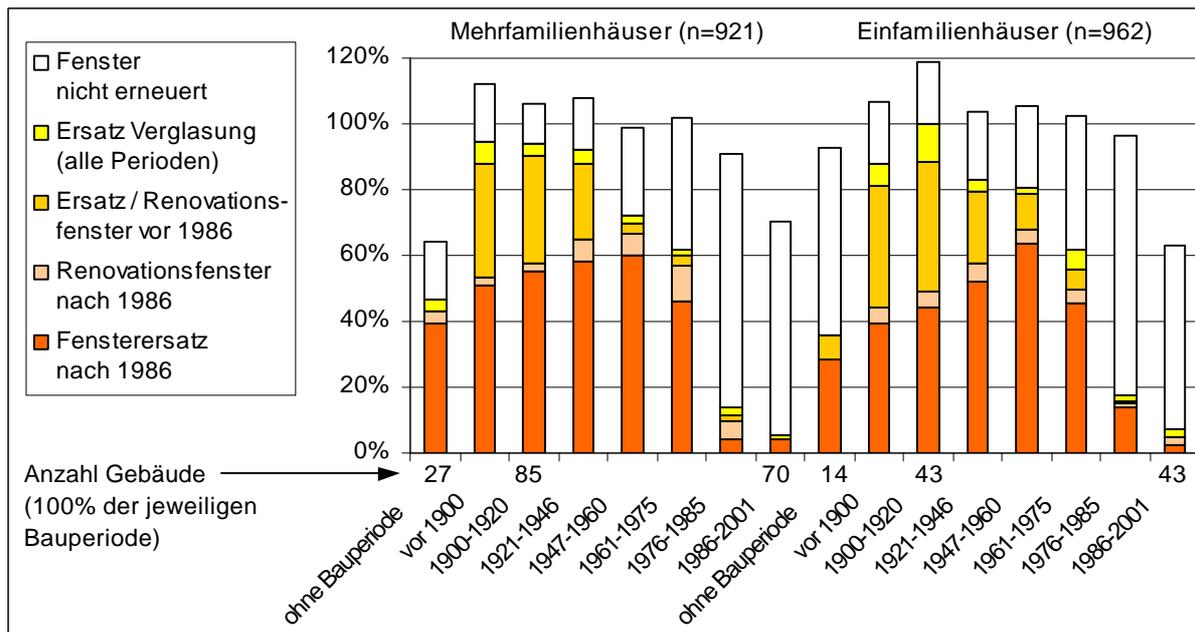
Fenster haben erfahrungsgemäss eine Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren, teilweise bis 30 Jahre. Es gibt aber auch Gebäude, bei welchen Fenster sehr viel länger nicht ausgewechselt werden bzw. wurden. Die Lebensdauer sowohl der Holzfenster, aber auch der Kunststofffenster hat sich in den letzten Jahren tendenziell erhöht. Beim Holzfenster sind es wetterfestere und industrialisiertere Farbanstriche (Farbanstrich im Werk statt von Hand auf der Baustelle) und die Entwicklung der Holz-Metallfenster.

Über die tatsächlichen Erneuerungsraten gab es in der Schweiz bis anhin kaum flächendeckende empirische Untersuchungen. Im Rahmen der Planungsarbeiten der Lärmsanierungsprogramme des Bundes, der Kantone und Städte bzw. Gemeinden wurde bei lärmbelasteten Gebäuden der Ist-Zustand der Fensterqualität erhoben. Um eine erste empirisch abgestützte Abschätzung über den Zustand der Fenster zu erhalten, wurde ein Teil des Lärmschutzprogramms des Kantons ZH ausgewertet. Weitere Informationen über die vergangenen Erneuerungen lassen sich aus dem Projekt „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäude“ gewinnen (Jakob et al., 2002).

Abbildung 2.5-5 zeigt die Anteile der durchgeführten Erneuerungen für MFH und EFH für die verschiedenen Gebäudeerstellungsperioden (Bauperioden). Dabei wird zwischen Erneuerungen der letzten 15 Jahre und solchen davor unterschieden, ebenso zwischen verschiedenen Erneuerungstypen. In der Abbildung ist auch das Total der Antworten pro Bauperiode angegeben, falls es sich um weniger als hundert Antworten handelt, denn bei geringer Anzahl im Bereich von einigen wenigen zehn ist bei der Interpretation der grössere Stichprobenfehler zu berücksichtigen. Ebenso sind bei der Interpretation die Mehrfachnennungen zu berücksichtigen sowie die Tatsache, dass pro Gebäude auch nur ein Teil der Fenster erneuert wurde, siehe dazu die Ausführungen weiter unten.

Festzustellen ist, dass die Gebäude der gesamten Bauperiode vor 1975 relativ hohe kumulierte Fenstererneuerungsanteile aufweisen, wobei der Anteil auch für die Erneuerungsperiode der letzten 15 Jahre (Erneuerung nach 1985 durchgeführt) als hoch bezeichnet werden kann. 40% bis 60% für 15 Jahre entsprechen knapp 3% bis 4% pro Jahr bzw. 13% bis 20% pro 5-Jahres-

periode. Bei den EFH würden die Erneuerungen bei den älteren Gebäuden tendenziell eher vor 1986 durchgeführt; die Anteile der kürzlichen Erneuerungen nehmen mit dem Gebäudealter sukzessive ab. Ab der Gebäudeerstellungsperiode 1960 beginnt der Anteil der Gebäude, die explizit keine Fenstererneuerung angaben, zu steigen (diejenigen, die sich zu dieser Frage nicht äusserten, ergänzen zu 100%). 25% der MFH bzw. 27% der EFH der Bauperiode bis 1975 gaben an, keine (grösseren) Erneuerungen im Fensterbereich durchgeführt zu haben (Malerarbeiten an den Fenstern wurden nicht abgefragt). Die Nicht-Erneuerungen sowie die länger zurückliegenden Erneuerungen können als Potential für künftige Erneuerungen der nächsten zehn bis zwanzig Jahre betrachtet werden.



Quelle Projekt „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäude, erste Auswertungen, CEPE

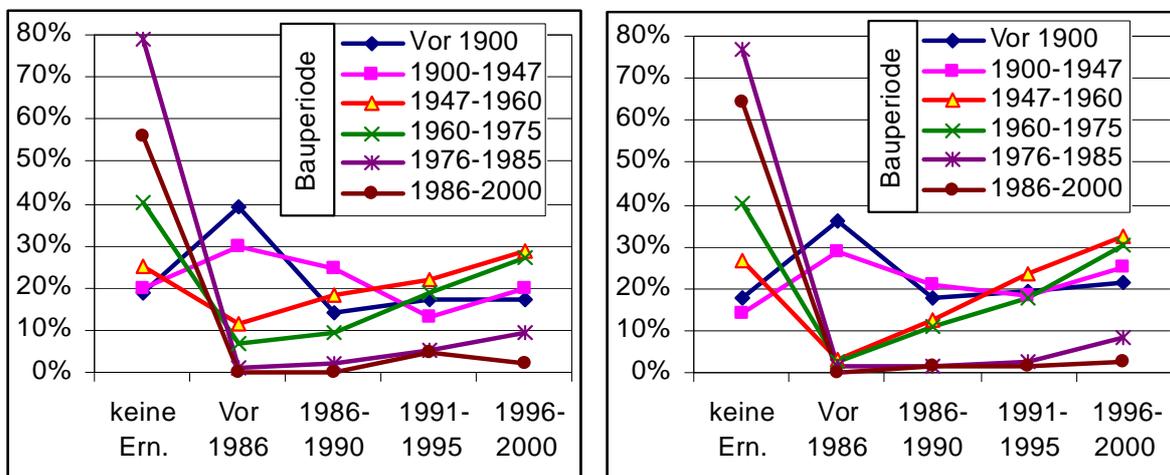
Abbildung 2.5-5 Anteil der durchgeführten Erneuerungen im Bereich Fenster für MFH und EFH, bezogen auf das Total der jeweiligen Bauperioden der Gebäude (Mehrfachnennungen möglich)

Mehrfachnennungen: Bei insgesamt 125 MFH und 143 EFH wurden sowohl vor 1986 als auch nach 1986 Erneuerungen durchgeführt, zählen also in der Abbildung 2.5-5 als Mehrfachnennungen, was knapp 15% entspricht. Weitere Mehrfachnennungen sind innerhalb der Periode 1986-2000 möglich, wurden aber nicht ausgewertet. Bei der Interpretation der Mehrfachnennungen ist zu beachten, dass es auch möglich ist, dass pro Erneuerungsperiode auch nur ein Teil der Fenster erneuert wurde. Bei 15% der Antworten des telefonischen Rückfragechecks 1 war dies der Fall (bezogen auf 100% der Gebäude), bzw. bei rund 30% beim Rückfragecheck 2 (bezogen auf diejenigen Gebäude mit Fenstererneuerung).

Teilerneuerungen: Bei den Rückfragechecks wurde festgestellt, dass bei rund 25% bzw. 30% der Projekte nur ein Teil der Fenster erneuert wird (bezogen auf das Total der Fenstererneuerungen, nicht auf das Total der Gebäude). Damit können auch die Anteile von über 100% erklärt werden, denn die Anteile werden nicht auf das Total der angegebenen Massnahmen, sondern auf das Total der Gebäude der jeweiligen Bauperiode bezogen.

Illustrativ ist auch die Darstellung der Erhebungsergebnisse in Form von 5-Jahresraten (siehe Abbildung 2.5-6). Dabei ist für die letzten 15 Jahre eine relativ konstante Rate bei den vor 1947

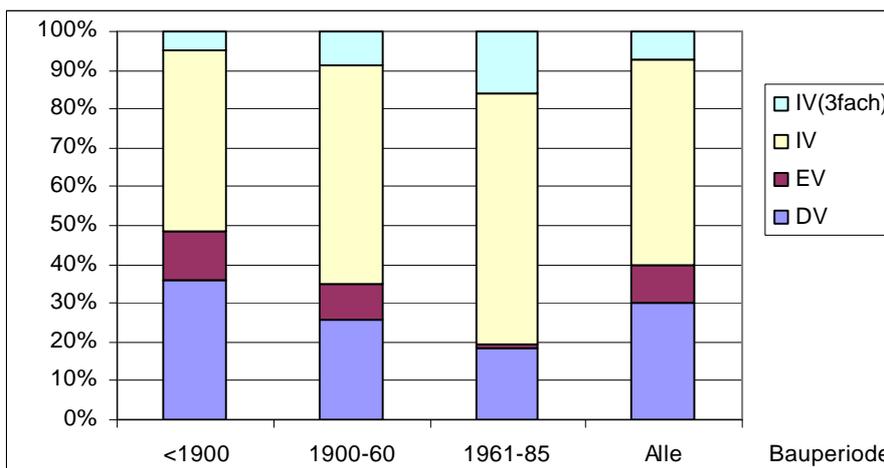
erstellten Gebäuden festzustellen, die bei rund 20% pro 5 Jahre liegt (MFH knapp darunter). Bei den Gebäuden, die zwischen 1947 und 1975 erstellt wurden, verläuft die Rate im Zeitablauf ziemlich parallel; sie beginnt ab den 1980er Jahren anzusteigen (bei den MFH etwas früher, dafür weniger steil als bei den EFH) und erreicht in den letzten fünf Jahren rund 30%.



Quelle Projekt „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäude, erste Auswertungen, CEPE

Abbildung 2.5-6 5-Jahresrate der durchgeführten Erneuerungen im Bereich Fenster bzw. nicht-erneuerte Fenster bei MFH (linke Abbildung) und EFH (rechte Abbildung), bezogen auf das Total der jeweiligen Bauperioden der Gebäude (Mehrfachnennungen möglich)

Die Auswertungsergebnisse sind auch kohärent mit der Auswertung des Lärmschutzprogramms des Kantons ZH, siehe dazu die nachfolgenden Erläuterungen und Auswertungen.

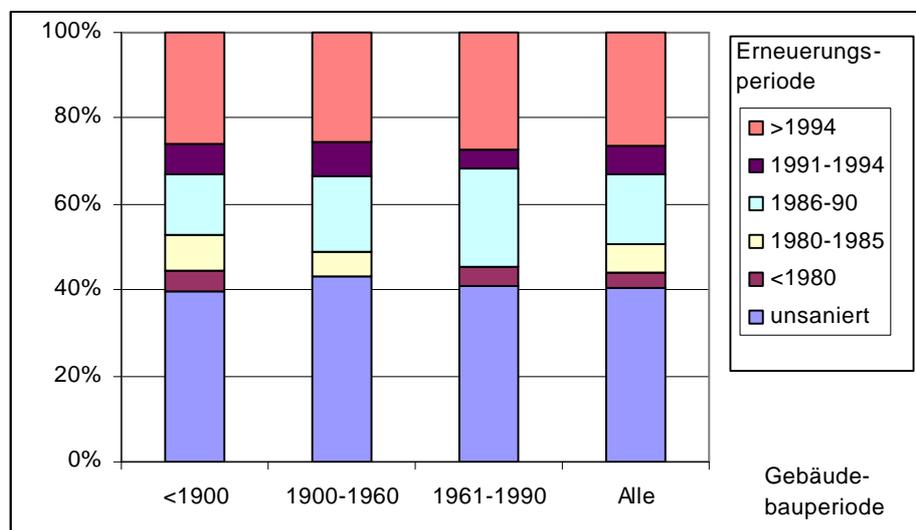


Quelle Lärmschutzprogramm des Kantons ZH, Auswertung CEPE

Abbildung 2.5-7 Anteile der verschiedenen Fenstertypen in Funktion der Bauperiode der Gebäude

Abbildung 2.5-7 zeigt die Bestandesaufnahme des Lärmschutzprogramms des Kantons ZH, welche die Grundlage zu Beiträge bzw. Rückvergütungen für Schallschutzfenster bildet. Bei der Interpretation der Abbildung 2.5-7 muss zwar beachtet werden, dass die Lärmschutzgesetzgebung und ihre damit verbundenen Beiträge bzw. Rückvergütungen sowie der Lärm selbst einen Impuls zum vermehrten (gegenüber Gebäuden an nicht exponierten Lagen) Ersetzen von Fenstern gegeben haben. Andererseits war der Informationsstand der Gebäudebesitzer eher gering und auf das Instrument der Rückvergütung musste eher selten gegriffen werden, was darauf hindeutet, dass die Verteilung der Fenstertypen in den übrigen Gebäuden an nicht lärmexponierten Strassen ähnlich ist.

Festzustellen ist, dass je mehr „alte“ DV- und sogar EV-Fenster noch in den Gebäuden eingebaut sind, je älter die Gebäude sind. Dabei ist anzumerken, dass die Gebäude an lärm-belasteter Strasse häufig alte Gebäude im Zentrum der Ortschaften sind, welche über-durchschnittlich häufig (35% der ausgewerteten Gebäude) im Verzeichnis der kommunalen Denkmalschutzverzeichnisse aufgeführt sind, (was eine Fenstererneuerung zwar nicht verunmöglicht, aber aus Sicht der Gebäudebesitzer möglicherweise ein Hindernis darstellt.



Quelle Lärmschutzprogramm des Kantons ZH

Abbildung 2.5-8 Erneuerungsperioden der Fenster für verschiedenen Gebäudeperioden

Heute sind rund 45% der Fenster älter als 20 Jahre. Eigentlich würde man erwarten, dass der Anteil der nicht erneuerten Fenster geringer ist. Grund für den hohen Anteil könnten auch die befürchteten Bauschäden sein, die mit einer Fenstererneuerung einhergehen, wenn nicht gleichzeitig die bauphysikalischen Problemstellen behoben werden. Letzteres ist häufig mit markantem Aufwand verbunden, wenn dies nicht zusammen mit einer ohnehin stattfindenden Gebäudehüllenerneuerung realisiert wird. Der Anteil der nicht erneuerten Fenster bildet das Potential der kommenden Erneuerungen, insbesondere in Verbindung mit weiteren Massnahmen, insbesondere an der Fassade und im Zusammenhang mit der Rolladenkasten-sanierung.

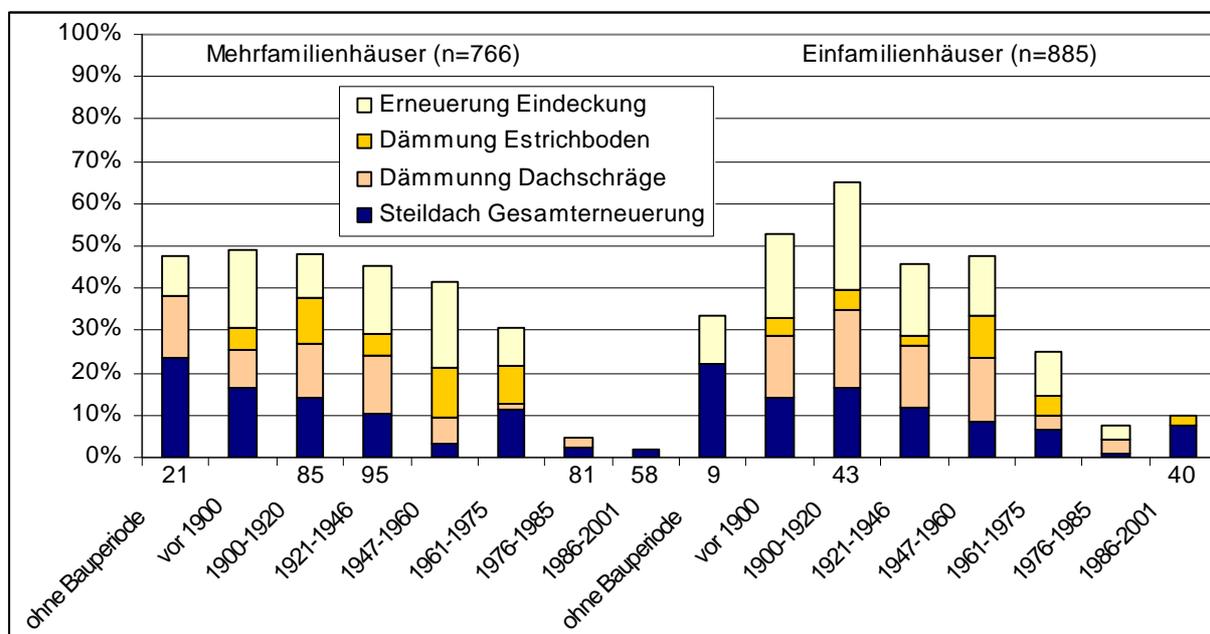
Die bei der Auswertung des Lärmschutzprogramms gemachten Beobachtungen decken sich mit den Annahmen der „Kontrollrechnung Sanierungstätigkeit“ (Wüest und Partner, 1998b), siehe Tabelle 2.5-2.

2.5.4 Dacherneuerungen

Auch bei den Dacherneuerungen wird zwischen mengen-spezifischen und bautechnischen Aspekt unterschieden. Im ersten Teil des Kapitels wird die vergangene Erneuerungsaktivität anhand der Auswertungsergebnisse der Umfrage bei Gebäudebesitzern und Liegenschaftsverwaltungen aufgezeigt (Jakob et al., 2002), danach wird auf die bautechnischen Aspekte eingegangen, wobei hierzu eine Umfrage bei Mitgliedfirmen des Schweizerischen Verbandes für Dach und Wand durchgeführt wurde.

Bei Gebäuden mit Steildächern der Bauperioden bis 1947 zeichnet sich ein relativ einheitliches Bild bzgl. der Erneuerungen mit Wärmedämmungen: bei gut 30% bis 40% wurde in den letzten 15 Jahren eine solche angebracht, sei dies in Form der Dämmung des Estrichbodens, der Dachschräge oder im Zusammenhang mit einer Gesamterneuerung des Daches (siehe Abbildung 2.5-9). Die Anteile der Gesamterneuerung sind um so höher, je älter die Gebäude sind. Uneinheitlich ist die Bauperiode 1947-1975; die EFH fallen mit hohen Wärmedämmernierungs-Anteilen bei den Gebäuden der unmittelbaren Nachkriegszeit auf und dafür relativ tiefen bei denjenigen aus der Zeit zwischen 1960 und 1975. Überraschenderweise ist der Anteil der Dachbodendämmung im Durchschnitt eher tief, am häufigsten wurde diese Variante bei den Gebäuden aus der Nachkriegszeit angegeben (bei den MFH auch bei den Gebäuden der 1960er bis Mitte 1970er Jahre Gebäude).

Im Verhältnis zu den Fassaden wurden schon überproportional viele Dächer wärmetechnisch verbessert. Das gilt für den Flachdachbereich, der im Zuge der in der Vergangenheit häufig notwendig gewordenen Abdichtungserneuerung auch wärmetechnisch verbessert wurde, aber auch für die Gebäude mit Steildächern der Bauperiode vor 1947 (MFH) bzw. vor 1960 (EFH), vgl. Abbildung 2.5-2 mit Abbildung 2.5-9.



Quelle Projekt „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäude, erste Auswertungen, CEPE

Abbildung 2.5-9 Anteil der durchgeführten Erneuerungen zwischen 1985 und 2000 im Bereich Fassade für EFH und MFH, bezogen auf das Total der Gebäude mit Steildächern der jeweiligen Bauperioden (Mehrfachnennungen möglich)

Weiteren Aufschluss, auch über den zeitlichen Ablauf der Erneuerungsraten, sind im Schlussbericht des Projekts „Erneuerungsverhalten bei Wohngebäude“ zu erwarten.

Bei der Erneuerung von Dächern ist grundsätzlich zwischen Flach- und Steildach zu unterscheiden, sowohl was die auslösenden Elemente für eine Dacherneuerung, die unterschiedlichen Ausgangslagen sowie die technischen Möglichkeiten betrifft. Die Relevanz dieser Fälle, die dazu möglichen Wärmedämmvarianten und die dabei typischen Dämmstärken wurden in Zusammenarbeit mit dem SVDW eruiert und bei den SVDW-Mitgliedfirmen mittels Fragebogen erhoben. Abgestimmt auf den Preiserhebungsfragebogen erhielten die Unternehmen einen Fragebogen aus zu einem der folgenden vier Bereiche:

- Steildach-Neubau
- Flachdach-Neubau
- Steildach-Erneuerung
- Flachdach-Erneuerung

Die Fragebogen hatten damit einen Bezug zu den Preiserhebungsbogen, siehe dazu die Übersichtstabelle und weitere Ausführungen zur Erhebung im Kapitel 4.3.

a) Steildächer

Die typischen Fälle, bei denen im Dachbereich eine Wärmedämmung angebracht wird oder werden könnte, sind bei Gebäuden mit Steildach folgende:

- Unterdach und evtl. Eindeckung ist schadhaft und muss erneuert werden
- Dachraum soll zu Wohnzwecken ausgebaut werden
- Energetische Situation soll verbessert werden

Die Vorabklärungen hatten ergeben, dass die Verbesserung der energetischen Situation nur bei der Dämmung des Estrichbodens (und beim Flachdach, siehe dazu das nächste Unterkapitel) das eine Erneuerung motivierende Moment ist, nicht jedoch bei der Dämmung der Dachschräge.

Zunächst wurde untersucht, welche Situation vor einer Erneuerungen im Dachbereich wie häufig angetroffen wird, zum einen, um Hinweise auf erneuerungsauslösende Momente zu erhalten und die Relevanz der einzelnen spezifischenn Kostenelemente zu erhalten.

Bei den EFH werden alle drei Ausgangssituationen tendenziell häufiger genannt als bei den MFH (Tabelle 2.5-5). Besonders ausgerägt ist der Unterschied beim kalten Dachraum, der zu Wohnzwecken ausgebaut werden soll. Beim EFH wird also zu einem grossen Teil das Dach nicht aus bautechnischen Gründen erneuert, sondern aus dem Wunsch heraus, die Wohnfläche zu vergrössern.

Bei der Interpretation der Umfrageergebnisse ist zu beachten, dass nicht in allen Fällen ein Auftrag an ein im SVDW organisiertes Unternehmen vergeben wird. Dacherneuerungen von innen, Dauchraumausbauten und Estrichbodendämmungen werden auch von Zimmermanns-, Gipser-Unternehmen oder in Eigenleistung ausgeführt), während dessen Dacherneuerungen von aussen meistens durch ein SVDW-Mitgliedunternehmen ausgeführt werden. Auch wegen der relativ geringen Anzahl der Antworten darf die Interpretation der Ergebnisse nicht überstrapaziert werden.

Tabelle 2.5-5 Ausgangssituation beim Erneuern von Steildächern (Anzahl Nennungen)

Ausgangslage	EFH				MFH			
	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig
1 Bereits ausgebauter (beheizter) Dachraum	2	5	5	5	2	2	6	7
2 Kalter Dachraum wird (zu Wohnzwecken) ausgebaut	2	12	3	-	1	6	5	5
3 Nicht ausgebauter (kalter) Dachraum	1	4	7	5	-	2	5	10

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen

Tabelle 2.5-6 Häufigkeit von verschiedenen Dacherneuerungsvarianten bei bereits ausgebautem Dachraum (Ausgangslage 1) sowie Schwierigkeitsgrad, Häufigkeit und Dämmstärken von Wärmedämmungen für die Varianten. (Anzahl Nennungen)

Dacherneuerungsvarianten	Häufigkeit der Varianten				Wärmedämmen ist...			Häufigkeit* einer Wärmedämmung				Dämmstärke			
	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	einfach	eher aufwändig	sehr aufwändig	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	bis 10 cm	11 cm - 14 cm	15 cm bis 18 cm	mehr als 18 cm
Lokale Reparatur	2	2	7	5	3	1	10	-	-	-	6	2	4	3	-
Umdecken der Eindeckung	-	4	4	9	4	7	5	-	2	1	3	2	6	2	-
Neues Unterdach	4	4	4	5	12	3	-	-	4	1	2	1	9	2	1
Ersatz der Innenraumbekleidung	-	-	-	15	5	3	3	-	-	-	6	2	4	1	-

*) Häufigkeit bezüglich jeweiligem Vorgehen

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen

Laut Angaben der Unternehmen wird bei bereits ausgebauten Dachraum das Schrägdach kaum je von innen erneuert und entsprechend selten wird eine Wärmedämmung bei dieser Variante angebracht (vgl. Tabelle 2.5-6). Ebenso selten bei einer nur lokalen Reparatur der Eindeckung, vor allem weil dies in diesem Fall sehr aufwändig wäre. Etwas einfacher wäre dies im Falle eines Umdeckens während des Verarbeitens der Wärmedämmung, am einfachsten jedoch im Fall, wenn ohnehin ein neues Unterdach angebracht werden muss.

Als typische Dämmstärken für Dachraumausbauten wird am häufigsten der Bereich 10 cm bis 14 cm genannt und wesentlich weniger häufig - je gleichen Teilen - die Dämmstärkenbereiche oberhalb und unterhalb (vgl. Tabelle 2.5-7) .

Tabelle 2.5-7 Häufigkeit des Vorgehens und der Dämmstärken bei Dachraumausbauten (Ausgangslage 2)

Wärmedämmvarianten	Häufigkeit				Dämmstärke			
	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	bis 10 cm	11 cm - 14 cm	15 cm - 18 cm	mehr als 18 cm
Dämmen von unten	3	7	1	6	1	9	4	-
Dämmung von oben, zwischen den Sparren.	-	4	2	11	1	8	5	1
Dämmung von oben, auf den Sparren	2	5	3	7	1	10	4	1

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen

Bei der Variante Dachraumausbau wird zu etwa gleichen Teilen von unten wie von oben gedämmt, im letzteren Fall etwas häufiger auf den Sparren als zwischen den Sparren. Wenn der Dachraum ausgebaut wird, kann davon ausgegangen werden, dass eine Wärmedämmung appliziert wird. Die Referenzdämmstärke ist aufgrund der Nennungen eher am oberen Ende des Bereichs 11 cm bis 14 cm anzusetzen (vgl. Tabelle 2.5-8).

Tabelle 2.5-8 Häufigkeit des Vorgehens und der Dämmstärken bei nicht ausgebautem, kaltem Dachraum (Ausgangslage 3). (Anzahl Nennungen)

Variante	Häufigkeit der Variante				Ablauf für WD			Häufigkeit *)				Dämmstärke **)			
	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	einfach	eher aufwändig	sehr aufwändig	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	bis 10 cm	11 cm - 14 cm	15 cm bis 18 cm	mehr als 18 cm
Lokale Reparatur	5	4	6	2	3	3	9	-	-	-	5	-	4	1	1
Umdecken der Eindeckung	1	6	4	4	5	6	2	-	1	1	3	-	6	2	-
Neues Unterdach	3	5	5	2	9	3	-	-	2	4	-	-	3	2	-
Dachboden- Dämmung	-	3	6	7	11	1	-	-	1	2	4	-	6	-	-

*) Häufigkeit von Wärmedämmungen bezüglich jeweiligem Vorgehen

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen

b) Flachdach

Die erste Funktion, die ein Dach zu erfüllen hat, ist die Gewährleistung der Dichtigkeit. Beim Flachdach ist die Dichtigkeit bzw. deren Mangelhaftigkeit gleichzeitig auch ein häufiger Auslöser für Instandsetzungen und Erneuerungen. Ein weiterer Auslöser ist eine ungenügend dimensionierte Wärmedämmung, vor allem bei Flachdächern aus den 60er und 70er Jahren. Nebst dem Aspekt des hohen Energieverlustes solcher Dächer bedeutet eine mangelhafte Wärmedämmung für die Bewohner gerade auch im Sommer eine markante Komforteinbusse.

Dass die Flachdachabdichtung vergangener Flachdächer ein Schwachpunkt ist, zeigt sich auch bei der Häufigkeit der ausgeführten Flachdacherneuerungen. In nur wenigen Fällen bleibt bei einer Wärmedämmung die Abdichtung bestehen, obwohl dies technisch gut möglich wäre (vgl. Tabelle 2.5-9). Auch das alleinige Reparieren bzw. Ersetzen der Flachdachabdichtung scheint wenig ausgeführt zu werden (etwas mehr bei den MFH als bei den EFH); fällt eine Erneuerung an, wird meistens die bestehende Wärmedämmung und die Abdichtung abgebrochen und durch eine neue ersetzt.

Tabelle 2.5-9 Art und Häufigkeit der ausgeführten Flachdacherneuerungen. Anzahl Nennungen, Basis: 9 Unternehmen

	EFH				MFH			
	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig
Flachdachabdichtung repariert/ersetzt (WD bleibt bestehen)	-	1	1	7	-	-	4	4
Flachdach wird mit neuer WD versehen (+Abdichtung ersetzt)	5	2	-	2	5	2	1	1
Zusätzliche WD wird auf bestehende WD aufgedoppelt	1	-	2	6	1	-	1	6

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen, 2001

In den Fällen, in denen die bestehende Wärmedämmung abgebrochen wird, beträgt die häufigste Dämmstärke 10 bis 14 cm (vgl. Tabelle 2.5-10). Wird eine zusätzliche Wärmedämmung auf die bestehende Wärmedämmung aufgedoppelt, wird der Effekt der bestehenden Wärmedämmung durchaus mitberücksichtigt, weshalb die Dämmstärke dann eher 8 bis 10 cm beträgt.

Tabelle 2.5-10 Häufigkeit der ausgeführten Dämmstärken bei den Flachdacherneuerungen mit Wärmedämmung. (Anzahl Nennungen), Basis: 9 Unternehmen

	Flachdach wird mit einer neuen Wärmedämmung versehen (Flachdachabdichtung wird komplett ersetzt)				Zusätzliche Wärmedämmung wird auf die bestehende Wärmedämmung aufgedoppelt			
	Sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	Sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig
8 cm - 10 cm	1	1	1	4	5	1	-	2
10 cm - 14 cm	6	-	1	-	-	-	1	4
14 cm - 18 cm	-	1	-	5	-	1	-	5
> 18 cm	-	-	-	6	-	-	-	5

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen, 2001

Die Fälle, bei denen das Flachdach zusammen mit der Fassade (und evtl. weiteren Gebäudeteilen) gleichzeitig erneuert wird, halten sich in etwa die Waage mit den Varianten, in denen

nur das Flachdach erneuert wird (vgl. Tabelle 2.5-11). Dass die Fassade schon vorgängig wärme-
gedämmt wurde, wird weit weniger häufig genannt; die Vorbereitung des Anschlusses der
Fassade an das Dach ist aus technischen Gründen kaum praktikabel und erfolgt deshalb selten.

Tabelle 2.5-11 Art und Häufigkeit der ausgeführten Flachdacherneuerungen um 2000.
(Anzahl Nennungen). Basis: 9 Unternehmen

	sehr häufig	häufig	weniger häufig	selten
Gebäudehülle wird integral erneuert	1	2	3	2
Flachdach wird gleichzeitig mit Fassade erneuert	1	3	4	-
Fassade wurde schon früher nachträglich gedämmt, Anschluss an Flachdach ist vorbereitet	-	-	-	8
Fassade wurde schon früher nachträglich gedämmt, Anschluss an Flachdach ist nicht vorbereitet	-	1	3	4
Flachdach wird erneuert, Fassade wird nicht erneuert, Anschluss an Fassade wird für spätere Fassadenwärmedämmung vorbereitet	-	3	1	4
Flachdach wird erneuert, Fassade wird nicht erneuert, Anschluss wird nicht für spätere Fassadendämmung vorbereitet	1	2	2	3

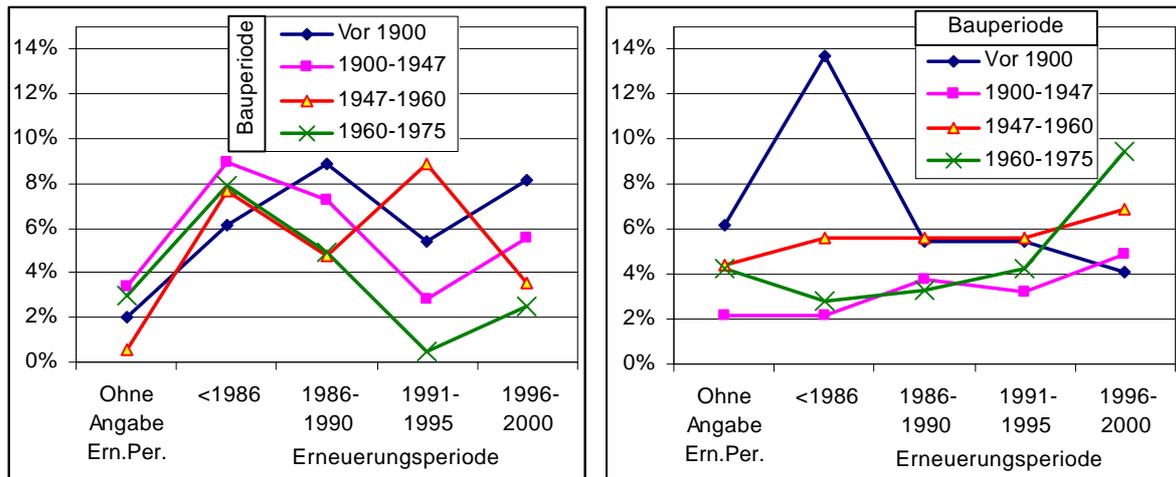
Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Firmen

2.5.5 Kellerdecke

Auch bei der Kellerdecke interessiert die Frage, inwieweit diese im Lauf der letzten Jahre schon
wärmegeklämmt wurde und somit für ein künftiges Energieeffizienzpotential nicht mehr zur
Verfügung stünde.

Obwohl die Wärmedämmung der Kellerdecke „à première vue“ eine relativ einfach aus-
zuführende Wärmeschutzvariante ist, wurde sie relativ wenig ausgeführt, wie Abbildung 2.5-10
zeigt, nämlich im Durchschnitt der letzten 15 Jahre nur zu ca. 4% bis 5% pro 5-Jahresperiode.
Dies ist nicht häufiger als die wärmetechnische Erneuerung der Fassaden. Zu vermuten ist, dass
Kellerdeckendämmungen aus folgenden Gründen nicht häufiger durchgeführt wurden:

- Die Dämmung der Kellerdecke wird als unnötig erachtet, weil die Wärmeverluste tiefer sind
als gegen aussen
- Die Dämmung der Kellerdecke verursacht Umstände (Leerung der Kellerräume bzw. –
abteile) oder ist zu teuer
- Die Raumhöhe im Keller ist zu gering und würde zu stark eingeschränkt
- Die Wirkung ist begrenzt (Wärmeabfluss bei den häufigen Dämmunterbrechnungen bei
Sockel und Kellerwänden)
- Es gibt keinen unmittelbaren Grund (ausser den des Wärmeschutzes), die Kellerdecke zu
dämmen



Quelle Projekt „Erhebung des Erneuerungsverhaltens bei Wohngebäude, erste Auswertungen, CEPE

Abbildung 2.5-10 Anteile der Kellerdeckendämmungen in den verschiedenen 5-Jahresperioden bei MFH (linke Abbildung) und EFH (rechte Abbildung), bezogen auf das Total der Gebäude der jeweiligen Bauperioden (Mehrfachnennungen möglich)

2.5.6 Art der Erneuerungen, Massnahmenkombinationen

Weitere empirische Evidenz bzgl. Gebäudeerneuerungen kann durch die Auswertung der Gesuche des Investitionsprogramms Energie 2000 hinsichtlich der Art der Erneuerungen (Sanierung, Umbau, Ausbau) und der Massnahmenbündel gewonnen werden.

Tabelle 2.5-12 Anzahl und Häufigkeit der drei Erneuerungstypen bei EFH und MFH

	EFH		MFH	
	Anzahl	%	Anzahl	%
ohne Angabe	10	1%	8	0%
Anbau	3	0%	4	0%
Umbau	88	7%	70	4%
Umbau und Anbau	32	2%	21	1%
Sanierung	655	51%	1262	73%
Sanierung und Anbau	66	5%	58	3%
Sanierung und Umbau	344	27%	241	14%
Sanierung/Umbau/Anbau	92	7%	64	4%
Total	1290	100%	1728	100%

Quelle Investitionsprogramm Energie 2000, Auswertungen CEPE

„Sanierung“ war der am häufigsten angegebene Erneuerungstyp (siehe Tabelle 2.5-12). Bei den MFH wurde dieser Erneuerungstyp zu knapp drei Viertel und bei den EFH immerhin noch bei knapp der Hälfte angegeben. Auffallend bei den Einfamilienhäuser ist jedoch, dass mit den Sanierungen häufiger Umbauten (27%) bzw. Anbauten oder beide zusammen kombiniert wurden. Insgesamt sind über 40% kombinierte Erneuerungen. Bei den EFH scheinen also Um-

und Anbauten die Möglichkeit für Gebäudesanierungen zu eröffnen. Bei den MFH sind diese Anteile der kombinierten Erneuerungen wesentlich tiefer. Die Basis der Auswertung sind alle Gesuche, bei den abgeschlossenen Projekten ist die Verteilung sehr ähnlich.

Um Aufschluss über die relative Häufigkeit der einzelnen Bauteilerneuerungen und vor allem über die durchgeführten Erneuerungspakete zu erhalten, wurde die Gesuchsdatendabank entsprechend ausgewertet. (siehe Tabelle 2.5-13) Als Erneuerung wurden diejenigen Fälle bzw. Bauteile gezählt, bei denen sowohl die Flächen, die Kosten als auch die U-Werte plausible Werte aufwiesen. Bei den EFH ist dies bei 80% der abgeschlossenen Projekte der Fall (die übrigen Gesuche betreffen die Haustechnik inkl. Anlagen für erneuerbare Energien), bei den MFH bei 87% der Projekt. Davon wurde in bemerkenswerten 95% der Fälle eine energetische Erneuerung der Wand vorgesehen. Sehr selten wurde die Aussenwand allein erneuert; zu einem ebenfalls sehr hohen Anteil wurde die Wanderneuerung mit weiteren Massnahmen ergänzt, wobei vor allem bei den EFH die gesamte oder beinahe die gesamte Gebäudehülle miteinbezogen wurde. Auch die übrigen Bauteile (Dach, Fenster, Kellerdecke, Estrichboden) wurden selten einzeln erneuert. Bei den MFH haben Teilerneuerungen etwas grössere Anteile. Die Kombination von Wand und Fenster wurde z.B. in rund einem Fünftel der Fälle angegeben.

Tabelle 2.5-13 Anzahl und Häufigkeit der verschiedenen Kombinationen der Bauteilerneuerung bei EFH und MFH (Auswertung der Gesuche des Investitionsprogramms Energie 2000. Basis: abgeschlossene Gesuche)

	EFH		MFH	
Wand, Fenster, Dach, Keller, evtl. andere	315	45%	279	29%
Wand, Fenster, Dach, evtl. andere	140	20%	196	21%
Wand, Fenster, evtl. Estrich, Keller oder andere	116	17%	225	24%
Wand, Fenster	74	11%	177	19%
Wand ohne Fenster, evtl. weitere	9	1%	17	2%
nur Wand	5	1%	14	1%
nur Fenster	16	2%	24	3%
Fenster plus weitere, aber ohne Wand	15	2%	12	1%
Nur Keller oder Estrich oder Dach	7	1%	5	1%
Total Gebäudehüllenerneuerung	697	100%	949	100%
<i>Andere als Gebäudehüllenerneuerung</i>	<i>171</i>		<i>148</i>	
<i>Total</i>	<i>868</i>		<i>1097</i>	

Quelle Investitionsprogramm Energie 2000, Auswertungen CEPE (Wuest und Partner, 2000)

2.6 Marktvolumen und -anteile der opaken Bauteile, Wärmedämmstoffe und Fenster

Die Kenntnis der Marktvolumina pro Baukategorie und Gebäudetyp könnte als Basis für die Definition der Referenzentwicklung des Neubaus und der Gebäudeerneuerung dienen. Differenzierte absolute Werte über die verschiedenen Bereiche des Baumarktes sind jedoch in der Schweiz nur schwierig bzw. nur mit pekuniären Mitteln zu erhalten. Leichter verfügbar sind relative Werte, die von Wüest und Partner in ihrem Immo-Monitoring veröffentlicht werden (siehe unten).

Gemäss Bundesamt für Statistik betragen die Neu- und Umbauinvestitionen bei den Einfamilienhäusern im Jahr 2000 rund 8.5 Mia CHF (davon rund 7 Mia Neubau) und bei den Mehrfamilienhäusern rund 9 Mia CHF (davon rund 6.2 Mia Neubau). Bei den EFH stieg das Investitionsvolumen seit 1994 leicht an, bei MFH es jedoch stark rückläufig. Bemerkenswerterweise erfolgte dieser Rückgang nicht auf Kosten von Umbau/Erneuerung, sondern auf Kosten des Neubaus. Das Verhältnis zwischen Umbau/Erneuerung hat sich bei den MFH dadurch weiter erhöht; schon 1994 war es bei den MFH höher als bei den EFH.

Vom erwähnten Investitionsvolumen entfallen gemäss Abschätzungen der HTA Luzern die Werte gemäss Tabelle 2.6-1 auf die Gebäudehülle.

Tabelle 2.6-1 Investitionen im Jahr 1999 in die Gebäude hülle bei Wohngebäude in Mio CHF/Jahr

	Neubau	Umbau	Total
EFH	550	400	950
MFH	790	300	1090

Quelle Lutiger, 2001

Bzgl. Marktanteile und Marktvolumen der verschiedenen Fassadentypen liegen teilweise Schätzungen vor, die von Marktteilnehmern abgegeben wurden. Das Unternehmen Nr. DS1 geht von 1 Mio. m² hinterlüfteter Fassade aus und von 3 Mio. m² bis 3.5 Mio m² Kompaktfassade (Fassade mit verputzter Aussenwärmedämmung). Ein anderes Unternehmen geht von einem Marktvolumen von etwas mehr als 5 Mio m² aus. Bzgl. dem Gesamtinvestitionsvolumen für Fassaden bzw. Aussenwände (Neubau und Umbau/Erneuerung) haben die EFH und die MFH je einen Anteil von 31% bzw. 35%. Auffallend ist der hohe Anteil an Kompaktfassaden (vgl. Tabelle 2.6-4), wobei anzumerken ist, dass Immo-Monitoring einen leicht rückläufigen Trend beobachtet.

Tabelle 2.6-2 Investitionsanteile der verschiedene Fassadentypen bei EFH und MFH (Neubau und Erneuerung) in %

	Stein /		Holz	Glas /		Summe
	Putz	Sichtmauerwerk		Metall	vorgehängt	
EFH	73	3	16	3	5	100
MFH	78	4	8	1	9	100

Quelle Immo-Mmonitoring 2001, Teil 3 (Baumarkt), (Wuest und Partner, 2000)

Im Hinblick auf die gesamtschweizerische Gewichtung der Grenzkosten ist auch die Kenntnisse der Anteile der verarbeiteten Dämmstoffe in den einzelnen Anwendungsbereichen von Interesse. Allerdings haben Kosten der Dämmstoffe einen relativ geringen Effekt auf die Gesamtkosten der Wärmedämmungen und auch die Grenzkosten verändern sich nicht sehr stark. Eine schematische Übersicht über die Marktstruktur im Fassadenbereich mit einer Schätzung der Fassadentyp und der Dämmstoffanteile ist in Tabelle 2.6-4 gegeben. Im Erneuerungsbereich ist der Anteil der hinterlüfteten Fassaden aus bautechnischen Gründen etwas höher als im Neubaubereich.

Tabelle 2.6-3 Übersicht über die Marktstruktur im Bereich der Fassadenerneuerung (schematisch, ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

System	Kompaktfassaden		Hinterlüftete Fassaden **		
Anteil (geschätzt)	70% - 80%		20% -30%		
Dämmstoffe	Styropor	Steinwolle	Glaswolle	Steinwolle	Styropor
Anteil (geschätzt)	80%	20%	70%	20%,	<10%
Dämmstoff- produzenten	Firmen des EPS-Verbundes: Alporit, Gonon, ...		v.a. , Flumroc*, Isover, wenig Import		
Systemhalter	Systeme: Styropor Lamitherm		Unterkonstruktion	Bekleidung	
	Unternehmen: Marmoran * Sto * Sarnagranol* Wancor* Dyckerhof*		Systeme: Holzlattung Holzmetall Metall (Konsolen, Dübel) Unternehmen: SFS, Wagner (zusammen >90%)	Faserzement 50% Eternit* Verputzelemente 20% Sto-Veratec, Sarnagranol, Dyckerhof Keramik, Kunststein 20% Metalle. Naturstein	
Verlegende und applizierende Firmen	Spezialisierte Fassaden- unternehmen, z.T. auch im Bereich hinterlüftete Fassaden tätig, z.B. BWT*, Nebatherm *	Kleingewerbe (Gipser, Maler, Dachdecker)	Spezialisierte Fassadenfirmen, im Verband SFHF organisiert, z.T. gleichzeitig auch im Bereich Kompaktfassaden tätig. BWT*, Nebatherm*		
* Mit diesen Firmen stand CEPE in direktem Kontakt					
** In Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Fachverband für Hinterlüftete Fassaden (SFHF) führte CEPE eine Umfrage bei seinen Mitgliedsfirmen durch.					

Quelle Darstellung CEPE

Der gesamte Markt für Dämmstoffe aus Mineralwolle beträgt ca. 110'000 t/Jahr. Über die relative Bedeutung der Mineralwolle gibt Tabelle 2.6-4 Aufschluss. Entsprechend dem etwas unterschiedlichen Preis gegenüber den geschäumten Dämmstoffen und der unterschiedlichen Materialeigenschaften sind die Anteile in den einzelnen Anwendungsfeldern verschieden.

Tabelle 2.6-4 Relative Bedeutung des Dämmstoffs „Mineralwolle“ für die verschiedenen Bereiche

	Mineralwolle (Stein- und Glaswolle)	übrige
Hinterlüftete Fassade	>90%	< 10 % (z.B. Pavatherm)
Kompaktfassade	15%	85%
Zweischalenmauerwerk	60%-65%	35% - 40%
Schrägdach	60%	40% (Holzfaser, Isofloc, Geschäumte)
Flachdach	25%	75% (Schaumglas, EPS, XPS)
Dachboden	60%	40%
Kellerdecke	50%	50%

Quelle Führender Schweizerischer Dämmstoff-Hersteller

Tabelle 2.6-5 Schätzung der Umsatzanteile für die verschiedenen Anwendungsbereiche

Bereiche, in welchen das Unternehmen DS1-Dämmstoffe verarbeitet	Anteile in Umsatz % (nominelle Fr)	
	1976-80	2000
Systembau		7%
Hinterlüftete Fassade	20%	17%
Kompaktfassade		10%
Zweischalenmauerwerk	30%	3%
Schrägdach	25%	19%
Flachdach	5%	13%
Dachboden	6%	2%
Kellerdecke	2%	3%
Subtotal Wärmedämmung	88%	75%
Diverse Nichtwärmedämmung (Tram, Brand-, Schallschutz etc)	12%	25%
Total	100%	100%

Quelle Führender Schweizerischer Dämmstoff-Hersteller

Die gesamte Markt der Isoliergläser war während der letzten drei Dekaden in etwa konstant und betrug 2.6 bis 2.9 Mio. m² pro Jahr. Das erscheint im Vergleich zu den Fassaden als viel. Es ist jedoch zu bedenken, dass die Erneuerungsraten im Glas- und Fensterbereich über das Ganze gesehen wesentlich höher sind als bei den Fassaden, weshalb dieser Wert plausibel erscheint. Bzgl. dem Gesamtinvestitionsvolumen (Neubau und Umbau/Erneuerung) haben die EFH und die MFH je einen Anteil von rund 35%. Die Abschätzung zur Aufteilung auf die Fenstertypen ist in Tabelle 2.6-6 widergegeben. Für das Total aller Gebäudekategorien schätzt Immo_Mmonitoring gegenüber dem Neubau höhere Anteile für Kunststofffenster im Umbau/Erneuerungsbereich.

Tabelle 2.6-6 Investitionsanteile der verschiedene Fenstertypen bei EFH und MFH (Neubau und Erneuerung) in %

	Holz	Holz / Metall	Kunststoff	Metall	Summe
EFH	52	17	29	2	100
MFH	34	27	38	1	100

Quelle Immo-Mmonitoring 2001, Teil 3 (Baumarkt), (Wuest und Partner, 2000) **Fazit**

In diesem Kapitel konnten die Grundsteine für die Definition einer plausiblen und in sich stimmigen Referenzentwicklung für die nächsten zehn Jahre gelegt werden (Kapitel 5), auch wenn die wünschenswerte Tiefe der Analyse bis zur Fertigstellung dieses Berichts noch nicht erreicht werden konnte. Die dafür notwendige Gesamtintegration der Neubau- und Umbauinvestitionen, der in diesem Projekt erhobenen Kosten, der Ergebnisse der empirischen Studie zum Erneuerungsverhalten (Jakob et al., 2002) möglichst in ein Modell sollte anschliessend an dieses Projekt in einem nächsten Schritt erfolgen.

3 Die Charakterisierung der heutigen Neubautätigkeit

Die heutige Neubautätigkeit wirft unter energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Reihe von Fragen auf, die zum Teil durch Befragungen und statistische Auswertungen, zum Teil aber nur durch Schätzungen von Fachleuten beantwortet werden können. Zu diesen Fragen zählen folgende:

- Wie gross ist die übliche Abrissrate von Wohngebäuden bzw. von Wohnungen, und wie gross die durchschnittliche Wohnungsgrösse dieser Gruppe?
- Wie gross ist der Flächen- und Wohnungszuwachs in bestehenden Gebäuden infolge Modernisierungs- und Dachausbaumassnahmen?
- Wie ist der wärmetechnische Zustand heutiger Neubauten in Wohngebäuden?

Dieses Kapitel versucht diese Fragen zu beantworten, um eine Ausgangsbasis für die weiteren Analysen und Annahmen in Kap. 6.1 zu legen.

3.1 Neubau und Ersatzneubau

Der Abriss von Wohnungen betrug in der Periode 1985 – 1999 etwa 1650 Wohnungen pro Jahr, d. h. knapp ein Promille des heutigen Gebäudebestandes von vor 1970. Diese Abrissrate war in den 1990er Jahren rückläufig, sie dürfte aber infolge des zunehmend überalterten Gebäudebestandes (ein Promille würde eine durchschnittliche Lebensdauer der Wohngebäude von 1000 Jahren bedeuten) sich in Zukunft deutlich erhöhen (vgl. Kap. I 1).

Der Neubestand der Wohnungen entsteht nicht nur durch Neubauten, sondern auch durch Umbauten und Dachausbauten in bestehenden Wohnungsgebäuden. Dies waren in den vergangenen 15 Jahren durchschnittlich 4000 neue Wohnungen pro Jahr, allerdings mit deutlich rückläufigem Trend seit Mitte der 1990er Jahre (1998 und 1999 jeweils etwa 2800 neue Wohnungen). Man wird davon ausgehen müssen, dass in Zukunft dieses Potential eher vermindert sein dürfte (vgl. Kap. I 1), weil die Möglichkeiten der Wohnungsvergrösserungen und Dachausbauten abnehmen.

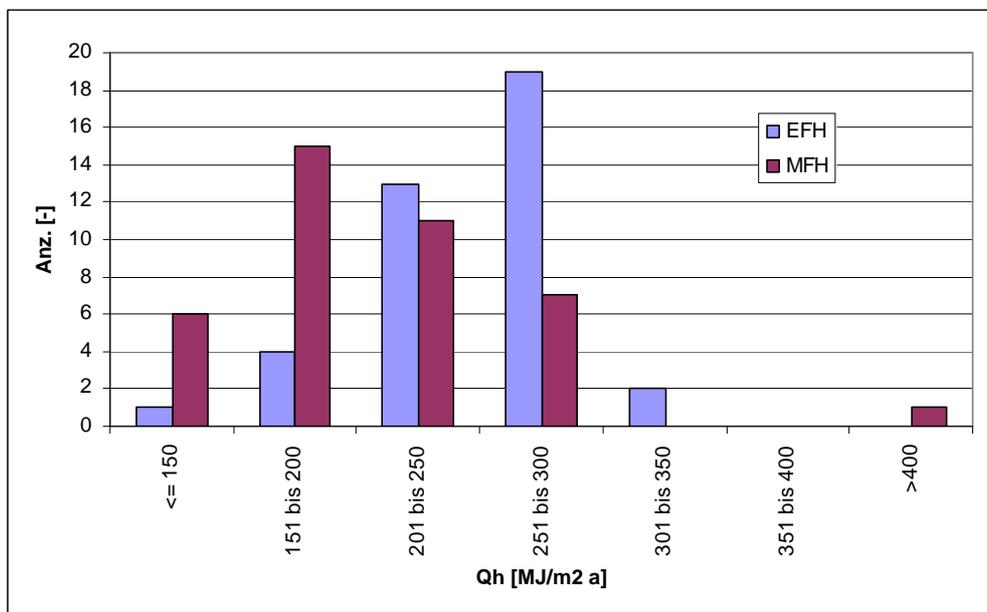
Insgesamt entstanden im Jahre 2000 5.79 Mio m² Energiebezugsflächen, davon 59 % in Ein- und Zweifamilienhäusern. Gegenüber dem Bestand bedeutet dies eine Verschiebung zu den Ein- und Zweifamilienhäusern. Dies ist konsistent mit der Beobachtung, dass das Neuinvestitionsvolumen der MFH in den 1990er Jahren abnahm, bei den EFH jedoch konstant bleibt. Die durchschnittliche Wohnungsgrösse des Gebäudebestands betrug im Jahre 2000 etwa 121 m², wobei die durchschnittliche Grösse der zwischen 1995 und 2000 erbauten Wohnungen nach den vorliegenden statistischen Angaben bei 160 m² EBF je Wohnung lag. Die jährlichen Anstiege der EBF betrug durchschnittlich 1.1 m²/a bei Einfamilienhäusern und 0.5 m²/a bei Mehrfamilienhäusern in den 80er Jahren. Dieser Zuwachs verminderte sich in der zweiten Hälfte der 90er Jahre auf 0.43 m²/a für alle neu gebauten Wohnungen, d.h. um fast die Hälfte.

3.1.1 Energetische und bautechnische Charakterisierung auf Gebäudeebene

Zunächst wird die heutige Neubauweise auf Gebäudeebene beschrieben und anschliessend auf Bauteilebene.

Die Anforderung an den Heizwärmebedarf für Neubauten in der Schweiz liegt nach der „alten“ Berechnungsnorm SIA 380/1 bei 330 MJ/m²a für EFH und bei 300 MJ/m²a für MFH. Dieser Wert wurde in der Periode 1993-2001 für eine Auswahl von Gebäuden für die Regionen Zürich und

Bern weitgehend eingehalten (vgl. Abbildung 3.1-1). Interessant ist, dass infolge des günstigeren Verhältnisses von Gebäudehüllen- zu Energiebezugsflächen bei Mehrfamilienhäusern das Maximum bei 150-200 MJ/m²a mit einem Anteil von 37,5% in der Stichprobe liegt, d.h. zwischen einem verbesserten Zielwert des heutigen Baustandards und dem Minergiestandard. Immerhin erreichten etwa 2,5% der Einfamilienhäuser und 15% der Mehrfamilienhäuser 150 MJ/m²a.



Quelle: Energienachweise SIA 380/1 in den Regionen Zürich, Aargau und Bern (106Bauten). Erhebung CEPE.

Abbildung 3.1-1 Heizwärmebedarf von Neubauten von Ein- und Mehrfamilienhäusern in der Periode 1993-2001 (n=106)

Dem Umstand, dass der Energiebedarf nebst der energietechnischen Bauweise auch sehr stark von der Gebäudeform abhängt, wurde schon in der bisher in vielen Kantonen gültigen Musterverordnung (MuKE) und in der neuen Berechnungsnorm SIA 380/1 Rechnung getragen, indem der Grenz- und auch der Zielwert von der Gebäudehüllenziffer A/EBF abhängt. A ist dabei die „beheizte“ Fläche gegen aussen, unbeheizte Räume oder Erdreich, wobei für die beiden letztgenannten Korrekturfaktoren zur Anwendung kommen (vgl. Tabelle 3.1-1).

$$H_g = H_{go} + \Delta H_g \cdot (A/EBF)$$

Tabelle 3.1-1 Grenzwerte für den Heizwärmebedarf pro Jahr von Neubauten

	H_{go}	ΔH_g
MFH	80	90
EFH	90	90

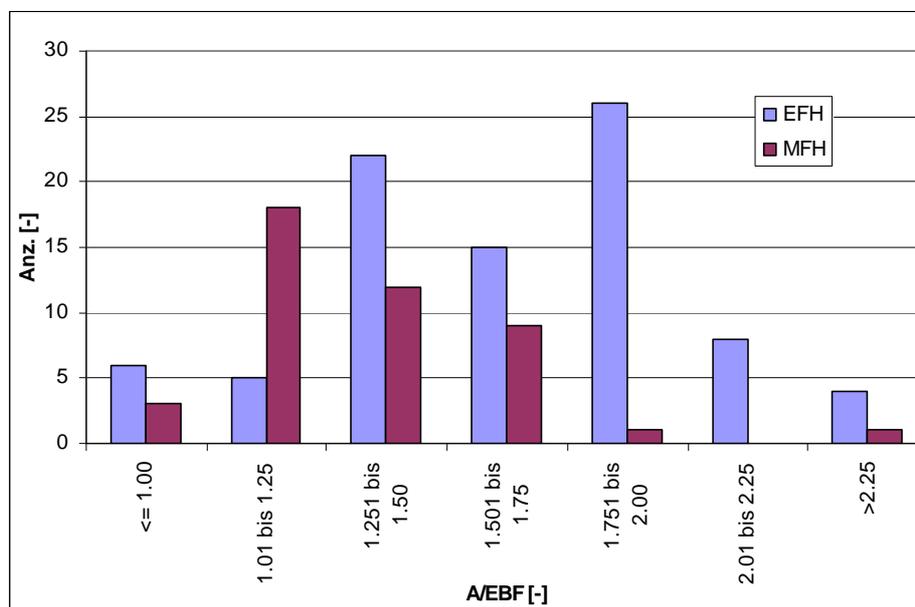
Quelle: SIA Dokumentation D 1070, Thermische Energie im Hochbau, Leitfaden zur Anwendung der Norm 380/1

Die neue Norm SIA 380/1 wurde im April 2001 in Kraft gesetzt und die alte Version war nur noch bis Ende 2001 gültig. Die Zielwerte dieser neuen Norm liegen 60% tiefer und entsprechen dem Absenkpfad SIA für das Jahr 2020. Aus den obigen Grenzwerten ergeben sich die Anforderungen, die für typische A/EBF-Werte in Tabelle 3.1-2 aufgeführt sind.

Tabelle 3.1-2 Grenzwerte nach der neuen Berechnungsnorm 380/1 in Abhängigkeit der Gebäudehüllzahl, in MJ/m²a.

A/EBF	MFH	EFH
1	170	180
1.5	215	225
2	260	270

Da der Energiebedarf eines Gebäudes nicht unwesentlich vom Verhältnis der Gebäudehüllenfläche zur Energiebezugsfläche, der Gebäudehüllenziffer, abhängig ist, wurden 168 Neubauten in dieser Hinsicht ausgewertet. Das Maximum liegt für Mehrfamilienhäuser im Bereich 1.0 bis 1.25 mit 41%; der Wert über 2.0 ist praktisch eine Ausnahme (vgl. Abbildung 3.1-2). Die Einfamilienhäuser haben ein Doppelmaximum bei 1.25 bis 1.5 mit 26% und bei 1.75 bis 2.0 mit 30%. Bei den tiefen A/EBF handelt es sich mit grosser Wahrscheinlichkeit um Reiheneinfamilienhäuser, ein freistehendes EFH mit einem solch tiefen A/EBF ist aus geometrischen Gründen kaum möglich. Die Reiheneinfamilienhäuser scheinen in der Stichprobe eher übervertreten zu sein.



Quelle: Energienachweise SIA 380/1 in den Regionen ZH, AG, BE (106 Bauten); Auswertung für Ökokredite der Luzerner Kantonalbank in der Region Luzern (18 Bauten); Minergieagentur Bern (44 Bauten)

Abbildung 3.1-2 Verteilung der Gebäudehüllenziffer A (bezogen auf die Energiebezugsfläche) für Neubauten der Periode 1993-2001 für Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser (n=168)

Die Ergebnisse der obigen Auswertung werden ergänzt durch eine Erhebung von Wüest & Partner (2000) im Auftrag des Bundesamtes für Energie, die durchschnittlichen Energiekennzahlen für Neubauten (Raumheizung **und** Warmwasser) zu 13 Kantonen vorlegt. Die mittlere Energiekennzahl Wärme (Raumheizung und Warmwasser) beträgt im untersuchten Sample 393 MJ/m²a. Unter den 13 untersuchten Kantonen bestehen zum Teil grosse Unterschiede. Der Bereich erstreckt sich von 307 bis 555 MJ/m²a (Wüest&Partner, 2000), wobei sich 8 Kantone innerhalb einer Abweichung von plus/minus 10 Prozent bewegen.

Die Einfamilienhäuser weisen einen tieferen Wert von 390 MJ/ m²a als die Mehrfamilienhäuser mit 419 MJ/m²a auf. Dieses Resultat zeigt die positive Auswirkung der höheren gesetzlichen Auflagen, wonach die mittlere Energiekennzahl der Neubauten gegenüber den Altbauten praktisch halbiert werden konnte (Wüest&Partner, 2000). Berücksichtigt man den Energiebedarf für Warmwasser zwischen 50 und 90 MJ/m²a und Jahresnutzungsgrade zwischen etwa 88% und 93% (HEL bzw. Gas-Brennwertkessel zzgl. Verteilverluste), so variieren die Ergebnisse des Heizwärmebedarfs zwischen 190 MJ/m²a und 450 MJ/m²a.

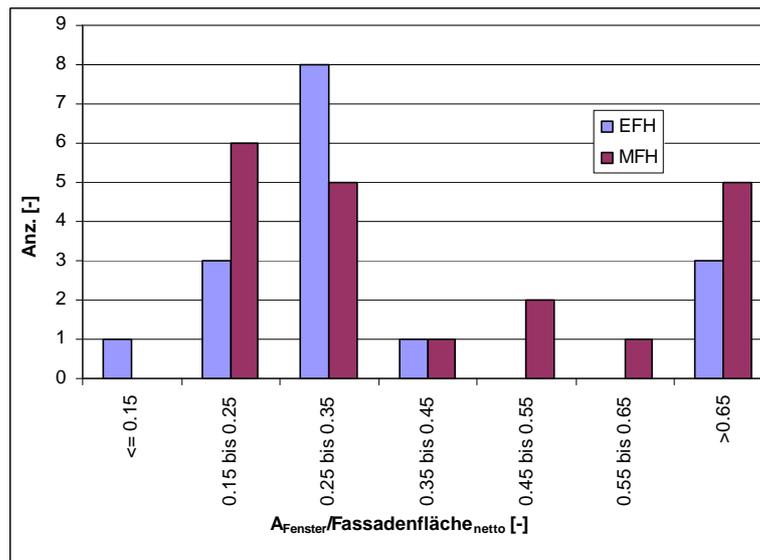
Zum Zweck der Energiemodellierung und der Fortschreibung der Entwicklung im Gebäudebestand ist es hilfreich, die empirisch erhobenen EKZ auf der Ebene des Heizwärmebedarfs zu interpretieren und dabei die festgestellte bzw. vermutete Segmentierung der Neubauweise aufzunehmen. Dabei gilt es, möglichst viele Annahmen empirisch abzustützen. Bekannt ist der Durchschnitt der EKZ, woraus der Heizwärmebedarf abgeschätzt werden kann (siehe oben). Weiter liegen Schätzungen über den Anteil der Mineregiegebäude vor. Sie liegen 2001 bei den EFH zwischen 5% und 8%, Tendenz steigend. Der Anteil war auch in den fünf Jahren davor steigend, weshalb der Durchschnitt für diese Fünfjahresperiode tiefer liegen muss. Eine Annahme über das Q_h der „schlecht“ gebauten bzw. geplanten Gebäude ergänzt die Betrachtung, deren Resultat in Tabelle 3.1-3 dargestellt ist.

Tabelle 3.1-3 Mögliche Interpretation der gemessenen EKZ auf Nutzenergieebene (Heizwärmebedarf) für Ein- und Mehrfamilienhausneubauten

	Heizwärmebedarf Q _h (MJ/m ² a)				Anteile (%)			
	Durchschnitt	Minergie	MuKE	schlecht	Minergie	MuKE	schlecht	
EFH	1996-00	300	150	280	400	4%	75%	21%
	2001-05	280	140	270	380	8%	73%	19%
	2006-10	260	130	260	370	15%	67%	18%
MFH	1996-00	270	120	240	360	1%	73%	26%
	2001-05	255	120	230	360	3%	75%	22%
	2006-10	240	120	230	350	10%	73%	18%

Quelle Darstellung CEPE

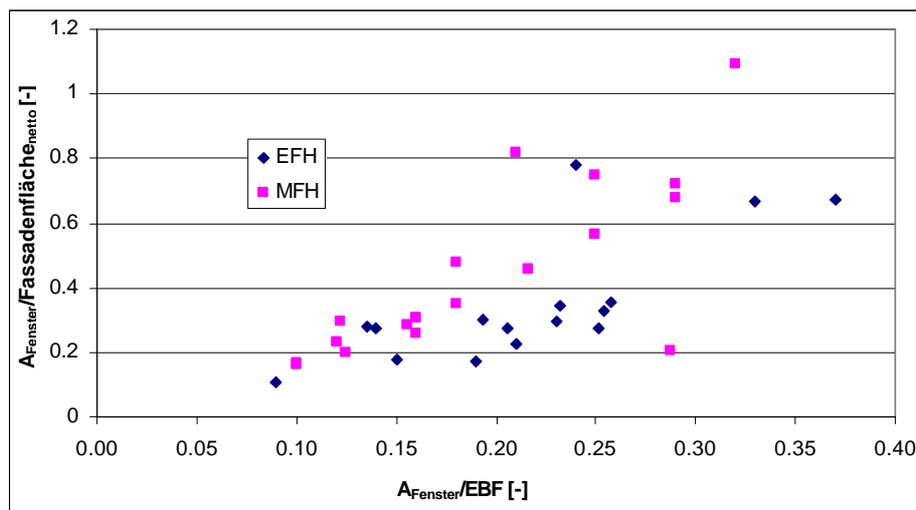
Ein weiterer Einfluss auf den Heizwärmebedarf ist das Verhältnis Fenster-zu-Fassadenfläche. Die hier netto bezeichnete Fassadenfläche umfasst nur die opaken Anteile, also nicht die Fensterflächen. Nach den Auswertungen des CEPE sind die Fensterflächenanteile der Gebäude auf zwei Häufigkeitsbereiche konzentriert, zum einen zwischen 15% und 30% und zum andern bei über 60% (vgl. Abbildung 3.1-2). Dies gilt insbesondere für Einfamilienhäuser mit entweder konventionellen oder stark geöffneten Fassaden („Solarenergiehäuser“). Allerdings ist die Gesamtzahl der auswertbaren Objekte relativ gering und damit die Aussagen zur Verteilung mit Vorbehalt zu verstehen.



Quelle: Energienachweise SIA 380/1 in den Regionen Zürich, Aargau und Bern (106 Bauten). Erhebung CEPE.

Abbildung 3.1-2 Verhältnis Fensterfläche zu Fassadenfläche bei Neubauten von Ein- und Mehrfamilienhäusern in der Periode 1993-2001

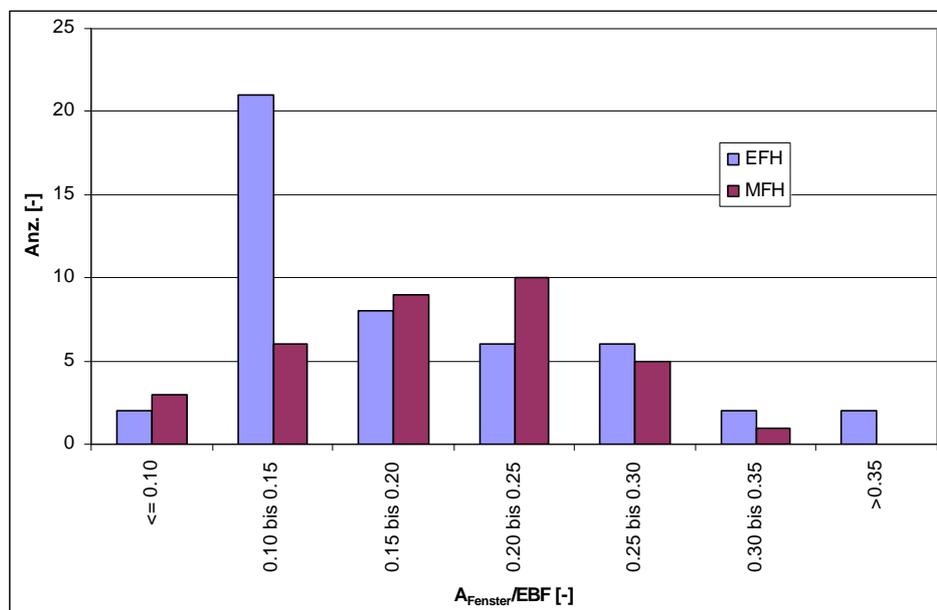
Zwischen dem Anteil der Fensterfläche bezogen auf die Energiebezugsfläche und dem Fensterflächenanteil bezogen auf die Fassadenfläche besteht verständlicherweise ein Zusammenhang (vgl. Abbildung 3.1-3). Dieser ist hilfreich bei der Variation der Fensterflächen im Bottom-up Ansatz des Neubaus (vgl. Kapitel 4.2.8 Und Kapitel 1.1). Die im bottom-up Ansatz betrachteten Neubauten (Kapitel 1.1) stehen in etwa im Mittelfeld der dargestellten Gebäude, d.h. bei einem Fensterflächen-/EBF-Verhältnis von 0.2 und einem Fenster-/Fassadenverhältnis von etwa 0.3. Damit handelt es sich beim Referenz-Wohngebäude im Kapitel 1.1 weder um ein sehr geschlossenes noch um ein sehr geöffnetes Haus.



Quelle: Energienachweise SIA 380/1 in den Regionen Zürich, Aargau und Bern. Erhebung CEPE.

Abbildung 3.1-3 Verhältnis Fensterfläche zu Fassadenfläche in Abhängigkeit des Verhältnisses Fensterfläche/EBF (n=34)

Bei einer Auswertung der Relation Fenster- zur Energiebezugsfläche mit einem grösseren verfügbaren Sample fällt auf, dass die Einfamilienhäuser im Durchschnitt etwas mehr geschlossener sind als die Mehrfamilienhäuser (vgl. Abbildung 3.1-4): zwei Drittel der Einfamilienhäuser hatten einen Wert bis 0.2, während nur 53% der Mehrfamilienhäuser diese eher geschlossene Bauweise auswiesen.



Quelle: Energienachweise SIA 380/1 in den Regionen Zürich, Aargau und Bern (106 Bauten). Erhebung CEPE.

Abbildung 3.1-4 Verteilung des Verhältnisses von Fenster- zu beheizter Wohnfläche der Neubauten zwischen 1993-2001 für Ein- und Mehrfamilienhäuser

3.1.2 Bauteile und bauliche Varianten

Nebst der Betrachtung auf Gebäudeebene lässt sich die heutige Neubauweise auch auf Ebene der einzelnen Bauteile einfangen. Die heute angewendeten energie- und bautechnischen Kennwerte (Dämmstärken bzw. U-Werte, g-Werte etc.) stützten sich auf Angaben der Fassadenfirmen (Hinterlüftete Fassaden, Kompaktfassaden), Dachunternehmen, Fensterhersteller und Glaslieferanten. Um die Einheitspreise der verschiedenen Neubauweisen gesamtschweizerisch gewichten zu können, wurden die Unternehmen zusätzlich zu den technischen Kennwerten in einzelnen Bereichen zu den Häufigkeiten der ausgeführten Neubauvarianten befragt.

a) Fassaden

Im Bereich der hinterlüfteten Fassaden wird heute laut Angaben der Unternehmen durchgängig mindestens 12 cm wärme gedämmt, teilweise routinemässig 14 oder 15 cm. Ausser einem Plateau nach Mitte der 80er Jahre ist ein Trend zu höheren Dämmstärken seit den Mitte der 70er Jahre angegeben (vgl. auch Abbildung 2.4-2). Auch bei den Kompaktfassaden sind laut den heute 10 cm bis 12 cm Dämmstärke Standard, wie die spezialisierten Fassadenunternehmen, die sogenannten Systemhalter bestätigen.

b) Dächer

Es ist zu erwarten, dass auch im Neubau die Grenzkosten unterschiedlich sind je nachdem, ob die Dachschräge oder der Estrichboden gedämmt wird. Deshalb wurden die SVDW-Unternehmen nach den Dachausbauvarianten befragt.

Tabelle 3.1-4 Häufigkeit der Dachausbauvarianten bei EFH- und MFH-Neubauten. Anzahl Nennungen, Basis 12 Unternehmen

Dachausbauvarianten	EFH				MFH			
	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig
Dachraum wird zu Wohnzwecken ausgebaut	4	3	2	2	3	3	4	1
Dachraum wird zu späterem Ausbau vorbereitet	1	2	6	2	1	1	3	6
kalter Dachraum	2	1	3	4	-	-	4	6

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen, 2001

Ein kalter Dachraum, evtl. für einen späteren Ausbau vorbereitet, ist bei den MFH zwar auch zu beobachten, weitaus häufiger wird der Dachraum jedoch zu Wohnzwecken ausgebaut (vgl. Tabelle 3.1-4). Wird der Dachraum für einen späteren Ausbau vorbereitet, ist damit zu rechnen, dass die Dachschräge und nicht der Estrichboden gedämmt wird, schätzungsweise zu über 80%. Bei den EFH ist ein kalter Dachraum etwas häufiger als bei den MFH, aber auch hier überwiegt wohl die Dämmung der Dachschräge gegenüber dem Estrichboden mit schätzungsweise zwei Drittel zu einem Drittel. Am häufigsten werden die Wärmedämmung auf den Sparren und diejenige zwischen den Sparren genannt. Die Varianten, die bzgl. der Sparren zwei Bereiche umfassen (auf und zwischen bzw. zwischen und unter den Sparren), sind markant weniger häufig (vgl. Tabelle 3.1-5).

Tabelle 3.1-5 Häufigkeit von Ausführungs- und Wärmedämmvarianten bei Neubauten mit Schrägdach. Anzahl Nennungen, total 12 Unternehmen.

Varianten	EFH				MFH			
	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig
Wärmedämmung nur auf den Sparren	1	3	1	6	-	3	3	5
Wärmedämmung auf und zwischen den Sparren	1	-	1	8	1	-	1	7
Wärmedämmung nur zwischen den Sparren	2	6	1	1	2	3	4	2
Wärmedämmung nur zwischen und unter den Sparren	-	1	5	3	-	1	4	5
Dämmung des Dachbodens bzw. der obersten Decke	-	1	2	6	-	2	1	6

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen, 2001

Die typische mittlere Dämmstärken beträgt rund 14 cm, kann aber durchaus auch mehr (16 cm oder 18 cm) betragen, unter Umständen auch nur 12 cm (vgl. Tabelle 3.1-6). Weniger als 12 cm sind laut Angaben der Unternehmen eher selten, nicht zuletzt weil damit der Grenzwert in der Bauteilbetrachtung unter Berücksichtigung der Inhomogenität (Sparren bzw. Lattung) kaum mehr eingehalten werden kann bzw. eine vergleichsweise günstige Wärmeschutzmassnahme nicht genutzt wird, um den Systemnachweis einzuhalten. Bei der Zwischensparrendämmung ist eine geringere Dämmstärke u.U. sogar mit Mehrkosten verbunden.

Tabelle 3.1-6 Häufigkeit der Dämmstärken bei Neubauten mit Steildächern. Anzahl Nennungen, Total 12 Unternehmen.

	EFH				MFH			
	sehr häufig	häufig	Verbreitet	wenig	sehr häufig	häufig	verbreitet	wenig
8 cm - 10 cm	-	-	-	6	-	-	1	5
10 cm - 14 cm	4	2	3	2	5	2	3	1
14 cm - 18 cm	2	3	1	3	1	4	1	3
> 18 cm	-	-	1	4	-	-	1	6

Quelle CEPE-Umfrage bei SVDW-Mitgliedunternehmen, 2001.

Zu Flachdachneubauten haben nur zwei Unternehmen Angaben gemacht; die übliche Dämmstärke scheint sich auch hier bei rund 14 cm zu bewegen.

c) Fenster

Bei der Erhebung von Fensterpreisen (siehe Kapitel 4.3) wurden Glas-U-Werte, Rahmenmaterialien und deren U-Werte abgefragt.

Zu über 90% des Marktes werden heute zweifach verglaste Fenster mit einem U-Wert von 1.1 W/m²K nachgefragt. In der Westschweiz werden teilweise noch Fenster mit einem U-Wert von 1.3 W/m²K eingebaut. Andererseits werden insbesondere für Minergie-Bauten bessere Gläser, insbesondere Dreifach-Verglasungen eingesetzt. Im MINERGIE-Fenster-Modulvertrag wurden ein U-Wert der Verglasung (inkl. Rahmen) unter 1.3 W/m²K und ein g-Wert für Fenster und Sonnenschutz zusammen von unter 0.15 festgelegt. Bereits vorgesehen ist, dass im Jahr 2003 diese Werte noch verschärft und durch Anforderungen an den Einbau der Fenster in die Fensterleibung sowie an die Dämmung der Storenkästen ergänzt werden. Der Gesamtanteil dieser Fenster beträgt – bei steigender Tendenz – im Moment aber noch nicht mehr als rund 5%.

Laut übereinstimmenden Angaben der Fensterhersteller und der Glasanbieter werden immer noch die Gläser mit Alu-Abstandshalter am meisten nachgefragt. Dies ist einigermaßen erstaunlich, denn die Edelstahl- oder Kunststoff-Abstandshalter wären unter engergetischen Gesichtspunkten eigentlich wirtschaftlicher (ein geringer Mehrpreis macht – vor allem bei tiefen Glas-U-Werten - eine Energieeinsparung von bis zu 15% möglich, vgl. Kap. 4.3.7).

Bei den Rahmen ist beim Holz ein 54 mm starker Holz-Rahmen sehr verbreitet. Einige Unternehmen arbeiten mit erhöhten Rahmenstärken, z.B. 58 mm oder mehr. Aufgedoppelte Dämmungen, Verbundrahmen mit Dämmkern etc. sind bei immer mehr Unternehmen im Angebot zu finden, bilden aber bzgl. der Verkäufe eine Minderheit. Beim Kunststoffrahmen bilden die stahlarmierten Rahmen immer noch eine grosse Mehrheit, wenn auch namhafte Fensterhersteller mit GFK-armierten Rahmen durchaus signifikante Anteile erzielen.

Die häufigsten Werte der U-Werte für Fensterrahmen liegen bei 1.4 bis 1.6 W/m²K (vgl. Tabelle 3.1-7)

Tabelle 3.1-7 Referenz-Rahmen-U-Werte der befragten Unternehmen

Rahmen-U-Wert W/m ² K	Anzahl Unternehmen	
	Holz / Holz-Metall	Kunststoff
>1.6	2	3
1.6	14	4
1.5	18	2
1.4	15	3
<1.4	4	1

Quelle CEPE-Umfrage bei Fensterherstellern, 2001

Für die Grenzkostenbetrachtung werden aufgrund dieser Erkenntnisse aus den Umfragen die Werte gemäss Tabelle 3.1-8 angenommen.

Tabelle 3.1-8 Technische Kennwerte bei heute eingebauten Fenstern, Annahmen für die Referenzwerte der Grenzkostenbetrachtung

	Glas-U-Wert W/m ² K	Rahmen-U-Wert W/m ² K	Abstandshalter W/mK
Holz, Holz-Metall	1.1	1.4 - 1.6	0.07
Kunststoff	1.1	1.5 - 1.7	0.07

