

Wirtschaftlichkeit von Dämm-Maßnahmen

Styropor als Energiesparer

Inhalt

Abbildungsverzeichnis

Wichtige Bestimmungen und Richtlinien

Zukunftssicherer Wärmeschutz

Wiedererwirtschaftungszeit als Maß für die Wirtschaftlichkeit

Ausgangswerte für die Berechnung der Wiedererwirtschaftungszeit

Jährliche Energiekosteneinsparung
Beispiel Außenwand

Mehrinvestition für verbesserten Wärmeschutz

Zinssatz und Steigerungsrate des Energiepreises

Wiedererwirtschaftungszeit

Praxisbeispiele

- I Wärmedämm-Verbundsystem
- II Nachträgliche Dämmung der obersten Geschößdecke
- III Nachträgliche Dämmung eines Flachdaches)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Prozentualer Vergleich der Mehrkosten für erhöhten Wärmeschutz mit dem erreichbaren Wärmedurchgangswiderstand $1/k$ einer Außenwand.

Abb. 2: Gradtagzahlen verschiedener deutscher Städte bei +20 °C Raumtemperatur und +15 °C Heizgrenze.

Abb. 3: Heizwert und Wirkungsgrad einiger Brennstoffe (nach VDI 2067, Tafeln 14, 15 und 19).

Abb. 4: k-Werte: Außenwand mit Dämmung aus Styropor.

Abb. 5: k-Werte Flachdach (massiv).

Abb. 6: k-Werte Decken unter nicht ausgebauten Dachgeschossen.

Abb. 7: k-Werte Decken, die Aufenthaltsräume nach unten gegen die Außenluft abgrenzen.

Abb. 8: k-Werte Kellerdecke.

Abb. 9: Einsparung an Brennkosten pro m² Transmissionsfläche ΔK_B (Beispiel I).

Abb. 10: Wiedererwirtschaftungszeit (Beispiel I).

Abb. 11: Einsparung an Brennkosten pro m² Transmissionsfläche ΔK_B (Beispiel II).

Abb. 12: Wiedererwirtschaftungszeit (Beispiel II).

Abb. 13: Einsparung an Brennkosten pro m² Transmissionsfläche ΔK_B (Beispiel III).

Abb. 14: Wiedererwirtschaftungszeit (Beispiel III).

Abb. 15: Einsparung an Brennstoffkosten pro m² Transmissionsfläche ΔK_B in Abhängigkeit von der Dämmwertverbesserung Δk , den Energiekosten [DM/Liefereinheit] und den Gradtagzahlen Gt_z [K · d].

Abb. 16: Wiedererwirtschaftungszeit Amortisation des Kosten-Nutzwertes in Abhängigkeit von dem Zinssatz und der jährlichen Energiepreissteigerung.

Abb. 17: Physikalische Eigenschaften von Styropor.

Wichtige Bestimmungen und Richtlinien

Die jeweilige Landesbauordnung mit den nachfolgenden Rechtsverordnungen.

Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 16.08.1994, in Kraft ab 01.01.1995.

DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau, Teil 1–5 (08.81/11.91).

DIN 4701 Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden, Teil 1 und 2 (03.83)

DIN 18164 Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen, Teil 1 – Dämmstoffe für die Wärmedämmung (08.92).

VDI 2067 VDI-Richtlinien 2067: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Teil 1 (12.83).

Qualitätsrichtlinien der Bundesfachabteilung Qualitätssicherung EPS-Hartschaum (BFA QS EPS) im Industrieverband Hartschaum e.V.

Über die Kosten-Nutzen-Relation von Dämm-Maßnahmen sind oft recht unklare Vorstellungen anzutreffen.

Die vorliegende Dämmpraxis 1.511 beschreibt ein Verfahren zur Ermittlung der Energieeinsparung und Wiedererwirtschaftungszeit von Wärmeschutzmaßnahmen an Bauteilen mittels einfach zu handhabender Tabellen und Diagramme, ausgehend von den individuell anfallenden Kosten.

Zukunftssicherer Wärmeschutz

Unter den derzeit angewendeten Maßnahmen zur Einsparung von Energie in beheizten Gebäuden nimmt der bauliche Wärmeschutz unbestritten die führende Position ein.

Planern, Hausbesitzern und angehenden Bauherren ist klar, daß sie heute in Wärmeschutzmaßnahmen investieren müssen. Zu ermitteln ist aber, ob die erzielten Einsparungen im rechten Verhältnis zum finanziellen Aufwand stehen.

Eine Klärung ergibt sich bereits aus zwei einfachen Überlegungen:

a) Der Transmissionswärmeverlust eines nicht-transparenten Bauteiles ist um so geringer, je dicker die Dämmschicht ist. Oder anders ausgedrückt: Je niedriger der k-Wert, um so geringer der Energieverbrauch. (Bei dem Gesamtwärmeverlust eines Gebäudes ist allerdings auch

der konstant bleibende Lüftungswärmeverlust zu beachten, dessen prozentualer Anteil – bezogen auf den Transmissionswärmeverlust – um so größer wird, je niedriger der k-Wert ist).

b) Die Gesamtkosten eines Bauteiles ergeben sich aus mehreren Positionen. Dabei sind z. B. die Materialkosten für den Dämmstoff fast immer der kleinste Posten. Bei größeren Dämmstoffdicken erhöhen sich praktisch nur die Dämmstoffkosten, während die Kosten für Hilfsmittel und Ausführung gleich bleiben (Abbildung 1).

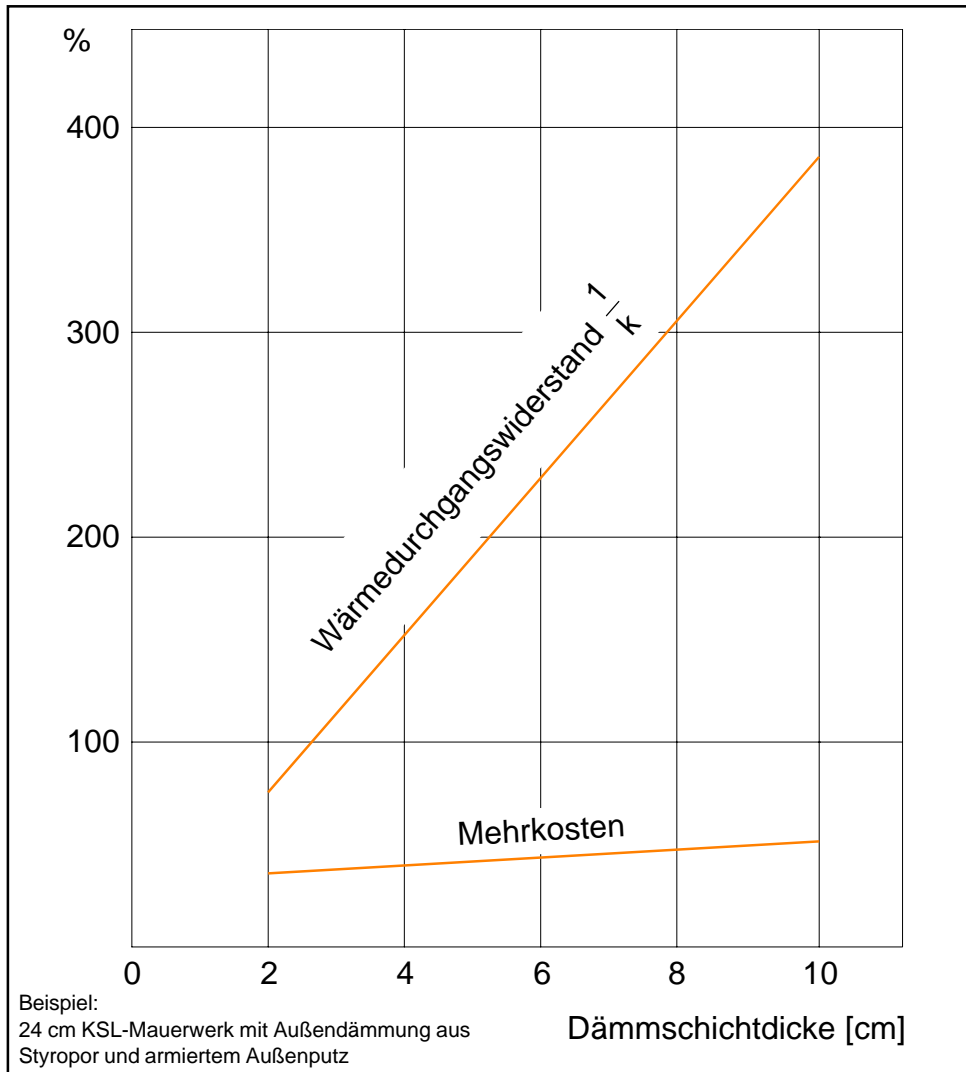


Abb. 1: Prozentualer Vergleich der Mehrkosten für erhöhten Wärmeschutz mit dem erreichbaren Wärmedurchgangswiderstand $1/k$ einer Außenwand.

Wiedererwirtschaftungszeit als Maß für die Wirtschaftlichkeit

Ein Maß für die Wirtschaftlichkeit von Dämm-Maßnahmen ist die Wiedererwirtschaftungszeit (Amortisationszeit). Um eine Aussage über diese Wiedererwirtschaftungszeit zu bekommen, muß man außer den Baukosten auch die voraussichtliche Entwicklung der Energiekosten, die Verzinsung des für die Mehrinvestition aufgewendeten Kapitals sowie den Zinsertrag der laufenden Einsparungen in die Betrachtung einbeziehen.

Dieses „dynamische Verfahren“ zur Berechnung der Wiedererwirtschaftungszeit erfordert einen beträchtlichen Rechenaufwand und setzt einige Grundkenntnisse der Finanzmathematik voraus. Es ist für den allgemeinen Gebrauch zu aufwendig.

Mit dieser Dämmpraxis wird der Rechenablauf durch Diagramme, Erläuterungen und Arbeitsschrittanleitungen anhand eines Beispiels so weitgehend schematisiert und vereinfacht, daß jeder damit zurechtkommen und für sich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchführen kann.

Ausgangswerte für die Berechnung der Wiedererwirtschaftungszeit

Jährliche Energiekosteneinsparung

Zweckmäßigerweise bezieht man die gesamte Betrachtung auf 1 m² Bauteilfläche. Der Transmissionswärmeverlust q_T eines Bauteiles pro Jahr ergibt sich hinreichend genau aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten k [W/(m² · K)] und den „Gradtagzahlen“, einer klimabedingten, statistisch ermittelten Einflußgröße (die in Abbildung 2 angegebenen Gradtagzahlen beziehen sich auf eine Heizgrenztemperatur – als Tagesmittel der Lufttemperatur außen – von +15 °C und eine mittlere Raumlufttemperatur von +20 °C. Diese Gradtagzahlen und Angaben für weitere Städte findet man in den VDI-Richtlinien 2067, Dezember 1983, Blatt 1, Tabelle 23).

Der k -Wert eines Bauteiles gibt an, welche Wärmemenge durch 1 m² (zum Beispiel Mauerwerk) bei ei-

nem Temperaturgefälle zwischen innen und außen von 1 K pro Zeiteinheit verloren geht.

Er errechnet sich jeweils aus den Wärmedurchgangswiderständen der einzelnen Bauschichten:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (1)$$

Dabei sind $\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$: Wärmeübergangswiderstände innen und außen in m² · K/W,
 s : Dicke der Bauteilschicht in m,
 λ : Wärmeleitfähigkeit der Bauteilschicht in W/(m · K).

Gradtagzahlen verschiedener deutscher Städte bei +20 °C Raumtemperatur und +15 °C Heizgrenze		
Ort	Seehöhe [mNN]	Gradtagzahlen [K · d]
Aachen	202	3445
Augsburg	477	3985
Berlin	49	3694
Braunschweig	81	3771
Bremen	10	3703
Darmstadt	169	3648
Emden	0	3738
Frankfurt a. M.	110	3387
Freiburg i. Br.	269	3306
Friedrichshafen	401	3717
Gießen	186	3707
Göttingen	176	3832
Hamburg	21	3724
Hannover	53	3782
Heidelberg	112	3226
Karlsruhe	114	3409
Kaiserslautern	242	3680
Kassel	158	3692
Kiel	7	3813
Köln	45	3223
Lübeck	13	3812

Abbildung 2

Gradtagzahlen verschiedener deutscher Städte bei +20 °C Raumtemperatur und +15 °C Heizgrenze		
Ort	Seehöhe [mNN]	Gradtagzahlen [K · d]
Mainz	95	3727
Mannheim	97	3394
Mittenwald	914	4351
München	527	4046
Münster (Westf.)	63	3564
Nürnberg	335	3916
Oldenburg	5	3707
Partenkirchen	719	4233
Pforzheim	245	3787
Regensburg	376	4071
Stuttgart	280	3434
Trier	144	3437
Ulm	522	4065
Wiesbaden	142	3517
Würzburg	259	3727

Weitere Angaben in den VDI-Richtlinien 2067, Tabelle 2.3. Bei in der Tabelle nicht enthaltenen Orten können die Gradtagszahlen überschlägig aus den nächstgelegenen Ortsangaben und der Seehöhe verwendet werden.

Fortsetzung Abbildung 2

Nähere Erläuterungen hierzu enthält die DIN 4108, Teil 5 (siehe auch Dämmpraxis 2.110 „Bauphysik“). Die Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen sind der DIN 4108, Teil 4 zu entnehmen.

Aus den Abbildungen 4, 5, 6, 7 und 8 können die k-Werte für verschiedene übliche Bauteilquerschnitte (Außenwand, Dach, Decke) in der Standardausführung (oder vorhandenem Aufbau) und mit unterschiedlichen Dämmstoffdicken von Styropor (Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040) ohne Rechenaufwand direkt abgelesen werden. In den Tabellen nicht aufgeführte Konstruktionen werden nach der oben genannten Gleichung (1) berechnet.

Das Verbesserungsmaß der Wärmeschutzmaßnahme Δk [$W/(m^2 \cdot K)$] wird aus der k-Wert Differenz der alten Konstruktion und der verbesserten Konstruktion errechnet:

$$\Delta k = k_0 - k_1 \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (2)$$

Dabei sind Δk : Verbesserungsmaß der Wärmeschutzmaßnahme in $W/(m^2 \cdot K)$,
 k_0 : Wärmedurchgangskoeffizient der alten Konstruktion in $W/(m^2 \cdot K)$,
 k_1 : Wärmedurchgangskoeffizient der verbesserten Konstruktion in $W/(m^2 \cdot K)$.

Die Einsparung ΔK_B an Energiekosten pro Jahr und m^2 Bauteilfläche ergibt sich aus der jährlichen Energieeinsparung und dem Energiepreis unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Heizungsanlage und dem unteren Heizwert des verwendeten Brennstoffs.

Die jährliche Brennstoff- bzw. Energiekosteneinsparung ΔK_B pro m^2 Transmissionsfläche wird grafisch nach Abbildung 9 oder rechnerisch nach folgender Formel ermittelt:

$$\Delta K_B = \frac{86,4}{1000} \cdot \frac{\Delta k \cdot Gt_z \cdot K_S}{\eta_{ges.} \cdot H_u} \quad [\text{DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})] \quad (3)$$

Dabei ist:

$$\frac{86,4}{1000} = \text{Koeffizient zur Dimensionsgleichheit}$$

K_S = Energiepreis pro Liefereinheit
(z. B. DM/l bei Heizöl).

$\eta_{ges.}$ = Wirkungsgrad der Heizanlage (Abbildung 3) (dimensionslos).

H_u = Heizwert (Abbildung 3)

(z. B. $\frac{\text{MJ}}{\text{l}}$ bei Heizöl)

Heizwert und Wirkungsgrad einiger Brennstoffe (nach VDI 2067, Tafeln 14, 15, und 19)			
Brennstoff	Einheit	Heizwert $H_u = \text{MJ}/$ Einheit	Wirkungs- grad*
Heizöl EL	l	36,3	0,75
Koks	kg	27,5	0,70
Steinkohle	kg	31,0	0,70
Erdgas	m ³	34,9	0,76
Strom	kWh	3,6	1,0

* Der Wirkungsgrad neuerer Heizanlagen kann bis zu 10 % höher liegen.

Abbildung 3

Gt_z = Gradtagzahlen (Abbildung 2) [K · d]

d = Tag

a = Jahr

k-Werte: Außenwand mit Dämmung aus Styropor				k ₁ -, Δk-Werte [W/(m ² · K)] in Abhängigkeit von der Dämmschichtdicke s in cm							
Wanddicke s = 24 cm	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	k-Wert	4 cm		6 cm		8 cm		10 cm	
	ρ [kg/m ³]	λ _R [W/(m · K)]	k ₀ [W/(m ² · K)]	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk
Mauerziegel n. DIN 105 Leichtziegel (Poroton) Leichtziegel Lochziegel	800	0,34	1,09	0,52	0,57	0,41	0,68	0,34	0,75	0,29	0,80
	800	0,41	1,25	0,56	0,69	0,44	0,81	0,36	0,89	0,30	0,95
	1200	0,52	1,48	0,60	0,88	0,46	1,02	0,37	1,11	0,32	1,16
	1400	0,60	1,63	0,65	0,98	0,47	1,16	0,38	1,25	0,32	1,31
Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach DIN 106	1200	0,56	1,56	0,61	0,95	0,47	1,09	0,38	1,18	0,32	1,24
	1400	0,70	1,80	0,64	0,16	0,49	1,31	0,39	1,41	0,33	1,47
	1600	0,79	1,93	0,66	1,27	0,50	1,43	0,40	1,53	0,33	1,60
Hohlblocksteine aus Leichtbeton nach DIN 18151	600	0,33	1,06	0,52	0,54	0,41	0,65	0,34	0,72	0,29	0,77
	800	0,40	1,23	0,55	0,68	0,43	0,80	0,36	0,87	0,30	0,93
	1000	0,52	1,48	0,60	0,88	0,46	1,02	0,37	1,11	0,32	1,16
	1200	0,61	1,65	0,62	1,03	0,48	1,17	0,38	1,27	0,32	1,33
	1400	0,73	1,84	0,65	1,19	0,49	1,35	0,39	1,45	0,33	1,51
Bimsbeton-Vollblöcke nach DIN 18152	600	0,22	0,77	0,43	0,34	0,36	0,41	0,30	0,47	0,26	0,51
	800	0,28	0,93	0,48	0,45	0,39	0,54	0,33	0,60	0,28	0,65
Mauerwerk aus Gas- beton-Blocksteinen n. DIN 4165; s = 25 cm	600	0,24	0,80	0,44	0,36	0,36		0,31	0,49	0,27	0,53
	800	0,29	0,93	0,48	0,45	0,39	0,54	0,33	0,60	0,28	0,65
Bauteile aus Normal- beton n. DIN 1045 s = 15 cm s = 20 cm	2400	2,1	3,51	2,73	0,56	0,56	2,95	0,44	3,07	0,36	3,15
	2400	2,1	3,24	2,48	0,55	0,55	2,69	0,43	2,81	0,36	2,88

Wanddicke s = 30 cm	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	k-Wert	4 cm		6 cm		8 cm		10 cm	
	ρ [kg/m ³]	λ _R [W/(m · K)]	k ₀ [W/(m ² · K)]	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk
Mauerziegel n. DIN 105 Leichtziegel (Poroton) Leichtziegel Lochziegel	800	0,34	0,91	0,48	0,43	0,39	0,52	0,32	0,59	0,28	0,63
	800	0,41	1,06	0,51	0,55	0,41	0,65	0,34	0,72	0,29	0,77
	1200	0,52	1,26	0,56	0,70	0,44	0,82	0,36	0,90	0,30	0,96
	1400	0,60	1,40	0,58	0,82	0,45	0,95	0,37	1,03	0,31	1,09
Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach DIN 106	1200	0,56	1,33	0,57	0,76	0,44	0,89	0,36	0,97	0,31	1,02
	1400	0,70	1,56	0,61	0,95	0,47	1,09	0,38	1,18	0,32	1,24
	1600	0,79	1,68	0,63	1,05	0,48	1,20	0,39	1,29	0,32	1,36
Hohlblocksteine aus Leichtbeton nach DIN 18151	600	0,33	0,89	0,47	0,42	0,38	0,51	0,32	0,57	0,28	0,61
	800	0,40	1,04	0,51	0,53	0,41	0,63	0,34	0,70	0,29	0,75
	1000	0,52	1,26	0,56	0,70	0,44	0,82	0,36	0,90	0,30	0,96
	1200	0,61	1,42	0,59	0,83	0,45	0,97	0,37	1,05	0,31	1,11
	1400	0,73	1,60	0,62	0,98	0,47	1,13	0,38	1,22	0,32	1,28
Bimsbeton-Vollblöcke nach DIN 18152	600	0,22	0,63	0,39	0,24	0,33	0,30	0,28	0,35	0,25	0,38
	800	0,28	0,78	0,44	0,34	0,36	0,42	0,30	0,48	0,26	0,52

Wanddicke s = 36,5 cm	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	k-Wert	4 cm		6 cm		8 cm		10 cm	
	ρ [kg/m ³]	λ _R [W/(m · K)]	k ₀ [W/(m ² · K)]	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk
Mauerziegel n. DIN 105 Lochziegel	1200	0,52	1,09	0,52	0,57	0,41	0,68	0,34	0,75	0,29	0,80
	1400	0,60	1,22	0,55	0,67	0,43	0,79	0,35	0,87	0,30	0,92

Abbildung 4

k-Werte Flachdach (massiv)													
vorhandenes, bestehendes Flachdach lt. Zeichnung		vorhandenes, bestehendes Flachdach + Zusatzdämmung											
		k ₁ - und Δk-Werte [W/(m ² · K)] in Abhängigkeit von der Dämmschichtdicke s in [cm]											
		4 cm		6 cm		8 cm		10 cm		12 cm		14 cm	
s [cm]	k ₀ [W/(m ² ·K)]	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk
2	1,28	0,56	0,72	0,44	0,84	0,36	0,92	0,31	0,97	0,26	1,02	0,23	1,05
3	0,97	0,49	0,48	0,40	0,57	0,33	0,64	0,28	0,69	0,25	0,72	0,22	0,75
4	0,78*	0,44	0,34	0,36	0,42	0,30	0,48	0,26	0,52	0,23	0,55	0,21	0,57
5	0,65	0,40	0,25	0,33	0,32	0,28	0,37	0,25	0,40	0,22	0,43	0,20	0,45

* ≈ Mindestwärmeschutz nach DIN 4108, (08.81)

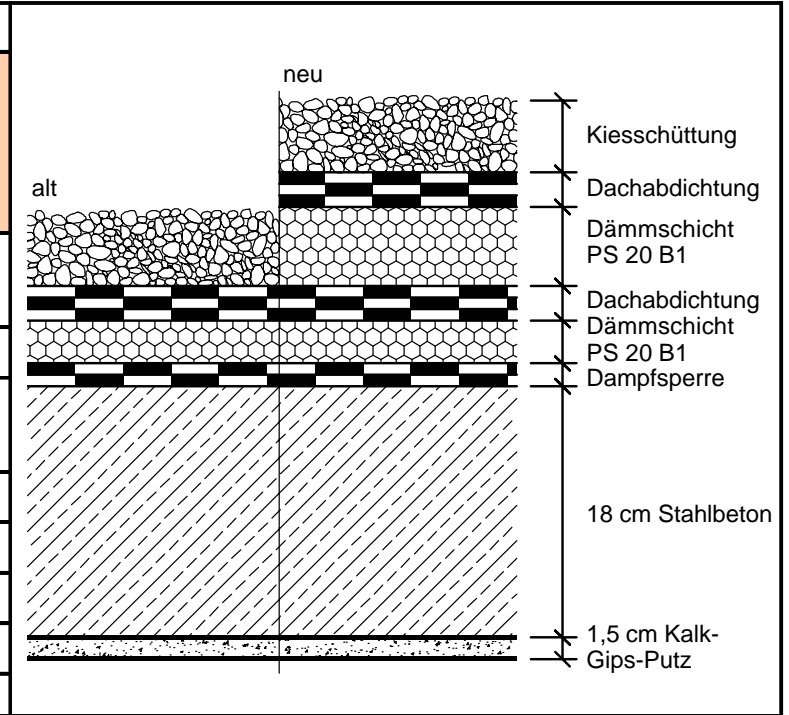


Abbildung 5

k-Werte Decken unter nicht ausgebauten Dachgeschossen									
vorhandene letzte Geschoßdecke unter nicht ausgebautem Dachraum		vorhandene Decke + Zusatzdämmung							
		k ₁ - und Δk-Werte [W/(m ² · K)] in Abhängigkeit von der Dämmschichtdicke s in [cm]							
		6 cm		8 cm		10 cm		12 cm	
s [cm]	k ₀ [W/(m ² · K)]	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk
0	3,03	0,55	0,48	0,43	2,60	0,35	2,68	0,30	2,73
2	1,21	0,43	0,78	0,35	0,86	0,30	0,91	0,26	0,95
* ≈ Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 (08.81)									

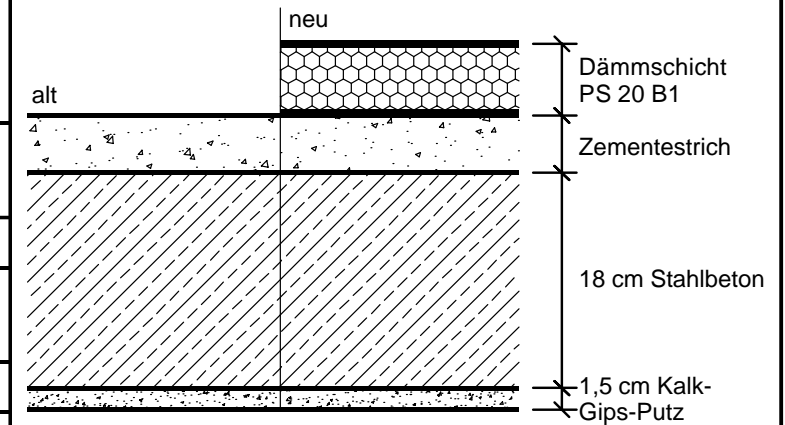


Abbildung 6

k-Werte Decken, die Aufenthaltsräume nach unten gegen die Außenluft abgrenzen											
vorhandene Decke laut Zeichnung				vorhandene Decke + Zusatzdämmung							
Wärmedämmgebiet nach DIN 4108, (1969) Mindestwärmeschutz	[cm]	k_0 [W/(m ² · K)]	k ₁ - und Δk-Werte [W/(m ² · K)] in Abhängigkeit von der Dämmschichtdicke s in [cm]								
			4 cm		6 cm		8 cm		10 cm		
			k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk	
I	0,66	5	0,63	0,39	0,24	0,32	0,31	0,28	0,35	0,25	0,38
II	0,58	5,5	0,58	0,38	0,20	0,31	0,27	0,27	0,31	0,24	0,34
III	0,47	7	0,47	0,32	0,15	0,28	0,19	0,24	0,23	0,22	0,25
		2	1,20	0,55	0,65	0,43	0,77	0,35	0,85	0,30	0,90

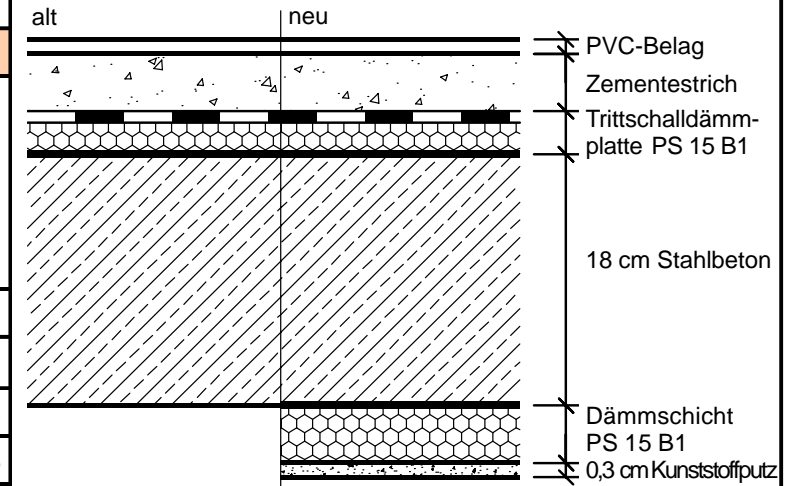


Abbildung 7

k-Werte Kellerdecke							
vorhandene Decke laut Zeichnung		vorhandene Decke + Zusatzdämmung					
		k ₁ - und Δk-Werte [W/(m ² · K)] in Abhängigkeit von der Dämmschichtdicke s in [cm]					
		4 cm		6 cm		8 cm	
s [cm]	k ₀ [W/(m ² · K)]	k ₁	Δk	k ₁	Δk	k ₁	Δk
0	2,17	0,68	1,49	0,51	1,66	0,41	1,76
2	1,03*	0,51	0,52	0,41	0,62	0,34	0,69

* Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 (1969)

Abbildung 8

Beispiel Außenwand

Vorhandener Wandaufbau

24 cm Hohlblocksteine aus Leichtbeton (DIN 18151),
Rohdichte 1000 kg/m^3 , beidseitig verputzt.

Aus Abbildung 4:

$$k_0 = 1,48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Verbesserter Wandaufbau

Zusätzliche Außendämmung mit 80 mm dicken Styropor-Platten und gewebearmiertem Dispersionsputz als Deckschicht:

Aus Abbildung 4:

$$k_1 = 0,37 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Delta k = (1,48 - 0,37) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Delta k = 1,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Heizkosteneinsparung ΔK_B

$$\Delta k = 1,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$G_{t_z} = 3387 \text{ Gradtagzahlen (Frankfurt)}$$

$$K_S = 0,70 \text{ DM/l Heizölpreis}$$

$$\left. \begin{array}{l} H_u = 36,3 \text{ MJ/l} \\ \eta_{\text{ges.}} = 0,75 \end{array} \right\} \text{ aus Abbildung 3}$$

Heizkosteneinsparung Δk_B nach Abbildung 9 oder
rechnerisch nach Gleichung (3):

$$\begin{aligned} \Delta K_B &= \frac{86,4}{1000} \cdot \frac{1,11 \cdot 3387 \cdot 0,70}{0,75 \cdot 36,3} \quad \text{DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \\ &= 8,35 \text{ DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \end{aligned}$$

Die grafische Ermittlung der Heizkosteneinsparung führt gemäß Abbildung 9 zum gleichen Ergebnis (gestrichelte Linie für dieses Beispiel).

Mehrinvestition für verbesserten Wärmeschutz

Die Kostenermittlung sollte möglichst genau erfolgen, am besten aus verbindlichen Angeboten für das betreffende Bauteil einschließlich der Nebenkosten.

Beim Neubau sollten die Gesamtkosten für die Grundauführung und die verbesserte Ausführung vorliegen. Die Differenz der jeweiligen Gesamtkosten ist die Mehrinvestition (ΔK_i).

Beim Altbau sind die Gesamtkosten für die Verbesserung des Wärmeschutzes die Mehrinvestition. Hier sind allerdings Einzelposten abzuziehen, die bei anstehenden Erneuerungsarbeiten ohnehin angefallen wären, z. B. ein neuer Anstrich der Außenfassade, eine Erneuerung des Außenputzes oder der Dachabdichtung.

Zinssatz und Steigerungsrate des Energiepreises

Die Diagramme in Abbildung 10 ermöglichen es, die Wiedererwirtschaftungszeit energiesparender Investitionen grafisch zu ermitteln. Die Amortisationszeit bezieht sich auf einen Kosten-Nutzwert $\frac{\Delta K_I}{\Delta K_B}$ (Verhältnis der Investitionsmehrkosten ΔK_I zur jährlichen Brennstoffkosteneinsparung ΔK_B), unter Berücksichtigung der Zinsen (i) und einer (abzuschätzenden) jährlichen Energiepreissteigerungsrate (j).

Die für die Dämm-Maßnahmen erforderlichen Investitionskosten werden mit einer Geldanlage auf Sparbasis verglichen. Nicht berücksichtigt werden bei dieser Vergleichsrechnung das Risikoäquivalent einer verzinslichen Kapitalanlage, die Inflationsrate und die Gewinnbesteuerung. Diese Einflüsse erhöhen die Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen zusätzlich.

Zinsgünstige Kredite, Steuervergünstigungen oder Zuschüsse, die für energiesparende Maßnahmen gewährt werden können, bleiben bei der Ermittlung der Amortisationszeit ebenfalls unberücksichtigt. Sie entlasten den Investor zusätzlich, ebenso wie beim Neubau die geringeren Anschaffungskosten für die Heizungsanlage bei verbessertem Wärmeschutz.

Wiedererwirtschaftungszeit

Die Wiedererwirtschaftungszeit der Investitionskosten wird grafisch nach Abbildung 10 ermittelt. Hierzu muß zunächst der Kosten-Nutzwert $\frac{\Delta K_I}{\Delta K_B}$ nach Gleichung (4) ermittelt werden:

$$\text{Kosten-Nutzwert} = \frac{\text{Investitionsmehrkosten } \Delta K_I}{\text{Brennstoffkosteneinsparung } \Delta K_B} \quad (4)$$

Ausgehend von dem so ermittelten Kosten-Nutzwert wird in Abbildung 10 die Amortisationszeit in Abhängigkeit von der Kapitalverzinsung (i) und der geschätzten jährlichen Energiepreissteigerung (j) ermittelt. Zwischenwerte sind entsprechend zu interpolieren. Bei der hier, aus Gründen der besseren Ablesbarkeit gewählten grafischen Darstellung, läßt sich keine völlige Kohärenz (bei langen Amortisationszei-

ten) erreichen, das Ergebnis ist jedoch auch in diesem Bereich mit einer Abweichung von $\pm 0,2$ Jahren ausreichend genau zu ermitteln.

Aus dem Kurvenverlauf wird ersichtlich, daß Zinsschwankungen bis zu 5 % – bei Amortisationszeiten unter 10 Jahren – keinen wesentlichen Einfluß auf das Ergebnis haben. Ebenso beeinflussen unterschiedliche Energiepreissteigerungsraten das Ergebnis der Wiedererwirtschaftungszeit um so weniger, je kürzer diese (Amortisationszeit) ist.

Praxisbeispiele

Wärmedämm-Verbundsystem (Beispiel I)

Die Brennstoffeinsparung durch ein Wärmedämm-Verbundsystem mit 80 mm dicken Hartschaumplatten aus Styropor wurde mit 8,35 DM/(m² · a) bereits ermittelt. Dieser jährlichen Einsparung steht eine einmalige Investition ΔK_I für eine nachträglich ausgeführte Dämmung von 87,50 DM/m² gegenüber. Bei der Kostenermittlung für diese Maßnahme wird von einer ohnehin notwendigen Erneuerung des bestehenden Außenputzes ausgegangen. Die dafür anfallenden Kosten von 25,00 DM/m² wurden bei den Kosten für die Außendämmung in Abzug gebracht. Es entstehen also effektive Mehrkosten von 62,50 DM/m².

Zur Benutzung des Diagrammes in Abbildung 10 wird zunächst der Kosten-Nutzwert nach Gleichung (4) ermittelt:

$$\frac{\Delta K_I}{\Delta K_B} = \frac{62,50}{8,35} = 7,48$$

Zugrunde gelegt wird ein jährlicher Zinssatz (i) von 7,5 % und eine jährliche Energiepreissteigerungsrate (j) von 6 %, die als gestrichelte Linien in Abbildung 10 eingezeichnet sind.

Ausgehend von dem bereits ermittelten Kosten-Nutzwert kann nun die Amortisationszeit dieser Dämm-Maßnahme mit 8,1 Jahren abgelesen werden.

Nachträgliche Dämmung der obersten Geschößdecke (Beispiel II)

Da bei Kellerdecken bzw. Decken und Wänden zu angrenzenden Treppenhäusern, Lagerräumen o. ä., die Temperaturdifferenz $\vartheta_i - \vartheta_a$ geringer ist als bei Außenbauteilen, ist der ermittelte Wert der Brennstoffkosteneinsparung (ΔK_B) in diesen Fällen um 50 % zu reduzieren ($\Delta K_B \cdot 0,50$), bei Dach- und Deckenflächen unter nicht ausgebauten Dachgeschossen um 20 % ($\Delta K_B \cdot 0,80$). Der Abminderungsfaktor 0,8 berücksichtigt die etwas geringeren Wärmeverluste im Bereich des Daches, da einerseits bei Steildächern die Dachdecke durch Bodenräume oder belüftete Zwischenräume nach außen abgeschirmt wird und andererseits bei Flachdächern der Wärmedurchgang zeitweise durch Energieaufnahme infolge Sonneneinstrahlung reduziert wird.

Vorhandener Deckenaufbau (von unten)

10 mm Deckenputz,

160 mm Stahlbetondecke,
20 mm Styropor,
16 mm Spanplatte.

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten k nach Gleichung (1) oder überschlägige Ermittlung von Δk aus Abbildung 6, ausgehend von $k_0 = 1,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

$$k_0 = \frac{1}{0,13 + 0,04 + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,16}{2,1} + \frac{0,02}{0,04} + \frac{0,016}{0,17}} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$k_0 = \frac{1}{0,85 + \frac{0,10}{0,04}} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$k_0 = 1,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Verbesserung des Wärmeschutzes durch Einbau einer 100 mm dicken Hartschaumplatte aus Styropor

$$k_1 = \frac{1}{0,85 + \frac{0,10}{0,04}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$k_1 = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Delta k = k_0 - k_1 = 1,18 - 0,30 = 0,88 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Energieeinsparung ΔK_B pro Jahr und m^2 Bauteilfläche nach Gleichung (3) oder Abbildung 11 abzüglich 20 %

$$\Delta K_B = \frac{86,4}{1000} \cdot \frac{\Delta k \cdot Gt_z \cdot K_s}{\eta_{\text{ges.}} \cdot H_u} \quad [\text{DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})] \quad (3)$$

$Gt_z = 3387$ Gradtagzahlen $[\text{K} \cdot \text{d}]$ (Raum Frankfurt)

$K_s = 0,70$ DM/l Heizölpreis

$H_u = 36,3$ MJ/l

$\eta_{\text{ges.}} = 0,75$

} aus Abbildung 3

$$\Delta K_B = \frac{86,4}{1000} \cdot \frac{0,88 \cdot 3387 \cdot 0,70}{0,75 \cdot 36,3} = 6,62 \quad \text{DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Abzug von 20 % der Brennstoffkosteneinsparung

$$\Delta K'_B = 6,62 - 1,32 = 5,30 \text{ DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Die Energieeinsparung durch die Zusatzdämmung beträgt $5,30 \text{ DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. In einer klimatisch ungünstigeren Gegend, z. B. Mittenwald/Obb. beträgt die Einsparung durch die gleiche Maßnahme sogar $6,80 \text{ DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Wiedererwirtschaftungszeit der Dämm-Maßnahme (nach Abbildung 12)

$\Delta K'_B = 5,30 \text{ DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (Raum Frankfurt)

$K_I = 22,00 \text{ DM}/\text{m}^2$ (Investition Wärmedämmung)

$i = 7,5 \%$ jährlicher Zinssatz

$j = 6 \%$ Energiepreissteigerungsrate

$$\text{Kosten-Nutzwert} = \frac{\Delta K_I}{\Delta K_B} = \frac{22,0}{5,30} = 4,15$$

Nach Abbildung 12 ergibt sich, ausgehend von dem errechneten Kosten-Nutzwert 4,15, bei einer Kapitalverzinsung von 7,5 % (gestrichelte Linie) und einer angenommenen, jährlichen Energiepreissteigerungsrate von 6 % (gestrichelte Linie), eine Amortisationszeit von 4,5 Jahren.

Hier wird deutlich, daß die zusätzliche Dämmung der obersten Geschoßdecke gegen den unausgebauten Dachraum eine sehr wirtschaftliche Dämm-Maßnahme ist.

Nachträgliche Dämmung eines Flachdaches (Beispiel III)

Vorhandener Dachaufbau (von unten)

- 15 mm Deckenputz (Kalkgipsputz)
- 180 mm Stahlbetondecke
Ausgleichsschicht u. Dampfsperre
- 40 mm Styropor-Dachabdichtung mit Kiesabdeckung

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten k nach Gleichung (1) oder Ermittlung von k_0 und Δk aus Abbildung 5:

$$k_0 = \frac{1}{0,13 + 0,04 + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,18}{2,1} + \frac{0,04}{0,04}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$k_0 = 0,78 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Verbesserung des Wärmeschutzes durch Einbau eines 80 mm dicken rollbaren Dachdämmelementes aus Styropor Typ PS 20 B1 mit G 200 DD Glasgewebe-Dachdichtungsbahn kaschiert.

$$k_1 = \frac{1}{1,28 + \frac{0,08}{0,04}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$k_1 = 0,30 \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Delta k = k_0 - k_1 = 0,78 - 0,30 = 0,48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Energieeinsparung ΔK_B pro Jahr und m^2 Bauteilfläche nach Gleichung (3) oder Abbildung 13 abzüglich 20 % (Abminderungsfaktor bei Dächern = 0,8)

$$\Delta K_B = \frac{86,4}{1000} \cdot \frac{\Delta k \cdot Gt_z \cdot K_s}{\eta_{ges.} \cdot H_u} \quad [\text{DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})] \quad (3)$$

Gt_z = Gradtagzahlen [$K \cdot d$] (Raum Frankfurt)

K_s = 0,70 DM/l Heizölpreis

H_u = 36,3 MJ/l
 $\eta_{ges.}$ = 0,75

} aus Abbildung 3

$$\Delta K_B = \frac{86,4}{1000} \cdot \frac{0,48 \cdot 3387 \cdot 0,70}{0,75 \cdot 36,3} = 3,61 \quad \text{DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Abzug von 20 % der Brennstoffkosteneinsparung

$$\Delta K'_B = 3,61 - 0,72 = 2,89 \quad \text{DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Die Heizenergieeinsparung durch die verbesserte Wärmedämmung beträgt also 2,89 DM/($m^2 \cdot a$).

Die hierfür notwendigen Investitionskosten werden mit 56,40 DM/ m^2 ermittelt. Bei der Berechnung der effektiven Mehrinvestition ΔK_i für die nachträglich ausgeführte Zusatzdämmung wird von einer ohnehin notwendigen Erneuerung des Dachbelages ausgegangen. Die dafür anfallenden Kosten von 40,85 DM/ m^2 werden bei den Kosten für die Gesamtmaßnahmen in Abzug gebracht. Die Investitionsmehrkosten ΔK_i betragen dann 15,55 DM/ m^2 .

Wiedererwirtschaftungszeit der Dämm-Maßnahme (nach Abbildung 14)

$$\Delta K_i = 15,55 \quad \text{DM}/\text{m}^2$$

$$\Delta K_B = 2,89 \quad \text{DM}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$\text{Kosten-Nutzwert} = \frac{15,55}{2,89} = 5,38$$

i = 7,5 % jährlicher Zinssatz

j = 6 % Energiepreissteigerungsrate

Das weitere Vorgehen wird in Abbildung 14 verdeutlicht. Zwischen den beiden Kurven für 5 % und 10 % Zins (i) wird die interpolierte Kurve für 7,5 % Zins eingetragen (gestrichelte Linie). In gleicher Weise wird der Kurvenverlauf für 6 % Energiepreissteigerung (j) interpoliert (gestrichelte Linie). Wie das Beispiel zeigt, ist dann für einen Kosten-Nutzwert von 5,38 eine Amortisationszeit von 5,8 Jahren ablesbar.

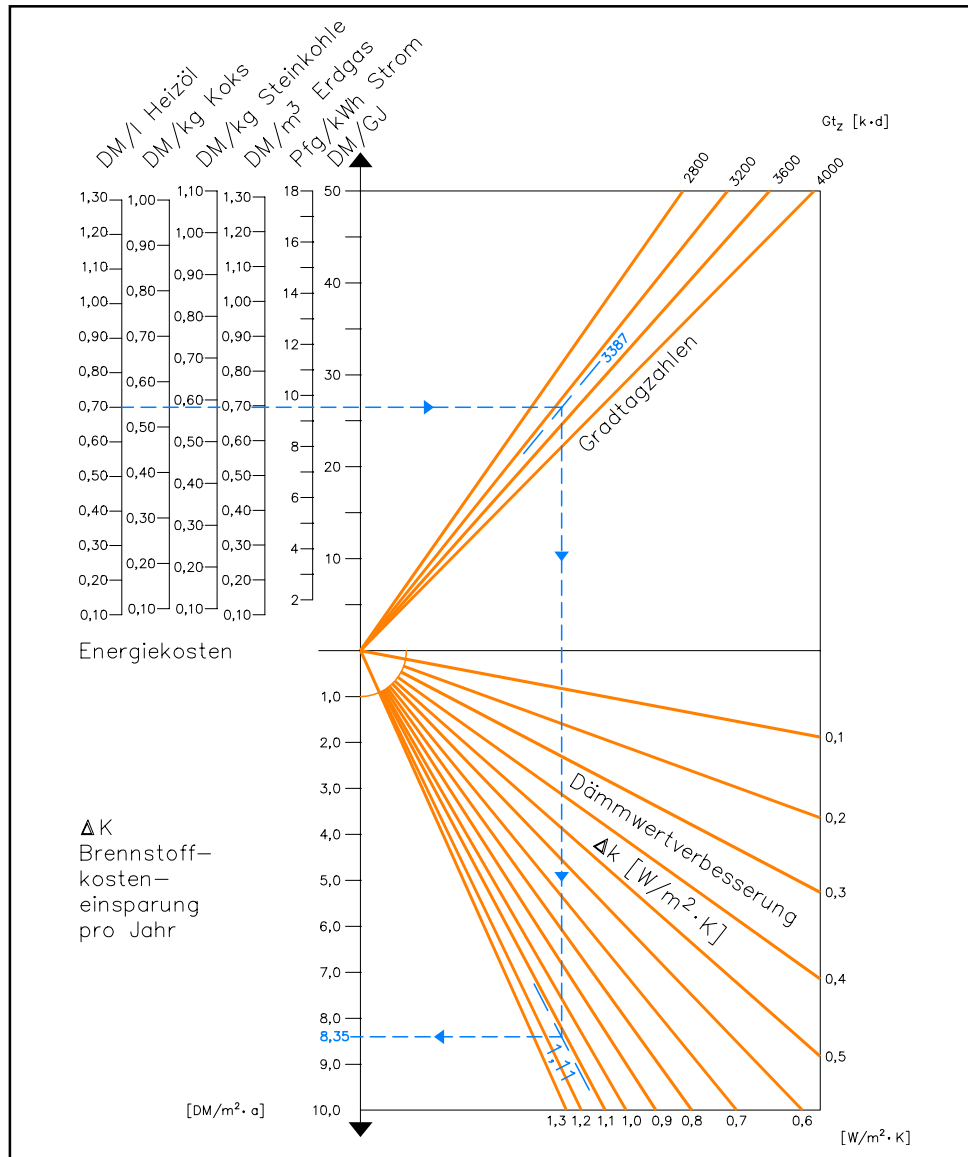


Abbildung 9

Einsparung an Brennkosten pro m² Transmissionsfläche ΔK_B (Beispiel I)

in Abhängigkeit von der Dämmwertverbesserung Δk , den Energiekosten [DM/Liefereinheit] und den Gradtagzahlen Gt_z [K·d]

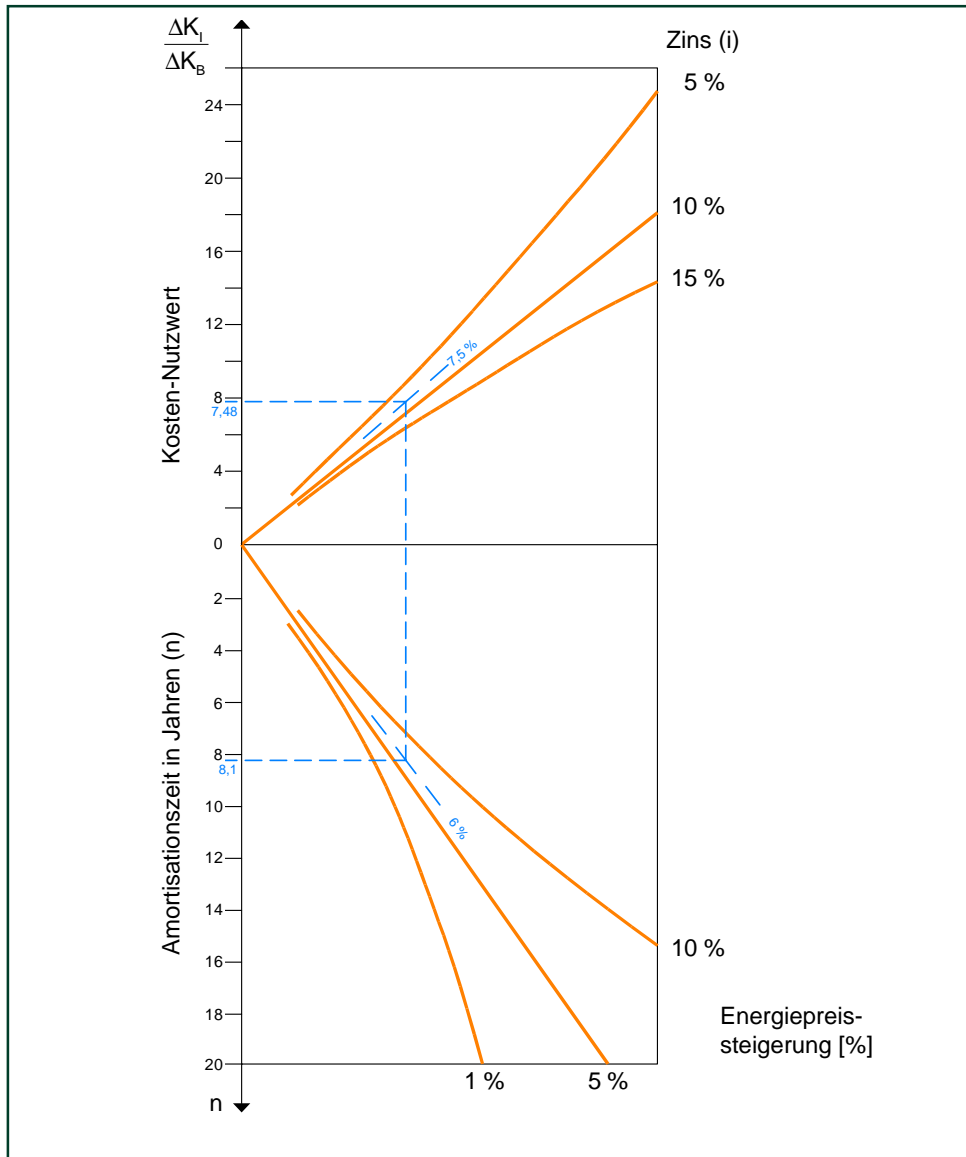


Abbildung 10

Wiedererwirtschaftungszeit (Beispiel I)

Amortisation des Kosten-Nutzwertes in Abhängigkeit von dem Zinssatz und der jährlichen Energiepreissteigerung

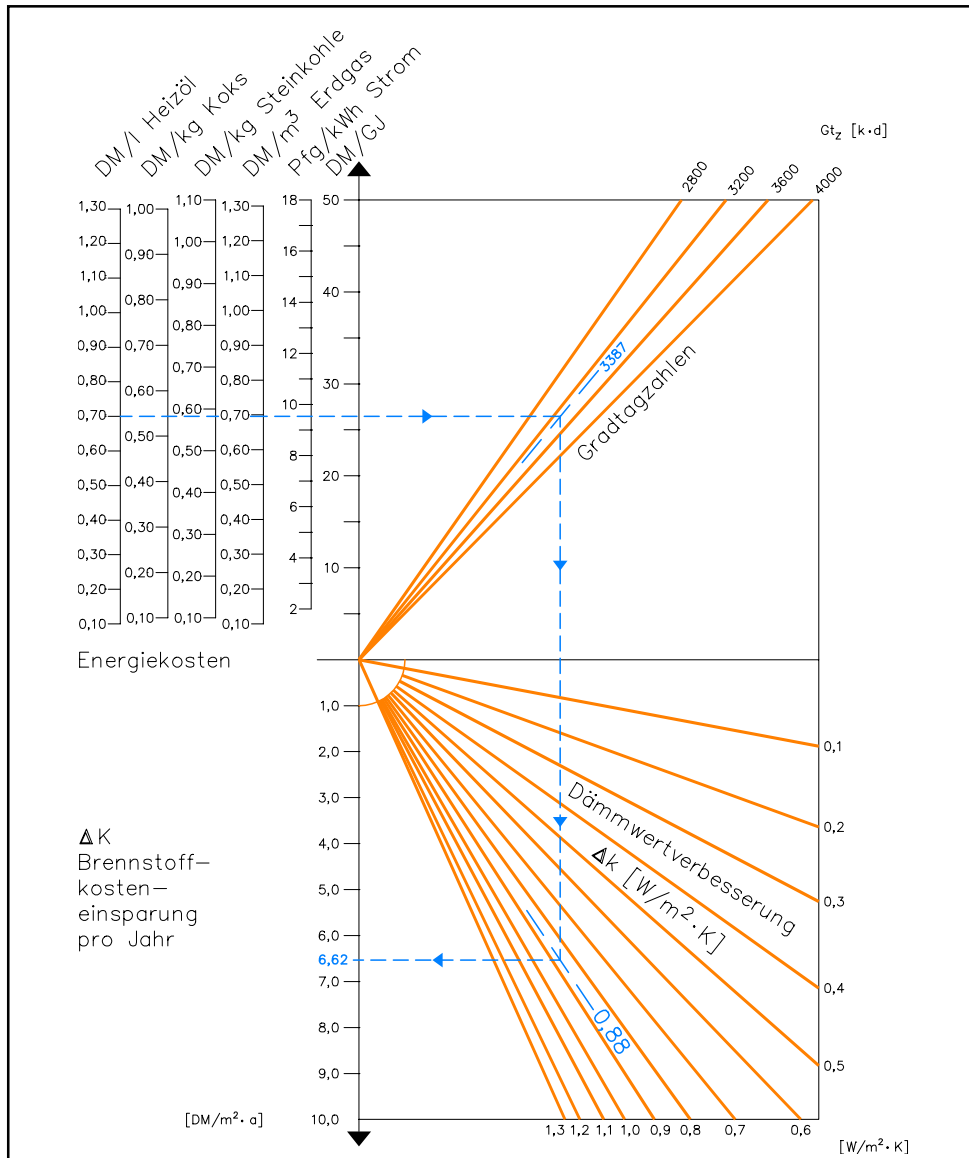


Abbildung 11

Einsparung an Brennkosten pro m^2 Transmissionsfläche ΔK_B (Beispiel II)

in Abhängigkeit von der Dämmwertverbesserung Δk , den Energiekosten [DM/Liefereinheit] und den Gradtagzahlen Gt_z [$K \cdot d$]

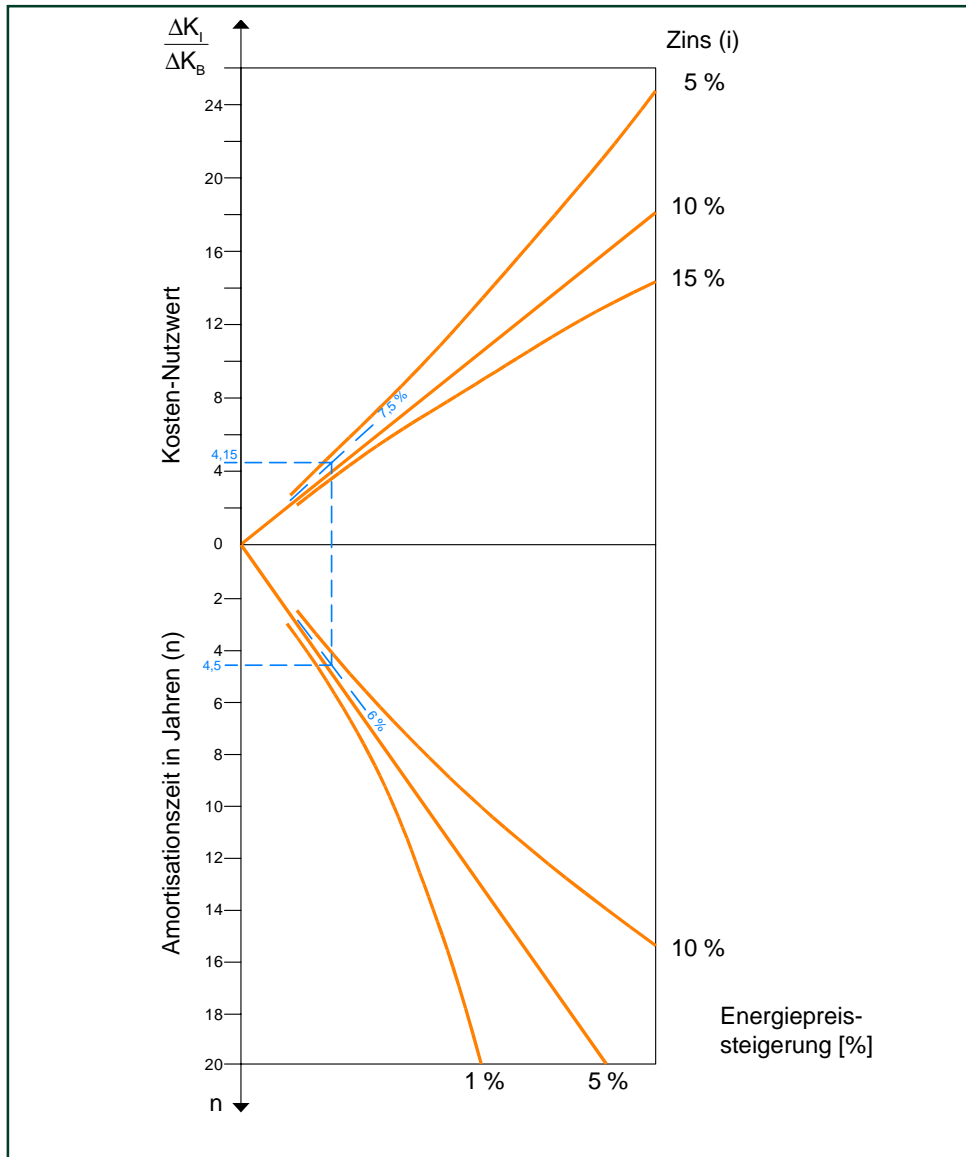


Abbildung 12

Wiedererwirtschaftungszeit (Beispiel II)

Amortisation des Kosten-Nutzwertes in Abhängigkeit von dem Zinssatz und der jährlichen Energiepreissteigerung

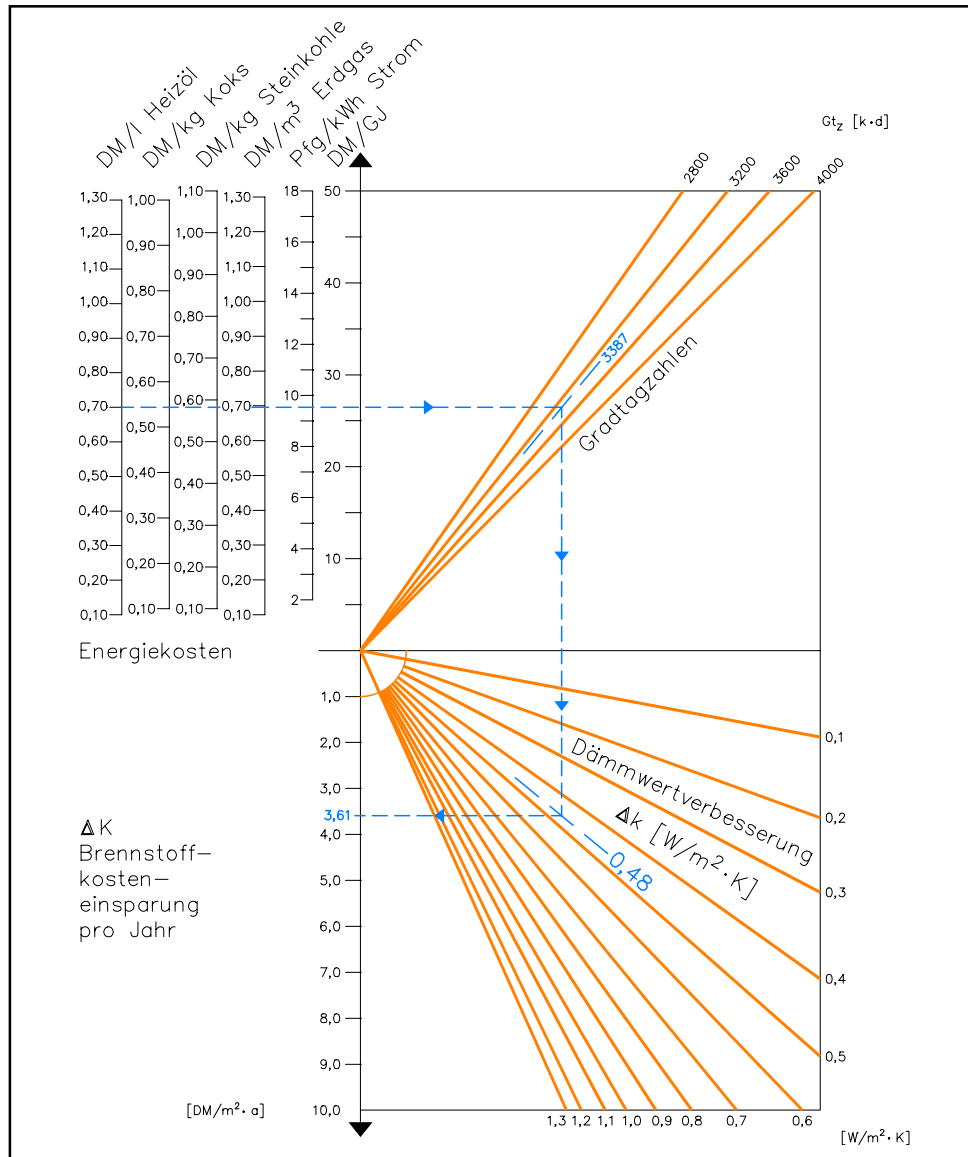


Abbildung 13

Einsparung an Brennkosten pro m² Transmissionsfläche ΔK_B (Beispiel III)

in Abhängigkeit von der Dämmwertverbesserung Δk , den Energiekosten [DM/Liefereinheit] und den Gradtagzahlen G_{tz} [K·d]

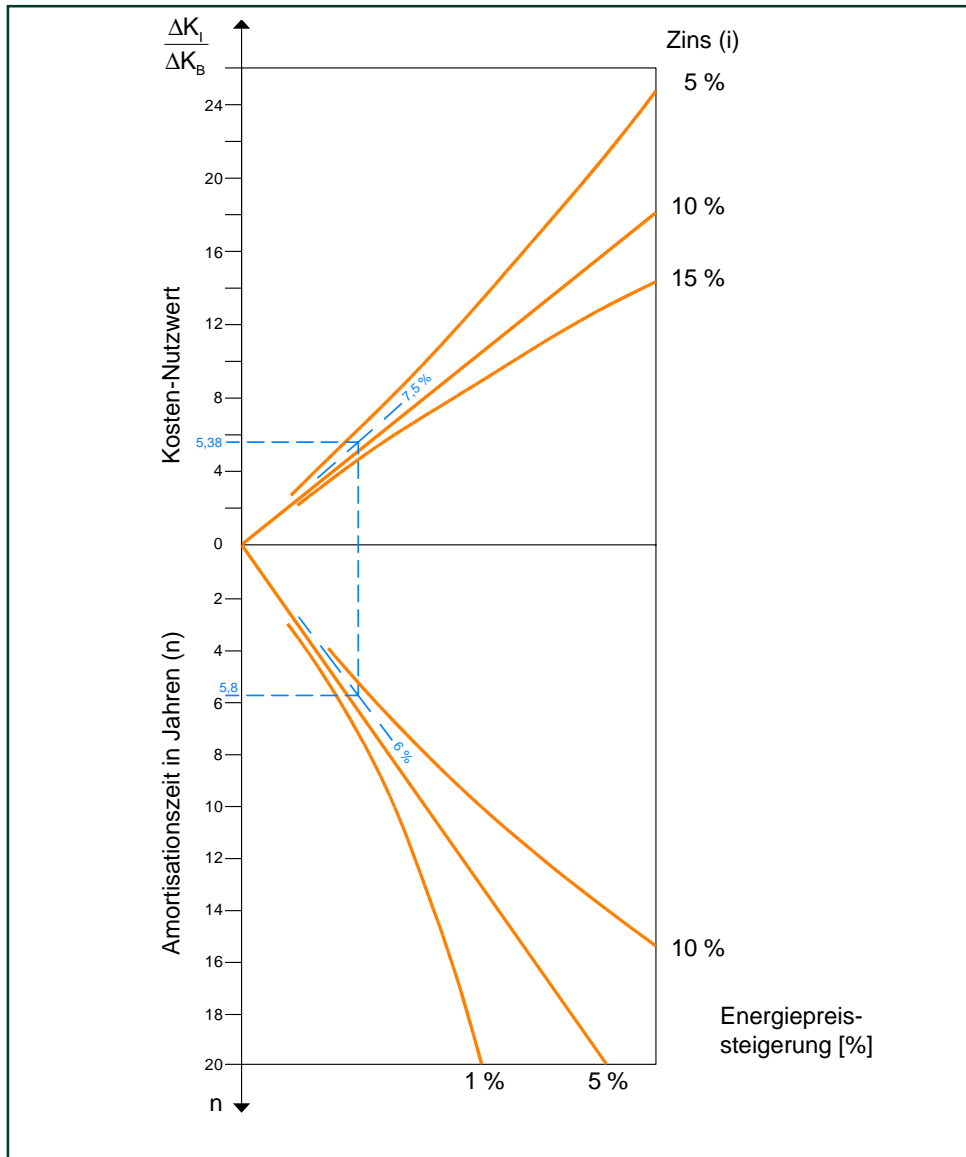


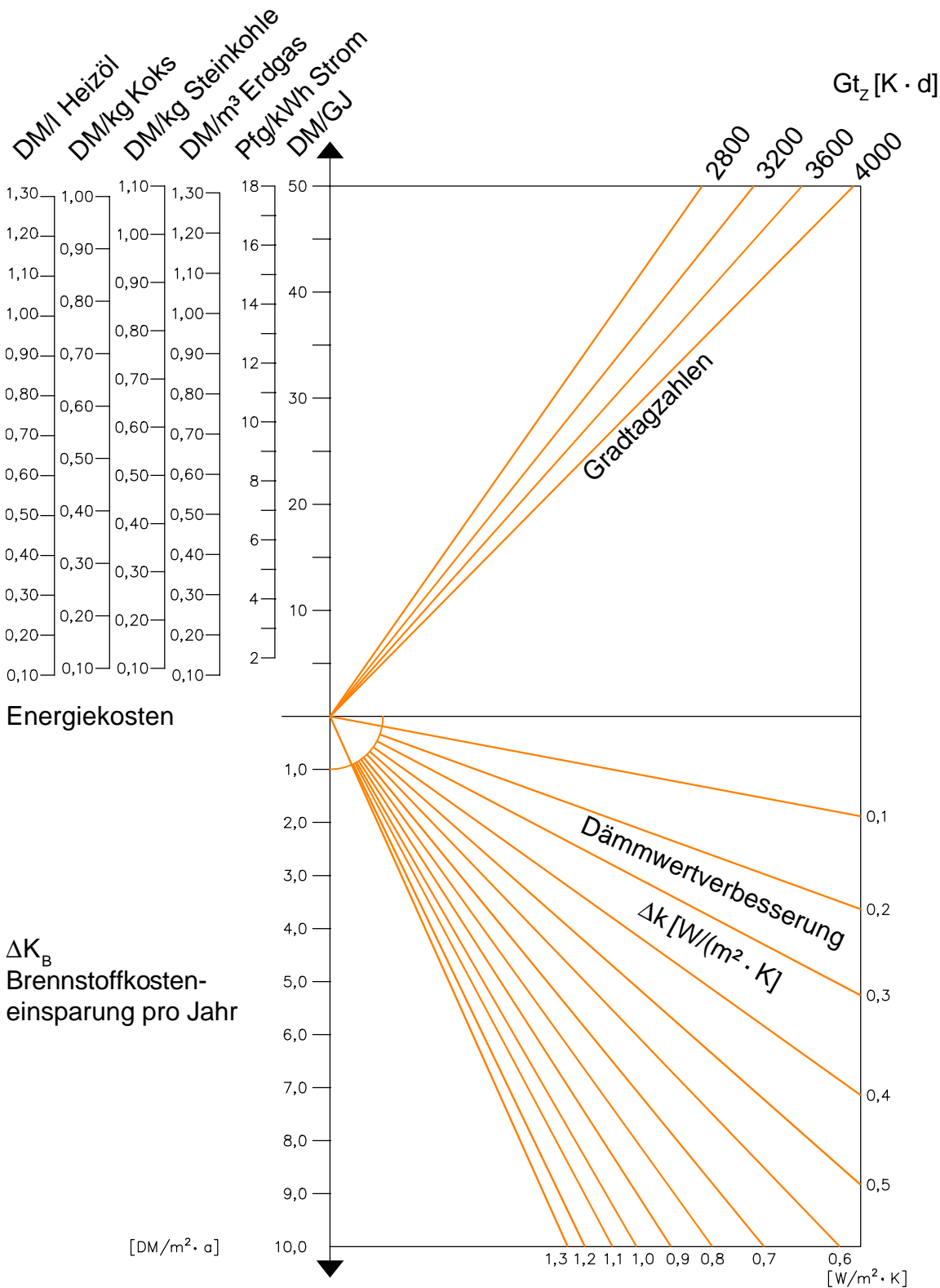
Abbildung 14

Wiedererwirtschaftungszeit (Beispiel III)

Amortisation des Kosten-Nutzwertes in Abhängigkeit von dem Zinssatz und der jährlichen Energiepreissteigerung

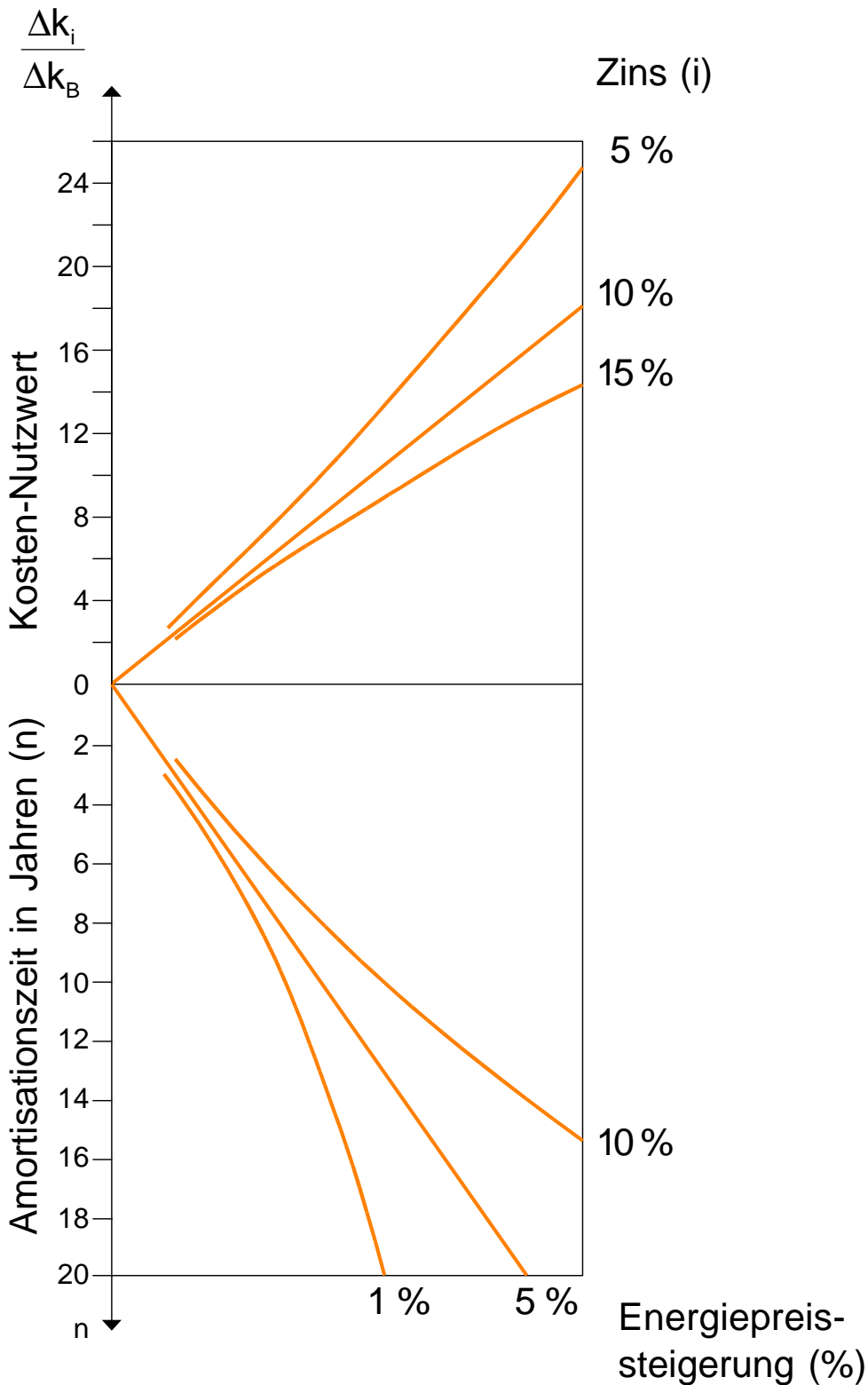
Einsparung an Brennstoffkosten pro m² Transmissionsfläche ΔK_B

in Abhängigkeit von der Dämmwertverbesserung Δk , den Energiekosten [DM/Liefereinheit] und den Gradtagzahlen Gt_z [K · d]



Wiederwirtschaftungszeit

Amortisation des Kosten-Nutzwertes in Abhängigkeit von dem Zinssatz und der jährlichen Energiepreissteigerung.



Physikalische Eigenschaften von Styropor					
	Prüfung nach	Einheit	Prüfergebnis		
Qualitätstypen	Qualitätsrichtlinien der BFA QS EPS		PS 15 B1	PS 20 B1	PS 30 B1
Anwendungstypen	DIN 18164 Teil 1		W	WD	WS + WD
Mindestrohdichte	DIN 53420	kg/m ³	15	20	30
Baustoffklasse	DIN 4102		B1 schwer entflammbar	B1 schwer entflammbar	B1 schwer entflammbar
Wärmeleitfähigkeit Meßwert bei + 10 °C	DIN 52612	$\frac{W}{m \cdot K}$	0,032–0,036	0,031–0,035	0,029–0,033
Rechenwert nach DIN 4108		$\frac{W}{m \cdot K}$	0,040	0,040	0,035 0,040
Druckspannung bei 10 % Stauchung	DIN 53421	N/mm ²	0,07–0,12	0,12–0,16	0,18–0,26
Dauerdruckbeanspruchung bei Stauchung < 2 %		N/mm ²	0,012–0,025	0,020–0,035	0,036–0,062
Scherfestigkeit	DIN 53427	N/mm ²	0,09–0,12	0,12–0,15	0,19–0,22
Biegefestigkeit	DIN 53423	N/mm ²	0,16–0,21	0,25–0,30	0,42–0,50
Zugfestigkeit	DIN 18164	N/mm ²	0,15–0,23	0,25–0,32	0,37–0,52
E-Modul (Druckversuch)	DIN 53 457	N/mm ²	3,80–4,20	4,40–5,40	7,40–9,00
Wärmeformbeständigkeit kurzfristig	in Anlehnung an DIN 53424	°C	100	100	100
langfristig bei 5000 N/m ²	in Anlehnung an DIN 18164	°C	80–85	80–85	80–85
langfristig bei 20000 N/m ²	DIN 18164	°C	75–80	80–85	80–85
Thermischer Längenkoeffizient		$\frac{1}{K}$	5–7·10 ⁻⁵	5–7·10 ⁻⁵	5–7·10 ⁻⁵
Spezifische Wärmekapazität	DIN 4108	J/(kg · K)	1500	1500	1500
Wasseraufnahme bei Unterwasserlagerung nach 7 Tagen	DIN 53428	Vol.-%	3,0	2,3	2,0
nach 1 Jahr	DIN 53443	Vol.-%	5,0	4,0	3,5
Wasserdampfdurchlässigkeit	DIN 52615	$\frac{g}{m^2 \cdot d}$	40	35	20
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl nach DIN 4108		1	20/50	30/70	40/100

Abbildung 17



Industrieverband Hartschaum e. V.
Postfach 10 30 06
D-69020 Heidelberg
Telefon (0 62 21) 77 60 71
Telefax (0 62 21) 77 51 06



Qualitätssiegel der
Bundesfachabteilung
Qualitätssicherung
EPS-Hartschaum

Alle Informationen erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, jedoch unverbindlich und ohne Gewähr. Eine Haftung ist ausgeschlossen. Copyright 1998.

Nachdruck auch auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des IVH.

© Eingetragenes Verbandszeichen des IVH.
