

Berechnungen zur Wärmeübertragung durch Strahlung unter Einsatz der Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®"

Expertise im Auftrag der Fa. Aluthermo SA, Burg Reuland, Belgien

Bearbeitung: Dr.-Ing. B. Hillemacher

Aachen, 14. April 2008

1. Einführung

Die Güte der Wärmedämmung von Baukörpern stellt zurzeit ein an Bedeutung zunehmendes Kriterium zur qualitativen Beurteilung der fachtechnischen Bauausführung von Gebäuden dar. Entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen an spezifische, vielfach durch die Bausubstanz bestimmte, Gegebenheiten ist die aktuelle Marktsituation durch eine Vielzahl unterschiedlicher Wärmedämm-Werkstoffe sowohl für den Neubaubereich wie auch für die Altbausanierung gekennzeichnet.

Neuartige Konzepte zur Baukörperdämmung nutzen dabei die Strahlungsreflexion von hoch reflektierenden Oberflächen der meist speziell beschichteten Wärmedämmmaterialien aus. Hieraus resultiert ein verringerter Wärmedurchgang durch die Bauwerkhülle, der einerseits im Sommerfall eine geringere Wärmeübertragung in den Baukörper hinein bewirkt, andererseits in den kalten Wintermonaten auch einen verringerten Wärmeverlust des Bauwerks zur Folge hat und der damit einen wichtigen Beitrag zur Energieeinsparung leistet.

2. Beschreibung der Problemstellung

Ein solcher Wärmedämmstoff mit beiderseits hoch reflektierender Oberfläche wird im Rahmen der vorliegenden Expertise durch Berechnungen zur Wärmeübertragung untersucht. Gegenstand der Untersuchungen ist hierbei das Wärmedämmmaterial mit der Bezeichnung "Aluphonic®". Der Vertrieb dieser Verbundwärmedämm-Matte erfolgt über die Fa. Aluthermo SA, Burg Reuland, Belgien.

Die den hier durchgeführten Berechnungen zugrunde liegende Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" besteht aus zusammen fünf Schichten mit insgesamt sieben unterschiedlichen Materiallagen. Um die Kernschicht, die aus einem 3 mm dicken Polyethylen(PE)-Schaum (spezifisches Gewicht 25 kg/m^3) besteht, sind beidseitig Luftpolsterfolien (Luftkammerdurchmesser 10 mm, Höhe ca. 4 mm) angeordnet. Dieses innere Schichtenpaket wird umhüllt von auf den beiden Außenseiten mit Nitrozelluloselack beschichteten Aluminium-Folien (Schichtdicke ca. $30 \text{ }\mu\text{m}$).

Entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers sollte für die Emissionskoeffizienten der äußeren Oberflächen der Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" bei den hier durchgeführten Berechnungen ein Wert von 0,14 berücksichtigt werden. Für den Wärmedurchlasswiderstand wird vom Auftraggeber ein Wert $R = 0,171 \text{ m}^2\text{K/W}$ angegeben, die Gesamtdicke der Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" wird vorgegeben mit 10 mm.

In der nachfolgenden Abbildung 1 ist eine typische Einbausituation für einen solchen Wärmedämmstoff dargestellt, bei der die Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" direkt auf den Sparren einer Dachkonstruktion verlegt ist.

In der Abbildung ist die Dachform eines Sattel-/Giebeldaches mit einer Neigung von 35° sowohl in der Seitenansicht als auch im Querschnitt wiedergegeben. Die Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" (4) ist in Bahnen parallel zur Traufrichtung ausgelegt und mit der Konterlattung (3) auf den Sparren (5) befestigt. Auf der Konter-

lattung befindet sich die in entsprechenden Abständen gemäß den Erfordernissen der Dacheindeckung angebrachte Lattung (2), auf der als eigentliche Dachhaut (1) z. B. Betondachsteine oder Tonziegel aufgelegt sind. Wie heute vielfach bei Dachausbauten vorzufinden, ist auf der Baukörperinnenseite unterhalb der Sparren eine Verkleidung aus Gipskartonplatten (6) angebracht.

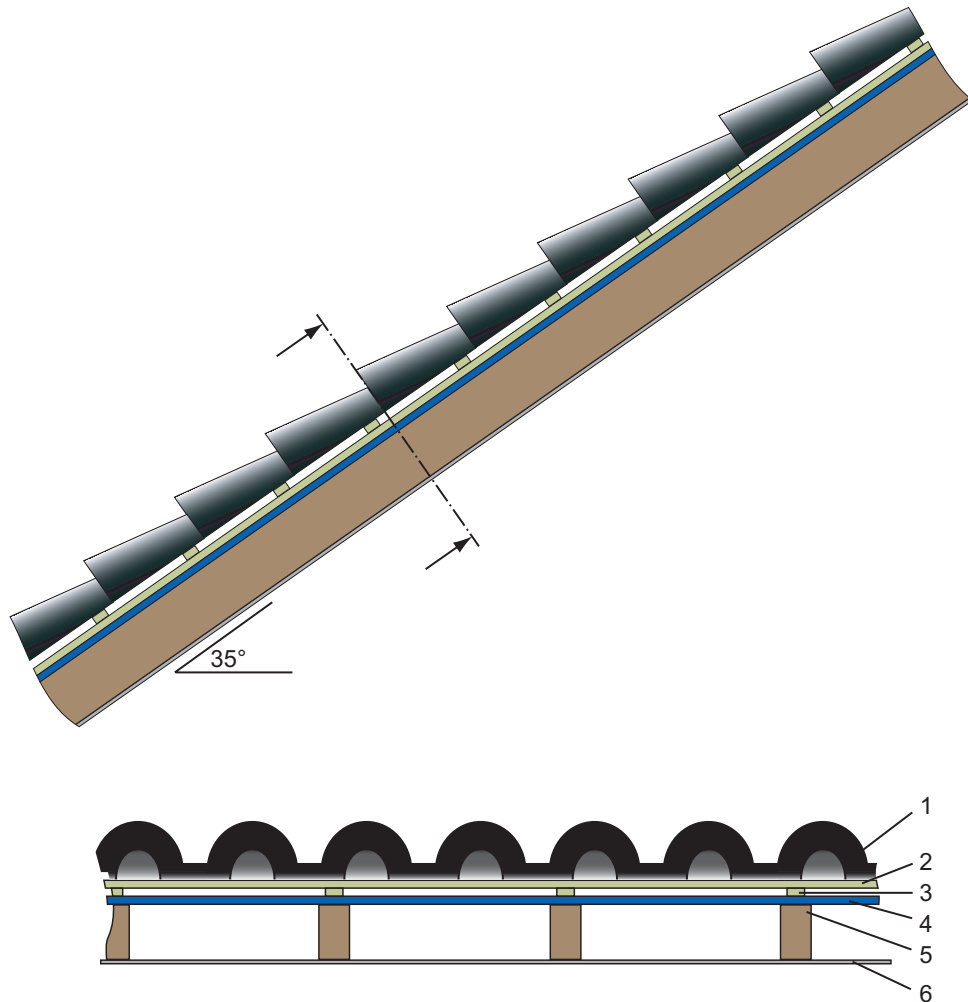


Abb. 1: Typische Einbausituation an einem 35°-Schrägdach für die Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic[®]", dargestellt in der Seitenansicht und im Querschnitt

- 1: hinterlüftete Dacheindeckung, z. B. Betondachsteine oder Tonziegel
- 2: Lattung
- 3: Konterlattung
- 4: Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic[®]"
- 5: Dachsparren
- 6: Gipskartonplatten

Es ist im Rahmen der vorliegenden Expertise zu untersuchen, inwieweit die Strahlungs-Wärmeübertragung zwischen den begrenzenden Flächen (Gipskartonplatten innenseitig und Dacheindeckung außenseitig) durch Einbau der Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic[®]" beeinflusst wird und insbesondere, welcher Bemessungswert sich für den Gesamtwärmewiderstand zwischen Gipskartonplatten und Dacheindeckung unter der Annahme bestimmter Randbedingungen ergibt.

3. Berechnungsgrundlagen

Zur anschaulichen Beschreibung der Wärmeübertragung durch Strahlung im oben aufgeführten Einbaubeispiel für die Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" dient die in Abbildung 2 dargestellte Prinzipskizze, in der die vorliegende Problemstellung in vereinfachter Form wiedergegeben wird:

Zwischen zwei parallelen, unendlich ausgedehnten ebenen Flächen (innen Gipskartonplatten, außen Dacheindeckung) unterschiedlicher Temperaturen ist die planparallele Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" so angeordnet, dass ein Strahlungsaustausch zwischen der Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" und den jeweils zugewandten Oberflächen der Gipskartonplatten bzw. der Dacheindeckung stattfindet.

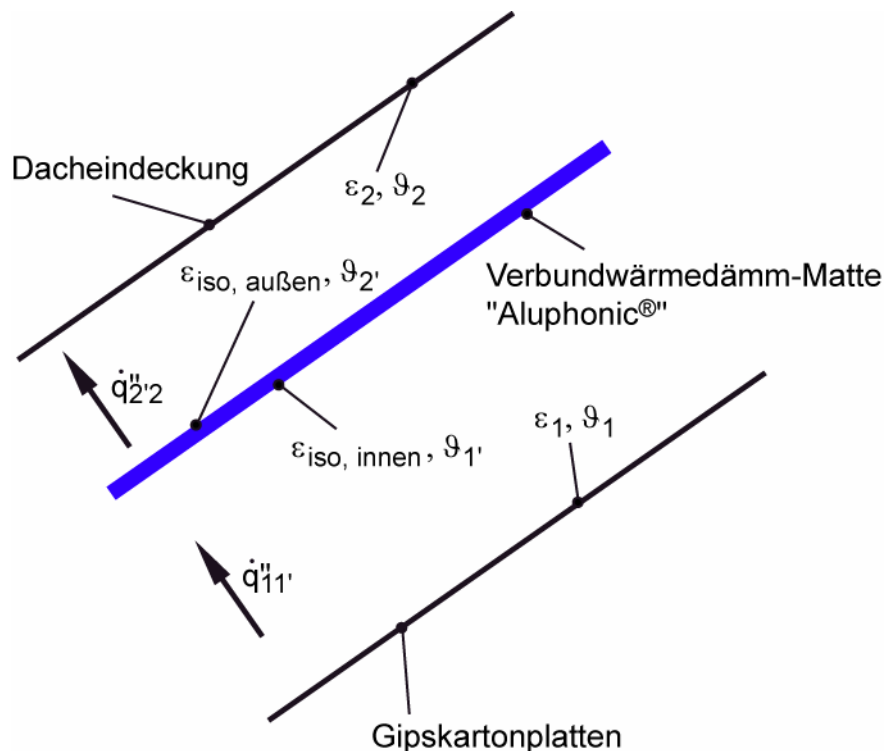


Abb. 2: Prinzipskizze zur vorliegenden Problemstellung

Die Oberflächentemperaturen der Gipskartonplatten bzw. der Dacheindeckung mit den innenseitigen, der Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" zugewandten, Emissionskoeffizienten ε_1 und ε_2 betragen ϑ_1 und ϑ_2 .

Den Berechnungen liegt eine vorgegebene, einheitliche Temperatur der Gipskartonplatten - entsprechend einer hierzu korrespondierenden, höher liegenden Raumtemperatur (abhängig vom jeweils vorliegenden Wandaufbau) - von $\vartheta_1 = 20\text{ °C}$ zugrunde. Hinsichtlich der von der Dacheindeckung auf der inneren Oberfläche angenommenen "Außen"-Temperatur ϑ_2 wird im Rahmen der vorliegenden Berechnungen von einem Bemessungswert $\vartheta_2 = -20\text{ °C}$ ausgegangen.

Für den Emissionskoeffizienten von Gipskartonplatten wird in den Berechnungen ein Bemessungswert $\varepsilon_1 = 0,9$ angenommen.

Der Emissionskoeffizient der der Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" zugewandten inneren Oberfläche der Dacheindeckung variiert entsprechend des eingesetzten Materials (Betondachstein, Tonziegel, Dachpappe oder bei Vollschalung aus Holz) im Bereich von 0,90 bis 0,94. Den Berechnungen liegt ein konservativ nach oben abgeschätzter Bemessungswert $\varepsilon_2 = 0,94$ zugrunde.

Die Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" ist durch den Wärmedurchlasswiderstand $R_{\text{iso}} = 0,171 \text{ m}^2\text{K/W}$, den Emissionskoeffizienten der äußeren Oberflächen $\varepsilon_{\text{iso}} = 0,14$ sowie die Dicke $\delta_{\text{iso}} = 10 \text{ mm}$ gekennzeichnet.

4. Bestimmungsgleichungen

Gemäß den vorgegebenen Randbedingungen sollte für die beiden Bereiche zwischen Gipskartonplatten und Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" bzw. Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®" und Dacheindeckung angenommen werden, dass die Wärmeübertragung aufgrund der vorgegebenen Temperaturdifferenz ausschließlich durch Strahlung stattfindet. Für den Nettostrahlungsaustausch zwischen zwei unendlich ausgedehnten ebenen Flächen i und j, die als "graue Strahler" angenommen werden können, lässt sich unter Berücksichtigung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes die folgende Beziehung ableiten:

$$\dot{q}_{ij}'' = \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{1}{\varepsilon_j} - 1\right)} \cdot C_s \cdot \left[\left(\frac{T_i}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_j}{100}\right)^4 \right] \quad (1)$$

mit der Strahlungs-Konstanten $C_s = 5,67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Andererseits gilt unter der Annahme eindimensionaler Wärmeleitung in einem Festkörper mit der Dicke δ und der Wärmeleitfähigkeit λ für den flächenbezogenen Wärmestrom:

$$\dot{q}_{ij}'' = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_j) \quad (2)$$

mit dem Wärmeleitwiderstand

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad (3)$$

Zur Ermittlung der unbekannten Wärmewiderstände R_{ij} des jeweils betrachteten Bereichs bzw. des Gesamtwiderstandes R_{ges} zwischen den Gipskartonplatten und der Dacheindeckung werden die durch Wärmestrahlung bzw. durch Wärmeleitung (nur innerhalb des Wärmedämmmaterials) in den betreffenden Bereichen übertragenen Wärmeströme entsprechend der Gleichungen (1) und (2) gleichgesetzt. Mit einer Indizierung entsprechend der Abbildung 2 ergeben sich die folgenden Gleichungen:

$$\dot{q}_{11'}'' = \dot{q}_{1'2'}'' \quad (4)$$

$$\dot{q}_{1'2'}'' = \dot{q}_{2'2}'' \quad (5)$$

Gemäß den oben aufgeführten Bestimmungsgleichungen (1) bzw. (2) können für das Gleichungssystem (4) und (5) zunächst iterativ die unbekannten Temperaturen $\vartheta_{1'}$ und $\vartheta_{2'}$ ermittelt werden. Aus einem zum Wärmeleitungswiderstand äquivalenten Ansatz für den Wärmestrahlungswiderstand

$$\dot{q}_{11'}'' = \frac{1}{R_{11'}} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_{1'}) \text{ bzw.} \quad (6)$$

$$\dot{q}_{2'2}'' = \frac{1}{R_{2'2}} \cdot (\vartheta_{2'} - \vartheta_2) \quad (7)$$

lassen sich die Wärmewiderstände $R_{11'}$, $R_{1'2'}$ und $R_{2'2}$ ermitteln. Der Gesamtwiderstand R_{ges} , bezogen auf das treibende Temperaturpotenzial ($\vartheta_1 - \vartheta_2$), ergibt sich damit aus:

$$R_{\text{ges}} = R_{12} = R_{11'} + R_{1'2'} + R_{2'2} \quad (8)$$

Einen ebenfalls auf das treibende Temperaturpotenzial ($\vartheta_1 - \vartheta_2$) bezogenen äquivalenten Wärmeübergangskoeffizienten u_{12} erhält man aus:

$$u_{12} = \frac{1}{R_{12}} \quad (9)$$

5. Ergebnisse

Die berechneten Ergebnisse sind in der nachfolgend wiedergegebenen Tabelle 1 zusammengestellt:

Kenngröße	Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®"
Temperatur ϑ_1 [°C], vorgegeben	20
Temperatur $\vartheta_{1'}$ [°C]	3,15
Temperatur $\vartheta_{2'}$ [°C]	1,07
Temperatur ϑ_2 [°C], vorgegeben	- 20
Gesamtwärmewiderstand R_{12} [m²K/W]	3,29
äquivalenter Wärmeübergangskoeffizient u_{12} [W/m²K]	0,304

Tabelle 1: Vorgegebene Daten und berechnete Ergebnisse für die Verbundwärmedämm-Matte "Aluphonic®"