

WLiK

Leerstoel voor warmte- en stofoverdracht
Rheinisch-Westfälische technische hogeschool Aken
Professor Dr. Ing. R. Kneer

**Berekeningen bij de warmteoverdracht door straling bij gebruik van de
composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro".**

Expertise in opdracht van
fa. Aluthermo AG, Burg Reuland, België

Bewerking: Dr.-Ing. B. Hillemacher

Aken, 17.03.2005

Eilfschornsteinstraße 18 • D-52056 Aken • Telefoon: 0241/80-95400 • Fax:
0241/80-92143

<http://www.wuek.rwth-aachen.de> • e-mail: www@wuek.rwth-aachen.de

1. Inleiding

De kwaliteit van de thermische isolatie van bouwluchamen is vandaag een criterium dat meer en meer aan belang wint bij de kwalitatieve beoordeling van de vaktechnische uitvoering van gebouwen. In overeenstemming met de verschillende vereisten aan specifieke, vaak door het gebouw bepaalde gegevens wordt de huidige marktsituatie gekenmerkt door een veelheid aan verschillende thermische isolatiematerialen, zowel voor nieuwbouw als voor renovatie.

Nieuwe concepten bij de isolering van bouwwerken maken daarbij gebruik van de stralingsreflectie van sterk weerkaatsende oppervlakken van de meestal speciaal beklede thermische isolatiematerialen. Hierdoor ontstaat er een verminderde warmtedoorgang in de omhulling van het gebouw, die enerzijds tijdens de zomer zorgt voor een geringere warmteoverdracht naar binnen in het bouwlichaam, anderzijds tijdens de koude wintermaanden ook een verlaagd warmteverlies van het gebouw tot gevolg heeft, en die aldus een belangrijke bijdrage tot energiebesparing levert.

2. Beschrijving van de probleemstelling

Een dergelijk thermisch isolatiemateriaal met aan beide zijden een sterk reflecterend oppervlak wordt in het kader van onderhavige expertise door middel van berekeningen bij de warmteoverdracht onderzocht. Voorwerp van de onderzoeken is hierbij het thermisch isolatiemateriaal met de benaming "Aluthermo Quattro". Fabrikant van dit thermische isolatiemateriaal is de fa. Aluthermo AG, Burg Reuland, België

Voor het product "Aluthermo Quattro" staan de beide keuringsrapporten P15-013.1/2005 van 07.02.2005 "Vaststelling van de emissiecoëfficiënt van de buitenste oppervlakken van een meerlagige composiet thermische isolatiedeken" en P1-003/2005 van 13.01.2005 "Bepaling van de weerstand tegen warmtedoorgang volgens DIN EN 12667", van de instelling voor bouwfysica "Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart" reeds ter beschikking. In onderhavige expertise wordt gerefereerd aan de resultaten van de vermelde keuringsrapporten.

De hier onderzochte composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" bestaat in haar geheel uit 7 lagen met in totaal 13 verschillende materiaalsamenstellingen. Rondom de kernlaag, die bestaat uit een 3 mm dik polyethyleen(PE) schuim (materiaalgewicht 75 g/m²), wordt telkens aan beide zijden een met PE bekleed (materiaalgewicht 20 g/m²) aluminium folie aangebracht, die op haar beurt wordt ingesloten door een 4 mm dik PE luchtkussenfolie (diameter luchtkamer 10 mm). Dit binnenste lagenpakket wordt omhuld door een aluminiumfolie (materiaalgewicht 81 g/m²), die aan de beide buitenzijden bekleed is met nitrocelluloselak (materiaalgewicht 3 g/m²). Op elke binnenzijde van deze uitwendige aluminiumfolie is wederom een PE-bekleding (materiaalgewicht 20 g/m²) aangebracht. De totale dikte van de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" bedraagt volgens het bovenvermelde rapport P15-013.1/2005 ca. 11,2 mm, voor de emissiecoëfficiënt van de buitenste oppervlakken wordt in dat rapport een waarde van 0,08 vermeld.

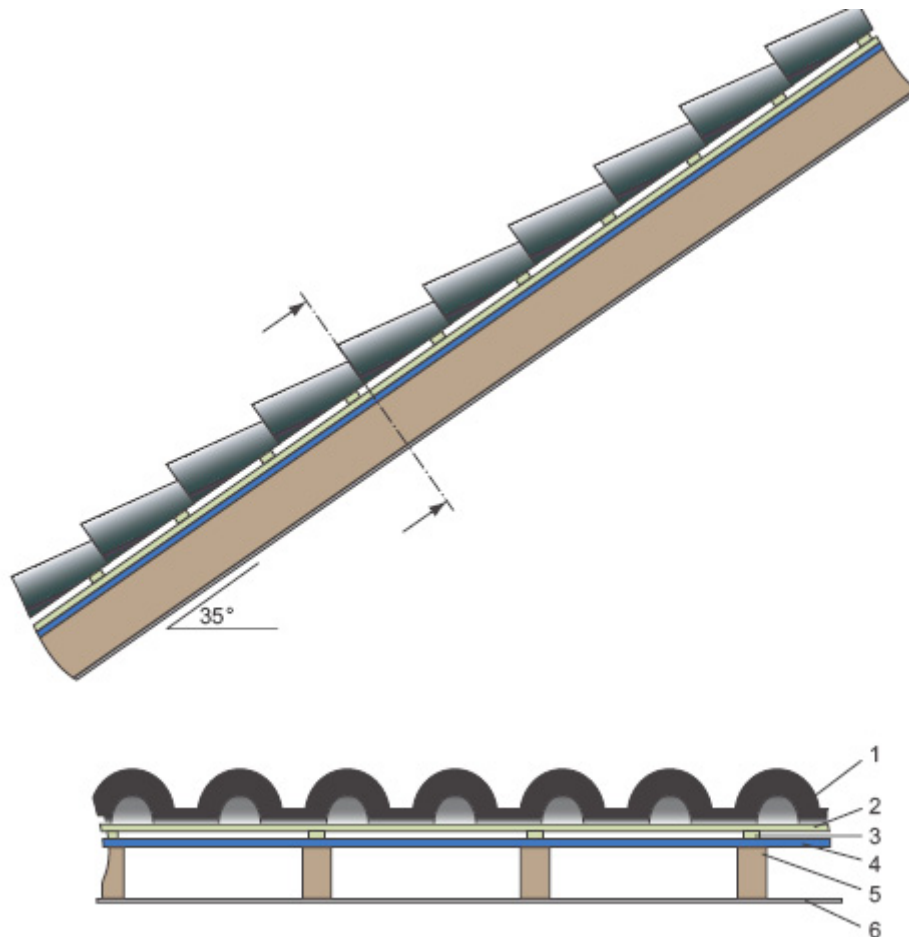
Voor de weerstand tegen warmtedoorgang van de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" wordt in het keuringsrapport P1-003/2005 een waarde van $R = 0,279\text{m}^2\text{K/W}$ aangegeven.

In onderstaande afbeelding 1 is een typische inbouwsituatie voor een dergelijk thermisch isolatiemateriaal weergegeven, waarbij de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" rechtstreeks op de spanten van een dakconstructie aangebracht wordt.

In de afbeelding is de dakvorm van een zadel-/geveldak met een helling van 35° in zijaanzicht alsook in doorsnede weergegeven. De composiet thermische isolatiedeken

- 2 -

"Aluthermo Quattro" (4) is in banen parallel aan de richting van de dakgoot aangebracht en met tengels (3) op de spanten (5) bevestigd. Op de tengels bevindt zich het latwerk (2) dat in passende afstanden volgens de vereisten van de dakbedekking aangebracht is en waarop de uiteindelijke dakbedekking (1), bijv. betonnen dakstenen of dakpannen, gelegd wordt. Zoals het tegenwoordig vaak bij dakconstructies het geval is, is aan de binnenzijde van het gebouw onder de spanten een bekleding uit gipskartonplaten (6) aangebracht.



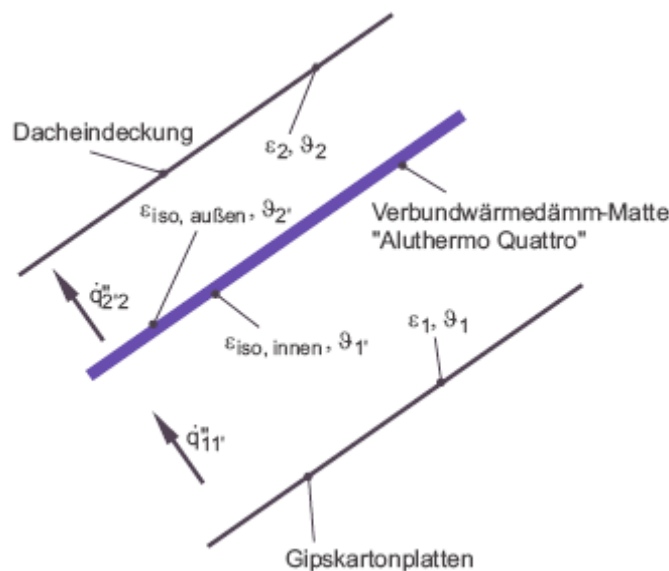
Afb. 1: Typische inbouwsituatie voor de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" in een schuin dak, helling 35°, weergegeven in zijaanzicht en in doorsnede.

- 1: geventileerde dakbedekking, bijv. betonnen dakstenen of dakpannen
- 2: latwerk
- 3: tengels
- 4: composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro"
- 5: dakspanten
- 6: gipskartonplaten

In het kader van onderhavige expertise dient te worden onderzocht in hoeverre de overdracht van stralingswarmte tussen de begrenzende vlakken (gipskartonplaten aan de binnenzijde en dakbedekking aan de buitenzijde) door de toepassing van de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" beïnvloed wordt, en in het bijzonder welke meetwaarde er verkregen wordt voor de totale warmteweerstand tussen gipskartonplaten en dakbedekking bij het in acht nemen van bepaalde randvoorwaarden.

Voor de aanschouwelijke beschrijving van de warmteoverdracht door straling in het hierboven voorgestelde inbouwvoorbeeld voor de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" dient de principeschets weergegeven in afbeelding 2, waarin de onderhavige probleemstelling in vereenvoudigde vorm wordt weergegeven.

Tussen twee parallelle, zich eindeloos uitstrekkende platte vlakken (binnen gipskartonplaten, buiten dakbedekking) met verschillende temperaturen is de planparallele composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" zo aangebracht, dat er tussen de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" en elk van de er naar toe gekeerde oppervlakken van de gipskartonplaten of de dakbedekking een stralingsuitwisseling plaatsvindt.



Dakbedekking

ε_{ISO} buiten

Composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro"

ε_{ISO} binnen

Gipskartonplaten

afb. 2: principeschets van onderhavige probleemstelling

De oppervlaktetemperaturen van de gipskartonplaten en de dakbedekking met de binnenzijdige (gericht naar de isolatiemateriaalbaan) emissiecoëfficiënten ϵ_1 en ϵ_2 bedragen ϑ_1 en ϑ_2 . De composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" wordt gekenmerkt door de in de voormelde keuringsrapporten vermelde weerstand tegen warmtedoorgang $R_{\text{iso}} = 0,279 \text{ m}^2\text{K/W}$, een emissiecoëfficiënt van de buitenste oppervlakte $\epsilon_{\text{iso}} = 0,08$, alsook de dikte δ_{iso} .

Aan de uit te voeren berekeningen ligt een vooraf opgegeven uniforme temperatuur van de gipskartonplaten – overeenkomstig een hiermee corresponderende, hoger liggende kamertemperatuur (afhankelijk van de aanwezige muuropbouw) – van $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$ ten grondslag.

Wat betreft de aangenomen temperatuur ϑ_2 op het binnenste oppervlak van de dakbedekking, wordt voor onderhavige berekening van een meetwaarde $\vartheta_2 = -20^\circ\text{C}$ uitgegaan.

Voor de emissiecoëfficiënt van de gipskartonplaten wordt in de berekening een meetwaarde van $\epsilon_1 = 0,9$ aangenomen.

De emissiecoëfficiënt van het binnenste oppervlak van de dakbedekking, dat naar de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" gericht is, varieert naargelang het gebruikte materiaal (betonnen dakstenen, dakpannen, dakpapier of volledige houten beplanking) tussen 0,90 tot 0,94. Aan de berekeningen ligt een conservatieve naar boven afgeronde meetwaarde van $\epsilon_2 = 0,94$ ten grondslag.

3. Bepalende vergelijkingen

Overeenkomstig de opgegeven randvoorwaarden zou voor de beide bereiken tussen gipskartonplaten en composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" of tussen composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" en dakbedekking aangenomen moeten worden dat de warmteoverdracht op grond van het opgegeven temperatuurverschil uitsluitend door straling plaatsvindt.

Voor de netto stralingsuitwisseling tussen twee zich eindeloos uitstrekkende platte vlakken i en j, die kunnen worden beschouwd als "zwarte straler", kan met inachtneming van de wet van Stefan-Boltzmann volgende verhouding afgeleid worden:

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

met de stralingsconstante $C_s = 5,67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Anderzijds geldt bij veronderstelling van eendimensionale warmtegeleiding in een vast lichaam met een dikte δ en een warmtegeleidbaarheid λ voor de aan de vlakken

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

gerelateerde warmtestroom:

met de warmtegeleidingweerstand:

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

Voor het bepalen van de onbekende warmteweerstand R_i van de betreffende zone i hetzij van de totale weerstand R_{ges} tussen de gipskartonplaten en de dakbedekking worden de door de warmtestraling hetzij door de warmtegeleiding in de betreffende zones overgedragen warmtestromen overeenkomstig de vergelijkingen (1) en (2) gelijkgesteld. Met een indicering overeenkomstig afbeelding 2, worden volgende vergelijkingen verkregen:

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

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

Overeenkomstig de bovenvermelde bepalende vergelijkingen (1) of (2) kunnen voor het vergelijkingssysteem (4) en (5) eerst iteratief de onbekende temperaturen $\vartheta_{1'}$ en $\vartheta_{2'}$ berekend worden. Uit een aan de warmtegeleidingweerstand equivalente opzetting voor de warmtestralingweerstand

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

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

kunnen de warmteweerstanden $R_{11'}$, $R_{1'2'}$ en $R_{2'2}$ berekend worden. De totale weerstand R_{ges} , betrokken op het drijvende temperatuurpotentiaal $(\vartheta_1 - \vartheta_2)$, verkrijgt men dan door:

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

Een eveneens op het drijvende temperatuurpotentiaal $(\vartheta_1 - \vartheta_2)$ betrokken, en aan de warmtestraling equivalente warmteoverdrachtscoëfficiënt u_{12} , verkrijgt men tenslotte uit:

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

4. Resultaten

De berekende resultaten vindt u in onderstaande tabel 1:

| Parameter | Composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro" |
|---|--|
| Temperatuur ϑ_1 [°C], opgegeven | 20 |
| Temperatuur $\vartheta_{1'}$ [°C] | 3,11 |
| Temperatuur $\vartheta_{1'}$ [°C] | 1,15 |
| Temperatuur ϑ_1 [°C], opgegeven | -20 |
| Totale warmteweerstand R_{12} [m ² K/W] | 5,70 |
| Warmteoverdrachtscoëfficiënt u_{12} equivalent aan de warmtestraling [W/m ² K] | 0,175 |

Tabel 1: opgegeven data en berekende resultaten voor de composiet thermische isolatiedeken "Aluthermo Quattro"

- 6 -

Voor beëdigde vertaling,
Elsenborn, 25.03.2005

Gabriele Küches
Kupferstrasse 45
B - 4750 ELSENBORN

Beëdigde vertaalster bij de Rechtbank van Eerste Aanleg te VERVIERS door
besluit d.d. 7.12.1997