

## **Wirtschaftlichkeitsbewertung von Energieeinsparmaßnahmen**

Die folgenden Ausführungen geben einen Ausschnitt des weiten Feldes der 'Wirtschaftlichkeitsbewertung' wieder. Der Text kann helfen, energiesparende Maßnahmen zu bewerten, ohne ein Studium der Betriebs- oder Volkswirtschaftslehre absolviert zu haben.

Vorab soll erwähnt werden, dass sich nicht alle Vorteile einer Modernisierung bzw. des sparsamen Energieeinsatzes direkt in Geldgrößen erfassen lassen. Beispiele hierfür sind Komfortverbesserungen, Bedienungsvereinfachungen, geringeres Risiko oder geringere Umweltbelastung.

Zudem liegen die betriebswirtschaftlichen Ergebnisse von Verbesserungsmaßnahmen oftmals so nahe beieinander, dass die Abweichungen innerhalb der auf unsichere Daten (insbesondere der Energiepreisentwicklung) zurückgehenden Bandbreite liegen und damit das Wirtschaftlichkeitskriterium allein keine vernünftige Entscheidung erlaubt. In diesem Fall ist eine Entscheidung nach anderen als wirtschaftlichen Kriterien vorzunehmen.

### **1 Mögliche Rechenverfahren**

Ziel einer Wirtschaftlichkeitsberechnung ist, eine Aussage über die finanziellen Auswirkungen der Investition zu ermöglichen. Bei der Betrachtung von Energie-sparmaßnahmen ist aus Verbrauchersicht aber die Besonderheit gegeben, dass keine direkten Gewinne erwirtschaftet werden können. Es kann immer nur ein Vergleich von Kosten und Einsparungen vorgenommen werden. Die Sparmaßnahme wird im Vergleich zu anderen Alternativmaßnahmen oder dem Zustand ohne Investition bewertet.

#### **Statische und dynamische Berechnungen**

Die gängige Praxis bei überschlägigen Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist, Kosten und Einsparungen des ersten Betriebsjahres zu ermitteln und über die angenommene Nutzungsdauer als konstant anzunehmen. Diese Art der Betrachtung wird von den **statischen Wirtschaftlichkeitsverfahren** verfolgt.

Sie liefern für kurze Betrachtungszeiträume tendenziell richtige Ergebnisse. Energieversorgungsanlagen und Anlagen zum rationellen Energieeinsatz sowie bauliche Energieeinsparmaßnahmen haben jedoch häufig Nutzungsdauern von 20 Jahren und länger. Über einen Betrachtungszeitraum dieser Länge müssen auch Zinsen, Tilgungen und Preissteigerungen jeder Art berücksichtigt werden.

Die **dynamischen Wirtschaftlichkeitsverfahren** schließen zeitliche Unterschiede im Anfall der Kosten und Erlöse ein. Es gibt hierbei verschiedene Rechenverfahren, die im Ansatz sehr ähnlich sind. Die wichtigsten und im Rahmen der Energieberatung etabliertesten sind die Ansätze des Leitfadens Energiebewusste Gebäudeplanung LEG Hessen [1] und der VDI 2067 [2].

## Kapital-/Barwertmethode

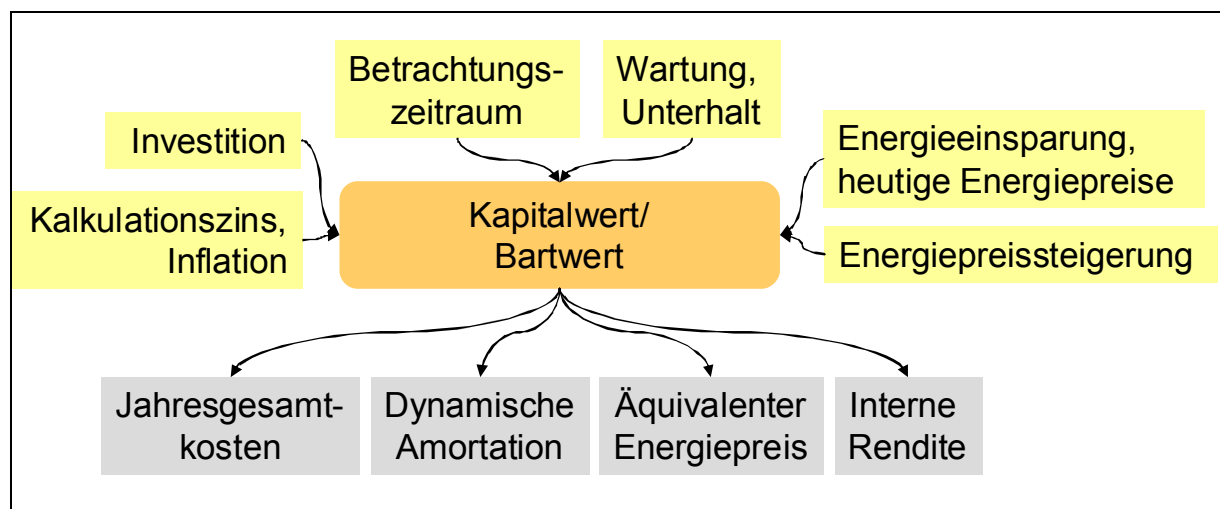
Die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung sowohl des LEG-Verfahrens als auch der VDI 2067 basiert auf dem Ansatz der Bildung eines Kapital- oder Barwertes.

Der Kapitalwert ist die Summe aller Kosten, die während der Nutzungsdauer einer Investition anfallen. Er wird auch als der Betrag bezeichnet, der heute anzulegen wäre, um alle Investitions- und laufenden Kosten abzudecken.

Zeitliche Unterschiede im Anfall der Kosten und der Erlöse werden durch Auf- bzw. Abzinsung berücksichtigt. Alle späteren Kosten werden also nicht mit ihrem Nominalbetrag berücksichtigt, sondern mit dem Betrag, den man zum Investitionszeitpunkt anlegen müsste, um die späteren Kosten zu bezahlen (spätere Energiekosten zum Beispiel). Das heißt, zukünftige Kosten werden zum heutigen Zeitpunkt üblicherweise geringerwertig eingeschätzt als gegenwärtige, da ein heute angelegter Geldbetrag sich zinsbringend vermehrt und damit die künftig höheren Kosten deckt.

Wenn nicht nur Kosten anfallen, sondern auch Einnahmen erzielt werden, so wird der Kapitalwert auch oft Barwert genannt. Der Ansatz der Betrachtung ist identisch, weshalb in verschiedenen Veröffentlichungen Kapitalwert- und Barwert-Methode nicht explizit unterschieden werden.

Der Kapitalwert oder Barwert ist leider eine sehr unanschauliche Größe, denn er gibt ja die Summe aller Kosten während der Nutzungsdauer – z.B. der nächsten 30 Jahre – an.



**Bild 1 Einflussgrößen und Ergebnismöglichkeiten einer Wirtschaftlichkeitsbewertung mit dem Kapital-/Barwert**

## **Ergebnisdarstellung 1: Jahreskosten- bzw. Annuitäten**

Anschaulicher ist das Ergebnis, wenn es als Jahreskosten dargestellt wird. Dazu wird der Kapital-/Barwert in gleich große Jahresraten geteilt, z.B. 30 Raten. Der Umrechnungsfaktor, der zwischen dem Kapitalwert und den jährlichen Kosten steht, wird Annuitätsfaktor  $a_{p,n}$  genannt.

Beispiel: Bei 100.000 € als Kapital-/Barwert ergeben sich bei 4 % Zins über 30 Jahre Jahreskosten von 5800 €/a. Die Annuitätsfaktoren sind auszugsweise in Tabelle 2 wiedergegeben.

Das Bilanzergebnis einer Sanierungsmaßnahme im Vergleich mit dem Bestand sind mittlere jährliche Kosten oder besser Kosteneinsparungen – bei einem bestimmten festgelegten Kapitalzins und innerhalb eines festgelegten Betrachtungszeitraums.

Zur Investitionsentscheidung werden die Jahreskosten für den Bestand (überwiegend Energiekosten und Bauunterhaltungskosten) sowie für die möglichen Sanierungsmaßnahmen (Energie-, Bauunterhaltungs- und Kapitalkosten) gebildet. Es wird in die Maßnahme mit den geringsten Jahreskosten investiert. Sind die Jahreskosten beim Bestand am geringsten, wird nicht investiert.

## **Ergebnisdarstellung 2: dynamische Amortisation**

Aus dem Kapital-/Barwert lässt sich aber auch eine dynamische Amortisationszeit bestimmen, d.h. die Anzahl von Jahren, innerhalb der der Kapital-/Barwert für den Bestand genauso groß ist wie für die Sanierung.

Das Bilanzergebnis ist die Zeit in Jahren, nach der Gewinne zu verzeichnen sind bzw. der Umschlagpunkt zwischen Gewinnen und Verlusten – bei einem bestimmten festgelegten Kapitalzins.

Zur Investitionsentscheidung wird die dynamische Amortisation jeder Maßnahme berechnet und in die Maßnahme mit der kürzesten Amortisation investiert. Liegt die Amortisation der Maßnahmen über deren Lebensdauer, wird nicht investiert.

## **Ergebnisdarstellung 3: interne Rendite**

Aus dem Kapital-/Barwert lässt sich auch die interne Rendite (der interne Zinsfuß) berechnen, d.h. der Zins, den die Investition erwirtschaftet.

Das Bilanzergebnis ist ein Kalkulationszins, der sich rechnerisch innerhalb des festgelegten Betrachtungszeitraums ergibt.

Zur Investitionsentscheidung wird die interne Rendite für jede Maßnahme berechnet und die Maßnahme mit der höchsten Rendite gewählt. Liegt die Rendite unter dem Anlagezins, wird nicht investiert, sondern das Geld angelegt.

## **Ergebnisdarstellung 4: äquivalenter Energiepreis**

Die letzte, sehr übliche Methode der Darstellung des Bilanzergebnisses ist der 'äquivalente Energiepreis'. Bestimmt werden hierbei die so genannten spezifischen Gestehungskosten bzw. die Kosten für die eingesparte Kilowattstunde.

Der äquivalente Energiepreis ist ein nützliches Instrument, wenn einzelne oder zusammengefasste Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf einen ursprünglichen Zustand bewertet werden sollen. Ins Verhältnis gesetzt werden

- die jährlichen Mehrkosten aufgrund der Investition (in €/a)
- zu den jährlichen Einsparungen (in €/kWh).

Die Einsparmaßnahme ist nur wirtschaftlich, wenn der sich ergebende äquivalente Energiepreis  $k_{\text{äqu}}$  (in €/kWh) geringer ist als der mittlere künftige Energiepreis. Dieser wird als Vergleichswert ebenfalls bestimmt – dies wird weiter unten erläutert.

Die Darstellung hat folgende Vorteile: es ergibt sich ein sehr anschauliches Ergebnis: ein Preis je eingesparte Kilowattstunde Energie, der zunächst einmal völlig unabhängig vom künftigen Energiepreis ist.

Zur Investitionsentscheidung wird der äquivalente Energiepreis jeder Maßnahme berechnet und in die Maßnahme mit dem geringsten äquivalenten Energiepreis investiert. Liegt der äquivalente Energiepreis über dem mittleren künftigen Energiepreis (hier fließt die Energiepreissteigerung ein), wird nicht investiert.

Vorsicht ist bei unterschiedlichen Endenergieträgern geboten: z.B. Erdgasbrennwertkessel im Vergleich zu einer Elektrowärmepumpe. Steht ein Wechsel des Energieträgers an, lassen sich die Werte kaum vergleichen

## **Geeignete Ergebnisdarstellung für die Beratung**

Die Berechnung beginnt mit der Bestimmung des Kapital- bzw. Barwertes für den Bestand ohne Einsparmaßnahme und für die Verbesserungsmaßnahmen. Welche Art der Ergebnisdarstellung sich anschließend eignet, um die sich ergebende Botschaft zu transportieren, ist im Einzelfall zu entscheiden.

Für die konventionelle Energieberatung von Wohnbaueigentümern eignen sich erfahrungsgemäß die Angabe einer dynamischen Amortisationszeit (in Jahren) sowie die Angabe der Jahreskosten (in €/a).

Auch der äquivalente Energiepreis (in €/kWh) lässt sich verwenden, aber nur mit entsprechender Erläuterung! Der interne Zinsfuß ist eher nicht praktikabel im geschilderten Beratungsfall.

## 2 Berechnungsgrundlagen und Verfahren

Die Berechnung des Kapital-/Barwertes bzw. sofort der daraus abgeleiteten Jahreskosten  $K_a$  soll nachfolgend erläutert werden.

Im Rahmen der Energieberatung ergeben sich die Jahreskosten üblicherweise durch Summation der jährlichen Kapitalkosten  $K_i$ , der jährlichen mittleren Energiekosten  $K_{e,m}$  sowie der jährlichen Wartungs- und Unterhaltskosten  $K_{u,m}$  während der Nutzungsdauer.

$$K_a = K_i + K_{e,m} + K_{u,m}$$

Die Gesamtkosten umfassen für den Bestand und jede Variante somit die verbrauchsgebundenen Brennstoff- bzw. Energiekosten, die kapitalgebundenen Kosten aus Zinsen und Tilgungen und die betriebsgebundenen Wartungskosten sowie Instandhaltungskosten (Bauunterhaltungskosten).

Weitere Kostenanteile können in der obigen Gleichung ergänzt werden, z.B. Mieteinnahmen, Versicherungsausgaben, Steuern, Personalkosten für Anlagenbedienung usw. Sie werden dann mathematisch behandelt wie eine der anderen Größen.

### 2.1 Betrachtungszeitraum und Nutzungsdauern

Vor der eigentlichen Bestimmung der Jahreskosten müssen die Nutzungsdauer der Investition und der gewünschte Betrachtungszeitraum festgelegt werden.

Beispielhafte Nutzungsdauern für Investitionen sind auszugsweise in Tabelle 1 wiedergegeben. Die Daten entstammen – gekürzt und teilweise nach Erfahrungswerten angepasst – dem LEG-Verfahren bzw. der VDI 2067. Für viele der genannten Einsparmaßnahmen sind in der Praxis häufig längere Lebensdauern festzustellen als in der Fachliteratur festgehalten.

	Nutzungsdauern, in [a]	jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten in Prozent des Anlagenwertes, in [%/a]
zusätzliche Wärmedämmung	25 ... 30	0,0 ... 1,0
Fenster	15 ... 30	0,0 ... 1,5
Wärmeerzeugung (Kessel, Brenner, Kamin etc.) und Kälteerzeugung <300 kW <sub>thermisch</sub>	15 ... 25	2,5 ... 3,5
Wärmepumpe Elektromotor <300 kW <sub>thermisch</sub>	10 ... 15	3,0 ... 4,0
Sonnenkollektoren	15 ... 20	3,0
Blockheizkraftwerk >100 kW <sub>elektrisch</sub>	10 ... 15	5,0 ... 6,0
Regelungen	10	3,0
Lüftungsanlagen	15 ... 20	3,5
Beleuchtungsanlagen	15	1,5

**Tabelle 1 Nutzungsdauern, Wartungs- und Unterhaltskostensätze (Auszüge)**

Wird in nur eine Maßnahme investiert, z.B. eine Solaranlage, dann ist der Betrachtungszeitraum für die Wirtschaftlichkeit die Nutzungsdauer, also geschätzt 15 ... 20 Jahre. Die Jahreskosten werden als Mittelwerte der nächsten 15 ... 20 Jahre bestimmt. Dann ist die Investition genau einmal bezahlt.

Werden Mischinvestitionen bewertet, deren Komponenten unterschiedliche Nutzungsdauern haben, beispielsweise in Wärmedämmung und eine Solaranlage, muss jedoch anders vorgegangen werden. Hier wird nach dem LEG-Verfahren die längste aller Lebensdauern als Betrachtungszeitraum gewählt. Die kürzerlebigen Komponenten müssen entsprechend mehrfach investiert werden.

Nach dem Verfahren der VDI 2067 würde die kürzeste Nutzungsdauer – oder ein beliebiger Zeitraum – gewählt, wobei alle einzelnen Komponenten zu diesem Zeitraum noch einen Restwert haben. Der Ansatz ist prinzipiell identisch, daher wird er hier nicht weiter beschrieben.

## 2.2 Kapitalkosten

Unter der Rubrik 'Kapitalkosten' werden Tilgung und Zinsen des eingesetzten Kapitals verstanden. Die jährlichen Kapitalkosten  $K_i$  (in €/a) ergeben sich aus den Investitionen zum heutigen Zeitpunkt  $I$  (in €) multipliziert mit einem Annuitätsfaktor  $a_{p,n}$  (in 1/a).

$$K_i = I \cdot a_{p,n}$$

Der Annuitätsfaktor hängt – wie von der Kreditberatung bei der Bank bekannt – vom Zins und dem Betrachtungszeitraum ab. In Tabelle 2 sind auszugsweise Annuitäten zusammengestellt.

Annuitäten $a_{p,n}$ in [1/a]												
Betrachtungszeitraum $n$ , in [a]	Kapitalzinssatz $p$ , in [%/a]											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	0,100	0,106	0,111	0,117	0,123	0,130	0,136	0,142	0,149	0,156	0,163	0,170
15	0,067	0,072	0,078	0,084	0,090	0,096	0,103	0,110	0,117	0,124	0,131	0,139
20	0,050	0,055	0,061	0,067	0,074	0,080	0,087	0,094	0,102	0,110	0,117	0,126
25	0,040	0,045	0,051	0,057	0,064	0,071	0,078	0,086	0,094	0,102	0,110	0,119
30	0,033	0,039	0,045	0,051	0,058	0,065	0,073	0,081	0,089	0,097	0,106	0,115

**Tabelle 2 Annuitäten (Auszüge)**

Beispiel: Bei einem Kalkulationszins von 6 %/a und einem Betrachtungszeitraum von 10 Jahren ergibt sich eine Annuität von  $0,136 \text{ a}^{-1}$ . Das bedeutet für eine Investitionssumme von 10.000 € ergeben sich zehn Raten á jeweils 13,6 %. Die jährliche Rate liegt bei 1360 €/a. Davon sind 1000 €/a Tilgung und 360 €/a Zinsen.

### Kapitalzins

Der Kapital- oder Kalkulationszins ist der Zinssatz für Eigenkapital (entgangener Sparzins) oder für Fremdkapital (Kreditzins) bzw. bei einer Mischfinanzierung ein gewichteter Mittelwert aus beiden.

Zinsvergünstigungen (z.B. der KfW) werden in einem entsprechend niedrigem Zinssatz berücksichtigt. Es sollten keinesfalls die derzeitigen sehr niedrigen Kreditzinsen der KfW einfach als Kalkulationszins für die nächsten 20 oder 30 Jahre angesetzt werden, da die Zinsbindung üblicherweise nur 10 Jahre beträgt!

Besser wird ein langfristig realistischer Wert angenommen, wobei die KfW aus Erfahrung dann etwa 2 %/a unter der normalen Bank liegt.

Bei reiner Eigenkapitalverzinsung gilt ca. 2 %/a derzeit als sicherer Inflationsausgleich und deckt die derzeitige Normalverzinsung ab. Bei reiner Fremdkapitalverzinsung über eine Bank sollte von einem üblichen Zinssatz, zurzeit etwa 4 %/a ausgegangen werden. Für Finanzierung mit KfW-Krediten ist derzeit 2 %/a ein sinnvoller Ansatz.

Eine Bandbreite von +/-2 %/a ist jedoch durchaus in allen Fällen denkbar. Der gewählte Kapitalzins ist im Beratungsbericht zu nennen und ggf. auch zu variieren.

### Investitionskosten

Die Kostendaten der Investitionen sind bei der Energieberatung in der Regel Abschätzungen anhand der Literatur, also anhand von Erfahrungswerten. Das Einholen von Angeboten erfolgt eher selten, um die Energieberatung kostengünstig zu halten. Als Quelle für Schätzkosten zeichnet sich u. a. Energieberatungssoftware mit umfassenden Kostendatenbanken aus.

Im Energieberatungsbericht werden die einzelnen Kostenpositionen verbal beschrieben, aber die Investition meist nur als Summe (ohne Einzelpositionen) genannt, da für die Bauherrenschaft in erster Linie die Summe interessant ist. Einzelkosten werden aus Platzgründen oft nur im Anhang genannt.

Eine Zusammenstellung von Kostenfunktionen aus der Literatur, Praxisprojekten und Erfahrungswerten zeigen die nachfolgenden Tabellen.

Komponente	Spezifikation	Kostenfunktion*	Einschränkung
Gasleitung je Meter Trasse	im bebauten Gelände	$(330 \text{ €}) \cdot [\text{L/m}]$	DN 50 ... 100
Gasleitung im Gebäude		$(0,80 \text{ €} \cdot [\text{DN/mm}] + 5,80 \text{ €}) \cdot [\text{L/m}]$	Kupferrohr, DN 12 bis 64
Nahwärmeleitungen je Meter Trasse	im bebauten Gelände	$(3 \text{ €} \cdot [\text{DN/mm}] + 400 \text{ €}) \cdot [\text{L/m}]$	Kunststoffmantelrohr, DN 25 ... DN 80
Dämmung von Rohrleitungen im Gebäude	ohne bauliche Maßnahmen	$(0,06 \text{ €} \cdot [\text{DN/mm}] + 14 \text{ €}) \cdot [\text{L/m}]$	DN 12 bis 64
Verlegung von Wärmepumpen-Erdsonden	bis zum Heizraum	$900 \text{ €} + 750 \text{ €/kW} \cdot [\text{Q}_N/\text{kW}]$	5 ... 100 kW thermisch
Durchbrüche		$36,8 \text{ €} \cdot [\text{d/cm}]^{0,2}$	bis ca. 64 cm Wanddicke d

\* jeweils inkl. Einbau und MWSt., aber ggf. zzgl. Planungskosten von ca. 20 %

**Tabelle 3 Kosten für Leitungen und Durchbrüche**

Komponente	Spezifikation	Kostenfunktion*	Einschränkung
<b>Kessel</b>			
Ölkessel komplett mit Pumpe & Verrohrung	Heizwert	$1000 \text{ €} \cdot [Q_{K,N}/\text{kW}]^{0,5}$	bis ca. 500 kW
	Brennwert	$2500 \text{ €} \cdot [Q_{K,N}/\text{kW}]^{0,3}$	
Gaskessel komplett mit Pumpe & Verrohrung	Heizwert	$800 \text{ €} \cdot [Q_{K,N}/\text{kW}]^{0,5}$	
	Brennwert	$700 \text{ €} \cdot [Q_{K,N}/\text{kW}]^{0,6}$	
Holzfeuerung komplett mit Pumpe & Verrohrung & Pufferspeicher	Stückholz	$3500 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]^{0,35}$	bis ca. 100 kW
	Hackgut	$6100 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]^{0,5}$	
	Pellets	$6600 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]^{0,5}$	
<b>BHKWs</b>			
BHKW komplett mit Pumpe & Verrohrung, ohne Pufferspeicher	Gas	$3100 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]^{0,65}$	bis ca. 100 kW
	Öl	$6100 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]^{0,3}$	
<b>Nah- und Fernwärme</b>			
Übergabestation Fernwärme komplett	mit Warmwasserbereitung	$5300 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]^{0,1}$	bis ca. 100 kW
Satellitenübergabestation	mit Warmwasserbereitung	$450 \text{ €} + 20 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]$	bis ca. 50 kW
<b>Wärmepumpen</b>			
Wärmepumpe komplett mit Pumpe & Verrohrung, ohne Pufferspeicher	Sole ohne Kollektor	$2300 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]^{0,5}$	bis ca. 100 kW
	Außenluft	$3200 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]^{0,5}$	
<b>Elektroheizung</b>			
Elektroheizung	direkt	$160 \text{ €} \cdot [Q_{th}/\text{kW}]$	
<b>Trinkwarmwasserbereitung</b>			
Trinkwasserspeicher komplett mit Pumpe & Verrohrung	monovalent, indirekt	$120 \text{ €} \cdot [V/l]^{0,5}$	bis ca. 1000 l
	bivalent, indirekt	$380 \text{ €} \cdot [V/l]^{0,3}$	
	Gas direkt beheizt	$700 \text{ €} + 8 \text{ €} \cdot [V/l]$	bis ca. 250 l
Elektrische WW-Bereitung	Kleinspeicher	$50 \text{ €} \cdot [V/l]^{0,65}$	bis ca. 15 l
	Durchlauferhitzer	$15 \text{ €} \cdot [Q_N/\text{kW}]$	bis ca. 20 kW
<b>Solarthermie</b>			
Solaranlage komplett mit Pumpe & Verrohrung, ohne Speicher	Flachkollektor	$600 \text{ €} \cdot [A_c/\text{m}^2]$	bis ca. 30 m <sup>2</sup>
	Röhrenkollektor	$900 \text{ €} \cdot [A_c/\text{m}^2]$	
<b>Pufferspeicher</b>			
Pufferspeicher		$350 \text{ €} \cdot [V/l]^{0,5}$	bis ca. 1500 l

\* jeweils inkl. Einbau und MWSt., aber ggf. zzgl. Planungskosten von ca. 20 %

**Tabelle 4 Kosten für Erzeuger, Speicher und Warmwasserbereitung**

Komponente	Spezifikation	Kostenfunktion*	Einschränkung
Gasanschluss komplett		2000 €	bis ca. 15 m, im bebauten Gelände
Öltankanlage komplett	Kellertank	$250 \text{ €} + 0,31 \text{ €} \cdot [V/l]$	bis ca. 2500 l
	Erdtank	$2750 \text{ €} + 0,31 \text{ €} \cdot [V/l]$	
Schornstein komplett	neu Edelstahl	$300 \text{ €} \cdot [H/m]$	bis 20 m
	Einzug Edelstahl	$120 \text{ €} \cdot [H/m]$	
	Einzug Kunststoff	$50 \text{ €} \cdot [H/m]$	

\* jeweils inkl. Einbau und MWSt., aber ggf. zzgl. Planungskosten von ca. 20 %

**Tabelle 5 Kosten für Anschlüsse, Tanks, Lager und Schornsteine**



## Sowieso- und Zusatzkosten

Soll eine Energieeinsparmaßnahme bewertet werden, dann werden den Energieeinsparungen Mehrkosten gegenübergestellt. Die in der Beratung schwierige Frage ist, wie die Mehrkosten definiert werden, wie nachfolgendes Beispiel aufzeigt.

Die im Gebäude befindlichen Fenster ( $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) sind abgängig. Statt irgendwelcher Fenster werden im Rahmen des Energiekonzeptes Passivhausfenster ( $U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) vorgeschlagen. Bei der Berechnung der Energieeinsparung wird vermutlich der Sprung von 2,8 auf 0,9  $\text{W/m}^2\text{K}$  berücksichtigt. Bei den Kosten ist dies nicht so einfach.

Es besteht im einfachsten Fall die Möglichkeit, die gesamten Kosten der Passivhausfenster als Investition anzusetzen (ungünstigster Fall) und gegen null Investition im Bestand zu rechnen. Dies leuchtet vor allem deshalb nicht ein, weil die Fenster ja als abgängig beschrieben werden. Also müssen auch im Bestand Fensterkosten angesetzt werden, so dass für die Wirtschaftlichkeitsbewertung nur Mehrkosten relevant werden.

Die Wahl einer Bezugsvariante ist nicht eindeutig. Es könnten Fenster mit  $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  gewählt werden (reine Instandhaltung, größter Mehrkostenanteil, weil die billigsten Fenster als Alternative). Dies ist nach EnEV aber nur zulässig, wenn die Fenster nicht alle auf einmal getauscht werden. Alternativ könnten sofort die nach EnEV § 3 im Falle einer größeren Modernisierung sowieso notwendigen Fenster mit  $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  als Vergleichsvariante herangezogen werden. Oder auch übliche Fenster, die man sowieso genommen hätte, wenn es die Beratung nicht gegeben hätte. Welche dieser drei Alternativen der Berater wählt, hängt vom Einzelfall ab.

Das Problem verschärft sich, wenn die Fenster des Bestandes noch nicht abgängig sind, sondern vielleicht noch 5 oder 10 Jahre halten. Folgender Hinweis sei in jedem Fall gegeben: im Bericht sollten auf jeden Fall die absoluten Kosten für jede Variante angegeben werden und nicht nur die Mehrkosten, denn der Bauherr zahlt ja absolut.

Die Empfehlung lautet wie folgt:

- die volle Investitionssumme sollte angesetzt werden, wenn die Investition sonst nicht getätigt würde, wie z.B. in eine Solaranlage
- die volle Investitionssumme sollte angesetzt werden, wenn die Investition erfolgen soll, obwohl bereits neue Komponenten vorhanden sind, z.B. Ersatz eines ein oder zwei Jahre alten Kessels durch einen anderen oder Dämmung einer Fassade, deren Putz erst drei Jahre alt ist
- die volle Investitionssumme kann angesetzt werden, wenn zwar Sowieso-Kosten ansetzbar wären, aber die Maßnahme auch bei voller Investitionshöhe wirtschaftlich ist – Beispiel Fenstertausch oben. Dann ergeben sich zwar längere Amortisationszeiten, aber der Berater spart die Ermittlung der Sowieso-Kosten. Eine Rechnung dieser Art sollte kommentiert werden; in der Art: 'die Maßnahme ist wirtschaftlich, und erwirtschaftet sogar die Instandsetzungskosten, obwohl sie das nicht müsste'.
- in allen anderen Fällen sollten Sowieso-Kosten für den Bestand mit ausgewiesen werden.

Für die Überlegungen hinsichtlich der Mehrkosten kann folgender Ansatz helfen: auch für den Bestand sollten die Investitionen berücksichtigt werden, die notwendig sind, um einen vergleichbaren Gebäudestandard aufrecht zu erhalten. Wenn nicht davon auszugehen ist, dass der Bestand die nächsten 30 Jahre ohne Investition erhalten werden kann, dann gehört für den Vergleich mit einer Wärmedämmung mindestens die Putzsanierung zu den Sowieso-Kosten.

### **Nachinvestition**

Nachinvestitionen werden immer dann berücksichtigt, wenn Maßnahmenpakete miteinander verglichen werden sollen, deren Nutzungsdauer (näherungsweise Komponentenlebensdauer) unterschiedlich lang ist. Dies wurde oben unter dem Stichwort 'Betrachtungszeitraum' schon angedeutet.

Das LEG-Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung schlägt vor, die längste aller Nutzungsdauer als Betrachtungszeitraum zu wählen und die kürzerlebigen Komponenten entsprechend mit mehrfacher Investition zu berücksichtigen. Die notwendige Ersatzinvestition für alle kürzerlebigen Komponenten wird anhand ihres Barwertes berücksichtigt. Das ist der Geldbetrag, der zum Investitionszeitpunkt hätte angelegt werden müssen, um die Investition in Zukunft tätigen zu können. Dieser Wert hängt davon ab, wie fern in der Zukunft die Ersatzinvestition stattfindet, wie hoch der Kalkulationszins ist und welche Preissteigerungsrate für das Investitionsgut erwartet wird.

Statt der Investition  $I$  wird das Produkt aus der Investition heute  $I_0$  und einem Faktor für Ersatzbeschaffung (Nachinvestition)  $f_{p,s,m,n}$  gebildet. Der Faktor berücksichtigt neben der Nutzungsdauer im Verhältnis zum Betrachtungszeitraum auch den Kalkulationszins und die Teuerung der Anlagegüter bis zur Investition.

$$I = I_0 \cdot f_{p,s,m,n}$$

Der Faktor ist 1, wenn die Nutzungsdauer der Investition so lang ist wie der Betrachtungszeitraum. Ist dies nicht der Fall kann er anhand einer Formel bzw. aus Tabellen bestimmt werden, siehe Tabelle 6.

Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen, bei denen keine weiteren Randbedingungen bekannt sind, sollte von einer Teuerung der Investitionsgüter (im Verfahren: Anlagenteuerung)  $s_a = 1,5 \dots 2 \text{ %/a}$  ausgegangen werden. Das entspricht der normalen Inflationsrate.

Faktor $f_{p,s,m,n}$ für Ersatzbeschaffung, in [-]									
Kapitalzins $p = 2\%/a$									
Nutzungsdauer $m$ , in [a]	Betrachtungszeitraum $n$ , in [a]	Anlagenteuerung $s_a$ , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,91	1,95	2,00	2,05	2,10	2,16	2,21	2,27
15	30	1,74	1,86	2,00	2,16	2,34	2,54	2,78	3,05
20	30	1,37	1,45	1,55	1,67	1,81	1,98	2,19	2,43
Kapitalzins $p = 4\%/a$									
Nutzungsdauer $m$ , in [a]	Betrachtungszeitraum $n$ , in [a]	Anlagenteuerung $s_a$ , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,82	1,86	1,91	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15
15	30	1,56	1,64	1,75	1,87	2,00	2,15	2,33	2,53
20	30	1,27	1,33	1,40	1,49	1,60	1,72	1,87	2,05
Kapitalzins $p = 6\%/a$									
Nutzungsdauer $m$ , in [a]	Betrachtungszeitraum $n$ , in [a]	Anlagenteuerung $s_a$ , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,75	1,79	1,83	1,87	1,91	1,95	2,00	2,05
15	30	1,42	1,48	1,56	1,65	1,75	1,87	2,00	2,15
20	30	1,23	1,28	1,35	1,42	1,51	1,62	1,75	1,90

**Tabelle 6 Faktoren für Ersatzbeschaffung (Auszüge)**

Beispiel: Die Investition in Wärmedämmmaßnahmen zu 10.000 € soll verglichen werden mit der Anschaffung eines Kessels zu 5.000 €. Betrachtungszeitraum ist die Nutzungsdauer der Dämmung, also 30 Jahre. Für den Kessel ergibt sich bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren, einer Anlagenteuerung von  $s_a = 2\%/a$ , einem Kalkulationszins von  $p = 4\%/a$  ein Faktor  $f_{p,s,m,n} = 1,75$ .

Diese Zahl besagt, dass sich rechnerisch Investitionskosten von  $5.000\text{ €} \cdot 1,75 = 8750\text{ €}$  innerhalb der nächsten 30 Jahre ergeben. Diese setzen sich zusammen aus:

- 1,00 x die Investitionssumme  $I_0$  für den 1. Kessel mit Investition sofort (5000 €)
- 0,75 x die Investitionssumme  $I_0$  für den 2. Kessel, der in den Jahren 16 bis 30 seinen Dienst tut (3750 €).

Für den zweiten Kessel wird per Bilanz weniger Kapital angesetzt als für den ersten, weil vereinbarungsgemäß der heutige Wert der künftigen Investition rechnerisch berücksichtigt wird. Es wird zwar unterstellt, dass die Kessel künftig teurer werden ( $s_a = 2\%/a$ ), aber auch dass sich das heute zurückgelegte Kapital bis zum Zeitpunkt der Investition in 16 Jahren vermehrt ( $p = 4\%/a$ ). Da in diesem Fall der Kalkulationszins höher als die Anlagenteuerung angenommen wurde, ergibt sich ein Wert unter 2,0 – was der linearen Betrachtung aus 15 und 30 Jahren entsprochen hätte. Es müssten als heute 3750 € zurückgestellt werden, um den künftig deutlich über 5000 € teuren Kessel anzuschaffen.

Dem Anwender stellt sich hier oftmals die Frage, welcher Kalkulationszins an dieser Stelle anzusetzen ist. Das LEG-Verfahren [1] beschreibt ihn als den Zins, mit dem das Kapital bis zur Begleichung der Ausgaben arbeiten kann. Es setzt ihn vereinfachend mit dem Kalkulationszins für die Investition gleich – was bei der Anwendung und näherer Betrachtung in den Fällen mit Fremdfinanzierung nicht plausibel erscheint.

Es ist nicht plausibel, dass das eigene Kapital bis zum Investitionszeitpunkt mit einem Zinssatz in Höhe eines Kreditzinses arbeitet – heute 4 ... 5 %/a. Eher wahrscheinlich ist, dass für das eigene Geld maximal der durchschnittliche Sparzins gilt. Soll hier auf der sicheren Seite liegend gerechnet werden, wird als Kalkulationszins an dieser Stelle vereinfachend die Inflationsrate angesetzt, also  $p = s_a = \text{Inflation}$ .

## **Mehrwertsteuer**

Alle Kosten (Investition und Energiepreise) sind entweder mit oder ohne Mehrwertsteuer einzugeben. Für Endverbraucherberichte eignet sich die Angabe mit Mehrwertsteuer.

## **Förderungen, Zuschüsse, tilgungsfreie Jahre**

Alle einmaligen Geldförderungen und Subventionen für die Investition sind als negative Investitionskosten bzw. Investitionskostenminderungen anzusetzen (z.B. Tilgungszuschüsse der KfW). Sie sollten im Bericht mit ihrer Summe genannt werden.

Subventionen in Form vergünstigter Kredite werden direkt im Kalkulationszins berücksichtigt.

Der Effekt tilgungsfreier Jahre kann in der Regel mit der üblichen Energieberatungssoftware nicht berücksichtigt werden, es wird eine gleichmäßige Abzahlung berechnet.

## **2.3 Energiekosten**

Die mittleren jährlichen Energiekosten  $K_{e,m}$  (in €/a) ergeben sich für den Bestand und alle Verbesserungsmaßnahmen nach einem einheitlichen Ansatz. Berücksichtigt werden Endenergiemengen  $Q$  (in kWh/a), deren heutige Energiepreise  $k_{e,0}$  (in €/kWh) und ein Faktor für Energiepreissteigerung  $m_e$  (ohne Einheit).

$$K_{e,m} = \Sigma (Q \cdot k_{e,0} \cdot m_e) = \Sigma (Q \cdot k_{e,m}) = \Sigma (K_{e,0} \cdot m_e)$$

Das Produkt aus Energiemenge  $Q$  (kWh/a) und heutigem Energiepreis  $k_{e,0}$  (€/kWh) ergibt die heutigen Energiekosten  $K_{e,0}$  (€/a). Das Produkt aus heutigem Energiepreis  $k_{e,0}$  (€/kWh) und dem Faktor für Energiepreissteigerung  $m_e$  ergibt den künftigen mittleren Energiepreis  $k_{e,m}$  (€/kWh).

## **Energiemengen**

Die Energiemengen als die Eingangsgrößen zur Bestimmung der Energiekosten sind getrennt nach Energieträger zu erheben. Neben den Wärmeenergien werden üblicherweise auch Hilfsenergien berücksichtigt – insbesondere wenn die Verbesserungsmaßnahmen deutlich höhere Aufwendungen aufweisen (zusätzliche Lüftungsanlage mit Ventilatorstrom usw.).

Für eine seriöse Beratung werden als Energiemengen die Werte berücksichtigt, die unter realistischen Annahmen (Nutzer, Klimadaten) bestimmt wurden, d.h. Werte aus einer Energieberatungsbilanz, nicht Werte aus EnEV- oder anderen Nachweisen. Dies ist von fundamentaler Bedeutung, wenn die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit annähernd stimmen sollen.

### **Heutige Energiepreise**

Die geltenden Energiepreise (zum Investitionszeitpunkt) sind vom Versorger zu erfragen. Dies muss nicht vor jedem Gutachten in einer Region erfolgen, aber in Abständen. In fremden Regionen empfiehlt sich ebenfalls eine Nachfrage vor der Ausarbeitung des Berichtes.

Als Energiepreise sind Mischwerte für Leistung/Grund- und Arbeits-/Verbrauchspreis anzusetzen oder beide Anteile getrennt. Die heutigen Energiepreise  $k_{e,0}$  sind ebenfalls im Bericht anzugeben.

Hinweise für Gaspreise: Gasversorgungspreise in €/kWh sind auf den Brennwert bezogen. Alle am Markt üblichen Energiebilanzen rechnen aber bezogen auf den Heizwert. Entweder sind die Preise auf Heizwertpreise umzurechnen (Versorgerpreis  $\cdot 1,11$ ) oder es wird konsequent mit Kubikmetern Gas gerechnet – sowohl bei der Energiebilanz als auch beim Preis.

### **Energiepreissteigerung**

Ein in der Energieberatung heikles und vielfach diskutiertes Thema sind Energiepreissteigerungen. Die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt diese Preissteigerungen, deren Höhe legt jedoch der Berater mit seiner Annahme fest.

Die Preissteigerung wird mit einem dimensionslosen Faktor  $m_e$  berücksichtigt. Dieser gibt an, wie hoch der Energiepreis im Mittel (nicht am Ende!) im Betrachtungszeitraum sein wird. Die progressiv ansteigende Energiepreiskurve wird damit gemittelt und auf eine Zahl verdichtet.

Faktoren für die Preissteigerung sind auszugsweise in Tabelle 7 enthalten.

Wegen des gewählten Rechenansatzes nach dem LEG-Verfahren ist der Kapitalzins in diesem Faktor ebenfalls enthalten – siehe Ausführungen zur Tabelle 6. Das LEG-Verfahren [1] setzt den Kalkulationszins an dieser Stelle gleich dem Wert, der auch für die Investition gilt. Üblicherweise dürfte das Einsetzen der Inflationsrate oder eines typischen Sparzinses die Realität besser abbilden.

<b>Mittelwertfaktoren für Preissteigerungen <math>m_e</math> und <math>m_{ur}</math> in [-]</b>											
Kapitalzins $p = 2\ %/a$											
Betrachtungszeitraum $n$ , in [a]	Preissteigerung $s_e$ oder $s_{ur}$ , in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	1,00	1,08	1,17	1,26	1,37	1,48	1,61	1,75	1,90	2,07	2,25
20	1,00	1,10	1,22	1,36	1,51	1,68	1,88	2,10	2,35	2,64	2,97
30	1,00	1,15	1,34	1,56	1,84	2,17	2,57	3,06	3,66	4,40	5,30
Kapitalzins $p = 4\ %/a$											
Betrachtungszeitraum $n$ , in [a]	Preissteigerung $s_e$ oder $s_{ur}$ , in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	1,00	1,08	1,16	1,25	1,35	1,46	1,58	1,71	1,85	2,00	2,18
20	1,00	1,10	1,21	1,33	1,47	1,63	1,81	2,01	2,24	2,50	2,79
30	1,00	1,14	1,30	1,50	1,73	2,02	2,36	2,78	3,28	3,90	4,64
Kapitalzins $p = 6\ %/a$											
Betrachtungszeitraum $n$ , in [a]	Preissteigerung $s_e$ oder $s_{ur}$ , in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	1,00	1,07	1,15	1,24	1,33	1,43	1,54	1,67	1,80	1,94	2,10
20	1,00	1,09	1,19	1,31	1,44	1,58	1,74	1,93	2,13	2,37	2,63
30	1,00	1,12	1,27	1,44	1,64	1,89	2,18	2,53	2,95	3,46	4,07

**Tabelle 7 Mittelwertfaktoren für Preissteigerungen (Auszüge)**

Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen, bei denen keine weiteren Randbedingungen bekannt sind, ist eine nominale Energiepreisverteuerung von  $s_e = 6 \dots 7\ %/a$  ein üblicher Ansatz.

Der Wert von nominal etwa  $6 \dots 7\ %/a$  entspricht einer realen Verteuerung von etwa  $3 \dots 5\ %/a$  – da real auch die Inflation wirksam ist. Die Energiepreissteigerung spiegelt die Preisentwicklung der letzten 30 Jahre wieder und wird – mangels besseren Wissens – auch in die Zukunft prognostiziert.

Da die reale Energiepreissteigerung eine sehr unsichere Größe ist, kann der angenommene Basiswert von  $6 \dots 7\ %/a$  mit einer Spanne von  $\pm 3\ %/a$  versehen werden. So erweckt der Berater nicht den Anschein des allwissenden. Im Bericht ergeben sich dann Grafiken analog zu Bild 4.

Die Teuerungsrate kann unterschiedlich für verschiedene Energieträger sein. Rechnerisch empfiehlt sich jedoch der gleiche Wert für alle Energieträger – auch für Holz und Strom – und auch wenn sich die Preisentwicklung dieser Energieträger nicht ganz wie für Gas und Öl verhält.

Beispiel: betrachtet wird eine Verbesserungsmaßnahme mit einer Nutzungsdauer von 20 Jahren. Der mit einer Software berechnete Gasbedarf für das verbesserte Objekt beträgt  $Q = 100.000\ kWh/a$  (heizwertbezogen). Der heutige Gaspreis laut Abrechnung liegt bei  $0,063\ €/kWh$  (brennwertbezogen). Es wird eine nominale Preissteigerung von  $6\ %/a$  für die Energie angenommen.

Wenn als Kalkulationszins die Inflation von  $2\ %/a$  angesetzt wird ( $p = 2\ %/a$ ), ergibt sich als Mittelwertfaktor  $m_e = 1,88$ . Im Mittel der nächsten 20 Jahre wird die Energie real 1,88 Mal so teuer sein wie heute.

Der Energiepreis beträgt heizwertbezogen:  $k_{e,0} = 0,063 \text{ €/kWh}_{\text{Brennwert}} \cdot 1,11$   
 $\text{kWh}_{\text{Brennwert}}/\text{kWh}_{\text{Heizwert}} = 0,06993 \text{ €/kWh}_{\text{Heizwert}}$

Die Energiekosten liegen heute bei  $K_{e,0} = 100.000 \text{ kWh/a} \cdot 0,0699 \text{ €/kWh} = 6993 \text{ €/a}$ . Die künftigen Energiekosten betragen im Mittel 13.147 €/a.

Würde man einen höheren Kalkulationszins ansetzen (z.B. 6 %/a), ergäbe sich ein kleinerer Mittelwertfaktor, hier 1,74. Interpretation: wenn das Geld bis zum Zeitpunkt der Tätigung der Ausgaben mit einem höheren Zins arbeiten kann, muss heute weniger zurückgelegt werden.

## 2.4 Wartungs- und Unterhaltskosten

Die mittleren jährlichen Wartungs- und Unterhaltskosten  $K_{u,m}$  (in €/a) ergeben sich für den Bestand und alle Verbesserungsmaßnahmen nach dem gleichen Ansatz wie die Energiekosten. Sie sollten immer dann berücksichtigt werden, wenn in den Verbesserungsmaßnahmen deutlich andere Kosten als im Bestand zu erwarten sind.

Berücksichtigt werden die Wartungs- und Unterhaltskosten zu heutigen Preisen (in €/a), und ein Faktor für Preissteigerung  $m_u$  (ohne Einheit).

$$K_{u,m} = \Sigma (K_{u,0} \cdot m_u)$$

Faktoren für die Preissteigerung sind auszugsweise in Tabelle 7 enthalten.

Die Kosten für Wartung und Unterhalt können aus Wartungsverträgen entnommen werden oder aufgrund von Herstellerangaben, Erfahrungswerten oder Richtlinien abgeschätzt werden. Es gibt die Möglichkeit, die Wartungskosten als prozentualen Wert auf die Investition abzuschätzen, Ansätze liefert Tabelle 1.

Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen, bei denen keine weiteren Randbedingungen bekannt sind, kann mit einer nominalen Preissteigerung für Wartung und Unterhalt von  $s_u = 2 \text{ %/a}$  (normale Inflationsrate) ausgegangen werden

Beispiel: Es werden  $I_0 = 25.000 \text{ €}$  in eine Wärmepumpe investiert. Tabelle 1 liefert typische jährliche Wartungsansatze von 3,0 ... 4,0 %/a. Für das Beispiel ergibt der Mittelwert der Bandbreite heutige Wartungskosten von  $K_{u,0} = 0,035 \text{ a}^{-1} \cdot 25.000 \text{ €} = 875 \text{ €/a}$ .

Incl. Preissteigerung von  $s_u = 2 \text{ %/a}$  und einem Kalkulationszins in Höher der üblichen Inflation ( $p = 2 \text{ %/a}$ ) ergibt sich ein Mittelwertfaktor für die nächsten 15 Jahre von 1,17. Die mittleren Wartungs- und Unterhaltskosten liegen bei  $K_{u,m} = 875 \text{ €/a} \cdot 1,17 = 1024 \text{ €/a}$ .

## 2.5 Sonstige Kosten

Alle sonstigen Kosten – unabhängig ob Einnahmen oder Ausgaben – können anhand der Rechenansätze für Investition, Energie oder Wartung/Unterhalt berücksichtigt werden.

Kosten, die einmalig anfallen, werden dabei analog den Investitionen behandelt, Kosten die wiederkehrend anfallen wie Energie- oder Wartungskosten mit einer sinnvoll zu wählenden Preissteigerung.

- einmalige Kosten: Verwaltungskosten, Gebäudewertsteigerung usw.
- wiederkehrende Kosten: Versicherungen, Mieteinnahmen usw.

Auch steuerliche Absetzungs- und Abschreibungsmöglichkeiten können berücksichtigt werden, wobei dies nur nicht-private Auftraggeber betrifft. Hierbei sollte unbedingt der Steuerberater des Auftraggebers hinzugezogen werden.

## 2.6 Dynamische Amortisationszeit

Die dynamische Amortisationszeit  $n_{DA}$  unter Berücksichtigung von Zinsen auf das Kapital lässt sich aus folgendem Ansatz bestimmen:

$$n_{DA} = \frac{-\lg\left(1 - p \cdot \frac{\Delta I_0}{\Delta K_{e,0}}\right)}{-\lg(1+p)}$$

Die Mehrkosten der Investition  $\Delta I_0$  [in €] werden den heutigen Einsparungen für Energie  $\Delta K_{e,0}$  [in €/a] gegenüber gestellt. Darüber hinaus wird der Kalkulationszins  $p$  [in  $a^{-1}$ ] eingerechnet.

Dieser Ansatz berücksichtigt jedoch nicht die Energiepreissteigerung  $s_e$ ! Es handelt sich also um eine Näherung.

Beispiel: Die (Mehr)kosten der Investition für eine Kellerdeckendämmung betragen  $\Delta I_0 = 5000$  €. Die Ersparnis zu heutigen Preisen liegt bei  $\Delta K_{e,0} = 500$  €/a. Der Zins liegt bei  $p=2$  %/a. Die statische Amortisationszeit würde 10 Jahre betragen, die dynamische Amortisation liegt nach o. g. Formel bei  $n_{DA} = 11,3$  a.



### 3 Beispiel

Im Zuge einer Beratung werden folgende Maßnahmen an einem Bestandgebäude gegenüber gestellt:

- Bestand: Putzausbesserung und Streichen sofort, Kesseltausch in ca. 10 Jahren
- Variante 1: nachträgliche Wärmedämmung sofort, Kesseltausch in ca. 10 Jahren
- Variante 2: nachträgliche Wärmedämmung, Kesseltausch und hydraulische Optimierung sofort

#### Randdaten

Die Energiebilanz liefert für die 3 Versionen des Gebäudezustandes folgende Energiemengen (bei Gas heizwertbezogen):

- Bestand: Erdgas 26.000 kWh/a, Strom für Hilfsenergien: 350 kWh/a
- Variante 1: Erdgas 15.000 kWh/a, Strom für Hilfsenergien: 350 kWh/a
- Variante 2: Erdgas 12.300 kWh/a, Strom für Hilfsenergien: 300 kWh/a

Folgende Kosten wurden erhoben:

- Putzausbesserung und Streichen: 5600 €
- Niedertemperaturkessel: 5000 €
- Dämmung: 33.125 €
- Brennwertkessel und hydraulische Optimierung: 6800 €

Es gibt für die 2 Verbesserungsmaßnahmen jeweils von einem Fördermittelgeber 5 % Zuschuss auf die sofortigen energierelevanten Investitionen. Das bedeutet:

- Variante 1:  $33.125 \text{ €} \cdot 0,05 = 1656 \text{ €}$
- Variante 2:  $(33.125 \text{ €} + 6800 \text{ €}) \cdot 0,05 = 1996 \text{ €}$

Es gelten folgende heutige Energiepreise:

- Gas (heizwertbezogen): 0,07 €/kWh
- Strom: 0,22 €/kWh

Folgende zeitliche Randdaten wurden zusätzlich für die Berechnung angenommen:

- Betrachtungszeitraum  $n = 30$  Jahre
- Nutzungsdauer für Dämmung sowie Fassadeninstandsetzung:  $m = 30$  a
- Nutzungsdauer für Brennwertkessel und Optimierung:  $m = 20$  a
- Nutzungsdauer für Niedertemperaturkessel:  $m = 30$  a, weil nur 1 x in den nächsten 30 Jahren benötigt

Hinsichtlich der Wartung und Unterhaltskosten werden folgende Annahmen bezogen auf die Investitionssumme getroffen:

- Kessel: 3 %/a
- Fassadeninstandsetzung oder Dämmung: 0,5 %/a

Letztlich gelten folgende Annahmen für Zinsen und Preissteigerungen:

- Kalkulationszins für die Berechnung der Kapitalkosten:  $p = 4 \text{ %/a}$
- Kalkulationszins für die Berechnung von Nachinvestition, spätere Ausgaben für Energie, Wartung und Unterhalt:  $p = 2 \text{ %/a}$  (Inflationsausgleich)
- Preissteigerung für Investitionsgüter, Wartung, Unterhalt:  $s_a = s_u = 2 \text{ %/a}$
- Preissteigerung für Energie:  $s_e = 6 \text{ %/a}$

### Kapitalkosten

Es ergibt sich für alle Varianten eine Annuität von  $a_{p,n} = 0,058 \text{ 1/a}$  (Tabelle 2). Der Faktor für Nachinvestition des Kessels in Variante 2 liegt bei  $f_{p,s,m,n} = 1,55$  (Tabelle 6), alle anderen Investitionen werden nur einmalig benötigt und bilanziert. Die Kapitalkosten  $K_i$  betragen:

- Bestand:

$$\begin{array}{rcl}
 & 5600 \text{ €} \cdot 0,058 \text{ 1/a} & \text{(Fassade)} \\
 + & 5000 \text{ €} \cdot 0,058 \text{ 1/a} & \text{(späterer einmaliger Kesseleratz)*} \\
 = & 615 \text{ €/a} & 
 \end{array}$$

- Variante 1:

$$\begin{array}{rcl}
 & 33.125 \text{ €} \cdot 0,058 \text{ 1/a} & \text{(Dämmung)} \\
 - & 1656 \text{ €} \cdot 0,058 \text{ 1/a} & \text{(Zuschuss)} \\
 + & 5000 \text{ €} \cdot 0,058 \text{ 1/a} & \text{(späterer einmaliger Kesseleratz)*} \\
 = & 2.115 \text{ €/a} & 
 \end{array}$$

- Variante 2:

$$\begin{array}{rcl}
 & 33.125 \text{ €} \cdot 0,058 \text{ 1/a} & \text{(Dämmung)} \\
 + & 6800 \text{ €} \cdot 1,55 \cdot 0,058 \text{ 1/a} & \text{(Brennwertkessel incl. Nachinvest.)} \\
 - & 1996 \text{ €} \cdot 0,058 \text{ 1/a} & \text{(Zuschuss)} \\
 = & 2.417 \text{ €/a} & 
 \end{array}$$

Der Kesseleratz wird nur einmal in 30 Jahren eingerechnet, also ohne Nachinvestition, weil er nur einmal in den nächsten 30 Jahren benötigt wird. Da die Inflation ( $p = 2 \text{ %/a}$ ) in etwa so hoch liegt wie die Verteuerungsrate der Investitionsgüter ( $s_a = 2 \text{ %/a}$ ), ergibt sich ein Faktor für Ersatzbeschaffung  $f_{p,s,m,n}$  von 1,0.

## Energiekosten

Der Mittelwertfaktor für Preissteigerung der Energie (Tabelle 7) liegt in den nächsten 30 Jahren bei  $m_e = 2,57$ . Die Energiekosten betragen daher mit ( $Q_{e,m}$ ) und ohne ( $Q_{e,0}$ ) Berücksichtigung von Preissteigerungen in den 3 Varianten:

- Bestand:

$$\begin{aligned}Q_{e,0} &= 26.000 \text{ kWh/a} \cdot 0,07 \text{ €/kWh} + 350 \text{ kWh/a} \cdot 0,22 \text{ €/kWh} \\ &= 1897 \text{ €/a} \\ Q_{e,m} &= 1897 \text{ €/a} \cdot 2,57 \\ &= 4875 \text{ €/a}\end{aligned}$$

- Variante 1:

$$\begin{aligned}Q_{e,0} &= 15.000 \text{ kWh/a} \cdot 0,07 \text{ €/kWh} + 350 \text{ kWh/a} \cdot 0,22 \text{ €/kWh} \\ &= 1127 \text{ €/a} \\ Q_{e,m} &= 1127 \text{ €/a} \cdot 2,57 \\ &= 2896 \text{ €/a}\end{aligned}$$

- Variante 2:

$$\begin{aligned}Q_{e,0} &= 12.300 \text{ kWh/a} \cdot 0,07 \text{ €/kWh} + 300 \text{ kWh/a} \cdot 0,22 \text{ €/kWh} \\ &= 927 \text{ €/a} \\ Q_{e,m} &= 927 \text{ €/a} \cdot 2,57 \\ &= 2383 \text{ €/a}\end{aligned}$$

## Wartung und Unterhaltskosten

Der Mittelwertfaktor für Preissteigerung von Wartung und Unterhalt (Tabelle 7) liegt in den nächsten 30 Jahren bei  $m_u = 1,34$ . Die Wartungs- und Unterhaltskosten betragen daher mit ( $Q_{u,m}$ ) und ohne ( $Q_{u,0}$ ) Berücksichtigung von Preissteigerungen in den 3 Varianten:

- Bestand:

$$\begin{aligned}Q_{u,0} &= 5600 \text{ €} \cdot 0,005 \text{ a}^{-1} + 5000 \text{ €} \cdot 0,03 \text{ a}^{-1} \\ &= 178 \text{ €/a} \\ Q_{u,m} &= 178 \text{ €/a} \cdot 1,34 \\ &= 239 \text{ €/a}\end{aligned}$$

- Variante 1:

$$\begin{aligned}Q_{u,0} &= 33.125 \text{ €} \cdot 0,005 \text{ a}^{-1} + 5000 \text{ €} \cdot 0,03 \text{ a}^{-1} \\ &= 316 \text{ €/a} \\ Q_{u,m} &= 316 \text{ €/a} \cdot 1,34 \\ &= 423 \text{ €/a}\end{aligned}$$

- Variante 2:

$$\begin{aligned}Q_{u,0} &= 33.125 \text{ €} \cdot 0,005 \text{ a}^{-1} + 6800 \text{ €} \cdot 0,03 \text{ a}^{-1} \\ &= 370 \text{ €/a} \\ Q_{u,m} &= 370 \text{ €/a} \cdot 1,34 \\ &= 495 \text{ €/a}\end{aligned}$$

## **Jahresgesamtkosten**

Aus den drei Teilkostenwerten jeder Variante kann eine Summe gebildet werden. Die Berechnung ist bis hierher so erfolgt, dass diese Summe für das erste Jahre und den mittleren Fall angegeben werden kann. Die Ergebnisauswertung folgt im nächsten Abschnitt.

## **4 Auswertung, Interpretation, Darstellung**

Wenn die Berechnungen abgeschlossen sind, sollten Hinweise zu Unsicherheiten der Berechnung sowie Interpretationen für den Kunden nicht fehlen.

### **4.1 Einflüsse auf das Ergebnis**

Sofern davon auszugehen ist, dass die berechnete Energieeinsparung mit einiger Sicherheit bestimmt wurde, haben die Investitionskosten bzw. der Anteil der So-wieso-Kosten und die vermutete Energiepreissteigerung den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsbewertung.

Die Kostenansätze sollten mit dem Kunden daher besprochen werden – welche Investitionen sind sowieso fällig. Hinsichtlich der Energiepreissteigerung empfehlen sich Bandbreitenberechnungen, wie in Bild 4 gezeigt, die verdeutlichen, je länger die Prognosen in die Zukunft reichen, desto unsicherer werden auch die Ergebnisse.

Alternativ können Berechnungen so angestellt werden, dass jeweils Grenzen der Wirtschaftlichkeit genannt werden. Beispiele für den Bericht könnten lauten:

- 'Nur wenn die Energiepreise weniger als 4 %/a steigen, rechnet sich die Maßnahme nicht. Dies ist allerdings sehr unwahrscheinlich, weil im Mittel der letzten 30 Jahre eine Steigerung von 6 %/a zu verzeichnen war – Tendenz steigend. Ich rate Ihnen daher zur Investition'.
- 'Die Maßnahme rechnet sich innerhalb von 20 Jahren. Es wurden dabei allerdings noch keine ohnehin notwendigen bei der Berechnung berücksichtigt. Wenn Sie davon ausgehen, dass das Haus ja sowieso einen neuen Putz braucht, dann wird die Sanierung heute noch viel wirtschaftlicher. Ich rate Ihnen daher zur Investition'.

### **4.2 Ergebnisausgabe**

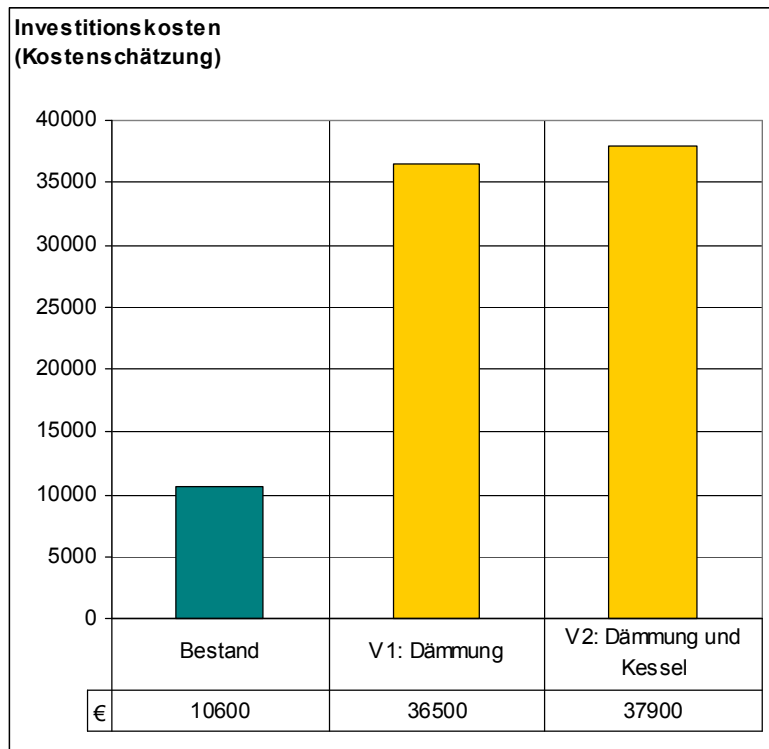
Für den Endkunden empfiehlt sich nach Erfahrung der Autoren mit Energieberatungsvorhaben die folgende Ausgabe von Ergebnissen.

#### **Investitionskosten**

Die Angabe der Investitionskosten erfolgt für den Bestand und alle Varianten in absoluter Höhe; reine Mehrkostenangaben sollten vermieden werden.

Bei der Variantenbeschreibung werden die Summenkosten als Text oder tabellarisch genannt. Eine Einzelkostenaufschlüsselung findet sich im Anhang. Es muss in jedem Fall deutlich werden, dass es sich um Schätzkosten handelt und dies keine Kostenvoranschläge sind – es sei denn, dies ist mit Bestandteil des Auftrags.

Bei der Gegenüberstellung der Varianten gibt es eine Grafik, welche die Investitionskosten zusammenfasst, vergleiche Bild 2.

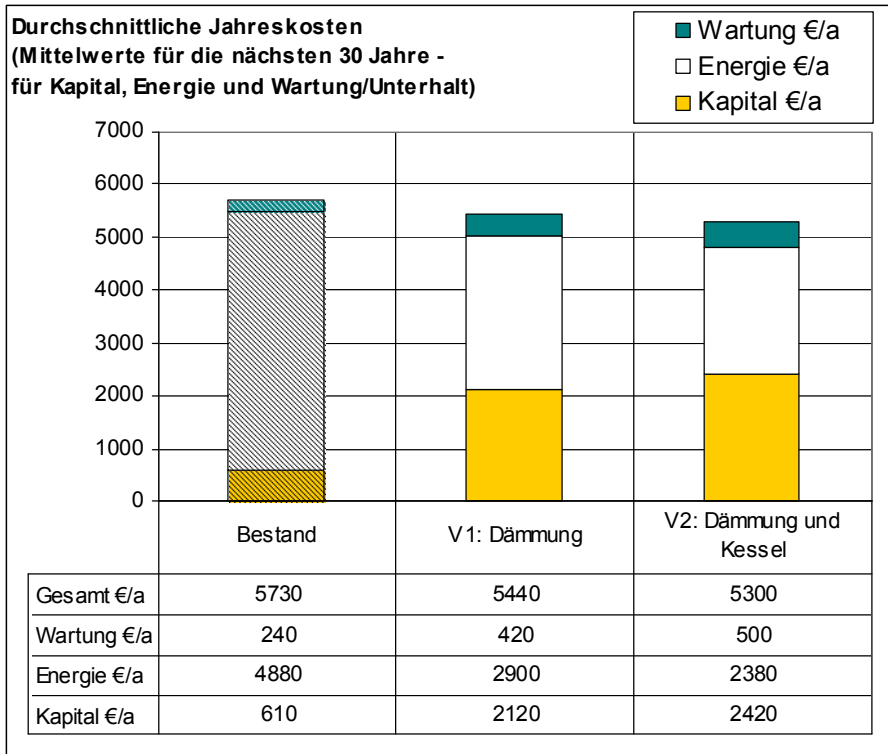
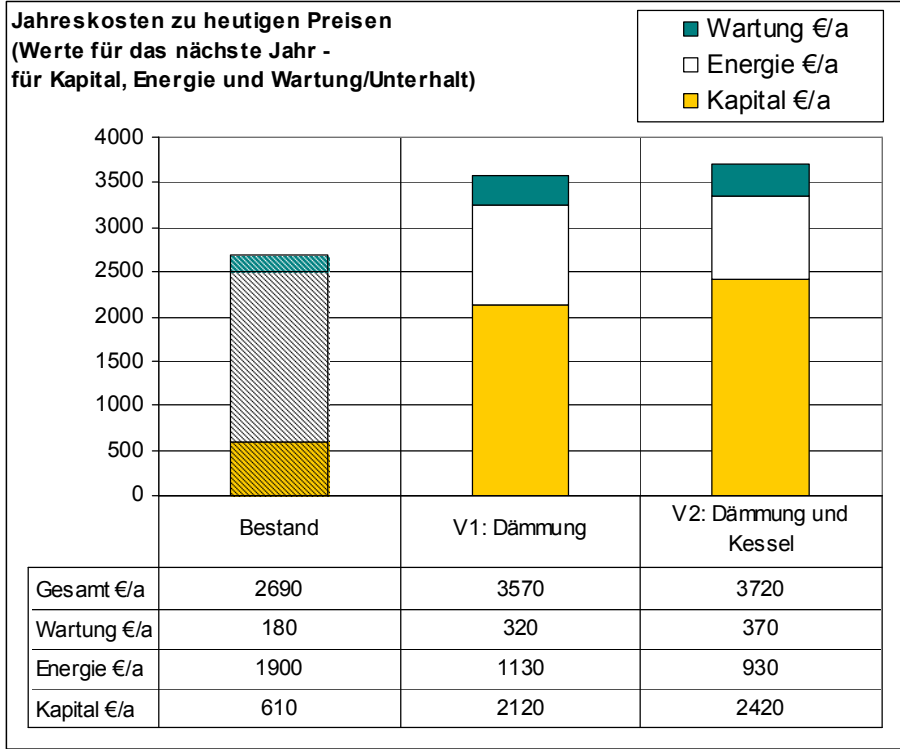


**Bild 2 Beispiel für Investitionskosten**

### Jahreskosten

Bei der Erläuterung der Einzelvarianten wird auf die Angabe der Jahreskosten verzichtet, dort reicht die Angabe der Investitionen (in €) und der Energieeinsparung (in kWh/a und %).

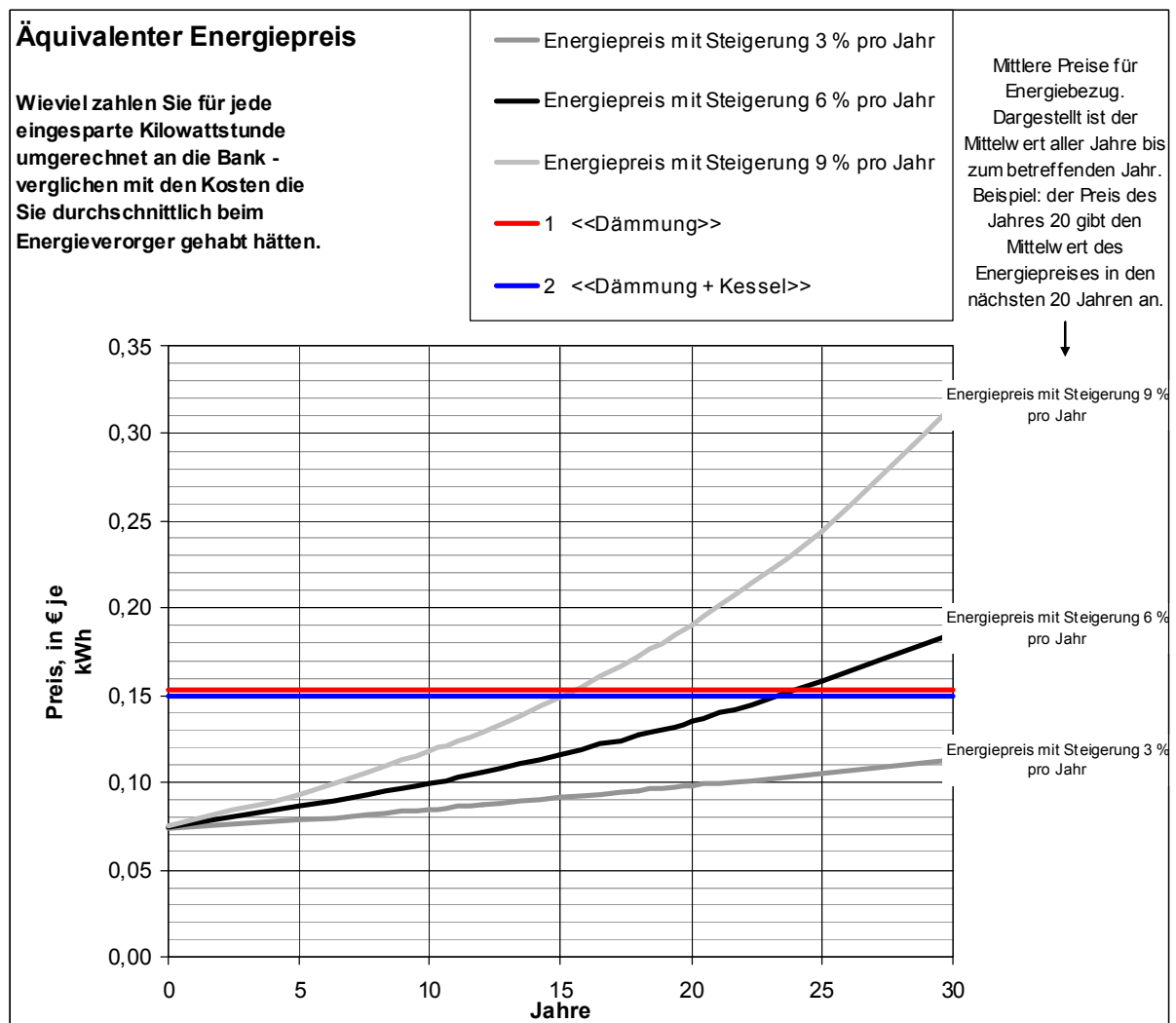
Die Ergebnisse der Jahreskosten für den Bestand und die einzelnen Varianten werden nur am Ende in der Übersicht zusammengefasst, vergleiche Bild 3. Sinnvoll sind zwei Übersichten mit den Jahreskosten jeweils im ersten Jahr und im Langzeitmittel. Denn diese verdeutlichen, in der Anfangszeit sind die Gesamtkosten meist höher als alles so zu belassen!



**Bild 3 Beispiel für Jahreskosten**

## Äquivalenter Energiepreis

Für die Ergebnisübersicht eignet sich eine Grafik analog Bild 4.



**Bild 4 Äquivalenter Energiepreis und dynamische Amortisation**

Dazu sollen folgende zusätzliche Erläuterungen angegeben werden:

- Der eingetragene Energiepreis ist der jeweilige Mittelwert der bis dahin vergangenen Jahre. Die Absolutwerte für Energiepreise liegen weit höher!
- Alle Einsparmaßnahmen, die unterhalb der ansteigenden Kurven für den Energiepreis liegen, die ohne Sanierung zu zahlen ist, sind über den gewählten Zeitraum wirtschaftlich. Man zahlt im Mittel jährlich weniger Geld an die Bank, als alternativ für den Energieeinkauf beim Versorgungsunternehmen nötig gewesen wäre.
- Alle Einsparmaßnahmen, die oberhalb der ansteigenden Kurven für den Energiepreis liegen, rechnen sich bis auf weiteres nicht. Man zahlt jährlich mehr Geld an die Bank, als alternativ für den Energieeinkauf nötig gewesen wäre.

- Für alle anderen Maßnahmen gibt der Schnittpunkt mit den Kurven für die Preissteigerung an, wann sich die Maßnahme rechnet, d.h. ab welchem Jahr erstmals weniger an die Bank gezahlt wird, als es beim Versorger der Fall wäre.
- Je stärker die sonstigen Energiepreise steigen, desto schneller rechnet es sich, jetzt zu investieren.
- Unabhängig von den Energiepreisen liegen die Maßnahmen mit dem besten Kosten/Nutzen-Verhältnis ganz unten!

Der äquivalente Energiepreis der Maßnahme "Dämmung" beträgt 0,155 €/kWh. Verglichen mit dem heutigen Energiepreis von ca. 0,07 €/kWh rechnet sich die Investition noch nicht.

Wenn die Energiepreise mit 6 %/a so weitersteigen wie im Mittel der letzten 30 Jahre, ergibt sich im Jahr 24 ein Schnittpunkt. Alle Zahlungen, die bis dahin an die Bank gegangen sind, haben den gleichen Wert wie alle Zahlungen die bis dahin alternativ an den Versorger für das Erdgas gegangen wären, wenn man nichts investiert hätte. Ab dem Zeitpunkt macht man Gewinn, wenn auch die Maßnahme dann noch weitere 6 Jahre zu Ende gezahlt werden muss.

Steigen die Energiepreise schneller, ist die Amortisation eher erreicht, z.B. bei 9 %/a Energiepreissteigerung schon nach ca. 16 Jahren. Die Maßnahme "Dämmung + Kessel" mit einem äquivalenten Energiepreis von 0,15 €/kWh ist unabhängig von der Energiepreissteigerung etwas wirtschaftlicher.

### **4.3 Weitere Aspekte**

Soll mit dem Verfahren ein Problem bewertet werden, in dem Energiekosten und Investitionskosten nicht aus einer Tasche bezahlt werden (Vermieter-Mieter, Verpächter-Pächter usw.), kann eine Kaltmieterhöhung als Zusatzgröße eingeführt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung wird dann 2 Mal durchgeführt: für Zahler der Investitionen (Vermieter, Pächter) und den Profiteur der Einsparungen:

- aus Sicht des Investitionskostenträgers werden bilanziert: Kapitalkosten, Unterhaltskosten (beides Ausgaben) und Kaltmieterhöhung bzw. Pachterhöhung (Einnahmen),
- aus Sicht des Nutzers werden bilanziert: Energiekosten (Minderungen) sowie Kaltmiet- bzw. Pachterhöhungen (Erhöhungen) sowie die Wartung.

Die Kaltmiet- oder Pachterhöhung ist also ein Ausgleichsposten zwischen den Beteiligten. Es kann ermittelt werden, wie hoch diese sein muss oder maximal sein darf, damit für beide Parteien langfristig Gesamtkostenminderungen zu verzeichnen sind.



## 5 Fazit

Für die Vertiefung und Hintergrundinformationen empfehlen sich die unten genannten Originaldokumente LEG und VDI 2067-1. Das LEG-Verfahren ist über den Originalbezugsweg allerdings nur schwer zu erhalten, daher auszugsweise unter folgender Quelle im Internet einzusehen:

[www.delta-q.de](http://www.delta-q.de) >> Wirtschaftlichkeit >> Literatur und Texte.

Dort sind auch ausführliche Formelsammlungen und die Zahlentabellen des Verfahrens (Tabelle 1, Tabelle 2, Tabelle 6, Tabelle 7) hinterlegt, welche in diesem Artikel nur gekürzt abgedruckt wurden.

Die verfügbaren Anwendungsprogramme sind vielfältig. Die Palette reicht von der Profi-Energieberatungssoftware bis hin zu kostenlosen Programmen. Letztere lassen sich im Internet finden, zwei Programme zum LEG-Verfahren (Programmierung des IWU sowie eigene Programmierung) sind unter nachfolgender Adresse verlinkt:

[www.delta-q.de](http://www.delta-q.de) >> Wirtschaftlichkeit >> Excel.

## 6 Literatur

- [1] Heizenergie im Hochbau - Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung; Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; Druck: Elektra/Niedernhausen; 1999.
- [2] VDI 2067; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen; Blatt 1: Grundlagen und Kostenrechnung; VDI; 2000.