



**Berechnungen zur Wärmeübertragung durch Strahlung unter Einsatz der  
Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro"**

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

Bearbeitung: Dr.-Ing. B. Hillemacher

Aachen, 17.03.2005

## 1. Einführung

Die Güte der Wärmedämmung von Baukörpern stellt zur Zeit 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 "Aluthermo Quattro". Der Hersteller dieses Wärmedämmmaterials ist die Fa. Aluthermo AG, Burg Reuland, Belgien.

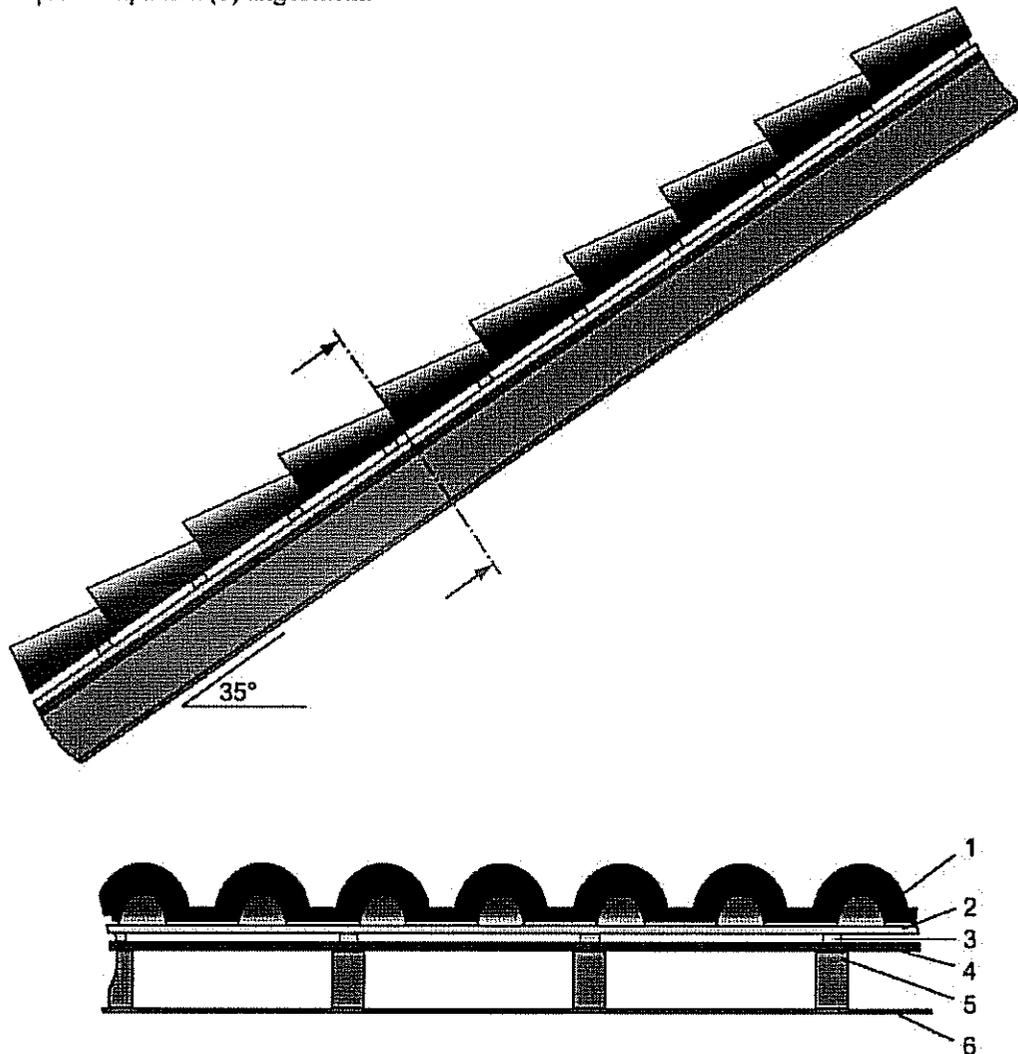
Für das Produkt "Aluthermo Quattro" liegen die beiden Prüfberichte P15-013.1/2005 vom 07.02.2005 "Ermittlung des Emissionskoeffizienten der äußeren Oberflächen einer mehrlagigen Verbundwärmedämm-Matte" sowie P1-003/2005 vom 13.01.2005 "Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach DIN EN 12667", des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart, vor. Auf die in den genannten Prüfberichten vermerkten Ergebnisse wird in der vorliegenden Expertise Bezug genommen.

Die hier untersuchte Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" besteht aus zusammen 7 Schichten mit insgesamt 13 unterschiedlichen Materiallagen. Um die Kernschicht, die aus einem 3 mm dicken Polyethylen(PE)-Schaum (Materialgewicht  $75 \text{ g/m}^2$ ) besteht, sind jeweils beidseitig PE-beschichtete (Materialgewicht  $20 \text{ g/m}^2$ ) Aluminium-Folien angeordnet, die wiederum eingeschlossen werden von 4 mm dicken PE-Luftpolsterfolien (Luftkammerdurchmesser 10 mm). Dieses innere Schichtenpaket wird umhüllt von auf den beiden Außenseiten mit Nitrozelluloselack (Materialgewicht  $3 \text{ g/m}^2$ ) beschichteten Aluminium-Folien (Materialgewicht  $81 \text{ g/m}^2$ ). Auf den jeweils inneren Seiten dieser äußeren Aluminium-Folien ist wiederum eine PE-Beschichtung (Materialgewicht  $20 \text{ g/m}^2$ ) aufgebracht. Die Gesamtdicke der Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" wird im vorgenannten Prüfbericht P15-013.1/2005 angegeben mit ca. 11,2 mm, für den Emissionskoeffizienten der äußeren Oberflächen wird dort ein Wert von 0,08 genannt.

Für den Wärmedurchlasswiderstand der Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" wird im Prüfbericht P1-003/2005 ein Wert  $R = 0,279 \text{ m}^2\text{K/W}$  angegeben.

In der nachfolgenden Abbildung 1 ist eine typische Einbausituation für einen solchen Wärmedämmstoff dargestellt, bei der die Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" 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 "Aluthermo Quattro" (4) ist in Bahnen parallel zur Traufrichtung ausgelegt und mit der Konterlattung (3) auf den Sparren (5) befestigt. Auf der Konterlattung 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 für die Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" an einem Schrägdach, Neigung 35°, dargestellt in der Seitenansicht und im Querschnitt

- 1: hinterlüftete Dacheindeckung, z. B. Betondachsteine oder Tonziegel
- 2: Lattung
- 3: Konterlattung
- 4: Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro"
- 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 "Aluthermo Quattro" beeinflusst wird und insbesondere, welcher Bemessungswert sich für den Gesamtwärmewiderstand zwischen Gipskartonplatten und Dacheindeckung unter der Annahme bestimmter Randbedingungen ergibt.

Zur anschaulichen Beschreibung der Wärmeübertragung durch Strahlung im oben aufgeführten Einbaubeispiel für die Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" 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 "Aluthermo Quattro" so angeordnet, dass ein Strahlungsaustausch zwischen der Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" und den jeweils zugewandten Oberflächen der Gipskartonplatten bzw. der Dacheindeckung stattfindet.

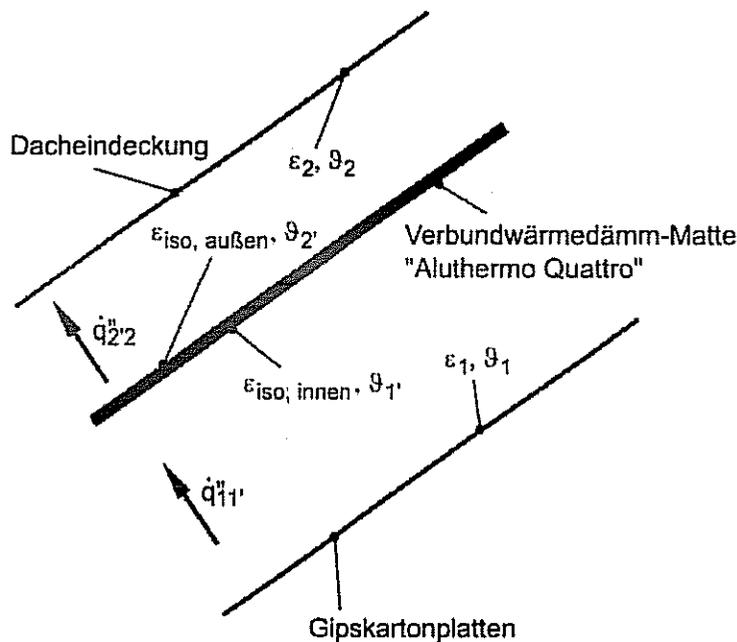


Abb. 2: Prinzipskizze zur vorliegenden Problemstellung

Die Oberflächentemperaturen der Gipskartonplatten bzw. der Dacheindeckung mit den innen-seitigen (der Dämmstoffbahn zugewandten) Emissionskoeffizienten  $\epsilon_1$  und  $\epsilon_2$  betragen  $\theta_1$  und  $\theta_2$ . Die Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" ist durch den in den vorgenannten Prüfberichten genannten Wärmedurchlasswiderstand  $R_{iso} = 0,279 \text{ m}^2\text{K/W}$ , einen Emissionskoeffizienten der äußeren Oberflächen  $\epsilon_{iso} = 0,08$  sowie die Dicke  $\delta_{iso}$  gekennzeichnet.

Den durchzuführenden Berechnungen liegt eine vorgegebene einheitliche Temperatur der Gipskartonplatten - entsprechend einer hierzu korrespondierenden, höher liegenden Raumtemperatur (abhängig vom jeweils vorliegenden Wandaufbau) - von  $\theta_1 = 20 \text{ °C}$  zugrunde.

Hinsichtlich der von der Dacheindeckung auf der inneren Oberfläche angenommenen Temperatur  $\vartheta_2$  wird für die vorliegende Berechnung von einem Bemessungswert  $\vartheta_2 = -20\text{ °C}$  ausgegangen.

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

Der Emissionskoeffizient der der Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" 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 von  $\varepsilon_2 = 0,94$  zugrunde.

### 3. Bestimmungsgleichungen

Gemäß den vorgegebenen Randbedingungen sollte für die beiden Bereiche zwischen Gipskartonplatten und Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" bzw. Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro" 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  $\delta$  und der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  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 unbekanntenen Wärmewiderstände  $R_i$  des jeweiligen Bereichs i bzw. des Gesamtwiderstandes  $R_{ges}$  zwischen den Gipskartonplatten und der Dacheindeckung werden die durch Wärmestrahlung bzw. durch Wärmeleitung 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 4. Ergebnisse

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

Kenngröße	Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro"
Temperatur $\vartheta_1$ [°C], vorgegeben	20
Temperatur $\vartheta_{1'}$ [°C]	3,11
Temperatur $\vartheta_{2'}$ [°C]	1,15
Temperatur $\vartheta_2$ [°C], vorgegeben	- 20
Gesamtwärmewiderstand $R_{12}$ [m <sup>2</sup> K/W]	5,70
zur Wärmestrahlung äquivalenter Wärmeübergangskoeffizient $u_{12}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,175

**Tabelle 1:** Vorgegebene Daten und berechnete Ergebnisse für die Verbundwärmedämm-Matte "Aluthermo Quattro"