

## 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 Amortisationszeit<sub>1</sub> der resultierenden Dämmschichten für  $U_{\text{optimal}}$  → gemessen am erforderlichen Dämmstoffbedarf für den maximal zulässigen (wohnhygienisch bedingten) Wert  $U_{\text{max.zul.}}$ , nach Vorgabe.

- **rA2**: relative Amortisationszeit<sub>2</sub> der resultierenden (Super -) Dämmdicken für vorgegebenen (sehr tiefen)  $U'_{\text{soll}}$  – Wert (z.B. MuKE – Standardlösung 1) → gemessen am Dämmstoffbedarf für den optimalen Wert  $U'_{\text{optimal}}$  der opaken Hülle.

Prinzipiell kann zudem unterschieden werden, ob die Amortisationszeit des gewählten Dämmstoff – Konzepts nach ökologischen 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.  $U'_{\text{optimal}}$ ) ist ein diskontierter Grauenergiebedarf  $\Sigma'$  zugeordnet (→ Liter Heizöl – Äquivalent, siehe Resultatblatt zu <OPTIMIEREN DURCH UMSCHICHTEN> bzw. Resultatblatt zu <OEKO - PRIORITY<sup>®</sup>>). Weiter sind (aus Handrechnung) die opake Gebäudefläche [A] sowie die Anzahl Heizgradtage [HGT] bekannt. Ferner die „Zinssätze“ für Grauenergie [ $i_{\text{GE}}$ ] und für Heizenergie [ $i_{\text{HE}}$ ]. 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 Amortisationszeit<sub>1</sub> [rA1]

Aus OEKO - PRIORITY<sup>®</sup> folgt für den ermittelten Wert  $U'_{\text{optimal}}$  ebenso der wiederum benötigte Grauenergiebedarf ( $\Sigma'_{\text{optimal}}$ ) 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 1 und MuKE 2 steht ein Eingabefenster zur Verfügung, in welches als Zielvorgabe für  $U'_{\text{soll}}$  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<sup>®</sup>, 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 Grauenenergiebedarf ( $\Sigma'_{\text{MuKE n}}$ ) berechnet → Resultatformular. Alternativ kann statt dessen auch hier (via MuKE n 2) eine bestimmte Vorgabe  $U'_{\text{soll}}$  ( $<U'_{\text{optimal}}$ ) 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  $\Sigma'_{\text{Index}}$  ist wiederum die nach OEKO – PRIORITY jeweils berechnete „Grauenenergiemenge“ 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 Grauenenergie – 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<sup>®</sup> finden sich im vorliegenden zip – Dateionner 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<sup>3</sup> 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	<b>ca. 1.5 Jahre</b>	<b>ca. 6.5 Jahre</b>	<b>nie (!) resp. ca. 70 Jahre</b> <i>siehe Schluss auf letzter Seite***</i>
Ergebnisse kommerziell	<b>ca. 5.5 Jahre</b>	<b>ca. 24.0 Jahre</b>	<b>ca. 74.5 Jahre (!)</b>

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 wohngigienisch 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 – Superdämmung ( $U'_{\text{soll MuKE}} = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) bezogen auf  $U'_{\text{optimal}}$  überhaupt eine relative Amortisationszeit (rA2) aufzuweisen vermöchte, müsste – entgegen der Vorgabe – die „Verzinsung“ der niederwertigen Anergie/Nutzwärme jener für die hochwertige Prozessenergie / Grauenenergie 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  $U'_{\text{optimal}}$ , womit sich zwar in günstiger Weise die zu amortisierende Grauenenergie – Differenz (Investition) zwischen  $\Sigma'_{\text{MuKE}}$  und  $\Sigma'_{\text{optimal}}$ , aber in ungünstiger Weise auch die „Spardifferenz zwischen  $U'_{\text{optimal}}$  und  $U'_{\text{MuKE}}$ “ reduziert. **Somit: Keine Änderung der Heizenergie – Verzinsung ( $i_{\text{HE}}$ ) ohne entsprechende Überprüfung des neuen oekologischen Wertes  $U'_{\text{optimal}}$ !****

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

Wenn gewählt für:

$i_{\text{HE}} = 0\%$  (C19) → für  $\Sigma'_{\text{optimal}}$  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  $\Sigma'_{\text{optimal}}$  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  $U'_{\text{optimal}}$ “ - 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  $i_{\text{HE}}$  mit 2.5% jener der Grauenenergie gleichgesetzt, so ergäbe sich aus OEKO – PRIORITY<sup>®</sup> 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 (0.12  $\text{W/m}^2\text{K}$ ) und liesse eine Amortisationsberechnung „in diese Richtung“ schon gar nicht mehr zu.**