

AMORTISATION VON DÄMMSCHICHTEN: ANLEITUNG ZUR BERECHNUNG

1. EINLEITUNG

Prinzipiell sollen hier die Amortisationszeiten von Dämmschichten gemäss **FALL 1** (siehe dazu pdf – Datei: Wirtschaftlichkeitsberechnungen <Erwägungen zur <Amortisationszeit>) ermittelt werden. Dabei sind drei verschiedene Betrachtungen / Vorgaben möglich:

- **aA**: absolute Amortisationszeit der gewählten Dämmschichten mit resultierendem mittleren U – Wert → gemessen an der ungedämmten Konstruktion mit gewogenem Basiswert U_0 .

- **rA1**: relative Amortisationszeit₁ der resultierenden Dämmschichten für U_{optimal} → gemessen am erforderlichen Dämmstoffbedarf für den maximal zulässigen (wohnhygienisch bedingten) Wert $U_{\text{max.zul}}$, nach Vorgabe.

- **rA2**: relative Amortisationszeit₂ der resultierenden (Super -) Dämmdicken für vorgegebenen (sehr tiefen) U'_{soll} – Wert (z.B. MuKE n – Standardlösung 1) → gemessen am Dämmstoffbedarf für den optimalen Wert U'_{optimal} der opaken Hülle.

Prinzipiell kann zudem unterschieden werden, ob die Amortisationszeit des gewählten Dämmstoff – Konzepts nach oekologischen Kriterien (→ amortisierter Grauenergiebedarf), oder nach kommerziellen Grundsätzen (→ amortisierte Dämmstoffkosten, d.h. Materialkosten exkl. Arbeitsaufwand) ermittelt werden soll.

2. VORGEHEN FÜR OEKOLOGISCHE AMORTISATIONSZEITEN

2.1 Bestimmung der absoluten Amortisationszeit [aA]

Den gewählten oder durch Optimierung ermittelten Dämmdicken (mit resultierendem mittleren Wert $U'_{\text{result.}}$ bzw. U'_{optimal}) ist ein diskontierter Grauenergiebedarf Σ' zugeordnet (→ Liter Heizöl – Äquivalent, siehe Resultatblatt zu <OPTIMIEREN DURCH UMSCHICHTEN> bzw. Resultatblatt zu <OEKO - PRIORITY[®]>). Weiter sind (aus Handrechnung) die opake Gebäudefläche [A] sowie die Anzahl Heizgradtage [HGT] bekannt. Ferner die „Zinssätze“ für Grauenergie [i_{GE}] und für Heizenergie [i_{HE}]. Der gewogene Mittelwert U'_0 muss zudem „von Hand“ berechnet werden.

Um die absolute Amortisationszeit [aA] zu bestimmen, muss die folgende Beziehung (iterativ!) nach [aA] aufgelöst werden. Siehe dazu das verwendete Modellbeispiel <OEKO – PRIORITY(Standard)> unter <Berechnungstool.xls, Tabelle 1>.

$$10 \cdot (\Sigma' - 0) \cdot e^{[(aA) \cdot i_{\text{GE}}^*]} \equiv \{(U'_0 - U'_{\text{vorh./opt}}) \cdot [A] \cdot [HGT] \cdot 24 \cdot 10^{-3}\} \cdot [(e^{[(aA) \cdot i_{\text{HE}}^*]} - 1) / (e^{i_{\text{HE}}^*} - 1)]$$

merke: $i_{\text{GE}}^* = \ln [1 + (i_{\text{GE}} + 0.000001)]$; $i_{\text{HE}}^* = \ln [1 + (i_{\text{HE}} + 0.000002)]$

gilt auch für Berechnungen 2.2 und 2.3; wird im Berechnungstool.xls automatisch umgerechnet.

2.2 Bestimmung der relativen Amortisationszeit₁ [rA1]

Aus OEKO - PRIORITY[®] folgt für den ermittelten Wert U'_{optimal} ebenso der wiederum benötigte Grauenergiebedarf (Σ'_{optimal}) laut Resultatblatt. Um auch den (vergleichenden) Grauenergiebedarf zum gewogenen Wert $U'_{\text{max.zul}}$ zu erhalten, eignet sich folgendes weitere Vorgehen: Es wird (zurückkehrend zum Eingabeformular 1) die Heizgradtagzahl auf das Minimum entsprechend 200 Kd*** gesetzt. Dies hat zur Folge, dass der optimale U – Wert aus neuerlicher Berechnung über den gewogenen Mittelwert $U'_{\text{max.zul}}$ zu liegen kommt (entsprechende Meldung folgt). Nach Anklicken von MuKE n 1 und MuKE n 2 steht ein Eingabefenster zur Verfügung, in welches als Zielvorgabe für U'_{soll} der einzuhaltende Grenzwert $U'_{\text{max.zul}}$ eingegeben werden kann. Hierfür folgt nun die entsprechende (Teil -) Optimierung der Dämmschichten mit resultierendem Grauenergiebedarf ($\Sigma'_{\text{für max.zul}}$). Analog der Bestimmung nach 2.1 folgt alsdann die Berechnung nach folgender Beziehung:

$$10 \cdot (\Sigma'_{\text{optimal}} - \Sigma'_{\text{für max.zul}}) \cdot e^{[(rA1) \cdot i_{\text{GE}}^*]} \equiv \{(U'_{\text{max.zul}} - U'_{\text{optimal}}) \cdot [A] \cdot [HGT] \cdot 24 \cdot 10^{-3}\} \cdot [(e^{[(rA1) \cdot i_{\text{HE}}^*]} - 1) / (e^{i_{\text{HE}}^*} - 1)]$$

Siehe hierzu das Modellbeispiel <OEKO – PRIORITY(individuelle Dämmschichten)> unter <Berechnungstool.xls; Tabelle 1>.

*** Selbstverständlich ist in der Iterationsformel - trotz dieses „Kunstgriffs“ - die tatsächliche Heizgradtagzahl [HGT] einzugeben!

2.3 Bestimmung der relativen Amortisationszeit2 [rA2]

Durch die Vorgabe von sehr tiefen $U_{\text{max.zul}}$ Einzelwerten im Eingabeformular 2 zu OEKO - PRIORITY[®], wird der oekologisch optimale Dämmstoffbedarf überschritten. Es folgt die oben erwähnte „Meldung“. Durch Weiterklicken nach MuKE n 1 werden der mittlere U – Wert und die nach Einzelschriften dazu benötigten Dämmstärken, bzw. der hieraus benötigte Grauenergiebedarf ($\Sigma'_{\text{MuKE n}}$) berechnet → Resultatformular. Alternativ kann statt dessen auch hier (via MuKE n 2) eine bestimmte Vorgabe U'_{soll} ($<U'_{\text{optimal}}$) gemacht werden.

Auf diese Weise werden wiederum alle Berechnungsgrößen gewonnen, welche in die nachstehende Iterationsgleichung einfließen:

$$10 \cdot (\Sigma'_{\text{soll/MuKE n}} - \Sigma'_{\text{optimal}}) \cdot e^{[(rA2) \cdot iGE^*]} \equiv \{(U'_{\text{optimal}} - U'_{\text{soll/MuKE n}}) \cdot [A] \cdot [HGT] \cdot 24 \cdot 10^{-3}\} \cdot [(e^{[(rA2) \cdot iHE^*]} - 1) / (e^{iHE^*} - 1)]$$

Siehe auch hier das Modellbeispiel <zu MuKE n (individuelle Dämmschichten)> unter <Berechnungstool.xls, Tabelle 1>.

3. VORGEHEN FÜR KOMMERZIELLE AMORTISATIONSZEITEN

Die Verfahren zur Bestimmung von aA, rA1 oder rA2 → Iterationsformel sind im Prinzip unverändert.

Für Σ'_{Index} ist wiederum die nach OEKO – PRIORITY jeweils berechnete „Graue Energiemenge“ einzusetzen, welche diesmal aber – nach entsprechenden Anpassungen laut <Tipps, Tricks und sonstige Hinweise> und mit Hilfe des Berechnungstools <Hilfe zu Kostenoptimierung mit OEKO – PRIORITY.xls> – als „Kostensumme in Franken“ zu lesen ist. Auf der rechten Seite der Iterationsgleichung sind hier ergänzend festzulegen: Der Nutzwärme (Basis -) Preis „heute“ [p_0] sowie die anzunehmende Verzinsung [i_E] und Jahresteuern [t_E] der Heizenergiekosten. Es gilt hier folgende Iterationsgleichung:

$$(\Sigma'_{\text{Index 1}} - \Sigma'_{\text{Index 2}}) \cdot e^{[(x) \cdot iD^*]} \equiv [p_0] \cdot \{(U'_{\text{Index 2}} - U'_{\text{Index 1}}) \cdot [A] \cdot [HGT] \cdot 24 \cdot 10^{-3}\} \cdot [(e^{[(x) \cdot iE^*]} - e^{[(x) \cdot tE^*]}) / (e^{iE^*} - e^{tE^*})]$$

(= Frankenbetrag)

dabei gilt hier, analog zu oben: $iD^* = \ln(1 + (i_D + 0.000001))$; $iE^* = \ln(1 + (i_E + 0.000002))$;
 $tD^* = \ln(1 + (t_D + 0.000003))$; $tE^* = \ln(1 + (t_E + 0.000004))$;
 wird im Berechnungstool.xls automatisch angepasst.

ferner: ($\Sigma'_{\text{Index 1}} - \Sigma'_{\text{Index 2}}$): Die diskontierte Graue Energie – Differenz (als Frankenbetrag!) je nach Aufgabenstellung, d.h. analog der oekologischen Berechnung. Zudem: ($U'_{\text{Index 2}} - U'_{\text{Index 1}}$) → sinngemäss. Exponent (x): Die gesuchte Amortisationszeit je nach Problemstellung (analog 2.1, 2.2 resp. 2.3).

Für die drei Modellbeispiele zu OEKO - PRIORITY[®] finden sich im vorliegenden zip – Dateordner entsprechend berechnete (auch kommerzielle) Amortisationszeiten, welche mit dem erstellten Excel - Berechnungstool.xls berechnet und dargestellt sind. Dabei ist dort die (kommerzielle) Verzinsung von „Dämmstoff – Franken“ [i_D] bzw. von „Heizenergie – Franken“ [i_E] mit je 5.5 % gleichgesetzt. Desgleichen die Bauteuerung [t_D] und die Heizenergie – Teuerung [t_E] mit je 3.0%. Als Nutzwärme (Basis -) Preis [p_0] wurden Fr. 0.10 pro kWh veranschlagt und ein einheitlicher Dämmstoffpreis von Fr. 200.- / m^3 festgelegt. Entsorgungsanteil je nach Modellbeispiel – Vorgabe. Bei einem Planungshorizont von (hier) 75 Jahren darf die resultierende Amortisationszeit selbstverständlich nie höher liegen!

4. ZUSAMMENSTELLUNG UND FAZIT

Modellbeispiel	OEKOPRIORITY (Standard)	OEKOPRIORITY (individuelle Dämmschichten)	zu MuKE n (individuelle Dämmschichten)
Vergleichsbasis	$U_{\text{opt.1}}$ vs. U_0 (0.175) statt (1.334)	$U_{\text{opt.2}}$ vs. $U_{\text{max.zul}}$ (0.181) statt (0.387)	$U_{\text{MuKE n}}$ vs. $U_{\text{opt.1}}$ (0.120) statt (0.175)
Berechnungstyp	aA	rA1	rA2
Ergebnisse oekologisch	ca. 1.5 Jahre	ca. 6.5 Jahre	nie (!) resp. ca. 70 Jahre <i>siehe Schluss auf letzter Seite***</i>
Ergebnisse kommerziell	ca. 5.5 Jahre	ca. 24.0 Jahre	ca. 74.5 Jahre (!)

Ergebnisse gerundet auf 0.5 Jahre.

Generell stellt sich also immer die Frage, mit welcher Rückzahlfrist für die (Zusatz-) Dämmung zu rechnen ist, welche den Wärmeschutz der opaken Hülle von $U'_{\text{Index 2}}$ (Basiswert) auf $U'_{\text{Index 1}}$ (= $U'_{\text{Index 2}}$ plus Zusatzdämmung) verbessert.

Wie zu erwarten, fällt die erforderliche Amortisationszeit (oekologisch wie kommerziell) sehr kurz aus, wenn der Vergleich auf die ungedämmte Konstruktion ($U'_{\text{result.}}$ oder $U'_{\text{opt.}}$ vs. U'_0) bezogen wird → Resultatspalte 1. Auch dann, wenn als Bezugsgrösse der konstruktiv und / oder wohngygienisch zwingende Wert $U'_{\text{max.zul.}}$ zur Vergleichsbasis genommen wird, fällt die oekologische Amortisationszeit mit ca. 6.5 Jahren (im Gegensatz zu den 24 Jahren kommerzieller Rückzahlfrist) noch sehr moderat aus → Resultatspalte 2. So genannte Super -Dämmstärken hingegen, welche am rechnerisch optimalen U – Wert gemessen werden, weisen extrem hohe oder gar keine Rückzahlfristen ihrer „Überdämmung“ auf, was – neben allen technischen Zusatzproblemen → siehe „auf einen Blick.pdf“ – auch rein energetisch auf eine unvernünftig konzipierte Dämmung der Gebäudehülle hinweist → Resultatspalte 3.

***** Damit im vorliegenden Beispiel die MuKE n – Superdämmung ($U'_{\text{soll MuKE n}} = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$) bezogen auf U'_{optimal} überhaupt eine relative Amortisationszeit (rA2) aufzuweisen vermöchte, müsste – entgegen der Vorgabe – die „Verzinsung“ der niederwertigen Anergie/Nutzwärme jener für die hochwertige Prozessenergie / Graue Energie der Dämmstoffe angenähert werden → z.B. $i_{\text{HE}} = 1.5\%$. Dies führt tendenziell zu einer (ideellen) Wertsteigerung der Heizenergie – Ersparnisse (= $U'_{\text{Index 2}} - U'_{\text{Index 1}}$) und somit zunächst einmal zu einer „Verkürzung“ der Amortisationszeit. Allerdings bildet sich bei dieser Änderung auch ein deutlich tieferer optimaler Wert U'_{optimal} , womit sich zwar in günstiger Weise die zu amortisierende Graue Energie – Differenz (Investition) zwischen $\Sigma'_{\text{MuKE n}}$ und Σ'_{optimal} , aber in ungünstiger Weise auch die „Spardifferenz zwischen U'_{optimal} und $U'_{\text{MuKE n}}$ “ reduziert. **Somit: Keine Änderung der Heizenergie – Verzinsung (i_{HE}) ohne entsprechende Überprüfung des neuen oekologischen Wertes U'_{optimal} !****

Im Berechnungstool Tabelle 1 (Beispiele) kann durch entsprechende Einträge in den gelben Eingabefeldern der Zusammenhang verfolgt werden. Aus der vorgängigen Optimierung nach OEKO - PRIORITY[®] ist dabei zu übernehmen:

Wenn gewählt für:

$i_{\text{HE}} = 0\%$ (C19) → für Σ'_{optimal} ist zu berücksichtigen 28970, resp. $(48851 - 28970) = 19881$ in (J17);
(bisher) und $U'_{\text{optimal}} = 0.175 \text{ W/m}^2\text{K}$, resp. $(0.175 - 0.120) = 0.055$ in (J15).

$i_{\text{HE}} = 1.5\%$ (C19) → für Σ'_{optimal} ist zu berücksichtigen 40207, resp. $(48851 - 40207) = 8644$ in (J17);
(modifiziert) und $U'_{\text{optimal}} = 0.133 \text{ W/m}^2\text{K}$, resp. $(0.133 - 0.120) = 0.013$ in (J15).

***** Es ist auch mit $i_{\text{HE}} = 1.5\%$ keine oekologische Amortisation (rA2) möglich – es sei denn, als Bezugsgrösse würde weiterhin das „alte U'_{optimal} “ - mit (J17) = 19881 und (J15) = 0.055 $\text{W/m}^2\text{K}$ – vorausgesetzt. In diesem Fall fände sich als oekologische Amortisationszeit (rA2) ein Wert von ca. 70 Jahren?! Würde schliesslich die „Verzinsung“ der Heizenergie i_{HE} mit 2.5% jener der Graue Energie gleichgesetzt, so ergäbe sich aus OEKO – PRIORITY[®] ein optimaler oekologischer U – Wert von ca. 0.108 $\text{W/m}^2\text{K}$. Dieser läge dann als Bezugsbasis tiefer als die Extremvorgabe nach MuKE n (0.12 $\text{W/m}^2\text{K}$) und liesse eine Amortisationsberechnung „in diese Richtung“ schon gar nicht mehr zu.**