

Kosten und Nutzen

Wärmeschutz bei Wohnbauten

Legende: NK Nebenkosten
 netto Aufwand exkl. MwSt
 brutto Aufwand inkl. MwSt

1. Kosten:	netto Fr.	MwSt. %	brutto Fr.
Plan- und Heizöl	10000		10000
Empfehlung	200		200
Kaminregler	200	7,6	213
Anteil Tankrevision	842	7,6	906
Verwaltungshonorar	421	7,6	453
Bestand Heizöl 30.6.2002	-3000	7,6	-3228
Gesamtkosten	13526		14554

2. Heizkostenverteiler 40 % fix nach Raumgrösse
 60 % variabel nach Verbrauchszähler

Wohnung 3-stufig

Fixanteil 25 % Anteil vom 40 % Gesamtwert 10 %
 Variabelanteil 75 % Anteil vom 60 % Gesamtwert 45 %
 Totalbelastung in % der Gesamtkosten = 22 %

3. Effektive Heizkosten:

(22 % von 14554 Fr.)

3202

In bestehenden Gebäuden liegt ein enormes Potenzial zum Verbessern des Wärmeschutzes.

Impressum

2 Herausgeber: Bundesamt für Energie (BFE), Bern
Autoren: Eberhard Jochem, Martin Jakob, CEPE ETH Zürich

Redaktion: Thomas Glatthard, Luzern

Grafiken: Martin Jakob, Christine Sidler

Fotos: EMPA, Abt. Bauphysik (Thermographie

Titelseite), Urs E. Meier/Nick Mijnsen (S. 4),

Viridén + Partner/Nina Mann (S. 8, 12), Fischer +

Visini (S. 10), Minergie-Verein (S. 14), Thomas Glatthard (S. 15), Ueli Schäfer/Patrick Hofmann (S. 16)

Übersetzung (franz. Ausgabe): Pierre Grandjean,

Sylvain Bauhofer, BFE

Schlussredaktion und Produktion: René Mosbacher,

Christine Sidler, Oerlikon Journalisten AG

Druck: Bundesamt für Bauten und Logistik, BBL

Finanzielle Unterstützung: Forschungsprogramm

Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG) des

Bundesamts für Energie (BFE), Verein Minergie,

Flumroc AG

Aktualisierter Nachdruck 2004

Auflage: 500

Vertrieb:

• BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern

www.bbl.admin.ch/bundespublikationen

Art.-Nr. 805.330.d

• Geschäftsstelle Minergie, Steinerstrasse 37, 3000

Bern 16, Tel. 031 350 40 60,

E-Mail info@minergie.ch

Preis: 10 Franken

Diese Publikation beruht im Wesentlichen auf den folgenden drei Studien im Rahmen des Programms Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG).

• «Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienzmassnahmen bei Wohngebäuden», CEPE und HBT ETH Zürich, Paul Scherrer Institut PSI. Projektleitung: E. Jochem, CEPE, M. Jakob, CEPE. Zusammenarbeit: K. Christen, Dep. Architektur, HBT, ETH Zürich; H. Huber, HTA Luzern; A. Muggler, Schweizerischer Verband für Dach und Wand (SVDW); Ch. Weder, Schweizerischer Fachverband für Hinterlüftete Fassaden (SFHF); St. Häberli, Schweizerische Gesellschaft für Bauökonomie (AEC).

• «Direkte und indirekte Zusatznutzen bei energieeffizienten Wohngebäuden», econcept und CEPE, Zürich. Projektleitung W. Ott, econcept, Bearbeitung M. Baur, econcept und M. Jakob, CEPE, ETH Zürich

• «Erneuerungsverhalten im Bereich Wohngebäude», M. Jakob, E. Jochem, CEPE, ETH Zürich

Begleitgruppe dieser Publikation: R. Meier (EWG), R. Vogel (SRT Architekten, Zürich), H.P. Bürgi (Minergie Agentur Bau/BSR Architekten, Bern), P. Hofer (Prognos, Basel), H. J. Jeker (Jeker Blanckarts Architekten, Basel), 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)

Bezugsquelle für die Studien auf Seite 24.

Inhalt

Energieeffizienz am Bau	
Richtig gerechnet?	4
In die Zukunft geschaut	5
Erneuerungen: grosses Potenzial	6
Wohnbedürfnisse von morgen	7
Tipps für Erneuerungen	
Im Dach liegt viel drin	8
Die Fassade dankt's	10
Neue Fenster braucht das Haus	12
Die Lüftung schafft Komfort	14
Kleinere Heizsysteme	15
Tipps für den Neubau	
Grosse Fenster ernten Wärme	16
Das Haus als Gesamtsystem	18
Tipps für die Wohnungswirtschaft	
Begleitende Nutzen – oft vergessen	20
Chancen nicht verpassen!	21
Folgerungen für die Politik	
Die Entwicklung anstossen	22
Aktionsplan: 12 Punkte	23
Info+	24

Energieeffizienz am Bau

Richtig gerechnet?

4 In der Schweiz macht der Raumwärmebedarf ein Drittel des gesamten Nutzenergiebedarfs aus. Hier liegt ein grosses Potenzial zum Steigern der Energieeffizienz, zum Senken von CO₂-Ausstoss und Heizkosten.

Durch technische Massnahmen liess sich der durchschnittliche Raumwärmebedarf aller Schweizer Gebäude langfristig problemlos um rund zwei Drittel senken. Damit wäre der heutige Standard für Neubauten um rund die Hälfte unterschritten. Mit etwas weiter gehenden Massnahmen können weitsichtige Bauherrschaften den Minergie- oder gar den Minergie-P-Standard erreichen. Damit sind Verbesserungen um den Faktor fünf und mehr zu erreichen.

Oft wird aber bei der Instandsetzung von Fassaden nur schadhafter Putz ausgebessert und neu gestrichen. Und beim Neu-

bau wird nur so viel Wärmeschutz betrieben, wie die kantonalen Vorschriften fordern. Ist solches Verhalten angesichts der langen Erneuerungszeiten von Fassaden (40 bis 60 Jahre) und Fenstern (25 bis 30 Jahre) noch angemessen?

Fehlbewerteter Wärmeschutz?

Als wichtigstes Argument gegen Investitionen in den Wärmeschutz wird immer wieder die fehlende Rentabilität aufgeführt. Wird hier nicht häufig die Rechnung mit den Baukosten von gestern und den Energiepreisen von heute gemacht? Und ginge es bei der Bewertung von Wärmeschutz- und Erneuerungsinvestitionen nicht um mehr als nur den energetischen Nutzen? Sind die geldwerten begleitenden Nutzen wie höherer Wohn- und Bedienungskomfort, besserer Lärm- schutz, zusätzliche Sicherheit und bes-

sere Vermietbarkeit in der Rentabilitätsrechnung berücksichtigt?

In Wirklichkeit werden solche begleitenden Nutzen meist gar nicht in Betracht gezogen und schon gar nicht quantifiziert; ihr monetärer Wert ist meist unbekannt. Gerade hier liegen jedoch für Wohnungswirtschaft, Mietende und Bauherrschaft wichtige Aspekte zum angemessenen ökonomischen Bewerten derartiger Investitionen.

Wenn die Rentabilitätsrechnungen aber solche Mängel haben, wird dann generell beim Wärmeschutz nicht massiv unter-, ja fehlinvestiert? Diese Publikation greift solche Fragen auf und gibt wertvolle Hinweise für Bauherrschaft, Architekten, Wohnbauunternehmen, Wohnwirtschaft und Politik. Sie stützt sich dabei auf Erkenntnissen aus drei kürzlich verfassten Studien (siehe Impressum).

Gebaut 1964, nach Minergie-Standard erneuert 2001: die Siedlung Zugermatte in Baar.



In die Zukunft geschaut

Für Investitionen in den Wärmeschutz spricht eine ganze Reihe von Veränderungen, die mittelfristig zu erwarten sind. Zum Beispiel bei den Brennstoffpreisen: Einige Trends und Fakten weisen nämlich darauf hin, dass man die heutigen Brennstoffpreise in Zukunft als sehr niedrig bezeichnen wird.

Preiserhöhungen sind beispielsweise als Folge des CO₂-Gesetzes zu erwarten. Es verlangt, dass die CO₂-Emissionen in der Schweiz um 10% zwischen 1990 und 2010 verringert werden. Dies dürfte nach den Erfahrungen der vergangenen 13 Jahre nur noch möglich sein, wenn ab 2006 eine CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffe erhoben wird. Eine Abgabe in Höhe von beispielsweise 50 Fr./t CO₂ würde Erdgas um gut 1 Rp./kWh (rund 20%) verteuern und Heizöl um knapp 15 Rp./l (rund 30%).

Hinzu kommen in den nächsten Jahrzehnten wahrscheinlich anhaltend steigende Marktpreise für fossile Brennstoffe. Das Produktionsmaximum für Erdöl dürfte zwischen 2020 und 2030 erreicht sein. Danach muss mit Preisschüben nicht nur beim Erdöl, sondern auch bei anderen fossilen Brennstoffen gerechnet werden. Zudem werden Konflikte in labilen Förderregionen wie dem Nahen Osten das Erdöl immer mal wieder sprunghaft verteuern.

Auch die Rahmenbedingungen für die Finanzierung werden sich ändern. Ab 2006 verpflichtet das Abkommen Basel II Banken, die Bonität jedes Kunden zu bewerten. Ungenügend erneuerte Gebäude und damit verbundene Leerstände können schlechtere Zinskonditionen nach sich ziehen. Schliesslich wird auch der steigende Anteil älterer Menschen an der Bevölkerung den Wohnungsmarkt prä-

gen. Er wird den ohnehin schon steigenden Bedarf nach komfortablen Wohnungen weiter erhöhen.

Begleitende Nutzen

Wie die eingangs erwähnten Studien zeigen, sind Wärmeschutzmassnahmen bei ungedämmten Gebäuden in den meisten Fällen rentabel oder sehr nahe dran. Dies gilt um so mehr, wenn man die Energiepreissrisiken während der langen Nutzungsdauer und die begleitenden Nutzen berücksichtigt.

Beide Aspekte werden aber heute noch kaum in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen einbezogen. Zu den begleitenden Nutzen gehören beispielsweise höherer Wohnkomfort, Lärmschutz, vermiedene Krankheiten, geringere Leerstandsrisiken und zusätzliche Wertsteigerung des Gebäudes. Sie können für Investoren den gleichen oder gar höheren ökonomi-

5
schen Nutzen erreichen als die erzielten Einsparungen beim Energieverbrauch.

Aus energie- und gesamtwirtschaftlicher Sicht sind weitergehende Wärmeschutzmassnahmen an Gebäuden ohnehin kosteneffizient. Hier müssen ausser den begleitenden Nutzen auch vermiedene externe Kosten von Luftschadstoffen und der Treibhausgase mit einbezogen werden.

Bei Gebäuden lässt sich CO₂ billiger vermeiden als in vielen anderen Bereichen. Hinzu kommen zusätzliche Beschäftigungseffekte, die lokal und regional gut verteilt sind. Sie entstehen im Wesentlichen, weil importierte fossile Energieträger durch einheimische Leistungen ersetzt werden, sei es bei der Planung, beim Bau, der Instandhaltung oder bei der Herstellung von Wärmeschutzprodukten.

Elemente einer umfassenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Betriebswirtschaftliche Sicht

- Dynamische, zukunftsorientierte Betrachtung von Nachfrage und Bedürfnissen der Wohnbevölkerung
- Berücksichtigung des steigenden ökonomischen Werts von begleitenden Nutzen
- Korrelieren der Zinskosten zur Risikoexposition (Leerstände, Energiepreissrisiken, Wertentwicklung)
- Berücksichtigen der Energiepreise über die Lebensdauer von vier bis sechs Jahrzehnten

Volkswirtschaftliche Sicht

- Energieeffizienz als Basis für den Klima- und den Umweltschutz
- Minderung der wirtschaftlichen Risiken von Energiepreisschwankungen
- Energieeffizienz bietet Chancen für innovative Produkte (auch für den Export) und neue Arbeitsplätze
- Zeitlich begrenzte Förderung löst Lerneffekte aus und senkt die Investitionskosten

Nur die gesamtheitliche Betrachtung zeigt die wirklichen Kosten und Nutzen eines weiteren Wärmeschutzes.

Erneuerungen: grosses Potenzial

6 Ab den 1970er Jahren kamen Dämmtechniken und Fenster auf den Markt, mit denen sich bestehende Gebäude energetisch markant verbessern liessen. So kann heute etwa der Transmissionswärmeverlust durch den Ersatz der Fenster je nach Ausgangslage um die Hälfte bis zwei Drittel reduziert werden. Zudem verringern sich die Lüftungsverluste.

Bei Fassaden und Dächern können heute übliche Dämmungen den Wärmeverlust gar um 70 % und mehr verringern. Bisher wurden diese technischen Möglichkeiten bei der Gebäudeerneuerung aber sehr zögerlich genutzt. Dies zeigt eine umfangreiche Erhebung über 2000 Wohngebäude, je zur Hälfte Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser.

Am häufigsten wurden in den letzten 15 Jahren die Fenster erneuert. Dies ist bei 40 % bis 60 % aller Gebäude mit Baujahr bis Mitte der 1970er Jahre der Fall. Meistens wurden die Fenster dabei ersetzt. Zwar ist der Anteil der erneuerten Fassaden beinahe ebenso hoch wie bei den Fenstern, nämlich rund 35 % bis über 50 %, je nach Bauperiode. Hierbei handelt es sich meist aber nur um eine Instandsetzung ohne energetischen Effekt, d. h. um die Ausbesserung des Put-

zes und einen Neuanstrich. Eine Fassadenwärmedämmung erhielten nur rund 10 % bis gut 15 % aller untersuchten Gebäude. Spitzenreiter sind Mehrfamilienhäuser der Bauperioden 1947 bis 1975, sie erhielten zu 25 % bis 35 % eine Dämmung. Bemerkenswerterweise sinkt hier der Anteil erneuerter Fassaden, wenn der Eigentümer selbst im Haus wohnt. Die Gründe hierfür werden derzeit in einer neuen Studie untersucht.¹

Verpasste Chancen

Insgesamt wird der Wärmeschutz also häufig vernachlässigt. Zwei Drittel der Mehrfamilienhausbesitzer und drei Viertel der Einfamilienhausbesitzerinnen nutzten in den vergangenen 15 Jahren den Renovierungszyklus nicht zur wärmetechnischen Erneuerung ihrer Gebäude. Damit liessen sie eine gewaltige Chance ungenutzt zur Heizkostenreduktion, zur Komfort- und Wertsteigerung, zur CO₂-Minderung, sowie zum Schutz der Umwelt.

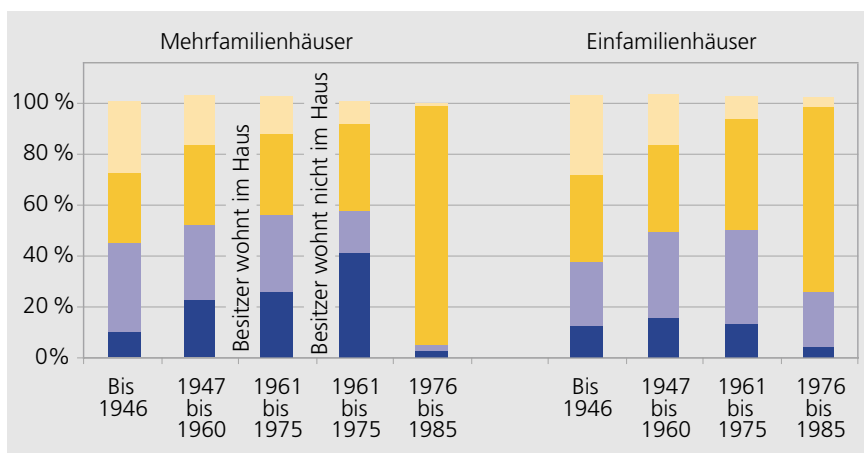
Entsprechend gross ist das verbleibende Energiesparpotenzial bei Erneuerungen. Viel Handlungsbedarf haben beispielsweise die Fassaden von Ein- und Mehrfamilienhäusern der Bauperioden vor 1946.

Aber auch drei von vier Häusern der Jahrgänge 1947 bis 1960 haben keinen ausreichenden Wärmeschutz. Und bei den Gebäuden der 1960er bis Mitte 1970er Jahre ist mehr als die Hälfte ohne Fassadendämmung.

Bei den Dächern liegt ebenfalls noch ein beachtliches Erneuerungspotenzial brach. Viele Dächer von Gebäuden mit erneuerten Fassaden wurden in den letzten fünfzehn bis zwanzig Jahren nicht angetastet. Es gilt also, in den kommenden Jahren fällig werdende Dacherneuerungen für den Wärmeschutz zu nutzen (siehe auch Seite 8).

Neben den Architektur- und Ingenieurbüros spielen die Handwerker und Bauunternehmen eine wichtige Rolle, wenn es um die Realisierung dieses Potenzials geht. Sie werden bei anstehenden Erneuerungen für Beratung und Auftragsvergabe häufig direkt angesprochen; bei MFH in einem Drittel und bei EFH knapp in der Hälfte der Fälle. Dies nicht nur bei Instandsetzungen, sondern bezeichnenderweise auch bei Wärmedämmungen.

¹ «Mobilisierung der Erneuerungspotenziale bei Wohnbauten», econcept und CEPE ETH Zürich, im Auftrag des Forschungsprogramms Energiewirtschaftliche Grundlagen EWG des Bundesamts für Energie (BFE), Ende 2004.



Anteil der zwischen 1985 und 2000 erneuerten Fassaden für EFH und MFH, bezogen auf das Total der Gebäude der jeweiligen Bauperioden (Mehrfachnennungen möglich).

- keine Angabe oder WD vor 1986
- keine Fassadendämmung
- nur Instandsetzung
- Wärmedämmung

Wohnbedürfnisse von morgen

In den nächsten Jahrzehnten wird die Schweizer Wohnbevölkerung nicht nur stagnieren, sondern wegen rückläufiger Geburtenraten und steigender Lebenserwartung erheblich altern. Während der Anteil der über 65-Jährigen an der Bevölkerung heute noch 15 % beträgt, wird er bis 2020 voraussichtlich schon 20 % erreichen.

Die stagnierende Bevölkerung wird den Wohnungsmarkt in vielen Regionen zu einem Mieter- bzw. Käufermarkt machen. Mieter und Käufer haben dann eine grosse Auswahl, und sie werden vermehrt die erneuerten, komfortablen Wohnungen mit geringen Neben- und Heizkosten bevorzugen. Zudem wird die alternde Bevölkerung erfahrungsgemäss eher gut wärmegeämmte Wohnungen mit leicht höheren Raumlufttemperaturen, angenehmen Wandtemperaturen und zugfreien Zimmern bevorzugen. Neubauten und Erneuerungen sollten auf diese Erwartungen ausgerichtet werden. Ungenügender Wohnkomfort und hohe Nebenkosten könnten künftig die Vermietbarkeit verschlechtern und zu Leerständen führen.

Wertentwicklungen und Bonität

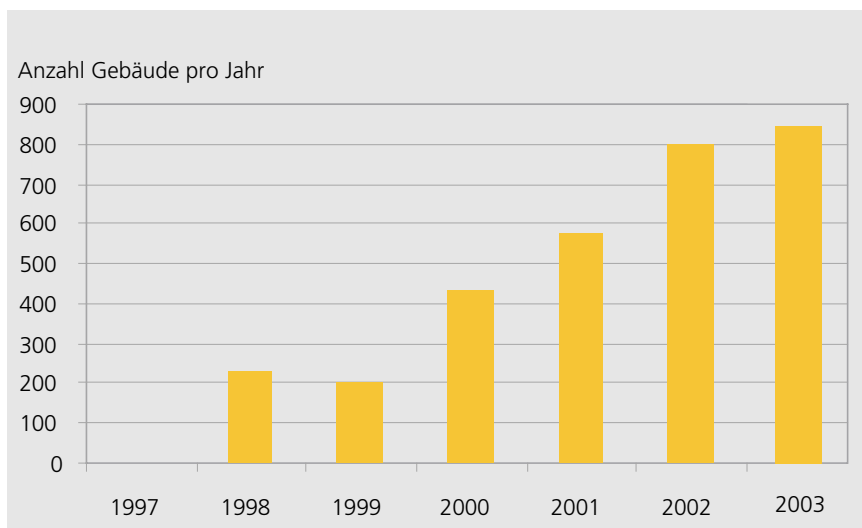
Die Vermietbarkeit beziehungsweise das Leerstandsrisiko von Wohngebäuden wirken sich auf die Bonitätseinschätzungen der Banken gemäss dem Abkommen Basel II aus. Dieses internationale Abkommen wird in der Schweiz bereits teilweise umgesetzt und ab 2006 vollständig wirksam. Gute Bonitätseinschätzungen ermöglichen den Gebäudebesitzern niedrigere Kreditzinsen, was die Kapitalkosten bis zu 20% verringern kann.

Ein Teil der Wärmeschutzinvestitionen kann allein durch diesen Effekt finanziert werden. Energieeffiziente Gebäude zeichnen sich gemäss Einschätzungen von Immobilienexperten durch eine bessere Wertentwicklung und geringere Abschreibungen aus. Damit vermögen sie die Mehrkosten für den zusätzlichen Wärmeschutz mehr oder weniger zu kompensieren. Minergie-Häuser erzielen zudem bis zu 9% höhere Verkaufspreise als konventionelle Gebäude (siehe auch Seite 20).

Basel II

Das Abkommen Basel II verpflichtet jede Bank, jeden ihrer Kreditkunden ab 2006 nach seiner Bonität einzuschätzen und die Kreditzinsen dementsprechend zu differenzieren. Damit soll vermieden werden, dass die Risiken von Kunden mit mangelhafter Geschäftsführung durch sorgfältig agierende Kunden finanziert werden. In der Schweiz gibt es hierzu erste Erfahrungen: Die Hypothekarzinsdifferenz zwischen guter und schlechter Bonität beträgt bis zu einem Prozentpunkt. Dies macht knapp 20% Unterschied bei den Kapitalkosten.

7



Seit der Einführung des Minergie-Standards wächst die Zahl der Minergie-Gebäude (Label und Konformität) rasant. Ende 2003 waren es insgesamt 3095 Gebäude.

Tipps für Erneuerungen

Im Dach liegt viel drin

8 Die Wärmedämmung der Gebäudehülle bildet die Basis für hohe Energieeffizienz. Sie wiederum schafft Vorteile wie niedrige Heizkosten, kleine und preisgünstige Heizanlagen, hohen Wohnkomfort, gute Vermietbarkeit und Wertentwicklung des Gebäudes. Damit wird die Dämmung zu einer der wichtigsten Investitionen bei Wohngebäuden und zu einer der wirtschaftlichsten Massnahmen hinsichtlich der Energieeffizienz.

Gerade die Dämmung des Dachs bietet neben den direkten häufig auch namhafte indirekte Nutzen: Sie reduziert nicht nur den Heizenergiebedarf, sondern erhöht auch den Wohnkomfort – im Sommer wie im Winter – und schafft oft noch zusätzlichen, attraktiven Wohnraum.

Wärmedämmungen auf mineralischer Basis schützen vor extremen – sommerlichen wie winterlichen – Aussentemperaturen und auch vor Lärm. Besonders gut vor Hitze schützen Zellulosedämmstoffe oder Holzfaserplatten. Sie

sind wohl etwas teurer als mineralische Dämmstoffe – durch Kombination beider Materialien lassen sich aber preisgünstige und zweckmässige Lösungen finden. Bei Flachdächern kann auch eine Begrünung zu verbessertem sommerlichem Wärmeschutz beitragen.

Wirtschaftliches

Dächer sind tendenziell etwas einfacher zu dämmen als Fassaden. Sie haben häufig weniger Ecken und Kanten, und sind auch architektonisch und bautechnisch leichter zu beherrschen. Die Kosten der 12-cm-Wärmedämmung werden teilweise oder ganz von tieferen Wärmekosten kompensiert. Geht man von (zu kurzfristig gedachten) 5 Rp./kWh als Energiepreis aus, resultieren noch geringe Nettokosten (2 % bis 3 %). Schon ab rund 5,5 Rp./kWh resultiert hingegen ein Plus (ca. 2 %). Und bei 7 Rp./kWh sind selbst 20 bis 24 cm Dämmstärke rentabel. Es lohnt sich also nicht, bei der Dämmstärke zu geizen.

Dämmstärke [cm]	Zusätzliche Investitionskosten [Fr./m ²]
12	80
14	84
18	98
24	122

Dacherneuerung: durchschnittliche Mehrkosten einer Wärmedämmung gegenüber der Instandsetzung

Die Methodik, die den Kosten-Nutzen-Rechnungen zugrunde liegt, soll hier am Beispiel einer 12-cm-Dämmung erläutert werden. Eine solche Dämmung kostet durchschnittlich 80 Fr./m² mehr als die blossе Instandsetzung. Abschreibung und Verzinsung (real 3,5 %) schlagen im Jahr mit 3.40 Fr. pro m² zu Buche. Bei heutigen Heizöl- und Gaspreisen von rund 50 Fr./100 l respektive 5 Rp./kWh spart diese Dämmung 3.25 Fr./m² Wärmekosten. Daraus ergeben sich jährliche Nettokosten von 0.15 Fr./m². Steigen die durchschnittlichen Energiepreise während der rund 50-jährigen Lebensdauer auf 7 Rp./kWh, resultiert ein Plus von jährlich 0.90 Fr. pro m² Dach. In Anbetracht dieser Zahlen kann man – selbst ohne Einbezug der begleitenden Nutzen – heute den Einbau von 20 cm starken Dämmungen empfehlen.

Aus Sicht eines Vermieters lässt sich aber auch folgende Überlegung machen: Kann beispielsweise eine 100 m² grosse Dachwohnung wegen des weitergehenden Wärmeschutzes um nur 20 Franken im Monat teurer vermietet werden, resultiert ein Kostendeckungsbeitrag von rund

Die Dämmung des Dachs bei Erneuerungen lohnt sich auch, weil dadurch oft zusätzlicher Wohnraum gewonnen werden kann.

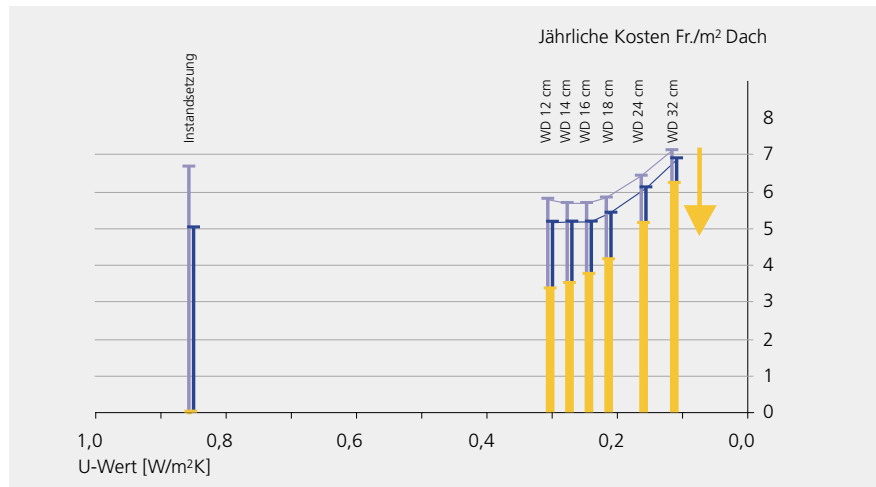


Kosten und Nutzen der Wärmedämmung bei der Dacherneuerung: die Kosten enthalten die Ausgaben für Energie und die Kapitalkosten (3,5 % Realzins, 50 Jahre Nutzungszeit).

- Wärmekosten bei 7 Rp./kWh Energiepreis,
- Wärmekosten bei 5 Rp./kWh Energiepreis,
- Jahresmehrkosten Wärmedämmung inkl. Arbeit.

Pfeil: begleitender Nutzen, wenn eine 100-m²-Dachwohnung um 20 Fr. teurer vermietet werden kann, nach Einbau der Wärmedämmung. WD = Wärmedämmung

1.80 Fr. pro m² Dachfläche. Damit wäre sogar eine 30 cm starke Dämmung wirtschaftlich – durch den begleitenden Nutzen – abgegolten (siehe Pfeil in der Grafik).



Begriffe der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Realzinssatz	Nomineller Zinssatz (z. B. Hypozins) minus Teuerung (Inflation)
Annuitätenmethode	Berechnung der jährlichen Kosten für Verzinsung und regelmässige Abschreibung einer getätigten Investition. Der jeweils gleiche Betrag pro Jahr kann auch als Prozentsatz der Anfangsinvestition ausgedrückt werden (Annuität).

Lebensdauer in Jahren	Annuität/Jahr bei 3 % Realzins	Annuität/Jahr bei 4 % Realzins
15	8,4 %	9,0 %
20	6,7 %	7,4 %
30	5,1 %	5,8 %
50	3,9 %	4,7 %

Lesbeispiel: Bei einer Investition von 10000 Fr., die über 30 Jahre abgeschrieben und zu 3 % verzinst werden soll, fallen jährliche Zahlungen von 510 Fr. an (5,1 % von 10000 Fr.).

Wärmekosten

Bei einer Wärmedämmung sind die Kosten pro gesparte kWh Nutzenergie nicht direkt mit dem Energiepreis, sondern mit den gesparten Wärmekosten zu vergleichen. Sie berücksichtigen auch die vermiedenen energetischen Verluste der Heizanlage. Zusätzlich enthalten die gesparten Wärmekosten auch die Einsparungen beim Wärmeerzeuger selbst. Sie entstehen, weil beim nächsten Ersatz ein kleineres Gerät installiert werden kann, was die Kosten entsprechend reduziert.

Energiepreis [Rp./kWh]	5,0	7,0
Energiekosten [Rp./kWh] (Energiepreis dividiert durch Nutzungsgrad)	5,6	7,8
Gutschrift für kleinere Heizanlage [Rp./kWh]	1,2	1,2
Resultierende eingesparte Wärmekosten [Rp./kWh]	6,8	9,0

Details sauber lösen

Besonders bei Flachdächern lohnt sich aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht der Einbezug des Dachrandes in die Wärmedämmung. Eine Brüstung, die innerhalb des Dämmperimeters zu liegen kommt, hat bei einem Einfamilienhaus etwa dieselbe Wirkung wie eine zusätzliche Flächendämmung von 5 bis 10 cm. Wird statt des Dachs der Dachboden gedämmt, müssen die Übergänge zur Fassade auch bauphysikalisch sauber gelöst sein. Bei etappiertem Vorgehen sollten die nachträgliche Wärmedämmung der Fassade eingeplant und die nötigen Bauanschlüsse vorgesehen werden.

Offerten einholen

Wie die Erhebung zeigte, schwanken die angebotenen Preise für Dämmungen im Dach sehr stark. Deshalb lohnt es sich besonders bei höheren Dämmstärken, mehrere Offerten einzuholen. Unter Umständen erhält man dadurch Preise, die deutlich unter den erhobenen Durchschnittspreisen liegen.

Die Fassade dankt's

10 Fassadendämmungen lassen sich heute unter fast allen bautechnischen Situationen anbringen. Mit den heute üblichen 12cm starken Wärmedämmungen lassen sich die Transmissionsverluste im Vergleich zu ungedämmten Fassaden um 65 % bis 75 % senken; bei 20cm sind es gar 70 % bis 80 %. Gerade bei bestehenden Gebäuden kann das Anbringen einer Wärmedämmung den Komfort wesentlich steigern – schon nur dadurch, dass die Innenwände wärmer werden. Bereits 16 cm Dämmung vermögen die Oberflächentemperatur an einem kalten Wintertag von ursprünglich 15 °C bis 16 °C auf 19 °C zu heben. Dies senkt auch das Risiko für Feuchteschäden.

Wie sieht es aber mit der Wirtschaftlichkeit der Fassadendämmung aus? Die reine Instandsetzung (Putz Ausbessern, neu Streichen) kostet 30 bis 40 Fr./m². Eine Wärmedämmung kostet bei 12cm Stärke im Schnitt rund 80 Fr./m², bei 16 cm gut 90 Fr./m² und bei 20 cm etwas über 100 Fr./m² zusätzlich. Dies zeigen die Erhebungen bei rund zwanzig Fassadenunternehmen.

Im Fall der 12-cm-Dämmung fallen jährlich für Abschreibung und Verzinsung (real 3,5 %) knapp 4 Fr. pro m² Fassade an. Ungefähr diesen Betrag spart die Dämmung an Wärmekosten bei heutigen Energiepreisen von rund 50 Fr./100l Heizöl respektive 5 Rp./kWh für Gas. Steigen die durchschnittlichen Energiepreise während der rund 50-jährigen Lebensdauer auf 7 Rp./kWh, resultiert ein Plus von jährlich 0.60 bis 0.90 Fr. pro m² Fassade.

Wie die Berechnungen zeigen, rentieren bei angenommenen 7 Rp./kWh sogar 20cm bis teilweise 24cm starke Fassadendämmungen. Es lohnt sich bei der Er-

neuerung eines Gebäudes also, Fassaden gut zu dämmen, statt nur auszubessern und zu streichen. Anstelle der heute üblichen 12 cm empfiehlt es sich, mindestens 16 cm bis 20 cm starke Dämmungen anzubringen.

Fassadenerneuerung als architektonische Aufwertung. Die Wärmedämmung mit hinterlüfteter Fassade setzt neue architektonische Akzente. Dies ist gerade bei Gebäuden aus den 1960er- und 1970er-Jahren oft eine begrüßenswerte Möglichkeit.

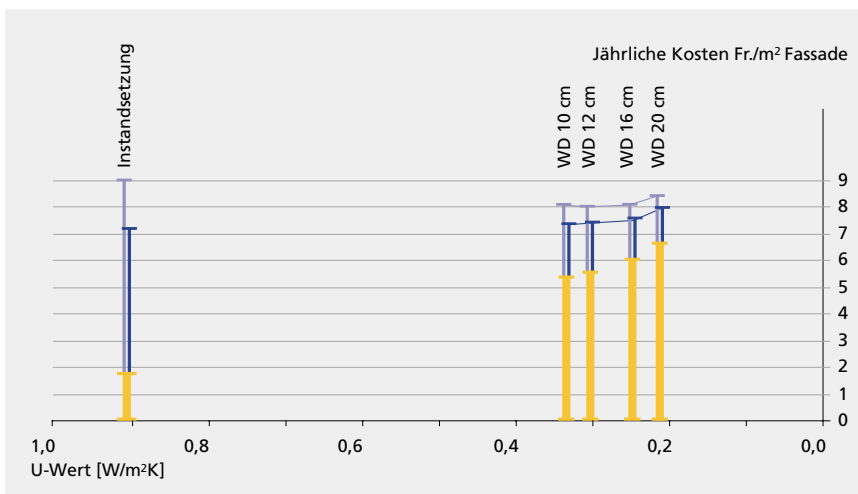


Langfristig denken

Wer heute bei der Wärmedämmung spart, wird später doppelt zahlen müssen. Das zeigt folgendes Rechenbeispiel: Die Erneuerung eines m² Fassade kostet heute inklusive 12 cm Dämmung etwa 120 Franken. Will man diese Dämmung in 10 bis 25 Jahren – etwa als Folge stark gestiegener Energiepreise – um 12 cm verstärken, würde das dann nochmals etwa 120 Fr. kosten, insgesamt also 240 Fr. Baut man jedoch von Anfang an schon 24 cm ein, kostet das nur 140 Fr. (Best Practice) bis 150 Fr. (Durchschnittswert). Die Mehrpreise beim späteren Verstärken rühren daher, dass Fixkosten für

die Einrichtung der Baustelle, den Aufbau des Gerüsts, die Montage, die Erneuerung der Fassadenhaut dann ein zweites Mal anfallen.

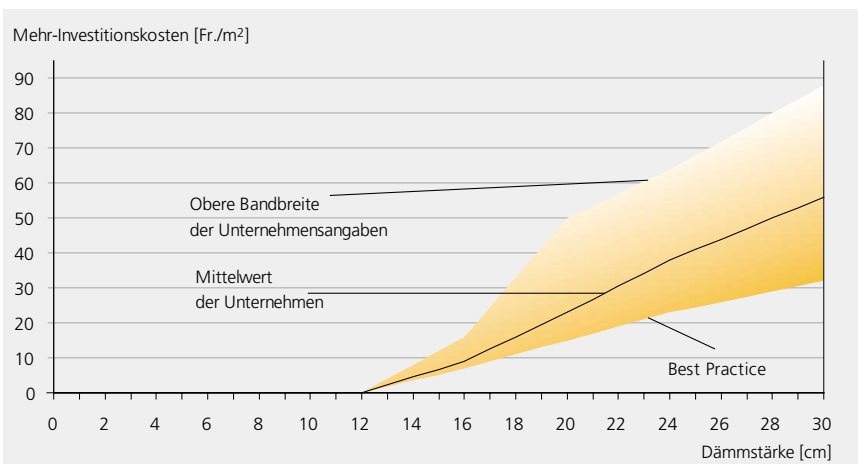
Auch bei der Fassade sollten konkurrierende Angebote von erfahrenen Firmen eingeholt werden. Das zahlt sich besonders bei Dämmstärken aus, die höher sind als heute allgemein üblich. Weil dieser Markt jung ist, gibt es noch Firmen, die Risikozuschläge einkalkulieren, und die Mehrkosten sind von Unternehmen stark unterschiedlich (siehe Grafik). Pro Zentimeter Dämmstärke sollte der Zuschlag wenn möglich nicht viel mehr als 1 Fr./m² betragen.



Spezifische Kosten und energetische Nutzen bei Fassadenwärmedämmungen an bestehenden Gebäuden (ohne Komfort und sonstige begleitende Nutzen).

- Wärmekosten bei 7 Rp./kWh Energiepreis
- Wärmekosten bei 5 Rp./kWh Energiepreis
- Jahreskosten Instandsetzung plus Wärmedämmung inkl. Arbeit.

WD = Wärmedämmung.



Mehrkosten von Fassadenwärmedämmungen Dämmstärke über 12 cm: grosse Kostenstreuung ab 16 cm, Best Practice wesentlich tiefer als Mittelwert und Ausreisser wegen Angst-, Pionier- und Lernaufschlägen nach oben.

Neue Fenster braucht das Haus

12 Fenster und Türen werden häufiger erneuert als die übrigen Teile der Gebäudehülle. Verglichen etwa mit Fassaden zeichnen sich diese Bauteile durch viel raschere Verbesserungen bei den wärmetechnischen Eigenschaften aus. Dies ermöglicht, in 20- bis 30-jährigen Intervallen vom neusten Stand der Technik zu profitieren. In der Tat ist die technische Entwicklung beeindruckend: Die Wärmeverluste (U-Werte) von Standardfenstern konnten in den letzten 25 bis 30 Jahren glatt halbiert werden. Und: Trotz dieses Fortschrittes sind die Kosten real um rund ein Viertel gesunken.

Ersatz oft günstiger

Ein Ersatz der Fenster ist oft auch wirtschaftlich sinnvoll – vor allem, wenn sie undicht sind oder ohnehin in Stand gesetzt werden müssen. Schon ab 100 Fr./m² Instandsetzungskosten lohnt sich der Ersatz durch ein Standardfenster mit einem U-Wert von 1,1 W/m²K (siehe Tabelle). Bei der Wahl des geeigneten Fensters gilt:

- Weil der U-Wert moderner Verglasungen meist tiefer ist als derjenige der Rahmen, sollte der Rahmenanteil am Fenster möglichst klein sein. Aus demselben Grund dürfen Sprossen das Glas nicht durchbrechen.
- Beim Glasrandverbund bietet der Markt attraktive Varianten: Edelstahl oder

Kunststoff als Abstandhalter (Spacer) verursachen nur geringe Mehrkosten, erhöhen aber die Energieeffizienz um rund zehn Prozent.

- Ein gutes Wärmeschutzfenster hat einen tiefen U-Wert und einen hohen g-Wert (nicht unter 0,5). Besonders bei Orientierungen gegen Süd, Ost und West verbessert ein hoher g-Wert die Energiebilanz nachhaltig. Er sorgt sozusagen dafür, dass die Sonnenenergie auch wirklich in die Wohnung gelangt. Falls die g-Werte nicht publiziert sind, lohnt es sich, bei den Glasherstellern und Fensteranbietern nachzufragen. Im Sommer muss ein aussen liegender Sonnenschutz dafür sorgen, dass die Räume nicht überhitzt werden. Diese Tipps – besonders aber



Fensterlatein

Für die Beurteilung der energetischen Qualität von Fenstern sind folgende zwei Größen wichtig:

U-Wert

Wärmedurchgangskoeffizient, früher k-Wert: Er gibt die gesamte Wärmeverlustleistung eines Bauteils pro Fläche und K Temperaturdifferenz an, Einheit: W/m²K. Gute Fenster haben einen tiefen U-Wert.

g-Wert

Gesamtenergiedurchlassgrad, gemessen in %: Der g-Wert für Fenster gibt an, wie viel der Sonnenstrahlung dem Gebäude für Wärmegewinne zugute kommen. Deshalb sollten Fenster einen möglichst hohen g-Wert haben und, damit das Gebäude im Sommer nicht überhitzt: einen externen Sonnenschutz.

der letzte – gelten auch für den Neubau.¹ Nicht vergessen gehen dürfen beim Fensterersatz die bauphysikalischen Aspekte. Da neue Fenster wegen ihrer Gummidichtung meist dichter sind, verringert sich der Luftaustausch des Gebäudes. Um Feuchteschäden zu vermeiden, muss deshalb unbedingt regelmässig gelüftet werden. Das darf aber nicht unkontrolliert durch angestellte Kippfenster geschehen, denn dann ginge ein grosser Teil der gewonnenen Energieeffizienz wieder verloren. Eine elegante Lösung für dieses Problem bieten Komfortlüftungen (siehe Seite 14).

Behaglichkeit und Ruhe

Neben dem tieferen Heizwärmebedarf bieten gute Fenster noch weitere positive Effekte: Sie schaffen ein behaglicheres Wohnklima durch reduzierte Zuglufterscheinungen und wärmere Innenglassoberflächen. Zudem verringern sie auch die Belastung durch Aussenlärm um 10 bis 15 dB, verglichen mit alten Fenstern. Dies wird als Halbierung der Lautstärke wahrgenommen. Wie verschiedene Studien zeigen, sind viele Bewohner gerne bereit, dafür etwas mehr Miete zu bezahlen. Bei typischerweise 15 Fr. Mietzinsaufschlag im Monat für eine 90m²

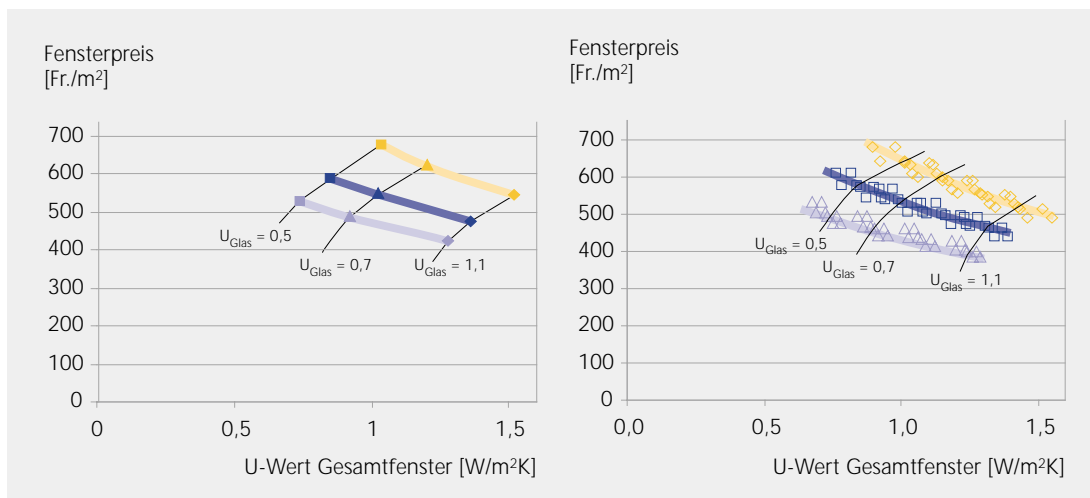
Wohnung erhält man damit 10 Fr. Kostendeckungsbeitrag pro Quadratmeter Fenster. Dies verbessert die Wirtschaftlichkeit weiter.

Gebäude mit energieeffizienten Fenstern sind auf dem Markt mehr wert. Der Verkaufspreis von Einfamilienhäusern mit solchen Fenstern liegt systematisch (d. h. bei vergleichbarer Lage und Ausstattung) um 2% bis 3,5% höher. Dies zeigen Analysen der Zürcher Kantonalbank (ZKB), die auf über 5000 EFH-Transaktionen beruhen.

¹ Siehe auch SIA-Merkblatt 2021 «Gebäude mit hohem Glasanteil – Behaglichkeit und Energieeffizienz».

	U-Wert Gesamtfenster [W/m ² K]	Investitionskosten [Fr./m ²]	Kosten pro Jahr [Fr./m ²]	Energiepreis			
				Jährliche Wärmekosten [Fr./m ²]		Total Jahreskosten [Fr./m ²]	
				5 Rp./kWh	7 Rp./kWh	5 Rp./kWh	7 Rp./kWh
Altes Fenster	3,0	100	9	22	29	31	38
Neues Fenster U _{Glas} = 1,1	1,4	493	27	8	11	35	38
Neues Fenster U _{Glas} = 0,7	1,1	558	30	7	9	37	39
Neues Fenster U _{Glas} = 0,5	0,9	620	33	6	7	39	41

Kosten und direkte Nutzen beim Ersatz von Fenstern mit Ausrichtung nach Norden.



Preise in Funktion der Energieeffizienz für Holzfenster (links) und Kunststofffenster.

- Fenstergrösse 1,5 m²
- Fenstergrösse 3,5 m²
- Fenstergrösse 5,5 m²

Die Lüftung schafft Komfort

14 Neben der Wärmedämmung ist die Luftdichtigkeit eine weitere Voraussetzung für einen tiefen Heizwärmebedarf. Aus Gründen der Hygiene, des Komforts und der Bauphysik benötigen dichte Gebäude aber eine angemessene Lüfterneuerung. Eine elegante Lösung bieten hier Komfortlüftungen. Sie sorgen für kontinuierlichen Luftaustausch auch bei geschlossenen Fenstern. Damit erhöhen sie den Wohnkomfort beträchtlich und vermeiden Feuchteschäden zuverlässig. Zudem schützen sie vor Aussenlärm.

Heutige Standardbauten (ohne Komfortlüftung) benötigen im Jahr 70 MJ/m² bis 90 MJ/m² Heizwärme zum Ausgleichen der Lüftungsverluste. Hier bleibt also ein grosses Potenzial ungenutzt. Mit einer dichten Gebäudehülle und einer Komfortlüftung lassen sich die Lüftungsverluste um bis zu 90% verringern. Den grössten Beitrag hierzu liefert die Wärmerückgewinnung aus der Abluft. Aber auch die Vorwärmung der Aussenluft, beispielsweise in einem Erdregister, senkt den Heizenergiebedarf. Gebäude mit sehr niedrigem Heizenergiebedarf (wie etwa Minergie-Häuser) lassen sich überhaupt nur mit durchdachten Luftwechselkonzepten realisieren.

Nicht teuer, sondern gut

Häufig hört man das Argument, die Komfortlüftung sei «teuer». Dabei wird aber vergessen, dass sie viele begleitende Nutzen mit sich bringt, die in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einbezogen werden müssen. Die Komfortlüftung liefert beispielsweise gereinigte Luft und hilft damit Atemwegkrankungen und Allergien zu vermeiden. Sie sorgt für ungestörten Schlaf, indem sie den Luftwechsel auch bei geschlossenen Fenstern

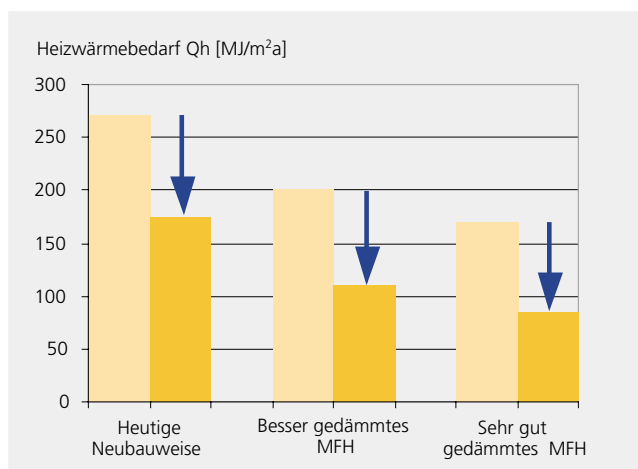
aufrecht erhält¹. Insgesamt verbessert sie die Vermietbarkeit und die langfristige Wertentwicklung des Gebäudes.

Tatsächlich kann eine Komfortlüftung bei den heutigen Kosten nicht vollständig über tiefere Wärmekosten refinanziert werden. Die Netto-Mehrkosten belaufen sich auf 4 bis 7 Fr. pro m² Wohnfläche und Jahr. Für eine 100 m² grosse Wohnung erhöhen sich dadurch die Kosten

um rund 50 Fr./Monat und für ein Einfamilienhaus um 75 Fr./Monat, das sind etwa 3%. Bezieht man die ökonomische Bewertung der begleitenden Nutzen in die Bewertung mit ein, gleichen sich die verbleibenden Zusatzkosten einer Komfortlüftung je nach Objekt und Marktsegment mehr oder weniger aus (siehe Seite 20).



Die Komfortlüftung sorgt für gute Luft und für bleibenden Wert von Wohnbauten.



Eine dichte Gebäudehülle und eine Komfortlüftung mit Abwärmerückgewinnung können die Lüftungsverluste um bis zu 90% verringern. Das wirkt sich entsprechend auf den Heizwärmebedarf aus (Pfeile).

¹ Siehe auch Studie «Akzeptanz von Komfortlüftungen im Wohnungsbereich» im Rahmen des Forschungsprogramms Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG): www.ewg-bfe.ch

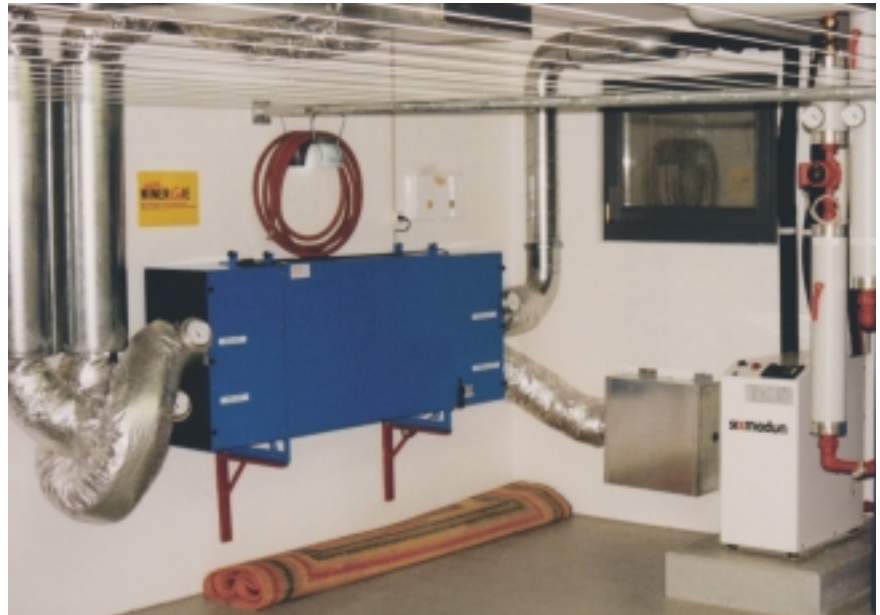
Kleinere Heizsysteme

Je besser Gebäudehülle und Lüftung sind, desto kleiner kann die Heizung gewählt werden. Der Zusammenhang ist zwar nicht ganz proportional, weil die Heizleistung im Dimensionierungsfall, also am kältesten Tag und bei bedecktem Himmel, etwas weniger zurückgeht als der Jahreswärmebedarf. Trotzdem kann bei den Investitionen für Wärmeerzeugung und -verteilung deutlich gespart werden. Für den verbleibenden Wärmebedarf genügen meist Kleinheizungen. Dies ermöglicht insbesondere auch den wirtschaftlicheren Einsatz erneuerbarer Energien wie thermischer Sonnenenergie, Umgebungswärme oder Holz. Besonders Erdsonden-Wärmepumpen profitieren erheblich von einem tiefen Wärmebedarf. Werden beispielsweise beim EFH nur 4 kW statt 8 kW Heizleistung benötigt, reduzieren sich die Kosten für die Sonde um etwa die Hälfte, das heisst um 6000 bis 8000 Fr. Und bei Holz- und Ölheizungen verringert sich zudem der Raumbedarf für die Brennstofflagerung (Scheite, Holzschnittel, Tank).

Kleiner ist günstiger

Die niedrigeren Investitionskosten wirken sich etwa folgendermassen aus: Bei Einfamilienhäusern mit Öl-, Gas- und Holzheizungen senken sie die Jahreskosten für eine eingesparte kWh Wärmebedarf um 1 bis 1,5 Rp. Bei Erdsonden-Wärmepumpen beläuft sich die Ersparnis auf rund 5 bis 8 Rp. pro kWh. Mehrfamilienhäuser profitieren in ähnlichem Mass: Dort sinken die Jahreskosten mit Öl-, Gas- und Holzheizungen um rund 1,5 Rp/kWh und mit Wärmepumpen um rund 3 bis 5 Rp/kWh.

Damit Wärmepumpen energie- und kosteneffizient arbeiten, benötigen sie tiefe

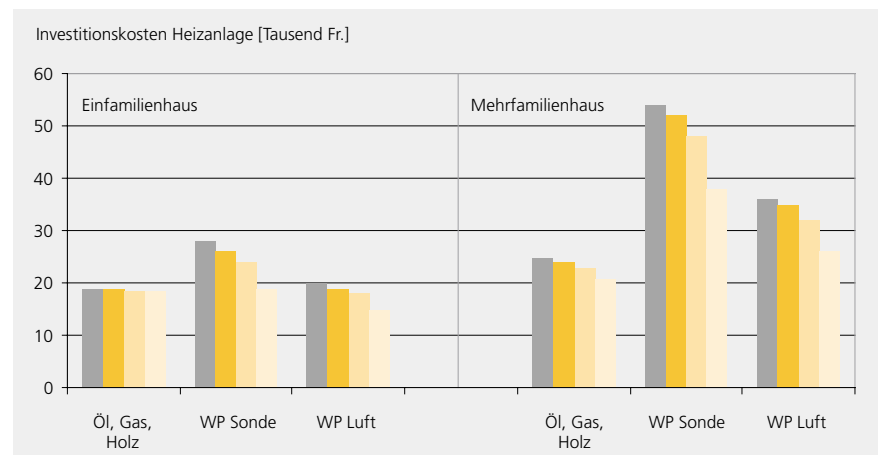


Der Heizraum in einem Minergiehaus

Vorlauftemperaturen. Hierfür ist die wärmeisolierte Gebäudehülle eine wichtige und Kosten sparende Voraussetzung. Für alle Formen von Wärmeerzeugern gilt zudem, dass die Heizung möglichst erst nach der Gebäudehülle erneuert werden soll. Damit vermeidet man die Überdimensionierung der Wärmeerzeuger und der Wärmeverteilung. Allerdings lässt sich dies in der Praxis oft nicht umsetzen, weil die Wärmeerzeuger mit 15 bis 20 Jahren deutlich kürzere Reinvestitionszyklen haben als die Gebäudehülle.

Je besser die Wärmedämmung, je tiefer die Kosten für die Wärmeerzeugungsanlage.

- SIA 380/1: Grenzwert
- SIA 380/1: Zielwert
- Minergie: Durchschnittliche Gebäudehülle
- Minergie: Anforderungen allein durch Massnahmen an der Gebäudehülle erreicht



Tipps für den Neubau

Grosse Fenster ernten Wärme

16 Was bezüglich des Wärmeschutzes für die Erneuerung gesagt wurde, gilt im Wesentlichen auch für den Neubau. Verglichen mit der Erneuerung bietet der Neubau aber mehr Gestaltungsspielraum – beispielsweise, was die Fenster anbelangt. Entscheidend für die Brutto-Energiegewinne durch Sonneneinstrahlung sind Orientierung, Verschattung und Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert). Bei Nord-Süd ausgerichteten Gebäuden sind des-

halb grosse Fensterflächen in der Südfassade und kleinere Fenster in der Nordfassade ratsam. Geringe Verschattung vorausgesetzt, verbessern auch nach Ost und West orientierte Fensterflächen die Energiebilanz. Hierfür braucht es aber grosse Fenster mit tiefem Rahmenanteil und Gläser mit einem U-Wert von höchstens $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bei kleineren Fenstern kann energetisch ein positiver Effekt mit Glas-U-Werten um $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ und g-Werten von mindestens 50% erreicht werden.

Voraussetzung dafür ist, dass die Verschattung unter 10% liegt oder gedämmte Rahmen verwendet werden.

Grösser ist besser

Grosse Fenster verbessern die Energieeffizienz weitaus preisgünstiger als kleine. Denn bei zunehmender Fenstergrösse sinken die Kosten pro Quadratmeter (siehe auch Siehe 11). Und zudem sind grosse Fenster energieeffizienter, weil sie einen kleineren Rahmenanteil haben.

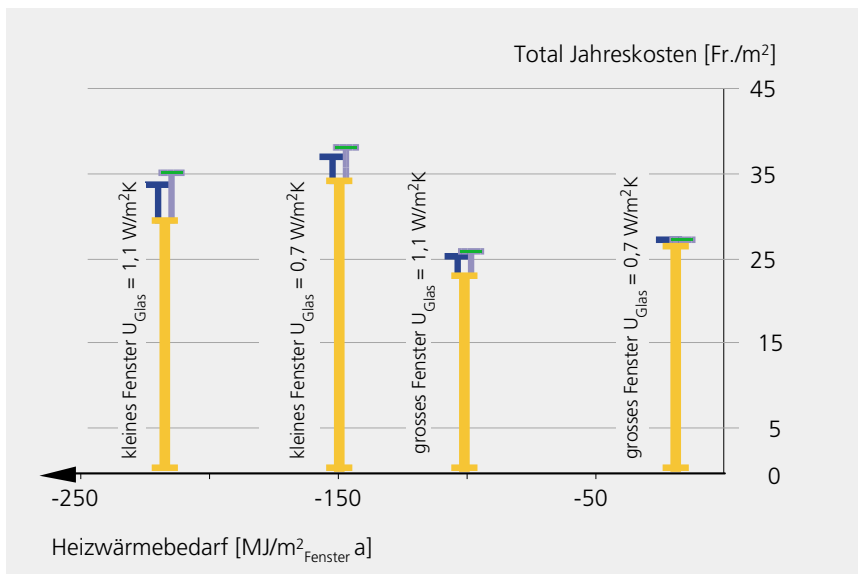


Grosse Fensterflächen gegen Süden gewinnen Sonnenwärme, und ein externer Sonnenschutz verhindert Überhitzung im Sommer.

Was das konkret heisst, sei hier am Beispiel eines nach Westen orientierten Standardfensters mit 30% Verschattung gezeigt (siehe Grafik). Unter diesen Voraussetzungen sind die Nettojahreskosten pro m² Fenster für das grosse Fenster um 25% tiefer als für das kleine. Zudem sinkt sein Heizwärmebedarf pro m² Fenster um mehr als die Hälfte. Damit übertrifft es sogar das kleinflächige dreifachverglaste Fenster (siehe Tabelle).
 Beinahe ausgeglichen ist die Energiebilanz von grossflächigen dreifachverglasten Fenstern mit derselben Orientierung. Ihre Jahreskosten sind gegen-

über dem grossflächigen Standardfenster zwar etwas höher, im Vergleich zu kleinen Standardfenstern aber immer noch knapp 20% tiefer. Noch tiefer sind die Jahreskosten für die Fenster gegen Süden. Beim grossflächigen Fenster in Standardqualität sind es 30% und dies bei positiver Energiebilanz.
 Auch bei grossflächigen Fenstern ist ein verbesserter Glas-U-Wert von 0,7 W/m²K oder 0,5 W/m²K empfehlenswert. Damit trägt man dem Umstand Rechnung, dass die Innenfenstertemperatur immer dann über das Wohlbefinden entscheidet, wenn die Sonne nicht scheint.

Der Architekt, die Architektin hat die Aufgabe, Fensterflächen und Räume so zu planen, dass wegen des Wärmeeintrags nicht schon in der Übergangszeit ein Sonnenschutz erforderlich ist. Eine gute Raumkonzeption und Baumaterialien mit hohem Wärmespeichervermögen helfen, die Sonnenenergie optimal zu nutzen.



Energiebilanz und Jahreskosten von verschiedenen Fenstertypen und -grössen für die Orientierung West.

- Wärmekosten bei 7 Rp./kWh Energiepreis
- Wärmekosten bei 5 Rp./kWh Energiepreis
- Jahreskosten des Fensters.

Tabelle: Energiebilanz für verschiedene Fenstertypen in MJ pro Jahr und m² Fensterfläche (bei 30% Verschattung und 90% Gewinnfaktor der freien Wärme). Negative Werte bedeuten netto Wärmeverluste, positive Werte netto Wärmegewinne während der Heizperiode.

Fenstertyp	Energiebilanz [MJ/m ² Fenster a]			
	Kleine Fenster		Grosse Fenster	
	Süd	West	Süd	West
Heutiger Standard (U _{Glas} = 1,1 W/m ² K, g=0,57)	-34	-217	109	-101
Dreifachverglast, (U _{Glas} = 0,7 W/m ² K, g=0,52)	15	-152	169	-21
Dreifachverglast, (U _{Glas} = 0,5 W/m ² K, g=0,42)	-16	-152	141	-16
Dreifachverglast, (U _{Glas} = 0,5 W/m ² K, g=0,5)	44	-117	202	20
Passivhausfenster (U _{Glas} = 0,5 W/m ² K, U _{Rahmen} = 0,8 W/m ² K, g=0,5)	136	-23	231	51
Zum Vergleich: Wand Dämmstärke 10 bis 12 cm:	-90			
Wand Dämmstärke 30 cm	-45			

Das Haus als Gesamtsystem

18 Beim Neubau lässt sich die Energieeffizienz sehr gut mit primären Anforderungen wie Behaglichkeit oder Raumaufteilung koordinieren. Ja, häufig fördert energieeffizientes Bauen die Behaglichkeit direkt, beispielsweise bei der Lüftung. Die einzelnen Kosten- und Nutzelemente (Seiten 9 bis 14) beeinflussen sich teilweise gegenseitig. Im Einzelfall lässt sich die energetische Wirkung mit einem Berechnungsprogramm gemäss SIA 380/1 abschätzen. Unbedingt geprüft werden muss auch der Sonnenschutz, siehe dazu SIA-Merkblatt 2021.

Die Gebäudehülle als Pflicht

An erster Stelle steht die Reduktion des Wärmebedarfs. Von den Betriebskosten her ist beim Neubau eine 20 cm starke Wärmedämmung (U-Wert etwa 0,2 W/m²K) für Fassaden, Dach, Keller oder Boden empfehlenswert. Damit verringert sich der Wärmeverlust gegenüber heutigen Standarddämmungen um ein Drittel bis rund die Hälfte. Wichtig ist der Einbezug aller Flächen und auch der Übergänge zwischen den einzelnen Bauteilen. Je besser die Bauteile gedämmt sind, desto wichtiger wird das wärmebrückenfreie Bauen. Der neu erschienene Wärmebrückenatlas des BFE bietet hervorragende Anregungen und Unterstützung (Bezugsquelle siehe Seite 24).

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurden die Mehrkosten für die zusätzliche Dämmung mit den real gesparten Wärmekosten verrechnet. Sie berücksichtigen auch die geringeren Kosten und Verluste der kleiner dimensionierten Heizanlagen bei zusätzlicher Dämmung. Beim heutigen Energiepreis von 5 Rp./kWh betragen die Wärmekosten 6,8 Rp./kWh. Näher bei der Realität dürften aber 7 Rp.

für den Energiepreis und 9 Rp. für die Wärmekosten sein (siehe Seiten 5, 21 und Kasten Seite 9).

Auch beim Neubau lässt sich überlegen, wie monetarisierte begleitende Nutzen auf die Wirtschaftlichkeit wirken. Zum Beispiel im Dachbereich: Hier erhöht eine grosszügige Wärmedämmung den Komfort ja wesentlich, vor allem im Sommer. Kann bei einer 100-m²-Wohnung dafür nur 20 Fr. mehr Mietzins im Monat verlangt werden, kompensiert dies zusammen mit den geringeren Wärmekosten die Mehrkosten der Wärmedämmung.

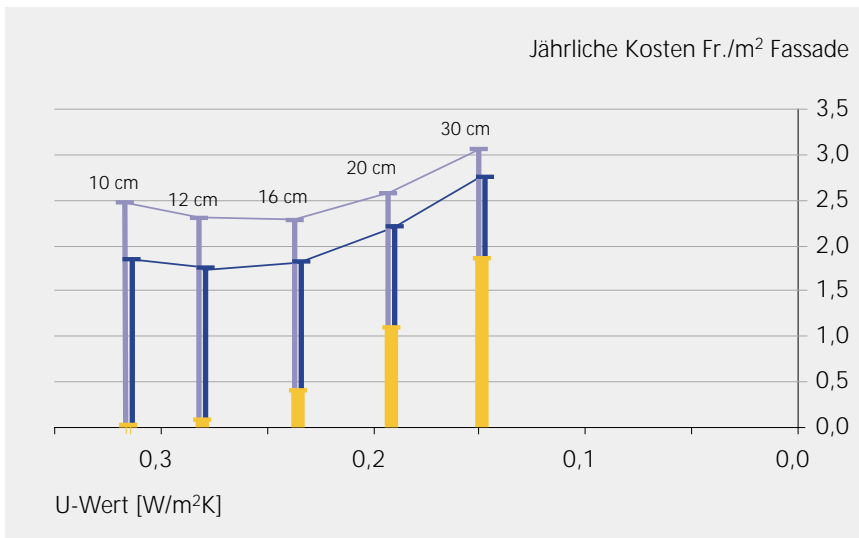
Bei den Fenstern schliesslich ist ein guter Wärmeschutz sehr zu empfehlen. Zusammen mit dem gesteigerten Wärmegewinn bestehen hier Möglichkeiten, den Heizwärmebedarf um rund ein weiteres Viertel zu reduzieren (siehe Seiten 16 und 17).

Die Lüftung als Kür

Eine dichte Gebäudehülle und eine Komfortlüftung können zusammen den Heizwärmebedarf um rund ein Viertel (50 bis 70 MJ/m²a) gegenüber dem heutigen Üblichen reduzieren. Die Komfortlüftung kann heute zwar mit den tieferen Wärmekosten nur teilweise finanziert und verzinst werden, wohl aber erhöht sie die Behaglichkeit und den Wohnkomfort beträchtlich. Die Luft ist immer frisch und angenehm, auch bei geschlossenen Fenstern, was gerade an lärmexponierten Lagen besonders wichtig ist. Selbstverständlich lassen sich die Fenster bei Bedarf jederzeit öffnen.

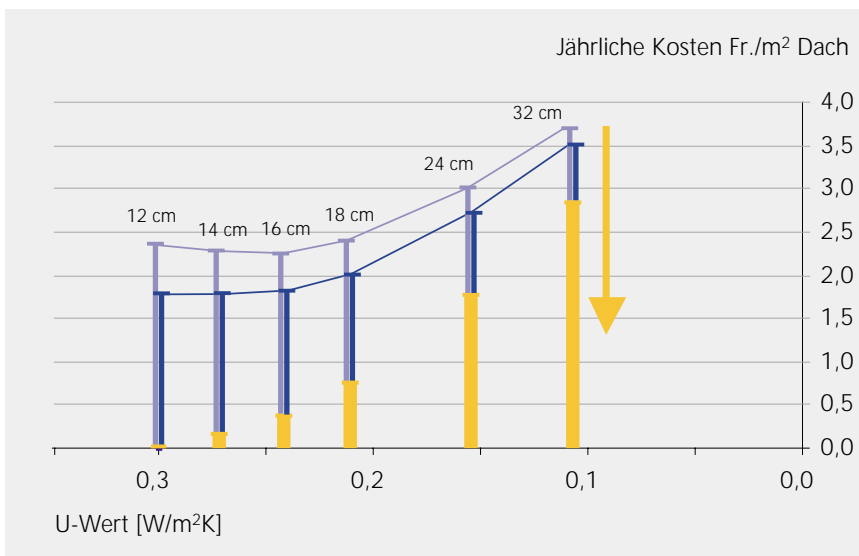
Summa summarum

Energieeffizientes Bauen erfordert zunächst höhere Investitionskosten. Mit 5 % bis 7 % Mehrkosten gegenüber heutiger Bauweise erreicht man bereits den Minergie-Standard. Die Mehrkosten werden teilweise durch tiefere Wärmekosten kompensiert. Bei 3,5 % realer Verzinsung und heutigen Energiepreisen entstehen geringe Mehrkosten von 5 bis 9 Fr. pro m² beheizter Fläche und Jahr. Werden die zu erwartenden Energiepreiserhöhungen mit einkalkuliert, sinken sie auf jährlich 4 bis 7 Fr./m². Dies entspricht bei einer 100 m² grossen Wohnung 35 bis 50 Fr. pro Monat und bei einem Einfamilienhaus von 40 bis 75 Fr. pro Monat. Diesen Mehrkosten stehen weitere Vorteile gegenüber, die teilweise mit direkten wirtschaftlichen Nutzen verbunden sind: Höhere erzielbare Mieteinnahmen, höhere Verkaufspreise bei Einfamilienhäusern, bessere Vermietbarkeit können diese Kosten fallweise gar überkompensieren (siehe Seite 20).



Neubau: Energieeffizienzgewinn und Kosten pro Jahr bei erhöhten Dämmstärken an Fassaden. Die Kosten enthalten die Ausgaben für Energie sowie die Kapitalkosten der zusätzlichen Wärmedämmung inklusive Montage (Best Practice, 3,5% Realzins, 40 Jahre Nutzungszeit).

- Wärmekosten bei 7 Rp./kWh Energiepreis,
- Wärmekosten bei 5 Rp./kWh Energiepreis,
- Jahreskosten Wärmedämmung inkl. Arbeit.



Neubau: Energieeffizienzgewinn und Kosten pro Jahr bei erhöhten Dämmstärken am Dach. Die Kosten enthalten die Ausgaben für Energie sowie die Kapitalkosten der zusätzlichen Dämmung inklusiver Montage (3,5% Realzins, 50 Jahre Nutzungszeit).

- Wärmekosten bei 7 Rp./kWh Energiepreis,
- Wärmekosten bei 5 Rp./kWh Energiepreis,
- Jahreskosten Wärmedämmung inkl. Arbeit.

Pfeil: begleitender Nutzen, wenn eine 100-m²-Dachwohnung um 20 Fr. teurer vermietet werden kann, nach Einbau der Wärmedämmung.

Wärmebedarf (Qh)	Wärmeschutz		Total Jahrekosten inkl. Energie, Wärmeerzeugung etc.			
	Investitionskosten	Jahreskosten	Öl, Gas (5 Rp./kWh)	Öl, Gas (7 Rp./kWh)	Wärmepumpe Erdsonde (16 Rp./kWh _e)	Holz (5 Rp./kWh)
[MJ/m²a]	[Fr./m²]	[Fr./m²a]	[Fr./m²a]	[Fr./m²a]	[Fr./m²a]	[Fr./m²a]
235	0	0	7	9	10	10
190	24	1	8	9	10	10
140	87	4	9	10	11	11
82	222*	12*	16	16	18	17

*inkl. Komfortlüftung

Investitions- und Jahreskosten bei unterschiedlich starkem Wärmeschutz in Funktion des Heizwärmebedarfs für verschiedene Heizsysteme. Hier für ein MFH, ohne Berücksichtigung der Zusatznutzen.

Tipps für die Wohnungswirtschaft

Begleitende Nutzen – oft vergessen

20 Wärmeschutzmassnahmen generieren verschiedene begleitende Nutzen – leider werden sie oft übersehen oder unterschätzt. Dabei können die begleitenden Nutzen für alle Beteiligten vergleichbare Dimensionen wie die direkten Nutzen aus der Energiekosteneinsparung erreichen. Manchmal können die begleitenden Nutzen gar grösser sein, wie die Zwischenergebnisse einer derzeit laufenden Studie nahe legen. Dort zeigte sich zum

Beispiel, dass Minergie-Einfamilienhäuser systematisch um 4 % bis 14 % höher verkauft werden können als vergleichbare Gebäude an vergleichbarer Lage.^{1,2}

Auch wenn sich begleitende Nutzen derzeit nur näherungsweise in Franken und Rappen beziffern lassen, sollten sie bei der Investitionsplanung nicht ausgeklammert werden. Dadurch stiege nämlich das Risiko, zu wenig zu investieren. Und das könnte angesichts der langen Reinvestitionszeiten und der absehbaren Energiepreissteigerungen nachträglich teuer werden.

titionszeiten und der absehbaren Energiepreissteigerungen nachträglich teuer werden.

¹ Laufendes Projekt «Direkte und indirekte Zusatznutzen beim energieeffizienten Bauen und Erneuern», econcept und CEPE ETH Zürich, im Auftrag des Programms EWG des BFE. Der Bericht ist ab Ende 2004 erhältlich (www.ewg-bfe.ch). Informationen über das Projekt gibt econcept oder das CEPE der ETH Zürich.

² Siehe Ende Oktober 2004 erscheinende Immobilienmarkt-Publikation der Zürcher Kantonalbank.

Nichtenergetische Zusatznutzen	
+ Lärmschutz	Die Kombination von neuen Fenstern und Komfortlüftung und die Wärmedämmung mit schweren (z.B. mineralischen) Materialien hält Aussenlärm fern.
+ Behaglichkeit	Zugfreie Räume mit wärmeren Aussenwänden und Fensterinnenflächen verbessern den Komfort.
+ Luftqualität	Eine Komfortlüftung sorgt kontinuierlich für frische Luft. Sie verhindert die Ausbreitung von Zigarettenrauch oder von Gerüchen aus Küche, Bad und WC.
+ Luftfeuchtigkeit	Komfortlüftungen können besonders bei neuen oder umfassend erneuerten, sprich dichten Gebäuden Bauschäden verhindern. Dies ist dann besonders wichtig, wenn die Bewohner ganztags abwesend sind und deshalb nicht lüften können.
+ Nutzflächen	Gerade durch die Wärmedämmung des Dachs entsteht oft begehrter zusätzlicher Wohnraum.
+ Sicherheit	Die Komfortlüftung erlaubt es, die Fenster ständig geschlossen zu halten. Dies erhöht den Schutz vor Einbrechern.
+ Mieteinnahmen	Eine Variantenerhebung bei rund 250 Mietenden hat gezeigt, dass verbesserter Wärmeschutz durchaus geldwert ist. Bei Neubauten würde eine Komfortlüftung mit rund 5 % höheren Mietzinsen honoriert. Menschen, die bereits mit Komfortlüftungen wohnen, würden nur bei einer Mietzinsreduktion von rund 5 bis 10 % wieder in eine Wohnung ohne Komfortlüftung wechseln. Bei bestehenden Gebäuden dürften neue energieeffiziente Fenster oder eine wärmetechnisch erneuerte Fassade 100 bis 150 Franken mehr Mietzins kosten. ¹
+ Verkaufspreis	Neu gebaute Minergie-Einfamilienhäuser erzielen rund 9 % höhere Verkaufspreise als vergleichbare Objekte an vergleichbaren Standorten. Dies zeigt eine gemeinsame Untersuchung der Zürcher Kantonalbank und des CEPE der ETH Zürich. ² Auch wenn die statistische Bandbreite von +/- 5 % berücksichtigt wird, können ein Generalunternehmen und Investoren die Mehrkosten eines Minergie-Baus mindestens kompensieren und gar einen höheren Gewinn erzielen.
+ Werterentwicklung	Immobilenschätzer der Zürcher Kantonalbank bescheinigen Minergie-Gebäuden eine bessere Wertentwicklung und eine geringere Abschreibung. Wie Simulationsrechnungen zeigen, sollten Minergie-Häuser nach 30 Jahren die Standardobjekte in 90 % der Fälle übertreffen. Für das Minergiehaus wurden hierbei 5 % höhere Investitionskosten angenommen. ²

Chancen nicht verpassen!

Investitionen im Bau haben einen langen Zeithorizont. Damit bergen sie das Risiko, Chancen zu verpassen – Chancen zum Senken der Heizkosten und zur Steigerung des Gebäudewerts. Eine nächste Gelegenheit bietet sich in der Regel erst wieder nach 30 bis 50 Jahren.

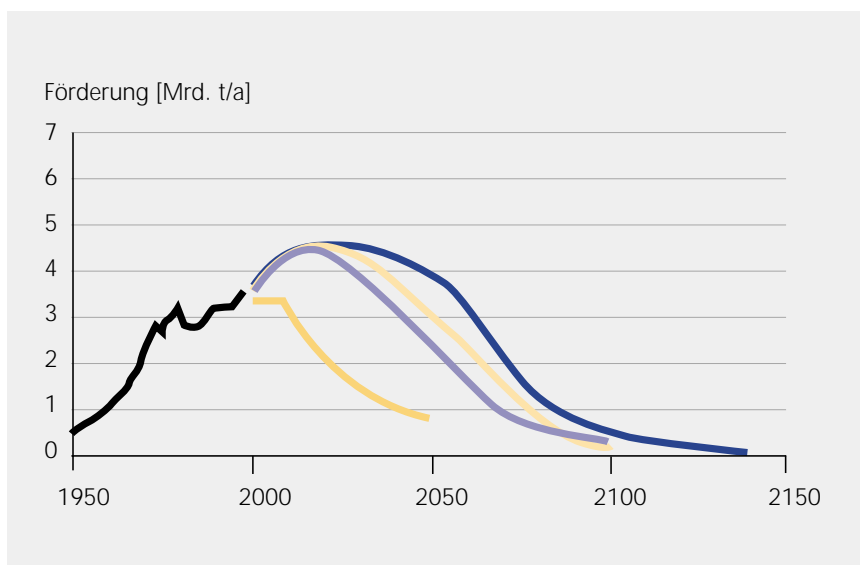
Investoren, die jetzt energieeffizient bauen oder erneuern, sorgen für ein kleineres Leerstandsrisiko. Zudem wappnen sie sich damit gegen höhere Energiepreise. Für steigende Preise bei Brennstoffen sprechen vor allem folgende Gründe:

- Die Verpflichtungen von Kyoto und die CO₂-Abgabe ab Mitte dieses Jahrzehnts werden einen Preisschub auslösen.
- Die Fachwelt erwartet, dass die Erdölförderung zwischen 2020 und 2030 ihr Maximum erreichen wird. Das führt zu langfristig deutlich steigenden Preisen für Erdöl aber auch für andere Energieträger.
- Zwei Drittel aller Ölressourcen und bereits 30% der Förderung liegen im Nahen Osten. Als Folge der sinkenden Förderung

anderer Länder wird sich die Produktion in den kommenden Jahrzehnten weiter in dieser politisch instabilen Region konzentrieren. Bereits 2020 erreicht der Förderanteil des Nahen Ostens 50% und der OPEC als Ganzes über 60%. Die marktbeherrschende Stellung dieser Organisation wird dazu führen, dass die Preise bei Konflikten in der Region immer wieder in die Höhe schnellen.

Abhängigkeit reduzieren

Die vorhandenen Effizienzpotenziale sind gross. Durch die Erneuerung der Wärmeerzeuger und vor allem durch verbesserten Wärmeschutz lassen 50% bis 70% vom durchschnittlichen Brennstoffbedarf des heutigen Wohngebäudebestandes sparen. Hoch wärmegeämmte Gebäude ermöglichen zudem den wirtschaftlichen Einsatz von Wärmepumpen und erneuerbaren Energien. Damit lässt sich nicht nur der Ausstoss an Treibhausgasen senken, sondern auch noch die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduzieren.



Die Erdölförderung mit konventionellen Verfahren wird vermutlich zwischen 2020 und 2030 ihr Maximum erreichen. (Quelle: P. Kehrer «Das Erdöl im 21. Jahrhundert – Mangel oder Überfluss?» Vortrag im Erdölmuseum Wietze, 10. März 2000. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. Grafik: CEPE, Oerlikon Journalisten)

Folgerungen für die Politik

Die Entwicklung anstossen

22 Beim Neubau lässt sich hoher Wärmeschutz relativ kostengünstig realisieren, das zeigen die Gebäude, die nach dem Minergie-Standard gebaut werden. Aber auch die Erneuerung bietet eine breite Auswahl von kostengünstigen technischen Verbesserungen, die unter realistischen Rahmenbedingungen rentieren. Diese Möglichkeiten werden beim Neubau und vor allem bei der Erneuerung noch zu wenig und zudem recht unterschiedlich in einzelnen Kantonen genutzt. Wie die eingangs erwähnten Studien zeigen, liegt das nicht an der Technik und kaum an der Wirtschaftlichkeit. Vielmehr liegt es daran, dass die Rahmenbedingungen nicht stimmen.

Wärmeschutz rentiert meist

Mit brutto 5 bis 8 Rp. pro gesparte kWh sind im Rahmen von Erneuerungen montierte Standardwärmedämmungen (12 bis 16 cm) schon bei heutigen Energiepreisen weitgehend wirtschaftlich. Während der 40- bis 60-jährigen Nutzungszeit werden die Energiepreise aber steigen. Deshalb dürften die Durchschnittskosten für die eingesparte Wärme realistischerweise eher bei 8 bis 10 Rp./kWh liegen. Und damit werden sogar Dämmstärken im Bereich von 20 cm rentabel. Deren durchschnittliche Kosten steigen gerade bei Erneuerungen nur leicht, auf brutto 7 bis 10 Rp. pro kWh gesparte Wärme. Dennoch werden nur bei 25 % bis 45 % der Fassaden- und Dacherneuerungen Wärmedämmungen eingebaut. Und nur sehr selten investiert die Bauherrschaft mehr als heute vorgeschrieben. Aus Sicht der Energie- und Klimapolitik aber auch der Wohnungswirtschaft werden hier Chancen verpasst. Wenn eine Dämmung später verstärkt werden muss, verdop-



peln sich die Investitionskosten ungefähr. Auf die erreichte Energieeffizienz bezogen, ist nachträgliches Aufdoppeln sogar drei- bis fünfmal teurer.

An positive Nebeneffekte denken

Die indirekten Zusatznutzen wie Lärminderung, geringeres Krankheitsrisiko, bessere Vermietbarkeit, höherer Verkaufswert und Bonität können die zusätzlichen Wärmeschutzkosten teilweise oder ganz kompensieren. Sie sollten deshalb in Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit einbezogen werden. Dies gilt es entsprechend zu kommunizieren.

Finanzielle Anreize geben

Wärmeschutz auf dem neusten Stand der Technik (z. B. verbessertes Polystyrol, Hochleistungs-Kerndämmung, Vakuumisolation, Edelgasnutzung, selektivere Glasbeschichtungen, Folien- oder Vakuumgläser in Fenstersystemen) wird derzeit noch in sehr kleinem Umfang

produziert und installiert. Erfahrungsgemäss dürften auch diese Technologien mit wachsender Produktion erheblich billiger werden. Diese Kostendynamik durch Lern- und Skaleneffekte ist ein Argument für zeitlich begrenzte finanzielle Förderung durch die öffentliche Hand. Dabei müssen aber kontraproduktive Stop-and-Go-Effekte vermieden werden.

Baupraxis verbessern

Mit ihrem grossen Anteil am Brennstoffkonsum werden die Wohngebäude einen wesentlichen Beitrag zum Reduktionsziel des CO₂-Gesetzes leisten müssen. Eine Voraussetzung hierfür ist, dass beim Neubau besser gedämmt wird, als die Vorschriften der Kantone verlangen und auch bei der Erneuerung kräftig in Wärmeschutz investiert wird. Zudem sollte stets die modernste Heiztechnik genutzt werden. Um dies zu erreichen, bedarf es aber mehr Information und Fortbildung für alle Beteiligten.

Aktionsplan: 12 Punkte

Die ökologisch wie ökonomisch wünschbaren Investitionen in den Wärmeschutz bei Wohngebäuden stellen sich unter den heutigen Rahmenbedingungen nicht von selbst und schon gar nicht rasch genug ein. Um in dieser Sache voran zu kommen, müsste die Politik entsprechende Voraussetzungen schaffen. Ein Erfolg versprechender Aktionsplan sollte folgende Massnahmen kombinieren:

1 Die systematische und zielgruppen-gerechte Information von Investoren, Planenden und ausführenden Unternehmen über die begleitenden Nutzen von Wärmeschutzinvestitionen und Komfortlüftungen;

2 Eine verbesserte und intensivierte Fortbildung für Immobiliengesellschaften, Liegenschaftsverwaltungen, Planer und ausführende Betriebe zu Themen wie «neue Technologien des Wärmeschutzes», «sachgerechte ökonomische Bewertung von Kosten und Nutzen von Wärmeschutz-Investitionen», «Erläuterung der Investitionskosten und -nutzen von Investitionsalternativen bei Offerten und Kundengesprächen», «professionelle Kommunikation von Wärmeschutzinvestitionen gegenüber den Mietern»;

3 Die Verschärfung der kantonalen Anforderungen gemäss SIA 380/1. Als Vorgabe könnte beispielsweise Modul 2 (v.a. Standardlösung 1) der Mustervorschriften der Kantone, MuKE, der Minergie-Standard oder der SIA-Effizienzpfad dienen, der sich zurzeit in Überarbeitung befindet;

4 Die Einführung einer Deklarationspflicht für den Energieverbrauch und – damit verbunden – einer Erneuerungspflicht für Gebäude mit hohem Energieverbrauch;

5 Die weitere finanzielle und institutionelle Förderung der Träger von Labels wie Minergie, Minergie-P sowie von anderen Niedrigenergiebaukonzepten;

6 Anpassungen im Steuerrecht, die Investitionsanreize schaffen. So würden beispielsweise steuerlich begünstigte Erneuerungsfonds die Erneuerung und besonders auch die Gesamterneuerungen attraktiv machen;

7 Anpassungen im Mietrecht: Hier wären etwa bessere Überwälzungsmöglichkeiten auch von weitergehenden Wärmeschutzinvestitionen nützlich;

8 Ein spezielles Kreditzuschuss-/Zinsverbilligungsprogramm des Bundes, der Kantone und der Banken für Erneuerungen gemäss Minergie-Modulen;

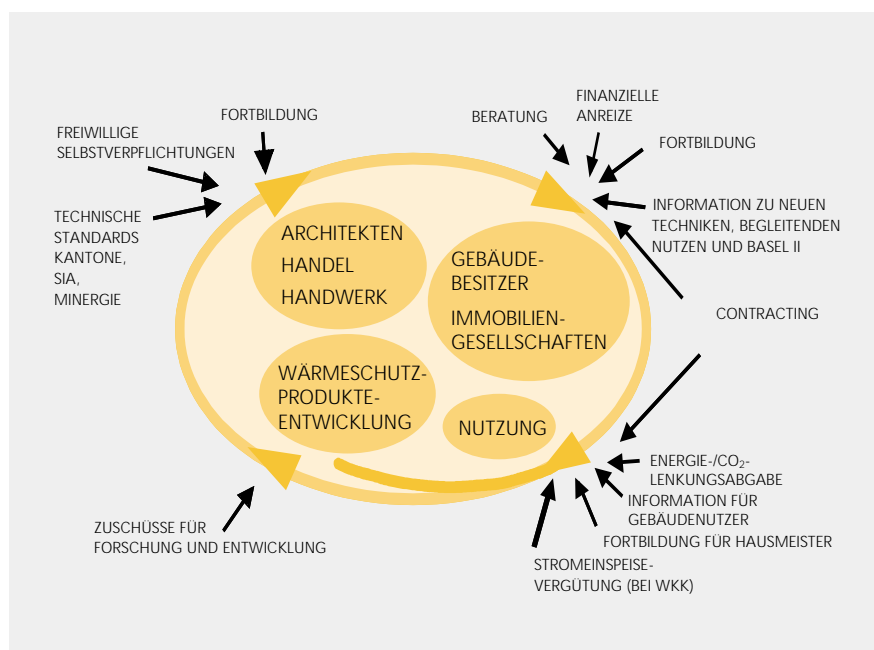
9 Eine Risikogarantie zur Förderung des Energie-Contractings;

10 Die Durchsetzung von Best-Practice-Lösungen, indem die Markttransparenz durch Information oder geeignete Tools erhöht wird und Markthemmnisse abgebaut werden;

11 Die Integration von Kostenelementen besonders energieeffizienter Lösungen in bestehende Kostenplanungstools und Programmen zur Ermittlung des Energiebedarfs nach SIA 380/1. Dies würde das optimierte Planen erleichtern;

12 Der Einbezug von Energieeffizienz und Wärmeschutz als Bewertungselement bei der Umsetzung von Basel II. Dies schafft finanzielle Anreize für energieeffizienteres Bauen.

Akteure und vorgeschlagene Fördermassnahmen für Wärmeschutz-Investitionen bei Wohngebäuden (Quelle: L. Nielsen, dänische Energiebehörde, Anpassung: CEPE)



24 Minergie und Minergie-P setzen

Masstäbe

Minergie ist ein Qualitätslabel für neue und erneuerte Gebäude. Die Marke wird von Bund, Kantonen und Wirtschaft gemeinsam getragen. Im Zentrum steht der Wohn- und Arbeitskomfort der Gebäudenutzenden. Ermöglicht wird dieser Komfort durch eine hochwertige – das heisst gut gedämmte und gedichtete – Bauhülle und eine kontrollierte Lüfterneuerung. Der spezifische Energieverbrauch gilt als Leitgrösse, um die geforderte Bauqualität zu quantifizieren. Bauherrschaft und Planer sind in der Gestaltung, in der Materialwahl sowie der inneren und äusseren Struktur eines Gebäudes völlig frei. Die Baubranche hat mittlerweile ein vielfältiges Angebot an Dienstleistungen und Produkten für Minergie-Bauten entwickelt. Zu den Anbietern zählen Architekten und Ingenieure, Hersteller von Materialien, Komponenten und Systemen. Neben dem Minergie-Standard, der auf eine Breitenwirkung hinzielt, strebt der neue Standard Minergie P (entspricht dem Passivhausstandard) zusätzlich als Nischenprodukt einen noch tieferen Energieverbrauch an.

Informationen zu Minergie

- Geschäftsstelle Minergie, Steinerstrasse 37, 3000 Bern 16, Tel. 031 350 40 60, E-Mail: info@minergie.ch
- Minergie Agentur Bau, Optingenstrasse 54, 3013 Bern, Tel. 031 340 35 30, E-Mail: agentur@minergie.ch
- www.minergie.ch

Publikationen

Jakob, M., Jochem, E., Christen, K.: Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienzmassnahmen bei Wohngebäuden, 2002, i. A. des Forschungsprogramms EWG des Bundesamts für Energie (BFE), Vertrieb: BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen, Art.-Nr. 805.054d oder unter www.ewg-bfe.ch

Jakob, M., Jochem, E.: Erneuerungsverhalten im Bereich Wohngebäude, 2003, i. A. des Forschungsprogramms EWG des Bundesamts für Energie (BFE), Vertrieb: BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen, Art.-Nr. 805.331d oder unter www.ewg-bfe.ch

E. Jochem, M. Jakob (Hrsg.): Energieperspektiven und CO₂-Reduktionspotentiale in der Schweiz bis 2010. vdf Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich, ISBN: 3-7281-2916-X

Bundesamt für Energie (Hrsg.): Wärmebrückenkatalog; zu beziehen bei www.energie-schweiz.ch (> Ratgeber und Angebote > Angebote Gebäude > Planungswerkzeuge) oder beim BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen Art.-Nr. 805.159d

Flumroc AG (Hrsg.): Nachhaltig sanieren und umbauen; zu beziehen unter www.flumroc.ch (> Dokumentation > Fachartikel)

Allgemeine Informationen

Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG)
www.ewg-bfe.ch

EnergieSchweiz
www.energie-schweiz.ch

Gebäudekampagne des Bundesamts für Energie
www.bau-schlau.ch

Centre for Energy Policy and Economics (CEPE), ETH Zürich
www.cepe.ethz.ch

econcept AG, Zürich
www.econcept.ch

Flumroc AG, Flums
www.flumroc.ch