

# Wirtschaftlichkeit von Passivhäusern im Neu- und Altbau

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist\*

## 1. Zur Methodik der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Geeignete Methoden zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit beruhen auf den finanzmathematischen Gesamtkosten (Barwert), die während der Nutzungsdauer der betrachteten Gebäude oder Anlagen anfallen (Lifecycle-Cost-Analysis LCA). Vor allem bei langen Nutzungsdauern ist es entscheidend, dass Kosten, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, ökonomisch mit dynamischen Methoden zu bewerten sind.

*Ein heute immer noch häufig verwendetes Vergleichskriterium sind Amortisationszeiten. Am konkreten Beispiel wird deutlich, dass man dieses Kriterium heute nicht mehr verwenden sollte: Die Nachrüstung einer Verglasung mit einer zusätzlich auf den Rahmen aufgeklebten Folie führt zu einer Amortisationszeit von drei Jahren, das alternative Auswechseln der Verglasung aber zu 9 Jahren. Hat der "Sieger" (die Folie) eine Nutzungsdauer von zwei Jahren, so entsteht in Wirklichkeit ein Verlust, bei der Alternative jedoch ein Gewinn. Amortisationszeiten eignen sich daher grundsätzlich nicht zur Bewertung alternativer Investitionsentscheidungen.*

Um den **Kapitalwert** zu bestimmen, wird jede Zahlung oder Einnahme innerhalb des Lebenszyklus mit dem Kapitalzinssatz zurückgezinst auf den Bezugszeitpunkt. Auf diese Weise wird der Gesamtgewinn bzw. Gesamtverlust ermittelt. Äquivalent zur Kapitalwertmethode ist die **dynamische Annuitätenmethode**. Dabei wird der Kapitalwert so auf jährliche Kapitalkosten umgelegt, dass die Einzelbeträge über den Lebenszyklus der Maßnahme konstant sind - die Annuität (vgl. Kasten) ist gerade der Kehrwert des Barwertfaktors ( $a=1/B$ ). Dieses Verfahren ist in Deutschland schon seit Jahrzehnten als adäquate Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit bei baulichen und heizungstechnischen Maßnahmen eingeführt. Das Verfahren ist z. B. in VDI 2067 beschrieben.

Die **jährlichen Kapitalkosten**  $K_i$  (Zins und Tilgung) für eine Investition  $I$  ergeben sich - bei über die Nutzungsdauer der Maßnahme konstanten Raten - als das Produkt aus dem **Annuitätsfaktor**  $a$  und der Investition  $I$ :

$$K_i = a \cdot I$$

$$a = \frac{p}{1 - (1+p)^{-n}}$$

Dabei sind  $p$  der Zinssatz und  $n$  die Nutzungsdauer.

Den Kosten für eine Energiesparmaßnahme (Kapitalkosten sowie gegebenenfalls Zusatzkosten, z. B. Wartungskosten oder Hilfsenergie) stehen die eingesparten Energiekosten gegenüber. Die **Maßnahme ist wirtschaftlich**, wenn die eingesparten Energiekosten höher sind.

Zweckmäßig ist es, von den Schwankungen der allgemeinen Inflation abzusehen. Zu diesem Zweck empfiehlt es sich, mit realen Preisen zu rechnen. Gegenüber [Feist 1998] als auch [Feist, Kah 2007] hat sich der Realzins weiter verringert. Diese Situation sehr niedriger Zinsen wird vermutlich noch eine geraume Zeit anhalten. In diesem Artikel wird durchweg ein effektiver Realzins von  $p = 3,25\%/a$  verwendet; Dieser ist derzeit (2010) sogar noch höher als die tatsächlich marktüblichen Zinsen - wir wollen bzgl. der Kapitalkosten jedoch auf der sicheren Seite bleiben.

## Nominale und reale Zinsen

Für Wirtschaftlichkeitsvergleiche ist es sinnvoll, die unsichere Inflationsrate  $i$  zu eliminieren und mit realen (statt mit nominalen) Preissteigerungen und Zinsen zu rechnen. Ist  $p_{\text{nom}}$  der nominale Zinssatz, so ergibt sich der reale Zinssatz  $p_{\text{real}}$  zu

$$p_{\text{real}} = \frac{1 + p_{\text{nom}}}{1 + i} - 1$$

## Investitionskosten

Die Investitionskosten umfassen die Planung, Anschaffung, Installation und Inbetriebnahme der zur Diskussion stehenden Maßnahmen - soweit diese der Energieeffizienzverbesserung zuzurechnen sind. Das Vorgehen, eine Ener-

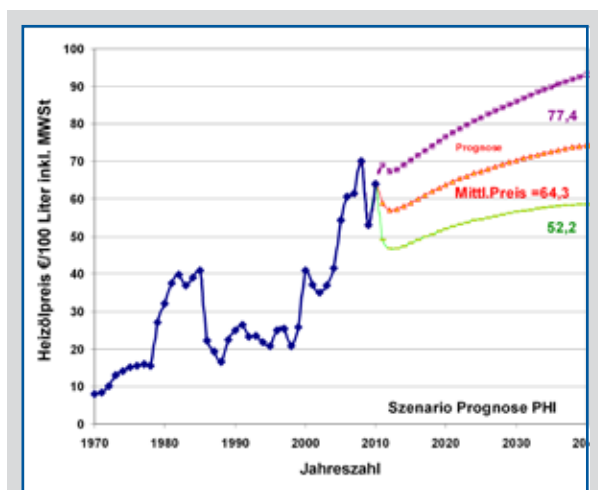
\* Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen, Universität Innsbruck und Passivhaus Institut Darmstadt/Innsbruck

giesparmaßnahme dann auszuführen, wenn sie ohnehin ansteht, ist besonders vorteilhaft, da dann die zuzurechnenden Investitionskosten am geringsten sind (Kopplungsprinzip). Viele Maßnahmen können nur unter diesen Umständen wirtschaftlich realisiert werden. Gerechtfertigt wird diesem Ansatz die Einführung von „bedingten Anforderungen“, wie sie schon in den Wärmeschutzverordnungen und in allen bisherigen Energieeinsparverordnungen vorgenommen wurden.

Wird eine Energiesparmaßnahme ausgeführt, bevor aus anderen Gründen eine Modernisierung erfolgen würde, so erhöht sich die anzusetzende Investition um einen Restwert.

## 2. Zum künftigen Energiepreis

Bild 1 zeigt den Verlauf des Rohölpreises von 1960 bis 2010. Die Entwicklung ist vor allem gezeichnet durch starke Schwankungen - aber es gibt auch einen klaren Trend zu höheren Preisen. Der Ölpreis bestimmt auch künftig noch



**Bild 1:** Prognose, obere und untere Grenze für den zeitlich gemittelten künftigen Energiepreisverlauf Heizöl EL.

Quelle: PHI

lange Zeit das Preisniveau für Energie, da Erdöl heute die wichtigste Energiequelle ist und auch noch auf lange Zeit dominant bleiben wird. Das geht aus den Arbeiten der Internationalen Energie Agentur [IEA 2001] hervor.

Natürlich könnten die Ölpreise schon im kommenden Jahr wieder einmal einbrechen. Es ist eine der Eigenschaften dieser von Spekulation regierten Märkte, gerade für kurzfristige Zeiträume nahezu unberechenbar zu sein. Hier wird die langfristige Entwicklung an Hand der Relevanz der Gründe geführt, die für die derzeit hohen Preise aufgeführt werden:

- Die Förderkapazitäten in Europa und Nordamerika gehen zurück - gerade dieser Trend wird sich künftig noch verstärken.

- Sabotagen und Anschläge in Irak und anderen ölexportierenden Ländern - das ist sicher kein nur "aktuelles Problem" sondern schon seit Jahrzehnten virulent.
- Steigender Bedarf in China - dieser fängt gerade erst an, und nicht nur der Bedarf in China steigt. Dies ist nach unserer Einschätzung die mittel- und langfristige Haupttriebfeder.
- Naturereignisse, Unfälle - es gibt künftig eine zunehmende Problematik durch den Klimawandel, der die Gefahr von Extremwetterereignissen nachweislich erhöht.
- Kapazitätsgrenze der OPEC - diese mag mittelfristig zu beheben sein; aber langfristig gibt es Kapazitätsgrenzen überall, vgl. die Diskussion um „peak oil“.

Andererseits wird es ein exponentielles Wachstum des Energiepreises auch nicht geben - dafür sorgen vorhandene Substitutions-Energieträger (z. B. in Form der Kohlevergasung, auch in situ). Aber die mittleren Energiepreise in den relevanten Zeiträumen, in denen ein Neubau oder ein modernisiertes Gebäude Heizenergie benötigen wird, werden kaum niedriger sein als die heutigen Tagespreise.

Vor diesen Hintergründen wagen wir (PHI) eine Fortschreibung der mittleren Energiepreistrends; es handelt sich nicht um eine Prognose, aber um eine begründete Extrapolation auf der Basis der zuvor gegebenen Analyse. Im wahrscheinlichsten Szenario ergibt sich aus einem mittleren Ölpreis von 64 Cent/Liter unter Einbeziehung des Jahresnutzungsgrades (90 %) ein Wärmepreis von 7 Cent/kWh. Dazu kommt noch der Aufwand für Hilfsenergie (etwa 0,3 Cent/kWh) und der variable Teil der Systemkosten (mehr als 1,6 Cent/kWh) - insgesamt ist mit einem mittleren künftigen Wärmepreis von um 9 Cent/kWh zu rechnen. Kosten für die CO<sub>2</sub>-Rückhaltung sind dabei noch nicht berücksichtigt. Interessanterweise liegen auch die variablen Energiekosten vieler der heute diskutierten alternativen Quellen von Heizwärme in diesem Preissegment (Wärme aus Wärmepumpen und Nahwärmesystemen sowie Holzheizungen).

Es spricht auch vieles dafür, dass sich zwar zeitweise Preisunterschiede bei der Wärmeerzeugung aus den starken Schwankungen am Markt ergeben - dass aber im zeitlichen Mittel die verschiedenen Wärmebereitstellungsvarianten nur wenig unterschiedliche Wärmepreise bieten werden.

## 3. Ökonomische Situation bei den Komponenten des energieeffizienten Bauens

Systematische Untersuchungen an gebauten Siedlungen und durchgeführten Sanierungsmaßnahmen zeigen, dass es vor allem die in diesem Kapitel aufgeführten baulichen und haustechnischen Komponenten sind, welche in der Praxis reproduzierbar den Energiebedarf von Gebäuden reduzieren können.

Diese Maßnahmen können jeweils auf unterschiedliche Qualitätsstufen hin realisiert werden. Die hier dokumentierte Untersuchung zeigt, welche einzelwirtschaftlichen

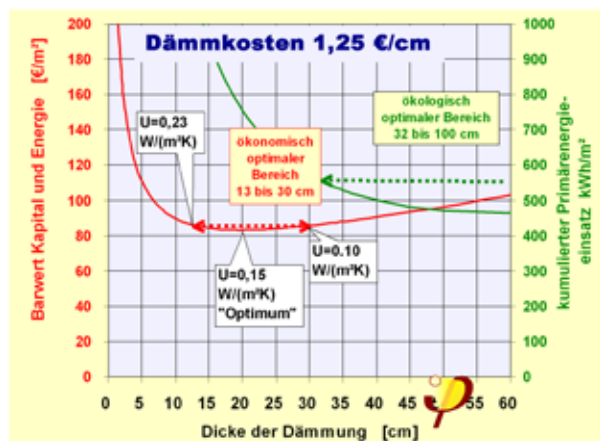
Optima bei den einzelnen Komponenten (Lebenszyklusbe-  
trachtung) vorliegen. Diese Untersuchungen sind vor allem  
relevant bzgl. der bei Sanierungen zu empfehlenden Quali-  
täten, da in diesem Fall oft Einzelmaßnahmen zur Ausführ-  
ung stehen.

### 3.1 Wärmedämmung opaker Bauteile

Bei Neuerrichtung oder Erneuerung des Außenputzes eines  
Gebäudes fallen durchschnittliche Ohnehin-Kosten von 40  
Euro/m<sup>2</sup> an („Gerüst einrichten“, „alten Putz abschlagen und  
entsorgen“ sowie „Aufbringen des neuen Außenputzes“).  
Wird statt der ohnehin anstehende Außenputzerneuerung ein Wärmedämm-  
verbundsystem aufgebracht, fallen nur  
geringe energiebedingte Mehrinvestitionen an.

Den Barwert der Gesamtkosten der noch  
aufzubringenden Energiekosten zuzü-  
glich der Kapitalkosten für die Energie-  
sparmaßnahme zeigt Bild 2.

Das sehr flache ökonomische Opti-  
mum liegt bei einem U-Wert von 0,15  
W/(m<sup>2</sup>K). Eine relativ weite Spanne mit  
daraus resultierenden U-Werten von  
0,23 bis 0,10 W/(m<sup>2</sup>K) stellt sich als wirt-



**Bild 2:** Verlauf des Barwertes der Lebenszykluskosten bei einer  
wärmedämmten Außenwand mit zuwachsender Investition  
von 1,25 €/m<sup>2</sup> je cm Dämmstärke (Wärmeleitfähigkeit 0,032  
W/(mK), 75 kWh Klima).

schaftlich sinnvoll heraus. Dieses Optimum liegt genau in  
dem Bereich der für Passivhäuser in Mitteleuropa erforder-  
lichen Dämmstärken. Ein wichtiger Nebeneffekt der Ener-  
giesparmaßnahme ist die Verbesserung der Behaglichkeit  
im Raum nach der Sanierung durch Innenoberflächentem-  
peraturen der Außenwand von über 19 °C auch im Winter.  
Außerdem kommt es durch die erhöhte Bauteiltemperatur  
selbst im oft kritischen Fall eines Schrankes vor einer Au-  
ßenwandkante nicht mehr zu Schimmelpilzwachstum.

### 3.2 Fenster

Bild 3 zeigt, dass unter den heute geltenden Randbedingun-  
gen Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen mit U-Wer-  
ten im Bereich von 0,7 W/(m<sup>2</sup>K) deutlich wirtschaftlicher  
sind als die gemeinhin immer noch häufig eingesetzten  
Zweischeibenverglasungen. Neben der ökonomischen Vor-  
teile ist hier vor allem auch die erhebliche Verbesserung  
der Behaglichkeit zu erwähnen: Die winterlichen inneren  
Oberflächentemperaturen steigen von 14 °C auf 17 °C an,  
wodurch die gesamte Wohn(Nutz-) Fläche vor dem Fenster  
behaglich nutzbar wird - und Heizkörper nicht mehr unter

Energiesparmaßnahme: Fenster; Wärmeschutzfenster			
Realzins:	3,25% p.a.	Heizgradstunden:	75 kWh/a
Kalkulationsdauer:	30 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	96%
Annuität:	5,3% p.a.	Mittlerer Energiepreis:	0,0643 €/kWh
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : konv. Variante			
Bauteil alt:	Ohnehin-Maßnahme:	wirtschaftlich sinnvoller Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
	Ohnehin fällige Maßnahme ohne besonderen Wärmeschutz	Sanierungsmaßnahme mit ökonomisch gebotennem Wärmeschutz	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Empfehlung:
Bestand	konv. Variante	3 WSVgl IV84	3 WSVgl & PH-Rahmen
U-Wert des alten Bauteils	U-Wert konv. Erneuerung	wirtschaftlich gebotener U-Wert	zukunftsweisender U-Wert
5,15 W/(m <sup>2</sup> K)	1,46 W/(m <sup>2</sup> K)	0,99 W/(m <sup>2</sup> K)	0,78 W/(m <sup>2</sup> K)
Glas	1,10 W/(m <sup>2</sup> K)	Glas	0,70 W/(m <sup>2</sup> K)
Rahmen	1,59 W/(m <sup>2</sup> K)	Rahmen	1,30 W/(m <sup>2</sup> K)
Glasr.	0,08 W/(m <sup>2</sup> K)	Glasr.	0,03 W/(m <sup>2</sup> K)
Einbau	0,00 W/(m <sup>2</sup> K)	Einbau	0,00 W/(m <sup>2</sup> K)
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:		52,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	67,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:		81%	85%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie:		3,4 Cent/kWh	6,4 Cent/kWh
Oberflächentemp. innen bei -10 °C	14,3 °C	16,1 °C	16,9 °C
Behaglichkeit Winter	mittel	mittel	hoch
Behaglichkeit Sommer	mittel	hoch	hoch
Tauwasserschutz Kante	gering	mittel	hoch
Bauliche Investitionskosten:	271 €/m <sup>2</sup>	308 €/m <sup>2</sup>	361 €/m <sup>2</sup>
Die untersuchten Maßnahmen sind beim zugrundegelegten Energiepreis wirtschaftlich.			

**Bild 3:** Lebenszykluskosten bei Fenstern im Vergleich: Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen sind heute in Mitteleuropa generell empfehlenswert, der verbessert gedämmte Fensterrahmen (letzte Variante) auch, wenn die erzielbaren Vereinfachungen bei der Wärmebereitstellung berücksichtigt werden.

dem Fenster platziert werden müssen. Gerade in den Be-  
reich der aus Komponentensicht attraktiven Maßnahmen  
kommen heute auch verbessert wärmedämmte Fenster-  
rahmen (Qualität des Zertifikates „Passivhaus geeigneter  
Fensterrahmen“ des PHI).

### 3.3 Lüftung

Als Referenzvariante wurde hier die reine Abluftanlage  
ohne Wärmerückgewinnung (Außenluftnachströmung über

Außenwandluftdurchlässe) zugrunde gelegt. Ein solches System ist in der Lage, gerade eben die für die Entfeuchtung und für eine noch tolerable Luftqualität notwendigen Voraussetzungen in einem Wohngebäude zu schaffen - mindestens ein solches System muss daher bei verantwortlicher Planung vorgesehen werden. Die Effizienzvariante besteht aus einer hocheffiziente Wärmerückgewinnung mit Gegenstromwärmeübertrager und guter Stromeffizienz durch Gleichstromventilatoren.

Die Mehrinvestition für die hocheffiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung liegt mit 24 Euro/m<sup>2</sup> bei einem kleinen Einfamilienhaus (ca. 120 m<sup>2</sup>) nur wenig über der Referenzlösung. Die Wirtschaftlichkeit wird schon bei mittelgroßen Wohneinheiten erreicht. Bei größeren Wohneinheiten (über 135 m<sup>2</sup>) reduzieren sich die wohnflächenspezifischen Mehrkosten auf 20 Euro/m<sup>2</sup>, die Anlagen erreichen dann die Wirtschaftlichkeit auch im Falle von wohnungsweisen Geräten.

Der Einsatz von hocheffizienten Gleichstromventilatoren (ECM) ist in jedem Falle wirtschaftlich und entlastet die Umwelt gegenüber der Variante mit Wechselstromventilatoren (AC) zusätzlich um 2 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr und Quadratmeter Wohnfläche.

Beim Altbau ist eine nachträgliche Integration von Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung zwar technisch fast in jedem Falle umsetzbar, in der Regel aber nicht einzelwirtschaftlich attraktiv. Unter Einbeziehung der Förderung oder in einem Passivhaus mit der dort möglichen Vereinfachungen bei der Heizung können diese Anlagen aber wirtschaftlich betrieben werden. Im Neubau können Anlagen mit Wärmerückgewinnung bereits in die Entwurfsplanung einbezogen werden. Dadurch können sich Kostenreduktionen für Kanalnetz und Wanddurchführungen ergeben. Auch der Planungsaufwand ist im Neubau geringer einzuschätzen, weil keine Rücksicht auf bauliche Gegebenheiten eines Bestandsgebäudes genommen werden muss.

#### 4. Ökonomie des Gesamtsystems: Gebäude und Gebäudetechnik

Bisher sind die Einzelkomponenten separat, aber durchaus unter Berücksichtigung der korrekten Randbedingungen aus dem Gesamtgebäude (z. B. marginale Wärmekosten) betrachtet worden.

Eine erweiterte Perspektive ergibt sich, wenn eine Gesamtoptimierung für das System aus Gebäude und Anlagen vorgenommen wird: Dann zeigt sich nämlich, dass durch die passiven Maßnahmen an der Gebäudehülle und durch die Wärmerückgewinnung nicht nur Energiekosten eingespart werden, sondern dass sich Zug um Zug bei sinkendem Heizwärmebedarf auch das Heizsystem vereinfachen lässt und damit weitere Kosten eingespart werden können:

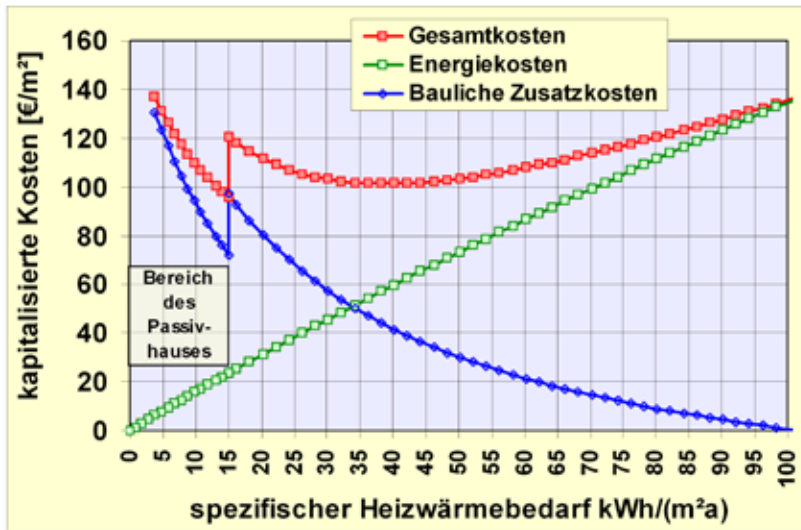
- Dadurch, dass die Oberflächen aller Außenbauteile in einem Passivhaus nur wenig von der Raumtemperatur abweichende Temperaturen haben, werden die Strahlungstemperaturasymmetrie und der Antrieb für die Raumluftwalze verringert; Passivhaus-Komponenten sind gerade so ausgelegt, dass keine Heizkörper mehr beim Fenster installiert werden müssen.
- Schon dadurch, dass Heizflächen eingespart werden, ergibt sich eine Kostenreduktion von 2.500 Euro, wenn unterhalb 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) gebaut wird.

Dieser Zusammenhang führt zwar nicht dazu, dass Gebäude mit Passivhaus-Standard in der Investition kostengünstiger würden als solche Objekte, die gerade im konventionellen Optimum gebaut wären (blaue Kurve bei 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) in Bild 5). Wohl aber, dass die gesamten Lebenszykluskosten nun ein weiteres, scharf ausgeprägtes Minimum beim Passivhaus aufweisen. Dieses Minimum erweist sich als sehr stabil gegenüber Änderungen der Randbedingungen, wie z. B. des Energiepreises [Feist 2005]. Die Ursache dafür liegt darin, dass es sich beim Passivhaus um ein technisch systembedingtes Optimum handelt.

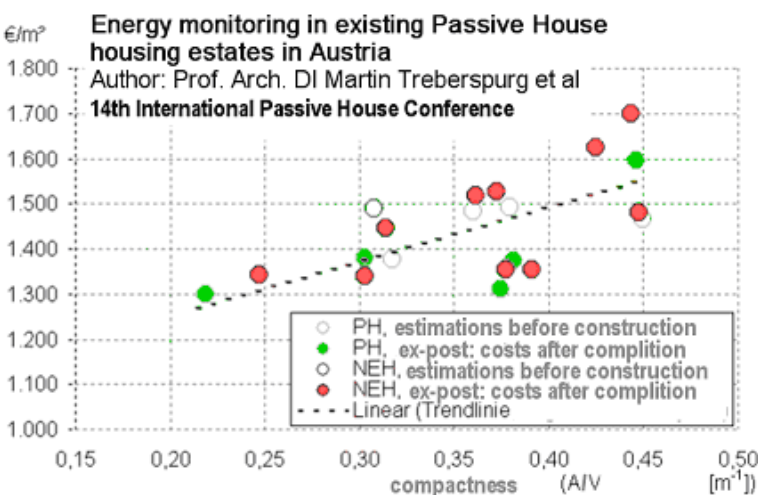
Maßnahme: Lüftungsanlage; Lüftungsanlage mit WRG			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Abluftanlage		EF Wohnfläche	
120 m <sup>2</sup>	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Effizienzverbesserung	Maßnahme mit Wärmerückgewinnung nach Mindest-Empfehlung	Maßnahme mit Wärmerückgewinnung nach Empfehlung
<b>Fensterlüftung</b>	<b>Abluftanlage</b>	<b>Lüftungsanlage mit WRG</b>	<b>Lüftungsanlage mit WRG</b>
Wärmebereitstellungsggrad: 0%	0%	80%	92%
Ventilator: ohne	Ventilator DC	Ventilator DC	Ventilator DC
Stromeffizienz der Anlage:	0,12 Wh/m <sup>3</sup>	0,35 Wh/m <sup>3</sup>	0,32 Wh/m <sup>3</sup>
Zulufttemp. bei -10 °C Außenluft:	-10,0 °C	15,4 °C	18,2 °C
Feuchteschutz:	erfüllt	gesichert	gesichert
Bauliche Investitionskosten:	32 €/m <sup>2</sup>	52 €/m <sup>2</sup>	56 €/m <sup>2</sup>
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		20 €/m <sup>2</sup>	24 €/m <sup>2</sup>
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		1,30 €/m <sup>2</sup> a	1,49 €/m <sup>2</sup> a
<b>Barwert</b>		<b>-1,97 €/m<sup>2</sup></b>	<b>-1,13 €/m<sup>2</sup></b>
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:		19,3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	22,1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:		58%	66%
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		20 kWh/(m <sup>2</sup> a)	24 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Randbedingungen</b>	Realzins: 3,25% p.a. Kalkulationsdauer: 30 Jahre Annuität: 5,3% p.a.	Heizgradstunden: 75 AKh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0643 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,0675 €/kWh	

**Bild 4:** Vergleich der Optionen bzgl. Wohnungslüftung bei einem kleinen Einfamilienhaus (120 m<sup>2</sup>). Der Einsatz einer Wärmerückgewinnung setzt einen hocheffizienten Wärmeübertrager und eine sehr gute Luftdichtheit des Gebäudes voraus. Die geringfügigen betriebswirtschaftlichen Mehrkosten im Lebenszyklus werden durch die erreichte höhere Luftqualität und den Zuwachs an Behaglichkeit mehr als ausgeglichen.





**Bild 5:** Systembedingtes Optimum der gesamten Lebenszykluskosten beim Passivhaus-Standard durch die Vereinfachung der Gebäudetechnik: Die Heizaufgabe kann unterhalb von 15 kWh/(m²a) quasi nebenbei mit erledigt werden.



**Bild 6:** Empirisch ermittelte Kosten der Passivhaus-Bauprojekte in Wien im Vergleich zu Niedrigenergiehaus-Referenzgebäuden.

## 5. Praktische Erfahrungen und Kostenstatistik

Bis 2010 sind in Europa ca. 20.000 Wohneinheiten mit Passivhaus-Standard errichtet wurden. In einer immer größer werdenden Stichprobe wurden dabei auch die tatsächlich erreichten Energieeinsparungen und die tatsächlichen baulichen Investitionskosten ermittelt. Ein wichtiges Ergebnis wird durch die Nachuntersuchung der Passivhaus-Wohnbebauungen in Wien dokumentiert [Treberspurg, Smutny 2010]. Bild 6 zeigt die empirisch ermittelten Baukosten dieser Projekte in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis; letzteres ist die Größe mit dem höchsten Einfluss auf die Baukosten. Aus der empirischen Untersuchung zeigt sich hier, dass die Baukosten der Passivhausprojekte im Mittel

noch nicht einmal höher als die der Referenzobjekte mit vergleichbarer Kompaktheit lagen. Nach Einschätzung des Autors ist dieses sehr gute Ergebnis vor allem auch darauf zurück zu führen, dass die Projekte in Wien mit hoher Kompetenz geplant und umgesetzt worden sind.

Vergleichbare Wohngebäude im sozialen Mitwohnungsbau in Innsbruck und in Frankfurt weisen bauliche Mehrinvestitionen im Bereich von 5 % der Baukosten auf - und dies korrespondiert gut mit der Analyse aus der Kostenkurve in Bild 5.

## 6. Zusammenfassung und Fazit

In den letzten Jahren hat sich am Wärmemarkt ein vergleichsweise stabiles Preisniveau von 7 Cent/kWh Wärme eingestellt. Dieses Preisniveau wird sich in der Nutzungsdauer heute neu gebauter oder renovierter Gebäude im Mittel der Zeit auch in etwa halten - dazu kommen allerdings noch variable Systemkosten, da sich die Gebäudetechnik mit abnehmendem Wärmebedarf vereinfacht.

Schon bei den einzelnen Komponenten der Gebäudehülle und der Lüftung ergeben sich unter den heutigen Randbedingungen Optima, die im Bereich der Qualitätsanforderung für Passivhäuser liegen (U-Werte der opaken Bauteile um 0,15 W/(m²K), Fenster U-Werte um 0,8 W/(m²K), Lüftung mit Wärmerückgewinnung und hoch effizienten Ventilatoren).

Bezieht man die Vereinfachungen in der Heiztechnik mit ein, die das Passivhaus erlaubt, so lässt sich mit diesem Standard heute bei sorgfältiger Planung ein absolutes Kostenoptimum bei den Lebenszykluskosten erreichen.

Praktisch ausgeführte Bebauungen belegen, dass die hier genannten Kostenziele erreichbar sind. Allerdings setzt das eine Planung voraus, die von Anfang an auf eine solche Optimierung abzielt und von kompetenten Architekten und Ingenieuren durchgeführt wird.

Durch die Verfügbarkeit der Ausbildung zum zertifizierten Passivhausplaner (CEPH, [Bähr 2010]) steht das erforderlicher Know-how auf breiter Ebene zur Verfügung - bereits über 900 Architekten und Ingenieure haben die zugehörige Prüfung erfolgreich absolviert. In dem Ausmaß, in dem Passivhaustechnik allmählich selbstverständlich in der Anwendung wird, werden auch künftig die investiven Zusatzkosten weiter sinken. Durch zahlreiche Produktzertifikate sind inzwischen korrekte Details nicht mehr mit erheblich erhöhtem Planungs- und Bauaufwand verbunden. Durch die Erfahrung sind inzwischen auch wirklich ausreichend luftdichte Gebäudehüllen bei allen Bauweisen ohne enormen Mehraufwand realisierbar.

Mit dem Passivhaus-Standard steht somit eine Alternative für Neubau und Altbau zur Verfügung:

- Damit können statistisch reproduzierbare Energieeinsparungen um 75 bis 80 % gegenüber den heute gültigen staatlichen Anforderungen erreicht werden.
- Und es werden heute schon alle Anforderungen im Gebäudesektor für die langfristigen Ziele des Klimaschutzes erreicht (EBPD recast 2010).
- Für den keine revolutionären Veränderungen von Planung, Baukonstruktion und Bautradition erforderlich sind: Alle Bauaufgaben, Bauweisen und Baustile sind möglich, viele sind bereits realisiert worden.
- Die baulichen Netto-Mehrinvestitionen liegen bereits heute in einem Bereich von um 5 %. Dadurch ist eine einzelwirtschaftlich rentable Realisierung von Passivhäusern bei heutigen Zinsen und Energiepreisen möglich.

Über die ökonomischen Vorteile hinaus weist der Passivhaus-Standard noch weitere Vorzüge aus, die es vielen Bauherren bereits in der Vergangenheit möglich gemacht haben, so zu bauen:

- Durch die bedarfsgerechte Lüftung haben Passivhäuser eine messbar gute Innenraum-Luftqualität.
- Die thermische Behaglichkeit ist systembedingt ausgezeichnet und das wird durch Feldbefragungen immer wieder bestätigt.
- Die höhere Bauqualität reduziert in Verbindung mit der Lüftung feuchtebedingte Bauschäden bei kompetenter Planung auf Null. Damit reduzieren sich zusätzlich die Instandhaltungskosten und Mietausfallkosten.

Auch volkswirtschaftlich ergeben sich weitere Vorteile: Es wird ein Klimaschutzniveau erreicht, dass eine dauerhaft nachhaltige CO<sub>2</sub>-freie Energieversorgung realisieren lässt. Die Abhängigkeit von weltpolitisch instabilen Öl- und Gas-

importen wird reduziert. Zugleich beruhen die höheren baulichen Qualitäten auf einer Zusatzwertschöpfung, die vor allem in Europa geschaffen wird. Alle diese Gründe spielen eine Rolle dabei, dass der Gesetzgeber in Deutschland Passivhäuser über die hier dargestellten Konditionen hinaus mit Förderkrediten und Sonderzuschüssen fördert. Diese kommen jedem Bauherren und jeder Baufamilie zusätzlich zu den bereits diskutierten Vorzügen zu gute. Mit dem EPBD-Recast 2010 fordert die Kommission, diese Anreize weiter zu führen und bis 2020 dafür zu sorgen, dass ein Standard mit vernachlässigbaren Klimabelastungen europaweit verbindlich wird. Mit dem Passivhaus kann das schon jetzt umgesetzt werden.

## LITERATUR

- [1] [Bähr 2010] A. Bähr: Weiterbildung zum „zertifizierten PassivhausPlaner“, im Tagungsband der 14. internationalen Passivhaustagung, Darmstadt/Dresden 2010.
- [2] [Feist 1998] W. Feist, Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ausgewählter Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand, Studie im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft, Darmstadt 1998.
- [3] [Feist 2005] W. Feist: Vom Passivhaus zum energieautarken Haus? Perspektiven für das Bauen in der Zukunft - Vortrag auf der Fachtagung Energieeffizientes Bauen, St. Gallen 2005.
- [4] [Kah, Feist 2007] O. Kah, W. Feist et al: Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung, Passivhaus Institut 2007.
- [5] [Treberspurg, Smutny 2010] Prof. Arch. DI Martin Treberspurg, DI Roman Smutny et al, Energy Monitoring in Existing Passive House Housing Estates in Austria, Proceedings of the 14th International Passive House Conference, Darmstadt/Dresden 2010.